

การศึกษาการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในระบบกึ่งปิด



ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพืชสวน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

การศึกษาการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในระบบกึ่งปิด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพืชสวน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชนิดกึ่งปิด

สุรนิสิต สุธไทย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพืชสวน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ สาครวาสี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา นาเทเวศน์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.ประนอม ยิ่งคำมัน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรนุช เจริญกิจ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ณณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาการผลิตเมล็ดพันธุ์กล็อกซีเนียในระบบกึ่งปิด
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุนิสา สุตไทย
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ สาครวาสี

บทคัดย่อ

กล็อกซีเนีย (*Sinningia speciosa*) เป็นไม้ดอกที่มีลักษณะดอกสวยงาม และเป็นที่ต้องการของตลาดตลอดทั้งปี การใช้ระบบโรงงานผลิตพืชที่มีการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลิตเมล็ดพันธุ์กล็อกซีเนียทำให้สามารถผลิตเมล็ดกล็อกซีเนียได้ในทุกฤดูกาลและในปริมาณมาก ทั้งนี้เมล็ดของกล็อกซีเนียนั้นมีราคาสูงจึงเหมาะต่อการผลิตในระบบโรงงานผลิตพืช งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียม ความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและผลิตเมล็ดพันธุ์ของต้นกล็อกซีเนีย จากผลการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดพันธุ์ของต้นกล็อกซีเนีย ระหว่างการปลูกภายใต้ระบบโรงเรือนพลาสติกและในระบบปิดที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ระดับ คือ 400 ppm และ 1,000 ppm ทดสอบในกล็อกซีเนีย 3 สายพันธุ์คือ 1. Avanti mix 2. Double brocade blue และ 3. Double brocade mix พบว่ากล็อกซีเนียทั้ง 3 สายพันธุ์มีแนวโน้มการเจริญเติบโตมากกว่าเมื่อปลูกภายใต้การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ 1,000 ppm และในส่วนของจำนวนเมล็ดต่อต้นพบว่ากล็อกซีเนียทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ปลูกในโรงเรือนพลาสติกมีจำนวนเมล็ดที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการปลูกภายในระบบปิดทั้งสองสภาวะ ในการทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ด พบว่าในด้านของการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดไฟ แต่การติดเมล็ดและจำนวนเมล็ดพบว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้แสง Red:Blue (2:1) ที่ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีปริมาณเมล็ดมากกว่าทุกชนิดไฟอย่างมีนัยสำคัญ และในการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดกล็อกซีเนีย ในสภาวะเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (1,000 ppm) ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีว่าในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ปกติ (400 ppm) ในทุกตำรับ ต้นที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ EC=4 mS/cm ที่สภาวะปกติ มีอาการเหี่ยวและตายก่อนตำรับอื่น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ยังส่งผลในด้านการผลิตเมล็ด โดยเฉพาะพืชที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ EC=2 mS/cm มีจำนวนเมล็ดที่มากกว่าตำรับอื่น และยังมีความแข็งแรงของเมล็ดสูงที่สุด

คำสำคัญ : กลีอกซิเนีย, เมล็ดพันธุ์, ระบบโรงงานพืช, แสงเทียม, คาร์บอนไดออกไซด์, ความเข้มข้น
ปุ๋ย



Title	THE STUDY OF GLOXINIA SEED PRODUCTION UNDER A SEMI-CLOSED SYSTEM
Author	Miss Sunisa Sudthai
Degree	Master of Science in Horticulture
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Siriwat Sakhonwasee

ABSTRACT

Gloxinia (*Sinningia speciosa*) is a flowering plant with a beautiful flower. Gloxinia seeds are in high demand throughout the year. Using an environment-optimized plant factory system, Gloxinia seeds can be produced in any season and in large quantities. Gloxinia seed is expensive, therefore its production in the plant factory is reasonable. The aim of this research is to study the influences of artificial lighting, fertilizer solution concentration, and elevated carbon dioxide on growth and seed production of Gloxinia plants. Based on the results of a study comparing the growth and production of Gloxinia seeds under a greenhouse system and in a closed system with two levels of carbon dioxide are 400 ppm and 1,000 ppm, tested in 3 cultivars of Gloxinia, namely, 1. Avanti mix 2. Double brocade blue and 3. Double brocade mix, It was found that all 3 cultivars showed higher growth when grown under CO₂ 1,000 ppm. For the numbers of seeds per plant, it was found that all 3 cultivars grown in greenhouse had the lowest seeds number compared to those grown in both closed systems. In the second experiment, the influences of artificial lighting on growth and seed production were studied. It was found that growth of gloxinia plants were not difference among different light quality. However, plants growing under Red: Blue (2: 1) light at 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ had significantly higher seeds set and seeds number per plant than other treatments. Finally, in the third experiment, the influence of fertilizer concentration and elevated carbon dioxide on growth and production of gloxinia seeds were studied. In the elevated carbon dioxide (1,000 ppm) conditions, the plants had better growth than those grown under ambient carbon dioxide conditions (400 ppm) in all treatments. However,

plants that received fertilizer at EC=4 mS/cm under ambient conditions experienced withered and died before other treatments. Moreover, the elevated carbon dioxide conditions positively affect the production of seeds, especially the plant that received the fertilizer intensity at EC=2 mS/cm, the number of seeds was higher than the other treatments and also had the highest seed vigor.

Keywords : Gloxinia, Seed, Plant factory, Artificial light, Carbon dioxide, Fertilizer concentration



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวัฒน์ สาครวาสี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการศึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ที่สุด นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา นาเทเวศน์ และอาจารย์ ดร.ประนอม ยิ่งคำมั่น อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ชี้แนะแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้ รวมไปถึงสนับสนุนทุนการศึกษาในการเรียนและให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ สาขาพืชผักที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลืออย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุนิสา สุตไทย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
ขอบเขตงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร.....	5
ลักษณะทั่วไป.....	5
อิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	6
คุณภาพแสง.....	8
ความเข้มแสง.....	9
ระบบแสงเทียม.....	9
อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	11
ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....	15
การเตรียมพืชทดลอง.....	15

วิธีการทดลอง	16
การทดลองที่ 1 การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชนิดเขียวภายใต้ระบบปิดและใน ระบบโรงเรือน.....	16
การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโต และการผลิตเมล็ด ของต้นถั่วลิสงชนิดเขียว.....	18
การทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นถั่วลิสง เขียว	19
การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์	20
การวัดระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ในใบ (Malondialdehyde content; MDA)	20
การวัดค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ	20
การวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Relative water content ; RWC)	21
การวัดค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเรียงแสงของคลอโรฟิลล์	21
การวัดเปอร์เซ็นต์ความงอก และความมีชีวิตของเรณู.....	21
การวัดเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด (Seed germination) และค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการ งอก (Mean germination time ; MGT).....	22
การวัดความแข็งแรงของเมล็ด (Accelerated Aging Test, AA).....	23
การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ	23
สถานที่ทำการวิจัย.....	23
ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย	23
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	24
ผลการทดลองที่ 1 การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชนิดเขียวภายใต้ระบบปิดและใน ระบบโรงเรือน	24
ผลการทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของ ต้นถั่วลิสงชนิดเขียว	34

ผลการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณ	
คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นถั่วลิสงเขียว. 51	
วิจารณ์ผล	70
การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงเขียวภายใต้ระบบปิดและในระบบโรงเรือน	70
อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของ ถั่ว	
ลิสงเขียว	71
อิทธิพลของคุณภาพแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของ ถั่ว	
ลิสงเขียว	72
อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ใน	
บรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นถั่วลิสงเขียว.....	73
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุปผล.....	74
ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม.....	76
ประวัติผู้วิจัย.....	88

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของธาตุอาหารในสารละลายปุ๋ย Modified Hoagland.....	16
ตารางที่ 2 แสดงแผนการทดลองการศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นกล้วยน้ำว้า.....	18
ตารางที่ 3 แสดงแผนการทดลองการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นกล้วยน้ำว้า.....	19
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว และสองทางของสภาพการเจริญเติบโต (A) และสายพันธุ์ (B) ที่มีผลต่อมวลน้ำหนักสด มวลน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นและราก ความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่ม.....	27
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวและสองทาง ของสภาพการเจริญเติบโต (A) และสายพันธุ์ (B) ที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, %RWC, MDA, ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII, และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ.....	30
ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของสภาพการเจริญเติบโต (A) และสายพันธุ์ (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพการเจริญเติบโตกับสายพันธุ์ (A x B) กับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตเมล็ด.....	33
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว และสองทางของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) ที่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต.....	38
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว และสองทางของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) ที่มีผลต่อค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซทั้ง 2 ช่วงอายุ.....	39
ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง (A x B) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII, ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, RWC, MDA, และ EL ทั้ง 2 ช่วงอายุ.....	44
ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง (A x B) ที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตเมล็ด และคุณภาพเมล็ด.....	50

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่ส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต..... 54

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่มีผลต่อค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซทั้ง 2 ช่วงอายุการเจริญเติบโต..... 58

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII, ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, RWC, MDA, และ EL ทั้ง 2 ช่วงอายุ..... 62

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่มีผลกับผลผลิตเมล็ด และคุณภาพเมล็ด MGT..... 69

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ลักษณะต้นกล้วยชี่เนียบ	5
ภาพที่ 2 ลักษณะภายในดอกกล้วยชี่เนียบ	6
ภาพที่ 3 ลักษณะของฝัก (ช้ำย) และเมล็ดของกล้วยชี่เนียบ (ขวา).....	6
ภาพที่ 4 แสดงรายละเอียดช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้	7
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของต้นกล้วยชี่เนียบทั้ง 3 พันธุ์ คือ Avanti mix, Double brocade blue และ Double brocade mix ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่แตกต่างกัน คือ สภาวะปกติ (CO ₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO ₂ (CO ₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) เป็นเวลา 120 วันหลังเพาะเมล็ด	25
ภาพที่ 6 แสดงน้ำหนักสดส่วนยอด (a) น้ำหนักสดส่วนราก (b) น้ำหนักแห้งส่วนยอด (c) และน้ำหนักแห้งส่วนราก (d) ของต้นกล้วยชี่เนียบอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตใน สภาวะปกติ (CO ₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO ₂ (CO ₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือน พลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05	26
ภาพที่ 7 แสดงความสูงของต้น (a) และความกว้างทรงพุ่ม (b) ที่ต้นอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดแต่ละ ชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO ₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO ₂ (CO ₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05.....	27
ภาพที่ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว (a) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (b) ปริมาณ MDA (c) ของ ต้นกล้วยชี่เนียบอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO ₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO ₂ (CO ₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05.....	28

ภาพที่ 9 แสดงค่า F_v/F_m (a) และค่า ϕ_{PSII} (b) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโต ในสภาวะปกติ (CO_2 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 (CO_2 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ..... 29

ภาพที่ 10 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสง (a) อัตราการนำไหลของปากใบ (b) และอัตราการระเหยของน้ำจากผิวใบ (c) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO_2 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 (CO_2 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 31

ภาพที่ 11 แสดงจำนวนตาดอกทั้งหมดต่อต้น (a) เปอร์เซ็นต์การติดฝักต่อต้น (b) และจำนวนฝักต่อต้น (c) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 150 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO_2 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 (CO_2 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 32

ภาพที่ 12 แสดงน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (a) และจำนวนเมล็ดต่อต้น (b) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 150 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO_2 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 (CO_2 1000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 33

ภาพที่ 13 แสดงความสูงต้น (a) ความกว้างทรงพุ่ม (b) จำนวนใบ (c) และความกว้างใบ (d) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด ที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ.... 34

ภาพที่ 14 แสดงลักษณะของต้นกล้วยซีเนียว ภายใต้สภาพแสงเทียมจากหลอดแอลอีดี (LEDs) 4 ชนิด ได้แก่ 6500K : 3200K (1:1), Red : Blue (2:1), 6500K (Day light), และ 3200K (Warm white) ที่ความเข้มไฟ 2 ระดับคือ 150 และ 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ เป็นเวลา 120 วันหลังเพาะเมล็ด..... 35

ภาพที่ 15 แสดงมวลน้ำหนักสดส่วนยอด (a) มวลน้ำหนักสดส่วนราก (b) มวลน้ำหนักแห้งส่วนยอด (c) และมวลน้ำหนักแห้งส่วนราก (d) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 150 วันหลังเพาะเมล็ด ที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 36

ภาพที่ 16 แสดงความยาวราก (a) และขนาดหัวใต้ดิน (b) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 37

ภาพที่ 17 แสดงลักษณะของรากต้นกล้วยซีเนียว ที่เจริญเติบโตได้คุณภาพแสงและความเข้มแสงที่ต่างกัน เป็นเวลา 150 วันหลังเพาะเมล็ด 37

ภาพที่ 18 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสง (a,b) อัตราการนำไหลของปากใบ (c,d) และอัตราการคายระเหยของน้ำในใบ (e,f) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 40

ภาพที่ 19 แสดงค่า F_v/F_m (a,b) และค่า Φ_{PSII} (c,d) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 41

ภาพที่ 20 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว (a,b) ปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบ (c,d) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 42

ภาพที่ 21 แสดงปริมาณ MDA (a,b) และร้อยละของการรั่วไหลของไอออน (c,d) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 (a, c) และ 120 (b, d) วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี

Tukey’s Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ..... 43

ภาพที่ 22 แสดงจำนวนวันก่อนดอกบานเต็มที่ของต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 45

ภาพที่ 23 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอก (a) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝัก (b) ของต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 45

ภาพที่ 24 จำนวนฝักต่อต้น (a) และเปอร์เซ็นต์การติดฝัก (b) ของต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 46

ภาพที่ 25 แสดงมวลน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (a) และจำนวนเมล็ดต่อต้น (b) จากต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 47

ภาพที่ 26 แสดงเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของละอองเรณูจากต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 48

ภาพที่ 27 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูภายใต้แสง (a), และความมืด (b) ของต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ..... 48

ภาพที่ 28 แสดงเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดปกติ (Normal seed, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (AA seed, b) ของต้นกล้วยซีเนียวที่เจริญเติบโตภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s

Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ	49
ภาพที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (Mean germination time; MGT) ของเมล็ดปกติ (Normal seed, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (AA seed, b) ของต้นถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ	49
ภาพที่ 30 แสดงมวลน้ำหนักสดส่วนยอด (a) มวลน้ำหนักสดส่วนราก (b) มวลน้ำหนักแห้งส่วนยอด (c) และมวลน้ำหนักแห้งส่วนราก (d) ของต้นถั่วเหลืองอายุ 150 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$	51
ภาพที่ 31 แสดงความยาวของราก (a) และขนาดของหัวใต้ดิน (b) ของต้นถั่วเหลืองอายุ 150 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ.....	52
ภาพที่ 32 แสดงลักษณะของรากถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตภายใต้การเพิ่มปริมาณ CO_2 2 ระดับ คือ 400 และ 1,000 ppm และระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับได้แก่ EC=1, 2, และ 4 mS/cm.....	53
ภาพที่ 33 แสดงความสูงของต้น (a) และความกว้างทรงพุ่ม (b) ของต้นถั่วเหลืองอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$	55
ภาพที่ 34 แสดงจำนวนใบ (a) และขนาดใบ (b) ของต้นถั่วเหลืองอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$	55

ภาพที่ 35 แสดงลักษณะของต้นกล้วยซีเนียวที่เจริญเติบโตภายใต้การเพิ่มปริมาณ CO₂ 2 ระดับ คือ 400 และ 1,000 ppm และระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับได้แก่ EC=1, 2, และ 4 mS/cm ที่อายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ด..... 56

ภาพที่ 36 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสง (a,b) อัตราการนำไหลของปากใบ (c,d) และอัตราการคายระเหยของน้ำจากผิวใบ (e,f) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05 57

ภาพที่ 37 แสดงค่า F_v/F_m (a,b) และค่า Φ_{PSII} (c,d) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05..... 59

ภาพที่ 38 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว (a,b) และปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบเดี่ยว (c,d) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05..... 60

ภาพที่ 39 แสดงปริมาณ MDA และร้อยละของการรั่วไหลของไอออน ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 (a,c) และ 120 (b,d) วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05 61

ภาพที่ 40 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอก (a) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝัก (b) ของต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey’s Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05..... 63

ภาพที่ 41 แสดงลักษณะของดอกที่บานเต็มที่ ของต้นกล้วยซีเนียวที่เจริญเติบโตภายใต้การเพิ่มปริมาณ CO₂ 2 ระดับ คือ 400 และ 1,000 ppm และระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับได้แก่ EC=1, 2, และ 4 mS/cm..... 64

ภาพที่ 42 แสดงจำนวนฝักต่อต้น (a) และเปอร์เซ็นต์การติดฝักต่อต้น (b) ของต้นกล้วยซีเนียวที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 64

ภาพที่ 43 แสดงน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (a) และจำนวนเมล็ดต่อต้น (b) ของต้นถั่วลิสงซีเนี่ยที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความชื้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 65

ภาพที่ 44 แสดงเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูของต้นถั่วลิสงซีเนี่ยที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความชื้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 66

ภาพที่ 45 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูภายใต้แสง (a), และความมืด (b) ของต้นถั่วลิสงซีเนี่ยที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความชื้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 66

ภาพที่ 46 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดปกติ (Normal, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (Accelerated aging, b) ของต้นถั่วลิสงซีเนี่ยที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความชื้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 67

ภาพที่ 47 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (Mean germination time; MGT) ของเมล็ดปกติ (Normal, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (Accelerated aging, b) ของต้นถั่วลิสงซีเนี่ยที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความชื้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ 68

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

กลีอกซิเนีย (*Sinningia speciosa*) เป็นพืชดอกที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศบราซิล พบครั้งแรกในปี ค.ศ.1785 ได้รับการตั้งชื่อว่า *Gloxinia speciosa* โดย Conrod Loddiges เกษตรกรชาวอังกฤษเมื่อปี ค.ศ. 1817 ต่อมาในปี ค.ศ. 1825 ถูกเปลี่ยนชื่อและจัดให้อยู่ใน genus ที่ถูกต้องคือ *Sinningia* (Kessler, 2004) กลีอกซิเนียเป็นไม้ดอกที่มีลักษณะดอกสวยงาม ได้รับความนิยมในการปลูกเป็นไม้ประดับทั้งในรูปแบบของไม้กระถางและปลูกในแปลง ในประเทศไทยนิยมปลูกเป็นไม้กระถางเพื่อนำไปประดับสถานที่ เมล็ดกลีอกซิเนียมีขนาดเล็กและเบามากโดยเมล็ดน้ำหนัก 1 กรัมมีจำนวนเมล็ดถึงประมาณ 28,000 เมล็ด (Kessler, 2004) เมล็ดพันธุ์กลีอกซิเนียหนัก 1 กิโลกรัมมีมูลค่าสูงถึง 40 ล้านบาท (บริษัท อะเมริซิด จำกัด) โดยทั่วไปจะนิยมขยายพันธุ์โดยเมล็ดพันธุ์ แต่การขยายพันธุ์โดยเมล็ดนั้นมีอัตราการตายสูง เนื่องจากเมล็ดและต้นกล้าไม่ทนต่อสภาพอุณหภูมิกลางคืนสูงและความชื้นต่ำ (Buta et al., 2011) ต้นกล้าที่ได้จากการเพาะเมล็ดจึงมีราคาสูง (Naz et al., 2001; Gill et al., 1944) นอกจากนี้ยังสามารถขยายพันธุ์ด้วยหัว และใบด้วยวิธีปักชำ แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยม (Naz et al., 2001 ; Kessler, 1999) ปัจจุบันการปลูกกลีอกซิเนียส่วนใหญ่จะทำภายในโรงเรือนกระจกและพลาสติกแต่ยังคงจะประสบปัญหาการเข้าทำลายของโรคและแมลง เช่น การเกิดโรค Botrytis Blight ที่ทำให้เกิดแผลจุดเล็กๆที่ก้านใบและแผ่ขยายไปเรื่อยๆและอาจส่งผลต่อตาดอก ทำให้ดอกเหี่ยวก่อนที่จะบาน (Kessler, 2004) และทำให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของกลีอกซิเนียไม่ดีนัก การผลิตเมล็ดพันธุ์กลีอกซิเนียต้องใช้สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิที่ต่ำและแห้งจึงจะให้คุณภาพเมล็ดที่ดี ที่ผ่านมายังไม่มีรายงานการผลิตเมล็ดพันธุ์กลีอกซิเนียในประเทศไทย

ในปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติของโลกกำลังลดน้อยลงไม่ว่าจะเป็นด้านพื้นที่ดินทำกิน ทรัพยากรน้ำ และอื่นๆ สภาวะเช่นนี้ส่งผลเสียต่อการผลิตพืชและกระตุ้นให้มีการเสาะหาทางเลือกของระบบผลิตพืชที่แตกต่างไปจากการเพาะปลูกในสภาพเปิดแบบดั้งเดิม โรงงานผลิตพืช (Plant factory) เป็นระบบผลิตพืชแบบปิดที่ใช้การเพาะปลูกพืชภายในห้องซึ่งมีการบุผนังด้วยฉนวนกันความร้อนและมีโครงสร้างคล้ายโกดังสินค้า (Kozai and Nui, 2015 ; Kozai, 2013) โรงงานผลิตพืชแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ แบบปิดโดยสมบูรณ์ (completely closed plant production system) และ แบบกึ่งปิด (semi-closed plant production system) ซึ่งในระบบกึ่งปิดจะมีลักษณะคล้าย กับโรงเรือนกระจกที่อาจมีหรือไม่มีแสงเสริม สามารถผลิตพืชชนิดเดียวได้ตลอดทั้งปี ส่วนระบบปิด จะมีการเพาะปลูกแบบซ้อนกันหลายชั้นในแนวตั้ง (Miyagi et al., 2017) ภายใน

โรงงานผลิตพืชมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง คุณภาพแสง และมีการให้สารละลายธาตุอาหาร โรงงานผลิตพืชมีการใช้ทรัพยากร เช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการปลูกในแปลงเปิด ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่และเวลาสูง ข้อดีของโรงงานผลิตพืชคือ สภาพแวดล้อมภายนอกไม่มีผลต่อการผลิตพืชในระบบเพราะมีการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในให้เหมาะสมกับพืชได้ตลอดเวลา จึงสามารถผลิตพืชได้ตลอดทั้งปีและให้ผลผลิตมากกว่าการผลิตในแปลงเปิด ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพคงที่ โรงงานผลิตพืชยังสามารถชักนำให้พืชเกิดสภาวะความเครียดทางสรีรวิทยาจากการกระตุ้นของสิ่งเร้าเทียมต่างๆ (Goto, 2012) เพื่อให้มีการผลิตสารสำคัญจากพืชได้มากขึ้น อีกทั้งสามารถควบคุมการเกิดโรคและการเข้าทำลายของแมลงได้ดีตั้งนั้นจึงช่วยลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Kozai and Nui, 2015) แต่ยังมีข้อจำกัดคือมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสูง จึงเหมาะกับการผลิตพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงเป็นหลัก (Shimizu et al., 2011)

แสงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชหลายอย่าง เช่น การสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตและรูปแบบการพัฒนาของพืช ตลอดจนผลผลิตและคุณภาพของพืช (Gajc-Wolska et al., 2013 ; Kopsell and Kopsell., 2008, Perez-Balibrea et al., 2008, Blain et al., 1987, Blom and Ingratta., 1984, Hendriks., 1992) คุณภาพแสงส่งผลอย่างมากต่อพืชตั้งแต่ระยะการงอกของเมล็ด การสร้างใบ ไปจนถึงการพัฒนาดอก (Zheng and Van Labeke, 2017 ; Demotes-Mainard et al., 2016, Johkan et al., 2012, Wang et al., 2010, Hogewoning et al., 2010) แสงเทียมเริ่มถูกนำมาใช้เพื่อขยายช่วงเวลาแสงและเพิ่มความเข้มแสงในการผลิตพืชสวนและต่อมาได้กลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปลูกพืชในโรงงานผลิตพืช การพัฒนาไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diodes หรือ LEDs) ที่มีความยาวคลื่นในช่วงสีแดงและสีน้ำเงินช่วยให้สามารถนำ LEDs มาประยุกต์ใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ เนื่องจากรงควัตถุคลอโรฟิลล์เอและบีของพืชสามารถดูดซับช่วงแสงสีแดง (430-460 นาโนเมตร) และช่วงแสงสีน้ำเงิน (630-660 นาโนเมตร) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Zheng and Van Labeke, 2017; Dutta Gupta and Jatothu, 2013)

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นวัตถุดิบของกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยพืชจะดูดซับ CO_2 ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงและปล่อย CO_2 ในระหว่างการหายใจ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ CO_2 เพียงเล็กน้อยอาจส่งผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช ความเข้มข้นของ CO_2 อาจเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้น้อยที่สุดในสภาพแวดล้อมแบบดั้งเดิมของโรงเรือน ในระบบโรงงานผลิตพืชความผันแปรของความเข้มข้นของ CO_2 ไม่ได้เกิดจากแค่เฉพาะกิจกรรมของพืช (การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ) แต่ยังรวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ด้วย เมื่อมีคนหลายคนภายในโรงงานผลิตพืช โดยไม่มีการระบายอากาศเพียงพอ ความเข้มข้นของ CO_2 สามารถเพิ่มขึ้นสูงกว่าในระดับบรรยากาศ (400 ppm) ได้หลายเท่า ในทางกลับกันหากไม่มีกิจกรรม

ของมนุษย์ความเข้มข้นของ CO₂ สามารถลดลงถึงระดับที่ต่ำมากจนไม่เหมาะสมกับการปลูกพืชระดับความผันผวนของความเข้มข้น CO₂ ภายในห้องเพาะเลี้ยงขึ้นอยู่กับปริมาณของห้องเพาะเลี้ยงกิจกรรมของมนุษย์ และกิจกรรมของพืช (Kozai and Nui, 2015) การตอบสนองของพืชต่อ CO₂ ความเข้มข้นสูงได้รับการศึกษาอย่างละเอียดและแพร่หลาย ซึ่งโดยทั่วไปเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าพืชมีการตอบสนองโดยเพิ่มความต้านทานของทานปากใบภายใต้สภาวะที่มีความเข้มข้น CO₂ สูง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Ainsworth and Rogers, 2007) การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ CO₂ ในบรรยากาศทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น และลดอัตราการนำไหลของปากใบ (Long et al., 2004)

องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารคือไอออนของธาตุอาหาร (nutrient ion) แต่ละชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับการออกแบบองค์ประกอบของธาตุอาหาร การเลือกสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อพืชควรคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของพืช ระยะการเจริญเติบโตของพืช ฤดูกาลปลูก สภาพการเจริญเติบโต (ระบบเปิดหรือปิด) ชนิดของวัสดุปลูก และคุณภาพของผลผลิตเป้าหมาย สูตรอาหารสำหรับพืชได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity หรือ EC) ซึ่งเป็นตัวแทนของความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย (Kozai and Nui, 2015) ค่าการนำไฟฟ้า ที่วัดได้โดยใช้เครื่องวัด EC เป็นตัวบ่งชี้ทางอ้อมของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ค่า EC ที่เหมาะสำหรับการปลูกพืชส่วนใหญ่ในระบบสารละลาย (สารละลายปุ๋ย) อยู่ระหว่าง 1.5-2.5 mS/cm และเมื่อค่า EC สูงขึ้นอาจมีผลทำให้การดูดซึมสารอาหารของพืชน้อยลงเนื่องจากค่าศักย์ของน้ำของสารละลายที่ต่ำลง ในขณะที่ค่า EC ที่ต่ำเกินไปก็อาจส่งผลให้พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต (Samarakoon et al., 2006 ; Anon, 2002)

สภาพอากาศร้อนขึ้นในประเทศไทยถือเป็นข้อจำกัดสำคัญในการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชิเนีย ซึ่งต้องการสภาพอากาศเย็นและแห้ง ด้วยเหตุนี้ระบบโรงงานผลิตพืช โรงงานพืชจึงถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้ผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชิเนีย งานวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชิเนีย ในระบบโรงงานผลิตพืช โรงงานพืชแบบกึ่งปิด โดยทำการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณและคุณภาพแสงเทียมจากหลอด LED และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชิเนีย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียม ความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย และการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อการเจริญเติบโตและผลิตเมล็ดพันธุ์ของต้นกล้วยฉาบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์กล้วยฉาบในโรงงานผลิตพืชแบบกึ่งปิด

ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาสภาพการผลิตเมล็ดพันธุ์กล้วยฉาบ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Double brocade blue, Double brocade mix, และ Avanti mix รวมถึงอิทธิพลของสภาพแสงเทียมจากหลอดแอลอีดี (แบบ T8 กำลังไฟ 18 W) ความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 1, 2, และ 4 mS/cm และการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ระดับ คือ 400 ppm และ 1,000 ppm ต่อการเจริญเติบโต ต้นหนทางสรีรวิทยาและผลผลิตเมล็ดพันธุ์ของต้นกล้วยฉาบ

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไป

กลีอกซีเนียเป็นไม้ล้มลุกเนื้ออ่อน ต้นสูงประมาณ 15-30 ซม. มีหัวใต้ดิน ลักษณะใบมีสีเขียวสด รูปไข่ อวบน้ำ ขอบหยักมน มีขนปกคลุมทั้งหน้าใบและหลังใบ ใบผิวกางปรกกระถาง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะต้นกลีอกซีเนีย

ดอกชูตั้งขึ้นเหนือกลุ่มใบ ดอกมีลักษณะสวยเด่น ทรงคล้ายรูประฆัง (สมเพียร, 2512) มีทั้งดอกเดี่ยวและดอกช่อหลากหลายสี (ภาพที่ 2) ตั้งแต่สีขาวบริสุทธิ์ไปจนถึงสีชมพู ลาเวนเดอร์ สีแดง สีม่วงเข้มหรือมีสองสี กลีบดอกที่มีขอบสีขาวจะเป็นที่นิยมมาก แต่สีแดงกำมะหยี่และสีม่วงเป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด (Kessler, 2004)

โดยทั่วไปแล้วสายพันธุ์ของกลีอกซีเนียแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มขนาดพันธุ์ (Buta et al., 2011) ได้แก่

1) ขนาดมาตรฐาน (standard types) อาจมีทรงพุ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ถึง 24 นิ้ว และมีตาดอกประมาณ 50 ถึง 100 ดอกต่อต้น ขนาดทรงต้นเหมาะสำหรับปลูกในกระถางขนาด 6-7 นิ้ว

2) ขนาดกะทัดรัด (compact types) อาจมีทรงพุ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ถึง 18 นิ้ว มีตาดอกประมาณ 50 ถึง 75 ดอกต่อต้น ขนาดทรงต้นเหมาะสำหรับปลูกในกระถางขนาด 5-6 นิ้ว

3) ขนาดเล็ก (minis) อาจมีทรงพุ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-10 นิ้ว มีตาดอกประมาณ 50 ถึง 75 ดอกต่อต้น ขนาดทรงต้นเหมาะสำหรับปลูกในกระถางขนาด 4-5 นิ้ว



ภาพที่ 2 ลักษณะภายในดอกกลีอกซิเนีย

เมล็ดกลีอกซิเนีย มีลักษณะยาวรูปทรงไม่สม่ำเสมอ สีน้ำตาลเข้ม มีขนาดเล็กมาก 1 ฝักมีจำนวนเมล็ดประมาณ 500-3,000 เมล็ด ฝักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นและดอก ปริมาณเมล็ด 1 ออนซ์มีประมาณ 800,000 เมล็ด (1 ออนซ์เท่ากับ 28.35 กรัมโดยประมาณ) (Kessler, 2004)



ภาพที่ 3 ลักษณะของฝัก (ซ้าย) และเมล็ดของกลีอกซิเนีย (ขวา)

อิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช

แสงคือพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งถูกกำหนดเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ารวมถึงความยาวคลื่นที่มองเห็นและมองไม่เห็น ยิ่งความยาวคลื่นสั้นเท่าไรก็ยิ่งมีพลังงานมากเท่านั้น ความยาวคลื่นแสงที่มนุษย์มองเห็นมีตั้งแต่ประมาณ 380 ถึง 780 นาโนเมตร แสงที่มองเห็นได้นั้นมีความสำคัญต่อพืช เพราะเป็นช่วงคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง (PAR, 400-700 นาโนเมตร) สำหรับรังสีแสงอาทิตย์ 97% อยู่ในช่วง 280-2800 นาโนเมตร ซึ่ง 43% เป็นแสงที่มองเห็นได้ มีประโยชน์สำหรับการ

เจริญเติบโตของพืช อีก 4% เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตและ 53% เป็นอินฟราเรดซึ่งทำให้เกิดความร้อน (Kozai et al., 2016)

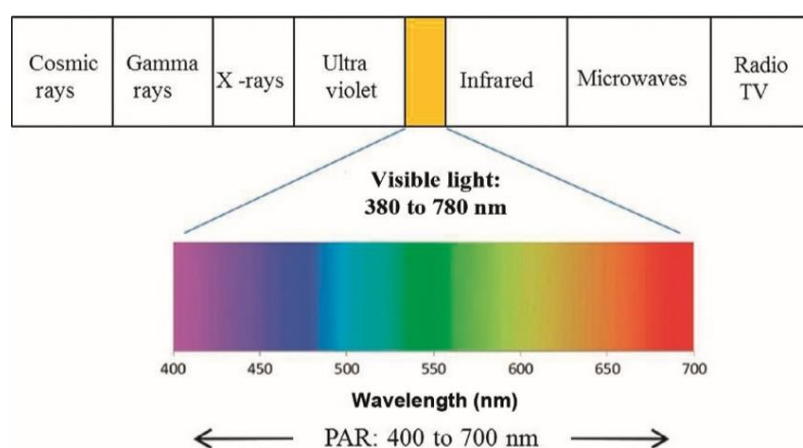
แสงมีคุณสมบัติของทั้งคลื่น (wave) และอนุภาค (particles) ในกรณีของคำอธิบายเชิงควอนตัม พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์จะถูกมองเห็นเป็นกระแสของอนุภาคที่มีพลังงานเรียกว่าควอนตา (quanta) (เอกพจน์ : ควอนตัม) แต่ละควอนตัมของแสงหรือ โฟตอน (photon) มีพลังงานปริมาณพลังงานไม่ต่อเนื่อง พลังงานของโฟตอนเดียวเท่ากับค่าคงตัวของ Planck's, h (6.626×10^{-34} Joule s) คูณด้วยความถี่ของรังสี ν , ในรอบต่อวินาที (s^{-1}) ดังสมการที่ 1

$$\text{สมการที่ 1} \quad E = h\nu$$

ดังนั้นแสงแต่ละสี (ความยาวคลื่น) มีพลังงานไม่เท่ากัน พลังงานของโฟตอนที่ความยาวคลื่นเฉพาะสามารถอธิบายตามสมการที่ 2

$$\text{สมการที่ 2} \quad E = hc/\lambda$$

โดยที่ c คือ ความเร็วของแสง (3.0×10^8 m s^{-1}) และ λ คือ ความยาวคลื่น (m) สมการความสัมพันธ์นี้บ่งชี้ว่าปริมาณพลังงานของแสงจะแปรผกผันกับความยาวคลื่น โดยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานของอนุภาคมากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว ตัวอย่างเช่น โฟตอน 1 โมลของแสงสีน้ำเงิน 490 นาโนเมตร มีพลังงาน 240 kJ ในขณะที่ โฟตอน 1 โมลของแสงสีแดง 700 นาโนเมตร มีเพียง 170 kJ (Buchanan et al., 2015)



ภาพที่ 4 แสดงรายละเอียดช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้

ที่มา : Kozai, et al., 2016

ในเซลล์พืชสีเขียวที่สังเคราะห์แสงได้จะประกอบไปด้วยรงควัตถุจำพวก คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำหน้าที่สำคัญในการดูดกลืนแสงและกระตุ้นปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบมากในพืชและมีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ และบี เป็นต้น คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงคลื่นต่างๆของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย ในพืชพบว่าคลอโรฟิลล์เอดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 680 และ 760 นาโนเมตรได้ดีที่สุด โดยเป็นองค์ประกอบของโปรตีนเชิงซ้อนศูนย์กลางปฏิกิริยาที่เรียกว่า P_{680} และ P_{760} ตามลำดับ สำหรับคลอโรฟิลล์บีสามารถดูดกลืนแสงได้ดีในหลายความยาวคลื่น ได้แก่ 480 640 และ 650 นาโนเมตร ในพืชชั้นสูงจะพบคลอโรฟิลล์เอและบี มาก ส่วนในพืชชั้นต่ำจะพบคลอโรฟิลล์ชนิดอื่นๆ และรงควัตถุ เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) และ ไฟโคอีริทริน (phycoerythrin) อยู่มาก ซึ่งรงควัตถุเหล่านี้สามารถดูดกลืนแสงและผ่านพลังงานแสงไปยังคลอโรฟิลล์เอ ทำให้คลอโรพลาสเทียเกี่ยวพลังงานแสงซึ่งคลอโรฟิลล์เอไม่สามารถดูดกลืนไว้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอไม่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพทุกช่วงคลื่น (Mohr, H., and Schopfer, P. 1995).

สภาพแสง (คุณภาพแสง, ความเข้มแสง, และช่วงแสง) เป็นหนึ่งในตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดในการควบคุมการเจริญเติบโต การพัฒนา และการสะสมสารพิษเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับพืชที่ผลิตในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม การพัฒนาเทคโนโลยีไดโอดเปล่งแสง (LED) ทำให้การควบคุมสภาพแวดล้อมแสงในโรงงานผลิตพืช เช่น คุณภาพแสง ความเข้มแสง และช่วงแสง มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Bian et al., 2016)

คุณภาพแสง

โมเลกุลตัวรับแสง (photoreceptors) ของพืชเช่น phytochromes (red and far-red), cryptochromes (blue and ultraviolet-A), phototropins (blue and ultraviolet-A) and UVR8 (ultraviolet-B) มีบทบาทสำคัญในการตอบสนองของเซลล์พืชต่อแสงในช่วงคลื่นต่างๆ การกระตุ้นโมเลกุลตัวรับแสงเหล่านี้ทำให้เกิดการส่งสัญญาณผ่านเส้นทางที่หลากหลายนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา (photomorphogenesis) (Carvalho et al., 2011) โดยทั่วไปแล้วแสงสีแดง (Red) (600-700 นาโนเมตร) และสีน้ำเงิน (Blue) (400-500 นาโนเมตร) จะถูกดูดซับได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยคลอโรฟิลล์ และถือเป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการสังเคราะห์แสง (Son et al., 2016 ; McCree, 1972) แสงสีแดงกระตุ้นไฟโตโครม (โปรตีนที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ได้สองรูปแบบ คือ P_r ซึ่งดูดซับแสงสีแดง และ P_{FR} ซึ่งดูดซับแสงสีแกล) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการต่างๆในพืช เช่น การงอกของเมล็ด การติดผล และการพัฒนาของตาดอก แสงสีฟ้าซึ่งรับรู้โดยตัวรับแสง cryptochromes และ phototropins มีส่วนช่วยในกระบวนการพัฒนาลักษณะ

ทางสัณฐานวิทยา (morphogenesis) การเกิดตาดอก (flower bud formation) การเบนตามแสง (phototropism), การเคลื่อนที่ของคลอโรพลาสต์ (chloroplast movement) และการเปิดปากใบ (Son et al., 2012)

ความเข้มแสง

ความเข้มแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช พืชที่เจริญเติบโตในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยมักไวต่อการถูกยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง (photoinhibition) มากกว่าพืชที่เจริญเติบโตในสภาวะที่มีความเข้มแสงสูง (Fan et al., 2013 ; Long et al., 1994) โดยปกติแล้วการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (Net Photosynthesis หรือ P_n) มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสง อย่างไรก็ตามความเข้มแสงที่สูงเกินไปก็อาจส่งผลให้เซลล์พืชเสียหาย และมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงได้เช่นกัน (Fan et al., 2013 ; Bowes et al., 1971 ; Khatib and Paulsen, 1989) พืชมีการพัฒนากลไกจำนวนมากรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาในระดับของใบ เพื่อปรับสภาพของใบให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของแสงที่หลากหลาย (Zhang et al., 2003) ระดับความเข้มแสงต่ำอาจนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักของใบ (specific leaf area, SLA) และความสูงของพืช การปรับตัวเหล่านี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับพลังงานแสงให้พอต่อความต้องการของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช (Steinger et al., 2003) ระดับความเข้มแสงสูงมีความสัมพันธ์กับลักษณะของสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยา (morpho-physiological) หลายประการ เช่น การลดลงของอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักของใบ (specific leaf area, SLA) เพื่อปกป้องพืชจากการได้รับความเข้มแสงสูง เพิ่มความหนาใบจากปริมาณของชั้นหรือการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อแพลลิสเซด (palisade tissue) โดยการพัฒนาเชิงลึกของชั้น spongy ซึ่งกลไกเหล่านี้ป้องกันหรือบรรเทาความเสียหายที่เกิดจากพลังงานแสงมากเกินไป ความเข้มแสงที่เหมาะสมสามารถส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงและเพิ่มการสะสมของวัตถุดิบสำหรับสังเคราะห์ด้วยแสง ในขณะที่ยังคงรักษาความเสียหายต่อระบบแสงที่สองของพืช (PSII) ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงลดลง (การยับยั้งการสังเคราะห์แสง) ซึ่งส่งผลกระทบต่อพืชอย่างเห็นได้ชัดในด้านการเจริญเติบโตและการพัฒนา (Fan et al., 2013)

ระบบแสงเทียม

ในอดีตหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเทียม แต่ปัจจุบันหลอด LED (light-emitting diode) เป็นที่นิยมและมีการใช้ในโรงงานมากขึ้น เนื่องจาก LEDs มีข้อดีหลายประการ เช่น ความสะดวกในการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบสเปกตรัมแสงให้เป็น

ไปตามที่ผู้ใช้งานต้องการหรือตรงตามความต้องการของพืช ประสิทธิภาพในการผลิตแสงสูงมากแต่ปล่อยความร้อนออกมาน้อยเมื่อมีการระบายความร้อนอย่างเหมาะสม และมีอายุการใช้งานที่นาน LEDs ยังมีข้อดีกว่าหลอดไฟปัจจุบันตรงที่ไม่มีองค์ประกอบของสารปรอท ในช่วงกลางปี ค.ศ. 1980 เริ่มมีการใช้ LEDs เป็นแหล่งกำเนิดแสงและพัฒนาระบบแสงใหม่เพื่อใช้ในระบบปลูกพืชที่ออกแบบมาสำหรับใช้ในการวิจัยบนกระสวยอวกาศและสถานีอวกาศ (Morrow, 2008)

ปัจจัยของแสงที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเติบโตของพืชมีดังนี้

- 1) คุณภาพแสง คือช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ให้แก่พืช
- 2) ความเข้มแสงและผลรวมของแสง (light integral) (PPF สะสม, photosynthetic photon flux) เปรียบเทียบกับความต้องการของพืชและวัตถุประสงค์ในการปลูก
- 3) ระยะเวลาการให้แสงต่อวัน (ช่วงแสง) ระยะเวลาการให้แสงแก่พืชซึ่งมีผลต่อกระบวนการ photomorphogenesis เช่น การออกดอก
- 4) ทิศทางของแสง การวางตำแหน่งแสงไม่ว่าจะด้านบน ภายในของทรงพุ่มหรือทั้งสองตำแหน่ง การปรับทิศทางแสงให้กระจายถูกใบพืชอย่างเหมาะสมทุกใบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชและลดการตอบสนองการหลีกเลี่ยงร่มเงาของพืช (shade-avoidance) (Dorais, 2003 ; Moe, 1997)

LEDs มีบทบาทสำคัญในการให้แสงสว่างแก่พืชสวน รวมถึงการวิจัยที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น การใช้ LEDs ในการให้แสงสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และแสงเสริมสำหรับโรงเรือน LED สำหรับการเพาะปลูกพืชส่วนใหญ่ในปัจจุบันประกอบด้วยไฟสีแดงและสีน้ำเงิน เนื่องจากสเปกตรัมเหล่านี้ถูกดูดซับโดยใบพืชเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามการขาดแสงสีเขียวอาจเป็นผลเสียต่อการผลิตพืช ในด้านของทรงพุ่มและขนาดใบ เนื่องจากแสงสีเขียวสามารถส่องทะลุผ่านทรงพุ่มของพืชได้ดีขึ้นและเป็นไปได้ว่าสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชโดยการสังเคราะห์แสงเพิ่มจากใบที่อยู่ด้านล่างของทรงพุ่ม (Kang et al., 2016) นอกจากนี้ Son et al., (2016) กล่าวว่า แสงในช่วงความยาวคลื่นทั้งสีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียวของหลอด LED เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักกาดหอม ไฟ LED เสริมสีขาว อาจเหมาะสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดแสงเชิงพาณิชย์มากกว่าไฟ LED สีเขียว จากการศึกษาของ Han et al., (2017) เกี่ยวกับอิทธิพลของคุณภาพแสง LED 7 ตำรับซึ่งประกอบด้วย 1แสงสีน้ำเงิน (SB) 2แสงสีแดงกว้าง+สีน้ำเงิน (BRB) 3แสงสีแดง+สีเหลือง+สีน้ำเงิน (RYB) 4แสงสีขาวกว้าง (BW) 5แสงสีแดง (SR) 6แสงสีแดง+สีน้ำเงิน (SRB) และ 7แสงสีขาวแคบ (NW) ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม พบว่า จำนวนใบมีอัตราการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าปกติภายใต้แสง RYB และพื้นที่ใบขยายตัวได้เร็วขึ้นภายใต้แสง RYB แสง SR และแสง BRB เมื่อเทียบกับแสงในตำรับอื่นๆ แสงสีแดงก่อให้เกิดการยืดตัวของ hypocotyl และการขยายตัวในใบเลี้ยง

ต้นกล้า แต่แสงสีน้ำเงินจะยับยั้งการยืดตัวของ hypocotyl พื้นที่ใบของผักกาดหอมภายใต้แสง RYB มีขนาดเป็นเป็น 2.4 เท่าของต้นที่อยู่ภายใต้แสง SRB ซึ่งเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันกับน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และอัตราการสังเคราะห์แสง แต่ Lin et al., (2013) ได้ทำการศึกษาพบว่า การปลูกผักกาดหอมในระบบไฮโดรโพนิกส์ภายใต้แสง RBW (Red+Blue+white) ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ คือมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมากและปริมาณไนเตรตต่ำ ในขณะที่เดียวกันก็ส่งเสริมการเจริญเติบโตในพืชให้มือน้ำหนักสดมากกว่าต้นปลูกภายใต้แสง RB รายงานของ Goins et al. (1997) ได้ศึกษาลักษณะสัณฐาน การสังเคราะห์แสงและผลผลิตเมล็ดของต้นข้าวสาลีภายใต้ระดับโฟตอนของแสงสีน้ำเงินที่แตกต่างกันที่ PPF คงที่ ($350 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ทำการเปรียบเทียบหลอดฟลูออเรสเซนต์ Daylight LED สีแดงเพียงอย่างเดียว LED สีแดง + สีน้ำเงิน 1% และ LED สีแดง + สีน้ำเงิน 10% พบว่าภายใต้ไฟ LED สีแดงเพียงอย่างเดียวพืชจะแตกกอน้อยลงและมีผลผลิตของเมล็ดพันธุ์ลดลง ชีวมวลและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแสงสีน้ำเงินสูงขึ้น ข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้ LED สีแดง + สีน้ำเงิน 10% มีชีวมวลและผลผลิตเมล็ดเกือบเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ Daylight โดยสรุปข้าวสาลีสามารถผลิตเมล็ดภายใต้ LED สีแดงเพียงอย่างเดียวได้ แต่ก็ต้องการแสงสีน้ำเงินเสริม ($30 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์อย่างมีคุณภาพ (Goto. 2003)

อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพืช

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์แสงและมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช ในการตรึง CO_2 ให้อยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรตซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้น CO_2 ในอากาศจะต้องแพร่ผ่านรูปากใบ (stomatal pores) และผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular airspaces) เข้าสู่เซลล์และคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ในท้ายที่สุด เส้นทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุล CO_2 เป็นผลมาจากการไล่ระดับความเข้มข้น (concentration gradient) ปากใบถูกล้อมรอบด้วยเซลล์คุม (guard cells) 2 เซลล์ และเซลล์คุมเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงความเต่ง (turgor) ตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆได้ การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้สังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต เกิดขึ้นโดยเอนไซม์ RuBisCO (Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase / oxygenase) ในสโตรมา (stroma) ของคลอโรพลาสต์ CO_2 จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตและซูโครสและ/หรือแป้ง (Kozai et al., 2016)

ตามปกติแล้วในบรรยากาศมี CO_2 อยู่ประมาณ 0.03-0.04 เปอร์เซ็นต์และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจากกิจกรรมของมนุษย์ (Oguchi et al., 2016) ในปัจจุบันมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเกี่ยวกับอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช เมื่อมีปริมาณแสงเพียงพอ ความเข้มข้นของ CO_2 ที่สูงขึ้นจะสนับสนุน

อัตราการสังเคราะห์แสงให้สูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากความเข้มข้นของ CO₂ ต่ำ ก็จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงในพืชต่ำลงด้วย (Taiz and Zeiger, 2010)

การเพิ่มปริมาณ CO₂ นั้นเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในทางพืชสวน และในระบบโรงงานพืช Kimball (1986) รายงานผลกระทบของการเพิ่มปริมาณ CO₂ ในเรือนกระจก โดยพบว่าพืชในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative stage) มีการตอบสนองต่อการเพิ่มปริมาณ CO₂ เช่น การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพ ที่เด่นชัดมากกว่าในระยะการสืบพันธุ์ของพืช (reproductive stage) จากรายงานของ Sreeharsha et al., (2015) ซึ่งทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและการเจริญเติบโตในถั่วมะแฮะ (Pigeon pea) ที่ภายใต้การเพิ่ม CO₂ ที่ระดับความเข้มข้น 550 ppm เปรียบเทียบกับสภาพต้นที่ปลูกภายใต้ CO₂ ระดับปกติที่ความเข้มข้น 395 ppm พบว่าต้นพืชมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยพืชที่ปลูกภายใต้การเพิ่ม CO₂ ที่ระดับความเข้มข้น 550 ppm มีขนาดลำต้น ขนาดราก ขนาดปล้อง จำนวนปล้องและจำนวนฝัก มากกว่าต้นที่ปลูกภายใต้ CO₂ ระดับปกติ อีกทั้งยังพบว่าสารอาหาร เช่น แป้ง ในต้นที่ปลูกภายใต้การเพิ่ม CO₂ นั้นมีปริมาณที่สูงกว่าต้นที่ปลูกในระดับ CO₂ ปกติ เช่นเดียวกันกับ Zhang et al., (2012) ที่ทำการศึกษาใน ต้นเทียนนิวกินีพบว่าการเพิ่มปริมาณ CO₂ ที่ความเข้มข้น 760 ppm ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านลำต้น จำนวนใบ และพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น และยังช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง, ปริมาณน้ำตาลและแป้งที่ละลายน้ำได้ ในการศึกษาการเพิ่มปริมาณ CO₂ ในดอกกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิส พันธุ์ Fuller's Pink Swallow ที่ให้ความเข้มข้นของ CO₂ สูงถึง 1600 - 2400 ppm พบว่าทำให้การเจริญเติบโตของต้นเพิ่มขึ้น แต่หากได้รับ CO₂ ที่ความเข้มข้นสูงในระยะเวลานานจะส่งผลเสียต่อการพัฒนาดอก โดยเกิดการแห้งของตาดอกซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความสามารถของส่วนที่รับเอาชีวมวลมาสะสม (sink strength) หรือ carbon limitation ระหว่างใบและตาดอก โดยทั่วไปศักยภาพของพืชในการตอบสนองต่อระดับ CO₂ ที่เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะทางสรีรวิทยา เช่น ประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนและน้ำ และความสามารถในการสังเคราะห์แสง ปริมาณ CO₂ ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชจึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ทั้งนี้การให้ CO₂ ที่ความเข้มข้นมากเกินไปก็อาจส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืชได้ (Kim et al., 2017)

เมื่อ CO₂ สูงขึ้นผลผลิตจากการสืบพันธุ์ เช่น จำนวนดอก, ผล, และเมล็ดพืชโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเป็นประโยชน์ของทรัพยากรที่สูงขึ้น (Ward and Strain, 1999) Garbutt และ Bazzaz (1984) ศึกษาประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ของ *Phlox drummondii* และ *Abutilon theophrasti* และสังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอัตราส่วนการสืบพันธุ์ นั่นคือจำนวนดอกที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักแห้งสุดท้ายของพืชทั้งสองชนิดที่ระดับ CO₂ สูง การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของผลและน้ำหนักเมล็ดยังพบได้ใน *Datura stramonium* และ *A. theophrasti* ที่เติบโตภายใต้ CO₂

สูงตามลำดับ ยังมีรายงานที่คล้ายกันเกี่ยวกับผลผลิตของการสืบพันธุ์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มปริมาณ CO₂ โดย Curtis et al (1994). ศึกษาใน *Raphanus raphanistrum* เมื่อปลูกที่ระดับ CO₂ สูง ใน Open Top Chamber (OTC) พบว่าทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของจำนวนดอก 22% และจำนวนเมล็ด 13% Jablonski et al. (2002) รายงานว่าจำนวนดอก ผล และมวลน้ำหนักแต่ละเมล็ดมีจำนวนเพิ่มขึ้นขึ้น (+ 4%) แต่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ด (seed nitrogen concentration) มีปริมาณที่ต่ำกว่าในพืช 79 ชนิดที่ใช้ทดสอบในการเพิ่มปริมาณ CO₂ ในทำนองเดียวกัน Zhang et al. (2012) สังเกตเห็นจำนวนดอกที่เพิ่มสูงขึ้นต่อต้านใน *Impatiens* sp. คิดเป็น 72.18% พบว่าใน *Triticum aestivum* ที่ปลูกใน FACE (free air CO₂ enrichment) มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเมล็ด และเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดข้าว 8% และ 5% ตามลำดับ (Fernando et al., 2012) Vanaja et al. (2010) รายงานการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของผลผลิตเมล็ด (grain yield) จำนวนฝัก จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดของ *Canjanus cajan* เมื่อปลูกในสภาพที่มี CO₂ เพิ่มขึ้น 700 ppm ใน OTC (Vanaja et al., 2010) Chakraborty and Uprety (2012) รายงานน้ำหนักของเมล็ดที่เพิ่มขึ้นใน *Brassica juncea* ด้วยการเพิ่มปริมาณ CO₂ ใน OTC ในทำนองเดียวกัน Uprety et al., (2009) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเมล็ดพืชใน *Triticum monococcum*, *Triticum durum*, และ *Triticum aestivum* ที่ CO₂ สูง (Sharma et al., 2014)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

การจัดการธาตุอาหารในระหว่างการปลูกพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณภาพและปริมาณผลผลิต การปลูกพืชในระบบไร้ดินถือเป็นแนวทางที่ช่วยให้สามารถควบคุมธาตุอาหารพืชได้อย่างแม่นยำ (Falvo et al., 2009) การกำหนดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) ของสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิดเป็นสิ่งจำเป็นในการได้มาซึ่งผลผลิตพืชในปริมาณและคุณภาพสูงสุด ค่า EC สะท้อนถึงความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดในสารละลายธาตุอาหาร และมีผลต่อการดูดซึมของธาตุอาหาร การเจริญเติบโตของพืช ผลผลิต และคุณภาพของพืช (Chang et al., 2011) ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่แนะนำถูกแสดงเป็นค่าการนำไฟฟ้า (EC, mS/cm) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตผักรับประทานผลให้มีคุณภาพสูง เช่น มะเขือเทศ (Schwarz et al., 2002) ระบบการปลูกพืชไร้ดินที่ผลิตผักใบมักใช้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ EC ตั้งแต่ 1.5 ถึง 2.5 mS/cm ค่า EC ที่สูงเกินไปอาจยับยั้งการดูดซึมสารอาหาร ขณะที่ EC ต่ำอาจส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การจัดการของ EC ที่เหมาะสมในสารละลายธาตุอาหารสามารถเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปรับปรุงคุณภาพการเพาะปลูก ระดับ EC ยังมีผลต่อรสชาติและคุณภาพของพืช เช่น คุณภาพภายนอก (ผลผลิตและความแน่นเนื้อ) คุณภาพภายใน (ของแข็งและกรดที่ละลายได้ซึ่งบ่ง

บอกถึงรสชาติ) คุณค่าทางโภชนาการ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และกลิ่นหอมระเหย (Austin et al., 2016) ในการปลูกพืชโดยใช้สารละลายธาตุอาหาร ความถี่ของการให้น้ำและปริมาณของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมกับพืชนั้นมีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก การชะล้างส่วนของสารละลายธาตุอาหารมีผลต่อระดับ EC ในบริเวณราก (root zone) ดังนั้นการตรวจสอบสารละลายธาตุอาหารจึงมีความสำคัญอย่างมากเพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของความเค็มในบริเวณรอบรากพืช (rhizosphere) การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าความเค็มที่สูงส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการเพาะปลูก เนื่องมาจากการลดลงของ water availability (น้ำในดินที่อยู่ในระดับที่มีประโยชน์ต่อพืช) และ water uptake (การดูดซึมน้ำของพืช) ความผิดปกติที่เกิดจากความเค็มนั้นสัมพันธ์กับการได้รับไอออนเช่น Na^+ Cl^- ในปริมาณมากเกินไป หรือความไม่สมดุลของสารอาหาร การชะลอการดูดซึม (competitive uptake) การขนส่งสาร หรือการแบ่งสัดส่วนพลังงานภายในพืช (Eltez et al., 2000)

ผลกระทบของเกลือต่อพืชเกิดจากการทำงานร่วมกันที่ซับซ้อนระหว่างกระบวนการทางสรีรวิทยา สรีรวิทยาและชีวเคมี หนึ่งใน การตอบสนองแรกๆ ของพืชต่อความเค็มคืออัตราการเจริญเติบโตของใบลดลง ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากแรงดันออสโมติกของเกลือรอบ ๆ รากซึ่งนำไปสู่การลดลงของการดูดซึมน้ำเพื่อส่งไปยังเซลล์ใบ ความเข้มข้นของเกลือในบริเวณรากที่สูงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของราก ลดประสิทธิภาพการทำงานของรากในกระบวนการต่างๆ เช่น การยึดพื้นดิน (anchorage) และ การดูดน้ำและเกลือแร่ (abrorption) (Munns & Tester, 2008 ; Alarcón et al., 1993 ; Matsuda & Riazi, 1981) การลดลงของพื้นที่ใบอาจเกิดจากการลดลงของความต่งในใบซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผนังเซลล์หรือการลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสง จากผลการทดลองของ Cassaniti et al., (2009) แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของความเค็มทำให้น้ำหนักแห้งส่วนต้นและพื้นที่ใบลดลงอย่างชัดเจน ทั้งในพืชที่อ่อนไหวและทนทานต่อความเค็ม เช่น *Cotoneaster lacteus* และ *Eugenia myrtifolia* ตามลำดับ การตอบสนองทั่วไปอีกอย่างต่อระดับความเค็มที่สูงคือการเพิ่มขึ้นของความหนาใบ เกิดจากการลดลงของการยืดขยายของเซลล์และการแบ่งตัวในใบทำให้ขนาดใบลดลงส่งผลให้พื้นที่ใบลดลง เช่นในพืช *Coleus blumei* และ *Salvia splendens* (Cassaniti et al., 2012).

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมพืชทดลอง

เพาะเมล็ดถั่วลิสงชนิดเขียวจากบริษัท อะเมริซีดี อินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ในกล่องที่มีพีทมอส (Klasmann-Deilmann GmbH, Germany) เป็นวัสดุเพาะ เป็นระยะเวลา 10 วัน จากนั้นย้ายต้นกล้าถั่วลิสงชนิดเขียวลงถาดหลุมเพาะกล้าในวัสดุปลูกซึ่งประกอบด้วยขุยมะพร้าวละเอียด ทราย และ พีทมอส ในอัตราส่วน 3:1:1 จากนั้นนำวัสดุทั้งหมดไปผสมกันโดยใช้เครื่องมือไฟฟ้า ระหว่างผสมพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช คาริสม่า (Propamocarb 72%) (บริษัท ไอ ซี พี ลัดดา จำกัด, ประเทศไทย) ความเข้มข้น 2 มิลลิลิตรต่อลิตร และ ไฟซาน (PHYSAN 20) (Maril Products, Inc. United States) ความเข้มข้น 3 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยพ่นสารละลายดังกล่าวลงบนวัสดุปลูกในขณะที่กำลังผสมอยู่ในเครื่องมือในอัตราส่วนสารละลาย 1 ลิตร ต่อปริมาตรวัสดุปลูก 10 ลิตร ต้นกล้าถั่วลิสงชนิดเขียวจะถูกปลูกในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C ภายใต้แสงเทียมจากหลอดแอลอีดีแบบ T8 กำลังไฟ 18 W ที่มีอุณหภูมิสี 6500K และ 3000K (อัตราส่วน 1:1) ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ โดยให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน และให้สารละลายปุ๋ย Modified Hoagland (Epstein and Bloom., 2005) (ตารางที่ 1) ความเข้มข้น 0.5 เท่า เป็นเวลา 30 วัน หลังจากเพาะเมล็ด จากนั้นย้ายต้นกล้าลงในกระถางขนาด 3 นิ้ว และเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยเป็น 1 เท่า เป็นเวลา 20 วัน เมื่อต้นกล้ามีอายุ 60 วันหลังจากเพาะเมล็ดทำการย้ายต้นกล้าลงในกระถางขนาด 6 นิ้วก่อนจะย้ายเข้าปลูกภายใต้สภาพการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของธาตุอาหารในสารละลายปุ๋ย Modified Hoagland

ธาตุอาหาร	g/l
สารละลาย A (100X)	
KNO ₃ (Yara Krista-K, Yara Company Ltd; Haifa, Haifa chemicals Ltd.)	61.8
Fe EDTA (Librel-Fe-Lo, Wesco Chemicals Thailand Co.)	2.9
CaNO ₃ (Yara Liva Calcium Nitrate, Yara Co. Ltd. Thailand.)	86.5
สารละลาย B (100X)	
NH ₄ H ₂ PO ₄ (Smart-MAP, Y.V.P Fertilizer Ltd.)	23.
MgSO ₄ (สามต้นไม้ Y.V.P Fertilizer Ltd.)	24.4
H ₃ BO ₃ (Rci Labscan, Rci Labscan Ltd.)	1.53
MnCl ₂ (Univar, Ajax Finechem Pty Ltd.)	0.4
ZnSO ₄ (Rci Labscan, Rci Labscan Ltd.)	0.57
CuSO ₄ (Merck, Genius science co. Ltd.)	0.12
NaMoO ₄ (Carlo Erba reagent, Farmitalia Carlo Erba.)	0.12
KCl (Univar, Ajax Finechem Pty Ltd.)	0.86

ที่มา : Epstein and Bloom, 2005

วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชนิดเขียวภายใต้ระบบปิดและในระบบโรงเรือน

ทำการศึกษเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงชนิดเขียว 3 สายพันธุ์คือ 1. Double brocade blue 2. Double brocade mix และ 3. Avanti mix ต้นถั่วลิสงชนิดเขียวทั้งหมดถูกปลูกและเจริญเติบโตภายใต้ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียสนาน 60 วัน จากนั้นแบ่งต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันออกเป็นสามส่วน โดยส่วนที่หนึ่งย้ายปลูกในโรงเรือน ส่วนที่สองย้ายปลูกในห้องที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับบรรยากาศปกติ (ประมาณ 400 ppm) และอีกส่วนหนึ่งย้ายปลูกในห้องที่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับ 1,000 ppm ในเวลา 05.00 -12.00 น. โดยทั้งสองสภาวะภายในระบบปิดจะให้แสงเทียมสีขาวจากหลอดแอลอีดี (แบบ T8 กำลังไฟ 18 W) ที่มีอุณหภูมิสี 6500K (cool white) และ 3200K (warm white) อัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มแสง 150 μmol/m²/s นาน 16/8 ชั่วโมง (กลางวัน/กลางคืน)

ทำการบันทึกข้อมูลในเดือนที่ 3 หลังจากเพาะเมล็ดได้แก่ 1. ความสูงของต้น 2. ความกว้างทรงพุ่ม 3. จำนวนดอก 4. วันที่ดอกบาน 5. จำนวนฝัก/ต้น 6. ปริมาณคลอโรฟิลล์ 7. ปริมาณ Malondialdehyde (MDA) ในใบ 8. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Relative Water Content หรือ RWC) 9. การทำงานของกระบวนการสังเคราะห์แสงและแลกเปลี่ยนก๊าซ (net photosynthetic rate ; A , Stomata conductance ; g_s , transpiration rate ; E) 10. ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ได้แก่ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง (F_v/F_m) และ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองในสภาวะมีแสง (ϕ_{PSII}) จากนั้นเก็บเมล็ดกลีอกซีเนียวในแต่ละตำรับที่มีอายุหลังผสมเกสร 30-35 วัน ส่วนน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นจะทำการบันทึกข้อมูลในเดือนที่ 5 หลังจากเพาะเมล็ด



การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโต และการผลิต เมล็ดของต้นกล้วยขีเหนียว

เตรียมต้นกล้วยขีเหนียวพันธุ์ Double brocade blue โดยต้นกล้วยขีเหนียวถูกปลูกและเจริญเติบโตภายใต้ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียสบนาน ที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับบรรยากาศปกติ (ประมาณ 400 ppm) ให้แสงเทียมสีขาวจากหลอดแอลอีดี (แบบ T8 กำลังไฟ 18 W) ที่มีอุณหภูมิสี 6500K (cool white) และ 3200K (warm white) อัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มแสง $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ นาน 16/8 ชั่วโมง (กลางวัน/กลางคืน) จากนั้นนำต้นกล้วยขีเหนียวอายุ 1 เดือนย้ายปลูกภายใต้คุณภาพแสงที่แตกต่างกัน 4 แบบ (ตารางที่ 2) ที่ความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ คือ 150 และ $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ รวมทั้งหมดเป็น 8 ตำรับ ตำรับละ 6 ซ้ำ (กระถาง) โดยให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน และให้สารละลายปุ๋ย Modified Hoagland ความเข้มข้น 0.5 เท่า เป็นเวลา 30 วัน หลังย้ายปลูก

หลังจากต้นมีอายุ 2 เดือนหลังย้ายปลูก ทำการบันทึกข้อมูลได้แก่ 1. ความสูงของต้น 2. ความกว้างทรงพุ่ม 3. ปริมาณคลอโรฟิลล์ 4. ปริมาณ MDA 5. ปริมาณ RWC 6. การทำงานของกระบวนการสังเคราะห์แสงและแลกเปลี่ยนก๊าซ 7. ประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์แสง และเมื่อต้นกล้วยขีเหนียวเริ่มออกดอกจะทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม 1. จำนวนดอก 2. วันที่ดอกบาน 3. การมีชีวิตของละอองเรณู และทำการผสมดอกจากนั้นบันทึกข้อมูลจำนวนฝัก/ต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้น

ตารางที่ 2 แสดงแผนการทดลองการศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นกล้วยขีเหนียว

ตำรับ	ชนิดแสงไฟ	ความเข้มแสง ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
1	6500K : 3200K (1:1)	150
2	Red : Blue (2:1)	
3	6500K (Day light)	
4	3200K (Warm white)	
5	6500K : 3200K (1:1)	200
6	Red : Blue (2:1)	
7	6500K (Day light)	
8	3200K (Warm white)	

การทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นถั่วเขียว

ต้นถั่วเขียวพันธุ์ Double brocade blue โดยต้นถั่วเขียวถูกปลูกและเจริญเติบโตภายใต้ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียสในที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับบรรยากาศปกติ (ประมาณ 400 ppm) ให้แสงเทียมสีขาวจากหลอดแอลอีดี (แบบ T8 กำลังไฟ 18 W) ที่มีอุณหภูมิสี 6500K (cool white) และ 3200K (warm white) อัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มแสง $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ นาน 16/8 ชั่วโมง (กลางวัน/กลางคืน) เมื่อมีอายุ 2 เดือนหลังจากเพาะเมล็ดจะถูกย้ายปลูกภายใต้สภาพที่มีปริมาณ CO_2 ที่แตกต่างกัน 2 ระดับคือ 400 ppm และ 1,000 ppm และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย Modified Hoagland ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 2, และ 4 mS/cm รวมเป็น 6 ตำรับ ทำตำรับละ 5 ซ้ำ (กลาง) (ตารางที่ 3) โดยจะบันทึกข้อมูลทั้งทางด้าน การเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดพันธุ์ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

ตารางที่ 3 แสดงแผนการทดลองการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นถั่วเขียว

ตำรับ	ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ	ความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (mS/cm)
1		1
2	400 ppm	2
3		4
4		1
5	1,000 ppm	2
6		4

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

วิธีการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ใช้วิธีตาม Loranger and Shipley (2010) โดยตัดตัวอย่างใบให้มีขนาดเท่ากันซึ่งน้ำหนักใบประมาณ 40 mg จากนั้นนำใส่หลอดแก้วแล้วเติม Dimethyl Sulfoxide (DMSO) 1 ml แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 nm ปริมาณคลอโรฟิลล์จะถูกคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Chlorophyll a (g/l)} = \{(0.0127) \times (A_{663})\} - \{(0.00269) \times (A_{645})\}$$

$$\text{Chlorophyll b (g/l)} = \{(0.0229) \times (A_{645})\} - \{(0.00468) \times (A_{663})\}$$

$$\text{Total Chlorophylls} = \{(0.0202) \times (A_{645})\} + \{(0.00802) \times (A_{663})\}$$

การวัดระดับมาลอนไดแอลดีไฮด์ในใบ (Malondialdehyde content; MDA)

การวัดปริมาณ Malondialdehyde (MDA) ดัดแปลงมาจากวิธีของ Velikova & Loreto (2005) โดยตัดใบอ่อนที่สุดที่ผลิเต็มที่ (youngest fully expand leaves) ให้มีน้ำหนักประมาณ 50 mg จากนั้นนำไปปดกับ Trichloroacetic acid (TCA) 0.1% ในหลอดไมโครทิวบ์ ขนาด 1 ml แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง 20 นาทีที่ความเร็ว 1200 รอบ/นาที จากนั้นดูดสารละลายที่ได้ 550 μ l. ใส่ในหลอดใหม่แล้วเติม Thiobarbituric acid (TBA) 0.5% และ TCA 20% แล้วนำไปบ่มที่อ่างควบคุมอุณหภูมิ 90°C 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5000 รอบ/นาที นาน 10 นาที นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 532 และ 600 nm คำนวณหาปริมาณ MDA โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{MDA } (\mu\text{mol/g FW}) = \{(A_{532} - A_{600}) - [(A_{440} - A_{600}) \times (8.4/147)]\} / 157000 \times 10^6$$

การวัดค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ

ทำการวัดค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (net photosynthetic rate ; A) อัตราการนำไหลของปากใบ (Stomata conductance ; g_s) อัตราการคายระเหยของน้ำ (transpiration rate ; E) โดยวัดที่ใบอ่อนที่สุดที่ผลิเต็มที่ (youngest fully expanded leaves) โดยใช้เครื่อง LCi-SD (BioScientific Ltd. Hertfordshire, U.K) ทำการบันทึก 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า 07.00 – 11.00 น. และช่วงบ่าย 13.00 – 15.00 น. โดยวัดตามสภาพแวดล้อมที่กำหนดตามการทดลองในแต่ละตำรับ

การวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Relative water content ; RWC)

ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Karlidag et al. (2011) โดยใช้ใบอ่อนที่ผลิเต็มที่ ตัดใบชั่งน้ำหนักสด (FW) จากนั้นนำใบแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 16 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งน้ำหนักเต่ง (Turgid weight; TW) นำใบที่ได้ไปอบแห้งแล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง (DW) คำนวณปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในเนื้อเยื่อใบตามสูตร

$$\text{RWC}\% = [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100$$

การวัดค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์

วัดโดยใช้เครื่อง Fluorescence Monitoring System (FMS-1) (Hansatech Instruments Ltd., Norfolk, U.K) วัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของ Photosystem II (Φ_{PSII} หรือ phi PSII) และการวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของ Photosystem II (F_v/F_m หรือ maximum efficiency of PSII Photochemistry) โดยก่อนการวัดค่า F_v/F_m จะให้ความมืดประมาณ 30 นาทีตามวิธีการของ Willits and Peet (2001) โดยวัดที่ใบอ่อนที่สุดที่ผลิเต็มที่

การวัดเปอร์เซ็นต์ความงอก และความมีชีวิตของเรณู

การวัดเปอร์เซ็นต์ความงอกของเรณูของกล็อกซีเนียทำโดยนำเรณูจากเกสรตัวผู้ที่แตกออกเต็มที่มาทดสอบความงอกด้วยวิธี Hanging Drop โดยใช้สารละลายตัวกลางจากสูตรของ Brewbaker and Kwack (1963) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

Sucrose	10 %
H ₃ BO ₃	100 ppm
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	300 ppm
MgSO ₄ · 7H ₂ O	200 ppm
KNO ₃	100 ppm

เตรียมสารละลาย Sucrose 10 % แยกออกมาจากสารอื่น ๆ ส่วนที่เหลือเตรียมไว้ในขวดเดียวกัน จากนั้นนำเรณูกระจายลงบนสไลด์ แล้วทำการหยดสารละลาย Sucrose และสารละลายธาตุอาหาร อย่างละ 20 µl ลงบนเรณู แล้วทำการผสมให้เข้ากัน จากนั้นคว่ำสไลด์เพื่อให้เกิดหยดแขวนของสารละลายที่มีเรณู นำไปวางในจานแก้วที่มีกระดาษชุบน้ำเพื่อรักษาความชื้น ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาตรวจสอบความงอกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า จำนวน 4 จุด โดยนับเรณูที่มีความยาวของท่อเรณูมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเรณู แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของเรณู (Kapyla, 1991)

การวัดเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของเรณู ทำโดยเตรียมเรณูลงบนสไลด์แล้วทำการหยดสารละลายสีแดงของอะซีโตคามินที่ความเข้มข้น 1 % ปริมาณ 40 μl ลงบนเรณู ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ใต้หลอดไฟแอลอีดีที่อุณหภูมิ 6500K (cool white) และ 3200K (warm white) อัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ และภายใต้ความมืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในจานแก้วที่มีกระดาษกรองชุ่มด้วยน้ำเพื่อรักษาความชื้น แล้วนำมาตรวจสอบความงอกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า เป็นจำนวน 4 จุด โดยนับเรณูที่มีลักษณะกลม ไม่บิดเบี้ยว และติดสีแดงอย่างชัดเจน แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความงอกของเรณู (Calic et al., 2013)

การวัดเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด (Seed germination) และค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (Mean germination time ; MGT)

เตรียมเมล็ดกลีอกชิเนีย 200 เมล็ด ที่ผ่านการเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน โดยแบ่งออกเป็น 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด ทำการกระจายเมล็ดลงบนแผ่นกระดาษเพาะเมล็ดที่ชุ่มไปด้วยน้ำในเพลทที่มีฝาปิด แล้วนำไปวางใต้หลอดไฟแอลอีดีที่อุณหภูมิ 6500K และ 3200K (1:1) ที่ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ทำการตรวจนับการเพิ่มขึ้นของเมล็ดที่มีความยาวรากประมาณ 2 mm ทุกวัน จนกระทั่งครบ 14 วัน ทำการตรวจนับเมล็ดที่งอก และพัฒนาเป็นใบเลี้ยงที่สมบูรณ์ และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอก (McDonald and Kwong, 2005) และ ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (Demir et al., 2008) ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความงอก} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}}$$

$$\text{MGT} = \frac{\sum(nT)}{\sum n}$$

n = จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในวันที่ตรวจนับ

T = อายุวันที่ตรวจนับ

$\sum n$ = จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกทั้งหมด

การวัดความแข็งแรงของเมล็ด (Accelerated Aging Test, AA)

เตรียมเมล็ดกลีอกซีเนีย 400 เมล็ด แบ่งออกเป็น 2 ชุด ๆ ละ 200 เมล็ด แต่ละชุดทำการแบ่งออกเป็น 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด นำเมล็ดแต่ละชุดห่อด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปบ่มในกล่องพลาสติกใส่น้ำที่มีฝาปิดสนิท ที่อุณหภูมิ 40 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเมล็ดชุดที่ 1 มากระจายเมล็ดลงบนแผ่นกระดาษเพาะเมล็ดที่ชุ่มไปด้วยน้ำในเพลทที่มีฝาปิด (Rodo et al., 2003) แล้วนำไปวางใต้หลอดไฟแอลอีดีที่อุณหภูมิ 6500K และ 3200K (1:1) ที่ความเข้มแสง $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ทำการตรวจนับการเพิ่มขึ้นของเมล็ดที่มีความยาวรากประมาณ 2 mm ทุกวันจนกระทั่งครบ 14 วัน ทำการตรวจนับเมล็ดที่งอก และพัฒนาเป็นใบเลี้ยงที่สมบูรณ์ และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอก และ MGT

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way Analysis of Variance, ANOVA) ของพารามิเตอร์ที่ได้จากการศึกษา เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22 ผลิตโดยบริษัท SPSS Inc.

สถานที่ทำการวิจัย

สาขาพืชผัก หลักสูตรพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2560

สิ้นสุดการวิจัยเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

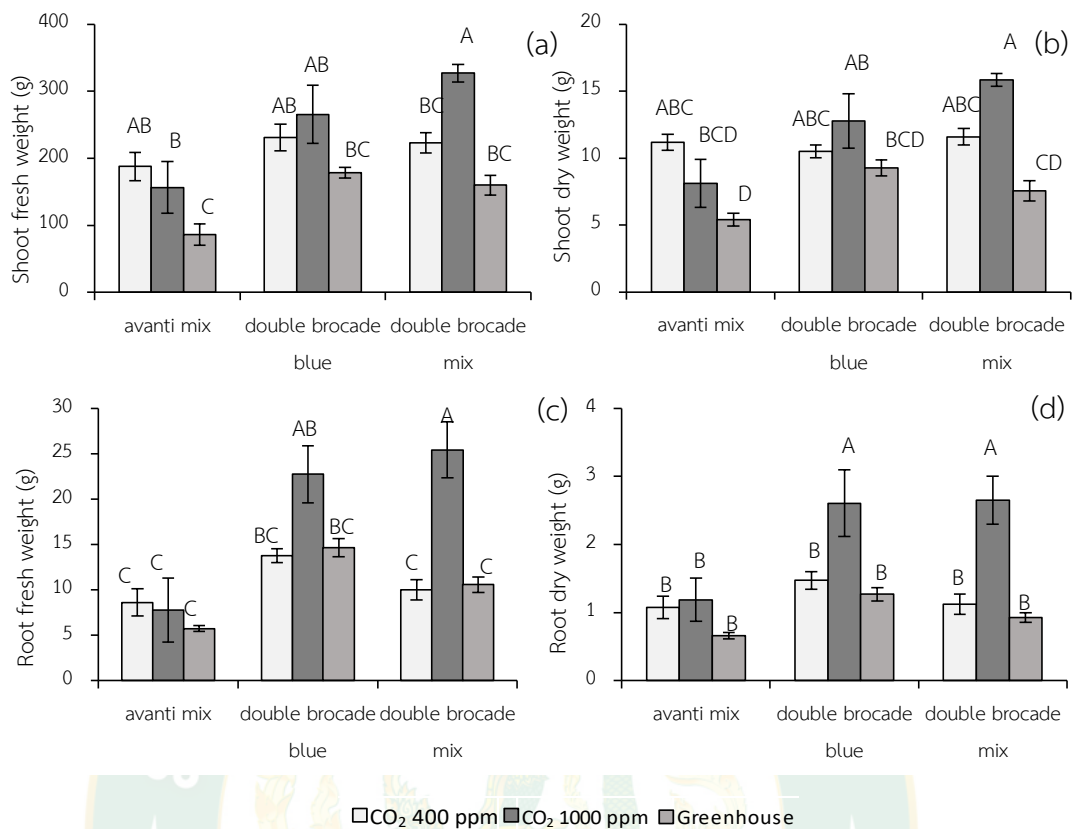
ผลการทดลองที่ 1 การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเมล็ดพันธุ์กล็อกซีเนียภายใต้ระบบปิดและในระบบโรงเรือน

การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกล็อกซีเนีย 3 ชนิดพันธุ์ ได้แก่ Avanti mix, Double brocade blue, และ Double brocade mix ใน 3 สภาวะ คือ 1. สภาวะปกติ (CO_2 400 ppm) 2. สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 (CO_2 1000 ppm) และ 3. ภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) เป็นเวลา 150 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่าในด้านของมวลน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ต้นพันธุ์ Double brocade mix ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 มีน้ำหนักต้นที่สูงกว่าในสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจะเห็นได้ว่าทุกพันธุ์ที่เจริญเติบโตภายในโรงเรือนพลาสติก จะมีมวลน้ำหนักที่น้อยกว่าตำรับอื่นๆ (ภาพที่ 6a,b) ในส่วนของมวลน้ำหนักรากสดพบว่า พันธุ์ Double brocade mix ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 มีค่าสูงกว่า ต้นที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติและภายในโรงเรือนพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับกับในพันธุ์ Double brocade blue ต้นที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 มีมวลน้ำหนักรากสูงกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 6c) ส่วนมวลน้ำหนักรากแห้งพบว่า ทั้งสายพันธุ์ Double brocade blue และ Double brocade mix ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 มีค่าสูงกว่าต้นที่ปลูกในสภาวะอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 6d) ส่วนพันธุ์ Avanti mix มีมวลน้ำหนักสดและแห้งส่วนต้นในโรงเรือนระบบปิดทั้ง 2 สภาวะสูงกว่าในโรงเรือนพลาสติก แต่ไม่พบแนวโน้มความแตกต่างของมวลน้ำหนักสดและแห้งของรากที่ชัดเจนระหว่างต้นที่เจริญเติบโตในทั้ง 3 สภาวะ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางระหว่างสภาพการเจริญเติบโตกับสายพันธุ์ พบว่าสภาพการเจริญเติบโตมีปฏิสัมพันธ์กับสายพันธุ์ โดยอิทธิพลของสภาพการเจริญเติบโตที่ส่งผลต่อ น้ำรากแห้ง, และความกว้างทรงพุ่มนั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (ตารางที่ 4)

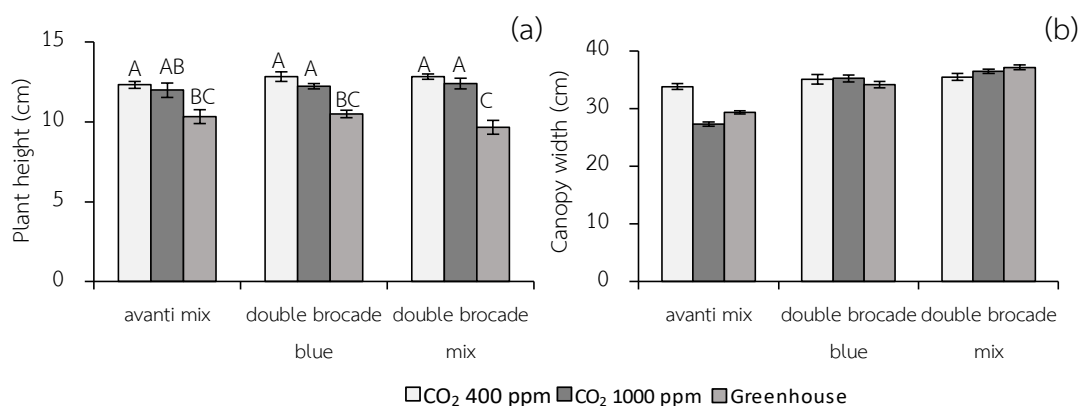


ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของต้นกล็อกซีเนียทั้ง 3 พันธุ์ คือ Avanti mix, Double brocade blue และ Double brocade mix ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่แตกต่างกัน คือ สภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) เป็นเวลา 120 วันหลังเพาะเมล็ด



ภาพที่ 6 แสดงน้ำหนักสดส่วนยอด (a) น้ำหนักสดส่วนราก (b) น้ำหนักแห้งส่วนยอด (c) และน้ำหนักแห้งส่วนราก (d) ของต้นกลีอกซีเนียวอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05

จากการศึกษาความสูงและความกว้างทรงพุ่ม (ภาพที่ 5) พบว่าพืชที่เจริญเติบโตภายในโรงเรือนระบบปิดทั้ง 2 สภาวะ มีความสูงของต้นมากกว่าพืชที่เจริญเติบโตภายในโรงเรือนพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นพันธุ์ Avanti mix ในส่วนของความกว้างทรงพุ่มเฉพาะในพันธุ์ Avanti mix มีความกว้างของทรงพุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ และภายในโรงเรือนพลาสติก ส่วนในพันธุ์อื่นๆไม่พบความแตกต่าง (ภาพที่ 7a,b) (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 7 แสดงความสูงของต้น (a) และความกว้างทรงพุ่ม (b) ที่ต้นอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดแต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว และสองทางของสภาพการเจริญเติบโต (A) และสายพันธุ์ (B) ที่มีผลต่อมวลน้ำหนักราก มวลน้ำหนักรากแห้งส่วนลำต้นและราก ความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่ม

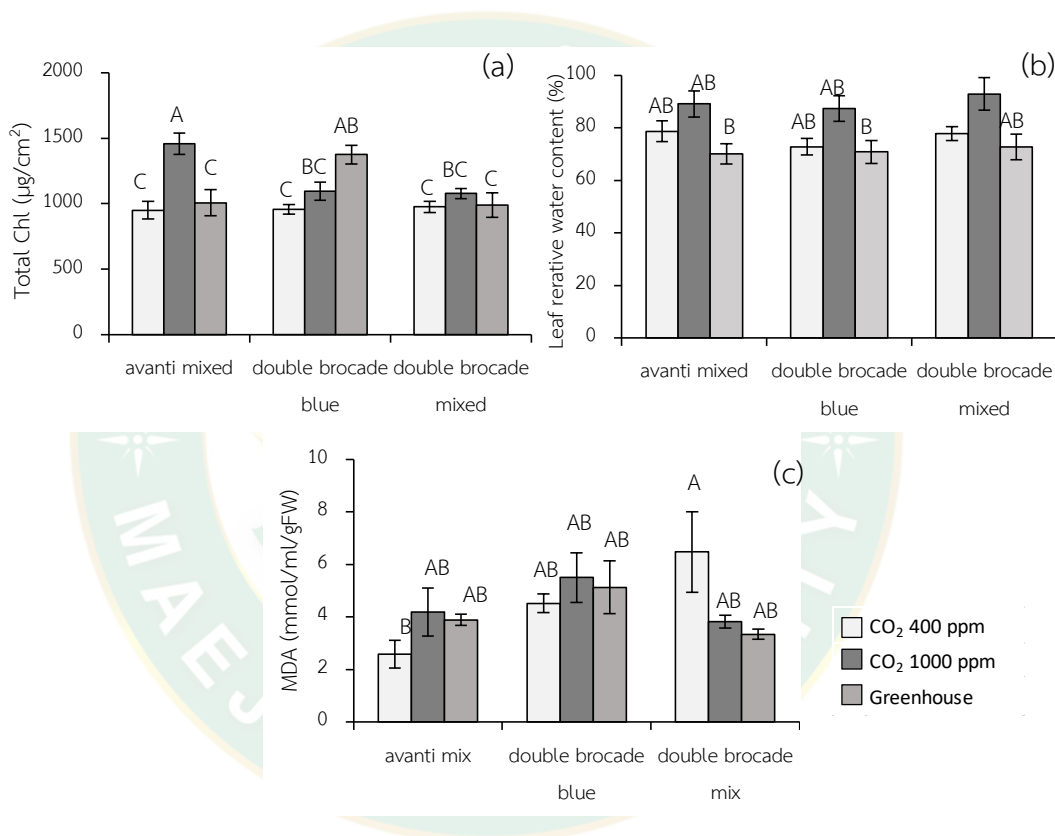
Dependent variables	Independent variables		
	Conditions	Cultivars	A x B
	(A)	(B)	
Shoot FW	<0.01**	<0.01**	NS
Shoot DW	<0.01**	<0.02*	NS
Root FW	<0.01**	<0.01**	NS
Root DW	<0.01**	<0.01**	<0.031*
Plant height (cm)	<0.01**	NS	NS
Canopy width (cm)	<0.01**	<0.01**	<0.01**

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

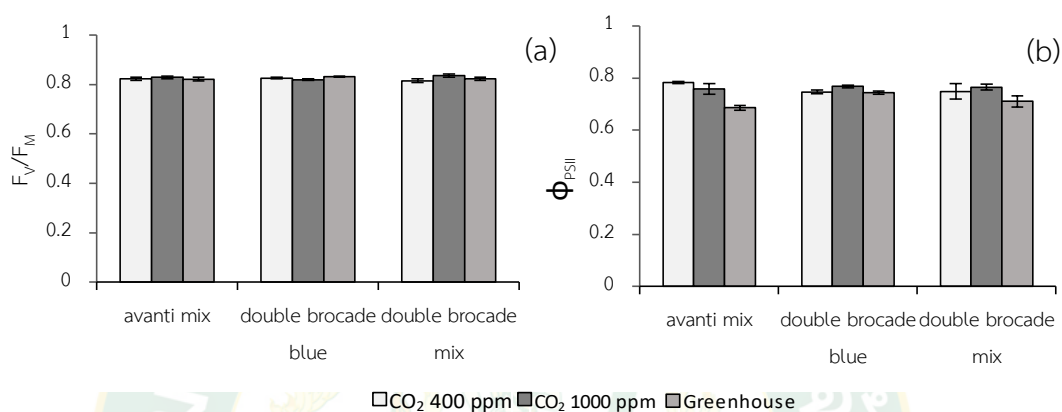
(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว พบว่าในพันธุ์ Avanti mix ที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบสูงกว่าต้นที่ปลูกในสภาวะปกติ และในโรงเรือนพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในอีก 2 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 8a) ในส่วนของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ พบว่าต้นกล็อกซีเนียที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบที่สูงกว่าต้นที่ปลูกในตำรับอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 8b) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณ MDA พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทั้ง 3 สภาวะและ 3 พันธุ์



ภาพที่ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว (a) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (b) ปริมาณ MDA (c) ของต้นกล็อกซีเนียอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII (F_v/F_m) ภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตและชนิดพันธุ์ที่ต่างกัน พบว่า ทุกตำรับมีค่า F_v/F_m อยู่ในช่วง 0.81-0.83 โดยแต่ละตำรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 9a) ส่วนค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของระบบ PSII ในสภาพสว่าง (ϕ_{PSII}) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างต้นกล้วยซิเนียที่ปลูกในสภาวะที่ต่างกัน (ภาพที่ 9b)



ภาพที่ 9 แสดงค่า F_v/F_m (a) และค่า ϕ_{PSII} (b) ของต้นกล้วยซิเนียอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโต ในสภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ พบว่าต้นกล้วยซิเนียทุกสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (A) ในใบเดี่ยวสูงกว่าต้นที่เจริญเติบโตในตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 10a) ส่วนค่าอัตราการนำไหลของปากใบ (g_s) พบว่าพืชที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ มีแนวโน้มสูงกว่าตำรับอื่นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 10b) และค่าอัตราการคายระเหยของน้ำจากผิวใบ (E) พบว่าเฉพาะในพันธุ์ Avanti mix ที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่ม CO₂ มีค่าสูงกว่าตำรับอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 10c)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวและสองทาง ของสภาพการเจริญเติบโต (A) และสายพันธุ์ (B) ที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, %RWC, MDA, ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII, และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ

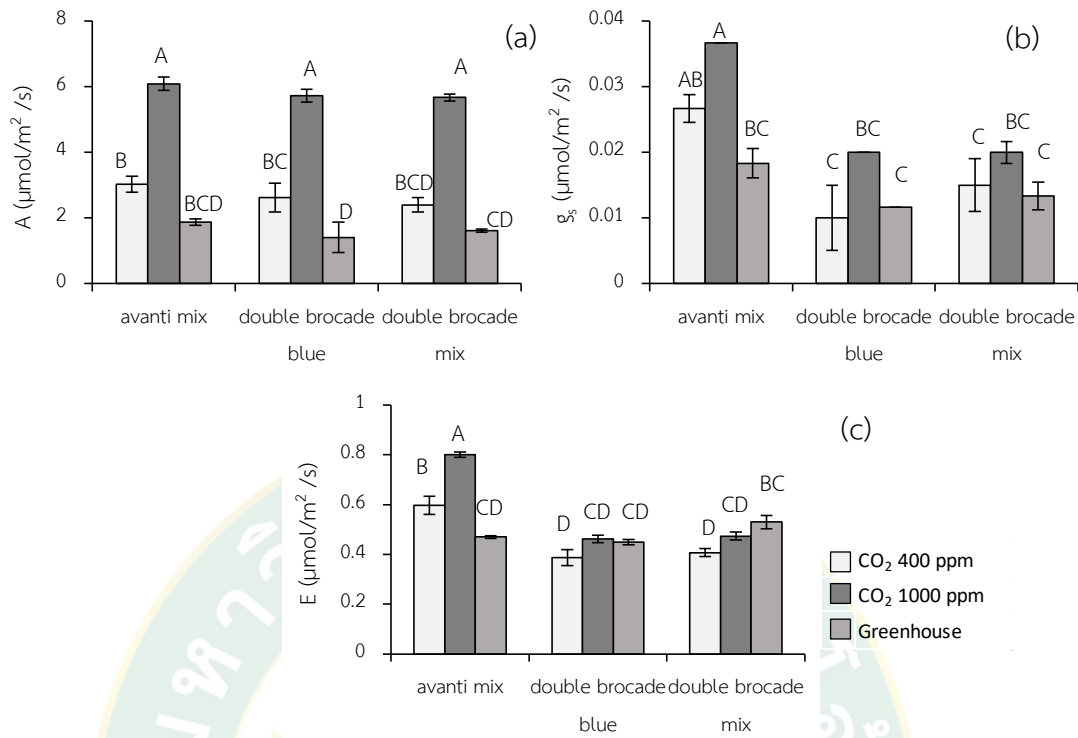
Dependent variables	Independent variables		
	Conditions	Cultivars	A x B
	(A)	(B)	
Total CHL ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	<0.01**	<0.01**	<0.01**
RWC (%)	<0.01**	NS	NS
MDA (mmol/ml/gFW)	NS	NS	<0.031*
F_v/F_m	NS	NS	NS
ϕ_{PSII}	<0.01**	NS	<0.047*
A ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	<0.01**	NS	NS
g_s ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	<0.01**	<0.01**	NS
E ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	<0.01**	<0.01**	<0.01**

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

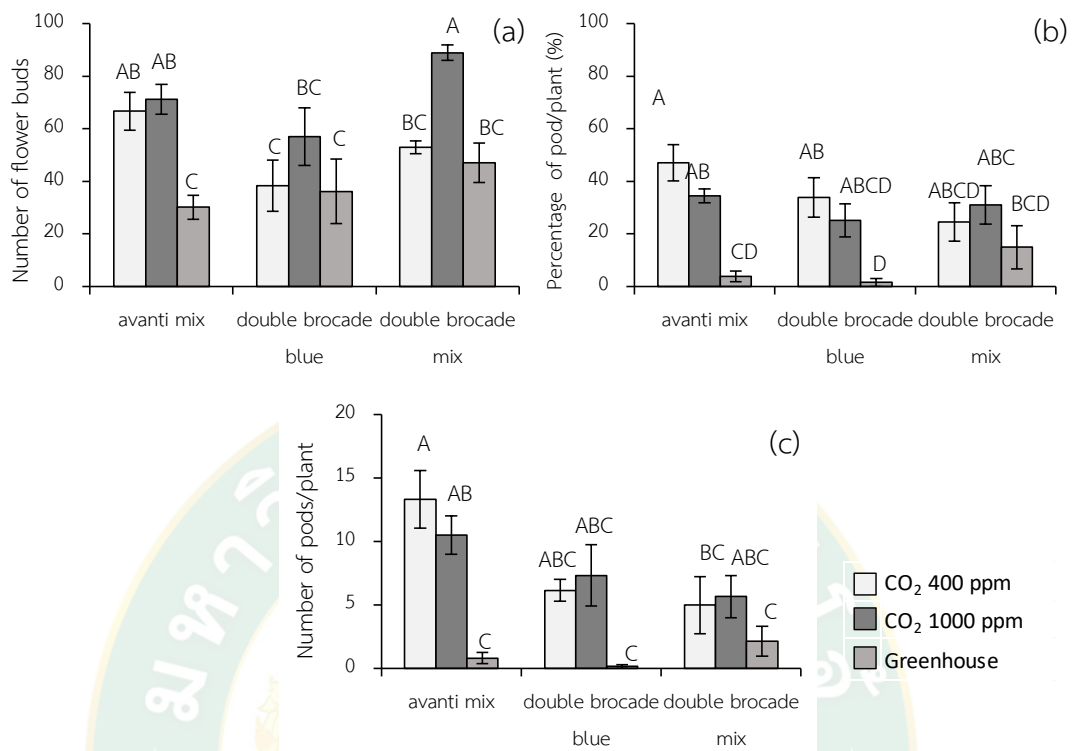
(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางระหว่างสภาพการเจริญเติบโตกับสายพันธุ์ พบว่าสภาพการเจริญเติบโตมีปฏิสัมพันธ์กับสายพันธุ์ โดยอิทธิพลของสภาพการเจริญเติบโตที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว ปริมาณ MDA ค่า ϕ_{PSII} และค่าอัตราการคายระเหยของน้ำจากผิวใบนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (ตารางที่ 5)



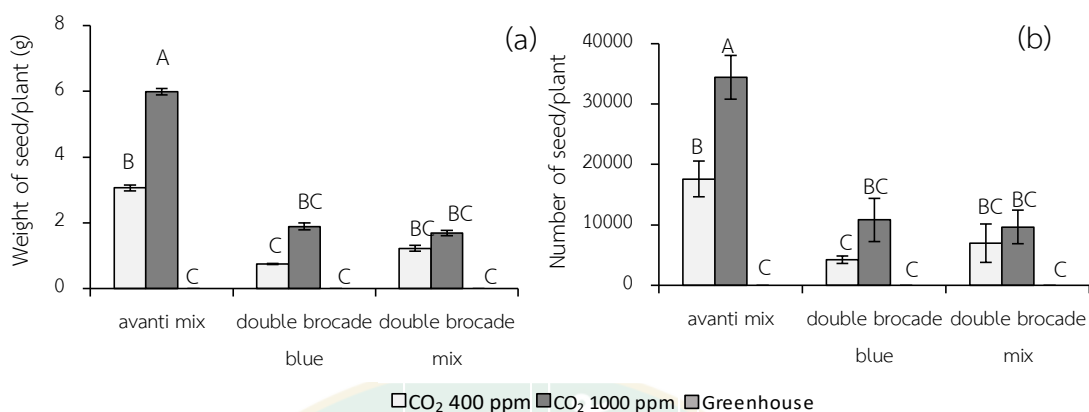
ภาพที่ 10 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสง (a) อัตราการนำไหลของปากใบ (b) และอัตราการระเหยของน้ำจากผิวใบ (c) ของต้นกล็อกซีเนี้ยอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05

จากการบันทึกจำนวนตาดอกทั้งหมดต่อต้นเป็นระยะเวลา 150 วันพบว่า พันธุ์ Double brocade mix ที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ มีจำนวนตาดอกที่มากกว่าสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 11a) ส่วนเปอร์เซ็นต์การติดฝักและจำนวนฝักต่อต้นพบว่า ในพันธุ์ Avanti mix ต้นที่เจริญเติบโตภายในโรงเรือนมีเปอร์เซ็นต์การติดฝักและจำนวนฝักต่อต้นน้อยกว่าตำรับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในอีก 2 พันธุ์ที่ปลูกในโรงเรือนมีเปอร์เซ็นต์การติดฝักและจำนวนฝักต่อต้นน้อยกว่าเช่นกัน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 11b,c)



ภาพที่ 11 แสดงจำนวนตาดอกทั้งหมดต่อต้น (a) เปอร์เซ็นต์การติดฝักต่อต้น (b) และจำนวนฝักต่อต้น (c) ของต้นถั่วชิกพีเนี่ยอายุ 150 วันหลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1,000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

จากการศึกษาน้ำหนักเมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อต้น พบว่า ในพันธุ์ Avanti mix ที่เจริญเติบโตในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ มีน้ำหนักเมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อต้นสูงกว่าตัวรับอื่น ส่วนพืชที่เจริญเติบโตภายในโรงเรือนพลาสติก เมล็ดมีการพัฒนาผิดปกติทั้งหมดจึงไม่สามารถบันทึกข้อมูลน้ำหนักเมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อต้นได้ (ภาพที่ 12a,b)



ภาพที่ 12 แสดงน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (a) และจำนวนเมล็ดต่อต้น (b) ของต้นถั่วเขียวอายุ 150 วัน หลังเพาะเมล็ด แต่ละชนิดพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาวะปกติ (CO₂ 400 ppm) สภาวะเพิ่มปริมาณ CO₂ (CO₂ 1000 ppm) และภายในโรงเรือนพลาสติก (Greenhouse) แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของสภาพการเจริญเติบโต (A) และสายพันธุ์ (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพการเจริญเติบโตกับสายพันธุ์ (A x B) กับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตเมล็ด

Dependent variables	Independent variables		
	Condition	Cultivars	A x B
	(A)	(B)	
Flower bud (numb)	>0.01**	>0.01**	>0.01**
Pod/plant (%)	>0.01**	>0.01**	NS
Pod/plant (numb)	>0.01**	NS	NS
Weight of seed (g.)	>0.01**	>0.01**	>0.01**
Numb of seed	>0.01**	>0.01**	>0.01**

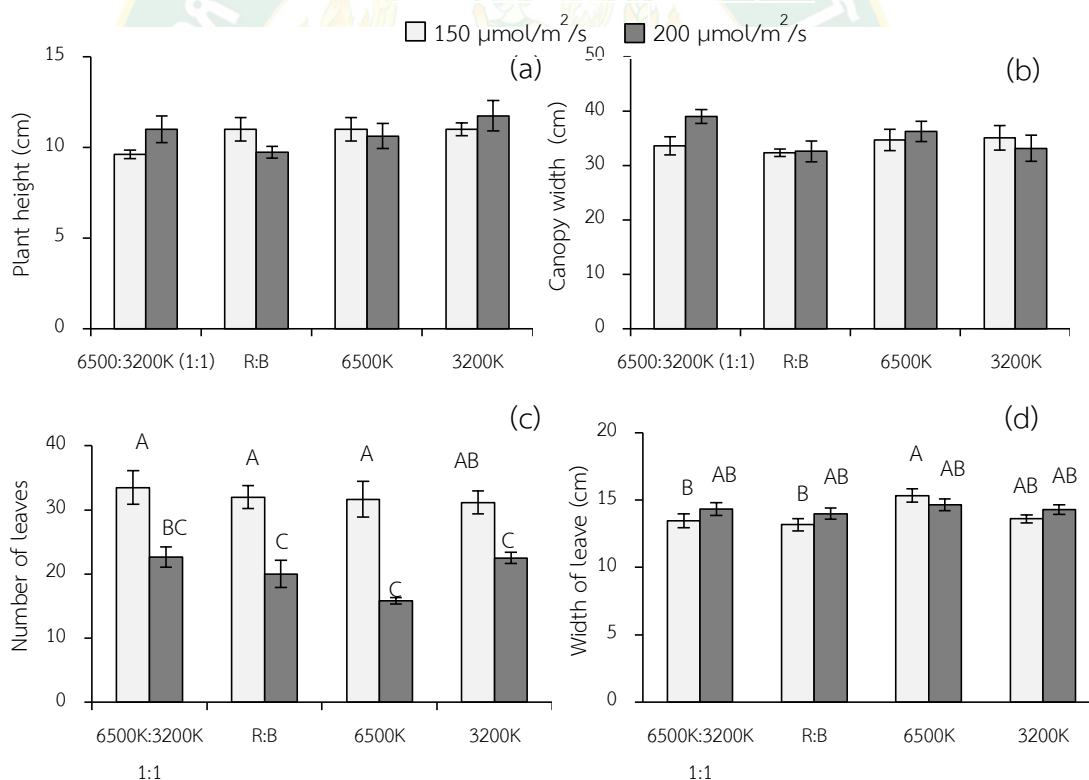
หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ P < 0.05

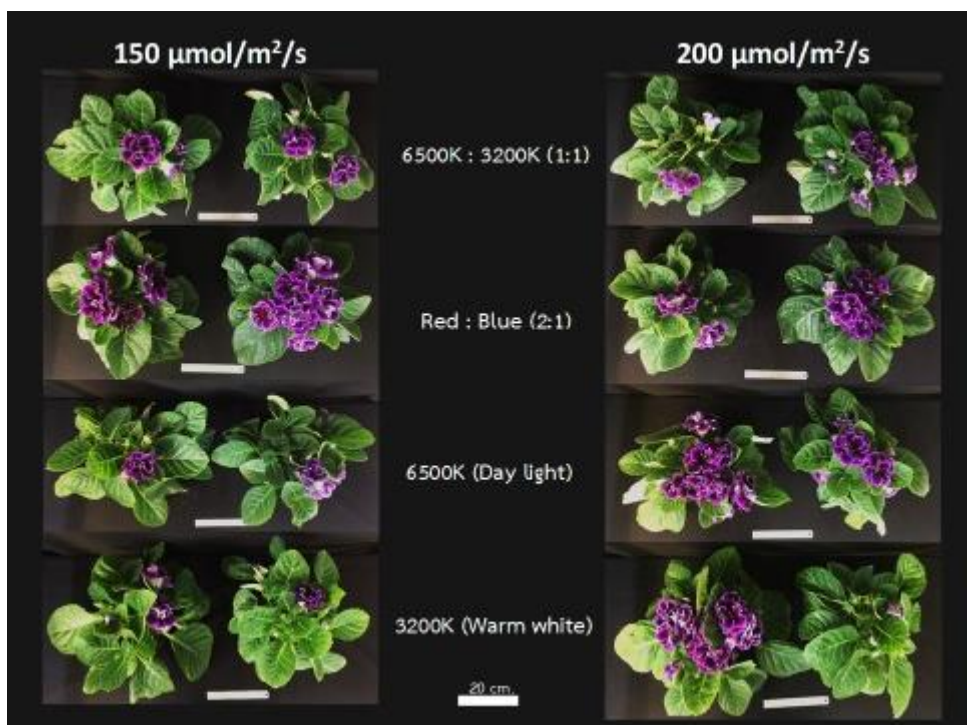
(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ P < 0.01

ผลการทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นกล็อกซีเนีย

การทดลองนี้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตและผลิตเมล็ดพันธุ์ของกล็อกซีเนียภายใต้สภาพแสงเทียมจากหลอดแอลอีดี (LEDs) 4 ชนิด ได้แก่ 6500K : 3200K (1:1), Red : Blue (2:1), 6500K (Day light), และ 3200K (Warm white) ที่ความเข้มแสง 2 ระดับคือ 150 และ 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ โดยใช้กล็อกซีเนียพันธุ์ Double brocade blue ในการทดลองพบว่าคุณภาพแสงและความเข้มแสงไม่ส่งผลต่อความสูงและความกว้างทรงพุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 13a, b) ส่วนของจำนวนใบพบว่าพืชที่เจริญเติบโตได้ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ในทุกชนิดแสงมีจำนวนใบมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนความกว้างใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้คุณภาพแสงและความเข้มแสงที่ต่างกัน (ภาพที่ 13c และd)

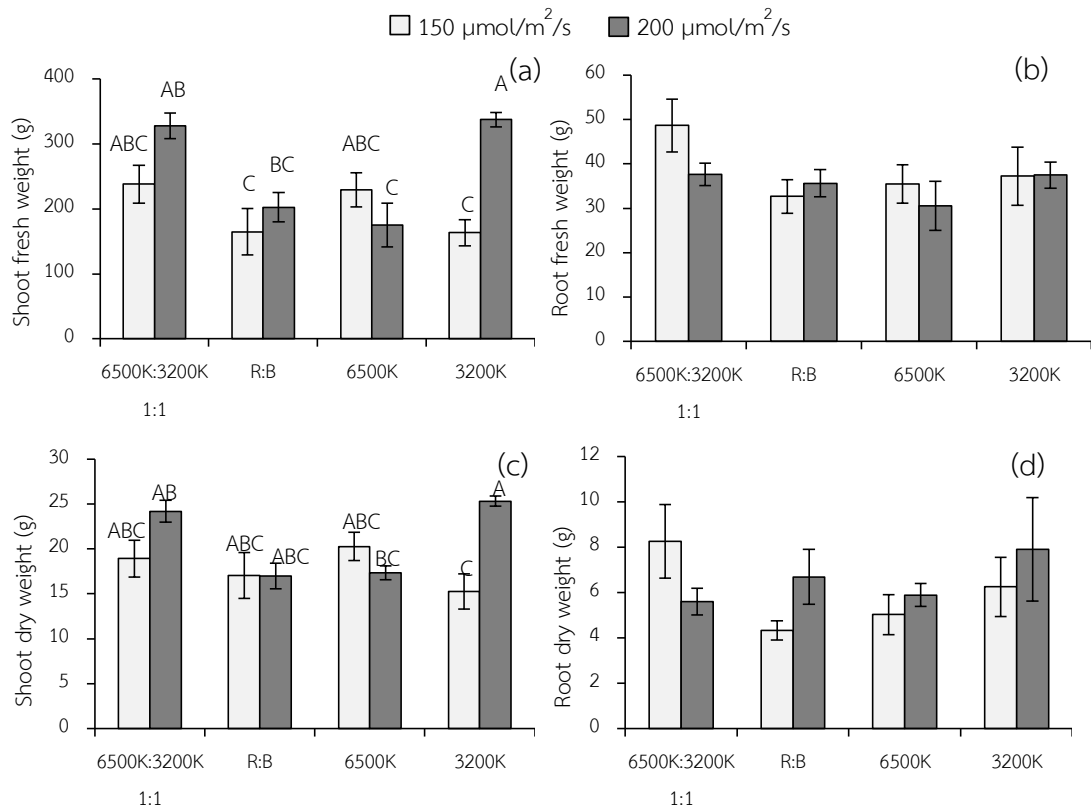


ภาพที่ 13 แสดงความสูงต้น (a) ความกว้างทรงพุ่ม (b) จำนวนใบ (c) และความกว้างใบ (d) ของต้นกล็อกซีเนียอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด ที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



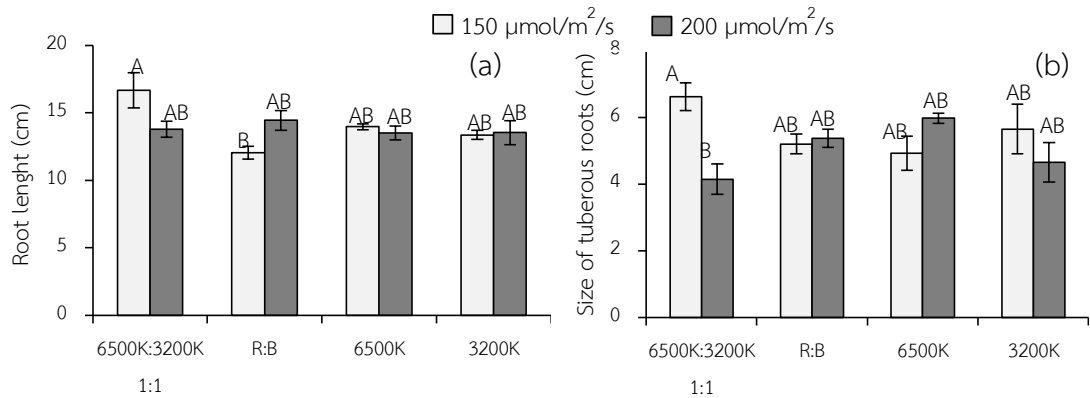
ภาพที่ 14 แสดงลักษณะของต้นกลีอกซีเนีย ภายใต้สภาพแสงเทียมจากหลอดแอลอีดี (LEDs) 4 ชนิด ได้แก่ 6500K : 3200K (1:1), Red : Blue (2:1), 6500K (Day light), และ 3200K (Warm white) ที่ความเข้มไฟ 2 ระดับคือ 150 และ 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ เป็นเวลา 120 วันหลังเพาะเมล็ด

ในส่วนของมวลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนยอด พบว่า พืชที่ได้รับแสงชนิด 3200K ที่ความเข้มแสง 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีมวลน้ำหนักสดสูงกว่าพืชที่ได้รับความเข้มแสงที่ 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (ภาพที่ 15a,c) นอกจากนี้ในส่วนของมวลน้ำหนักสดและน้ำแห้งส่วนราก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับ (ภาพที่ 15b,d)

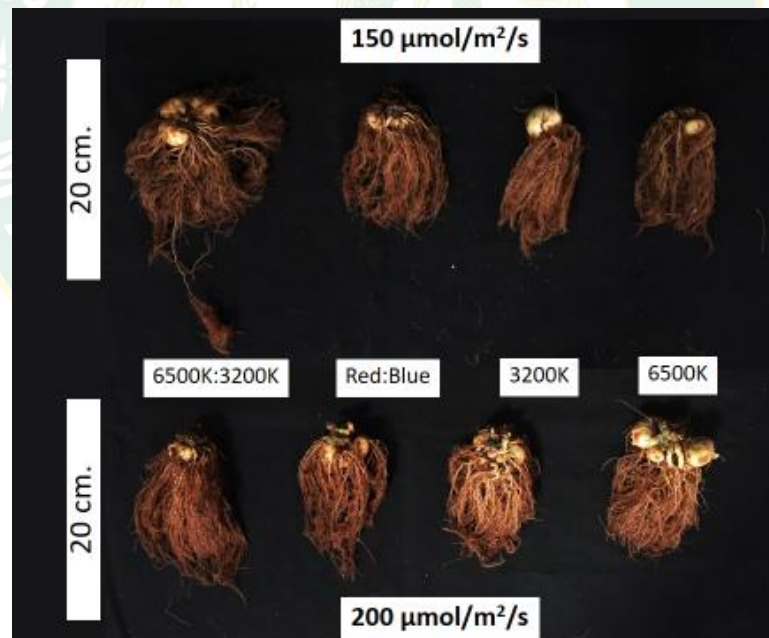


ภาพที่ 15 แสดงมวลน้ำหนักสดส่วนยอด (a) มวลน้ำหนักสดส่วนราก (b) มวลน้ำหนักแห้งส่วนยอด (c) และมวลน้ำหนักแห้งส่วนราก (d) ของต้นกล็อกซีเนียอายุ 15 วันหลังเพาะเมล็ด ที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อทำการวัดความยาวของรากและขนาดหัวใต้ดิน (ภาพที่ 17) พบว่า พืชที่ได้รับแสงชนิด Red : Blue (2:1) ที่ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีค่าความยาวรากต่ำกว่าตำรับอื่นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพ 16a) ในส่วนของขนาดหัวใต้ดิน พบว่า ต้นที่ได้รับแสงชนิด 6500K : 3200K (1:1) ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีขนาดหัวมากกว่าต้นที่ได้รับแสงชนิดเดียวกันที่ความเข้ม 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับความเข้มแสงที่สูงขึ้น ตำรับอื่นไม่พบความแตกต่างของขนาดหัวใต้ดินระหว่างความเข้มแสงที่ต่างกัน (ภาพ 16b)



ภาพที่ 16 แสดงความยาวราก (a) และขนาดหัวใต้ดิน (b) ของต้นกล้วยฉี่เนี้ยอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แลพบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$



ภาพที่ 17 แสดงลักษณะของรากต้นกล้วยฉี่เนี้ย ที่เจริญเติบโตใต้คุณภาพแสงและความเข้มแสงที่ต่างกัน เป็นเวลา 150 วันหลังเพาะเมล็ด

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง พบว่าความเข้มแสงมีปฏิสัมพันธ์กับคุณภาพแสง โดยอิทธิพลของความเข้มแสง ที่ส่งผลต่อน้ำหนักสด ส่วนต้น, ความยาวราก, และขนาดของหัวใต้พื้นดินนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพแสง (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว และสองทางของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) ที่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต

Dependent variables	Independent variables		A x B
	Light intensity (A)	Light quality (B)	
Shoot FW	NS	NS	>0.04*
Shoot DW	NS	NS	NS
Root FW	NS	NS	NS
Root DW	NS	NS	NS
Plant height (cm.)	NS	NS	NS
Canopy width (cm.)	NS	NS	NS
Numb of leaves	>0.01**	NS	NS
Width of leave	NS	>0.015*	NS
Root length (cm.)	NS	NS	>0.019*
Size of tuberous roots (cm.)	NS	NS	>0.011*

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

เมื่อทำการวัดค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยศึกษา 2 ช่วงอายุ คือ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด โดยในช่วง 120 วันเป็นช่วงที่กำลังพัฒนาของดอกและเมล็ด พบว่าพืชที่ได้รับแสงชนิด Red : Blue (2:1) ที่ความเข้มแสง 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงในใบสูงกว่าได้รับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ช่วงอายุ (ภาพที่ 18a, b) ส่วนค่าอัตราการนำไหลของปากใบในทั้ง 2 ช่วงอายุไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 18c, d) ส่วนค่าอัตราการคายระเหยของน้ำจากผิวใบในช่วงอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดพบว่า พืชที่ได้รับแสงชนิด Red : Blue (2:1) ที่ความเข้มแสง 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับความเข้มแสงที่สูงขึ้น (ภาพที่ 18e, f)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง พบว่าความเข้มแสงที่ต่างกันส่งผลต่อค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (A) และอัตราการนำไหลของปากใบ (g_s) ที่อายุ 90 วันเหมือนกันในทุกคุณภาพแสง (ตารางที่ 8)

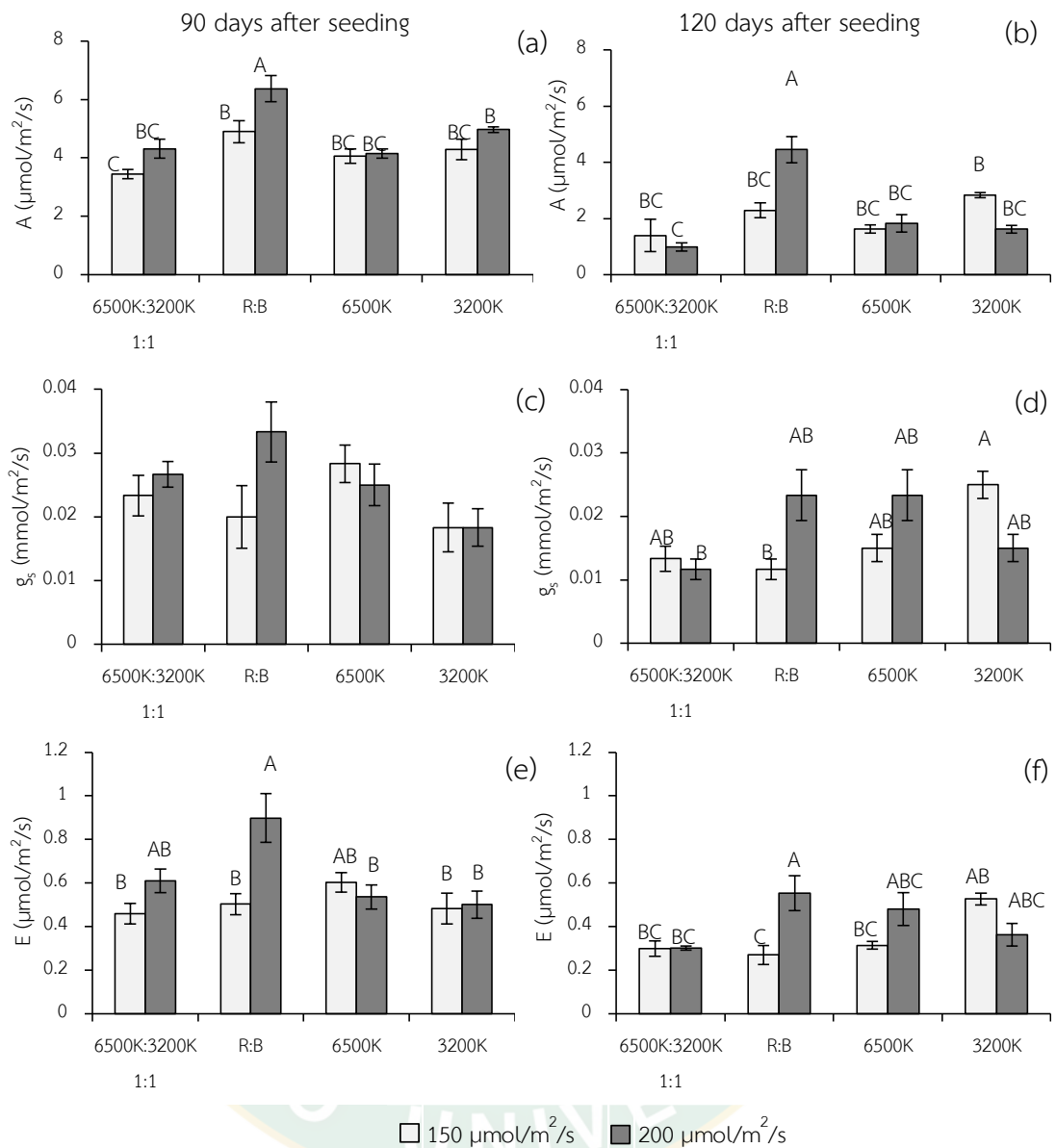
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว และสองทางของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) ที่มีผลต่อค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซทั้ง 2 ช่วงอายุ

Dependent variables	Independent variables		A x B
	Light intensity	Light quality	
	(A)	(B)	
A ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 90D	<0.01**	<0.01**	NS
g_s ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 90D	NS	NS	NS
E ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 90D	<0.014*	<0.025*	<0.010*
A ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 120D	NS	<0.01**	<0.01**
g_s ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 120D	NS	<0.043*	<0.01**
E ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 120D	NS	<0.045*	<0.01**

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

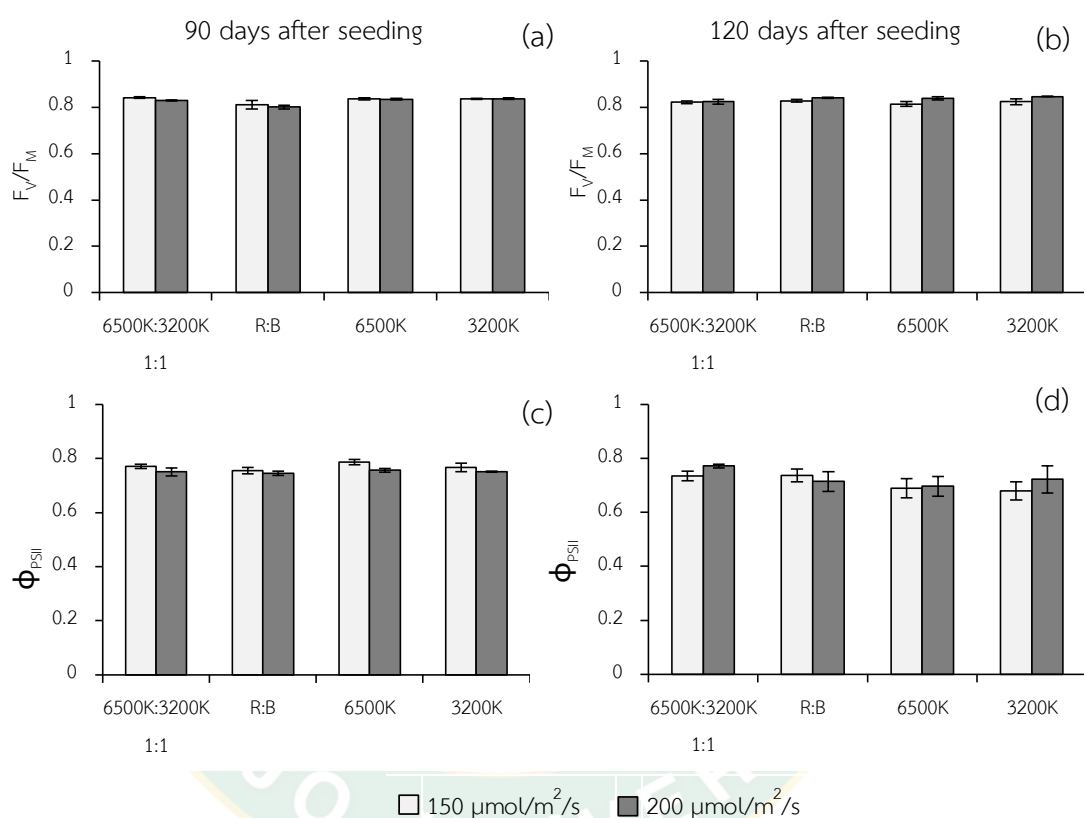
(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$



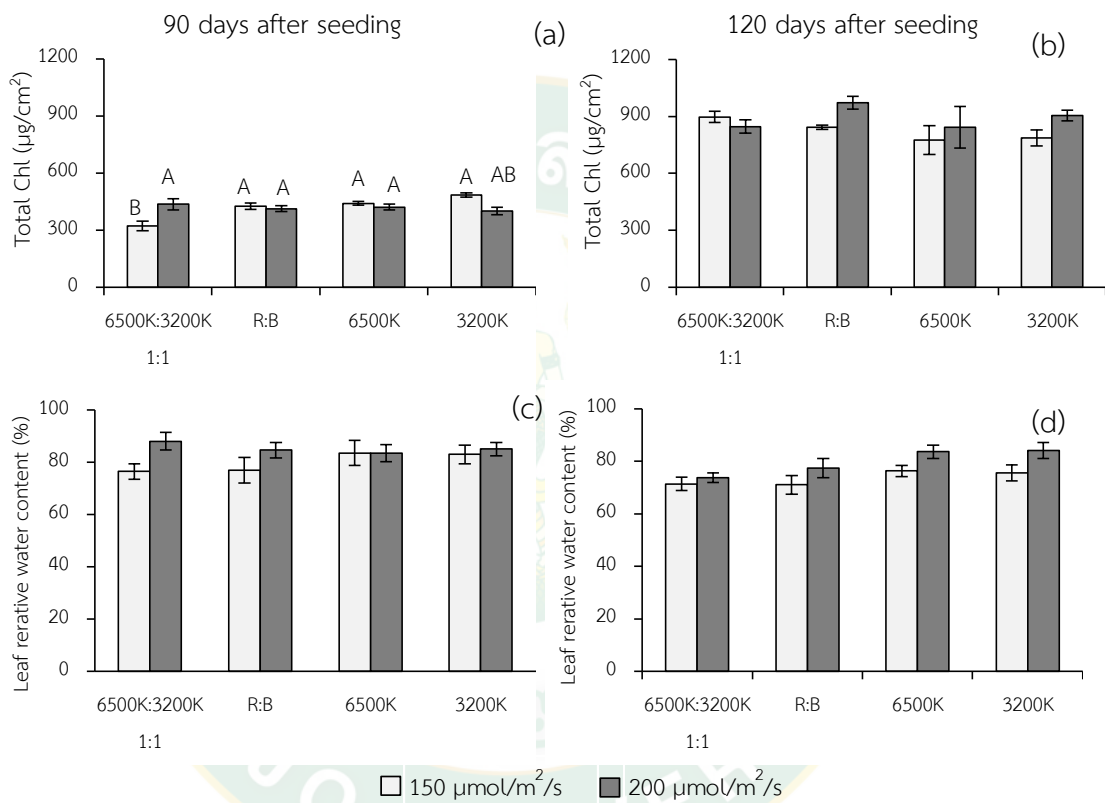
ภาพที่ 18 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสง (a,b) อัตราการนำไพลของปากใบ (c,d) และอัตราการคายระเหยของน้ำในใบ (e,f) ของต้นกล้วยซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII (F_v/F_m) ภายใต้คุณภาพแสงและความเข้มแสงที่แตกต่างกันโดยศึกษา 2 ช่วงอายุคือ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่าทุกตัวรับมีค่า F_v/F_m อยู่ในช่วง 0.80-0.84 และค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของระบบ PSII ในสภาพสว่าง (ϕ_{PSII}) โดยแต่ละตัวรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 19a,b) ไม่มีแนวโน้มความแตกต่างทางสถิติระหว่างต้นที่ปลูกในคุณภาพและความเข้มแสงที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 19c,d)



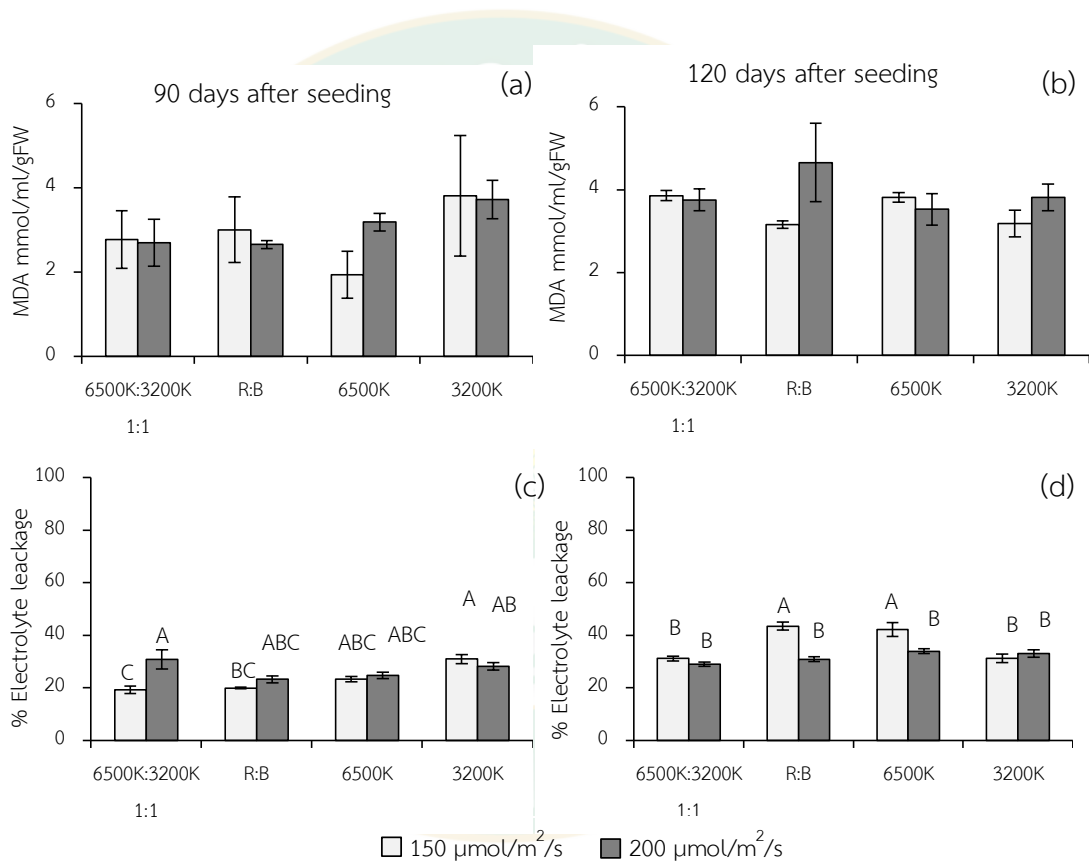
ภาพที่ 19 แสดงค่า F_v/F_m (a,b) และค่า ϕ_{PSII} (c,d) ของต้นกลีอกซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE ($n=6$) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยวในทั้ง 2 ช่วงอายุพบว่าในช่วงอายุ 90 วัน หลังเพาะเมล็ดต้นที่ได้รับแสง 6500K : 3200K (1:1) ที่ความเข้มแสง 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีค่าสูงกว่า ต้นที่ได้รับแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ อย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 20a, ตารางที่ 9) แต่ในช่วงอายุ 120 วัน หลังเพาะเมล็ดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 20b) ในส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำ สัมพัทธ์ในใบพบว่าทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 2 ช่วงอายุ (ภาพที่ 20c, d)



ภาพที่ 20 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว (a,b) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (c,d) ของต้นกล้วย ใช้น้ำอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณ MDA ในเนื้อเยื่อใบพบว่าทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของร้อยละของการรั่วไหลของไอออน ในช่วงอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่าต้นที่ได้รับแสง 6500K : 3200K (1:1) มีปริมาณร้อยละของการรั่วไหลของไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อได้รับความเข้มแสงที่มากขึ้น ในช่วงอายุ 120 วันพบว่า พืชที่ได้รับแสง Red : Blue (2:1) และ 6500K ที่ความเข้มแสง $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีค่าร้อยละของการรั่วไหลของไอออนน้อยกว่าต้นที่ปลูกในสภาพความเข้ม $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 21c,d)



ภาพที่ 21 แสดงปริมาณ MDA (a,b) และร้อยละของการรั่วไหลของไอออน (c,d) ของต้นกลีอกซีเนีย อายุ 90 (a, c) และ 120 (b, d) วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อน แสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับคุณภาพแสง พบว่าความเข้มแสง ที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, และค่าร้อยละของการรั่วไหลของไอออนนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพแสงที่อายุ 90 วัน (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง (A x B) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII, ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, RWC, MDA, และ EL ทั้ง 2 ช่วงอายุ

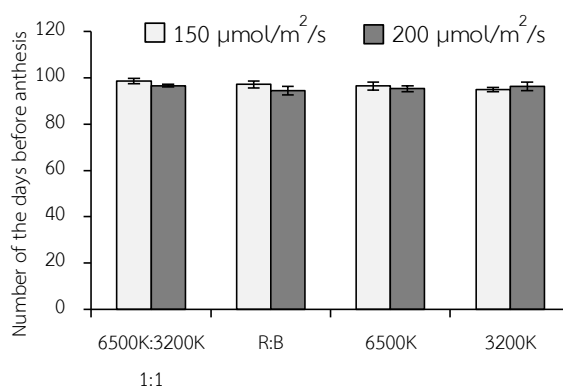
Dependent variables	Independent variables		
	Light intensity	Light quality	A x B
	(A)	(B)	
F_V/F_M 90D	NS	<0.01**	NS
Φ_{PSII} 90D	<0.017*	NS	NS
Total CHL ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 90D	NS	<0.010*	<0.01**
RWC (%) 90D	NS	NS	NS
MDA (mmol/ml/gFW) 90D	NS	NS	NS
% Electrolyte leakage 90D	<0.013*	<0.01**	<0.01**
F_V/F_M 120D	<0.01**	NS	NS
Φ_{PSII} 120D	NS	NS	NS
Total CHL ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 120D	NS	NS	NS
RWC (%) 120D	<0.01**	<0.030*	NS
MDA (mmol/ml/gFW) 120D	NS	NS	NS
% Electrolyte leakage 120D	<0.01**	<0.01**	<0.01**

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

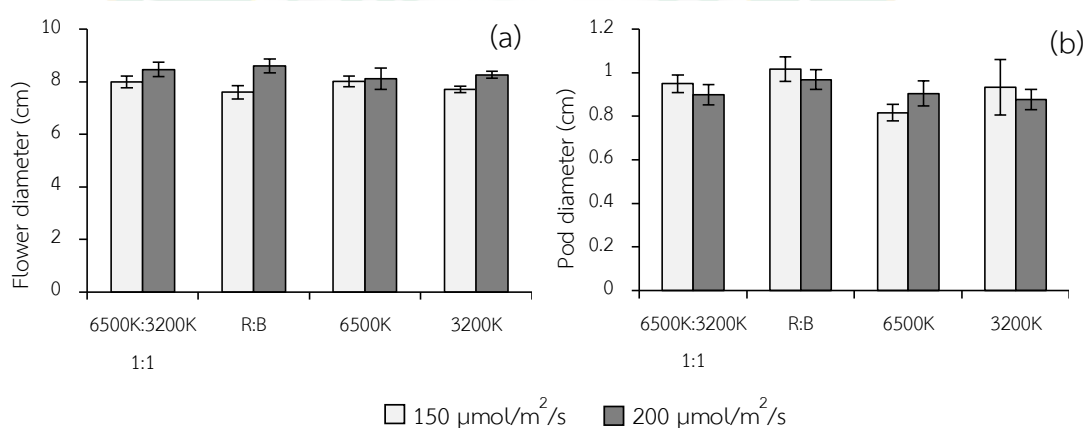
(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

จากการบันทึกข้อมูลจำนวนวันก่อนดอกบาน พบว่าทุกตำรับมีค่าอยู่ระหว่าง 94-97 วันโดยพืชที่ได้รับแสงชนิด Red : Blue (2:1) ที่ความเข้มแสง $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีจำนวนวันก่อนดอกบานที่น้อยที่สุด คือ 94.5 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับอื่น (ภาพที่ 22)



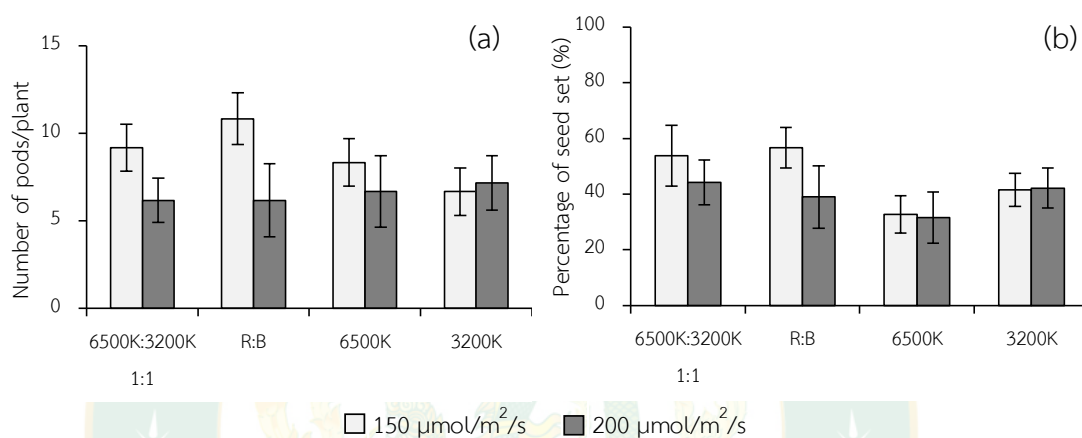
ภาพที่ 22 แสดงจำนวนวันก่อนดอกบานเต็มที่ของต้นถั่วลิสงที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 23 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอก (a) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝัก (b) ของต้นถั่วลิสงที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

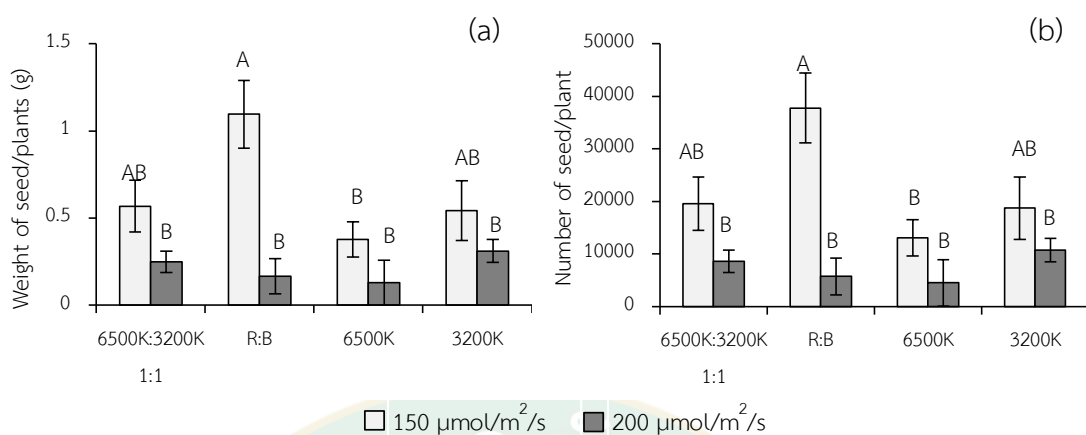
เมื่อศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกที่บานเต็มที่พบว่าในทุกตำรับมีขนาดระหว่าง 7.6-8.4 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฝักอยู่ที่ 0.8-1 เซนติเมตร (ภาพที่ 23a,b)

จากการบันทึกข้อมูลจำนวนฝักต่อต้นและเปอร์เซ็นต์การติดฝัก พบว่าพืชที่ได้รับความเข้มแสง $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีแนวโน้มที่สูงกว่าพืชที่ได้รับความเข้มแสง $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นพืชที่ได้รับความเข้มแสง 3200K ที่ความเข้มแสง $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีค่าสูงกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 จำนวนฝักต่อต้น (a) และเปอร์เซ็นต์การติดฝัก (b) ของต้นถั่วเขียวที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

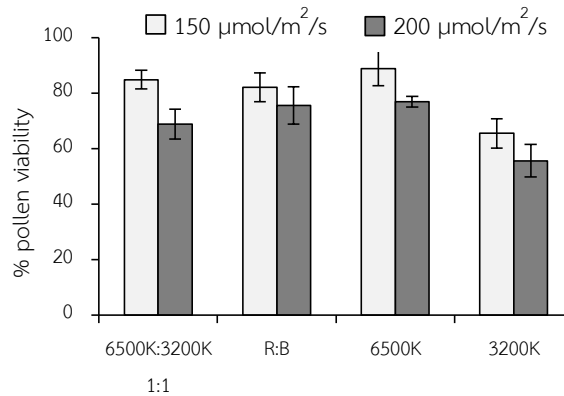
ในด้านของน้ำหนักเมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อต้นมีผลที่สอดคล้องกัน โดยพืชที่ได้รับความเข้มแสงชนิด Red : Blue (2:1) ที่ความเข้มแสงที่ $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีน้ำหนักเมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อต้นสูงกว่าพืชที่ได้รับความเข้มแสงที่ $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 25)



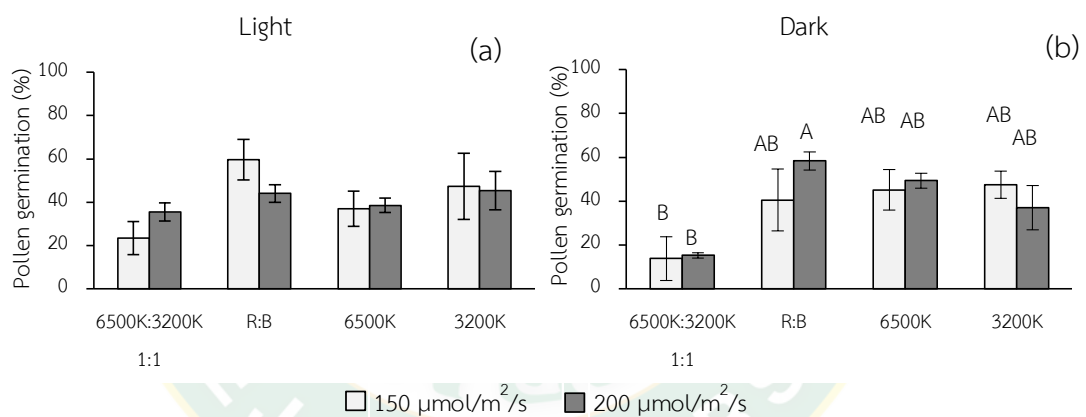
ภาพที่ 25 แสดงมวลน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (a) และจำนวนเมล็ดต่อต้น (b) จากต้นกล้วยน้ำว้าที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูพบว่า ละอองเรณูที่เจริญเติบโตภายใต้ความเข้มแสง 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ในทุกตำรับมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตที่สูงกว่าละอองเรณูที่เจริญเติบโตภายใต้แสง 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 26)

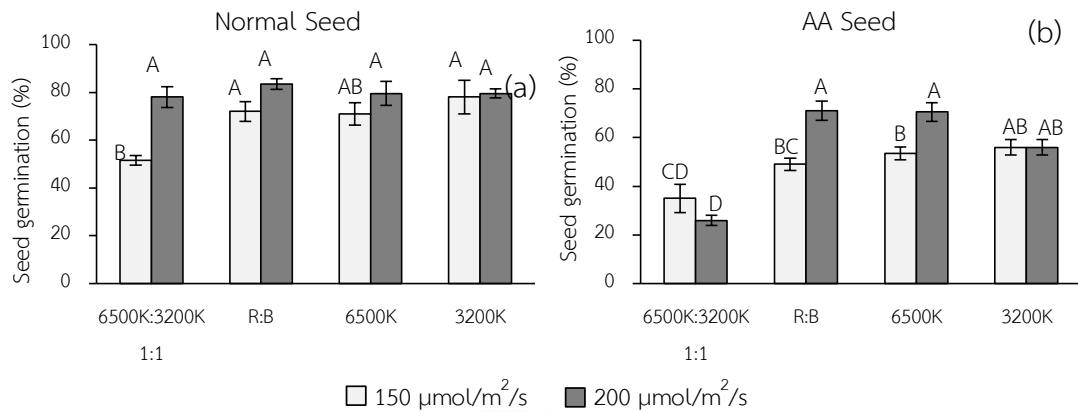
และเมื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเรณูภายใต้แสงและภายใต้ที่มีดพบว่า พบว่าต้นกล้วยน้ำว้าที่ได้รับแสง 6500K : 3200K (1:1) ทั้ง 2 ระดับความเข้มแสงมีเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ค่อนข้างต่ำกว่าตำรับอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 27) ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดมีความสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ความงอกของละอองเรณู ที่พบว่าพืชที่ได้รับแสง 6500K : 3200K (1:1) ทั้ง 2 ระดับความเข้มแสง มีแนวโน้มต่ำกว่าตำรับอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเฉพาะในเมล็ดที่ทำการเร่งอายุจะเห็นว่ามีการงอกของเมล็ดที่ต่ำอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 28) จากผลค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก พบว่ามีค่าเฉลี่ยจำนวนวันอยู่ที่ 7.5-8.5 วันทั้งในเมล็ดปกติและเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 29a,b)



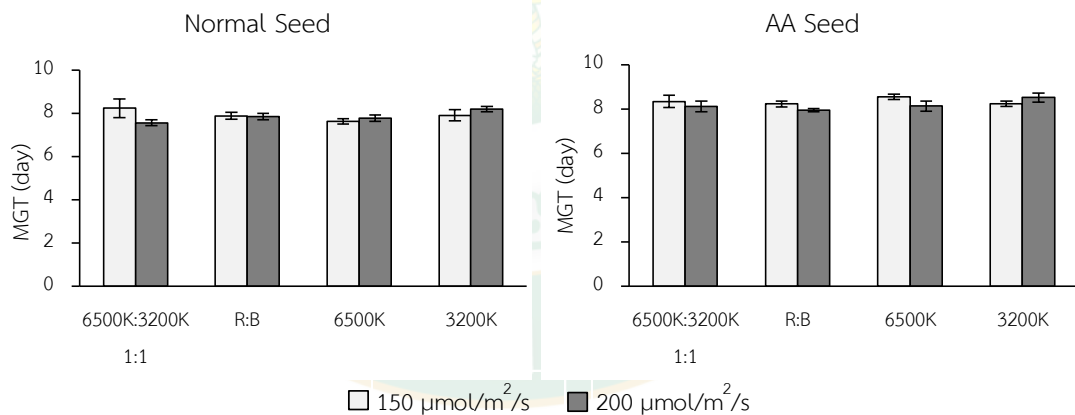
ภาพที่ 26 แสดงเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของละอองเรณูจากต้นกล้วยที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$



ภาพที่ 27 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูภายใต้แสง (a), และความมืด (b) ของต้นกล้วยที่ปลูกภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 28 แสดงเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดปกติ (Normal seed, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (AA seed, b) ของต้นกล้วยซีเนี่ยที่เจริญเติบโตภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (Mean germination time; MGT) ของเมล็ดปกติ (Normal seed, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (AA seed, b) ของต้นกล้วยซีเนี่ยที่เจริญเติบโตภายใต้แสงรูปแบบต่างๆ แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง พบว่าความเข้มแสง ที่ส่งผลต่อน้ำหนักเมล็ดต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น เปอร์เซ็นต์การงอกในเมล็ดปกติและเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (AA) นั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพแสง (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางเดี่ยวของความเข้มแสง (A) และคุณภาพแสง (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง (A x B) ที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตเมล็ด และคุณภาพเมล็ด

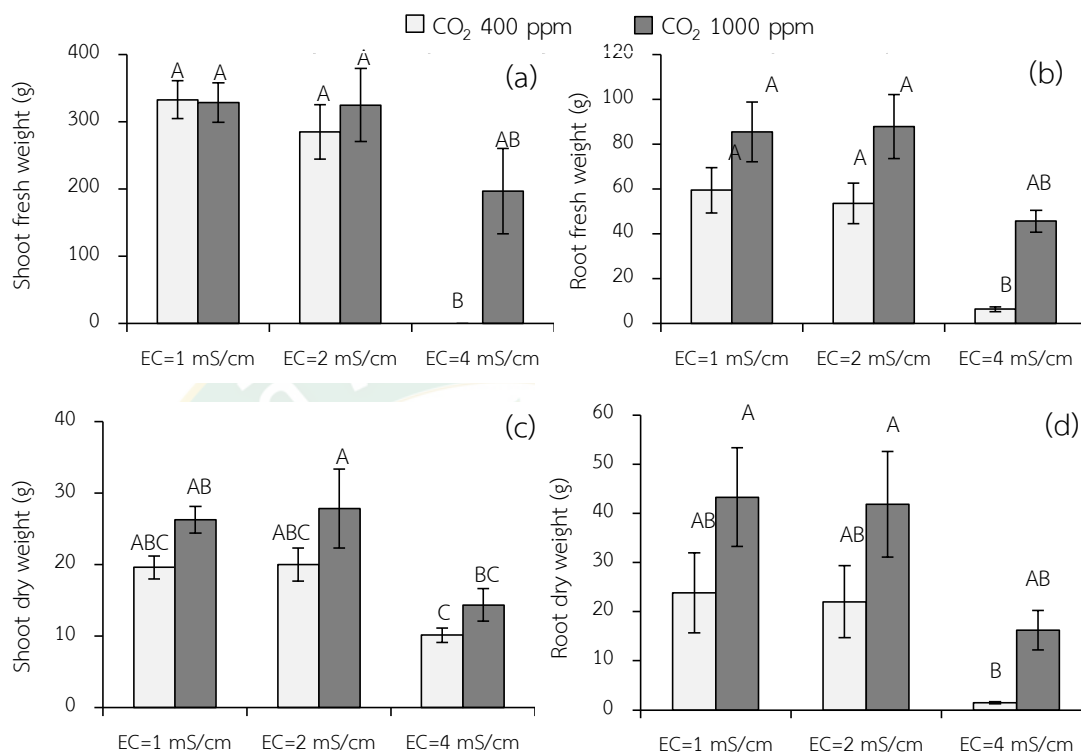
Dependent variables	Independent variables		
	Light intensity	Light quality	A x B
	(A)	(B)	
Day to anthesis	NS	NS	NS
Flower diameter (cm.)	<0.01**	NS	NS
Pod diameter (cm.)	NS	NS	NS
Numb of pod/plant	NS	NS	NS
% pod/plant	NS	NS	NS
Weight of seed (g.)	<0.01**	<0.042*	<0.025*
Numb of seed	<0.01**	<0.042*	<0.025*
Pollen viability (%)	<0.01**	<0.01**	NS
Pollen germination (%) light	NS	NS	NS
Pollen germination (%) dark	NS	NS	NS
Seed germination (%) normal	<0.01**	<0.011*	<0.046*
Seed germination (%) AA	<0.01**	<0.01**	<0.01**
MGT (day) normal	NS	NS	NS
MGT (day) AA	NS	NS	NS

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

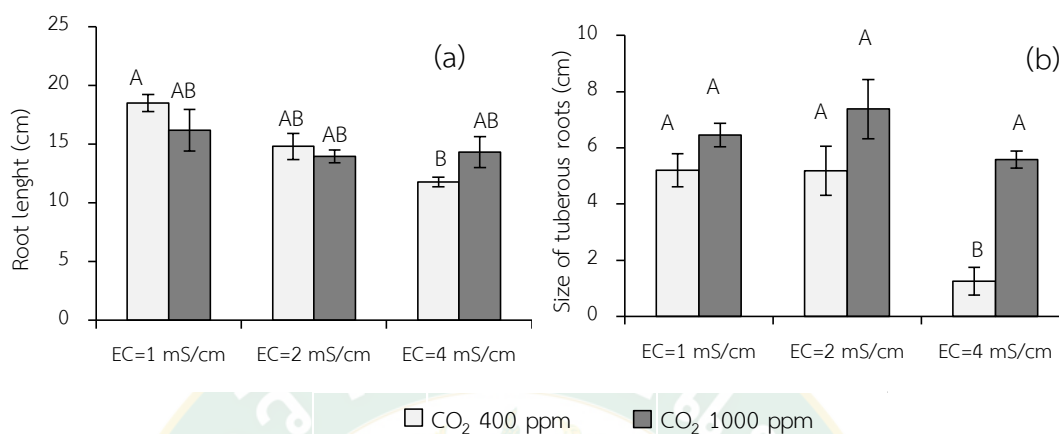
ผลการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นกล็อกซิเนีย



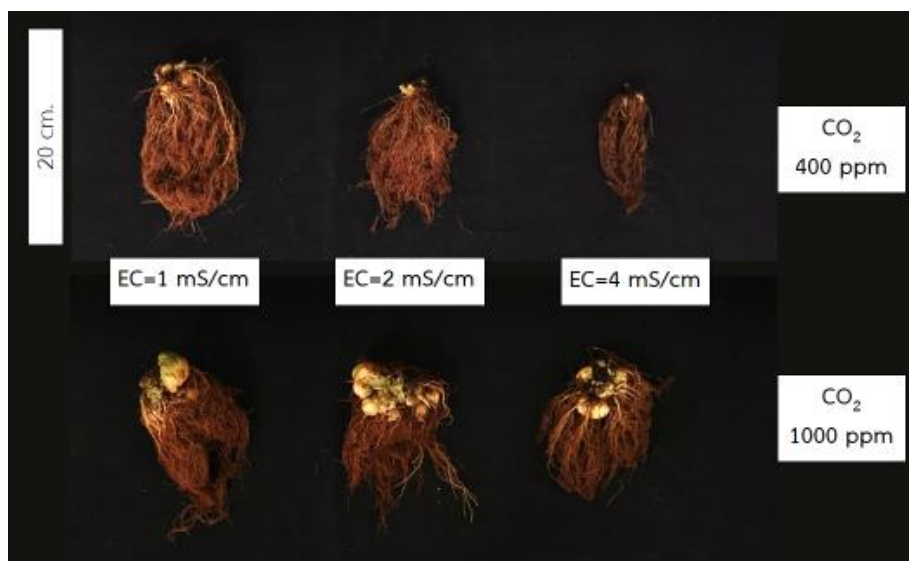
ภาพที่ 30 แสดงมวลน้ำหนักสดส่วนยอด (a) มวลน้ำหนักสดส่วนราก (b) มวลน้ำหนักแห้งส่วนยอด (c) และมวลน้ำหนักแห้งส่วนราก (d) ของต้นกล็อกซิเนียอายุ 150 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

ทำศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับ ได้แก่ EC=1, 2, และ 4 mS/cm ภายใต้ปริมาณ CO₂ 2 ระดับ คือ 400 และ 1,000 ppm ต่อการเจริญเติบโตของกล็อกซิเนียพันธุ์ Double brocade blue จากการทดลอง พบว่า พืชที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ 4 mS/cm ภายใต้ CO₂ 400 ppm ตายก่อนที่จะถึงวันบันทึกมวลน้ำหนักสดต้น ส่วนมวลน้ำหนักสดรากพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 1,000 ppm มีแนวโน้มที่สูงกว่า CO₂ 400 ppm แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกันกับในส่วนของมวลน้ำหนักแห้งต้นและราก (ภาพที่ 30) ส่วนความยาวรากพบว่ามีความยาวที่ลดลงตามลำดับเมื่อมีความเข้มข้นปุ๋ยเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ

ขนาดหัวใต้ดิน พบว่า พืชที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ 4 mS/cm ภายใต้ CO₂ 400 ppm มีขนาดหัวใต้ดินที่เล็กที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 31,32)



ภาพที่ 31 แสดงความยาวของราก (a) และขนาดของหัวใต้ดิน (b) ของต้นกล้วยน้ำว้าอายุ 150 วัน หลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้ระบุด้วยอักษรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 32 แสดงลักษณะของรากกลีอกซีเนียวที่เจริญเติบโตภายใต้การเพิ่มปริมาณ CO_2 2 ระดับ คือ 400 และ 1,000 ppm และระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับได้แก่ EC=1, 2, และ 4 mS/cm

พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 400 ppm ที่ได้รับปุ๋ยความเข้มข้น 1 mS/cm มีความสูงของต้นมากกว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm (ภาพที่ 33a) ส่วนความกว้างทรงพุ่มพบว่า เฉพาะพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 400 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ 2 mS/cm มีความกว้างทรงพุ่มมากกว่าต้นที่ปลูกใน CO_2 1,000 ppm ที่ความเข้มข้นปุ๋ยเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 33b) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณ CO_2 มีปฏิสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย โดยอิทธิพลของปริมาณ CO_2 ที่ส่งผลต่อความสูงของต้น, และความกว้างทรงพุ่มนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (ภาพที่ 35, ตารางที่ 11) จากการบันทึกจำนวนใบและความกว้างใบพบว่า พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 400 ppm มีแนวโน้มค่าลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับ (ภาพที่ 34)

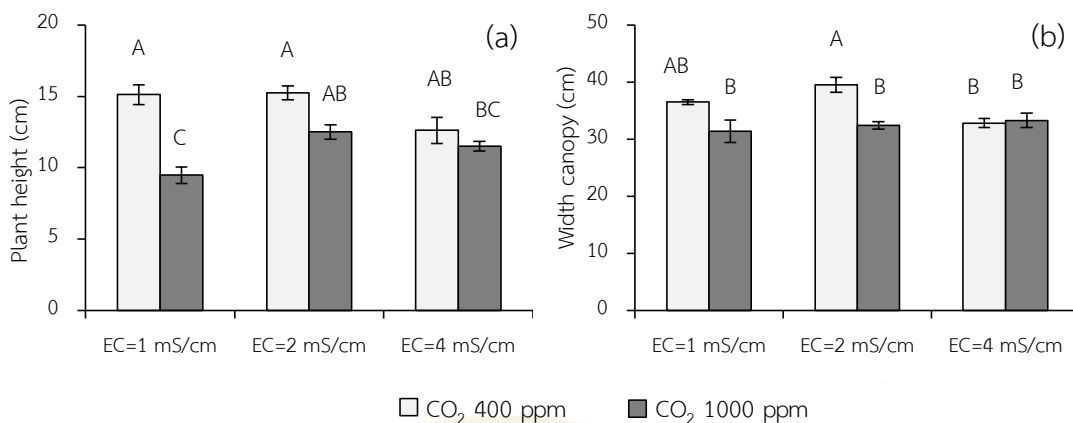
ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่ส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต

Dependent variables	Independent variables		
	CO ₂ concentration (A)	EC levels (B)	A x B
Shoot FW	>0.049*	>0.01**	NS
Shoot DW	>0.018*	>0.01**	NS
Root FW	>0.01**	>0.01**	NS
Root DW	>0.012*	>0.01**	NS
Root length (cm.)	NS	>0.01**	NS
Size of tuberous roots (cm.)	>0.01**	>0.01**	NS
Plant height (cm.)	>0.01**	>0.022*	>0.01**
Canopy width (cm.)	>0.01**	NS	>0.017*
Numb of leaves	NS	NS	NS
Width of leave	>0.045*	NS	NS

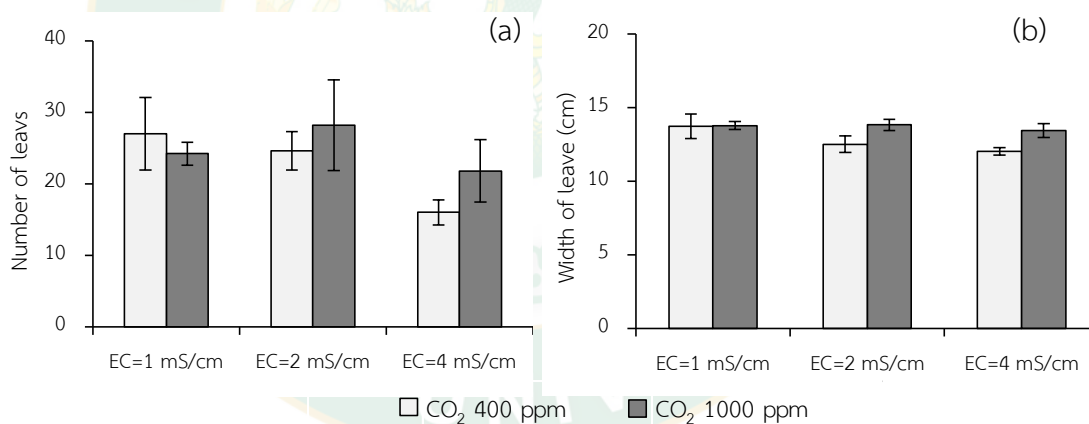
หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$



ภาพที่ 33 แสดงความสูงของต้น (a) และความกว้างทรงพุ่ม (b) ของต้นกล้วยซีเนี่ยอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05



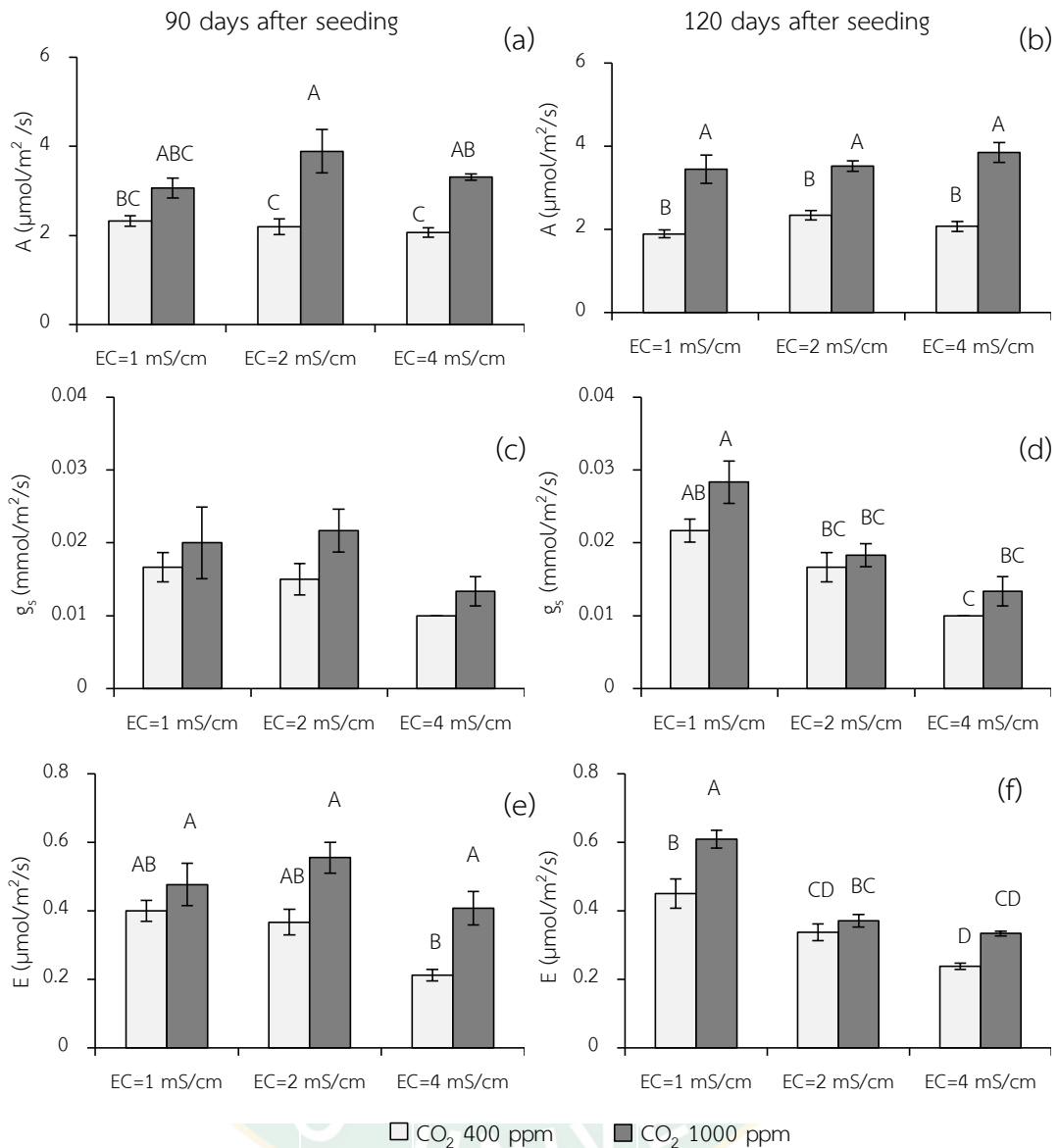
ภาพที่ 34 แสดงจำนวนใบ (a) และขนาดใบ (b) ของต้นกล้วยซีเนี่ยอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05



ภาพที่ 35 แสดงลักษณะของต้นกลีอกซีเนียที่เจริญเติบโตภายใต้การเพิ่มปริมาณ CO_2 2 ระดับ คือ 400 และ 1,000 ppm และระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับได้แก่ EC=1, 2, และ 4 mS/cm ที่อายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

เมื่อทำการวัดดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยศึกษา 2 ช่วงอายุ คือ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด โดยในช่วง 120 วันเป็นช่วงที่ต้นกำลังออกดอกและติดเมล็ด ทั้ง 2 ช่วงอายุ ต้นกลีอกซีเนียที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ 2 mS/cm มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าต้นที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 400 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 36a, b) ค่าอัตราการนำไหลของปากใบมีแนวโน้มลดลงตามค่าความเข้มข้นปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 36c, d) และค่าอัตราการคายระเหยของน้ำในใบ พบว่าที่ 90 วัน ต้นที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ 4 mS/cm มีค่ามากกว่าต้นที่ปลูกภายใต้ CO_2 400 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 36e) ส่วนในช่วง 120 วัน พบว่าค่าอัตราการคายระเหยของน้ำในใบ พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยที่ระดับ 1 mS/cm มีค่าอัตราการคายระเหยของน้ำในใบ มากกว่าต้นที่ปลูกภายใต้ CO_2 400 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 36f)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปริมาณ CO_2 และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย พบว่า ตัวแปรทั้ง 2 ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อการทำให้เกิดความแปรปรวนของค่าดัชนีที่ทำกรวัดทั้งหมด (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 36 แสดงอัตราการสังเคราะห์แสง (a,b) อัตราการนำไหลของปากใบ (c,d) และอัตราการคายระเหยของน้ำจากผิวใบ (e,f) ของต้นกล้วยซีเนี่ยอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่มีผลต่อค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซทั้ง 2 ช่วงอายุการเจริญเติบโต

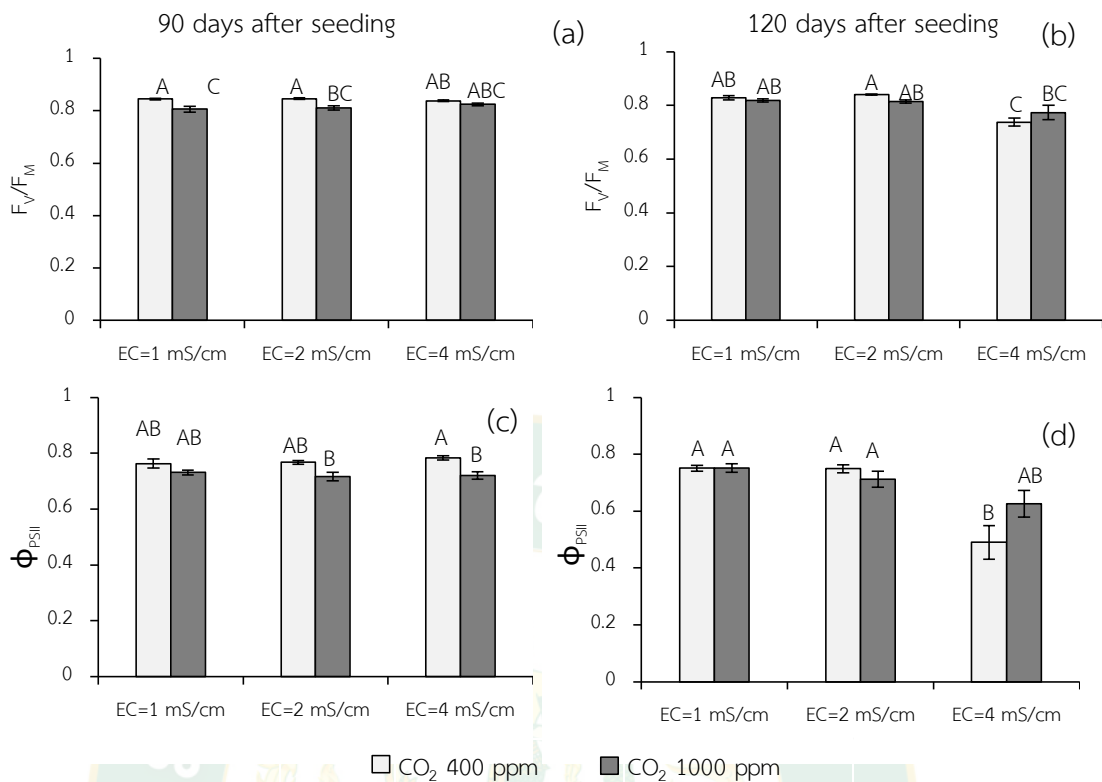
Dependent variables	Independent variables		
	CO ₂ concentration	EC levels	A x B
	(A)	(B)	
A (μmol/m ² /s) 90D	<0.01**	NS	NS
g _s (μmol/m ² /s) 90D	NS	<0.041*	NS
E (μmol/m ² /s) 90D	<0.01**	<0.01**	NS
A (μmol/m ² /s) 120D	<0.01**	NS	NS
g _s (μmol/m ² /s) 120D	<0.023*	<0.01**	NS
E (μmol/m ² /s) 120D	<0.01**	<0.01**	NS

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ P < 0.05

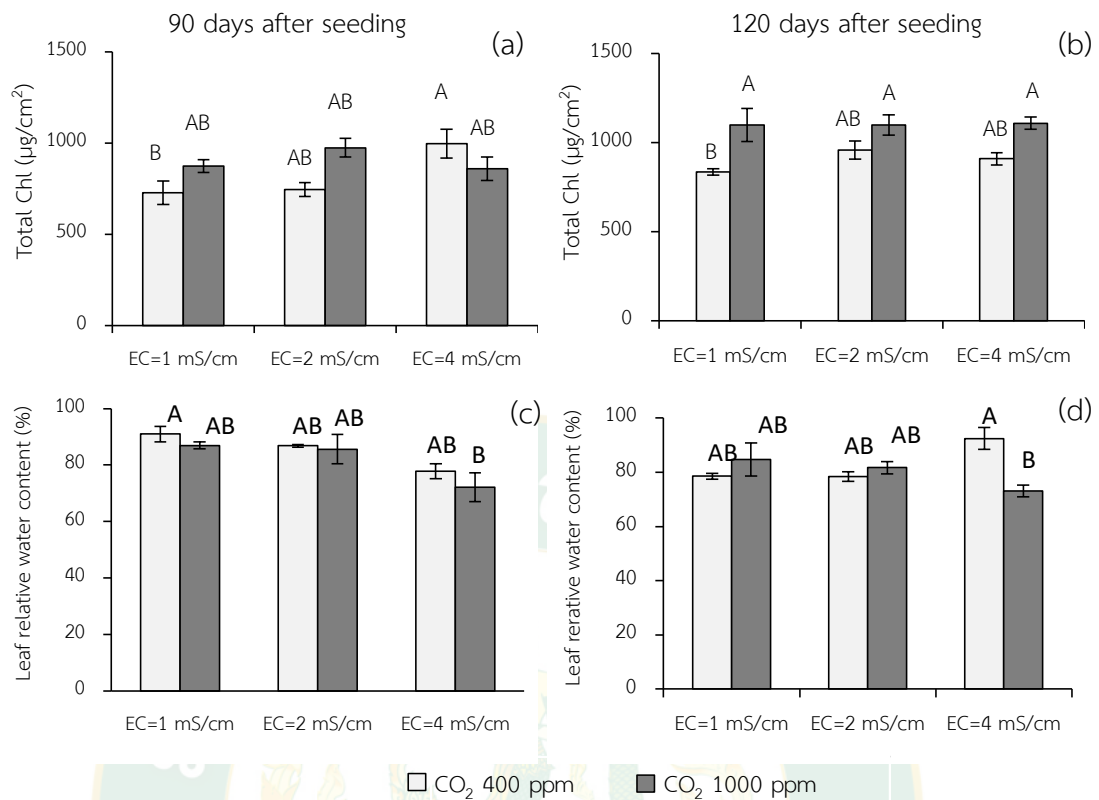
(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ P < 0.01

จากการศึกษาค่า F_v/F_m ของต้นกลีอกขเนียภายใต้ปริมาณ CO₂ ในบรรยากาศและความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกันโดยศึกษา 2 ช่วงอายุคือ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่าในช่วงอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ด ต้นที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยระดับ 1 mS/cm และ 2 mS/cm มีค่า F_v/F_m สูงกว่าต้นที่ปลูกใน CO₂ 1,000 ppm (ภาพที่ 37a) พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยระดับ 4 mS/cm มีค่า ϕ_{PSII} สูงกว่าต้นที่ปลูกภายใต้ CO₂ 1,000 ppm มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 37c) ส่วนในช่วงอายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ดพบว่า มีค่า F_v/F_m อยู่ในช่วง 0.73-0.84 โดยพบว่าในสภาพ CO₂ 400 ppm ต้นที่ได้รับปุ๋ย EC=4 mS/cm มีค่า F_v/F_m ต่ำกว่าต้นที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยระดับ 1 และ 2 mS/cm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 37b) ส่วนค่า ϕ_{PSII} พบว่าได้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือ ในสภาพ CO₂ 400 ppm ต้นที่ได้รับปุ๋ย EC=4 mS/cm มีค่า ϕ_{PSII} ต่ำกว่าต้นที่ได้รับความเข้มข้นปุ๋ยระดับ 1 และ 2 mS/cm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 37d)



ภาพที่ 37 แสดงค่า F_v/F_m (a,b) และค่า Φ_{PSII} (c,d) ของต้นถั่วลิสงซีเนียวอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

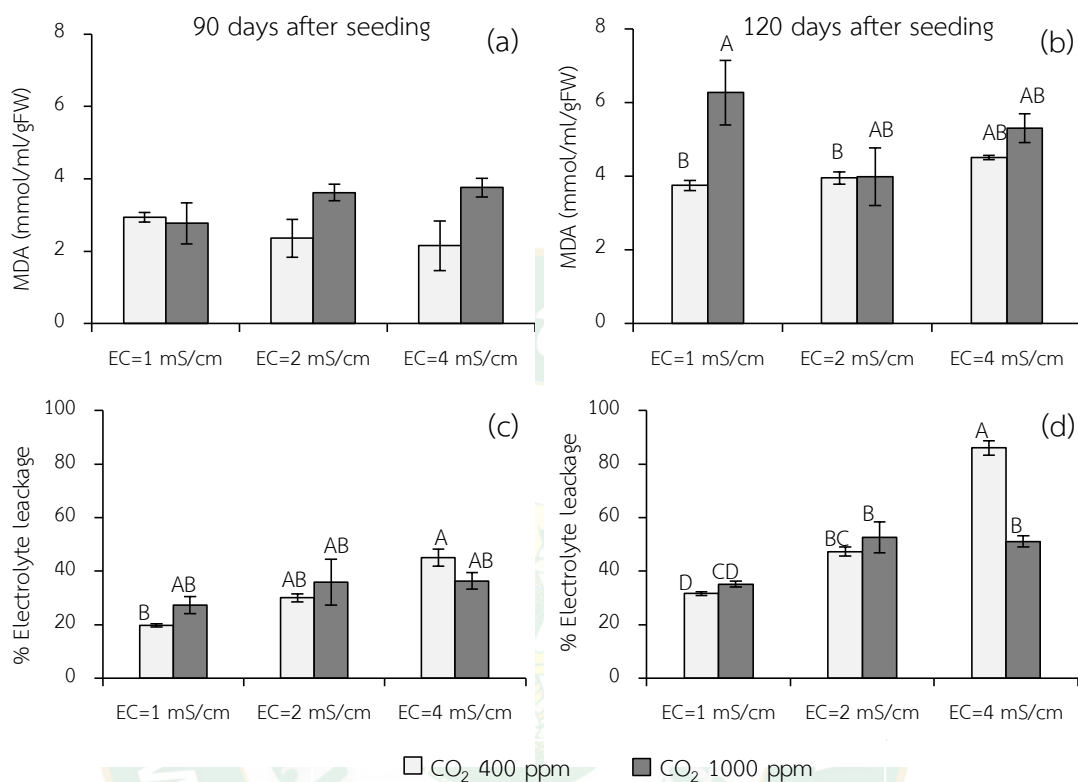
จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยวในช่วงอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดพบว่าทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ(ภาพที่ 38a) ส่วนปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบเดี่ยว พบว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ 2 mS/cm มีค่าสูงกว่าตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 38c) ในช่วงอายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 1,000 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยวที่สูงกว่าโดยเฉพาะพืชที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ 1 mS/cm มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 38b) ส่วนปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบเดี่ยวพบว่า ต้นที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ 4 mS/cm มีค่าสูงกว่าต้นที่ปลูกใน CO₂ 1,000 ppm ที่ความเข้มข้นเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 38d)



ภาพที่ 38 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเดี่ยว (a,b) และปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบเดี่ยว (c,d) ของต้นกล้วยตานีอายุ 90 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความชื้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

ในส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณ MDA ในช่วงอายุ 90 วันหลังเพาะเมล็ดพบว่า พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm มีปริมาณ MDA แปรผกผันกับความชื้นปุย ในขณะที่ต้นที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 1000 ppm มีปริมาณ MDA แปรผันตามความชื้นปุย แต่ทุกตำรับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 39a) และในส่วนของร้อยละของการรั่วไหลของไอออน พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อมีความชื้นปุยที่สูงขึ้นในต้นกล้วยตานีที่ปลูกในสภาพ CO₂ ทั้ง 2 ช่วงอายุ โดยเฉพาะในช่วงอายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ดพืชที่ได้รับความชื้นปุย EC= 4mS/cm ที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 39c) ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณ MDA ในช่วงอายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ดพบว่า พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 1,000 ppm ที่ได้รับความชื้นปุยที่ระดับ 1 mS/cm มีปริมาณ MDA สูงกว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 39b) และในส่วนของร้อยละของการรั่วไหลของไอออน

พบว่า พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 400 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ 4 mS/cm มีค่าร้อยละของการรั่วไหลของไอออนสูงกว่าตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 39d)



ภาพที่ 39 แสดงปริมาณ MDA และร้อยละของการรั่วไหลของไอออน ของต้นกลีอกซีเนียวอายุ 90 (a,c) และ 120 (b,d) วันหลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=6) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

เมื่อทำการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO_2 กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยพบว่า ปริมาณ CO_2 ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมที่อายุ 90 วัน, และค่าร้อยละของการรั่วไหลของไอออนที่อายุ 120 วัน ในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของ PSII, ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, RWC, MDA, และ EL ทั้ง 2 ช่วงอายุ

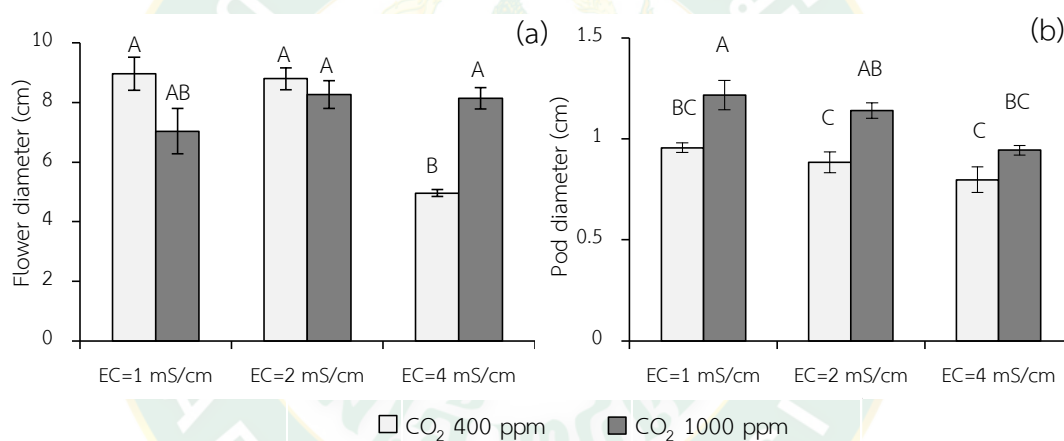
Dependent variables	Independent variables		
	CO ₂ concentration	EC levels	A x B
	(A)	(B)	
F _V /F _M 90D	<0.01**	NS	NS
Φ _{PSII} 90D	<0.01**	NS	NS
Total CHL (µg/cm ²) 90D	NS	NS	<0.011*
RWC (%) 90D	<0.01**	NS	NS
MDA (mmol/ml/gFW) 90D	<0.026*	NS	NS
% Electrolyte leakage 90D	NS	<0.01**	NS
F _V /F _M 120D	NS	<0.01**	NS
Φ _{PSII} 120D	NS	<0.01**	NS
Total CHL (µg/cm ²) 120D	NS	NS	NS
RWC (%) 120D	<0.01**	<0.030*	NS
MDA (mmol/ml/gFW) 120D	NS	NS	NS
% Electrolyte leakage 120D	<0.01**	<0.01**	<0.01**

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ P < 0.05

(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ P < 0.01

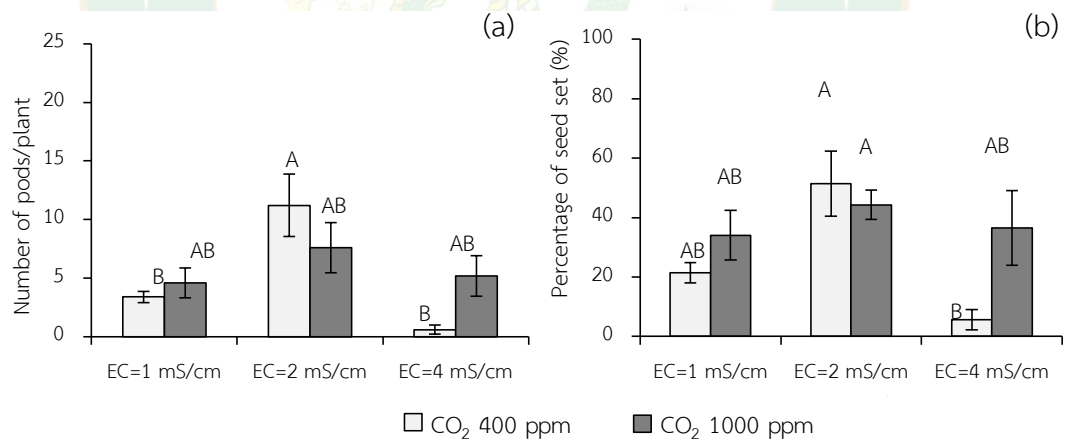
ในการศึกษาขนาดของดอกที่บานเต็มที่ภายใต้ปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศและความเข้มข้นที่ต่างกัน (ภาพที่ 41) พบว่า พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 400 ppm ที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ 4 mS/cm มีเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกน้อยกว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 40a) เมื่อทำการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO_2 กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของดอก พบว่าปริมาณ CO_2 ส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของดอกนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 14) ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักที่เจริญเต็มที่พบว่ามีความโน้มถ่วงลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm และได้รับความเข้มข้นที่ระดับ 1 mS/cm มีเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักที่เจริญเต็มที่มากกว่าต้นที่ปลูกใน CO_2 400 ppm ที่ความเข้มข้นเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 40b)



ภาพที่ 40 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอก (a) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝัก (b) ของต้นถั่วลิสงที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE ($n=5$) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$



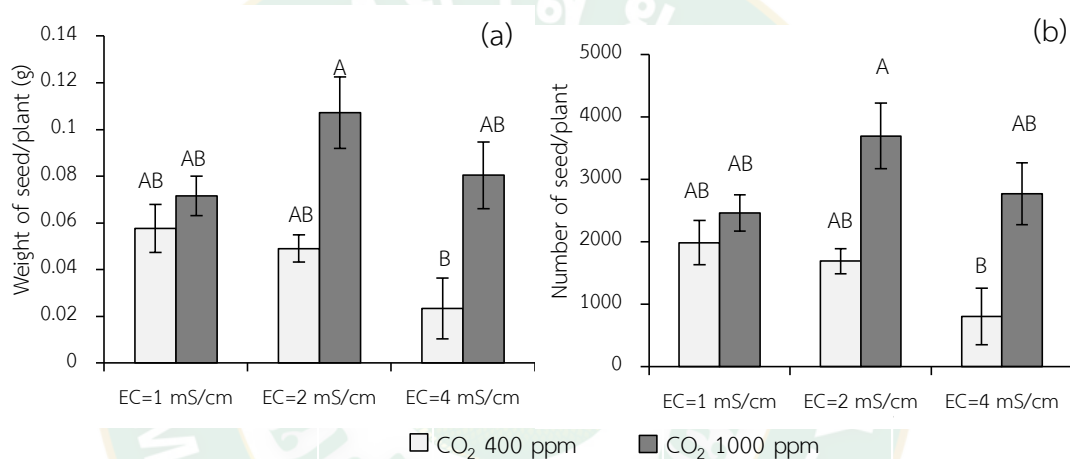
ภาพที่ 41 แสดงลักษณะของดอกที่บานเต็มที่ ของต้นกลีอกซีเนียที่เจริญเติบโตภายใต้การเพิ่มปริมาณ CO_2 2 ระดับ คือ 400 และ 1,000 ppm และระดับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย 3 ระดับได้แก่ EC=1, 2, และ 4 mS/cm



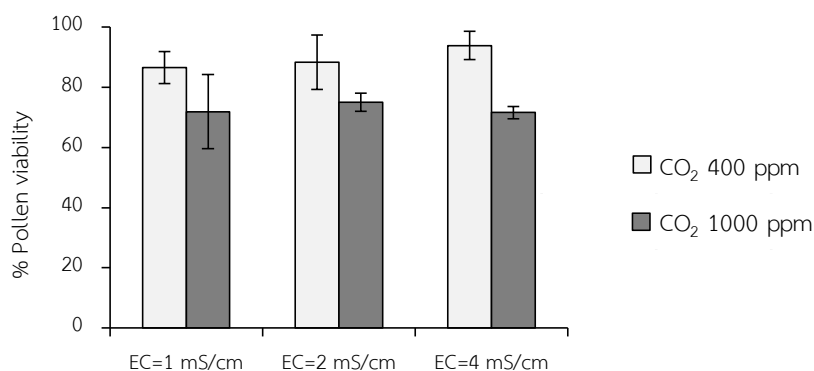
ภาพที่ 42 แสดงจำนวนฝักต่อต้น (a) และเปอร์เซ็นต์การติดฝักต่อต้น (b) ของต้นกลีอกซีเนียที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แลพบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

จากการศึกษาจำนวนฝักต่อต้น และเปอร์เซ็นต์การติดฝักต่อต้น พบว่าต้นกล้วยซีเนียร์ที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm ยกเว้นพืชที่ได้รับความเข้มข้นระดับ 2 mS/cm มีจำนวนฝักต่อต้น และเปอร์เซ็นต์การติดฝักต่อต้นมากกว่าพืชที่ปลูกใน CO₂ 1,000 ppm แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับ (ภาพที่ 42)

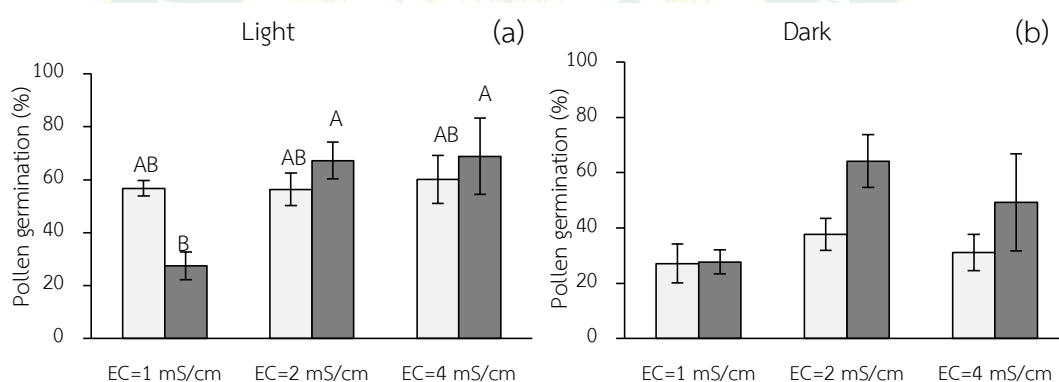
ในการศึกษาน้ำหนักและจำนวนเมล็ดต่อต้นพบว่า พืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 1,000 ppm มีแนวโน้มของค่าทั้ง 2 ที่สูงกว่า CO₂ 400 ppm แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm มีแนวโน้มค่าทั้ง 2 ที่ลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 43)



ภาพที่ 43 แสดงน้ำหนักเมล็ดต่อต้น (a) และจำนวนเมล็ดต่อต้น (b) ของต้นกล้วยซีเนียร์ที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) P ≤ 0.05



ภาพที่ 44 แสดงเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูของต้นกล้วยน้ำว้าที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P < 0.05$



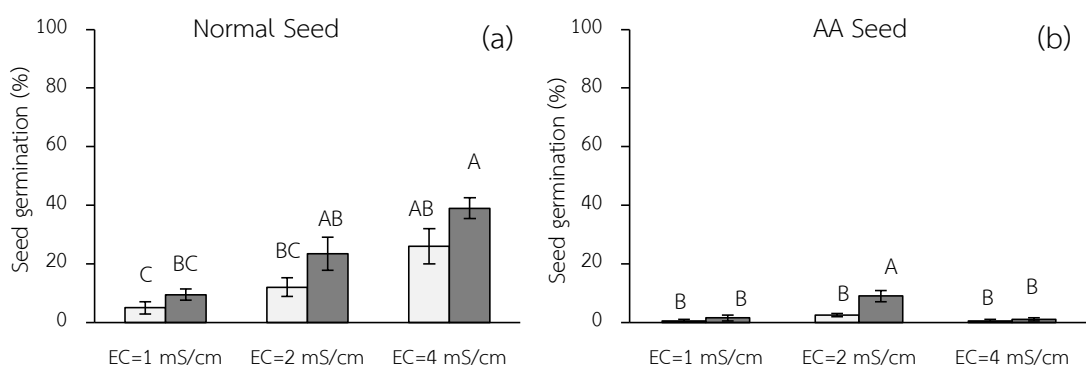
ภาพที่ 45 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูภายใต้แสง (a), และความมืด (b) ของต้นกล้วยน้ำว้าที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P < 0.05$

เมื่อทำการศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณูพบว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO₂ 400 ppm มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงกว่าเมื่อเทียบกับพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ ภายใต้ CO₂ 1,000 ppm แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 44) ส่วนเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การงอกภายใต้แสงมากกว่าภายใต้ความมืด (ภาพที่ 45a,b) ภายใต้แสงพบว่าในพืชที่ได้รับความเข้มข้น

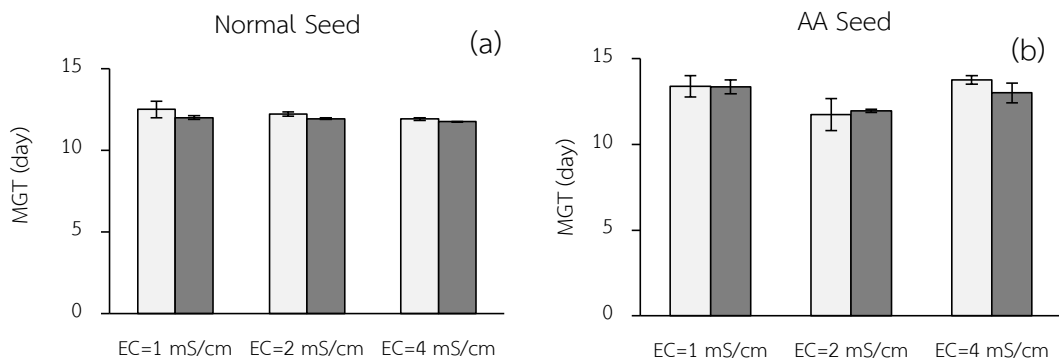
ระดับ 1 mS/cm และเจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm มีค่าเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุด (ภาพที่ 45a)

จากผลการทดสอบความงอกของเมล็ดในเมล็ดปกติพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามลำดับโดยเฉพาะในพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm โดยเฉพาะพืชที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ EC=4 mS/cm เมื่อเทียบกับพืชที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ EC=1 mS/cm แต่ในเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (AA) พบว่าเมล็ดที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ EC=2 mS/cm ที่เจริญเติบโตภายใต้ CO_2 1,000 ppm มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าตัวรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 46) แต่ยังคงน้อยกว่าในเมล็ดปกติมาก นอกจากนี้พบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอกในเมล็ด AA เมล็ดที่ได้รับความเข้มข้นที่ระดับ EC=2 mS/cm มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าตัวรับอื่นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 47)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO_2 กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย พบว่าปริมาณ CO_2 มีปฏิสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย โดยอิทธิพลของปริมาณ CO_2 ที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด AA นั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (ตารางที่ 14)



ภาพที่ 46 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดปกติ (Normal, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (Accelerated aging, b) ของต้นถั่วเขียวที่ปลูกในสภาพ CO_2 และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honesty Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$



ภาพที่ 47 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก (Mean germination time; MGT) ของเมล็ดปกติ (Normal, a) และเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุ (Accelerated aging, b) ของต้นถั่วเขียวที่ปลูกในสภาพ CO₂ และความชื้นปุ๋ยที่แตกต่างกัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน SE (n=4) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) $P \leq 0.05$

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของปริมาณ CO₂ (A) และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (B) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO₂ กับความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย (A x B) ที่มีผลกับผลผลิตเมล็ด และคุณภาพเมล็ด MGT

Dependent variables	Independent variables		
	CO ₂ concentration	EC levels	A x B
	(A)	(B)	
Flower diameter (cm)	NS	<0.01**	<0.01**
Pod diameter (cm)	<0.01**	<0.01**	NS
Numb of pods/plant	NS	NS	NS
% seed set	NS	NS	NS
Weight of seed (g)	<0.01**	NS	NS
Numb of seeds/plant	<0.01**	NS	NS
Pollen viability (%)	<0.01**	NS	NS
Pollen germination (%) light	NS	<0.036*	NS
Pollen germination (%) dark	NS	NS	NS
Seed germination (%) normal	<0.01**	<0.01**	NS
Seed germination (%) AA	<0.01**	<0.01**	<0.011*
MGT (day) normal	NS	NS	NS
MGT (day) AA	NS	<0.017*	NS

หมายเหตุ (NS) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(*) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

(**) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

วิจารณ์ผล

การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเมล็ดพันธุ์กล็อกซีเนียภายใต้ระบบปิดและในระบบโรงเรือน

จากผลการทดลองเปรียบเทียบสภาพการเจริญเติบโตที่ต่างกันระหว่างในโรงเรือนระบบปิดและโรงเรือนพลาสติกในการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่าพืชที่เจริญเติบโตในโรงเรือนพลาสติกมีการเจริญเติบโตในภาพรวมที่น้อยกว่าพืชที่เจริญเติบโตภายในระบบปิดในเกือบทุกดัชนีที่ทำการบันทึก รวมไปถึงไม่มีผลผลิตของเมล็ด อาจเป็นเพราะสภาพในโรงเรือนพลาสติกนั้นทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องนัก เพราะความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอในช่วงวัน ความร้อนจากแสงอาทิตย์ยังทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีความผันผวนอยู่ตลอด ยิ่งไปกว่านั้นคุณภาพแสงและทิศทางแสงก็ไม่สามารถควบคุมได้ (Kozai et al., 2016) ในการทดลองที่ 1 นี้ได้ดำเนินการในช่วงฤดูฝนคือเดือน มิถุนายน – สิงหาคม โดยมีอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณแสงแดดเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 27.9 องศาเซลเซียส 76 เปอร์เซ็นต์ และ 3.5 ชั่วโมงตามลำดับ ดังนั้นชั่วโมงการได้รับแสงต่อวันจึงน้อยกว่าพืชที่เจริญเติบโตในระบบปิด ซึ่งได้รับแสงเป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมงต่อวันและมีความเข้มแสงที่สม่ำเสมอ จากรายงานศึกษาสาเหตุของการติดเมล็ดต่อดอกต่ำในต้นโคลเวอร์สีขาวยุโรป (*Trifolium repens* L.) พบว่าการพัฒนาของดอก 3 ระยะ ได้แก่ (a) ระยะก่อนการปฏิสนธิ (b) ระยะบานของดอก (anthesis) ที่นำไปสู่การผสมเกสร และ (c) ระยะหลังการปฏิสนธิ มีความสำคัญต่อการติดเมล็ดในระดับสูง ซึ่งความเข้มของแสงที่ค่อนข้างต่ำในช่วงหลังการปฏิสนธิอาจทำให้เกิดการแท้งของดอกในสัดส่วนที่สูงในออวูล (ovule) ที่ได้รับการปฏิสนธิ และเมล็ดที่กำลังพัฒนา และจากการศึกษาการพัฒนาถุง embryo ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความสมบูรณ์ของออวูลมีความไวต่อความเข้มของแสงมาก ที่ความเข้มแสงต่ำสุดที่ทดสอบใกล้เคียงกับจุดชดเชยแสงสำหรับการสังเคราะห์แสงออวูลสามารถเป็นหมันได้เกือบทั้งหมด (Thomas. 1995) ปริมาณแสงจึงอาจเป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้ต้นกล็อกซีเนียที่เจริญเติบโตในโรงเรือนพลาสติกไม่มีมีการติดเมล็ดในทุกสายพันธุ์ อุณหภูมิน่าจะเป็นอีกหนึ่งปัจจัย เนื่องจากกล็อกซีเนียมีถิ่นกำเนิดอยู่ในป่าชายฝั่งมหาสมุทรแอตแลนติกทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 18 องศาเซลเซียส (Hasing et al., 2019) ดังนั้นในระบบปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 25 ± 2 องศาเซลเซียส จึงมีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับถิ่นกำเนิดของกล็อกซีเนียมากกว่าสภาพแวดล้อมในโรงเรือนพลาสติก

อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของ ถั่วลิสง

การเพิ่มปริมาณ CO₂ สามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยมีผลทำให้ชีวมวลของพืชเพิ่มขึ้น (Prior et al., 2005 ; Drennan & Nobel., 2000) จากผลการทดลองที่ 1 ที่พบว่าต้นถั่วลิสงสายพันธุ์ Double brocade mix และ Double brocade blue ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะการเพิ่มปริมาณ CO₂ ที่ระดับ 1000 ppm ในระบบปิด มีชีวมวลน้ำหนักสดและแห้งสูงกว่าต้นที่ปลูกในสภาพปกติและในโรงเรือนพลาสติกโดยเฉพาะในน้ำหนักรากแห้ง (ภาพที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Seneweera. 2011 ที่พบว่าความเข้มข้นของ CO₂ ที่เพิ่มขึ้นทำให้ชีวมวลเพิ่มขึ้นโดยการแตกกอของข้าว และส่วนใหญ่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของมวลรากถึง 160% ซึ่งการแบ่งสารอาหาร (nutrient partitioning) ระหว่างอวัยวะต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญโดยการแบ่ง N ไปยังใบมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การแบ่ง N เพิ่มขึ้นในกาบใบและราก แต่ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าการกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากที่ระดับ CO₂ ที่สูงนั้นเกิดจากการที่รากมีอายุ การแบ่งสารอาหารไปสู่รากมากขึ้นนำไปสู่การเร่งการพัฒนาราก หรือเพียงแค่ว่ารากเป็นตัวช่วยในการดูดซับคาร์บอนที่ระดับ CO₂ ที่สูงขึ้น

ความเข้มข้นของ CO₂ สูงสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์แสงของพืชโดยการเพิ่มการตรึงคาร์บอน (carboxylation) และลดอัตราการให้ออกซิเจน (oxygenation rate) ของรูบิสโก (Rubisco) ยิ่งไปกว่านั้นระดับ CO₂ ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยการลดการคายน้ำและเพิ่มการสังเคราะห์แสงของใบ (Chen et al., 1999) ดังผลการทดลองที่ 1 ในพืชที่เจริญเติบโตภายใต้การเพิ่มปริมาณ CO₂ ที่ระดับ 1000 ppm ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงในใบเดี่ยวของต้นถั่วลิสงในทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 10a) และส่งผลให้มีน้ำหนักเมล็ดต่อต้นที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับในสภาวะอื่น

อิทธิพลของคุณภาพแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของ กลีอกซีเนีย

พืชใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชได้รับอิทธิพลจากความเข้มแสง, คุณภาพแสง และช่วงแสง (Muneer et al., 2014) แสงทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณควบคุมการพัฒนาของพืช (Qian et al., 2016) เช่น การยืดตัวของ hypocotyl, การขยายพื้นที่ของใบ, และการเผาผลาญผ่านการตอบสนองต่อการส่งสัญญาณแสง จากผลการทดลองที่ 2 ชีวมวลน้ำหนักแห้งในกลีอกซีเนียที่ได้รับแสง 3200K และ 6500K : 3200K ที่ความเข้มแสง 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ มีแนวโน้มที่สูงกว่าตัวรับอื่น ซึ่งขัดแย้งกับอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ ไม่ว่าจะเป็น อัตราการสังเคราะห์แสง, อัตราการนำไหลของปากใบ, และอัตราการคายระเหยของน้ำ ที่มีค่าสูงในแสงชนิด RB ที่ความเข้มแสง 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ Samuoliene et al., 2010 กล่าวว่าการรวมกันของแสงสีแดงและสีน้ำเงินเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีประสิทธิภาพสำหรับพืชหลายชนิด เป็นที่ทราบกันดีว่าแสงสีแดงมีความสำคัญต่อการยืดตัวของยอด/ลำต้น, การตอบสนองของไฟโตโครม, และการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของพืช (Schuerger et al., 1997) ในทางตรงกันข้ามแสงสีน้ำเงินก็มีความสำคัญในการสังเคราะห์ทางชีวภาพของคลอโรฟิลล์, การเปิดปากใบ, การสังเคราะห์เอนไซม์, การเจริญเติบโตของคลอโรพลาสต์, และการสังเคราะห์ด้วยแสง (Tibbitts et al., 1983) คลอโรฟิลล์มีจุดสูงสุดในการดูดกลืนแสงในบริเวณใกล้เคียง 450 นาโนเมตร (บริเวณแสงสีน้ำเงิน) และ 660 นาโนเมตร (บริเวณแสงสีแดง) ในสเปกตรัมการดูดกลืนแสง แสงสีฟ้ายังเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับการเจริญเติบโตของพืชที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่สมบูรณ์ ในทางกลับกันแสงสีแดงมีก็มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืช (Okamoto et al., 1996) ดังนั้นการตรวจวัดค่าดัชนีในการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบที่อยู่ด้านบนของทรงพุ่มด้วยแสง RB จึงพบว่าม้อัตราการสังเคราะห์แสง (A) มากกว่าค่าอัตราการสังเคราะห์ที่วัดภายใต้แสงในตัวรับอื่น ๆ แต่ในแสง 3200K และ 6500K : 3200K ที่มีส่วนประกอบของทั้งแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน แดง และเขียว (Sakhonwasee et al., 2017) การเพิ่มแสงสีเขียวร่วมกับแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินอาจส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแสงสีเขียวสามารถทะลุเข้าไปในทรงพุ่มของพืชได้ดีกว่าแสงสีแดงหรือสีน้ำเงิน (Smith, 1993 ; Klein, 1992) ใบในทรงพุ่มด้านล่างจะสามารถใช้แสงสีเขียวที่ส่งผ่านมาในการสังเคราะห์แสงได้ (Kim et al., 2004) ส่งผลให้แสง 3200K และ 6500K : 3200K มีชีวมวลน้ำหนักแห้งที่สูงกว่าตัวรับอื่น

อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นกลีอกซีเนีย

การให้ปุ๋ยในระดับความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานาน (150 วัน) ส่งผลกระทบต่อชีวมวลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกลีอกซีเนีย โดยจากการทดลองพบว่าในสภาวะ ที่ระดับ CO_2 ปกติต้นที่ได้รับปุ๋ย $\text{EC} = 4 \text{ mS/cm}$ แห่งตายก่อนจะได้ทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักสดส่วนยอด (ภาพที่ 35) ปุ๋ยที่มีค่า EC สูงอาจทำให้เกิดความเค็มในวัสดุปลูกที่สามารถยับยั้งการดูดซึมธาตุอาหาร โดยการลดค่าศักย์ออสโมติก (osmotic potential) ในวัสดุปลูก ในทางกลับกันปุ๋ยที่มีค่า EC ต่ำหรือมีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อยก็อาจส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเช่นเดียวกัน เนื่องจากพืชอาจได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ (Austin et al., 2016) Grattan and Grieve (1994) รายงานว่าพืชที่สะสมเกลือเป็นระยะเวลานาน ประสิทธิภาพของพืชมักจะแสดงเป็นผลผลิตพืชชีวมวลพืชหรือคุณภาพของพืช อาจได้รับผลกระทบในทางลบจากความผิดปกติทางอาหารที่เกิดขึ้นจากความเค็ม ความเครียดจากความเค็มเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่จำกัดการเติบโตและปริมาณผลผลิตของพืชในพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง พืชส่วนใหญ่ไม่สามารถอยู่รอดได้ในสภาวะที่มีความเค็มสูงหรือสามารถอยู่รอดได้แต่ก็ให้ผลผลิตลดลง กลไกทางสรีรวิทยาที่กระตุ้นให้เกิดความเครียดจากสภาวะความเค็ม ได้แก่ 1) ค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำกว่าในราก 2) พืชของ Na^+ และ Cl^- และ 3) ความไม่สมดุลของธาตุอาหารจากการลดลงในการดูดซึมและ/หรือการขนส่งธาตุอาหารบางชนิดไปยังส่วนยอด (Colla et al., 2006) โดยจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความยาวรากและขนาดของหัวใต้ดินที่ได้รับ $\text{EC} = 4 \text{ mS/cm}$ (ภาพที่ 32) ในทั้งสองสภาวะการเจริญเติบโตมีค่าที่ต่ำกว่าตำรับอื่นโดยเฉพาะในสภาวะปกติ อาจเป็นผลให้เกิดข้อจำกัดในการดูดซึมธาตุอาหาร แต่ในสภาวะเพิ่มปริมาณ CO_2 ผลกระทบจากความเค็มของปุ๋ยไม่รุนแรงนัก ซึ่งปริมาณ CO_2 ที่สูงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชภายใต้สภาวะที่มีความเค็ม ซึ่งอาจเป็นข้อได้เปรียบในการเพิ่มความทนทานของพืชต่อความเค็ม (Zaghdoud et al., 2013) นอกจากนี้ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นช่วยให้พืชสามารถต่อต้านความเครียดของน้ำที่เกิดจากสภาวะน้ำเกลือได้ดีขึ้นโดยการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น (Pérez-López et al., 2012) ช่วยปรับปรุงความสัมพันธ์ของน้ำในพืช (Zaghdoud et al., 2016 ; Pérez-López et al., 2009, 2010) และยังช่วยลดการสะสมของ Na^+ ในพืชและลดความเป็นพิษของไอออน (Zhu et al., 2016)

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าต้นกล้วยขี้นี้น้ำที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะโรงเรือนระบบปิดที่มีการเพิ่มปริมาณ CO₂ ที่ระดับ 1,000 ppm มีการเจริญเติบโตทั้งในระยะต้นกล้า และระยะออกดอก รวมไปถึงมีการติดฝัก ให้ผลผลิตเมล็ดมากกว่าต้นที่ปลูกในโรงเรือนปกติ

การให้แสงชนิด 3200K และ 6500:3200K (1:1) ที่ความเข้ม 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ทำให้ต้นกล้วยขี้นี้น้ำมีชีวมวลน้ำหนักต้นสดและแห้งสูงกว่าตำรับอื่น อย่างไรก็ตามแสงชนิด R:B (2:1) ที่ความเข้ม 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ส่งผลให้ใบต้นกล้วยขี้นี้น้ำมีการสังเคราะห์แสงได้มากที่สุด แต่ในด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์ที่ความเข้ม 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ต่อต้นสูงกว่าที่ความเข้ม 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

ความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยที่ระดับ EC=2 mS/cm ส่งผลให้ต้นกล้วยขี้น้ำมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าตำรับอื่นตลอดการทดลองและมีผลผลิตเมล็ดพันธุ์มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเปรียบเทียบสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดพันธุ์กลีอกซีเนีย ในการศึกษาในโรงเรือนพลาสติกทำการศึกษาเพียงช่วงฤดูเดียวอาจทำให้ผลการทดลองไม่ครอบคลุม จึงควรทำการศึกษาในทุกช่วงฤดูเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นและเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนี้ในการทดลองอิทธิพลของสภาพแสงเทียมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเมล็ดของต้นกลีอกซีเนีย มีการทดลองเพียงในระบบกึ่งปิดในสภาวะ CO_2 ที่ระดับปกติ (400 ppm) ในแต่ละชนิดแสงเทียม ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นไม่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับ การเจริญเติบโตและผลผลิตเมล็ดพันธุ์ที่อยู่ในสภาวะการเพิ่มปริมาณ CO_2 (1,000 ppm) ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้เห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนยิ่งขึ้นต่อไป



บรรณานุกรม

- สมเพียร เกษมทรัพย์. 2512. กลีอกซีเนีย (Gloxinias). วารสาร "พืชสวน", 9-14.
- Ainsworth, E. A., & Rogers, A. 2007. **The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions.** *Plant, cell & environment*, 30(3), 258-270.
- Austin, J., Jeon, Y. A., Cha, M. K., Park, S., & Cho, Y. Y. 2016. **Effects of photoperiod, light intensity and electrical conductivity on the growth and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in a closedtype plant factory system.** *원예과학기술지*, 34(3), 405-413.
- Bian, Z. H., Cheng, R. F., Yang, Q. C., Wang, J., & Lu, C. 2016. **Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations and antioxidant capacity in lettuce.** *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141(2), 186-195.
- Blain, J., Gosselin, A., & Trudel, M. J. 1987. **Influence of HPS supplementary lighting on growth and yield of greenhouse cucumbers.** *HortScience*, 22(1), 36-38.
- Blom, T. J., & Ingratta, F. J. 1983). **The effect of high pressure sodium lighting on the production of tomatoes, cucumbers and roses.** In III International Symposium on Energy in Protected Cultivation 148 (pp. 905-914).
- Bowes, G., Ogren, W. L., & Hageman, R. H. 1972. **Light Saturation, photosynthesis rate, RuDP carboxylase activity, and specific leaf weight in soybeans grown under different light intensities¹.** *Crop Science*, 12(1), 77-79.
- Brewbaker, J. L., & Kwack, B. H. 1963. **The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth.** *American journal of botany*, 50(9), 859-865.
- Brouwer, R. 1962. **Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant** 10(5), 399-408
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (Eds.). 2015. **Biochemistry and molecular**

biology of plants. John Wiley & Sons.

Bunce, J. A. 2017. **Variation in yield responses to elevated CO₂ and a brief high temperature treatment in quinoa.** *Plants*, 6(3), 26.

Buta, E., Cantor, M., & Buta, M. 2011. **Studies concerning the growth and development of *Gloxinia speciosa* cuttings under the influence of rooting substrate.** *Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București. Seria B, Horticultură*, (55), 205-209.

Ćalić, D., Devrnja, N., Kostić, I., & Kostić, M. 2013. **Pollen morphology, viability, and germination of *Prunus domestica* cv. Požegača.** *Scientia Horticulturae*, 155, 118-122.

Carvalho, D. D. C., Mello, S. C. M. D., Lobo Júnior, M., & Geraldine, A. M. 2011. **Biocontrol of seed pathogens and growth promotion of common bean seedlings by *Trichoderma harzianum*.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(8), 822-828.

Cassaniti, C., Leonardi, C., & Flowers, T. J. 2009. **The effects of sodium chloride on ornamental shrubs.** *Scientia Horticulturae*, 122(4), 586-593.

Cassaniti, C., Romano, D., & Flowers, T. J. 2012. **The response of ornamental plants to saline irrigation water.** *Irrigation: Water Management, Pollution and Alternative Strategies*, 131-158.

Chakraborty, K., & Uprety, D. C. 2012. **Elevated CO₂ alters seed composition and quality in Brassica.** *Indian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 84-87.

Chakraborty, K., & Uprety, D. C. 2012. **Elevated CO₂ alters seed composition and quality in Brassica.** *Indian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 84-87.

Chang, D. C., Cho, I. C., Suh, J. T., Kim, S. J., & Lee, Y. B. 2011. **Growth and yield response of three aeroponically grown potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to different electrical conductivities of nutrient solution.** *American Journal of Potato Research*, 88(6), 450-458.

Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., & Rea, E. 2006. **Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants.** *HortScience*, 41(3), 622-627.

- Curtis, P. S., Snow, A. A., & Miller, A. S. 1994. **Genotype-specific effects of elevated CO₂ on fecundity in wild radish (*Raphanus raphanistrum*)**. *Oecologia*, 97(1), 100-105.
- Curtis, P. S., Snow, A. A., & Miller, A. S. 1994. **Genotype-specific effects of elevated CO₂ on fecundity in wild radish (*Raphanus raphanistrum*)**. *Oecologia*, 97(1), 100-105.
- Demir, I., Ermis, S., Mavi, K., & Matthews, S. 2008. **Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annuum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules**. *Seed Science and Technology*, 36(1), 21-30.
- Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierec, J., Pelleschi-Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huché-Thélier, L., Boumaza, R., Vian, A., Guérin, V., Leduc, N., & Sakr, S. 2016. **Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture**. *Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture*. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 4-21.
- Dorais, M. 2003. **The use of supplemental lighting for vegetable crop production: light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices**. In *Canadian Greenhouse Conference*,
- Eltez, R. Z., Tüzel, Y., Gül, A., Tüzel, I. H., & Duyar, H. 2000. **Effects of different EC levels of nutrient solution on greenhouse tomato growing**. In *International Symposium on Techniques to Control Salination for Horticultural Productivity*, 573, 443-448.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. 2005. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**, 2nd edn. Sinauer Assoc. Inc., Sunderland, UK, 2005.
- Falovo, C., Roupael, Y., Rea, E., Battistelli, A., & Colla, G. 2009. **Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. *acephala* in floating raft culture**. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(10), 1682-1689.
- Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., & Han, X. L. 2013. **Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light**. *Scientia*

- Horticulturae, 153, 50-55.
- Fernando, N., Panozzo, J., Tausz, M., Norton, R. M., Fitzgerald, G. J., Myers, S., Walker C., Stangoulis J., & Seneweera, S. 2012. **Wheat grain quality under increasing atmospheric CO₂ concentrations in a semi-arid cropping system.** *Journal of Cereal Science*, 56(3), 684-690.
- Gajc-Wolska, J., Kowalczyk, K., Metera, A., Mazur, K., Bujalski, D., & Hemka, L. 2013. **Effect of supplementary lighting on selected physiological parameters and yielding of tomato plants.** *Folia Horticulturae*, 25(2), 153-159.
- Garbutt, K., & Bazzaz, F. A. 1984. **The effects of elevated CO₂ on plants: III. Flower, fruit and seed production and abortion.** *New Phytologist*, 98(3), 433-446.
- Garbutt, K., & Bazzaz, F. A. 1984. **The effects of elevated CO₂ on plants: III. Flower, fruit and seed production and abortion.** *New Phytologist*, 98(3), 433-446.
- Goins, G. D., Yorio, N. C., Sanwo, M. M., & Brown, C. S. 1997. **Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting.** *Journal of experimental botany*, 48(7), 1407-1413.
- Goto, E. 2003. **Effects of light quality on growth of crop plants under artificial lighting.** *Environment Control in Biology*, 41(2), 121-132.
- Goto, E. 2012. **Plant production in a closed plant factory with artificial lighting.** In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956, 37-49.
- Grattan, S. R. 1994. **Mineral element acquisition and response of plants grown in saline environment.** *Handbook of plant and crop stress*, 203-227.
- Gupta, S. D., & Jatothu, B. 2013. **Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis.** *Plant Biotechnology Reports*, 7(3), 211-220.
- Han, T., Vaganov, V., Cao, S., Li, Q., Ling, L., Cheng, X., Peng L., C. Zhang, Yakovlev, A. N. Zhong, Y. & Tu, M. 2017. **Improving “color rendering” of LED lighting for the growth of lettuce.** *Scientific Reports*, 7, 45944.
- Hasing, T., Rinaldi, E., Manrique, S., Colombo, L., Haak, D. C., Zaitlin, D., & Bombarely, A. 2019. **Extensive phenotypic diversity in the cultivated Florist’s Gloxinia, *Sinningia speciosa* (Lodd.) Hiern, is derived from the domestication of a**

- single founder population.** *Plants, People, Planet*, 1(4), 363-374.
- Hendriks, L. (1992). **Supplementary lighting for greenhouses.** In European Seminar New Technologies for the Rational Use of Energy in Greenhouse Horticulture in Northern Europe 312 (pp. 65-76).
- Hikosaka, K., Onoda, Y., Kinugasa, T., Nagashima, H., Anten, N. P., & Hirose, T. 2005. **Plant responses to elevated CO₂ concentration at different scales: leaf, whole plant, canopy, and population.** In *Forest Ecosystems and Environments* (pp. 3-13). Springer, Tokyo.
- Hirose, T. 1987. **A vegetative plant growth model: adaptive significance of phenotypic plasticity in matter partitioning.** *Functional Ecology*, 195-202.
- Hirose, T. 1988. **Nitrogen availability, optimal shoot/root ratios and plant growth.** *Plant form and vegetation structure.* SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, pp 135-145
- Hogewoning, S. W., Douwstra, P., Trouwborst, G., Van Ieperen, W., & Harbinson, J. 2010. **An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra.** *Journal of experimental botany*, 61(5), 1267-1276.
- Jablonski, L. M., Wang, X., & Curtis, P. S. 2002. **Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species.** *New Phytologist*, 156(1), 9-26.
- Jablonski, L. M., Wang, X., & Curtis, P. S. 2002. **Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species.** *New Phytologist*, 156(1), 9-26.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S. N., & Yoshihara, T. 2012. **Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*.** *Environmental and Experimental Botany*, 75, 128-133.
- Kang, W. H., Park, J. S., Park, K. S., & Son, J. E. 2016. **Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs).** *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(6), 573-579.

- Käpylä, M. 1991. **Testing the age and viability of airborne pollen.** *Grana*, 30(2), 430-433.
- Karlidag, H., Yildirim, E., & Turan, M. 2011. **Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria xananassa*).** *Scientia horticulturae*, 130(1), 133-140.
- Kessler, J. R. 2004. Greenhouse production of Gloxinias. **Alabama Cooperative Extension System**, ANR-1258(
- Khatib, K., & Paulsen, G. M. 1989. **Enhancement of thermal injury to photosynthesis in wheat plants and thylakoids by high light intensity.** *Plant Physiology*, 90(3), 1041-1048.
- Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. 2004. **Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes.** *HortScience*, 39(7), 1617-1622.
- Kim, H. J., Cho, A. R., Park, K. S., & Kim, Y. J. 2017 . **Effect of CO₂ enrichment on growth and flowering of *Phalaenopsis*.** *The Horticulture Journal*, OKD-027.
- Kimball BA. 1986. **Influence of elevated CO₂ on crop yield.** In: HZ Enoch, BA Kimball, eds. *Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops, vol 2: physiology, yield, and economics* Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Inc., 105 – 115.
- Kopsell, D. A., & Kopsell, D. E. 2008. **Genetic and environmental factors affecting plant lutein/zeaxanthin.** *Agro Food Ind. Hi-Tech*, 19, 44-46.
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.). 2019. **Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production.** Academic press.
- Kozai, T.; Nui, G.; Takagaki, M. (Eds.). 2015. **Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production;** Elsevier: London, UK,; ISBN 9780128017753.
- Li, S., Li, Y., He, X., Li, Q., Liu, B., Ai, X., & Zhang, D. 2019. **Response of water balance and nitrogen assimilation in cucumber seedlings to co₂ enrichment and salt stress.** *Plant physiology and biochemistry*, 139, 256-263.
- Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W., & Yang, C. M. 2013. **The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth,**

- development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.
- Long, S. P., & Drake, B. G. 1992. **Photosynthetic CO₂ assimilation and rising atmospheric CO₂ concentrations.** *Topics in photosynthesis*.
- Long, S. P., Ainsworth, E. A., Rogers, A., & Ort, D. R. 2004. **Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future.** *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 591-628.
- Long, S. P., Humphries, S., & Falkowski, P. G. 1994. **Photoinhibition of photosynthesis in nature.** *Annual review of plant biology*, 45(1), 633-662.
- Loranger, J., & Shipley, B. 2010. **Interspecific covariation between stomatal density and other functional leaf traits in a local flora.** *Botany*, 88(1), 30-38.
- McDonald, M. B., & Kwong, F. Y. 2005. **Flower seeds: biology and technology.** CABI publishing.
- Miyagi, A., Uchimiya, H., & Kawai-Yamada, M. 2017. **Synergistic effects of light quality, carbon dioxide and nutrients on metabolite compositions of head lettuce under artificial growth conditions mimicking a plant factory.** *Food Chemistry*, 218, 561-568.
- Mohr, H., & Schopfer, P. 1995. *Plant Physiology.* Springer Verlag, Berlin.
- Morrow, R. C. 2008. **LED lighting in horticulture.** *HortScience*, 43(7), 1947-1950.
- Muneer, S., Kim, E. J., Park, J. S., & Lee, J. H. 2014. **Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.).** *International journal of molecular sciences*, 15(3), 4657-4670.
- Munns, R., & Tester, M. 2008. **Mechanisms of salinity tolerance.** *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Naz, S. H. A. G. U. F. T. A., Ali, A., Siddiqui, F. A., & Iqbal, J. 2001. **In vitro propagation of gloxinia (*sinningia speciosa*).** *Pakistan Journal of Botany*, 33, 125-129.
- Oguchi, R., Ozaki, H., Hanada, K., & Hikosaka, K. 2016. **Which plant trait explains the variations in relative growth rate and its response to elevated carbon dioxide concentration among *Arabidopsis thaliana* ecotypes derived from a variety of habitats?.** *Oecologia*, 180(3), 865-876.
- Okamoto, K., Yanagi, T., Takita, S., Tanaka, M., Higuchi, T., Ushida, Y., & Watanabe, H.

1996. **Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source.** In International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems 440 (pp. 111-116).
- O'Neill, E. G., Luxmoore, R. J., & Norby, R. J. 1987. **Increases in mycorrhizal colonization and seedling growth in *Pinus echinata* and *Quercus alba* in an enriched CO₂ atmosphere.** Canadian Journal of Forest Research, 17(8), 878-883.
- Pérez-López, U., Robredo, A., Lacuesta, M., Mena-Petite, A., & Muñoz-Rueda, A. 2012. **Elevated CO₂ reduces stomatal and metabolic limitations on photosynthesis caused by salinity in *Hordeum vulgare*.** Photosynthesis research, 111(3), 269-283.
- Pérez-López, U., Robredo, A., Miranda-Apodaca, J., Lacuesta, M., Muñoz-Rueda, A., & Mena-Petite, A. 2013. **Carbon dioxide enrichment moderates salinity-induced effects on nitrogen acquisition and assimilation and their impact on growth in barley plants.** Environmental and Experimental Botany, 87, 148-158.
- Prior, S. A., Brett Runion, G., Rogers, H. H., Allen Torbert, H., & Wayne Reeves, D. 2005. **Elevated atmospheric CO₂ effects on biomass production and soil carbon in conventional and conservation cropping systems.** Global Change Biology, 11(4), 657-665.
- Pritchard, S. G., Prior, S. A., Rogers, H. H., Davis, M. A., Runion, G. B., & Popham, T. W. 2006. **Effects of elevated atmospheric CO₂ on root dynamics and productivity of sorghum grown under conventional and conservation agricultural management practices.** Agriculture, ecosystems & environment, 113(1-4), 175-183.
- Purcell, C., Batke, S. P., Yiotis, C., Caballero, R., Soh, W. K., Murray, M., & McElwain, J. C. 2018. **Increasing stomatal conductance in response to rising atmospheric CO₂.** Annals of botany, 121(6), 1137-1149.
- Qian, H., Liu, T., Deng, M., Miao, H., Cai, C., Shen, W., & Wang, Q. 2016. **Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts.** Food chemistry, 196, 1232-1238.
- Ratnakumar, P., Rajendrudu, G., & Swamy, P. M. 2013. **Photosynthesis and growth**

- responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) to salinity at elevated CO₂. *Plant Soil Environ*, 59(9), 410-6.
- Sakhonwasee, S., Tummachai, K., & Nimnoy, N. 2017. **Influences of LED light quality and intensity on stomatal behavior of three petunia cultivars grown in a semi-closed system.** *Environmental Control in Biology*, 55(2), 93-103.
- Samarakoon, U. C., Weerasinghe, P. A., & Weerakkody, W. A. P. 2006. **Effect of Electrical Conductivity [EC] of the Nutrient Solution on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Stationary Culture.** *Tropical Agricultural Research*, 18, 13-21.
- Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Urbonavičiūtė, A., Šabajevienė, G., & Duchovskis, P. 2010. **The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries.** *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(2), 99-104.
- Schuenger, A. C., Brown, C. S., & Stryjewski, E. C. 1997. **Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light.** *Annals of Botany*, 79(3), 273-282.
- Schwarz, D., Klaring, H. P., Van Iersel, M. W., & Ingram, K. T. 2002. **Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels.** *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(6), 984-990.
- Sharma, N., Sinha, P. G., & Bhatnagar, A. K. 2014. **Effect of elevated [CO₂] on cell structure and function in seed plants.** *Climate Change and Environmental Sustainability*, 2(2), 69-104.
- Shimizu, H., Saito, Y., Nakashima, H., Miyasaka, J., & Ohdoi, K. 2011. **Light environment optimization for lettuce growth in plant factory.** *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 605-609.
- Singh, K.N. & Chatrath, R. 2001. **Salinity tolerance.** In: *Application of Physiology in Wheat Breeding*, M.P. Reynolds, I. Ortiz-Monasterio & A. McNab (Eds.), 101-110, CIMMYT, Mexico.
- Smith, H. 1993. **Sensing the light environment: the functions of the phytochrome family,** p. 377-416. In: R.E. Kendrick and G.H.M. Kronenberg (eds.).

Photomorphogenesis in plants. Kluwer Academic Publ., Dordrecht

- Son, K. H., Jeon, Y. M., & Oh, M. M. 2016. **Application of supplementary white and pulsed light-emitting diodes to lettuce grown in a plant factory with artificial lighting.** Horticulture, Environment, and Biotechnology, 57(6), 560-572.
- Son, K.-H., J.-H. Park, D. Kim, and M.-M. Oh. 2012. **Leaf shape, growth, and phytochemicals in two leaf lettuce cultivars grown under monochromatic light-emitting diodes.** Horticultural Science & Technology, 30(6), 664-672.
- Sreeharsha, R. V., Sekhar, K. M., & Reddy, A. R. 2015. **Delayed flowering is associated with lack of photosynthetic acclimation in Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) grown under elevated CO₂.** Plant Science, 231, 82-93.
- Steinger, T., Roy, B. A., & Stanton, M. L. 2003. **Evolution in stressful environments II: adaptive value and costs of plasticity in response to low light in *Sinapis arvensis*.** Journal of evolutionary biology, 16(2), 313-323.
- Taiz, L., & Zeiger, E. 2010. **Plant physiol.** Sinauer Association Inc., publishers
sunderland, Massachusetts USA.
- Thomas, R. G. 1995. **Maximising seed production potential in white clover: factors influencing seed set per floret.** NZGA: Research and Practice Series, 6, 41-44.
- Tibbitts, T. W., Morgan, D. C., & Warrington, I. J. 1983. **Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPF.** Journal of the American Society for Horticultural Science, 108(4), 622-630.
- Tingey, D. T., Johnson, M. G., Phillips, D. L., Johnson, D. W., & Ball, J. T. 1996. **Effects of elevated CO₂ and nitrogen on the synchrony of shoot and root growth in ponderosa pine.** Tree Physiology, 16(11-12), 905-914.
- Upreti, D. C., Dwivedi, N., Raj, A., Jaiswal, S., Paswan, G., Jain, V., & Maini, H. K. 2009. **Study on the response of diploid, tetraploid and hexaploid species of wheat to the elevated CO₂.** Physiology and Molecular Biology of Plants, 15(2), 161-168.
- Upreti, D. C., Dwivedi, N., Raj, A., Jaiswal, S., Paswan, G., Jain, V., & Maini, H. K. 2009. **Study on the response of diploid, tetraploid and hexaploid species of wheat to the elevated CO₂.** Physiology and Molecular Biology of Plants, 15(2),

161-168.

- Vanaja, M., Reddy, P.R., Lakshmi, N.J., Razak, S.K., Vagheera, P., Archana, G., Yadav, S.K., Maheswari, M. and Venkateswarlu, B. 2010. **Response of seed yield and its components of red gram (*Cajanus cajan* L. Millsp.) to elevated CO₂**. Plant Soil Environment, 56(10), 458-462.
- Velikova, V., & Loreto, F. 2005. **On the relationship between isoprene emission and thermotolerance in *Phragmites australis* leaves exposed to high temperatures and during the recovery from a heat stress**. Plant, Cell & Environment, 28(3), 318-327.
- Wang, W. J., Sun, X. T., Wang, G. C., Xu, P., Wang, X. Y., Lin, Z. L., & Wang, F. J. 2010. **Effect of blue light on indoor seedling culture of *Saccharina japonica* (Phaeophyta)**. Journal of applied phycology, 22(6), 737-744.
- Ward, J. K., & Strain, B. R. 1999. **Elevated CO₂ studies: past, present and future**. Tree physiology, 19(4-5), 211-220.
- Ward, J. K., & Strain, B. R. 1999. **Elevated CO₂ studies: past, present and future**. Tree physiology, 19(4-5), 211-220.
- Willits, D. H., & Peet, M. M. 2001. **Measurement of chlorophyll fluorescence as a heat stress indicator in tomato: laboratory and greenhouse comparisons**. Journal of the American Society for Horticultural Science, 126(2), 188-194.
- Zaghdoud, C., Carvajal, M., Ferchichi, A., & del Carmen Martínez-Ballesta, M. 2016. **Water balance and N-metabolism in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica) plants depending on nitrogen source under salt stress and elevated CO₂**. Science of the Total Environment, 571, 763-771.
- Zaghdoud, C., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M., Muries, B., Ferchichi, A., & del Carmen Martínez-Ballesta, M. 2013. **Elevated CO₂ alleviates negative effects of salinity on broccoli (*Brassica oleracea* L. var Italica) plants by modulating water balance through aquaporins abundance**. Environmental and experimental botany, 95, 15-24.
- Zhang, F. F., Wang, Y. L., Huang, Z. Z., Zhu, X. C., Zhang, F. J., Chen, F. D., Fang, W. M., & Teng, N. J. 2012. **Effects of CO₂ Enrichment on Growth and Development of**

- Impatiens hawkeri*. The Scientific World Journal, 2012.
- Zhang, S., Ma, K., & Chen, L. 2003. **Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments**. Environmental and Experimental Botany, 49(2), 121-133.
- Zheng, L., & Van Labeke, M. C. 2017. **Long-term effects of red-and blue-light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants**. Frontiers in Plant Science, 8, 917.
- Zhu, X., Song, F., Liu, S., & Liu, F. 2016. **Role of arbuscular mycorrhiza in alleviating salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under ambient and elevated CO₂**. Journal of Agronomy and Crop Science, 202(6), 486-496.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

สุนิสา สุตไทย

เกิดเมื่อ

18 ธันวาคม 2536

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2559 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนาส่งเสริมและนิเทศ
ศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย ณ โรงเรียนวชิรปราการวิทยาคม อ.เมือง
กำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร

