อิทธิพลของการให้แสงเพิ่มต่อการเจริญเติบโต การสังเคราะห์ด้วยแสง และคุณภาพดอกของฟาแลนนอปซิสพันธุ์ Sogo Yukidian V_3

Effect of Supplemental Light on Growth, Photosynthesis and Flower Quality of *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3'

วิมลวรรณ ชอบสอาด[1] ดวงพร บุญชัย[2] พูนพิภพ เกษมทรัพย์[1] และ พัชรียา บุญกอแก้ว[1,*]

Wimonwan Chobsa-ard[1], Duangporn Boonchai[2], Poonpipope Kasemsap[1] and Patchareeya Boonkorkaew[1,*]

[1] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2] สวนกล้วยไม้ระพี สาคริก ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

[2] Rapee Sagrik Orchid Garden, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 9 มิถุนายน 2563 Received: 9 June 2020

ปรับแก้ไข: 2 กรกฎาคม 2563 Revised: 2 July 2020

รับตีพิมพ์: 9 กรกฎาคม 2563 Accepted: 9 July 2020

* Corresponding author: agrpyb@ku.ac.th

ABSTRACT: *Phalaenopsis* orchid production is as a flowerpot plant for export and the domestic market in Thailand. Due to *Phalaenopsis* requires low-temperature condition for growing under temperature-controlled greenhouse, resulting in a high cost of production. Thus, orchid growers have developed the planting methods to save electrical energy by planting the vegetative stage of *Phalaenopsis* in a semi-open greenhouse under a rain-proof roof and shading net but caused irregular light intensity. Therefore, the objective of this research was to study the effect of supplemental light on the growth, photosynthesis parameters, flowering and flower quality of 14 months age *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' after deflasking and planting with pine bark. The experimental design was completely randomized design with 5 treatments, including supplemental white LEDs with 100 and 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ during 04:00 to 08:00 a.m. and 04:00 to 08:00 p.m. compared with control (only natural light) for 4 months. The results showed that supplemental light did not affect leaf growth, but caused the changes in the diurnal CO_2 exchange rate and stomatal conductance compared with control. Supplemental lighting at 04:00–08:00 a.m. resulted in earlier CO_2 exchange about 2–4 hours (12:00 p.m.–04:00 p.m.) in phase IV, while supplemental lighting at 04:00–08:00 p.m. increased CO_2 exchange in phase II, but decreased it in first 2 hours of phase I and inhibited it in phase IV. The 4 months supplemental lighting before induction of inflorescences did not affect time to flower, inflorescence number, flower number and flower size. However, the supplemental light at 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity had total CO_2 uptake higher than at 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$.

Keywords: Orchid, light duration, CO_2 exchange rate, stomatal conductance

บทคัดย่อ

การผลิตกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสเป็นไม้ดอกกระถางเพื่อการส่งออกและจำหน่ายในประเทศไทย เนื่องจากฟาแลนนอปซิสต้องการอุณหภูมิต่ำในการเจริญเติบโต การปลูกเลี้ยงจึงต้องอาศัยโรงเรือนระบบปิดควบคุมอุณหภูมิ ทำให้มีต้นทุนการผลิตสูง เกษตรกรจึงพัฒนาวิธีการปลูกเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการเลี้ยงต้นในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น-ใบในโรงเรือนระบบกึ่งเปิดหลังคาพลาสติกและขึงด้วยตาข่ายพรางแสง ซึ่งทำให้ต้นฟาแลนนอปซิสได้รับความเข้มแสงไม่สม่ำเสมอ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้แสงเพิ่มต่อการเจริญเติบโต ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง การออกดอก และคุณภาพช่อดอกของฟาแลนนอปซิสพันธุ์ Sogo Yukidian V_3 อายุ 14 เดือนหลังออกจากขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ที่ปลูกด้วยเปลือกสน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 5 ทรีตเมนต์ โดยการเพิ่มแสง LEDs สีขาวความเข้มแสง 100 และ 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ในเวลา 04:00–08:00 น. และ 16:00–20:00 น. เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (แสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียว) เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า การให้แสงเพิ่มไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของใบ แต่ทำให้ช่วงเวลาของการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 และการเปิดปิดปากใบในรอบวันเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การเพิ่มแสงเวลา 04:00–08:00 น. ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ใน Phase IV เร็วขึ้น 2–4 ชั่วโมง (12:00–16:00 น.) ส่วนการให้แสงในช่วง 16:00–20:00 น. เพิ่มการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ช่วง Phase II แต่การแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ลดลงในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของ phase I และไม่เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ใน Phase IV ซึ่งการเพิ่มแสงเป็นเวลา 4 เดือน ก่อนนำไปชักนำช่อดอก ไม่ส่งผลต่อระยะเวลาการเกิดดอก จำนวนช่อดอก จำนวนดอก และขนาดดอก อย่างไรก็ตาม การให้แสงเพิ่มที่ความเข้มแสง 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ทำให้กล้วยไม้มีการดูดซับก๊าซ CO_2 ดีกว่าการให้แสงเพิ่มที่ความเข้มแสง 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ทั้งสองช่วงเวลา

คำสำคัญ: กล้วยไม้, ความยาวนานของแสง, การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, การเปิดปิดปากใบ

บทนำ

กล้วยไม้สกุลฟาแลนนอปซิส (*Phalaenopsis*) เป็นไม้ดอกไม้ประดับที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีความสวยงาม ดอกบานทนทาน และมีความหลากหลาย (Zheng *et al*., 2008) เป็นไม้ดอกกระถางที่มีความสำคัญในตลาดไม้ดอกของโลก (Shen *et al*., 2018) มีการผลิตอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเยอรมนี ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ ไต้หวัน ไทย และสหรัฐอเมริกา (Runkle, 2007)

กล้วยไม้สกุลนี้มีรูปแบบการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบ Crassulacean acid metabolism (CAM) (Endo and Ikusima, 1989; Ota *et al*., 1991; Guo and Lee, 2006) สามารถแบ่งเฟส (Phase) ได้เป็น 4 เฟส คือ Phase I เกิดขึ้นในเวลากลางคืน ปากใบเปิดเกิดการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยการทำงานของเอนไซม์ phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPC) และสะสมในรูปกรดมาลิกไว้ในแวคิวโอล จนกระทั่งถึงช่วงเช้า ซึ่งเข้าสู่ Phase II ปากใบยังคงเปิดและมีการตรึงก๊าซ CO_2 เกิดขึ้น ในขณะที่ช่วงกลางวัน หรือ Phase III ความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นทำให้ปากใบเปิดแคบลง เกิดสารละลายของกรดมาลิกและปลดปล่อยก๊าซ CO_2 (Decarboxylation) ซึ่งจะถูกตรึงอีกครั้งในวัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle) และเมื่อเข้าสู่ช่วงเย็น หรือ Phase IV ปากใบเริ่มเปิดและเกิดการตรึงก๊าซ CO_2 อีกครั้ง (Osmond, 1978) สำหรับ Phase II และ IV ซึ่งเกิดในช่วงที่มีแสงนั้น การตรึงก๊าซ CO_2 เกิดขึ้นโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ PEPC

หรือ ribulose -1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) หรือทั้งสองเอนไซม์ร่วมกัน ทั้งนี้ สภาพแวดล้อมถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกิจกรรมของพืช CAM (CAM activity) และระยะเวลาของแต่ละเฟส (Dodd *et al.*, 2002; Ceusters *et al.*, 2009)

แสง เป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมหนึ่งที่สำคัญอย่างมาก มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตพัฒนากระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Fankhauser and Chory, 1997; Smith, 1982) ในฟาแลนนอปซิสมีรายงานว่า ความเข้มแสง 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ทำให้ *P. amabilis* มีค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม (Total CO_2 uptake) สูงที่สุด (Guo and Lee, 2006) ในขณะที่ความเข้มแสงต่ำ (20 μmol $m^{-2}s^{-1}$) ชะลอการพัฒนาของช่อดอก เนื่องจากอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และ CAM activity ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Liu *et al.*, 2016) นอกจากนี้มีรายงานว่า ความยาวนานของวัน มีผลต่อศักยภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic capacity) ของพืช CAM (Queiroz, 1974) โดยช่วงวันสั้น (Short daylength) จะกระตุ้นการเปิดปากใบในช่วงเวลากลางคืนและเพิ่มการตรึง CO_2 รวม (Total CO_2 fixation) ในช่วงเวลากลางคืนของ *Kalanchoe blossfeldiana* ซึ่งต่างจากช่วงวันยาว (Long daylength) ช่วยส่งเสริมการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ในช่วงเวลากลางวัน และยับยั้งการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ในช่วงเวลากลางคืน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตใน *Ananus comosus* และ *Dendrobium* Ekapol (Nose *et al.*, 1986; Sekizuka *et al.*, 1995)

การปลูกเลี้ยงกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสเชิงการค้าแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะการเจริญเติบโตทางต้น (Vegetative) ต้องการอุณหภูมิ 28–32 องศาเซลเซียส และความเข้มแสง 100–300 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ระยะชักนำให้เกิดช่อดอก (Spike induction) และการเจริญเติบโตของช่อดอก (Flowering) ต้องการอุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) ความเข้มแสง 200–300 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (Shen *et al.*, 2018) ดังนั้นการปลูกเลี้ยงจำเป็นต้องใช้โรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตในไทย ซึ่งเป็นเมืองร้อนต้องใช้ความเย็นเพื่อชักนำให้ออกดอก ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตสูง เกษตรกรบางรายจึงดัดแปลงวิธีการปลูกเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยปลูกฟาแลนนอปซิสในระยะการเจริญเติบโตทางต้น ซึ่งสามารถปลูกเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิสูงได้ (28–32 องศาเซลเซียส) ในโรงเรือนระบบกึ่งเปิดหลังคาพลาสติกและขึงด้วยตาข่ายพรางแสง แต่ปัญหาที่พบ คือ หากพรางแสงเพื่อลดอุณหภูมิในโรงเรือนมากเกินไป ส่งผลให้ต้นกล้วยไม้ได้รับความเข้มแสงที่ต่ำ (ความเข้มแสงเฉลี่ย 42–198 μmol $m^{-2}s^{-1}$) ไปด้วย ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีแนวคิดในการให้แสงจากหลอด Light-Emitting Diodes (LEDs) เพิ่มเข้าไป โดยให้เพิ่มเฉพาะช่วงเช้าหรือเย็น ที่มีความเข้มแสงค่อนข้างต่ำ เพื่อศึกษาผลของการให้แสงเพิ่มต่อการเจริญเติบโต รูปแบบและประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง การออกดอก และคุณภาพดอกของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสพันธุ์ Sogo Yukidian V_3 ซึ่งเป็นพันธุ์ดอกสีขาว ที่นิยมปลูกเชิงการค้า

อุปกรณ์และวิธีการ

พืชทดลองและโรงเรือนที่ใช้ในการทดลอง

กล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสพันธุ์ Sogo Yukidian V_3 (*Phalanopsis* ‘Sogo Yukidian V_3’) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อายุ 14 เดือนหลังออกจากขวด (ระยะการเจริญเติบโตทางต้น) มีจำนวนใบ 7–8 ใบ ปลูกในกระถางพลาสติกใสขนาด 3.5 นิ้ว มีเปลือกสนเป็นวัสดุปลูก ปลูกเลี้ยงในโรงเรือนหลังคาพลาสติก ซึ่งมีการพรางแสงด้านใต้หลังคา 1 ชั้น ด้วยตาข่ายพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ด้านข้างโรงเรือนเป็นมุ้งรอบทั้ง

4 ด้าน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 31 ± 2/28 ± 2 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) ความชื้นสัมพัทธ์ 65–85 เปอร์เซ็นต์ ความยาวนานของแสง 12 ± 0.5 ชั่วโมงต่อวัน มีความเข้มแสงเฉลี่ย 42–198 μmol $m^{-2}s^{-1}$ โดยในช่วงเวลา 06:00–08:00 น. และ 16:00–18:00 น. มีความเข้มแสงน้อยกว่า 50 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ส่วนช่วงเวลา 10.00–14:00 น. มีความเข้มแสงเฉลี่ย 200–300 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ปฏิบัติดูแลโดยการรดน้ำสลับกับการรดปุ๋ยเกล็ดละลายน้ำ สูตร 20–20–20 (0.4 กรัมต่อลิตร) หรือ 15–30–15 (0.5 กรัมต่อลิตร) ทุก 4 วัน

แผนการทดลองและทรีตเมนต์

วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 5 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น ดังนี้ ทรีตเมนต์ที่ 1 การได้รับแสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียวในเวลา 06:00–18:00 น. (ชุดควบคุม) ทรีตเมนต์ที่ 2–5 ให้แสงไฟจากหลอด LEDs สีขาว ความยาวคลื่น 400–780 นาโนเมตร เพิ่มเติมจากแสงธรรมชาติ โดยทรีตเมนต์ที่ 2 ความเข้มแสง 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ในช่วงเวลา 04:00–08:00 น. ทรีตเมนต์ที่ 3 ความเข้มแสง 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ในช่วงเวลา 04:00–08:00 น. ทรีตเมนต์ที่ 4 ความเข้มแสง 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ในช่วงเวลา 16:00–20:00 น. และทรีตเมนต์ที่ 5 ความเข้มแสง 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ในช่วงเวลา 16:00–20:00 น. เป็นระยะเวลา 4 เดือน (25 มิถุนายนถึง 25 ตุลาคม 2562) ณ สวนกล้วยไม้ระพี สาคริก ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน จากนั้นย้ายเข้าโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 2/20 ± 2 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) ความชื้นสัมพัทธ์ 68–73 เปอร์เซ็นต์ ได้รับแสงธรรมชาติ ความเข้มแสง 200–300 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ความยาวนานของแสง 12 ± 0.5 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลา 4 เดือน (25 ตุลาคม 2562 ถึง 25 กุมภาพันธ์ 2563) เพื่อชักนำให้เกิดช่อดอก ณ บริษัทบางกอกออร์คิดฟาร์ม กรุงเทพฯ

การบันทึกข้อมูล

1. การเจริญเติบโต การออกดอก และคุณภาพดอก

บันทึกขนาดใบ ได้แก่ ความยาวใบ วัดจากโคนไปจนถึงปลายใบ ความกว้างใบ วัดบริเวณส่วนกว้างที่สุดของใบ และวัดพื้นที่ใบ ด้วยเครื่อง L1-3100C Area Meter (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) โดยวัดใบตำแหน่งที่ 2 นับจากปลายยอด ในเดือนที่ 2 และ 4 หลังให้แสงไฟเพิ่ม สำหรับในระยะออกดอก บันทึกจำนวนช่อดอก จำนวนดอก และขนาดดอก (วัดเส้นผ่านศูนย์กลางดอกตามความกว้างของดอกบาน โดยวัดดอกตำแหน่งที่ 3 นับจากโคนก้านช่อดอก)

2. ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง

บันทึกค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยเครื่อง Portable Photosynthesis System รุ่น LI-6400XT (Li-cor Inc., Lincoln, NE, USA) ที่ติดตั้งกล่องบรรจุใบแบบ Standard 2x3 cm Chamber (6400-08 Clear Chamber Bottom, LI-COR, USA) มีฝาด้านบนใส ใช้ความเข้มแสง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากธรรมชาติ โดยวัดบริเวณกลางใบของใบตำแหน่งที่ 2 นับจากยอด บันทึกอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 (CO_2 exchange rate; CER) และการเปิดปิดปากใบ (Stomatal conductance; g_s) ทุก 2 ชั่วโมง ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในเดือนที่ 2 และ 4 หลังจากให้แสงไฟเพิ่ม

3. ค่าการดูดซับก๊าซ CO_2 รวม และการแบ่งเฟส

คำนวณค่าการดูดซับก๊าซ CO_2 รวม (Total CO_2 uptake) ตามวิธีของ Griffiths *et al.* (1986) โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟของค่า CER ในรอบวัน (24 ชั่วโมง) และแบ่งเฟส (Phase) จากค่า CER ในรอบวันเป็น 4 เฟส ตามวิธีของ Osmond (1978) ได้ดังนี้ Phase I เริ่มในช่วงกลางคืนที่ไม่มีแสง ปากใบเริ่มเปิด เกิดการตรึงก๊าซ CO_2 จากบรรยากาศ ทำให้ค่า CER เป็นบวกไปจนถึงช่วงก่อนมีแสง (18:00–06:00 น.) Phase II ใน

ช่วงเช้าตรู่ (06:00–08:00 น.) หลังจากมีแสง ปากใบยังคงเปิด และ ค่า CER เป็นบวก จนกระทั่งเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ค่า CER มีค่าเท่ากับศูนย์ Phase III ช่วงเวลากลางวัน เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นทำให้ปากใบปิด ค่า CER เป็นลบ Phase IV ในช่วงบ่ายใกล้ค่ำ เมื่อความเข้มแสงต่ำลง ทำให้ปากใบเริ่มเปิดและเกิดการตรึงก๊าซ CO_2 อีกครั้ง ค่า CER เป็นบวก

ผลการทดลองและวิจารณ์

การเจริญเติบโต การออกดอก และคุณภาพดอก

การให้แสงเพิ่มในทั้งสองช่วงเวลา และทั้งสองระดับความเข้มแสง ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของฟาแลนนอปซิสพันธุ์ Sogo Yukidian V_3 ทั้งด้านความสูงต้น และจำนวนใบ โดยมีใบเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเดือนละประมาณ 1 ใบ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ความยาวใบ 18.94–22.37 เซนติเมตร ความกว้างใบ 6.58–7.53 เซนติเมตร และพื้นที่ใบ 92.20–122.25 ตารางเซนติเมตร (Table 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Park (2018) ได้เพิ่มแสงเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายใต้สภาพวันสั้น (ได้รับแสง 8 ชั่วโมง) ในกล้วยไม้ *Cymbidium* hybrids พันธุ์ Yang Guifei และพันธุ์ Wine Shower พบว่า การให้แสงเพิ่มไม่มีผลต่อจำนวนใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อให้แสงไฟเพิ่มนาน 4 เดือน แล้วนำต้นฟาแลนนอปซิสไปชักนำให้ออกดอกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ หลังจากนั้น 1 เดือน พบว่า ต้นฟาแลนนอปซิสในทุกทรีตเมนต์เริ่มแทงช่อดอก และใช้เวลาในการเจริญเติบโตและพัฒนาของช่อดอกประมาณ 3 เดือน จึงเป็นระยะที่พร้อมสำหรับการวางจำหน่าย (ดอกบาน 7–8 ดอก และดอกตูม 2–3 ดอก; Figure 1)

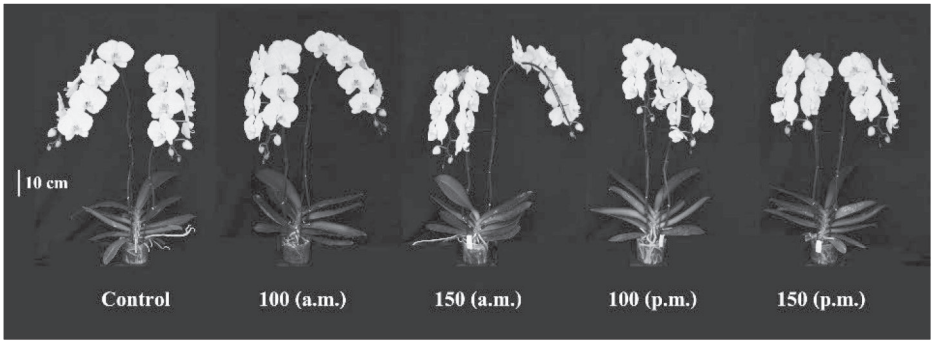

Figure 1 Flowering stage of *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3', which are cultivated under different supplemental lighting (Control: natural light, 100 (a.m.): 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m., 150 (a.m.): 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m., 100 (p.m.): 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 p.m. and 150 (a.m.): 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m.) for four months and induction of inflorescences in temperature-controlled greenhouse for four months

Table 1 Leaf growth parameters of *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' grown for two and four months under different supplemental light

Treatments	August			October		
	Length (cm)	Width (cm)	Area (cm^2)	Length (cm)	Width (cm)	Area (cm^2)
Natural Light (NL)	20.66 ± 0.91	6.98 ± 0.23	104.74 ± 7.96	21.40 ± 1.20	7.40 ± 0.05[a]	114.34 ± 6.44
NL+100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00-08:00 a.m.)	20.28 ± 0.69	6.88 ± 0.22	101.04 ± 6.55	22.37 ± 0.91	7.53 ± 0.27[a]	122.25 ± 9.13
NL+150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 a.m.)	19.76 ± 0.69	6.58 ± 0.18	94.18 ± 5.54	18.94 ± 0.31	6.74 ± 0.14[b]	92.20 ± 2.69
NL+100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 p.m.)	21.92 ± 0.20	7.08 ± 0.05	112.07 ± 1.36	21.18 ± 1.57	7.00 ± 0.20[ab]	107.65 ± 10.83
NL+150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 p.m.)	19.72 ± 0.45	6.82 ± 0.08	97.17 ± 2.95	18.88 ± 0.70	7.13 ± 0.14[ab]	97.25 ± 4.88
F-test[1]	ns	ns	ns	ns	*	ns

[a, b] Means in each column followed by a different letter are significantly different by Duncan's Multiple Range test ($P < 0.05$)

[1] ns = not significant; * = Means statistically significant difference at $P < 0.05$

ทั้งนี้ จาก Table 2 จะเห็นได้ว่า การให้แสงเพิ่มก่อนนำไปชักนำการเกิดช่อดอก (14/10 กลางวัน/กลางคืน) ไม่มีผลต่อจำนวนช่อดอก จำนวนดอกต่อช่อ และขนาดของดอก เช่นเดียวกับ ใน *Phalaenopsis amabilis* 'TS 97' พบว่า ความยาวในช่วงเวลากลางวัน (Daylength) ที่ 12 14 และ 16 ชั่วโมงต่อวัน ไม่มีผลต่อเวลาในการแทงช่อดอก ระยะเวลาการบานของดอก และจำนวนดอก (Guo *et al.*, 2012) ทั้งนี้ การออกดอกที่เกิดขึ้นอาจไม่ใช่ผลจากการให้แสงเพิ่มเพียงอย่างเดียว อายุและขนาดต้นที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญต่อการตอบสนองอุณหภูมิในการชักนำการเกิดช่อดอกของฟาแลนนอปซิส การทดลองในครั้งนี้ใช้ต้นฟาแลนนอปซิสอายุ 14 เดือน และปลูกเลี้ยงเป็นเวลา 4 เดือน ดังนั้น ก่อนนำไปชักนำช่อดอกจึงมีอายุ 18 เดือน ต้นน่าจะมีอาหารสะสมเพียงพอจึงเป็นอายุที่เหมาะสมต่อการออกดอก ทำให้ผลของการออกดอกและคุณภาพช่อดอกไม่แตกต่างกัน

Table 2 Inflorescence number, Flower number and Flower diameter of *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' grown for four months under different supplemental light and four months under temperature-controlled greenhouse

Treatments	Inflorescence (IF) number	Flower number		Flower diameter (cm)
		1st IF	2nd IF	
Natural Light (NL)	2.0 ± 0.3	9.6 ± 0.6	8.8 ± 0.6	11.1 ± 0.3
NL+100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 a.m.)	1.7 ± 0.3	11.0 ± 0.0	10.5 ± 0.3	11.2 ± 0.1
NL+150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 a.m.)	2.0 ± 0.3	9.8 ± 0.2	9.5 ± 0.3	10.8 ± 0.3
NL+100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 p.m.)	2.0 ± 0.3	9.2 ± 0.5	9.5 ± 0.3	10.7 ± 0.3
NL+150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 p.m.)	1.8 ± 0.2	9.6 ± 0.4	9.3 ± 0.2	11.2 ± 0.1
F-test	ns	ns	ns	ns

ns not significant

ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง

การแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 (Figure 2A–E, Figure 3A–E) และการเปิดปิดปากใบ (Figure 2F–M, Figure 3F–M) ในรอบวันของฟาแลนนอปซิสพันธุ์ Sogo Yukidian V_3 หลังได้รับแสงไฟเพิ่มในเดือนที่ 2 (Figure 2) และเดือนที่ 4 (Figure 3) จะเห็นได้ว่า ทุกทรีตเมนต์มีรูปแบบการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบ CAM คือ ปากใบเปิดและมีการแลกเปลี่ยน CO_2 (ค่าเป็นบวก) ในตอนกลางคืน ตั้งแต่ 18:00–06:00 น. (Phase I) ส่วนเวลากลางวันปากใบหรี่แคบลง ทำให้ค่า CER เป็นลบ (Phase III) นอกจากนี้ช่วงเช้าตรู่หลังจากเริ่มมีแสง (Phase II) และช่วงบ่ายก่อนค่ำ (Phase IV) ปากใบเปิดและเกิดการแลกเปลี่ยน CO_2 ได้อีกด้วย ซึ่งเป็นลักษณะของพืช CAM แบบ Obligate (Guo *et al.,* 2012) จากการให้แสงไฟเพิ่มใน ทั้งสองช่วงเวลา ส่งผลต่อช่วงเวลาในการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ของ Phase II และ IV (Duration time of phase) โดยการให้แสงช่วง 04:00–08:00 น. ทำให้ Phase IV มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 เร็วขึ้นประมาณ 2–4 ชั่วโมง (12:00–16:00 น.) (Figure 1B–C, Figure 2B–C) ในขณะที่การให้แสงเพิ่มในช่วง 16:00–20:00 น. ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ในช่วง Phase II (06:00–08:00 น.) โดยทำให้มีค่า CER สูงกว่าในชุดควบคุม (Figure 2D–E, Figure 3D–E) ทั้งนี้ การให้แสงเพิ่มในช่วงเช้า มีผลให้ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ในช่วง Phase II (Figure 2B–C, Figure 3B–C) ในขณะที่ การให้แสงไฟเพิ่มในช่วงเย็น ทำให้ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซใน Phase IV และส่งผลให้ Phase I ช้าลงไปด้วย (Figure 2D–E, Figure 3D–E) เช่นเดียวกับการเปิดปากใบซึ่งมีทิศทางเดียวกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 (Figure 2F–J, Figure 3F–J)

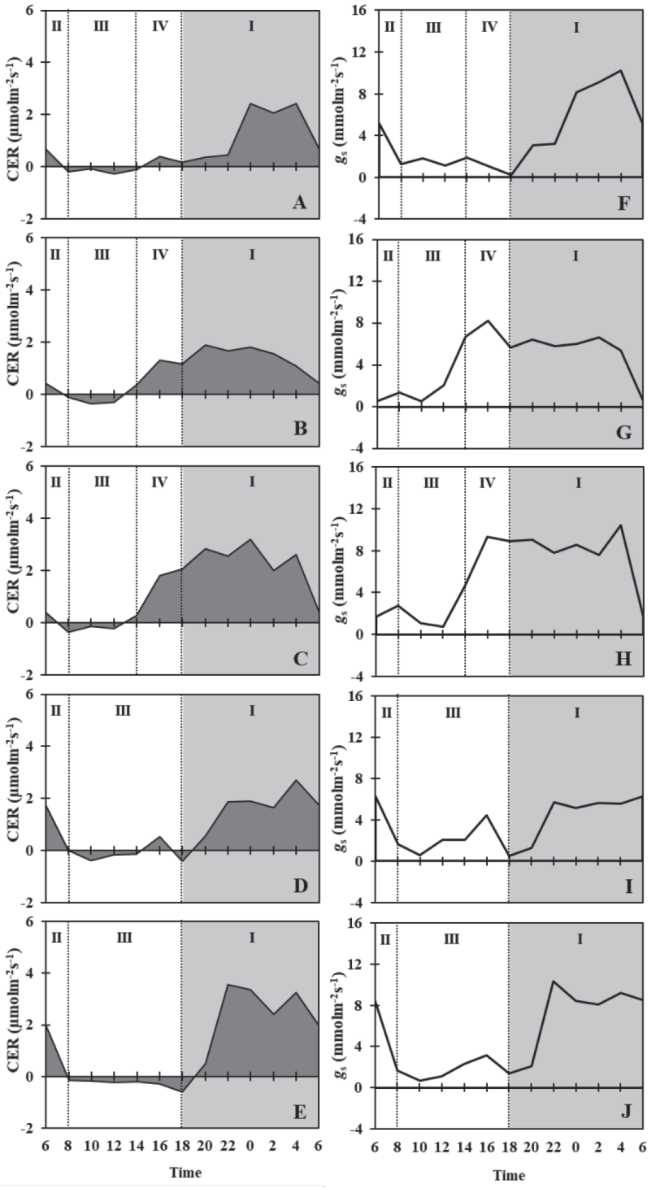

Figure 2 Diurnal change of the net CO_2 exchange rate; CER (A–E) and stomatal conductance; g_s (F–J) in *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' leaves after two months (in August) under natural light (A, F), 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m. (B, G), 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m. (C, H), 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 p.m. (D, I) and 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m. (E, J). I–IV indicate the phases of the classical CAM gas exchange rhythm and shaded portions represent nighttime.

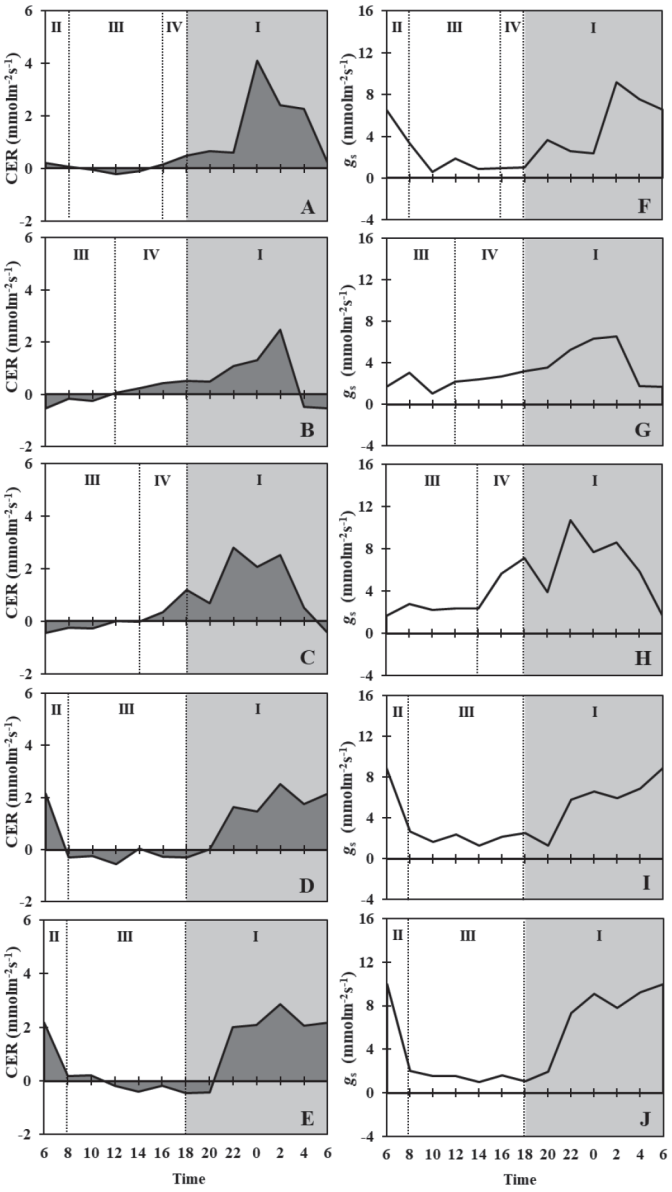

Figure 3 Diurnal change of the net CO_2 exchange rate; CER (A–E) and stomatal conductance; g_s (F–J) in *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' leaves after four months (in October) under natural light (A, F), 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m. (B, G), 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m. (C, H), 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 p.m. (D, I) and 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ light intensity during 04:00–08:00 a.m. (E, J). I–IV indicate the phases of the classical CAM gas exchange rhythm and shaded portions represent nighttime.

ผลการศึกษาที่พบสอดคล้องกับในหลายงานวิจัยที่รายงานว่า ในพืช CAM วงจรของความมืดและความสว่าง (Light/dark cycle) มีผลต่อการขยายหรือลดช่วงเวลาในการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ของแต่ละ Phase ในรอบ 24 ชั่วโมง (Chen and Lin, 2012; Dodd *et al*., 2002; Guo *et al.,* 2012) ทั้งนี้เนื่องจากการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ของพืช CAM มีเอนไซม์ที่สำคัญคือ PEP carboxylase ซึ่งมี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบโมเลกุลที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยาตอนกลางคืนจะไม่ไวต่อกรดมาลิก และรูปแบบโมเลกุลที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยาตอนกลางวันจะถูกยับยั้งด้วยกรดมาลิก (Kasemsap, 2011) โดยทั้งสองแบบอาศัยการทำงานของเอนไซม์ phosphoenolpyruvate carboxylase kinase (PPCK) ซึ่งมี circadian clock เป็นตัวควบคุม (Hartwell *et al*., 1999) การให้แสงไฟเพิ่มเป็นการเพิ่มความยาวนานของแสงในรอบวันซึ่งส่งผลต่อ circadian clock ของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิส จึงทำให้เกิดระยะในแต่ละ Phase แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การเลื่อนเวลาของแต่ละ Phase ยังไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิส

ค่าการดูดซับก๊าซ CO_2 รวม และการแบ่งเฟส

Table 3 และ Table 4 แสดงค่าการดูดซับก๊าซ CO_2 รวม (total CO_2 uptake) ของแต่ละ Phase และตลอดทั้งวัน (24 ชั่วโมง) ของฟาแลนนอปซิสหลังจากให้แสงไฟเพิ่มเป็นเวลา 2 และ 4 เดือน ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบ CAM โดยคำนวณจาก Figure 2A–E และ Figure 3A–E พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในเดือนที่ 2 หลังการให้แสงเพิ่ม มีผลทำให้ total CO_2 uptake ของ 24 ชั่วโมงสูงกว่าชุดควบคุม โดยเฉพาะการให้แสงช่วง 04:00–08:00 น. ที่ความเข้มแสง 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ทำให้ total CO_2 uptake ของ Phase I IV และ 24 ชั่วโมง มากที่สุด มีค่ารวม 24 ชั่วโมง มากกว่าการได้รับแสงจากธรรมชาติถึงสองเท่า รองลงมาคือ การให้แสงเพิ่มช่วง 16:00–20:00 น. ที่ระดับความเข้มแสงเดียวกัน (Table 3) สอดคล้องกับ Park (2018) รายงานว่า การให้แสงเพิ่ม 4 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 2 เดือน ทำให้กล้วยไม้ *Cymbidium* hybrids ‘Yang Guifei’ และ ‘Wine Shower’ มีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิรวมเพิ่มขึ้น ในขณะที่หลังได้รับแสงนาน 4 เดือน พบว่า การให้แสงเพิ่มที่ความเข้มแสง 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ของทั้งสองช่วงเวลามีค่า total CO_2 uptake ของ Phase I และ 24 ชั่วโมงสูงกว่าความเข้มแสง 100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ แต่ไม่ต่างจากการได้รับแสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (Table 4) สอดคล้องกับรายงานใน *P. amabilis* ที่ได้รับชั่วโมงของแสงแตกต่างกัน (8 12 และ 16 ชั่วโมง) พบว่า การให้แสง 12 และ 16 ชั่วโมง มีค่า total CO_2 uptake ในรอบวันไม่แตกต่างกัน (Guo *et al*., 2012) ทั้งนี้ จากการทดลอง total CO_2 uptake ที่วัดได้ในทั้ง 2 เดือนมีค่าสูงต่ำแตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ในโรงเรือนที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงปริมาณ CO_2 ในอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกิจกรรมของพืช CAM (Dodd *et al*., 2002; Ceusters *et al*., 2009)

Table 3 Total CO_2 uptake of *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' leaves (mmol CO_2 m^{-2}) by phase over a 24 hours period after two months under supplemental light treatments (in August)

Treatments	Total CO_2 uptake (mmol CO_2 m^{-2})				
	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV	24 h
Natural Light (NL)	58.95 ± 2.77[b]	1.73 ± 0.53[b]	-3.67 ± 1.05[a]	3.14 ± 1.14[c]	60.15 ± 2.62[d]
NL+100 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00-08:00 a.m.)	63.36 ± 3.78[b]	1.13 ± 0.08[b]	-3.60 ± 1.37[a]	15.08 ± 0.74[b]	75.97 ± 3.75[c]
NL+150 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00-08:00 a.m.)	103.80 ± 2.21[a]	0.03 ± 0.27[b]	-3.04 ± 0.67[a]	21.40 ± 3.57[a]	122.18 ± 5.48[a]
NL+100 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 p.m.)	67.33 ± 0.46[b]	6.21 ± 1.45[a]	-2.71 ± 1.00[a]	-	70.83 ± 2.21[c]
NL+150 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00–08:00 p.m.)	99.24 ± 5.37[a]	6.60 ± 0.59[a]	-9.13 ± 0.72[b]	-	96.71 ± 6.32[b]
F-test	**	**	**	**	**

[a,b,c,d] Means in each column followed by a different letter are significantly different by Duncan's Multiple Range test ($P < 0.05$)

** Means statistically significant difference at $P < 0.01$

Table 4 Total CO_2 uptake of *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' leaves (mmol CO_2 m^{-2}) by phase over a 24 hours period after four months under supplemental light treatments (in October)

Treatments	Total CO_2 uptake (mmol CO_2 m^{-2})				
	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV	24 h
Natural Light (NL)	74.50 ± 3.70[a]	1.04 ± 0.76[b]	-2.01 ± 0.79[ab]	1.98 ± 0.75[bc]	75.51 ± 3.38[a]
NL+100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00-08:00 a.m.)	35.17 ± 5.35[b]	-	-3.43 ± 0.71[ab]	6.68 ± 1.60[a]	38.43 ± 7.05[c]
NL+150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00-08:00 a.m.)	62.25 ± 2.53[a]	-	-1.31 ± 0.59[a]	4.32 ± 0.65[ab]	67.45 ± 3.58[ab]
NL+100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00-08:00 p.m.)	60.49 ± 4.19[a]	6.64 ± 1.32[a]	-10.02 ± 5.08[b]	-	57.10 ± 0.39[b]
NL+150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (04:00-08:00 p.m.)	68.53 ± 4.50[a]	8.50 ± 0.84[a]	-5.70 ± 1.33[ab]	-	71.33 ± 3.95[a]
F-test	**	**	**	**	**

[a,b,c] Means in each column followed by a different letter are significantly different by Duncan's Multiple Range test ($P < 0.05$)

** Means statistically significant difference at $P < 0.01$

จากการให้แสงไฟเพิ่มในช่วงเช้าหรือเย็น ส่งผลต่อช่วงเวลาในการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 อย่างชัดเจน และมีแนวโน้มว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงของฟาแลนนอปซิสในโรงเรือนกึ่งเปิดที่ไม่ควบคุมสภาพแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้ผลอย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงควรมีการศึกษาในต้นฟาแลนนอปซิสที่มีอายุน้อยกว่า 14 เดือน ซึ่งอยู่ในระยะกำลังเจริญเติบโตทางลำต้นก่อนที่จะนำไปชักนำให้ออกดอกต่อไป ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงสายพันธุ์ที่นำมาใช้ด้วย เนื่องจากแต่ละพันธุ์มีขนาดและอายุของต้นที่เหมาะสมต่อการนำชักนำให้เกิดช่อดอกแตกต่างกันไป (Paradiso and De Pascale, 2014)

สรุป

การเพิ่มแสงสีขาวความเข้มแสง 100 และ 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ในเวลา 04:00–08:00 น. และ 16:00–20:00 น. ส่งผลให้ *Phalaenopsis* 'Sogo Yukidian V_3' เกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 และการเปิดปิดปากใบในรอบวัน โดยการให้แสงช่วง 04:00–08:00 น. ทำให้ Phase IV มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 เร็วขึ้นประมาณ 2–4 ชั่วโมง (12:00–16:00 น.) ส่วนการให้แสงในช่วง 16:00–20:00 น. เพิ่มการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ช่วง Phase II แต่ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ใน Phase IV

และทำให้ Phase I ช้ากว่าชุดควบคุม ถึงแม้ว่าการให้แสงเพิ่มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า CER ในแต่ละเฟส แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น-ใบ การออกดอก และคุณภาพดอกของฟาแลนนอปซิส

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ตามทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562

เอกสารอ้างอิง

Ceusters, J., A.M. Borland, E. Londers, V. Verdoodt, C. Godts and M.P. De Proft. 2009. Differential usage of storage carbohydrates in the CAM bromeliad *Aechmea* 'Maya' during acclimation to drought and recovery from dehydration. Physiol. Plant. 135(2): 174–184.

Chen, C. and R.S. Lin. 2012. CO_2 uptake patterns in *Phalaenopsis amabilis*. Afr. J. Agric. Res. 7(1): 128–141.

Dodd, A.N., A.M. Borland, R.P. Haslam, H. Griffiths and K. Maxwell. 2002. Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic. J. Exp. Bot. 53(369): 569–580.

Endo, M. and I. Ikusima. 1989. Diurnal rhythm and characteristics of photosynthesis and respiration in the leaf and root of a *Phalaenopsis* plant. Plant Cell Physiol. 30(1): 43–47.

Fankhauser, C. and J. Chory. 1997. Light control of plant development. Annu. Rev. Cell Dev. Biol. 13: 203–229.

Griffiths, H., U. Lüttge, K. Stimmel, C.E. Crook, N.M. Griffiths and J.A.C. Smith. 1986. Comparative ecophysiology of CAM and C_3 bromeliads. III. Environmental influences on CO_2 assimilation and transpiration. Plant, Cell Environ. 9: 385–393.

Guo, W.J. and N. Lee. 2006. Effect of leaf and plant age, and day/night temperature on net CO_2 uptake in *Phalaenopsis amabilis* var. *formosa*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 131(3): 320–326.

Guo, W.J., Y.Z. Lin and N. Lee. 2012. Photosynthetic light requirements and effects of low irradiance and daylength on *Phalaenopsis amabilis*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 137(6): 465–472.

Hartwell, J., A. Gill, G.A. Nimmo, M.B. Wilkins, G.I. Jenkins and H.G. Nimno. 1999. Phosphoenolpyruvate carboxylase kinase is a novel protein kinase regulated at the level of expression. Plant J. 20(3): 333–342.

Kasemsap, P. 2011. Biology 2. Textbook of Science and Mathematics, The Promotion of Academic Olympiad and Development of Science Education Foundation under the patronage of Her Royal Highness Princess Galyani Vadhana Krom Luang Naradhiwas Rajanagarindra, 6th Edition, Darnsutha Press Co., Ltd., Bangkok.

Liu, Y.C., C.H. Liu, Y.C. Lin, C.H. Lu, W.H. Chen and H.L. Wang. 2016. Effect of low irradiance on the photosynthetic performance and spiking of *Phalaenopsis*. Photosynthetica 54(2): 259–266.

Nose, A., K. Heima, K. Miyazato and S. Murayama. 1986. Effects of daylength on CAM type CO2 and water vapour exchange of pineapple plants. Photosynthetica 20: 20–28.

Osmond, C.B. 1978. Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context. Annu. Rev. Plant Physiol. 29(1): 379–414.

Ota, K., K. Morioka and Y. Yamamoto. 1991. Effects of leaf age, inflorescence, temperature, light intensity and moisture conditions on CAM photosynthesis in *Phalaenopsis*. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 60(1): 125–132.

Paradiso, R. and S. De Pascale. 2014. Effects of plant size, temperature, and light intensity on flowering of *Phalaenopsis* hybrids in Mediterranean greenhouses. The Scientific World Journal (Article ID 420807).

Park, J. 2018. Increasing duration and intensity of supplemental lighting during nighttime to promote growth and photosynthesis in *Cymbidium* plants. M.E. Thesis, Seoul National University.

Queiroz, O. 1974. Circadian rhythms and metabolic patterns. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 25: 115–134.

Runkle, E.S. 2007. Innovative production systems for ornamental potted plants: a case study for *Phalaenopsis* orchids. Acta Hortic. 755: 55–60.

Sekizuka, F., A. Nose, Y. Kawamitsu, S. Murayama and K. Arisumi. 1995. Effects of day length on gas exchange characteristics in Crassulacean acid metabolism plant, *Dendrobium ekapol* cv. *Panda*. Japanese J. Crop Sci. 64: 201–208.

Shen, R.S., Y.H. Liao and K.L. Huang. 2018. Orchid Cultivation in Taiwan: Conventional and Innovative Methods. Orchid Propagation: From Laboratories to Greenhouses-Methods and Protocols: 427–446.

Smith, H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. Annu. Rev. Plant Physiol. 33: 481–518.

Zheng, Y.X., C.C. Chen, Y.K. Chen and F.J. Jan. 2008. Identification and characterization of a potyvirus causing chlorotic spots on *Phalaenopsis* orchids. Eur. J. Plant Pathol. 121(1): 87–95.