การออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับพืชสมุนไพรในโรงเรือน

นายจุลพัฒน์ ไม้แก้วธนวัฒน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIGHTING SYSTEM DESIGN FOR MEDICINAL PLANTS IN GREENHOUSES

Mr. Chullapatch Maikaewthanahwattana

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
FACULTY OF ARCHITECTURE
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับพืชสมุนไพรในโรงเรือน
โดย	นายจุลพัฒน์ ไม้แก้วธนวัฒน์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

-- คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

-- ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

-- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

-- กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

-- กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ภัทร์ สีอัมพรโรจน์)

-- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุลพัฒน์ ไม้แก้วธนวัฒน์ : การออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับพืชสมุนไพรในโรงเรือน. (LIGHTING SYSTEM DESIGN FOR MEDICINAL PLANTS IN GREENHOUSES) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

จากการทดสอบหลอดแอลอีดี (LEDs) พบว่า ความยาวคลื่นแสงในช่วง PAR มีปริมาณโฟตอนแสงสม่ำเสมอน้อยกว่าแสงอาทิตย์, การกระจายแสงเป็นแบบกระจุกเมื่ออยู่ชิดแต่กระจายเมื่ออยู่ห่าง, และเป็นอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง, มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง, และพลังงานทดแทน ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช โดยใช้หลอดแอลอีดี R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00 , R: G: B = 1.47: 1.83: 1.00 และ 2.53: 2.67: 1.00 เปรียบเทียบกับ แสงอาทิตย์ R: G: B = 1.11: 1.20: 1.00 ร่วมกับมุมองศาแผ่นสะท้อนแสงทามุม 60° และ 90° จากระนาบพื้น และระบบโซลาเซลล์กระแสตรงเป็นอุปกรณ์ในการศึกษา โดยศึกษา *Cannabis sativa* L. (กัญชา) เป็นข้อมูลตั้งต้นและเลือก *Tagetes erecta* L. (ดาวเรือง) เป็นพืชตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า ช่วงความยาวคลื่นแสงของแสงอาทิตย์ R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00 ส่งผลทำให้ดาวเรืองมีการสร้างมวลลำต้นและมวลดอกมากที่สุด, แผ่นสะท้อนแสงทำมุม 60° จากระนาบพื้น ส่งผลทำให้ดาวเรืองมีการสร้างมวลเพิ่มขึ้นทุกส่วน และกัญชามีการสร้างมวลลำต้นและมวลดอกเพิ่มขึ้น, รวมถึงการใช้ระบบโซลาเซลล์กระแสตรงสำหรับปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการสร้างมวลเฉลี่ย 83% จากไฟบ้าน โดยมีการค้นพบหลักการสำคัญเกี่ยวกับการสะท้อนแสงเข้าสู่ด้านข้างของต้นพืช เมื่อต้นพืชได้รับแสงบริเวณใต้ใบเพิ่มขึ้น จะไปกระตุ้นรงควัตถุดูดซับแสงในชั้น Spongy mesophyll บริเวณใต้ใบที่มีสัดส่วนค่าการสังเคราะห์เป็น 62% ของการได้รับแสงเหนือใบ ส่งผลทำให้ ต้นพืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่อนิสิต	....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....

6173309825 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: Light Wavelength, Light Reflector, Renewable Energy, Plant Growth, Marigold, Marijuana

Chullapatch Maikaewthanahwattana : LIGHTING SYSTEM DESIGN FOR MEDICINAL PLANTS IN GREENHOUSES. Advisor: Assoc. Prof. VORASUN BURANAKARN, Ph.D.

From the LED lamp testing, the number of photons in PAR was less uniform than sunlight, the distribution of light was centralized when close but exhale when far from the plant area, and required alternating current power. So, this research will study the effect of light wavelength, angle degree of the light reflector, and renewable energy on plant growth characteristics. To study the guidelines for designing a suitable lighting system for growing plants. The LED lamps with different R: G: B ratios, reflectors tilted 60 and 90 degrees tilted from the ground plain, and Photovoltaic Direct current (DC) power are the research instruments. A *Cannabis sativa* L. (Marijuana) growth was studies and a *Tagetes erecta* L. (Marigold) was selected as a sample plant. The results of the study showed that the wavelengths of sunlight R: G: B = 1.11: 1.20: 1.00 resulted in marigolds producing the most shoot and flower mass. The reflector at a 60o tilted resulted in Marigold has increased all mass and Marijuana has increased shoot and flower mass. And the use of DC solar cells has an average efficiency of mass growth of about 83% from AC. The key principles in this research concerning light reflection onto the sides of plants. When the plant gets more light under the leaves. It stimulates the photosynthetic pigment in the spongy mesophyll, resulting in increased plant growth.

Field of Study:	Architecture	Student's Signature	
Academic Year:	2020	Advisor's Signature	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับการอนุเคราะห์เข้าใช้สถานที่ดำเนินงานวิจัยและตัวอย่างต้นกัญชาภายใต้การดูแลของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา นาเทเวศน์ หัวหน้าโครงการวิจัยการศึกษาการตอบสนองต่ออิทธิพลของแสงและการแสดงออกทางพันธุกรรมของสายพันธุ์กัญชา ภายใต้การอนุญาตผลิตซึ่งยาเสพติดให้โทษประเภท 5 ตามหนังสือสำคัญที่ 7/2562 (ปลูก) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และขอขอบพระคุณ นายรามิล จิระภิญโญ ผู้ช่วยดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับกัญชา สถานที่ดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับดาวเรืองได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท มิ่งฟง นิตติ้ง กรุ๊ป 1985 จำกัด ภายใต้การดูแลของ ดร. อภิวิชญ์ วรรณะ ผู้ดูแลและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนโคมแอลอีดีสัดส่วน R: G: B = 2.04: 2.12: 1.00 และอุปกรณ์วัดแสงจาก บริษัท ไลท์ติ้ง แอนด์ อีควิปเม้นท์ จำกัด (มหาชน), ขอขอบพระคุณการสนับสนุนแผงโซลาเซลล์ 360 วัตต์ จาก บริษัท กันกุลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน)

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์เทพ อัครธนกุล ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ ดร. วินัย อุดขาว ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สำหรับการสนับสนุนข้อมูลและอุปกรณ์วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ สำหรับการให้คำปรึกษา พัฒนา และแนะนำแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ ในฐานะประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร และ อาจารย์ ดร. ภัทร์ สีอัมพรโรจน์ ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต นิตยะ ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอก สำหรับแนวทางการปรับปรุงและการพัฒนาหัวข้อวิจัย

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณ นาวาโทสมทรง วงษ์พยัคฆ์ (บิดา) และ นาวาโทหญิงธนัญศรณ์ ไม้แก้วธนวัฒน์ (มารดา) สำหรับการสนับสนุนในทุกด้านตลอดการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ นายวทัญญู อิ่มอำไภย และ ร้านสวนจิตร สำหรับการให้สัมภาษณ์ข้อมูลเพิ่มเติม

จุลพัฒน์ ไม้แก้วธนวัฒน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2. วัตถุประสงค์ในงานวิจัย 3

1.3. ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย 3

1.4. นิยามศัพท์เฉพาะ 4

1.5. ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย 4

1.6. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย 5

1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 6

2.1. การจำแนกกลุ่มวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.2. วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรอิสระ 6

2.2.1. ช่วงความยาวคลื่นแสง 6

2.2.2. มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง 10

- การสะท้อนแสง 10

- มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- การตอบสนองของพืชต่อมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง 13
2.2.3. แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี 15
2.3. วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรควบคุม 17
2.3.1. ปริมาณแสงรวมต่อวัน 17
- ความเข้มแสง 17
- ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 18
- ปริมาณแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน 19
2.3.2. ปัจจัยอื่นที่ส่งผลร่วมกับปัจจัยแสง 20
- ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 20
- อุณหภูมิอากาศ 21
2.4. วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับพืชตัวอย่าง 24
2.4.1. การเจริญเติบโตของกัญชา 24
2.4.2. การเจริญเติบโตของดาวเรือง 27
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย 30
3.1. สรุปข้อมูลสำหรับการออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัย 30
3.1.1. ตัวแปรอิสระ 30
3.1.2. ตัวแปรควบคุม 30
3.2. การออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัย 31
3.2.1. การออกแบบกรรมวิธีการวิจัย 31
- การออกแบบตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัย 31
- การควบคุมตัวแปรอื่นในกรรมวิธีการวิจัย 34
3.2.2. แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีการวิจัย 37
- แบบการติดตั้งสำหรับดาวเรืองระยะทำใบ-ทำดอก 37
- แบบการติดตั้งสำหรับกัญชาระยะทำดอก 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- แบบการติดตั้งสำหรับกัญชาระยะทำใบ 40

3.2.2. รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในกรรมวิธีการวิจัย 41

- แหล่งกำเนิดแสงในงานวิจัย 41

- แผ่นสะท้อนแสง 43

- ระบบโซลาเซลล์กระแสตรง 45

- พืชตัวอย่างในงานวิจัย 46

3.3. การบันทึกผลงานวิจัย 47

3.3.1. การเจริญเติบโตด้านการสร้างมวล 47

- น้ำหนักแห้ง 47

3.3.2. การเจริญเติบโตด้านปริมาณเพื่อเปรียบเทียบการสร้างมวล 48

- จำนวนใบ 48

- จำนวนดอก 48

- ปริมาตรดอก 48

- ขนาดทรงพุ่ม 48

- ลักษณะต้น 49

3.4. วิธีอภิปรายผลงานวิจัย 51

บทที่ 4 ผลวิจัยและอภิปรายผล 52

4.1. รูปแบบการแสดงผลวิจัยและอภิปรายผล 52

4.2. เครื่องมือในการแสดงผลวิจัยและอภิปรายผล 52

4.3. ระยะการเจริญเติบโตของพืชที่บันทึกผลวิจัยและอภิปรายผล 53

4.4. ผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง 55

4.5. ผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง 56

4.6. ผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี 60

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1. สิ่งที่ค้นพบในงานวิจัย........ 62

5.1.1. อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง........ 62

5.1.2. อิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง........ 63

5.1.3. อิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี........ 63

5.2. แนวทางการออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับกัญชาและดาวเรือง........ 64

5.2.1. สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติหรือภายนอกอาคาร........ 64

5.2.2. สภาพแวดล้อมภายในอาคารหรือพื้นที่ควบคุม........ 65

5.3. สรุปหลักการสำคัญที่ค้นพบในงานวิจัย........ 65

5.4. ข้อเสนอแนะ........ 67

บรรณานุกรม........ 68

ภาคผนวก........ 71

ประวัติผู้เขียน........ 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Stein et al., 1986) 11
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบนำร่ององศาการเอียงแผ่นสะท้อนแสง 13
ตารางที่ 3 สัดส่วนค่าการสังเคราะห์ในกรณีได้รับแสงเหนือใบและใต้ใบ 15
ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลช่วงความยาวคลื่นแสง 55
ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง 56
ตารางที่ 6 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง (ต่อ) 57
ตารางที่ 7 การเจริญเติบโตของกัญชาภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง 58
ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลแหล่งพลังงานไฟฟ้า 60
ตารางที่ 9 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลแหล่งพลังงานไฟฟ้า (ต่อ) 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย 5

ภาพที่ 2 Photosynthetic Pigment ในช่วง PAR (Warren, 2011) 9

ภาพที่ 3 ช่วงความยาวคลื่นแสงของแสงอาทิตย์, หลอดแอลอีดีชนิด Full spectrum 9

ภาพที่ 4 ช่วงความยาวคลื่นแสงของหลอดโซเดียมความดันสูง, หลอดเมทัลฮาไลด์... 9

ภาพที่ 5 ประเภทการสะท้อนแสง Specular Reflection, Diffuse Reflection 11

ภาพที่ 6 กรรมวิธีการทดสอบนำร่ององศาการเอียงแผ่นสะท้อนแสง 12

ภาพที่ 7 รูปตัดขวางใบพืช (เนชั่นแนล จีโอกราฟฟิก, 2018)... 14

ภาพที่ 8 การวัดค่าการสังเคราะห์เหนือใบและใต้ใบกัญชา 14

ภาพที่ 9 การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์กระแสตรง (Direct current : DC)... 16

ภาพที่ 10 กราฟ Light Saturation Point (Smullen, 2015) 18

ภาพที่ 11 กราฟ CO_2 Saturation Point (Smullen, 2015) 22

ภาพที่ 12 กราฟแสดงผลการทดสอบอัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนีย 1 22

ภาพที่ 13 กราฟ Optimum Temperature (Smullen, 2015) 23

ภาพที่ 14 กราฟแสดงผลการทดสอบอัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนีย 2 23

ภาพที่ 15 อุปกรณ์วัดค่าการสังเคราะห์แสงที่ใบกัญชา 25

ภาพที่ 16 วิธีการวัดค่าสังเคราะห์แสงที่ใบกัญชา... 25

ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงค่าการสังเคราะห์แสงที่ใบกัญชา 26

ภาพที่ 18 ผลการทดลองปลูกดาวเรืองของ Pan American Seed 28

ภาพที่ 19 ผลการทดลองปลูกดาวเรืองของ Owen และ Lopez... 29

ภาพที่ 20 ผังการออกแบบตัวแปรอิสระในงานวิจัย 32

ภาพที่ 21 ตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัยที่ 1 33

ภาพที่ 22 ตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัยที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ... 33

ภาพที่ 23 กรรมวิธีการวิจัยการปลูกดาวเรือง 35

ภาพที่ 24 กรรมวิธีการวิจัยการปลูกกัญชา... 36

ภาพที่ 25 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 1 37

ภาพที่ 26 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 2 38

ภาพที่ 27 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 3 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 28 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 4 40
ภาพที่ 29 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 4 (ต่อ).................... 41
ภาพที่ 30 หลอดแอลอีดี 36W 12-85V,และ หลอดแอลอีดี 240W 220-240V.................... 42
ภาพที่ 31 การวัดค่าแสงด้วย Spectrometer 42
ภาพที่ 32 สเปกตรัมแสงของแสงอาทิตย์และหลอดแอลอีดี.................... 42
ภาพที่ 33 วิธีวัดปริมาณการสะท้อนแสงเข้าด้านข้างต้นพืช 44
ภาพที่ 34 วิธีวัดปริมาณการสะท้อนแสงบริเวณเหนือใบพืช.................... 45
ภาพที่ 35 การติดตั้งแผงโซลาเซลล์.................... 45
ภาพที่ 36 การเตรียมตัวอย่างกัญชา.................... 46
ภาพที่ 37 การเตรียมตัวอย่างดาวเรือง.................... 47
ภาพที่ 38 การทำแห้ง 49
ภาพที่ 39 การบันทึกน้ำหนักแห้ง.................... 49
ภาพที่ 40 การบันทึกดอกเดี่ยว, ดอกคู่, และช่อดอกกัญชา 50
ภาพที่ 41 การบันทึกจำนวนตุ่มดอก, ดอกตูม, ดอกแย้ม และดอกบานดาวเรือง 50
ภาพที่ 42 การบันทึกปริมาตรดอกบาน 50
ภาพที่ 43 การบันทึกขนาดทรงพุ่ม.................... 50
ภาพที่ 44 ต้นดาวเรืองระยะทำใบและทำดอก.................... 54
ภาพที่ 45 ต้นกัญชาระยะทำใบและทำดอก.................... 54
ภาพที่ 46 หลักการสำคัญที่ค้นพบในงานวิจัย.................... 66
ภาพที่ 47 เอกสารได้รับความอนุเคราะห์เข้าใช้พื้นที่ปฏิบัติการและตัวอย่างต้นกัญชา.................... 71
ภาพที่ 48 แผนภูมิแสดงจำนวนใบ ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา).................... 72
ภาพที่ 49 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกเดี่ยวและดอกคู่ ระยะทำดอก (กัญชา).................... 72
ภาพที่ 50 แผนภูมิแสดงจำนวนช่อดอกและดอกรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (กัญชา).................... 73
ภาพที่ 51 แผนภูมิแสดงความสูงต้น ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา) 73
ภาพที่ 52 แผนภูมิแสดงความกว้างพุ่ม ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา) 74
ภาพที่ 53 แผนภูมิแสดงความยาวพุ่ม ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา).................... 74
ภาพที่ 54 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางฐานต้น ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา) 75
ภาพที่ 55 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางกลางต้น ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา).................... 75
ภาพที่ 56 แผนภูมิแสดงการแตกกิ่ง ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา).................... 76
ภาพที่ 57 แผนภูมิแสดงปริมาตรดอกฐานพุ่มและกลางพุ่ม ระยะทำดอก (กัญชา).................... 76
ภาพที่ 58 แผนภูมิแสดงปริมาตรดอกเรือนยอด ระยะทำดอก (กัญชา).................... 77

ภาพที่ 59 แผนภูมิแสดงจำนวนใบรวมทั้งต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 78
ภาพที่ 60 แผนภูมิแสดงจำนวนใบรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 78
ภาพที่ 61 แผนภูมิแสดงจำนวนตุ่มดอก ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 79
ภาพที่ 62 แผนภูมิแสดงจำนวนตุ่มดอก ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 79
ภาพที่ 63 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกตูม ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 80
ภาพที่ 64 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกตูม ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 80
ภาพที่ 65 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกแย้ม ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 81
ภาพที่ 66 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกบาน ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 81
ภาพที่ 67 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกรวมทั้งต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 82
ภาพที่ 68 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 82
ภาพที่ 69 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งราก ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 83
ภาพที่ 70 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งราก ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 83
ภาพที่ 71 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งลำต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 84
ภาพที่ 72 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งลำต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 84
ภาพที่ 73 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งใบ ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 85
ภาพที่ 74 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งใบ ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 85
ภาพที่ 75 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งดอก ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 86
ภาพที่ 76 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งดอก ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 86
ภาพที่ 77 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 87
ภาพที่ 78 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 87
ภาพที่ 79 แผนภูมิแสดงความสูงต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 88
ภาพที่ 80 แผนภูมิแสดงความสูงต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 88
ภาพที่ 81 แผนภูมิแสดงความกว้างพุ่ม ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 89
ภาพที่ 82 แผนภูมิแสดงความกว้างพุ่ม ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 89
ภาพที่ 83 แผนภูมิแสดงความยาวพุ่ม ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 90
ภาพที่ 84 แผนภูมิแสดงความยาวพุ่ม ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 90
ภาพที่ 85 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางฐานต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 91
ภาพที่ 86 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางฐานต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 91
ภาพที่ 87 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางกลางต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 92
ภาพที่ 88 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางกลางต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 92
ภาพที่ 89 แผนภูมิแสดงจำนวนการแตกกิ่ง ระยะทำใบ (ดาวเรือง) 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 90 แผนภูมิแสดงจำนวนการแตกกิ่ง ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 93
ภาพที่ 91 แผนภูมิแสดงปริมาตรดอกบานรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง) 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ล้วนมีความเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากพืชอยู่เสมอ ทั้งการปลูกพืชเพื่อเป็นอาหาร การใช้พืชเป็นวัสดุก่อสร้างที่อยู่อาศัย การใช้เส้นใยจากพืชถักทอเป็นเครื่องนุ่มห่ม และการนำส่วนประกอบของพืชเข้าตำรับยารักษาโรค ผลผลิตที่ได้จากการปลูกพืชจึงถือเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญ และการศึกษาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการปลูกพืชจึงถือเป็นรากฐานสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืช (Plant Factory) เป็นการนำองค์ความรู้ทางด้านเกษตรกรรม, วิศวกรรม, สถาปัตยกรรม, และ วิทยาศาสตร์ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ภายในพื้นที่ที่เป็นระบบปิดหรือกึ่งเปิดกึ่งปิด ตัวอย่างเช่น การปลูกพืชภายในโรงเรือนปรับอากาศ หรือ การปลูกพืชภายในห้องควบคุมแสง เป็นต้น การควบคุมปัจจัยเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในโรงงานผลิตพืช จะต้องทำการควบคุมปัจจัยเสมือนการปลูกพืชตามธรรมชาติ ประกอบด้วย ปัจจัยแสง, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์, อุณหภูมิอากาศ, และ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โดยมีปัจจัยแสงเป็นตัวแปรสำคัญในการกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) อันเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างอาหารและการเจริญเติบโตของพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การควบคุมปัจจัยแสงในโรงงานผลิตพืช เกี่ยวข้องกับการใช้แสงประดิษฐ์จากหลอดไฟ (Artificial Light) เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการปลูกพืช ทดแทนแสงอาทิตย์จากธรรมชาติ (Sunlight) จุดประสงค์เพื่อแก้ไขข้อจำกัดทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลเสียต่อคุณลักษณะของแสงอาทิตย์ในบริเวณพื้นที่ปลูก และเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของพืชด้วยการออกแบบระบบแสงที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น การใช้แสงประดิษฐ์ทดแทนแสงอาทิตย์ดังกล่าว จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของแสงที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย 1) ช่วงความยาวคลื่นแสง (Light Wavelength), 2) ความเข้มแสง (Light Intensity), และ 3) ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง (Light Duration) ที่ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช (Rate of photosynthesis) จากการศึกษางานวิจัยพบว่า เทคโนโลยี Light Emitting Diodes (LEDs) หรือหลอดแอลอีดี เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงประดิษฐ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการ

ปลูกพืชมากที่สุด เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการกำหนดช่วงความยาวคลื่นแสงมากที่สุด (Gupta and Agarwal, 2017), มีความเข้มแสงต่อหน่วยการบริโภคพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด (Watts per µmol/m^2/s), และมีค่าสัมประสิทธิ์การแปลงหน่วยพลังงานแสงใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์มากที่สุด (Lux to µmol/ m^2/ s) เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์กำเนิดแสงประดิษฐ์ชนิดอื่น ๆ ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์, หลอดเมทัลฮาไลด์, และ หลอดโซเดียมความดันสูง (กรวิทย์ กระจ่างพันธ์, ถิระวรรธน์ สืบธนะวงษ์ และ สุขสันติ์ หวังสถิตย์, 2561)

จากการทดสอบคุณสมบัติของแสงจากหลอดแอลอีดีเปรียบเทียบกับแสงอาทิตย์ พบข้อจำกัดของการนำหลอดแอลอีดีมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงทดแทนแสงอาทิตย์ 3 ประการ ได้แก่ 1) ช่วงความยาวคลื่นแสงจากหลอดแอลอีดีมีสัดส่วนโฟตอนแสงสม่ำเสมอน้อยกว่าแสงอาทิตย์ ส่งผลทำให้พืชอาจดูดซับโฟตอนแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้เพิ่มขึ้นหรือลดลง, 2) ลักษณะการกระจายโฟตอนแสงของหลอดแอลอีดี มีลักษณะกระจุกตัวเมื่ออยู่ชิดพื้นที่ปลูก แต่กระจัดกระจายเมื่ออยู่ห่างพื้นที่ปลูก ส่งผลทำให้อาจมีโฟตอนแสงที่ผลิตได้จากหลอดแอลอีดีสูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์, และ 3) หลอดแอลอีดีเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า การใช้หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการปลูกพืชจึงมีต้นทุนทางด้านการบริโภคพลังงานสูง

จากข้อจำกัดของหลอดแอลอีดี นำไปสู่ที่มาและความสำคัญของการศึกษา 1) ผลของช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีสัดส่วนโฟตอนแสงแตกต่างกัน, 2) ผลของการออกแบบมุมองศาแผ่นสะท้อนแสงเพื่อลดการสูญเสียโฟตอนแสงจากหลอดแอลอีดี, และ 3) ผลของการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดีเพื่อลดต้นทุนทางด้านพลังงาน ที่มีต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืชในด้านต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกศึกษาผลการเจริญเติบโตของ *Cannabis sativa* L. (กัญชา) เป็นข้อมูลตั้งต้น และเลือก *Tagetes erecta* L. (ดาวเรือง) เป็นพืชตัวอย่างในงานวิจัย เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำส่วนประกอบของพืชทั้งสองมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ทั้งในส่วนราก ลำต้น ใบ และ ดอก ประกอบกับพืชทั้งสองเป็นพืชกลางแจ้ง เหมาะสำหรับการปลูกภายใต้ความเข้มแสงสูง จึงสามารถนำผลการเจริญเติบโตมาวิเคราะห์เปรียบเทียบได้

1.2. วัตถุประสงค์ในงานวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสงต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช

1.2.2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสงต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช

1.2.3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดีต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช

1.3. ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการนำหลอดแอลอีดีมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการปลูกพืช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง, อิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง, และ อิทธิพลของแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับหลอดแอลอีดี ที่มีต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช จึงกำหนดขอบเขตการดำเนินงานวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

1.3.1. กำหนดให้ ช่วงความยาวคลื่นแสง เป็นตัวแปรอิสระในงานวิจัย โดยทำการศึกษาเฉพาะช่วงความยาวคลื่นแสงจากหลอดแอลอีดีและแสงอาทิตย์เท่านั้น

1.3.2. กำหนดให้ มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง เป็นตัวแปรอิสระในงานวิจัย โดยทำการประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสงศึกษาร่วมกับหลอดแอลอีดีเท่านั้น

1.3.3. กำหนดให้ แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี เป็นตัวแปรอิสระในงานวิจัย โดยทำการศึกษาร่วมกับหลอดแอลอีดีเท่านั้น

1.3.4. กำหนดให้ สภาพแวดล้อมและองค์ประกอบของแสงที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เป็นตัวแปรควบคุมในงานวิจัย ประกอบด้วย ปริมาณแสงรวมต่อวัน (ความเข้มแสง x ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง), ปัจจัยอื่นที่ส่งผลร่วมกับปัจจัยแสง (ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ อุณหภูมิอากาศ)

1.3.5. กำหนดให้ พืชในงานวิจัยหมายถึง กัญชาและดาวเรือง โดยทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ประกอบด้วย จำนวนใบ, จำนวนดอก, น้ำหนักแห้ง, ความสูงต้น, ทรงพุ่ม, เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น, การแตกกิ่ง-แตกยอด, ปริมาตรดอกบาน, และปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4. นิยามศัพท์เฉพาะ

โฟตอนแสง หมายถึง อนุภาคของแสง

ความเข้มแสง หมายถึง ความหนาแน่นของปริมาณโฟตอนแสงที่พืชได้รับสำหรับการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic photon flux density : PPFD) มีหน่วยเป็นไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อ วินาที (μmol/m^2/s)

ช่วงความยาวคลื่นแสง หมายถึง แสงที่ประกอบไปด้วยโฟตอนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400–700 นาโนเมตร (PAR) สำหรับการปลูกพืช นิยมอธิบายช่วงความยาวคลื่นแสงด้วยการจำแนกสัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงในรูปแบบ PPFD-R (600-700 nm): PPFD-G (500-600 nm): PPFD-B (400-500) หรือ สัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีเขียวต่อแสงสีน้ำเงิน (R: G: B) มีหน่วยเป็น μmol/m^2/s

ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง หมายถึง ระยะเวลาที่พืชได้รับแสงใน 24 ชั่วโมง หรือ หนึ่งวัน มีหน่วยเป็น ชั่วโมง/วัน

1.5. ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1. ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวข้อง เรื่องแสงสำหรับการเจริญเติบโตของพืช, หลักการสะท้อนแสง, พลังงานไฟฟ้าระบบโซลาเซลล์กระแสตรง, และการเจริญเติบโตของพืช

1.5.2. กำหนดขอบเขตและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.3. กำหนดวิธีการบันทึกผลและอภิปรายผลการทดลอง

1.5.4. กำหนดวิธีการสรุปผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.6. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาอิทธิพลของแสงที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับแต่งคุณลักษณะของแสงที่ได้จากหลอดแอลอีดี รวมถึงการใช้พลังงานทดแทน

⇩

กำหนดขอบเขตของงานวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ออกแบบกรรมวิธีการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

⇩

บันทึกผลและอภิปรายผลการทดลอง

บันทึกผลการทดลองจากกรรมวิธีการทดลองแบบต่าง ๆ และนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะ, แนวโน้ม และข้อสังเกตเฉพาะของผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

⇩

สรุปผลการทดลอง

รายงานสิ่งที่ค้นพบในงานวิจัย พร้อมให้ข้อเสนอแนะแนวทางการนำผลการทดลองไปทำการศึกษาต่อยอด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1. เพื่อทราบแนวทางการเลือกใช้ช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืชที่ต้องการ

1.7.2. เพื่อทราบแนวทางการออกแบบมุมองศาแผ่นสะท้อนแสงที่เหมาะสมต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืชที่ต้องการ

1.7.3. เพื่อทราบแนวทางการเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

2.1. การจำแนกกลุ่มวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวัตถุประสงค์ในงานวิจัยและการกำหนดขอบเขตการดำเนินงานวิจัย สามารถจำแนกการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรอิสระ ประกอบด้วย ช่วงความยาวคลื่นแสง, มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง, และ แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี

กลุ่มที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรควบคุม ประกอบด้วย ปริมาณแสงรวมต่อวัน (ความเข้มแสง x ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง) และ ปัจจัยอื่นที่ส่งผลร่วมกับปัจจัยแสง (ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ อุณหภูมิอากาศ)

กลุ่มที่ 3 วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับพืชตัวอย่าง ประกอบด้วย การเจริญเติบโตของกัญชา และ การเจริญเติบโตของดาวเรือง

2.2. วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรอิสระ

ทำการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับ ช่วงความยาวคลื่นแสง, มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง, และ แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1. ช่วงความยาวคลื่นแสง

ในเซลล์ของใบพืชประกอบด้วยรงควัตถุดูดซับแสงหลากหลายชนิด (Photosynthetic Pigments) ทำหน้าที่ดูดซับโฟตอนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสง 400-700 นาโนเมตร เรียกว่าช่วง Photosynthetically Active Radiation หรือ PAR (นภัทร วัจนเทพินทร์ และ ไชยยันต์ บุญมี, 2560) โดยมีคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophylls a) เป็น Primary Pigment ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยตรง และมีรงควัตถุชนิดอื่นทำหน้าที่ดูดซับโฟตอนแสงในช่วงอื่นที่คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดซับได้ แล้วจึงส่งต่อให้คลอโรฟิลล์ เอ เรียกว่า Accessory Pigment จากพฤติกรรมการดูดซับโฟตอนแสงของรงควัตถุดูดซับแสงดังกล่าว ส่งผลทำให้พืชสามารถตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต่างชนิดกัน ได้แตกต่างกัน (ดนัย บุณยเกียรติ, ม.ป.ป.) (ภาพที่ 3)

จากการศึกษาสัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ พบว่า แสงอาทิตย์จากธรรมชาติ (Sunlight) มีลักษณะแสงแบบ Full spectrum กล่าวคือ มีปริมาณโฟตอนแสงครบทุกช่วงความยาวคลื่นแสง 400-700 นาโนเมตร (PAR) และมีสัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงสม่ำเสมอมากที่สุด ในขณะที่หลอดแอลอีดี (LEDs) ที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงทดแทนแสงอาทิตย์มากที่สุด มีความสม่ำเสมอของปริมาณโฟตอนแสงน้อยกว่าแสงอาทิตย์ แต่มีความยืดหยุ่นในการนำมาใช้เนื่องจากมีลักษณะแสงทั้งแบบ Full spectrum เหมือนแสงอาทิตย์ และแบบ Narrow band ที่มีโฟตอนแสงเฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่ง เหมาะสำหรับนำมาใช้ผสมแสงในการออกแบบ (ภาพที่ 4-5)

จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการปลูกพืชด้วยแหล่งกำเนิดแสง ที่มีสัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงแตกต่างกัน พบว่า ในการทดลองปลูกเบญจมาศของ Kim et al. (2004) การกำหนดให้ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีการทดลอง มีสัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงแตกต่างกัน ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์, หลอดแอลอีดีสีน้ำเงิน, หลอดแอลอีดีสีแดง, หลอดแอลอีดีสีแดงและสีน้ำเงิน, หลอดแอลอีดีสีแดงและสีแดงไกล, และ หลอดแอลอีดีสีน้ำเงินและสีแดงไกล ส่งผลทำให้ อัตราการสังเคราะห์แสง, น้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง และ ขนาดของใบ, ความยาวก้านดอก, และ ลำต้นของเบญจมาศ สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดภายใต้สัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงต่างกัน

สอดคล้องกับการทดลองของ Chin and Chong (2012) การปลูกผักกาดหอมในห้องควบคุมและโรงเรือน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่มีสัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงแตกต่างกันระหว่าง กรรมวิธีที่ 1 : หลอดแอลอีดีแสงสีแดง+สีน้ำเงิน รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน และกรรมวิธีที่ 2 : แสงธรรมชาติ ส่งผลทำให้ อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก, น้ำหนักสดรวมทั้งต้น, และ ความกว้างใบของผักกาดหอม ได้ผลการเจริญเติบโตภายใต้การปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 1 มากกว่าแสงในกรรมวิธีที่ 2

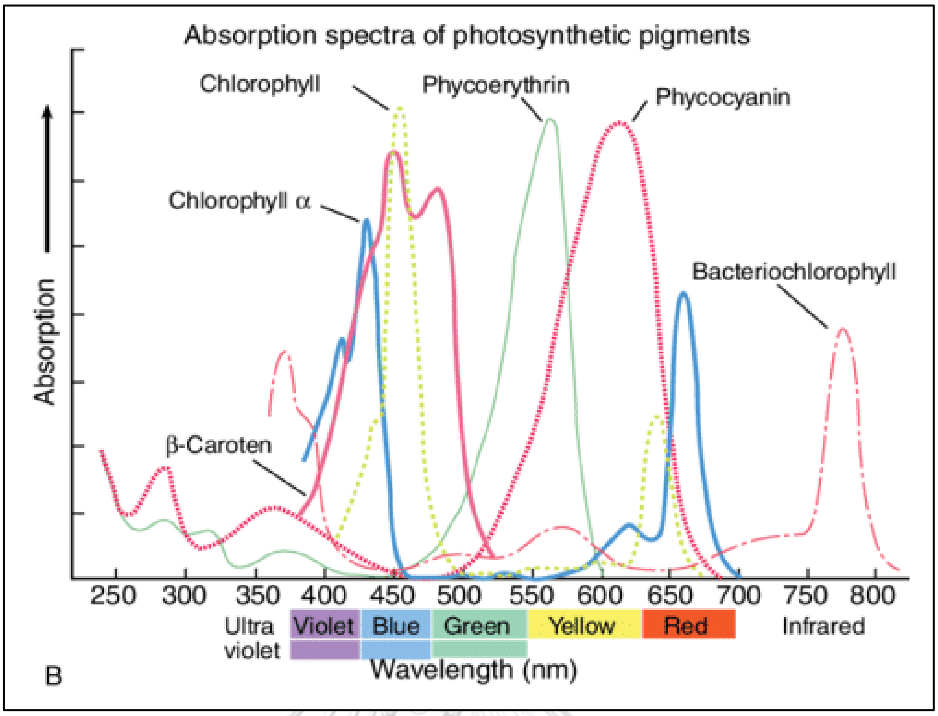
สอดคล้องกับการทดลองของ Choi, Moon, and Kang (2015) การปลูกสตรอว์เบอร์รีในห้องควบคุม (Growth Chamber: GC) และ ในโรงเรือน (Plastic Greenhouse: PG) ภายใต้การกำหนดให้ตัวแปรแสงในกรรมวิธีการทดลองแต่ละกลุ่ม มีความแตกต่างกันดังนี้ กลุ่มที่ 1 : ปลูกใน GC ด้วยหลอดแอลอีดี ความเข้มแสง 200 $\mu mol/m^2/s$ รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงความยาวคลื่นแสงในแต่ละกรรมวิธีแบ่งเป็น แสงสีแดง, แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดง+น้ำเงิน สัดส่วน 7:3 และ กลุ่มที่ 2 : ปลูกใน PG ด้วยแสงธรรมชาติร่วมกับหลอดแอลอีดี ความเข้มแสงหลอดแอลอีดี 75 $\mu mol/m^2/s$ รับแสงธรรมชาติ 9 ชั่วโมงต่อวันร่วมกับรับแสงจากหลอดแอลอีดี 6 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงความยาวคลื่นแสงในแต่ละกรรมวิธี

แบ่งเป็น แสงสีแดง, แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดง+น้ำเงิน สัดส่วน 7:3 ผลการทดลองพบว่าการปลูกใน GC แสงสีแดง+น้ำเงิน สร้างผลผลิตสตรอว์เบอร์รีได้มากที่สุด ในขณะที่แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินไม่มีความแตกต่าง ส่วนการปลูกใน PG แสงธรรมชาติร่วมกับแสงสีแดง+น้ำเงิน และแสงธรรมชาติร่วมกับแสงสีน้ำเงินสร้างผลผลิตสตรอว์เบอร์รีได้ไม่แตกต่างกันแต่มากกว่าผลผลิตที่ได้จากแสงธรรมชาติร่วมกับแสงสีแดง

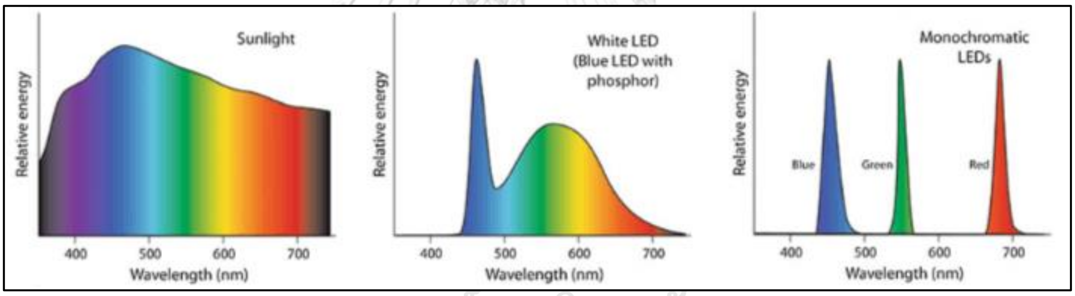
และสอดคล้องกับการทดลองของ ชานนท์ ลาภจิต (2560) การปลูกผักบุ้งจีนในห้องควบคุม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่มีสัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงแตกต่างกัน ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาว, หลอดแอลอีดีสีขาว, หลอดแอลอีดีสีแดง, หลอดแอลอีดีสีน้ำเงิน, หลอดแอลอีดีสีแดงผสมสีน้ำเงิน อัตรา 1:1, และ หลอดแอลอีดีสีแดงผสมสีน้ำเงิน อัตรา 2:1 ผลการทดลองพบว่าการเจริญเติบโตทางด้าน ความสูงต้น, ความกว้างลำต้น, จำนวนใบต่อต้น, น้ำหนักสด-แห้งลำต้น, และ น้ำหนักสด-แห้งราก ของผักบุ้งจีน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการเลือกใช้สัดส่วนปริมาณโฟตอนแสงแต่ละแบบอาจส่งผลดีต่อลักษณะบางลักษณะของผักบุ้งจีน

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับช่วงความยาวคลื่นแสง สรุปได้ว่า จากพฤติกรรมการดูดซับแสงของใบพืช ส่งผลทำให้พืชแต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงแต่ละแบบได้แตกต่างกัน จึงควรทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตของพืช เปรียบเทียบระหว่างการปลูกภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงจากหลอดแอลอีดีและช่วงความยาวคลื่นแสงจากแสงอาทิตย์ในงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

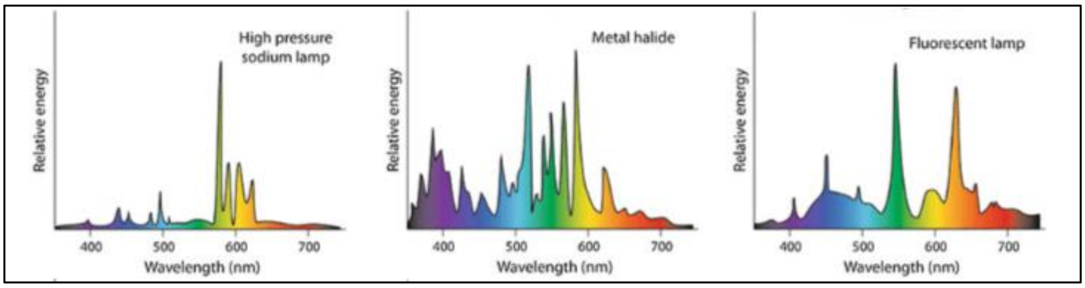


ภาพที่ 2 Photosynthetic Pigment ในช่วง PAR (Warren, 2011)



ภาพที่ 3 ช่วงความยาวคลื่นแสงของแสงอาทิตย์, หลอดแอลอีดีชนิด Full spectrum และ หลอดแอลอีดีชนิด Narrow band (Gupta and Agarwal, 2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4 ช่วงความยาวคลื่นแสงของหลอดโซเดียมความดันสูง, หลอดเมทัลฮาไลด์ และ หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Gupta and Agarwal, 2017)

2.2.2. มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง

- การสะท้อนแสง

เมื่อแสงเดินทางไปกระทบกับวัตถุตัวกลาง (Medium) พฤติกรรมการเดินทางของแสงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของวัตถุที่กระทบ ทั้งวัตถุที่มีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว และ แก๊ส การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเดินทางของแสงสามารถจำแนกได้ 3 รูปแบบได้แก่ การดูดกลืนแสง (Light Absorption), การสะท้อนแสง (Light Reflection) และ การส่องผ่านแสง (Light Transmission) (ธัมม์วริทธิ์ ตาลจรัส, 2559) สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ทำการศึกษาเฉพาะเรื่องการสะท้อนแสง (Light Reflection) เท่านั้น

การสะท้อนแสง (Light Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงเดินทางย้อนกลับจากวัตถุที่แสงเดินทางไปกระทบ ความแตกต่างของพื้นผิววัตถุที่แสงเดินทางไปกระทบ จะส่งผลต่อคุณสมบัติการเดินทางย้อนกลับของแสง 2 ประการ ประกอบด้วย ปริมาณการเดินทางย้อนกลับของแสง (ค่าการสะท้อนแสง) และ ประเภทการเดินทางย้อนกลับของแสง (ประเภทการสะท้อนแสง) (Stein, Reynolds and McGuinness, 1986)

ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) คือ สัดส่วนการสะท้อนกลับของแสง นิยมแสดงในรูปแบบของสัดส่วนเทียบร้อย (%) หรือจำนวนเต็มหนึ่ง เมื่อแสงกระทบพื้นผิววัตถุแล้วสะท้อนกลับครึ่งหนึ่ง จะมีค่า Reflectance = 50% หรือ 0.50 เป็นต้น

ประเภทการสะท้อนแสง สามารถจำแนกตามรูปแบบการเดินทางย้อนกลับของแสง (การสะท้อนแสง) ที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่

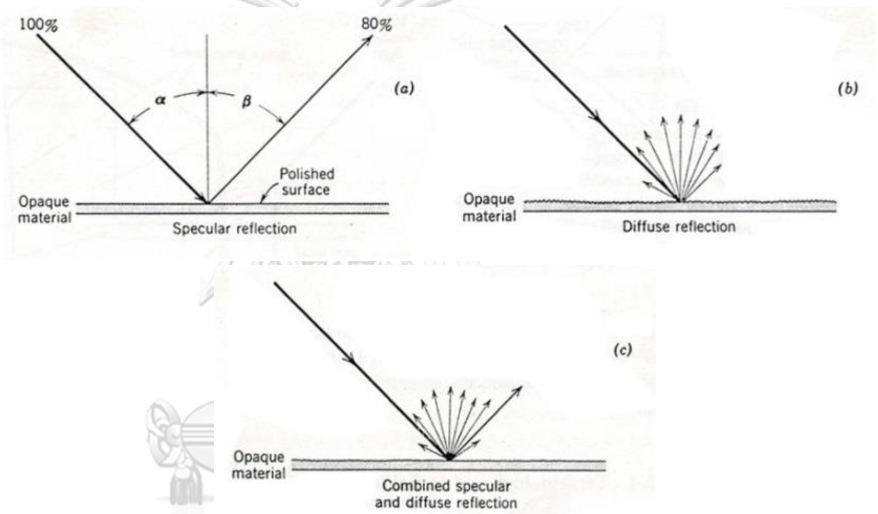
1) การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนแสงที่เกิดจากจากวัตถุทึบแสง (Opaque Material) ที่มีพื้นผิวเรียบมันวาว (Polished Surface) เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ตัวอย่างเช่น กระจกขัดเงา (Polished Glass) หรือหินขัดเงา (Polished Stone)

2) การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนแสงที่เกิดจากจากวัตถุทึบแสง (Opaque Material) ที่มีพื้นผิวหยาบ (Rough Surface) เป็นการสะท้อนแสงที่แตกรังสีสะท้อนออกเป็นรังสีเล็ก ๆ ออกจากพื้นผิววัตถุทั่วทิศทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) การสะท้อนแบบผสม (Combined Specular and Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ผสมระหว่างการสะท้อนแสงในทิศทางตรงกันข้ามจากแหล่งกำเนิดแสงและการสะท้อนแสงแบบกระจายทั่วทุกทิศทาง ซึ่งเป็นประเภทการสะท้อนแสงของวัตถุส่วนใหญ่

จากการศึกษาค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) และประเภทการสะท้อนแสง 3 รูปแบบ นำไปสู่การพิจารณาวัสดุที่มีความเหมาะสมในการนำมาประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสงในงานวิจัย จากตารางแสดงตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของวัสดุของ (Stein et al., 1986) พบว่า กระดาษสีขาวด้านมีคุณสมบัติที่เหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงและมีความโดดเด่นในรูปแบบการสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse = 0.770)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 5 ประเภทการสะท้อนแสง Specular Reflection, Diffuse Reflection และ Combined Specular and Diffuse Reflection (Stein et al., 1986)

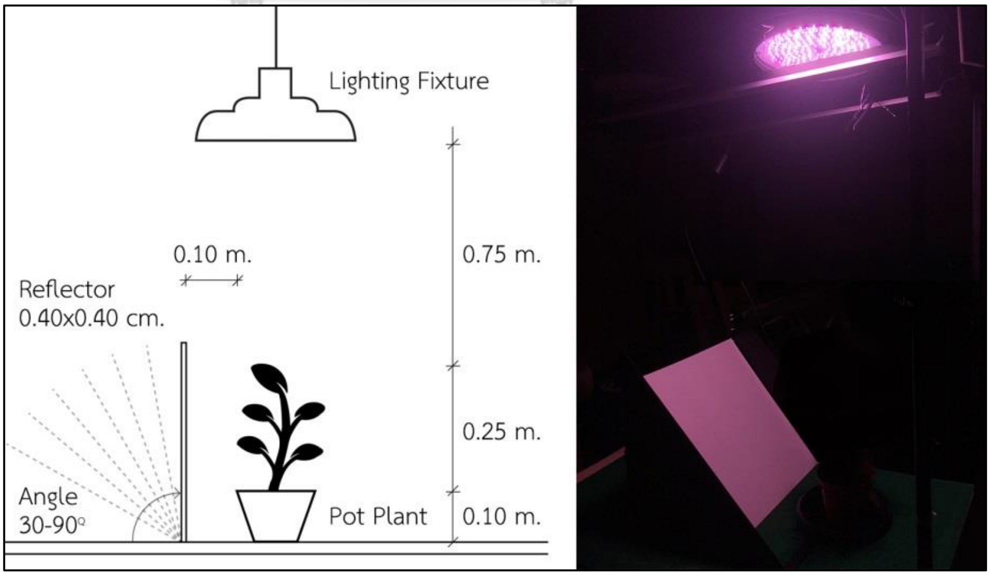
ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Stein et al., 1986)

Material	Reflectance	
	Specular	Diffuse
Matte black paper	0.0005	0.040
Matte white paper	0.0030	0.770
Metallic paper-copper	0.1100	0.280
Super gloss black ink	0.0390	0.016
Newspaper	0.0065	0.680

- มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง

ในการปลูกพืชตามธรรมชาติ พืชจะได้รับแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาบริเวณเหนือใบ พืช การติดตั้งหลอดแอลอีดีเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการปลูกพืช จึงนิยมติดตั้งบริเวณเหนือพื้นที่ปลูก เพื่อส่องแสงลงมาสู่บริเวณเหนือใบพืชเสมือนแสงอาทิตย์

การทดสอบนำร่องมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง จึงทำการทดสอบโดยการติดตั้งหลอดแอลอีดีที่บริเวณเหนือต้นพืช สูงจากเรือนยอดต้นพืชตัวอย่าง 0.75 ม. ทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงประดิษฐ์จากกระดาษชานอ้อยสีขาวด้าน ขนาด 0.40x0.40 ม. เอียงทำมุม 30–90° จากระนาบพื้น ทำการทดสอบปริมาณแสงที่สะท้อนเข้าสู่ด้านข้างของต้นพืชตัวอย่างด้วยแอพพลิเคชั่น Lux Meter ใน iOS โดยทำการปริมาณแสงที่ตำแหน่งโคนต้น, กลางพุ่ม, และ เรือนยอด ของพืชตัวอย่าง (พืชตัวอย่างมีความสูงวัดจากฐานต้นถึงเรือนยอด 0.25 ม. ปลูกในกระถางสูง 0.10 ม. รวมระยะความสูง 0.35 ม.) ผลการทดสอบพบว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° จากระนาบพื้น สามารถสะท้อนปริมาณแสงรวมทุกตำแหน่งเข้าสู่ต้นพืชตัวอย่างได้มากที่สุด (ตารางที่ 4) จึงเลือกใช้มุม 60° จากระนาบพื้นเป็นมุมองศาในการประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสงในงานวิจัย ร่วมกับมุม 90° จากระนาบพื้น เนื่องจากเป็นมุมมาตรฐานของเต็นท์ปลูกสำเร็จรูป



ภาพที่ 6 กรรมวิธีการทดสอบนำร่ององศาการเอียงแผ่นสะท้อนแสง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบนำร่ององศาการเอียงแผ่นสะท้อนแสง

มุมองศา แผ่นสะท้อนแสง	ความเข้มแสง (Lux)			
	โคนต้น	กลางพุ่ม	เรือนยอด	รวมทั้งต้น
ไม่มีแผ่นสะท้อนแสง	180	140	110	430
90°	1,100	1,300	1,700	4,100
80°	2,300	2,500	3,000	7,800
70°	3,100	3,500	<u>3,800</u>	10,400
60°	3,900	<u>4,500</u>	3,000	<u>11,400</u>
50°	<u>4,500</u>	3,300	1,900	9,700
40°	2,900	2,200	600	5,700
30°	2,200	1,100	200	3,500

- การตอบสนองของพืชต่อมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง

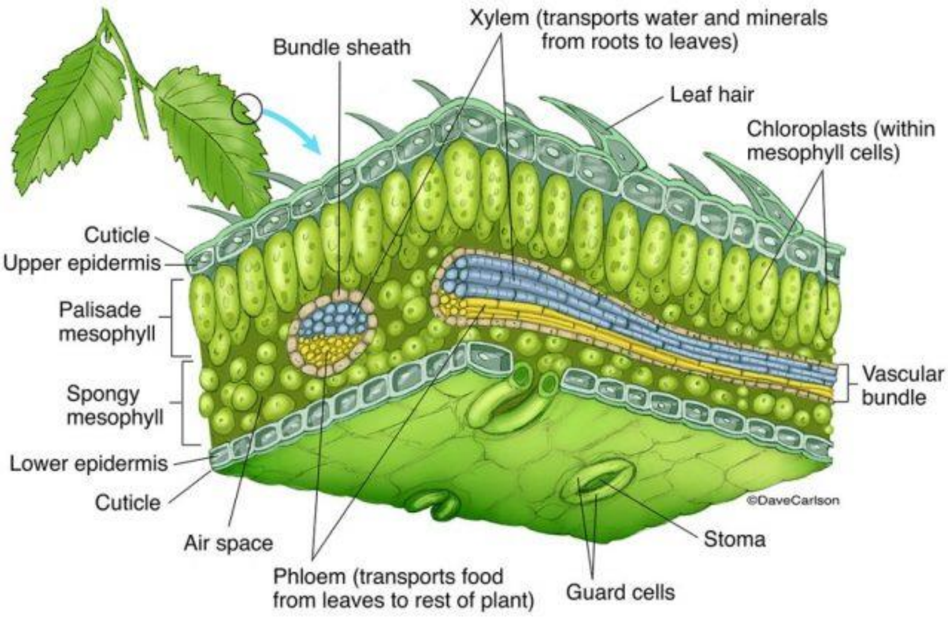
จากความสามารถในการสะท้อนแสงเข้าสู่ด้านข้างต้นพืช การตอบสนองของพืชต่อมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง มีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับตำแหน่งรงควัตถุดูดซับแสง ที่อยู่ในชั้น Palisade mesophyll (ด้านบนใบ) และ Spongy mesophyll (ด้านล่างใบ) ในเซลล์ใบพืช เมื่อสามารถสะท้อนแสงเข้าสู่ด้านข้างต้นพืชได้มากขึ้น มีความเป็นไปได้ที่พืชจะได้รับแสงบริเวณใต้ใบเพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การกระตุ้นรงควัตถุดูดซับแสงบริเวณด้านล่างใบ (ภาพที่ 0)

จากการขอความอนุเคราะห์เข้าร่วมดำเนินงานวิจัย <u>ภายใต้โครงการวิจัยการศึกษาการตอบสนองต่ออิทธิพลของแสงและการแสดงออกทางพันธุกรรมของสายพันธุ์กัญชา ภายใต้การอนุญาตผลิตซึ่งยาเสพติดให้โทษประเภท 5 ตามหนังสือสาคัญที่ 7/2562 (ปลูก) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้</u> ทำการทดสอบสัดส่วนค่าการสังเคราะห์แสงในกรณีที่พืชได้รับแสงบริเวณเหนือใบ : บริเวณใต้ใบ โดยการสุ่มบันทึกค่าการสังเคราะห์แสงจากตัวอย่างใบกัญชาพันธุ์หางกระรอกที่บริเวณกลางพุ่มและเรือนยอด ด้วยระดับความเข้มแสง 1000, 1500, 2000 และ 2500 µmol/m^2/s

ผลการทดสอบพบว่า สัดส่วนค่าการสังเคราะห์แสง (ค่า A) ในกรณีที่ได้รับแสงบริเวณ เหนือใบ : ใต้ใบ มีค่าเฉลี่ยเป็น 1.00 : 0.62 หมายความว่า ค่าการสังเคราะห์แสงในกรณีที่พืชได้รับแสงบริเวณใต้ใบ มีประสิทธิภาพคิดเป็น 62% จากการได้รับแสงเหนือใบของใบเดียวกัน แต่เนื่องด้วยการวัดค่าการสังเคราะห์แสง (ค่า A) เป็นการวัดอัตราการตรึง CO_2

ของใบภายในปล่องวัด จึงไม่อาจสรุปได้ว่า หากได้รับแสงบริเวณเหนือใบและใต้ใบพร้อมกัน ค่าการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มเป็น 162%

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง สรุปได้ว่า ควรเลือกใช้กระดาษสีขาวด้านเป็นวัสดุปิดผิวในการประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสง และประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° และมุม 90° จากระนาบพื้น เพื่อเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของพืชในงานวิจัย เนื่องจากแผ่นสะท้อนแสงดังกล่าวมีแนวโน้มสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์แสงในกรณีที่พืชได้รับแสงบริเวณใต้ใบ



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 7 รูปตัดขวางใบพืช (เนชั่นแนล จีโอกราฟฟิก, 2018)

ภาพที่ 8 การวัดค่าการสังเคราะห์เหนือใบและใต้ใบกัญชา

ตารางที่ 3 สัดส่วนค่าการสังเคราะห์ในกรณีได้รับแสงเหนือใบและใต้ใบ

ใบที่	ตำแหน่งใบ	ความเข้มแสง μmol/m^2/s	การสังเคราะห์แสง (ค่า A)		
			เหนือใบ	ใต้ใบ	เหนือใบ : ใต้ใบ
1	กลางพุ่ม	1000	19.71	13.09	1.00 : 0.66
2	กลางพุ่ม	1500	19.91	13.62	1.00 : 0.68
3	กลางพุ่ม	1500	21.81	13.55	1.00 : 0.62
4	เรือนยอด	1500	20.42	13.05	1.00 : 0.64
5	เรือนยอด	2000	24.63	15.34	1.00 : 0.62
6	เรือนยอด	2000	23.47	14.30	1.00 : 0.61
7	เรือนยอด	2000	27.90	15.29	1.00 : 0.55
8	เรือนยอด	2500	26.78	16.05	1.00 : 0.60
เฉลี่ย					1.00 : 0.62

2.2.3. แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาเซลล์ เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการถ่ายเทพลังงานจากโฟตอนแสงไปสู่อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่อยู่ในแผงโซลาเซลล์ (Photovoltaic Cell: PV) เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานเพียงพอจนสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จนครบวงจร เกิดเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงโซลาเซลล์ (วีระพงศ์ วงศ์ใหญ่, 2562)

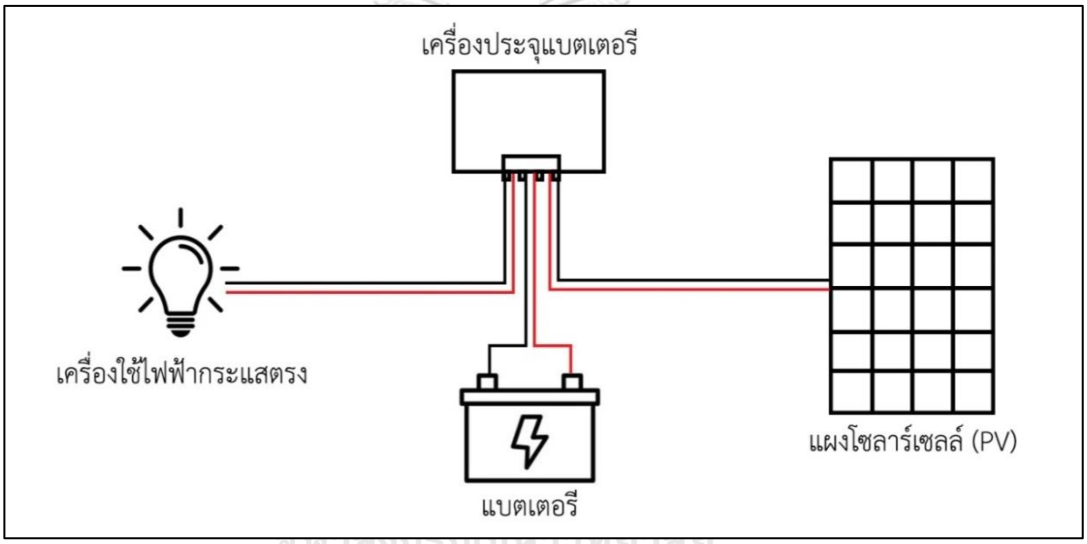
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การนำพลังงานไฟฟ้าจากโซลาเซลล์ไปใช้งาน จะต้องทำการติดตั้งระบบโซลาเซลล์โดยมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย แผงโซลาเซลล์ (PV), เครื่องประจุแบตเตอรี, เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า, และ แบตเตอรี เป็นต้น (สฤษดิ์ คงทนไพศาล, 2554)

สำหรับการติดตั้งระบบโซลาเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี จะต้องอาศัยอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาเซลล์เป็นไฟฟ้ากระสลับสำหรับหลอดแอลอีดี ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ที่ติดตั้ง เรียกว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ จากการศึกษาพบว่า การใช้อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าราว 15-20% และการเสื่อมสภาพของแบตเตอรีพร้อม

เครื่องประจุ ล้วนส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไม่แตกต่างกัน (กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับแหล่งพลังงานไฟฟ้า สรุปได้ว่า ควรทำการเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของพืช ระหว่าง การปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อระบบโซลาเซลล์กระแสตรง (Direct current : DC) โดยไม่ผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและการประจุแบตเตอรี และ การปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ (Alternating current : AC) ในงานวิจัย เพื่อศึกษาการลดต้นทุนทางด้านการบริโภคพลังงานของหลอดแอลอีดี



ภาพที่ 9 การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์กระแสตรง (Direct current : DC)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3. วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรควบคุม

ทำการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับ ปริมาณแสงรวมต่อวัน (ความเข้มแสง x ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง) และ ปัจจัยอื่นที่ส่งผลร่วมกับปัจจัยแสง (ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ อุณหภูมิอากาศ) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1. ปริมาณแสงรวมต่อวัน

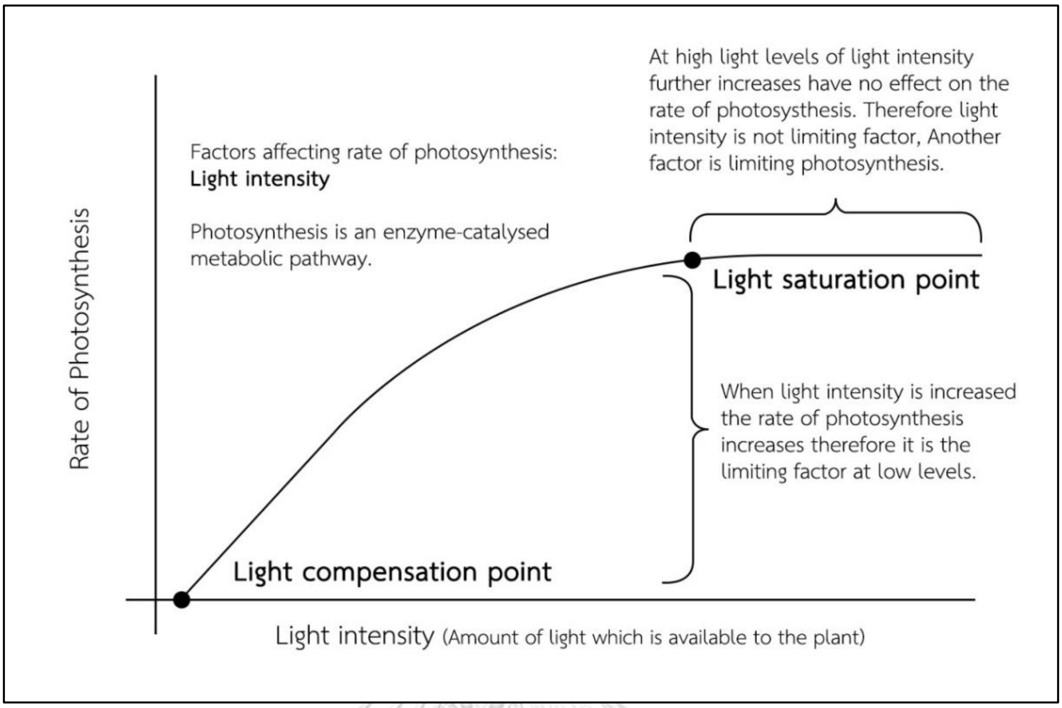
- ความเข้มแสง

ความเข้มแสง (Light Intensity) คือ ปริมาณโฟตอนแสงที่นำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช นิยมแสดงค่าความเข้มแสงในรูปแบบ ค่าความหนาแน่นของปริมาณโฟตอนแสงชั่วขณะที่พืชได้รับสำหรับการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Photon Flux Density : PPFD) มีหน่วยเป็น ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu mol/m^2/s$)

เมื่อความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้น (ปริมาณโฟตอนแสงเพิ่มสูงขึ้น) อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นตาม จนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นปรากฏการณ์ที่พืชต้องอาศัยตัวแปรอื่นนอกเหนือจากความเข้มแสงในการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง เรียกว่า Limiting Factor และจุดที่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น เรียกว่า จุดอิ่มตัวของแสงหรือ Light Saturation Point (ดวงรัตน์ ศตคุณ, พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และ Crozat, 2542)

ความเข้มแสง (ปริมาณโฟตอนแสง) ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชจึงอยู่ในช่วงที่การเพิ่มความเข้มแสงและการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์กัน โดยสามารถแบ่งความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับพืชออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) พืชในร่มเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตในร่มที่มีความเข้มแสงต่ำ (ร่มเงาที่ไม่มี แสงอาทิตย์ส่องถึงโดยตรง), 2) พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตในที่ที่มีการพรางแสงทำให้แสงอาทิตย์ที่ส่องมีความเข้มแสงต่ำลง, และ 3) พืชกลางแจ้ง เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตกลางแจ้งที่มีความเข้มแสงสูง (ภาวิณี อารีศรีสม et al., 2560)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 10 กราฟ Light Saturation Point (Smullen, 2015)

- ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง

ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง (Light Duration) คือ ระยะเวลาที่พืชได้รับแสงใน 24 ชั่วโมงหรือหนึ่งวัน มีหน่วยเป็น hr/day ระยะเวลาที่พืชได้รับแสงจะส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการตอบสนองต่อแสงของพืช 2 พฤติกรรม ประกอบด้วย การตอบสนองต่อความยาววัน และ การตอบสนองต่อปริมาณโฟตอนแสง

การตอบสนองต่อความยาววัน (Photoperiod) เมื่อพืชเจริญเติบโตในระยะทำใบจนถึงช่วงที่มีความพร้อมในการออกดอก ระยะเวลารับแสงจะมีบทบาทในการกระตุ้นให้พืชมีการพัฒนาจากการเจริญเติบโตในระยะทำใบ (Vegetative stage) ไปสู่การเจริยเติบโตในระยะทำดอก (Reproductive stage) โดยสามารถจำแนกเงื่อนไขการพัฒนาการเจริญเติบโตของพืชได้เป็น พืชที่ออกดอกเมื่อได้รับระยะเวลารับแสงสั้นกว่าวันวิกฤต (Critical day length) เรียกว่า พืชวันสั้น (Short day plant) และพืชที่ออกดอกเมื่อได้รับระยะเวลารับแสงยาวกว่าวันวิกฤต เรียกว่า พืชวันยาว (Long day plant)

การตอบสนองต่อปริมาณโฟตอนแสง ระยะเวลารับแสง เป็นตัวกำหนดระยะเวลาที่พืชสามารถดูดซับโฟตอนแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งปริมาณการดูดซับ

โฟตอนแสงที่เปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่นเดียวกับผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ในปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นวิธีการคำนวณปริมาณโฟตอนแสงสำหรับการปลูกพืช ในรูปแบบ ปริมาณแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน ซึ่งเป็นการคำนวณร่วมกันระหว่างความเข้มแสงและความยาวของช่วงที่ได้รับแสง

- ปริมาณแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน

ปริมาณแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน (Daily Light Integral : DLI) เป็นการคำนวณปริมาณโฟตอนแสงร่วมกันระหว่าง ความเข้มแสง (PPFD) และ ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง (hr/day) โดยมีสูตรคำนวณคือ DLI = PPFD x light hours per day x (3600/1,000,000) มีหน่วยเป็นโมลต่อตารางเมตรต่อวัน (mol/m^2/d)

จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับปริมาณแสงรวมต่อวันสำหรับการปลูกพืช พบว่า ในการทดลองปลูกผักกาดหอมของ พิชญ์สินี เพชรไทย และ ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ (2560) การกำหนดให้ปริมาณแสงรวมในกรรมวิธีการทดลองมีความแตกต่างกัน ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 : รับแสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 170 μmol/m^2/s (ปริมาณแสงรวม = 7.3 mol/m^2/d), กรรมวิธีที่ 2 : รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 180 μmol/m^2/s (ปริมาณแสงรวม = 10.4 mol/m^2/d), และ กรรมวิธีที่ 3 : รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 80 μmol/m^2/s (ปริมาณแสงรวม = 4.6 mol/m^2/d) ส่งผล ทำให้ จำนวนใบของผักกาดหอมในกรรมวิธีที่ 2 ได้ผลแตกต่างจากกรรมวิธีที่ 3, น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งลำต้น และน้ำหนักแห้งรากของผักกาดหอมในกรรมวิธีที่ 1 ได้ผลแตกต่างจากกรรมวิธีที่ 2 และ 3, และ น้ำหนักสดรากของผักกาดหอมได้ผลแตกต่างกันทั้ง 3 กรรมวิธี

สอดคล้องกับการทดลองของ จริญญา ฤทธิรัมย์ และ อารักษ์ ธีรอำพน (2562) การปลูกผักกาดหอมในห้องควบคุมภายใต้ปริมาณแสงรวมที่แตกต่างกัน 2 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 : เปรียบเทียบระหว่าง แสงสีขาว รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 120 และ 140 μmol/m^2/s (ปริมาณแสงรวม = 6.9 และ 8.1 mol/m^2/d) และ กลุ่มที่ 2 : แสงสีขาว+สีน้ำเงิน+สีแดง รับแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 110 และ 120 μmol/m^2/s (ปริมาณแสงรวม = 6.3 และ 6.9 mol/m^2/d) ผลการทดลองพบว่า ขนาดพื้นที่ใบ, น้ำหนักสดรากและลำต้น, น้ำหนักแห้งรากและลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ ของผักกาดหอมในการทดลองกลุ่มที่ 1 ได้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ และน้ำหนักสดราก,

น้ำหนักแห้งราก และปริมาณคลอโรฟิลล์ ของผักกาดหอมในการทดลองกลุ่มที่ 2 ได้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับปริมาณแสงรวมต่อวัน สรุปได้ว่าควรควบคุมปริมาณแสงรวมต่อวันให้มีความใกล้เคียงกัน โดยทำการศึกษาระดับความเข้มแสง (ปริมาณโฟตอนแสง) ที่เหมาะสมสำหรับพืชในงานวิจัย ร่วมกับการศึกษาความยาวของช่วงที่ได้รับแสง (ระยะเวลาที่พืชดูดซับโฟตอนแสง) ที่เหมาะสม แล้วนำมาคำนวณเป็นปริมาณโฟตอนแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน DLI = PPFD x light hours per day x (3600/1,000,000) ในแต่ละกรรมวิธีการวิจัย

2.3.2. ปัจจัยอื่นที่ส่งผลร่วมกับปัจจัยแสง

- ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

หลังจากการเพิ่มความเข้มแสงจนถึงจุดอิ่มตัวของแสง (Light Saturation Point) การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้ามามีบทบาทในการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงของพืช โดยมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับการเพิ่มความเข้มแสง

เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นตาม จนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นปรากฏการณ์ที่พืชต้องอาศัยตัวแปรอื่นนอกเหนือจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง เรียกว่า Limiting Factor และจุดที่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เรียกว่า จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ CO_2 Saturation Point

จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ในการทดสอบอัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนียใน Mortensen and Ulsaker (1985) การทดสอบด้วย ความเข้มแสงที่ระดับ 45, 120 และ 195 µmol/m^2/s ร่วมกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 300, 600, 900 และ 1,500 µl/l ส่งผลทำให้ อัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนีย เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในการทดสอบทุกระดับความเข้มแสง (เมื่อความเข้มแสงและอุณหภูมิอากาศคงที่) (ภาพที่ 12)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

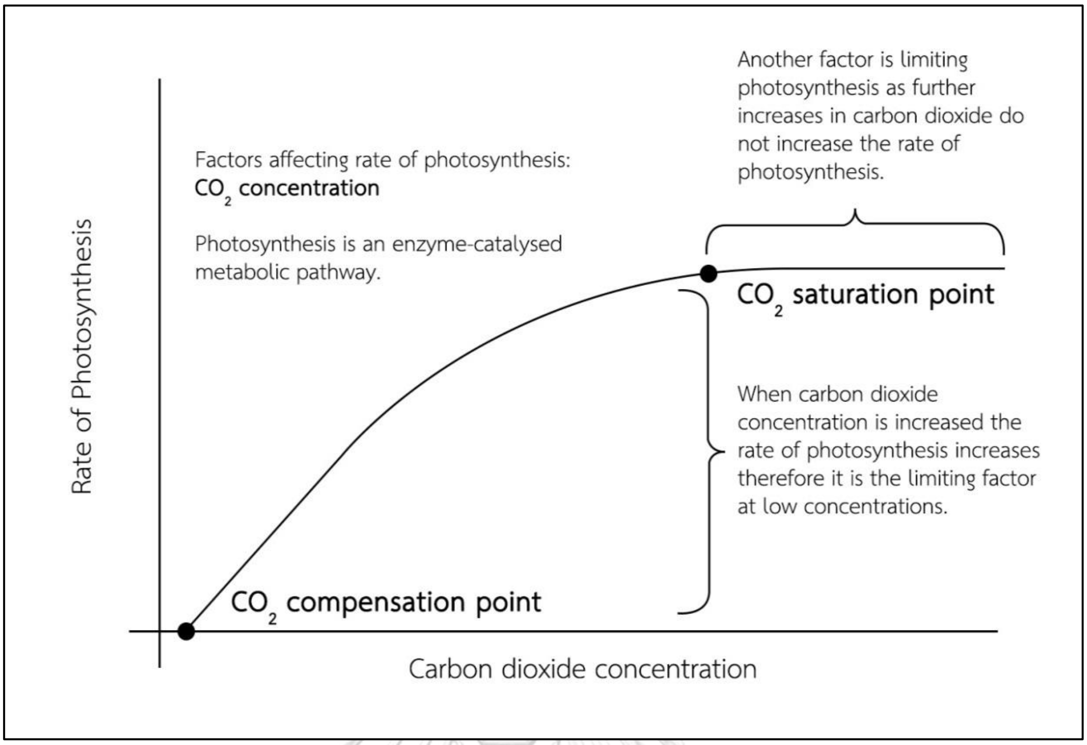
- อุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิอากาศ ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืชแตกต่างจากการความเข้มแสงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นตาม จนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชมีปริมาณสูงที่สุด เรียกว่า จุด Optimum temperature หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศจะส่งผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชลดลงอย่างรวดเร็ว

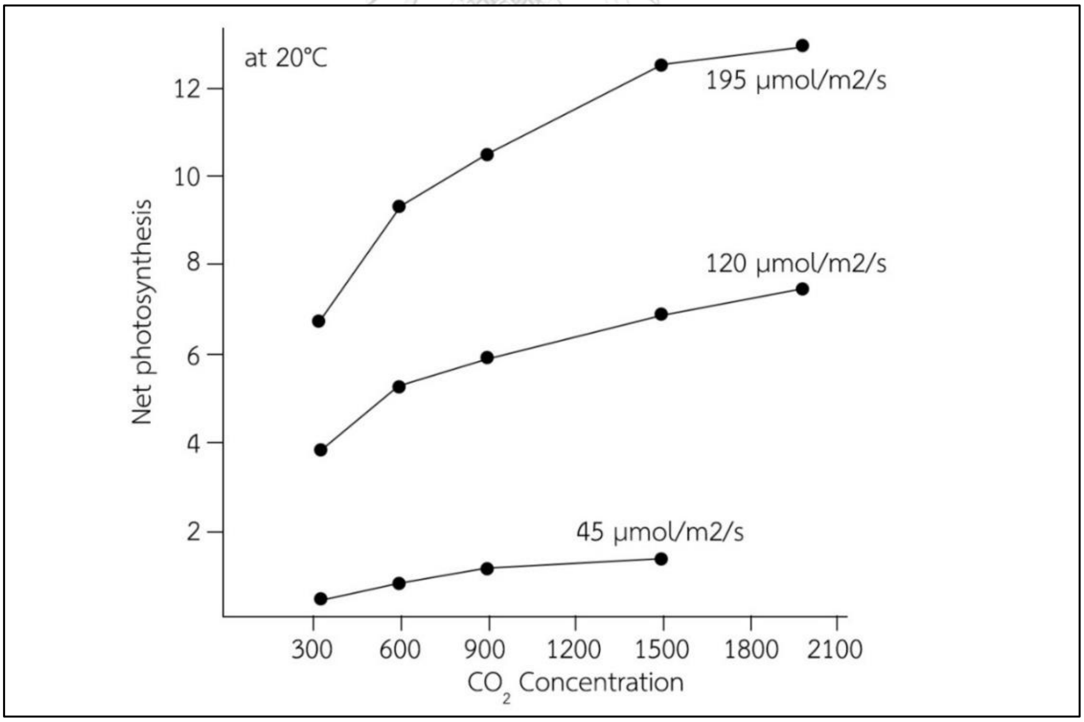
จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิอากาศ พบว่า ในการทดสอบอัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนียใน Mortensen and Ulsaker (1985) การทดสอบด้วยอุณหภูมิอากาศ 16, 20, 24 และ 28 °C ร่วมกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 300, 900 และ 1,500 µl/l ส่งผลทำให้ อัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนียมีปริมาณสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 16°C และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็น 20, 24 และ 28 °C ตามลำดับ (เมื่อความเข้มแสงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์คงที่) (ภาพที่ 14)

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่ส่งผลร่วมกับปัจจัยแสงสรุปได้ว่า ควรศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับพืชในงานวิจัย และทำการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิอากาศให้มีความใกล้เคียงกันในแต่ละกรรมวิธีการวิจัย

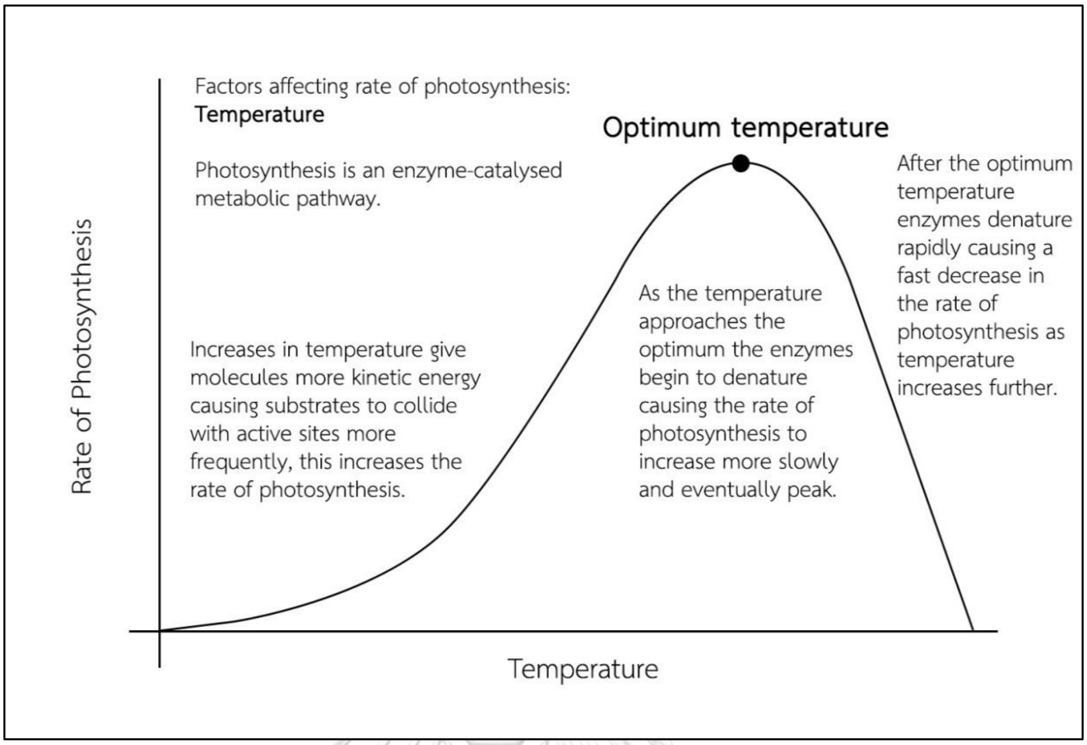
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



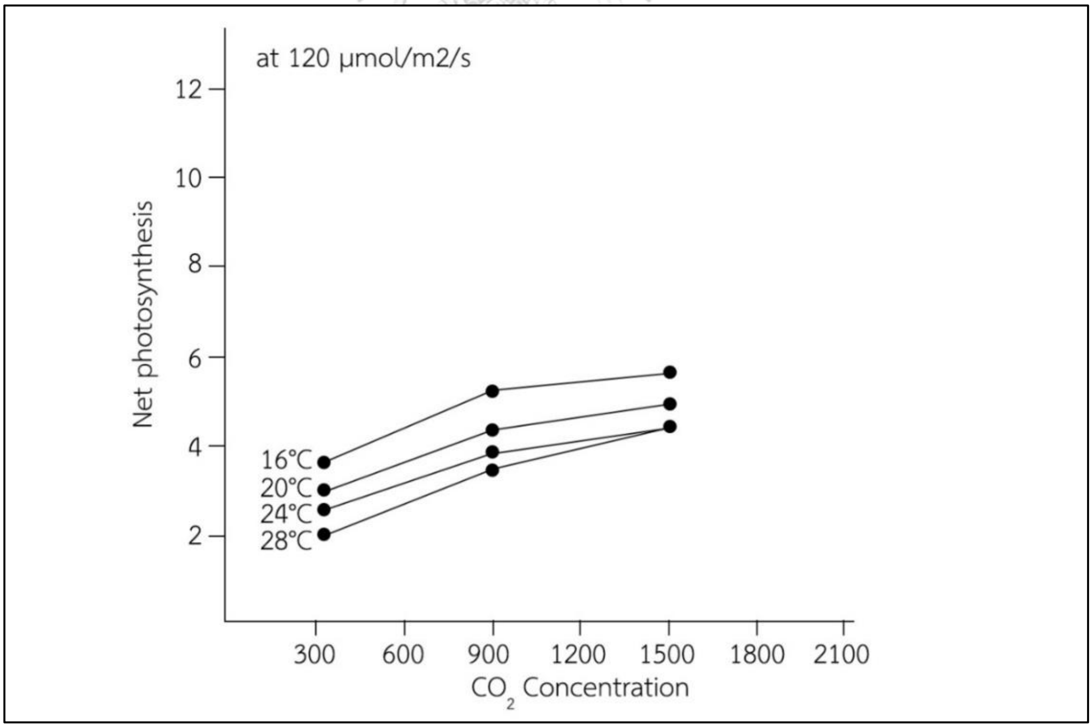
ภาพที่ 11 กราฟ CO_2 Saturation Point (Smullen, 2015)



ภาพที่ 12 กราฟแสดงผลการทดสอบอัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนีย 1 (Mortensen and Ulsaker, 1985)



ภาพที่ 13 กราฟ Optimum Temperature (Smullen, 2015)



ภาพที่ 14 กราฟแสดงผลการทดสอบอัตราการสังเคราะห์แสงของบีโกเนีย 2 (Mortensen and Ulsaker, 1985)

2.4. วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับพืชตัวอย่าง

ทำการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับ การเจริญเติบโตของกัญชา และ การเจริญเติบโตของดาวเรือง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1. การเจริญเติบโตของกัญชา

Cannabis sativa L. (กัญชา) มีชื่อสามัญว่า Marijuana เป็นไม้ล้มลุกฤดูเดียว นิยมขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดและการปักชำ เหมาะสำหรับการปลูกในดินร่วนที่ระบายน้ำได้ดีและมีธาตุอาหารสูง โดยมีรายละเอียดสำหรับการปลูกกัญชาในระยะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (Fluence Bioengineering, 2019) (วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2562)

ในระยะอนุบาลพืช (Establishment stage) การเพาะเมล็ด และ การปักชำ นิยมปลูกภายใต้ระดับความเข้มแสง 100-300 µmol/m^2/s และ 75-150 µmol/m^2/s ตามลำดับ ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 16-18 hr/day ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 400 ppm อุณหภูมิอากาศ 21.1-26.7 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 60-80%

ในระยะทำใบ (Vegetative stage) หลังจากย้ายต้นกล้าลงปลูก นิยมปลูกภายใต้ระดับความเข้มแสง 300-600 µmol/m^2/s ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 16-18 hr/day ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 400-800 ppm อุณหภูมิอากาศ 20.0-28.9 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 55-75%

ในระยะทำดอก (Reproductive stage) หลังจากเจริญเติบโตในระยะทำใบโดยสมบูรณ์ นิยมปลูกภายใต้ระดับความเข้มแสง 600-900 µmol/m^2/s ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 12 hr/day ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 800-1400 ppm อุณหภูมิอากาศ 20.0-28.9 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 50-60%

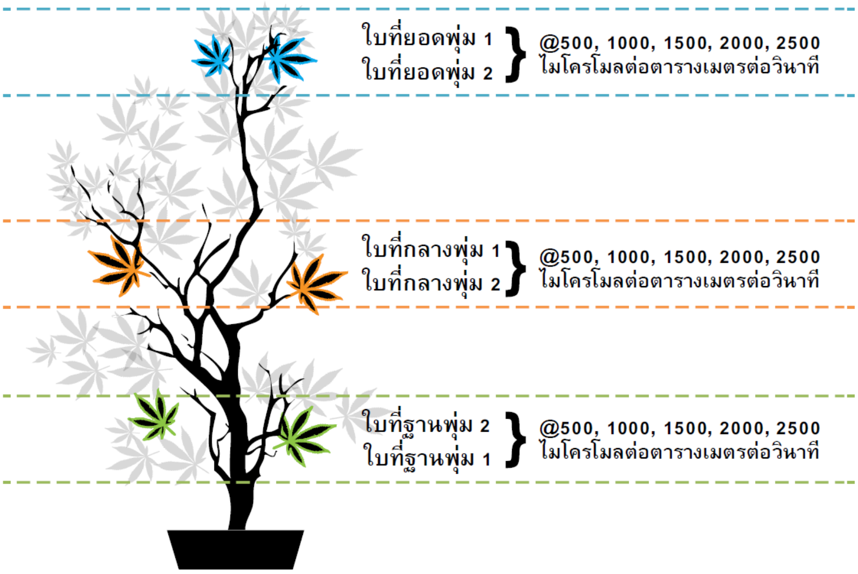
<u>ภายใต้โครงการวิจัยตามหนังสือสาคัญที่ 7/2562 (ปลูก) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้</u> ทำการทดสอบนำร่องจุดอิ่มตัวของแสง (Light saturation point) ของใบกัญชาพันธุ์หางกระรอกในระยะทำ โดยทำการวัดค่าการสังเคราะห์แสง (อัตราการตรึง CO_2 ของใบกัญชา : ค่า A) ที่ตำแหน่ง ฐานพุ่ม, กลางพุ่ม, และ เรือนยอด (ตำแหน่งละ 2 ใบ) ที่ระดับความเข้มแสง 500, 1000, 1500, 2000 และ 2500 µmol/m^2/s ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 4 ต้น แล้วนำผลที่บันทึกได้มาหาค่าเฉลี่ยของใบแต่ละตำแหน่ง

ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดการสังเคราะห์แสงแบบพกพา รุ่น LCpro T ของ ADC Bioscientific ตัวเครื่องมี Sensor วัดแสงในตัว รองรับความเข้มแสง 0-2500 µmol/m^2/s

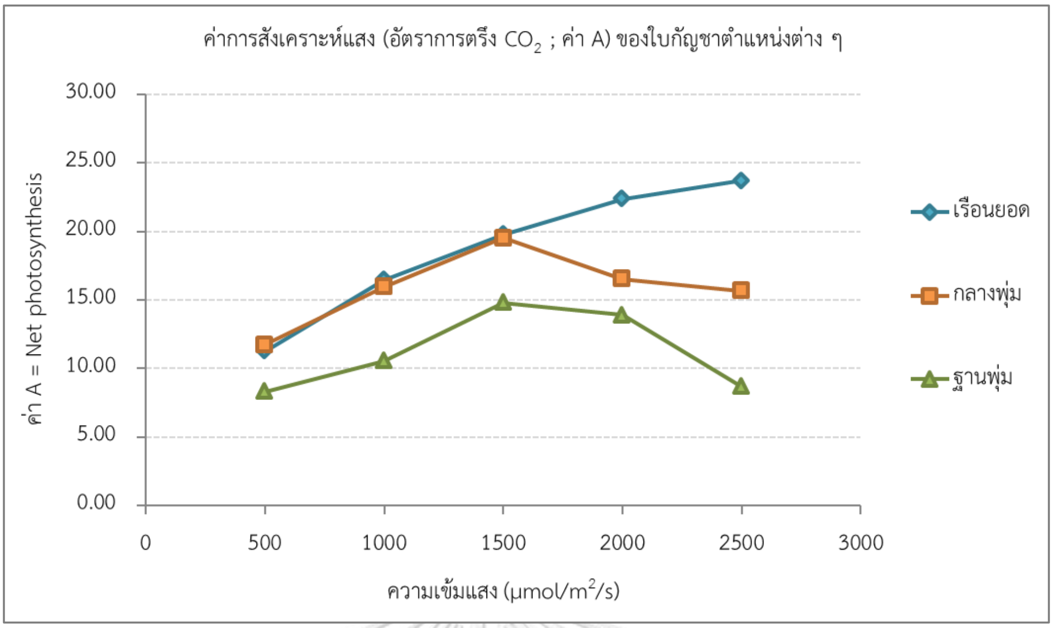
และปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศ 0-2000 ppm ทำการทดสอบด้วยแสงหลอดแอลอีดีรุ่น HLCL450BL ของ L&E สภาพแวดล้อมของสถานที่ทดสอบ อุณหภูมิอากาศ 22°C, ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 55%, ปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศ 500 ppm (ห้องควบคุม)

ผลการทดสอบพบว่า จุดอิ่มตัวของแสง (Light saturation) ของใบกัญชาที่ตำแหน่งเรือนยอด, กลางพุ่ม และ ฐานพุ่ม มีค่าเท่ากับ 2000, 1500, และ 1500 μmol/m^2/s ตามลำดับ ความเข้มแสงที่ระดับ 500 μmol/m^2/s ส่งผลให้ค่าการสังเคราะห์ของใบแต่ละตำแหน่งมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

ภาพที่ 15 อุปกรณ์วัดค่าการสังเคราะห์แสงที่ใบกัญชา



ภาพที่ 16 วิธีการวัดค่าสังเคราะห์แสงที่ใบกัญชา



ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงค่าการสังเคราะห์แสงที่ใบกัญชา

หลังจากต้นกัญชาเจริญเติบโตจนสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตส่วนต่าง ๆ ของกัญชาที่พบการนำไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน ดังต่อไปนี้

รากกัญชา : นำเข้าตำรับยาสมุนไพร

ลำต้นกัญชา : นำเข้าตำรับยาสมุนไพร, ใช้เส้นใยทำเครื่องนุ่งห่ม-สิ่งทอ กระดาษ วัสดุก่อสร้าง และ อุปกรณ์รถยนต์

ใบกัญชา : นำเข้าตำรับยาสมุนไพร, สกัดสารเพื่อนำไปใช้ในยาแผนปัจจุบัน, นำมาประกอบอาหารและเครื่องดื่มสำหรับมนุษย์, และใช้เลี้ยงสัตว์

ดอกกัญชา : (ดอกเพศเมีย) นำเข้าตำรับยาสมุนไพร และ การสกัดสารเพื่อนำไปใช้ในยาแผนปัจจุบัน (เป็นส่วนที่มีสารสกัดมากที่สุด)

Chulalongkorn University

2.4.2. การเจริญเติบโตของดาวเรือง

Tagetes erecta L. (ดาวเรือง) มีชื่อสามัญว่า African Marigold หรือ Marigold เป็นไม้ล้มลุกเนื้ออ่อน นิยมขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด เหมาะสำหรับการปลูกในดินร่วนที่ระบายน้ำได้ดี โดยมีรายละเอียดสำหรับการปลูกดาวเรืองดังต่อไปนี้ (พรทิพย์ เจริญพิวัฒพงษ์, 2537)

ดาวเรืองเป็นพืชกลางแจ้ง เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตภายใต้ความเข้มแสงสูง สามารถเจริญเติบโตได้ดีและไม่พบผลเสียต่อผลผลิตดอกในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย การปลูกดาวเรืองโดยส่วนใหญ่จึงนิยมปลูกกลางแจ้งตามธรรมชาติ โดยมีการควบคุมความเข้มแสงในบางช่วงเท่านั้น

ระยะอนุบาลพืช (Establishment stage) ในช่วงเมล็ดเริ่มงอกนิยมปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ที่มีการพรางแสง 80% ในช่วงที่เริ่มมีใบเลี้ยงนิยมปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ที่มีการพรางแสง 50% และในช่วงที่เริ่มมีใบจริงนิยมปลูกภายใต้แสงอาทิตย์โดยไม่ต้องพรางแสง หลังจากย้ายต้นกล้าลงปลูก ในระยะทำใบ (Vegetative stage) และ ระยะทำดอก (Reproductive stage) สามารถปลูกกลางแจ้งภายใต้แสงอาทิตย์โดยไม่ต้องพรางแสง

จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของดาวเรือง พบว่า ในการทดลองของ PanAmericanSeed (2020) ทำการทดลองปลูกดาวเรือง โดยกำหนดให้ความยาวของช่วงที่ได้รับแสงมีความแตกต่างกัน ประกอบด้วย 10, 12, 13, 14 และ 16 ชั่วโมงต่อวัน (ปริมาณแสงรวมต่อวัน = 10.6 mol/m^2/d) อุณหภูมิอากาศ 25°C ผลการทดลองพบว่า ดาวเรืองที่ปลูกภายใต้ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 10 และ 12 ชั่วโมงต่อวัน มีจำนวนดอกบานมากที่สุดและใช้ระยะเวลาในการออกดอกสั้นที่สุด ส่วนกรรมวิธีที่ดาวเรืองได้รับแสง 13, 14 และ 16 ชั่วโมงต่อวัน มีจำนวนดอกบานน้อยกว่าแต่มีความสูงต้นและจำนวนใบมากกว่า

ในการทดลองของ Owen and Lopez (2016) พบว่า การปลูกดาวเรืองโดยกำหนดให้ความยาวของช่วงที่ได้รับมีความแตกต่างกัน ประกอบด้วย 10, 13, และ 16 ชั่วโมงต่อวัน ภายใต้การควบคุมปริมาณแสงรวมต่อวัน 8.4 และ 17.6 mol/m^2/d อุณหภูมิอากาศ 18-20°C ผลการทดลองพบว่า ดาวเรืองที่ปลูกภายใต้ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 10 ชั่วโมงต่อวัน มีจำนวนดอกบานมากที่สุดและใช้ระยะเวลาในการออกดอกสั้นที่สุด ส่วนกรรมวิธีที่ดาวเรืองได้รับแสง 13 และ 16 ชั่วโมงต่อวัน มีจำนวนดอกบานน้อยกว่าแต่มีความสูงต้นและจำนวนใบมากกว่า และดาวเรืองที่ปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ได้รับปริมาณแสงรวมต่อ

วัน 17.6 mol/m^2/d มีภาพรวมการเจริญเติบโตที่ดีกว่า 8.4 mol/m^2/d โดยที่ดาวเรือง สามารถเจริญเติบโตและออกดอกได้ภายใต้ปริมาณแสงรวมต่อวันทั้งสองกรรมวิธี

จากผลงานวิจัยทั้งสองชิ้นสรุปได้ว่า ดาวเรือง สามารถปลูกภายใต้ปริมาณแสงรวมต่อวัน 8.4-17.6 mol/m^2/d ได้อย่างสมบูรณ์ และเหมาะสำหรับการปลูกภายใต้ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 10 ชั่วโมงต่อวัน

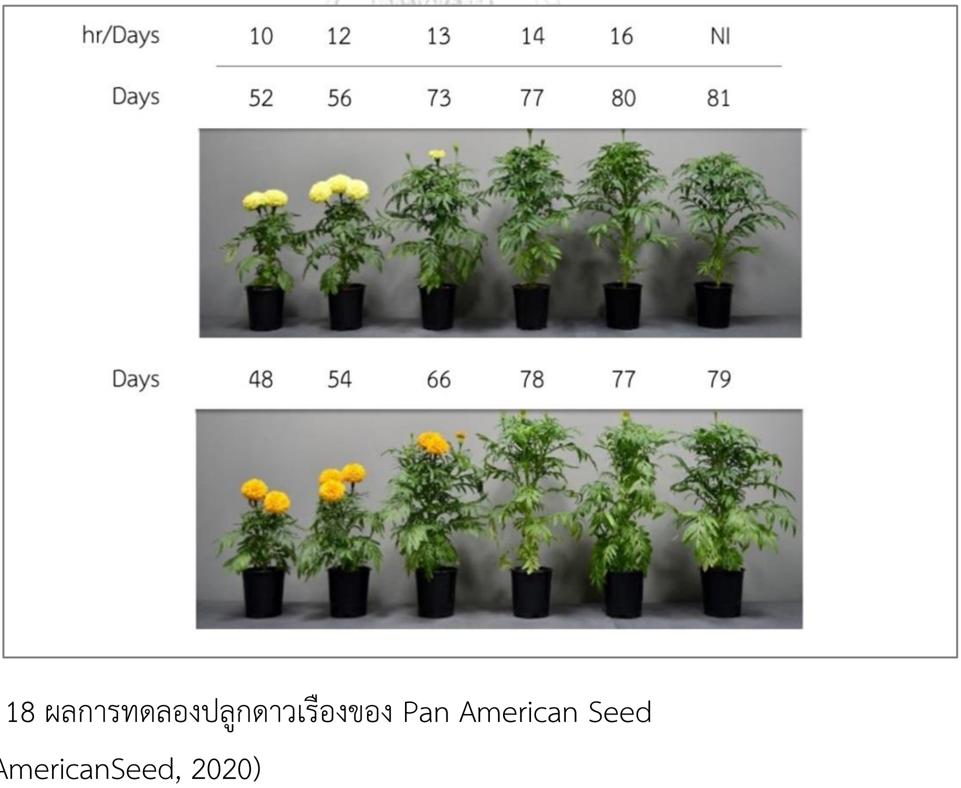
หลังจากต้นดาวเรืองเจริญเติบโตจนสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตส่วนต่าง ๆ ของดาวเรืองที่พบการนำไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน ดังต่อไปนี้

รากดาวเรือง : นำเข้าตำรับยาสมุนไพร, ไถกลบป้องกันศัตรูพืช

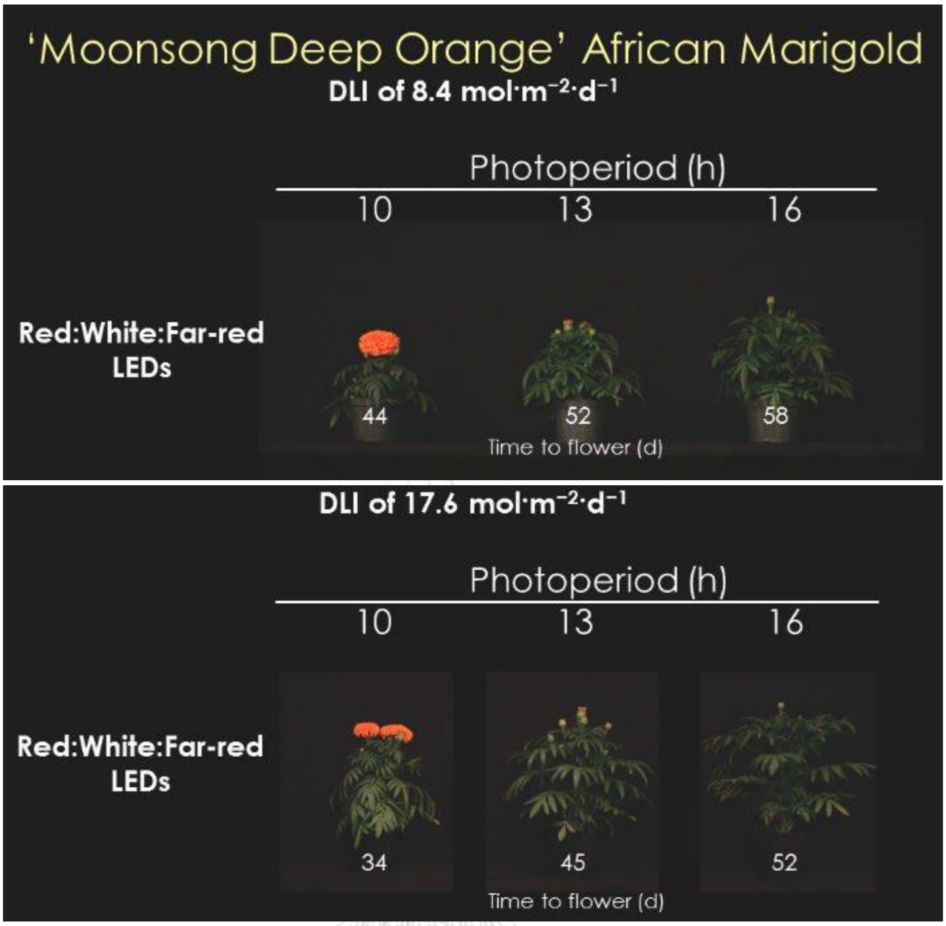
ลำต้นดาวเรือง : นำเข้าตำรับยาสมุนไพร, ไถกลบป้องกันศัตรูพืช

ใบดาวเรือง : นำเข้าตำรับยาสมุนไพร

ดอกดาวเรือง : บูชาสิ่งศักดิ์สิทธิ์, ประดับตกแต่ง, สีย้อมผ้า, นำเข้าตำรับยาสมุนไพร, นำมาประกอบอาหารสำหรับมนุษย์, และใช้เลี้ยงสัตว์



ภาพที่ 18 ผลการทดลองปลูกดาวเรืองของ Pan American Seed
(PanAmericanSeed, 2020)



ภาพที่ 19 ผลการทดลองปลูกดาวเรืองของ Owen และ Lopez
(Owen and Lopez, 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1. สรุปข้อมูลสำหรับการออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปข้อมูลสำหรับการออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1.1. ตัวแปรอิสระ

ช่วงความยาวคลื่นแสง : จากพฤติกรรมการดูดซับแสงของใบพืช ควรเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตระหว่างการปลูกภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงจากหลอดแอลอีดีและช่วงความยาวคลื่นแสงจากแสงอาทิตย์

มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง : จากแนวโน้มการกระตุ้นการสังเคราะห์แสงบริเวณใต้ใบ ควรเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตระหว่างการปลูกภายใต้แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° และแผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90° จากระนาบพื้น

แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี : จากข้อจำกัดในการลดต้นทุนด้านพลังงานของหลอดแอลอีดี ควรเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตระหว่างการปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรง (DC) และ หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ (AC)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.2. ตัวแปรควบคุม

การเจริญเติบโตของกัญชา (Fluence Bioengineering, 2019; วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2562) : กำหนดให้ DLI = ปริมาณโฟตอนแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน ; DLI = PPFD x light hours per day x (3600/1,000,000), CO_2 = ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์, Temp = อุณหภูมิอากาศ, และ RH% = ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

- ระยะอนุบาลพืช (ปักชำ) : DLI = 4.3-9.7 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 75-150 μmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 16-18 hr/day), CO_2 = 400 ppm, Temp = 21.1-26.7°C, และ RH% = 60-80%

- ระยะทำใบ : DLI = 17.3-38.9 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 300-600 μmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 16-18 hr/day), CO_2 = 400-800 ppm, Temp = 20.0-28.9°C, และ RH% = 55-75%
- ระยะทำดอก : DLI = 25.9-38.9 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 600-900 μmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 12 hr/day), CO_2 = 800-1400 ppm, Temp = 20.0-28.9°C, และ RH% = 50-60%

การเจริญเติบโตของดาวเรือง (Owen and Lopez, 2016; PanAmericanSeed, 2020) : กำหนดให้ DLI = ปริมาณโฟตอนแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน ; DLI = PPFD x light hours per day x (3600/1,000,000), CO_2 = ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์, Temp = อุณหภูมิอากาศ, และ RH% = ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

- ทุกระยะการเจริญเติบโต : DLI = 8.4-17.6 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 200-600 μmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 8-12 hr/day), CO_2, Temp, และ RH% = สภาพแวดล้อม (พรทิพย์ เจริญพิวัฒพงษ์, 2537)

3.2. การออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัย

นำข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรควบคุมจากการสรุปข้อมูล มาใช้ในการออกแบบวิธีดำเนินงานให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในงานวิจัย เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง, มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง, และแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช (กัญชาและดาวเรือง)

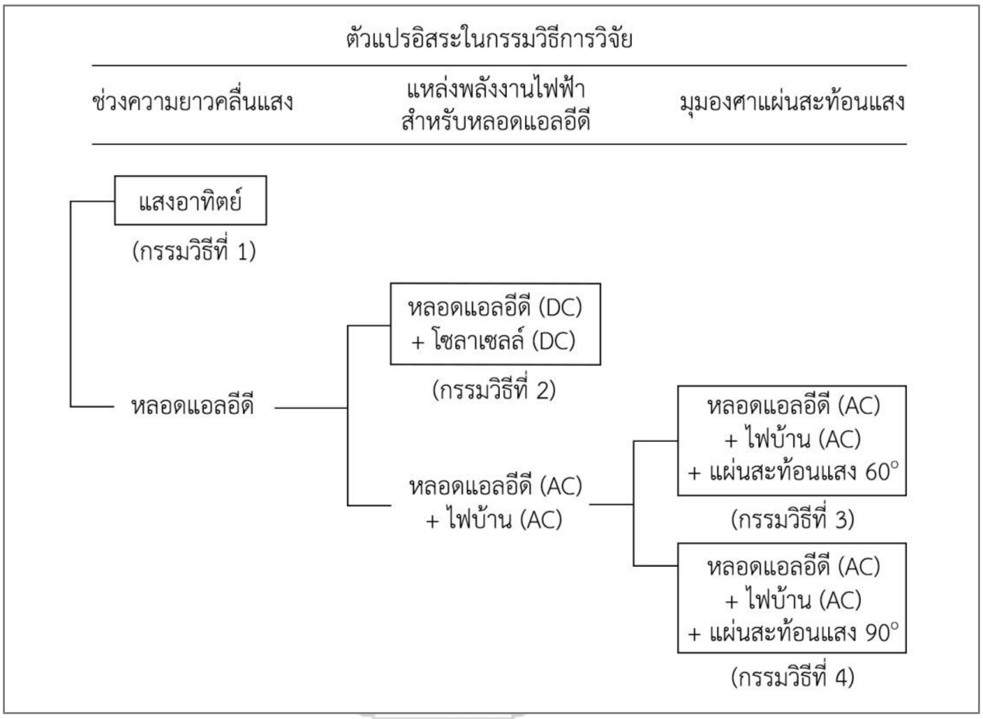
3.2.1. การออกแบบกรรมวิธีการวิจัย

- การออกแบบตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัย

จากตัวแปรช่วงความยาวคลื่นแสง จำแนกแหล่งกำเนิดแสงในกรรมวิธีการวิจัยเป็น 2 ชนิด ประกอบด้วย แสงอาทิตย์ (กรรมวิธีที่ 1) และ หลอดแอลอีดี

จากตัวแปรแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี จำแนกหลอดแอลอีดีเป็น 2 ระบบ ประกอบด้วย หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรง (กรรมวิธีที่ 2) และ หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ

จากตัวแปรมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง ประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสงทำการวิจัยร่วมกับหลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ 2 แบบ ประกอบด้วย แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° (กรรมวิธีที่ 3) และ เอียงทำมุม 90° (กรรมวิธีที่ 4) จากระนาบพื้น



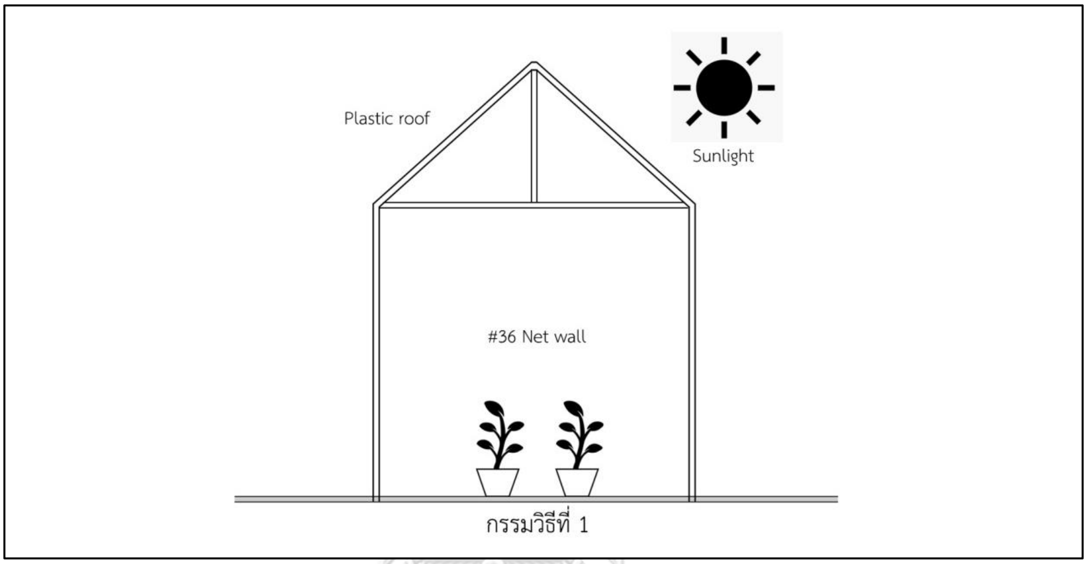
ภาพที่ 20 ผังการออกแบบตัวแปรอิสระในงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

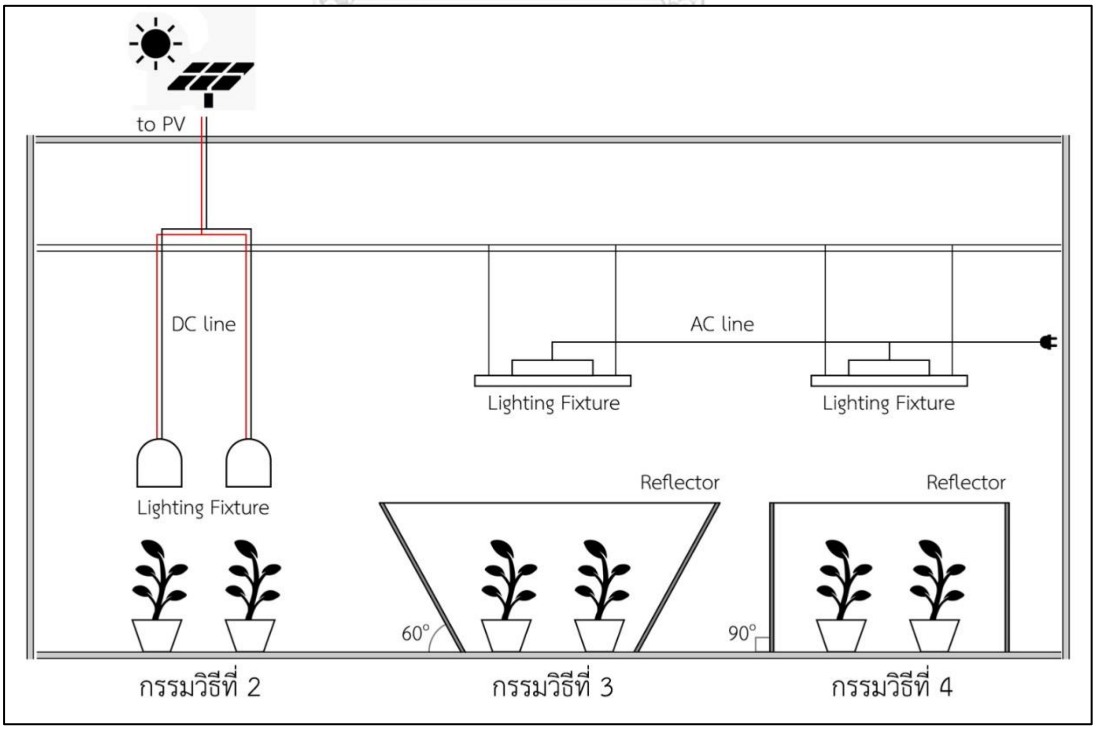
โดยมีรายละเอียดการออกแบบตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

- กรรมวิธีที่ 1 : ปลูกพืชในโรงเรือน ภายใต้แสงอาทิตย์สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดได้ R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00 $\mu mol/m^2/s$
- กรรมวิธีที่ 2 : ปลูกพืชในห้องควบคุมแสง ภายใต้แสงจากหลอดแอลอีดี 36W แรงดันไฟฟ้า 12-85V จำนวน 6 หลอด เชื่อมต่อแผงโซลาเซลล์กำลังผลิตไฟฟ้า 360W แรงดันไฟฟ้า 36V ด้วยสายไฟ DC โดยไม่ผ่านตัวแปลงกระแสไฟฟ้าและการประจุแบตเตอรี สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสง R: G: B = 2.53 : 2.67 : 1.00 $\mu mol/m^2/s$ (ทำใบ) และ R: G: B = 1.47 : 1.83 : 1.00 $\mu mol/m^2/s$ (ทำดอก)
- กรรมวิธีที่ 3 : ปลูกพืชในห้องควบคุมแสง ภายใต้แสงจากหลอดแอลอีดี 240W แรงดันไฟฟ้า 220-240V เชื่อมต่อไฟบ้าน AC ติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงประดิษฐ์จากกระดาษลูกฟูกปิดผิวด้วยกระดาษวาดเขียนสีขาวด้าน เอียงทำมุม 60° จากระนาบพื้น สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสง R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00 $\mu mol/m^2/s$

- กรรมวิธีที่ 4 : ปลูกพืชในห้องควบคุมแสง ภายใต้แสงจากหลอดแอลอีดี 240W แรงดันไฟฟ้า 220-240V เชื่อมต่อไฟบ้าน AC ติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงประดิษฐ์จากกระดาษลูกฟูกปิดผิวด้วยกระดาษวาดเขียนสีขาวด้าน เอียงทำมุม 90° จากระนาบพื้น สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสง R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00 $\mu mol/m^2/s$



ภาพที่ 21 ตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัยที่ 1



ภาพที่ 22 ตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัยที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

- การควบคุมตัวแปรอื่นในกรรมวิธีการวิจัย

หลังจากการออกแบบตัวแปรอิสระในกรรมวิธีการวิจัย นำข้อมูลของตัวแปรควบคุมมาใช้ในการควบคุมตัวแปรอื่นให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตัวอย่าง กำหนดให้ DLI = ปริมาณโฟตอนแสงรวมที่พืชได้รับในหนึ่งวัน ; DLI = PPFD x light hours per day x (3600/1,000,000), CO_2 = ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์, Temp = อุณหภูมิอากาศ, และ RH% = ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ รายละเอียดดังต่อไปนี้

การปลูกกัญชา (กรรมวิธีที่ 3 และ 4 : ห้องควบคุมแสง)

- ระยะทำใบ : DLI = 23.0 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 400 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 16 hr/day ; 02.00-18.00 น.), CO_2 = 500 ppm, Temp = 27.5°C, และ RH% = 55%
- ระยะทำดอก : DLI = 32.4 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 750 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 12 hr/day ; 06.00-18.00 น.), CO_2 = 500 ppm, Temp = 24.5°C, และ RH% = 55%

การปลูกดาวเรือง (กรรมวิธีที่ 1 : แสงอาทิตย์ในโรงเรือน)

- ระยะทำใบ : DLI = 10.8 mol/m^2/d (ความเข้มแสงเฉลี่ย 300 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 10 hr/day ; 07.00-17.00 น.), CO_2, Temp, และ RH% ตามสภาพแวดล้อม*
- ระยะทำดอก : DLI = 15.8 mol/m^2/d (ความเข้มแสงเฉลี่ย 450 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 10 hr/day ; 07.00-17.00 น.), CO_2, Temp, และ RH% ตามสภาพแวดล้อม*

การปลูกดาวเรือง (กรรมวิธีที่ 2 : ห้องควบคุมแสง)

- ระยะทำใบ : DLI = 10.8 mol/m^2/d (ความเข้มแสงเฉลี่ย 300 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 10 hr/day ; 07.00-17.00 น.), CO_2, Temp, และ RH% ตามสภาพแวดล้อม*
- ระยะทำดอก : DLI = 15.8 mol/m^2/d (ความเข้มแสงเฉลี่ย 450 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 10 hr/day ; 07.00-17.00 น.), CO_2, Temp, และ RH% ตามสภาพแวดล้อม*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การปลูกดาวเรือง (กรรมวิธีที่ 3 และ 4 : ห้องควบคุมแสง)

- ระยะทำใบ : DLI = 10.8 mol/m^2/d (ความเข้มแสงเฉลี่ย 400 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 8 hr/day ; 08.00-16.00 น.), CO_2, Temp, และ RH% ตามสภาพแวดล้อม*
- ระยะทำดอก : DLI = 15.8 mol/m^2/d (ความเข้มแสงเฉลี่ย 550 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 8 hr/day ; 08.00-16.00 น.), CO_2, Temp, และ RH% ตามสภาพแวดล้อม*

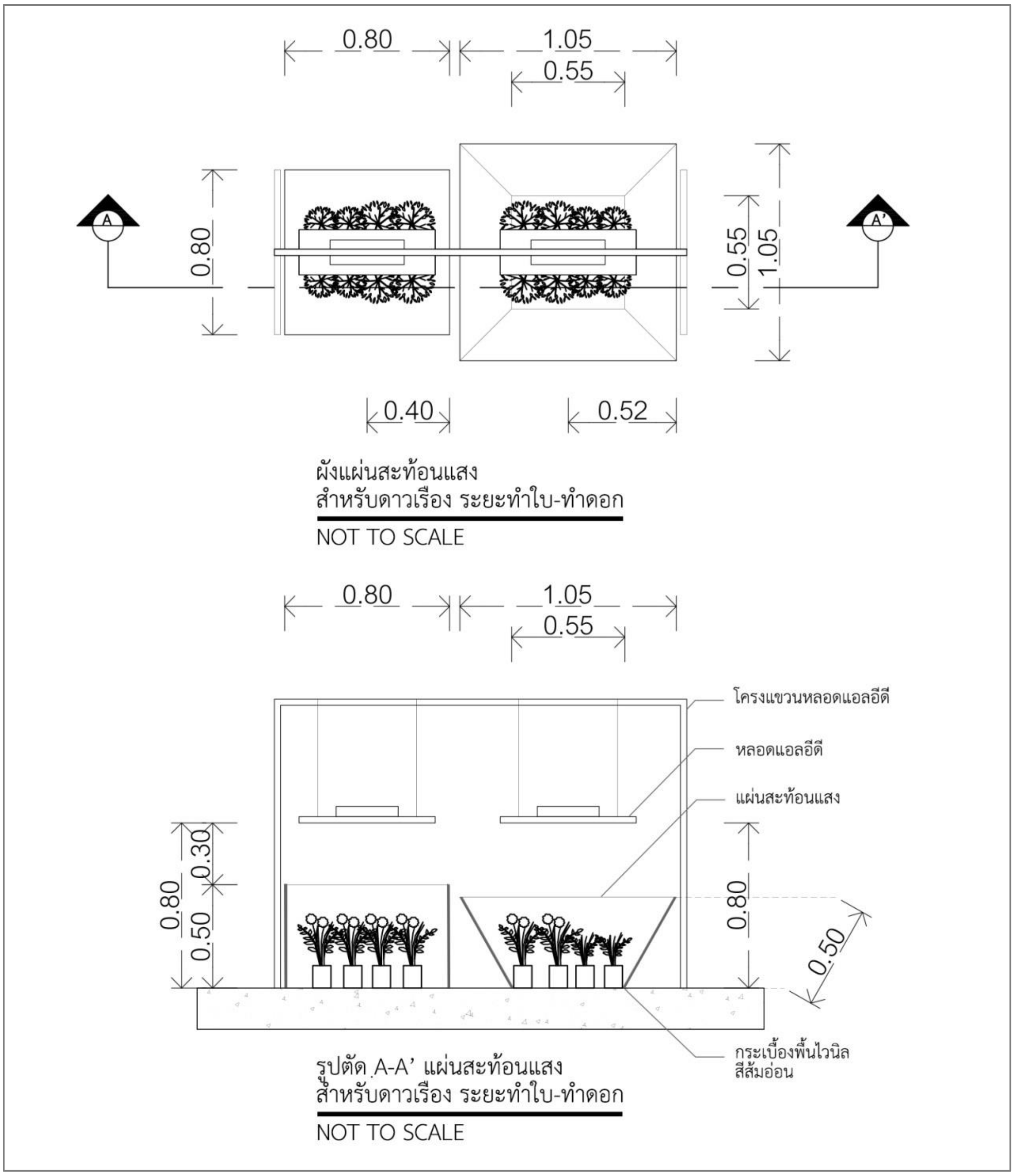
สภาพแวดล้อมเดือนพฤศจิกายน – มกราคม ณ สถานที่วิจัย 13.666524, 100.471297 บริษัท มิ่งฟง นิตติ้ง กรุ๊ป 1985 จำกัด กรรมวิธีที่ 1 บริเวณดาดฟ้าของอาคาร กรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 ที่ห้องควบคุมแสงบริเวณชั้นดาดฟ้าของอาคารเดียวกับกรรมวิธีที่ 1

ภาพที่ 23 กรรมวิธีการวิจัยการปลูกดาวเรือง

ภาพที่ 24 กรรมวิธีการวิจัยการปลูกกัญชา

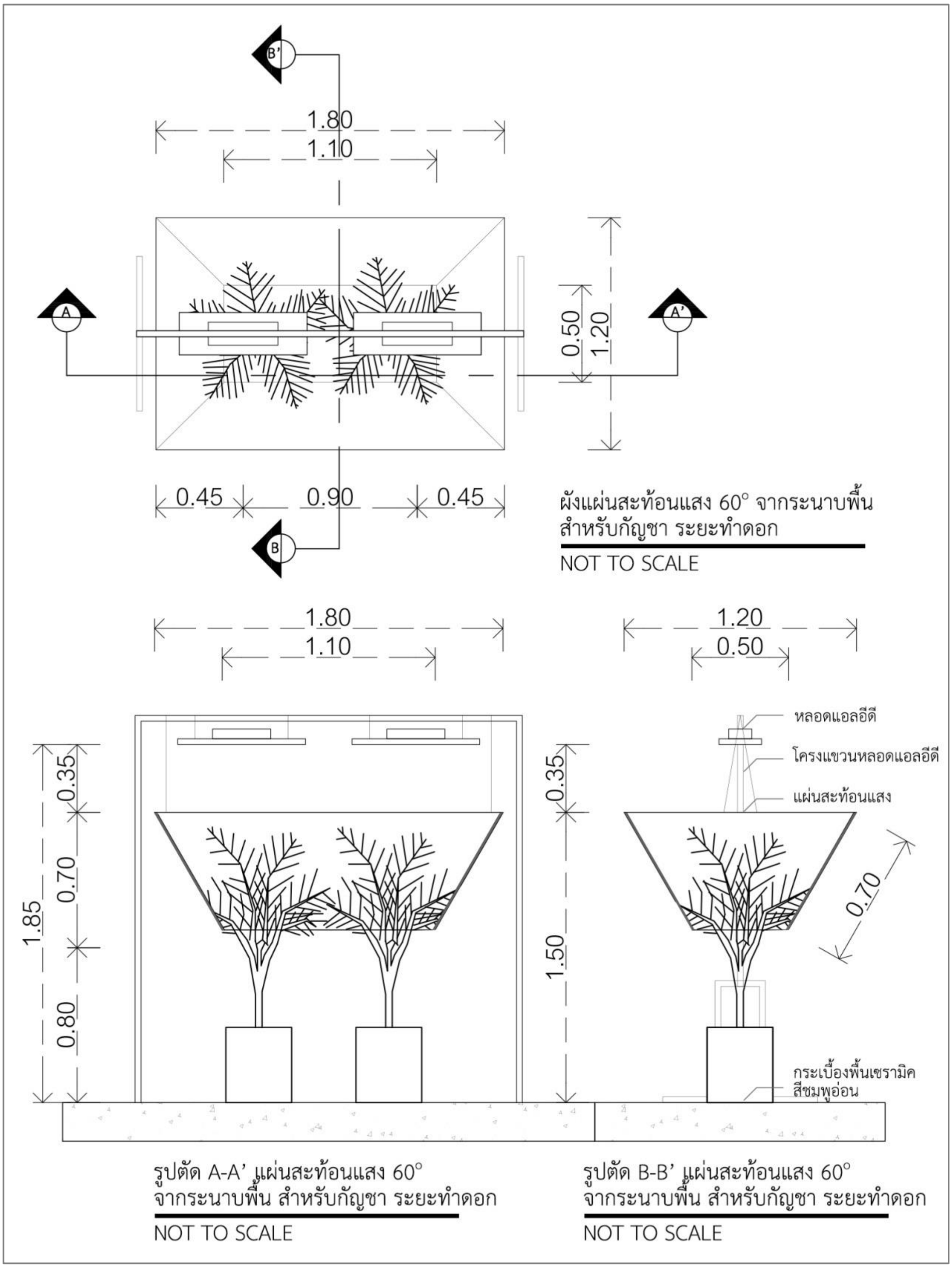
3.2.2. แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีการวิจัย

- แบบการติดตั้งสำหรับดาวเรืองระยะทำใบ-ทำดอก

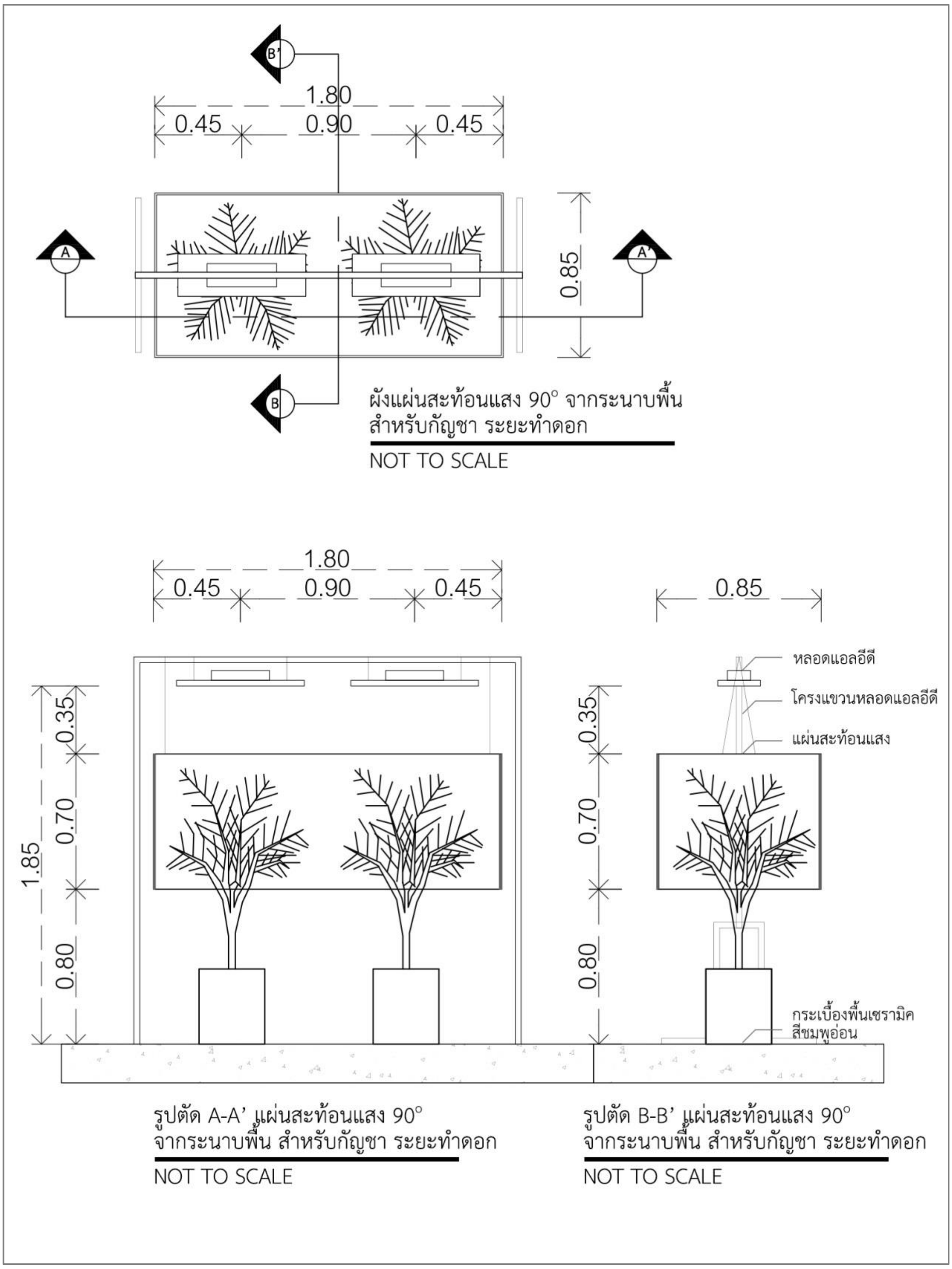


ภาพที่ 25 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 1

- แบบการติดตั้งสำหรับกัญชาระยะทำดอก

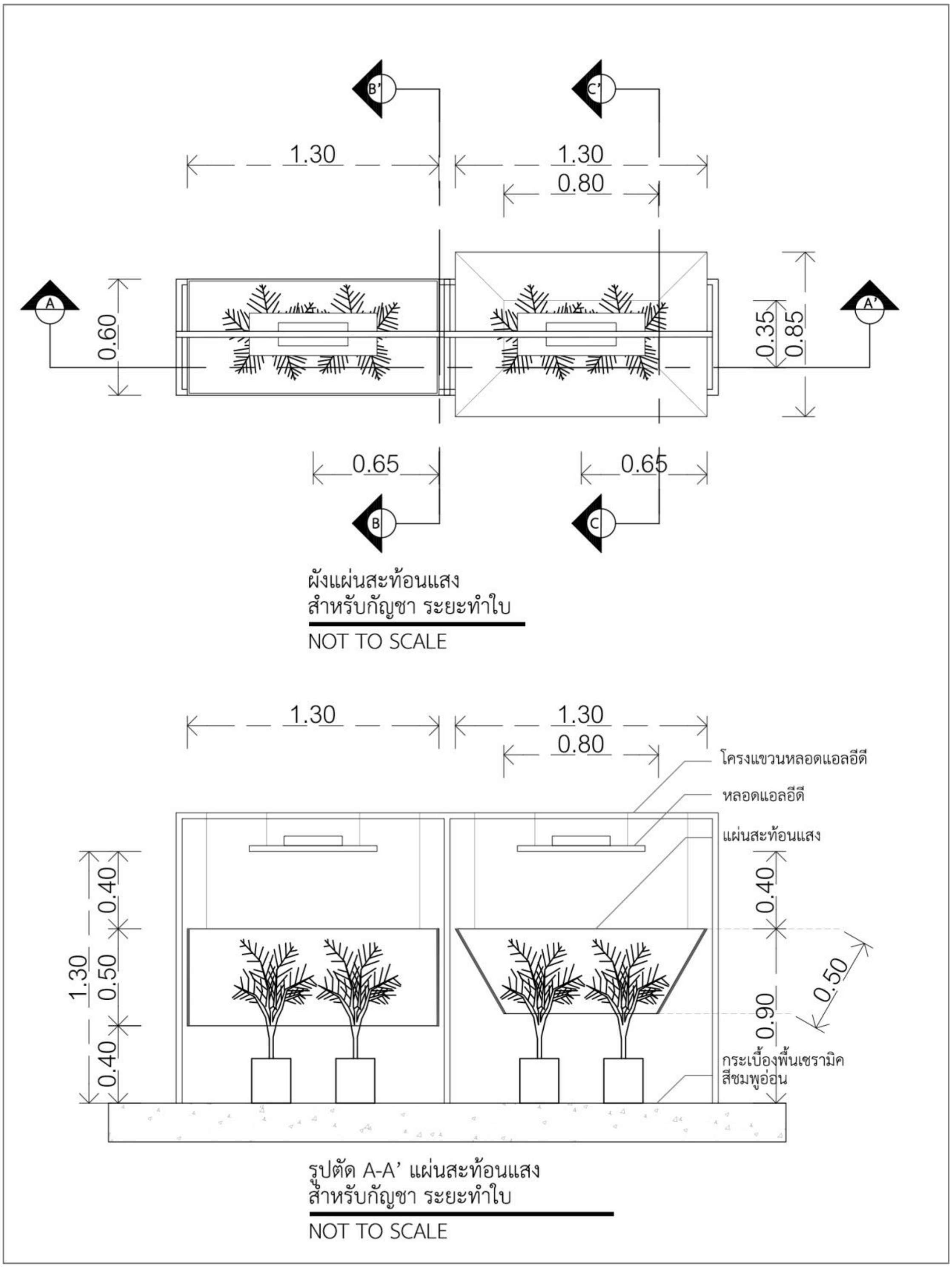


ภาพที่ 26 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 2

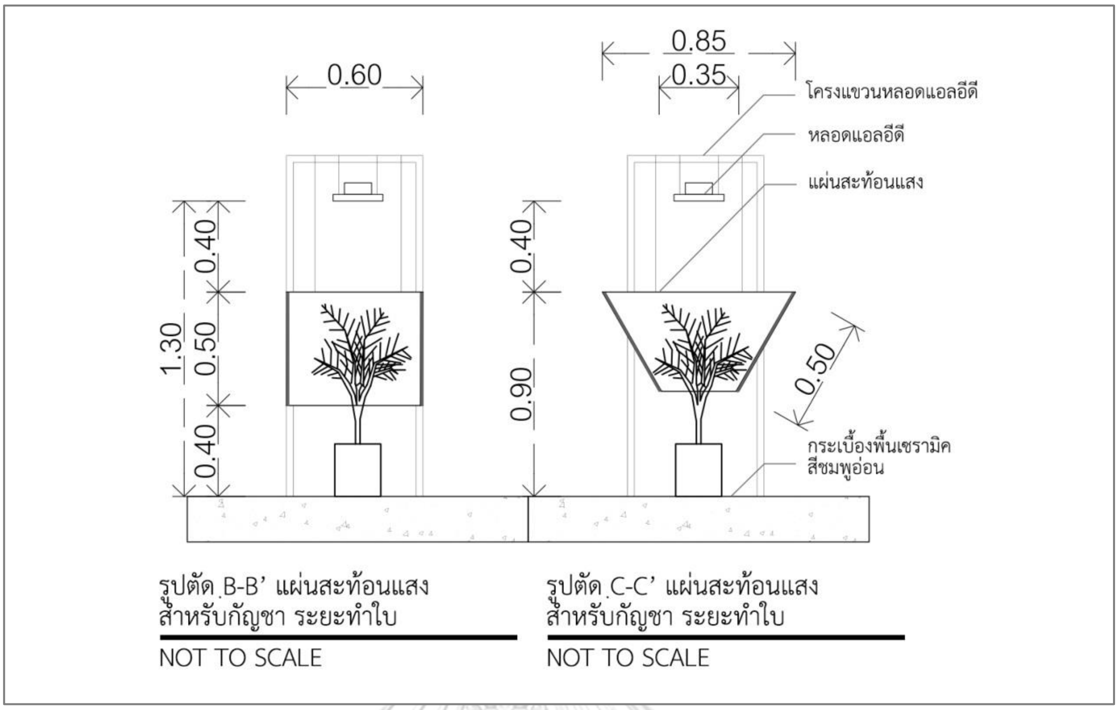


ภาพที่ 27 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 3

- แบบการติดตั้งสำหรับกัญชาระยะทำใบ



ภาพที่ 28 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 4



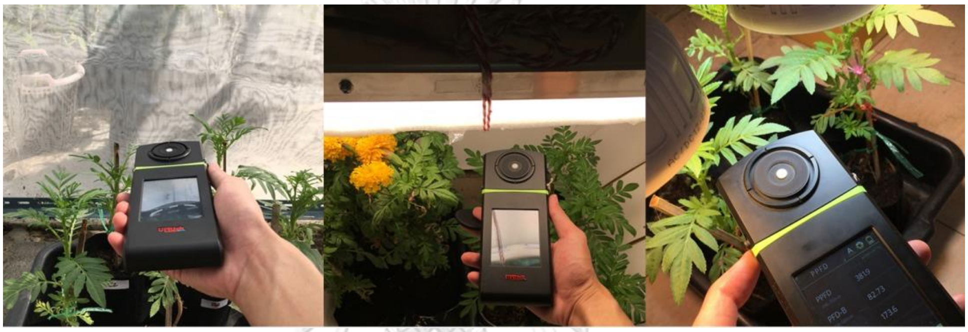
ภาพที่ 29 แบบการติดตั้งหลอดแอลอีดีและแผ่นสะท้อนแสง 4 (ต่อ)

3.2.2. รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในกรรมวิธีการวิจัย

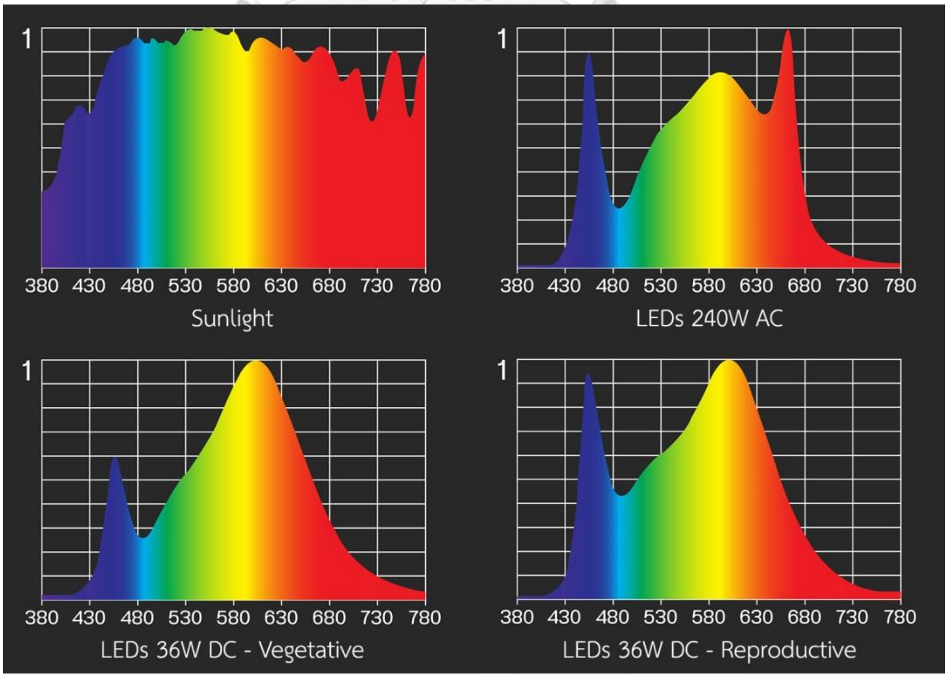
- แหล่งกำเนิดแสงในงานวิจัย

แสงในกรรมวิธีที่ 1 ใช้แสงอาทิตย์จากธรรมชาติ, แสงในกรรมวิธีที่ 2 ใช้หลอดแอลอีดี 36W แรงดันไฟฟ้า 12-85V, แสงในกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ใช้หลอดแอลอีดี 240W แรงดันไฟฟ้า 220-240V ทำการวัดแสงทั้ง 4 กรรมวิธีด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงและช่วงความยาวคลื่นแสง รุ่น PG100N Handheld Spectral PAR meter ของ UPRtek วัดแสงในช่วง Photosynthetically Active Radiation (PAR) 400-700 นาโนเมตร ช่วงความยาวคลื่นแสงแสดงในรูปแบบกราฟสเปคตรัมแสง ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นแสง 380-780 นาโนเมตร และ ความเข้มแสงแสดงในรูป PPFD (400-700 nm.) ; PFD-R (400-500 nm.), PFD-G (500-600 nm.), PFD-B (600-700 nm.)

ภาพที่ 30 หลอดแอลอีดี 36W 12-85V,และ หลอดแอลอีดี 240W 220-240V



ภาพที่ 31 การวัดค่าแสงด้วย Spectrometer



ภาพที่ 32 สเปกตรัมแสงของแสงอาทิตย์และหลอดแอลอีดี

- แผ่นสะท้อนแสง

แผ่นสะท้อนแสงประดิษฐ์จากกระดาษลูกฟูกปิดผิวด้วยกระดาษวาดเขียนสีขาวด้าน แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° และ 90° จากระนาบพื้น วัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนเข้าสู่ด้านข้างของต้นพืชที่บริเวณโคนต้น, กลางพุ่ม, และเรือนยอด ของพืชตัวอย่างด้วย PG100N ของ UPRtek โดยหัน Sensor วัดแสงเข้าหาแผ่นสะท้อนแสงตั้งฉากกับระนาบพื้นที่ระดับ 10 ซม. (โคนต้น), 20 ซม. (กลางพุ่ม) และ 30 ซม. (เรือนยอด) จากระดับพื้น

เปรียบเทียบปริมาณการสะท้อนแสงระหว่างแผ่นสะท้อนแสง 60° และ 90° จากระนาบพื้นโดยใช้แผ่นสะท้อนแสง 60° เป็นเกณฑ์ พบว่า

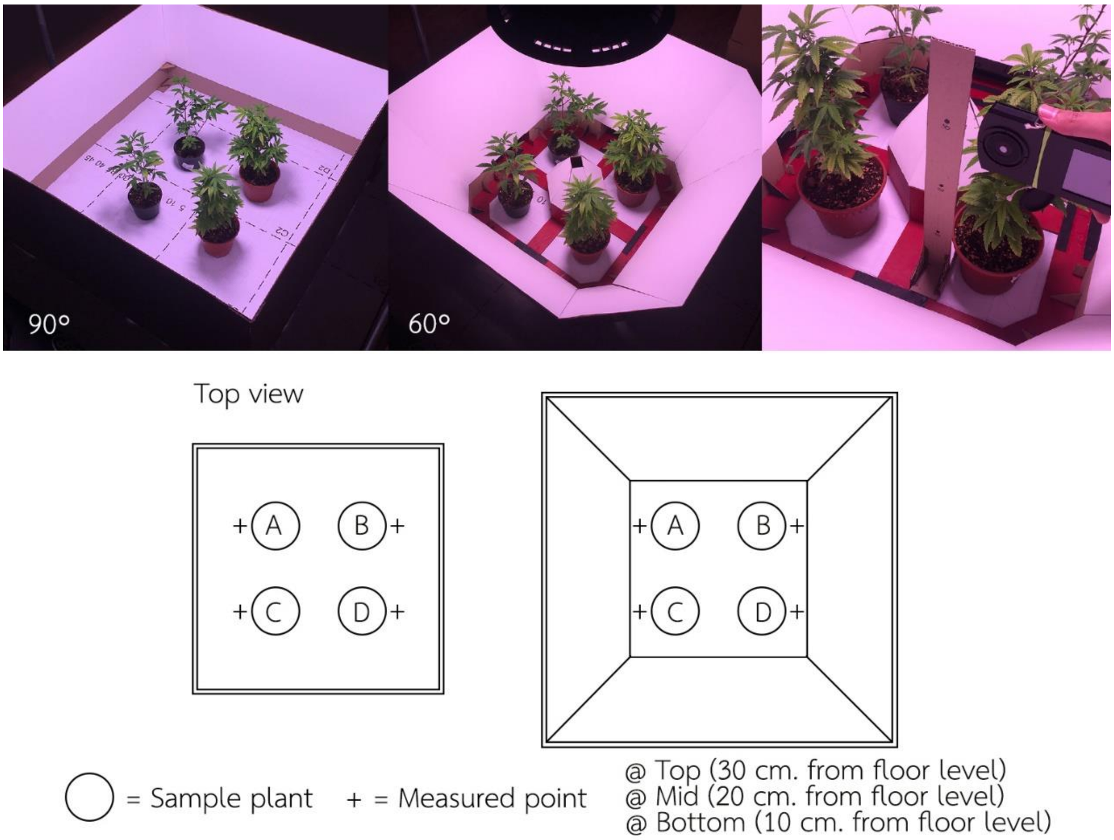
- ปริมาณแสงรวมทุกจุดที่สะท้อนเข้าด้านข้างต้นพืชของแผ่นสะท้อนแสง 60° สูงกว่า 90° = 32.28%
- ปริมาณแสงเฉลี่ยบริเวณเรือนยอดที่สะท้อนเข้าด้านข้างต้นพืชของแผ่นสะท้อนแสง 60° สูงกว่า 90° = 39.73%
- ปริมาณแสงเฉลี่ยบริเวณกลางพุ่มที่สะท้อนเข้าด้านข้างต้นพืชของแผ่นสะท้อนแสง 60° สูงกว่า 90° = 35.31%
- ปริมาณแสงเฉลี่ยบริเวณโคนต้นที่สะท้อนเข้าด้านข้างต้นพืชของแผ่นสะท้อนแสง 60° สูงกว่า 90° = 20.74%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนเข้าสู่บริเวณเหนือใบพืชที่บริเวณกลางพุ่มและเรือนยอดของพืชตัวอย่างด้วย PG100N ของ UPRtek โดยหัน Sensor วัดแสงรับแสงด้านบนใบพืช

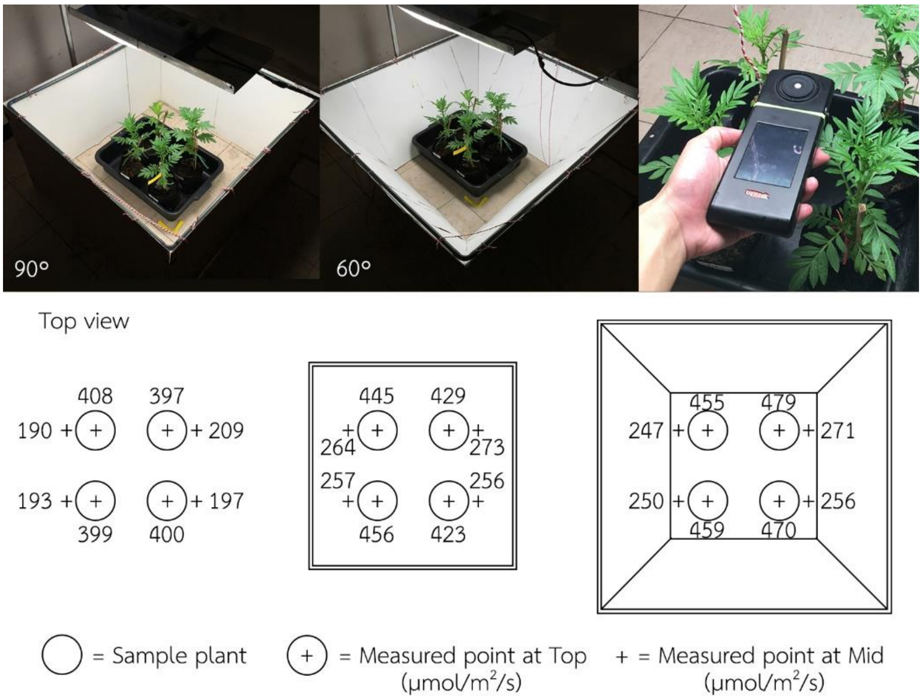
เปรียบเทียบปริมาณการสะท้อนแสงระหว่างแผ่นสะท้อนแสงทำมุม 60° จากระนาบพื้น, แผ่นสะท้อนแสงทำมุม 90° จากระนาบพื้น และ ไม่มีแผ่นสะท้อนแสง โดยใช้แผ่นสะท้อนแสง 60° เป็นเกณฑ์ พบว่า

- ปริมาณแสงรวมทุกจุดที่สะท้อนสู่บริเวณเหนือใบพืชของแผ่นสะท้อนแสง 60° สูงกว่า 90° = 2.91%
- ปริมาณแสงรวมทุกจุดที่สะท้อนสู่บริเวณเหนือใบพืชของแผ่นสะท้อนแสง 60° สูงกว่า ไม่มีแผ่นสะท้อนแสง = 17.11%



Reflector titled 90° ($\mu mol/m^2/s$)				Reflector titled 60° ($\mu mol/m^2/s$)			
point A		point B		point A		point B	
Top	33.71	Top	36.77	Top	57.39	Top	66.73
Mid	44.66	Mid	44.56	Mid	67.43	Mid	74.53
Bottom	45.61	Bottom	47.11	Bottom	52.75	Bottom	56.23
point C		point D		point C		point D	
Top	37.86	Top	39.70	Top	61.19	Top	60.34
Mid	45.44	Mid	46.90	Mid	69.42	Mid	69.24
Bottom	46.33	Bottom	47.69	Bottom	62.69	Bottom	63.98

ภาพที่ 33 วิธีวัดปริมาณการสะท้อนแสงเข้าด้านข้างต้นพืช



ภาพที่ 34 วิธีวัดปริมาณการสะท้อนแสงบริเวณเหนือใบพืช

- ระบบโซลาเซลล์กระแสตรง

แหล่งพลังงานไฟฟ้าในกรรมวิธีที่ 2 ใช้แผงโซลาเซลล์กำลังผลิตไฟฟ้า 360W แรงดันไฟฟ้า 36V เข้ากับหลอดแอลอีดี 36W จำนวน 6 หลอด ด้วยสายไฟ PV1-F ขนาด 4 มม. สายสีแดงและสีดำ โดยไม่ผ่านตัวแปลงกระแสไฟฟ้าและแบตเตอรี จำนวน 2 ชุด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 35 การติดตั้งแผงโซลาเซลล์

- พืชตัวอย่างในงานวิจัย

กัญชา : ปักชำกิ่งกัญชาสายพันธุ์หางกระรอก โดยใช้วัสดุปลูก ดิน : เพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์ อัตราส่วน 0.6 : 0.3 : 0.1 เตรียมตัวอย่างพืชสำหรับงานวิจัย 2 ชุด, ชุดละ 2 กรรมวิธี, กรรมวิธีละ 2 ต้น (รวม 8 ต้น)

- ชุดที่ 1 : ปักชำและปลูกภายใต้ DLI = 8.6 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 150 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 16 hr/day ; 02.00-18.00 น.), CO_2 = 500 ppm, Temp = 24.5°C, และ RH% = 65-75% จนมีอายุ 45 วัน (เตรียมทำใบ)
- ชุดที่ 2 : หลังจากระยะปักชำ ปลูกภายใต้ DLI = 23.0 mol/m^2/d (ความเข้มแสง 400 µmol/m^2/s, ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง 16 hr/day ; 02.00-18.00 น.), CO_2 = 500 ppm, Temp = 27.5°C, และ RH% = 65-75% จนมีอายุ 95 วัน (เตรียมทำดอก)

ดาวเรือง : เพาะเมล็ดดาวเรืองพันธุ์เทวี F1 โดยใช้วัสดุปลูก ดิน : แกลบเผา : แกลบดิบ อัตราส่วน 1:1:1 ผสมกับขุยมะพร้าวและกาบมะพร้าวสับละเอียดเล็กน้อย เตรียมพืชตัวอย่างสำหรับงานวิจัย 2 ชุด, ชุดละ 4 กรรมวิธี, กรรมวิธีละ 4 ต้น (รวม 32 ต้น)

- ชุดที่ 1 : เพาะเมล็ดและย้ายปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ตามสภาพแวดล้อมธรรมชาติ จนมีอายุ 25 วัน (เตรียมทำใบ)
- ชุดที่ 2 : เพาะเมล็ดและย้ายปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ตามสภาพแวดล้อมธรรมชาติจนมีอายุ 45 วัน (เตรียมทำดอก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 36 การเตรียมตัวอย่างกัญชา

ภาพที่ 37 การเตรียมตัวอย่างดาวเรือง

3.3. การบันทึกผลงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากวัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของพืช และพืชตัวอย่างในงานวิจัยประกอบด้วย กัญชา (จากการขอความอนุเคราะห์ใช้ตัวอย่างพืช-ไม่สามารถตัดชิ้นส่วนได้) และ ดาวเรือง (ตัวอย่างพืชของผู้วิจัย-ตัดชิ้นส่วนได้) สามารถจำแนกรายการการบันทึกผลเป็น 2 ด้าน ได้แก่ การเจริญเติบโตด้านการสร้างมวล (ตัดชิ้นส่วน) และ การเจริญเติบโตด้านปริมาณเพื่อเปรียบเทียบการสร้างมวล (ไม่ตัดชิ้นส่วน)

3.3.1. การเจริญเติบโตด้านการสร้างมวล

- น้ำหนักแห้ง

กัญชา : ไม่สามารถตัดชิ้นส่วนจากพืชตัวอย่างได้

ดาวเรือง : ตัดชิ้นส่วนของพืชตัวอย่างไปทำแห้งโดยการนำตากในที่ร่มและอากาศถ่ายเท ไม่ถูกแดด และไม่สัมผัสลมโดยตรง เป็นเวลา 10-14 วัน หลังจากกระบวนการทำแห้ง

นำชิ้นส่วนไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลแบบพกพา รุ่น 200 g x 0.01 g ของ Telecorsa, ทศนิยม 2 ตำแหน่ง, หน่วยกรัม ทำการบันทึกชิ้นส่วนราก, ลำต้น, ใบ และ ดอก

3.3.2. การเจริญเติบโตด้านปริมาณเพื่อเปรียบเทียบการสร้างมวล

- จำนวนใบ

กัญชา และ ดาวเรือง : บันทึกจำนวนใบรวมทั้งต้นโดยไม่จำแนกขนาดใบ เนื่องจากไม่สามารถเด็ดใบจากต้นพืชตัวอย่างกัญชามาวัดขนาดได้

- จำนวนดอก

กัญชา : บันทึกจำนวนดอกจำแนกตามการเจริญเติบโตของดอกขณะบันทึกผล โดยจำแนกเป็น ดอกเดี่ยว, ดอกคู่, และ ช่อดอก (เจริญเติบโตเต็มที่)

ดาวเรือง : บันทึกจำนวนดอกจำแนกตามการเจริญเติบโตของดอกขณะบันทึกผล โดยจำแนกเป็น ตุ่มดอก, ดอกตูม, ดอกแย้ม, และ ดอกบาน (เจริญเติบโตเต็มที่)

- ปริมาตรดอก

กัญชา : บันทึกปริมาตรช่อดอก

ดาวเรือง : บันทึกปริมาตรดอกบาน

บันทึกความกว้างดอก, ความยาวดอก และ ความสูงดอก ด้วยเครื่องวัดความหนาดิจิตอล (Digital Caliper) ทศนิยม 1 ตำแหน่ง แล้วนำมาคำนวณปริมาตรในหน่วย ลบ.ซม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ขนาดทรงพุ่ม

กัญชา และ ดาวเรือง : ความสูงต้น บันทึกโดยใช้เชือกทาบวัดที่ตำแหน่งโคนต้นชิดหน้าดินจนถึงยอดลำต้นแล้วนำเชือกมาเทียบกับตลับเมตร, ความกว้างพุ่ม บันทึกโดยใช้เชือกทาบวัดที่ตำแหน่งปลายใบด้านซ้ายสุดจนถึงปลายใบด้านขาวสุดแล้วนำเชือกมาเทียบกับตลับเมตร, ความยาวพุ่ม ใช้วิธีเดียวกับความกว้างพุ่มแต่เปลี่ยนแนวการวัดเป็นแนวกากบาทกับความกว้างพุ่ม ในหน่วยเซนติเมตร

- ลักษณะต้น

กัญชา และ ดาวเรือง : บันทึกลักษณะต้นจำแนกเป็นการบันทึกเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ตำแหน่งฐานต้นและกลางต้น, จำนวนการแตกกิ่ง และ จำนวนการแตกยอด เส้นผ่านศูนย์กลางวัดด้วยเครื่องวัดความหนาดิจิตอล (Digital Caliper) ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ในหน่วยมิลลิเมตร จำนวนการแตกกิ่งนับกิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักที่มีการแตกในกิ่งนั้น

ภาพที่ 38 การทำแห้ง

ภาพที่ 39 การบันทึกน้ำหนักแห้ง

ภาพที่ 40 การบันทึกดอกเดี่ยว, ดอกคู่, และช่อดอกกัญชา

ภาพที่ 41 การบันทึกจำนวนตุ่มดอก, ดอกตูม, ดอกแย้ม และดอกบานดาวเรือง

ภาพที่ 42 การบันทึกปริมาตรดอกบาน

ภาพที่ 43 การบันทึกขนาดทรงพุ่ม

3.4. วิธีอภิปรายผลงานวิจัย

จากการออกแบบกรรมวิธีการวิจัยให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช (กัญชาและดาวเรือง) สามารถออกแบบวิธีอภิปรายผลจำแนกตามการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรได้ดังต่อไปนี้

ก) อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง : เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 1 แสงอาทิตย์ในโรงเรือน R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00 μmol/m^2/s, กรรมวิธีที่ 2 แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสตรง R: G: B = 2.53 : 2.67 : 1.00 μmol/m^2/s (ระยะทำใบ) R: G: B = 1.47 : 1.83 : 1.00 μmol/m^2/s (ระยะทำดอก), และ กรรมวิธีที่ 3 แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสสลับ *R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00 μmol/m^2/s ที่เป็นผลจากพฤติกรรมการดูดซับแสงของใบพืช โดยไม่นำกรรมวิธีที่ 4 มาเปรียบเทียบเนื่องจากมีช่วงความยาวคลื่นแสงเหมือนกรรมวิธีที่ 3

ข) อิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง : เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตระหว่างการปลูกภายใต้แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° จากระนาบพื้นในกรรมวิธีที่ 3 และ แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90° จากระนาบพื้นในกรรมวิธีที่ 4 ที่เป็นผลจากการกระตุ้นการสังเคราะห์แสงบริเวณใต้ใบ โดยไม่ทำการประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 เนื่องจากประดิษฐ์แผ่นสะท้อนแสงเพื่อศึกษาร่วมกับหลอดแอลอีดีรุ่นเดียวกันที่มีช่วงความยาวคลื่นแสงเหมือนกันเท่านั้น

ค) อิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี : เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตระหว่างการปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรงในกรรมวิธีที่ 2 และหลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับในกรรมวิธีที่ 4 ที่เป็นผลจากข้อจำกัดในการลดต้นทุนด้านพลังงานของหลอดแอลอีดี โดยไม่นำกรรมวิธีที่ 1 มาเปรียบเทียบเนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า และกรรมวิธีที่ 3 มีแหล่งพลังงานไฟฟ้าเหมือนกรรมวิธีที่ 4 <u>หมายเหตุ</u> : ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 2 และ 4 มีความแตกต่างกัน

บทที่ 4
ผลวิจัยและอภิปรายผล

4.1. รูปแบบการแสดงผลวิจัยและอภิปรายผล

จากการจำแนกรายการการบันทึกผลงานวิจัย ประกอบด้วย การเจริญเติบโตด้านการสร้างมวล (ตัดชิ้นส่วน) และ การเจริญเติบโตด้านปริมาณเพื่อเปรียบเทียบการสร้างมวล (ไม่ตัดชิ้นส่วน) ร่วมกับการออกแบบวิธีอภิปรายผลงานวิจัย ประกอบด้วย อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง, มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง, และ แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี สามารถกำหนดรูปการแสดงผลวิจัยและวิธีอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

การแสดงผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง : เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตด้านการสร้างมวลของดาวเรือง ประกอบด้วย น้ำหนักแห้งของดาวเรือง จากการปลูกภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 1, 2, และ 3

การแสดงผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง : เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตด้านการสร้างมวลของดาวเรือง ประกอบด้วย น้ำหนักแห้งของดาวเรือง ร่วมกับผลการเจริญเติบโตด้านปริมาณเพื่อเปรียบเทียบการสร้างมวลของกัญชาดาวเรือง ประกอบด้วย จำนวนใบ จำนวนดอก ปริมาตรดอก ขนาดทรงพุ่ม และ ลักษณะต้น ของกัญชาและดาวเรือง จากการปลูกภายใต้มุมองศาแผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 3 และ 4

การแสดงผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี : เปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตด้านการสร้างมวลของดาวเรือง ประกอบด้วย น้ำหนักแห้งของดาวเรือง จากการปลูกภายใต้แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดีในกรรมวิธีที่ 2 และ 4

4.2. เครื่องมือในการแสดงผลวิจัยและอภิปรายผล

นำผลงานวิจัยมาแสดงในตารางตามรูปแบบการแสดงผลวิจัยและอภิปรายผลที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบความแตกต่างผลวิจัยของพืชตัวอย่างรายต้นด้วยการเปรียบเทียบ 3 Standard deviations เนื่องจากจำนวนพืชตัวอย่าง (ประชากร) ในแต่ละกรรมวิธีการวิจัยมีจำนวนน้อย ไม่เหมาะสมในการใช้ค่าเฉลี่ยรายกรรมวิธี

กำหนดสัญลักษณ์อธิบายผลวิจัยในตารางในรูปแบบ N^S ; N = ผลวิจัยที่บันทึกได้, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยแทนค่าช่วง 3 Standard Deviations ด้วยตัวเลขดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ช่วงระหว่าง -3SD ถึง -2SD (2.1% ของประชากร) แทนด้วย “1”

ช่วงระหว่าง -2SD ถึง -1SD (13.6% ของประชากร) แทนด้วย “2”

ช่วงระหว่าง -1SD ถึง MEAN (34.2% ของประชากร) แทนด้วย “3”

ช่วงระหว่าง MEAN ถึง +1SD (34.2% ของประชากร) แทนด้วย “4”

ช่วงระหว่าง +1SD ถึง +2SD (13.6% ของประชากร) แทนด้วย “5”

ช่วงระหว่าง +2SD ถึง +3SD (2.1% ของประชากร) แทนด้วย “6”

ผลวิจัยที่อยู่ในช่วง -1SD ถึง +1SD หมายถึงผลวิจัยอยู่ในกลุ่มประชากรส่วนใหญ่ (68.3% ของประชากร), ผลวิจัยที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ +1SD ขึ้นไป หมายถึงผลวิจัยมากกว่ากลุ่มประชากรส่วนใหญ่, และ ผลวิจัยที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ -1SD ลงมา หมายถึงผลวิจัยน้อยกว่ากลุ่มประชากรส่วนใหญ่

ตัวอย่าง	ตัวอย่าง							
	กรรมวิธีที่ 1				กรรมวิธีที่ 2			
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	3	4	1	2	3	4
น้ำหนักแห้ง (กรัม)								
- ราก	0.15^3	0.16^3	0.16^3	0.14^3	$\underline{0.20}^3$	$\underline{0.25}^4$	$\underline{0.16}^3$	$\underline{0.13}^3$
- ลำต้น	0.71^2	0.66^2	0.89^3	0.82^3	$\underline{0.78}^3$	$\underline{1.22}^4$	$\underline{1.08}^3$	$\underline{0.80}^3$
- ใบ	1.73^3	1.46^2	1.73^3	1.62^3	$\underline{1.60}^3$	$\underline{2.17}^4$	$\underline{1.93}^4$	$\underline{1.58}^3$
N^S ; N = จำนวน, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*								
* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD								

<u>ตัวอย่าง1</u> 0.20^3 หมายถึง น้ำหนักแห้งรากของพืชตัวอย่างต้นที่ 1 ในกรรมวิธีที่ 2 มีน้ำหนัก 0.20 กรัม อยู่ในช่วงที่ 3 (-1SD ถึง MEAN) หมายถึงน้ำหนักแห้งรากอยู่ในกลุ่มประชากรส่วนใหญ่ เป็นต้น ทำการเปรียบเทียบผลวิจัยรายต้นทุกต้นจากทุกกรรมวิธีการวิจัย แล้วทำการอภิปรายแนวโน้มความแตกต่างระหว่างกรรมวิธี

4.3. ระยะการเจริญเติบโตของพืชที่บันทึกผลวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อดาวเรืองในระยะทำใบมีอายุ 50 วัน พบว่า ดาวเรืองทุกต้นมีการเจริญเติบโตทางใบที่สมบูรณ์ เริ่มติดตุ่มดอก และอยู่ในช่วงปลายทำใบ และเมื่อดาวเรืองในระยะทำดอกมีอายุ 80 วัน พบว่า ดาวเรืองทุกต้นมีดอกบานสมบูรณ์และอยู่ในช่วงปลายทำดอก จึงทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตของดาวเรืองที่ช่วงอายุดังกล่าว

เมื่อกัญชาในระยะทำใบมีอายุ 65 วัน พบว่า กัญชาทุกต้นมีการเจริญเติบโตทางใบที่สมบูรณ์ ต้นมีความแข็งแรงและอยู่ในช่วงปลายทำใบ และเมื่อกัญชาในระยะทำดอกมีอายุ 130 วัน พบว่า กัญชาทุกต้นมีช่อดอกที่เจริญเติบโตสมบูรณ์ น้ำหนักดอกเริ่มโน้มกิ่งให้งอ และอยู่ในช่วงปลายทำดอก จึงทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตของกัญชาที่ช่วงอายุดังกล่าว

ภาพที่ 44 ต้นดาวเรืองระยะทำใบและทำดอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 45 ต้นกัญชาระยะทำใบและทำดอก

4.4. ผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง

เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของดาวเรืองที่ปลูกภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 1-3

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลช่วงความยาวคลื่นแสง

การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลช่วงความยาวคลื่นแสง	ระยะทำใบ											
	กรรมวิธีที่ 1 (แสงอาทิตย์)				กรรมวิธีที่ 2 (หลอดแอลอีดีกระแสตรง)				กรรมวิธี ที่ 3 (หลอดแอลอีดีกระแสสลับ)			
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
น้ำหนักแห้ง (กรัม)												
- ราก	0.50^{5}	0.44^{5}	0.53^{5}	0.48^{5}	0.15^{3}	0.16^{3}	0.16^{3}	0.14^{3}	0.21^{3}	0.15^{3}	0.20^{3}	0.12^{3}
- ลำต้น	1.83^{5}	1.69^{5}	1.79^{5}	1.58^{5}	0.71^{2}	0.66^{2}	0.89^{3}	0.82^{3}	1.39^{4}	0.99^{3}	1.15^{4}	0.89^{3}
- ใบ	2.33^{5}	1.83^{3}	2.71^{6}	1.98^{4}	1.73^{3}	1.46^{2}	1.73^{3}	1.62^{3}	2.59^{5}	1.68^{3}	2.15^{4}	1.69^{3}
	ระยะทำดอก											
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
น้ำหนักแห้ง (กรัม)												
- ราก	0.52^{4}	0.34^{3}	0.54^{4}	0.40^{3}	0.40^{3}	0.51^{4}	0.27^{2}	0.28^{2}	0.41^{3}	0.67^{5}	0.54^{4}	0.47^{4}
- ลำต้น	3.34^{5}	2.14^{3}	3.01^{4}	2.56^{3}	1.98^{2}	2.68^{4}	2.41^{3}	2.18^{3}	2.95^{4}	2.54^{3}	1.95^{2}	3.22^{5}
- ใบ	2.43^{5}	1.40^{2}	2.07^{4}	1.68^{3}	1.69^{3}	1.96^{4}	1.29^{2}	1.36^{2}	2.78^{5}	2.24^{4}	1.75^{3}	2.62^{5}
- ดอก	3.01^{6}	1.97^{4}	2.61^{5}	2.18^{4}	1.55^{3}	1.19^{2}	1.57^{3}	0.97^{2}	2.00^{4}	1.75^{3}	1.34^{3}	1.98^{4}

N^{S} ; N = จำนวน, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*

* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD

จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของดาวเรืองที่ปลูกภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 1 แสงอาทิตย์ในโรงเรือน R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00, กรรมวิธีที่ 2 แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสตรง R: G: B = 2.53 : 2.67 : 1.00 (ระยะทำใบ) R: G: B = 1.47 : 1.83 : 1.00 (ระยะทำดอก), และ กรรมวิธีที่ 3 แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสสลับ R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00 พบว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระยะทำใบ : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 1 แสงอาทิตย์ในโรงเรือน มีน้ำหนักแห้งราก, น้ำหนักแห้งลำต้น, และ น้ำหนักแห้งใบ มากที่สุด

ระยะทำดอก : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 1 แสงอาทิตย์ในโรงเรือน มีน้ำหนักแห้งลำต้น และ น้ำหนักแห้งใบ มากที่สุด ส่วนการปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสสลับ R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00 มีน้ำหนักแห้งราก และ น้ำหนักแห้งใบ มากที่สุด

สรุปได้ว่า อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง มีแนวโน้มส่งผลต่อพฤติกรรมการดูดซับแสงของใบพืช ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีสัดส่วนโฟตอนแสงสม่ำเสมอมากที่สุด (แสงอาทิตย์ในโรงเรือน R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00) ส่งผลทำให้ดาวเรืองในระยะทำใบ มีการสร้างมวลทุกส่วนมากที่สุด

หลังจากการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ในระยะทำใบ (พืชตัวอย่างชุดเตรียมทำดอกของดาวเรืองปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ในระยะทำใบ) ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีการเน้นแสงสีแดงและแสงสีเขียวมากกว่าสีน้ำเงินสองเท่า (แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสสลับ R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00) ส่งผลทำให้ดาวเรืองมีการสร้างมวลรากและมวลใบมากกว่าแสงอาทิตย์ 16.11% และ 23.88% แต่มีการสร้างมวลลำต้นและมวลดอกน้อยกว่าแสงอาทิตย์ -3.53% และ -27.66% ตามลำดับ ในระยะทำดอก

4.5. ผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง

เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของดาวเรือง ร่วมกับ จำนวนใบ จำนวนดอก ปริมาตรดอก ขนาดทรงพุ่ม และ ลักษณะต้น ของกัญชาและดาวเรือง จากการปลูกภายใต้มุมองศาแผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 3 และ 4

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง

การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง	ระยะทำใบ							
	กรรมวิธีที่ 3 (60°)				กรรมวิธีที่ 4 (90°)			
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	3	4	1	2	3	4
น้ำหนักแห้ง (กรัม)								
- ราก	0.21^{3}	0.15^{3}	0.20^{3}	0.12^{3}	0.20^{3}	0.25^{4}	0.16^{3}	0.13^{3}
- ลำต้น	1.39^{4}	0.99^{3}	1.15^{4}	0.89^{3}	0.78^{3}	1.22^{4}	1.08^{3}	0.80^{3}
- ใบ	2.59^{5}	1.68^{3}	2.15^{4}	1.69^{3}	1.60^{3}	2.17^{4}	1.93^{4}	1.58^{3}
จำนวนใบ (ใบ)	59^{5}	40^{3}	48^{4}	41^{3}	34^{2}	44^{4}	43^{3}	33^{2}
ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)								
- ความสูงต้น	33.0^{3}	31.5^{3}	33.0^{3}	31.5^{3}	27.5^{2}	34.0^{4}	33.0^{3}	27.0^{2}
- ความกว้างพุ่ม	28.0^{4}	26.0^{3}	29.0^{4}	27.0^{3}	27.0^{3}	31.0^{5}	27.0^{3}	24.0^{2}
- ความยาวพุ่ม	31.0^{5}	27.0^{2}	30.0^{4}	28.0^{2}	28.0^{2}	31.0^{5}	29.0^{3}	28.0^{2}
ลักษณะต้น								
- Ø ฐานต้น (มม.)	5.8^{5}	5.0^{3}	5.2^{3}	5.2^{3}	4.8^{2}	5.7^{4}	5.2^{3}	5.1^{3}
- Ø กลางต้น (มม.)	9.2^{6}	7.7^{3}	7.9^{3}	7.8^{3}	8.2^{4}	8.1^{4}	7.5^{3}	7.7^{2}
- จำนวนแตกกิ่ง (กิ่ง)	1	1	1	1	1	1	1	1

N^{S} ; N = จำนวน, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*

* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง (ต่อ)

การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง	ระยะทำดอก							
	กรรมวิธีที่ 3 (60°)				กรรมวิธีที่ 4 (90°)			
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	3	4	1	2	3	4
น้ำหนักแห้ง (กรัม)								
- ราก	0.41^{3}	0.67^{5}	0.54^{4}	0.47^{4}	0.53^{4}	0.50^{4}	0.29^{2}	0.50^{4}
- ลำต้น	2.95^{4}	2.54^{3}	1.95^{2}	3.22^{5}	3.05^{4}	2.66^{4}	1.85^{2}	2.93^{4}
- ใบ	2.78^{5}	2.24^{4}	1.75^{3}	2.62^{5}	1.84^{3}	2.11^{4}	1.57^{3}	2.26^{4}
- ดอก	2.00^{4}	1.75^{3}	1.34^{3}	1.98^{4}	1.58^{3}	1.61^{3}	0.99^{2}	2.07^{4}
จำนวนใบ (ใบ)	116^{5}	97^{4}	82^{3}	104^{4}	104^{4}	97^{4}	70^{3}	102^{4}
จำนวนดอก (ดอก)								
- ตุ่มดอก	14^{5}	6^{3}	5^{3}	8^{4}	7^{3}	9^{4}	5^{3}	13^{5}
- ดอกตูม	6^{3}	6^{3}	4^{2}	8^{4}	13^{6}	8^{4}	8^{4}	4^{2}
- ดอกแย้ม	4^{5}	1^{3}	3^{4}	1^{3}	0	1^{3}	0	3^{4}
- ดอกบาน	2^{4}	2^{4}	1^{2}	2^{4}	2^{4}	2^{4}	2^{4}	2^{4}
- รวมทั้งต้น	26^{5}	15^{3}	13^{2}	19^{4}	22^{4}	20^{4}	15^{3}	22^{4}
ปริมาตรดอกบาน (ลบ.ซม.)	181.60^{4}	157.78^{4}	42.31^{2}	154.86^{4}	143.83^{3}	125.74^{3}	92.12^{3}	159.55^{4}
ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)								
- ความสูงต้น	37.5^{3}	38.5^{3}	38.0^{3}	49.0^{5}	42.0^{4}	41.0^{4}	41.0^{4}	44.0^{4}
- ความกว้างพุ่ม	23.0^{4}	21.5^{3}	22.0^{3}	26.0^{6}	21.5^{3}	20.0^{2}	22.0^{3}	22.0^{3}
- ความยาวพุ่ม	27.0^{5}	25.0^{4}	23.0^{3}	26.0^{5}	25.0^{4}	23.0^{3}	23.0^{3}	24.0^{4}
ลักษณะต้น								
- Ø ฐานต้น (มม.)	6.3^{5}	5.6^{3}	4.9^{1}	6.1^{5}	5.8^{4}	5.4^{3}	5.5^{3}	5.4^{3}
- Ø กลางต้น (มม.)	7.3^{4}	7.4^{4}	6.0^{1}	7.8^{5}	7.4^{4}	7.4^{4}	6.8^{3}	7.8^{5}
- จำนวนแตกกิ่ง (กิ่ง)	5^{5}	3^{3}	3^{3}	5^{5}	3^{3}	3^{3}	2^{2}	4^{4}

N^{S} ; N = จำนวน, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*

* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD

ตารางที่ 7 การเจริญเติบโตของกัญชาภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง

การเจริญเติบโตของกัญชาภายใต้อิทธิพลมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง	ระยะทำใบ				ระยะทำดอก			
	กรรมวิธีที่ 3 (60°)		กรรมวิธีที่ 4 (90°)		กรรมวิธีที่ 3 (60°)		กรรมวิธีที่ 4 (90°)	
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	1	2	1	2	1	2
จำนวนใบ (ใบ)	295^3	317^4	277^2	349^5	297^2	483^4	495^4	335^3
จำนวนดอก (ดอก)								
- ดอกเดี่ยว					26^3	35^3	70^5	28^3
- ดอกคู่					43^3	96^5	62^4	29^3
- ช่อดอก					93^4	91^4	73^2	96^4
- รวมทั้งต้น					162^3	222^5	205^4	153^3
ปริมาตรช่อดอก (ลบ.ซม.)								
- ฐานพุ่ม					27.61^4	20.25^3	22.46^3	38.31^5
- กลางพุ่ม					54.98^4	28.42^3	41.32^3	88.92^5
- เรือนยอด					120.41^5	43.20^3	50.91^3	90.72^4
ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)								
- ความสูงต้น	68.5^3	78.5^5	66.5^3	72.5^4	109.0^4	113.0^4	94.0^2	113.0^4
- ความกว้างพุ่ม	83.5^5	68.5^2	78.5^4	73.5^4	90.0^4	90.0^4	80.0^2	90.0^4
- ความยาวพุ่ม	78.0^5	68.0^3	68.0^3	63.0^3	55.0^3	60.0^4	60.0^4	60.0^4
ลักษณะต้น								
- Ø ฐานต้น (มม.)	14.4^4	14.6^4	14.2^4	12.8^2	15.0^4	15.4^5	14.0^2	14.6^3
- Ø กลางต้น (มม.)	5.4^3	6.7^5	5.5^3	6.1^4	7.2^3	7.6^4	6.6^2	8.6^5
- จำนวนแตกกิ่ง (กิ่ง)	17^5	11^3	11^3	13^3	16^3	21^4	14^2	20^4

N^S ; N = จำนวน, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*

* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD

จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของดาวเรืองที่ปลูกภายใต้แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° จากระนาบพื้นในกรรมวิธีที่ 3 และ เอียงทำมุม 90° จากระนาบพื้นในกรรมวิธีที่ 4 พบว่า

ระยะทำใบ : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° มีน้ำหนักแห้งลำต้น และ น้ำหนักแห้งใบ มากที่สุด ส่วนการปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 4 แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90° มีน้ำหนักแห้งราก มากที่สุด

ระยะทำดอก : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° มีน้ำหนักแห้งราก, น้ำหนักแห้งลำต้น, น้ำหนักแห้งใบ และ น้ำหนักแห้งดอก มากที่สุด

เทียบเคียงน้ำหนักแห้งของกัญชาจากน้ำหนักแห้งของดาวเรือง โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักแห้งลำต้น-ขนาดทรงพุ่มและลักษณะต้น, น้ำหนักแห้งใบ-จำนวนใบ, น้ำหนักแห้งดอก-จำนวนดอกและปริมาตรดอก ของกัญชาและดาวเรือง

เทียบเคียงน้ำหนักแห้งของกัญชาในระยะทำใบ : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60°) มีน้ำหนักแห้งลำต้น และ ขนาดทรงพุ่มและลักษณะต้น มากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90°) จำนวน 13.92% และ 12.51% ตามลำดับ การปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 ที่มีขนาดทรงพุ่มและลักษณะต้นมากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน 45.59% จึงอาจเทียบเคียงได้ว่าการปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน (45.59 x 13.92) / 12.51 = 50.73%

การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60°) มีน้ำหนักแห้งใบ และ จำนวนใบ มากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90°) จำนวน 11.40% และ 22.08% ตามลำดับ การปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 ที่มีจำนวนใบน้อยกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน -2.29% จึงอาจเทียบเคียงได้ว่าการปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 มีน้ำหนักแห้งใบน้อยกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน (-2.29 x 11.40) / 22.08 = -1.18%

เทียบเคียงน้ำหนักแห้งของกัญชาในระยะทำดอก : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60°) มีน้ำหนักแห้งลำต้น และ ขนาดทรงพุ่มและลักษณะต้น มากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90°) จำนวน 1.62% และ 45.42% ตามลำดับ การปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 ที่มีขนาดทรงพุ่มและลักษณะต้นมากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน 18.43% จึงอาจเทียบเคียงได้ว่าการปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน (18.43 x 1.62) / 45.42 = 0.66%

การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60°) มีน้ำหนักแห้งใบ และ จำนวนใบ มากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90°) จำนวน 20.69% และ 6.97% ตามลำดับ การปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 ที่มีจำนวนใบน้อยกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน -6.02% จึงอาจเทียบเคียงได้ว่าการปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 มีน้ำหนักแห้งใบน้อยกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน (-6.02 x 20.69) / 6.97 = -17.87%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 3 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60°) มีน้ำหนักแห้งดอกมากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 (แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90°) จำนวน 13.12% แต่มีจำนวนดอกและปริมาตรดอกน้อยกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน -4.66% การปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 ที่มีจำนวนดอกและปริมาตรดอกน้อยกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน -4.09% จึงอาจเทียบเคียงได้ว่าการปลูกกัญชาภายใต้กรรมวิธีที่ 3 มีน้ำหนักแห้งดอกมากกว่าการปลูกภายใต้กรรมวิธีที่ 4 จำนวน (-4.09 x 13.12) / -4.66 = 11.52%

สรุปได้ว่า อิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง มีแนวโน้มส่งผลต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์แสงในกรณีที่พืชได้รับแสงบริเวณใต้ใบ ปริมาณแสงที่แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° สะท้อนเข้าสู่ด้านข้างของต้นพืชได้มากกว่ามุม 90° จำนวน 32.28% ส่งผลทำให้

ดาวเรืองในระยะทำใบ มีการสร้างมวลลำต้นและมวลใบเพิ่มขึ้น 13.92% และ 11.40% แต่มีการสร้างมวลรากลดลง -8.11%, ดาวเรืองในระยะทำดอก มีการสร้างมวลราก, มวลลำต้น, มวลใบ, และ มวลดอก เพิ่มขึ้น 14.84%, 1.62%, 20.69%, และ13.12% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมุม 90°

กัญชาในระยะทำใบ มีการสร้างมวลลำต้นเพิ่มขึ้น 50.73% แต่มีการสร้างมวลใบลดลง -1.18%, กัญชาในระยะทำดอก มีการสร้างมวลลำต้น และ มวลดอก เพิ่มขึ้น 0.66%, 11.52%, แต่มีการสร้างมวลใบลดลง -17.87% เมื่อเทียบกับมุม 90°

4.6. ผลวิจัยและอภิปรายอิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของดาวเรืองที่ปลูกภายใต้แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดีในกรรมวิธีที่ 2 และ 4 หมายเหตุ : ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 2 และ 4 มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลแหล่งพลังงานไฟฟ้า

การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลแหล่งพลังงานไฟฟ้า	ระยะทำใบ							
	กรรมวิธีที่ 2 (โซลาเซลล์)				กรรมวิธีที่ 4 (ไฟบ้าน)			
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	3	4	1	2	3	4
น้ำหนักแห้ง (กรัม)								
- ราก	0.15^{3}	0.16^{3}	0.16^{3}	0.14^{3}	$\underline{0.20}^{3}$	$\underline{0.25}^{4}$	$\underline{0.16}^{3}$	$\underline{0.13}^{3}$
- ลำต้น	0.71^{2}	0.66^{2}	0.89^{3}	0.82^{3}	$\underline{0.78}^{3}$	$\underline{1.22}^{4}$	$\underline{1.08}^{3}$	$\underline{0.80}^{3}$
- ใบ	1.73^{3}	1.46^{2}	1.73^{3}	1.62^{3}	$\underline{1.60}^{3}$	$\underline{2.17}^{4}$	$\underline{1.93}^{4}$	$\underline{1.58}^{3}$

N^{S} ; N = จำนวน, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*

* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD

ตารางที่ 9 การเจริญเติบโตของดาวเรืองภายใต้อิทธิพลแหล่งพลังงานไฟฟ้า (ต่อ)

การเจริญเติบโตของดาวเรือง ภายใต้อิทธิพลแหล่งพลังงานไฟฟ้า	ระยะทำดอก							
	กรรมวิธีที่ 2 (โซลาเซลล์)				กรรมวิธีที่ 4 (ไฟบ้าน)			
รายการบันทึก / ต้นที่	1	2	3	4	1	2	3	4
น้ำหนักแห้ง (กรัม)								
- ราก	0.40^{3}	0.51^{4}	0.27^{2}	0.28^{2}	$\underline{0.53^{4}}$	$\underline{0.50^{4}}$	$\underline{0.29^{2}}$	$\underline{0.50^{4}}$
- ลำต้น	1.98^{2}	2.68^{4}	2.41^{3}	2.18^{3}	$\underline{3.05^{4}}$	$\underline{2.66^{4}}$	$\underline{1.85^{2}}$	$\underline{2.93^{4}}$
- ใบ	1.69^{3}	1.96^{4}	1.29^{2}	1.36^{2}	$\underline{1.84^{3}}$	$\underline{2.11^{4}}$	$\underline{1.57^{3}}$	$\underline{2.26^{4}}$
- ดอก	1.55^{3}	1.19^{2}	1.57^{3}	0.97^{2}	$\underline{1.58^{3}}$	$\underline{1.61^{3}}$	$\underline{0.99^{2}}$	$\underline{2.07^{4}}$
N^{S} ; N = จำนวน, S = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*								
* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD								

จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของดาวเรืองที่ปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรงในกรรมวิธีที่ 2 และหลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับในกรรมวิธีที่ 4 พบว่า (หมายเหตุ : ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 2 และ 4 มีความแตกต่างกัน)

ระยะทำใบ : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 2 หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรง มีน้ำหนักแห้งราก, น้ำหนักแห้งลำต้น, และ น้ำหนักแห้งใบ คิดเป็น 82.43%, 79.38%, และ 89.84% จากการปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับในกรรมวิธีที่ 4 ตามลำดับ

ระยะทำดอก : การปลูกดาวเรืองภายใต้กรรมวิธีที่ 2 หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรง มีน้ำหนักแห้งราก, น้ำหนักแห้งลำต้น, น้ำหนักแห้งใบ, และ น้ำหนักแห้งดอก คิดเป็น 80.22%, 88.18%, 80.98% และ 84.48% จากการปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับในกรรมวิธีที่ 4 ตามลำดับ

สรุปได้ว่า อิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี มีแนวโน้มส่งผลต่อการลดต้นทุนทางด้านพลังงานของหลอดแอลอีดี ในระยะทำใบ การปลูกดาวเรืองภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรงมีประสิทธิภาพในการสร้างมวลเฉลี่ยทั้งต้นราว 84% และในระยะทำดอก การปลูกดาวเรืองภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรงมีประสิทธิภาพในการสร้างมวลเฉลี่ยทั้งต้นราว 83% เมื่อเทียบกับการปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สิ่งที่ค้นพบในงานวิจัย

5.1.1. อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง

จากวัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อศึกษา อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสงต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช ทำการวิจัยปลูกพืช (ดาวเรือง) ภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีสัดส่วนโฟตอนแสงแตกต่างกัน ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 แสงอาทิตย์ในโรงเรือน R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00, กรรมวิธีที่ 2 แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสตรง R: G: B = 2.53 : 2.67 : 1.00 (ระยะทำใบ) R: G: B = 1.47 : 1.83 : 1.00 (ระยะทำดอก), และ กรรมวิธีที่ 3 แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสสลับ R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00

ผลการวิจัยพบว่า ช่วงความยาวคลื่นแสง (Light Wavelength) มีแนวโน้มส่งผลต่อรงควัตถุดูดซับแสงชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์ของใบพืช (Photosynthetic pigments) ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีสัดส่วนโฟตอนแสง (R: G: B) สม่ำเสมอมากกว่าอาจส่งผลทำให้รงควัตถุดูดซับแสงสามารถดูดซับโฟตอนแสงในช่วงต่าง ๆ ของ PAR ได้สม่ำเสมอมากขึ้น

ในระยะทำใบการปลูกภายใต้ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีสัดส่วนโฟตอนแสงสม่ำเสมอมากที่สุดในงานวิจัย (แสงอาทิตย์ R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00) ส่งผลทำให้ดาวเรืองมีการสร้างมวลทุกส่วนสูงที่สุดและสมบูรณ์ที่สุด

หลังจากการเจริญเติบโตในระยะทำใบอย่างสมบูรณ์ การปลูกด้วยแสงจากหลอดแอลอีดีที่มีการเน้นแสงสีแดงและสีเขียวมากกว่าสีน้ำเงินสองเท่า (R: G: B = 2.04 : 2.12 : 1.00) ส่งผลทำให้ดาวเรืองในระยะทำดอกมีการสร้างมวลราก (เข้าตำรับยาสมุนไพร) และมวลใบ (เข้าตำรับยาสมุนไพร) สูงที่สุด มากกว่าแสงอาทิตย์ 16.11% และ 23.88% แต่มีการสร้างมวลลำต้น (เข้าตำรับยาสมุนไพร) และมวลดอก (ขายดอก ทำสีย้อมผ้า) น้อยกว่าแสงอาทิตย์ -3.53% และ -27.66% ตามลำดับ

5.1.2. อิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง

จากวัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมองศาแผ่นสะท้อนแสงต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช ทำการวิจัยปลูกพืช (กัญชาและดาวเรือง) ภายใต้แผ่นสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 3 แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° จากระนาบพื้น และ กรรมวิธีที่ 4 แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 90° จากระนาบพื้น

ผลการวิจัยพบว่า มุมองศาแผ่นสะท้อนแสง มีแนวโน้มส่งผลต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์แสงในกรณีที่พืชได้รับแสงบริเวณใต้ใบ ปริมาณแสงที่แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° สะท้อนเข้าสู่ด้านข้างของต้นพืชได้มากกว่ามุม 90° จำนวน 32.28% ส่งผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับมุม 90°

สำหรับการปลูกดาวเรือง ในระยะทำใบมีการสร้างมวลลำต้นและมวลใบเพิ่มขึ้น 13.92% และ 11.40% แต่มีการสร้างมวลรากลดลง -8.11%, ในระยะทำดอก มีการสร้างมวลทุกส่วนเพิ่มขึ้น ประกอบด้วย มวลราก, มวลลำต้น, มวลใบ, และ มวลดอก เพิ่มขึ้น 14.84%, 1.62%, 20.69%, และ13.12% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมุม 90°

สำหรับการปลูกกัญชา ในระยะทำใบมีการสร้างมวลลำต้นเพิ่มขึ้น 50.73% แต่มีการสร้างมวลใบลดลง -1.18%, ในระยะทำดอก มีการสร้างมวลลำต้น (การใช้เส้นใยลำต้นทำเครื่องนุ่งห่ม-สิ่งทอ กระดาษ วัสดุก่อสร้าง) และ มวลดอก (การสกัดสารเพื่อนำไปใช้ในยาแผนปัจจุบัน) เพิ่มขึ้น 0.66%, 11.52%, แต่มีการสร้างมวลใบ (ประกอบอาหารและเครื่องดื่มสำหรับมนุษย์ และใช้เลี้ยงสัตว์) ลดลง -17.87% เมื่อเทียบกับมุม 90°

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1.3. อิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี

จากวัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดีต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช ทำการวิจัยปลูกพืช (ดาวเรือง) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 2 หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรง และ กรรมวิธีที่ 4 หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ (หมายเหตุ : ช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 2 และ 4 มีความแตกต่างกัน)

ผลการวิจัยพบว่า แหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี มีแนวโน้มสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานของหลอดแอลอีดีได้

ในระยะทำใบ การปลูกดาวเรืองภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรง มีประสิทธิภาพในการสร้างมวลราก, มวลลำต้น, และ มวลใบ คิดเป็น 82.43%, 79.38%, และ 89.84% จากการปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสสลับเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ

ในระยะทำดอก การปลูกดาวเรืองภายใต้หลอดแอลอีดีกระแสตรงเชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรง มีประสิทธิภาพในการสร้างมวลราก (เข้าตำรับยาสมุนไพร), มวลลำต้น (เข้าตำรับยาสมุนไพร), มวลใบ (เข้าตำรับยาสมุนไพร), และ มวลดอก (ขายดอก ทำสีย้อมผ้า) คิดเป็น 80.22%, 88.18%, 80.98% และ 84.48% จากการปลูกภายใต้หลอดแอลอีดีเชื่อมต่อไฟบ้านกระแสสลับ

5.2. แนวทางการออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับกัญชาและดาวเรือง

5.2.1. สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติหรือภายนอกอาคาร

ดาวเรือง : จากการวิจัยพบว่า ดาวเรืองสามารถเจริญเติบโตภายใต้แสงอาทิตย์ตามธรรมชาติได้อย่างสมบูรณ์ และเป็นพืชวันสั้นออกดอกเมื่อได้รับแสงสั้นกว่า 13 ชั่วโมงต่อวัน การออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับดาวเรืองตามสภาพแวดล้อมธรรมชาติหรือภายนอกอาคาร จึงพิจารณาใช้แสงอาทิตย์ (R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ร่วมกับการใช้แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° องศา จากระนาบพื้น เพื่อเพิ่มการสังเคราะห์แสงใต้ใบ

กัญชา : จากการวิจัยพบว่า กัญชาเป็นพืชต้องการความเข้มแสงสูง และเป็นพืชวันสั้นออกดอกเมื่อได้รับแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน การออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับกัญชาตามสภาพแวดล้อมธรรมชาติหรือภายนอกอาคาร จึงพิจารณาใช้แสงอาทิตย์ (R: G: B = 1.11 : 1.20 : 1.00) เป็นแหล่งกำเนิดแสงแล้วเสริมด้วยแสงจากหลอดแอลอีดี (ใช้เทคนิคผสมสีของแสงให้ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์) หลังพระอาทิตย์ตกดิน ให้มีระยะเวลารับแสงยาวกว่า 12 ชั่วโมงต่อวันในระยะทำใบ และ 12 ชั่วโมงต่อวันในระยะทำดอก โดยใช้หลอดแอลอีดีต่อโซลาเซลล์แบบมีแบตเตอรีในตัวที่มีประสิทธิภาพในการสร้างมวลราว 83% จากหลอดแอลอีดีเชื่อมต่อไฟบ้าน ในการลดต้นทุนด้านพลังงาน ร่วมกับการใช้แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° องศา จากระนาบพื้น เพื่อเพิ่มการสังเคราะห์แสงใต้ใบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.2. สภาพแวดล้อมภายในอาคารหรือพื้นที่ควบคุม

ดาวเรือง : จากการวิจัยพบว่า ดาวเรืองสามารถเจริญเติบโตภายใต้แสงอาทิตย์ตามธรรมชาติได้อย่างสมบูรณ์ และเป็นพืชวันสั้นออกดอกเมื่อได้รับแสงสั้นกว่า 13 ชั่วโมงต่อวัน การออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับดาวเรืองตามสภาพแวดล้อมภายในอาคารหรือพื้นที่ควบคุม จึงพิจารณาใช้แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสตรง (ใช้เทคนิคผสมสีของแสงให้ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์) เชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรงในเวลากลางวันที่มีประสิทธิภาพในการสร้างมวลราว 83% จากหลอดแอลอีดีเชื่อมต่อไฟบ้าน เพื่อลดต้นทุนทางด้านพลังงานของหลอดแอลอีดี ร่วมกับการใช้แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° องศา จากระนาบพื้น เพื่อเพิ่มการสร้างมวลราก, มวลลำต้น, มวลใบ, และ มวลดอก 14.84%, 1.62%, 20.69%, และ 13.12% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมุม 90° ที่เป็นมุมเต็นท์ปลูกทั่วไป

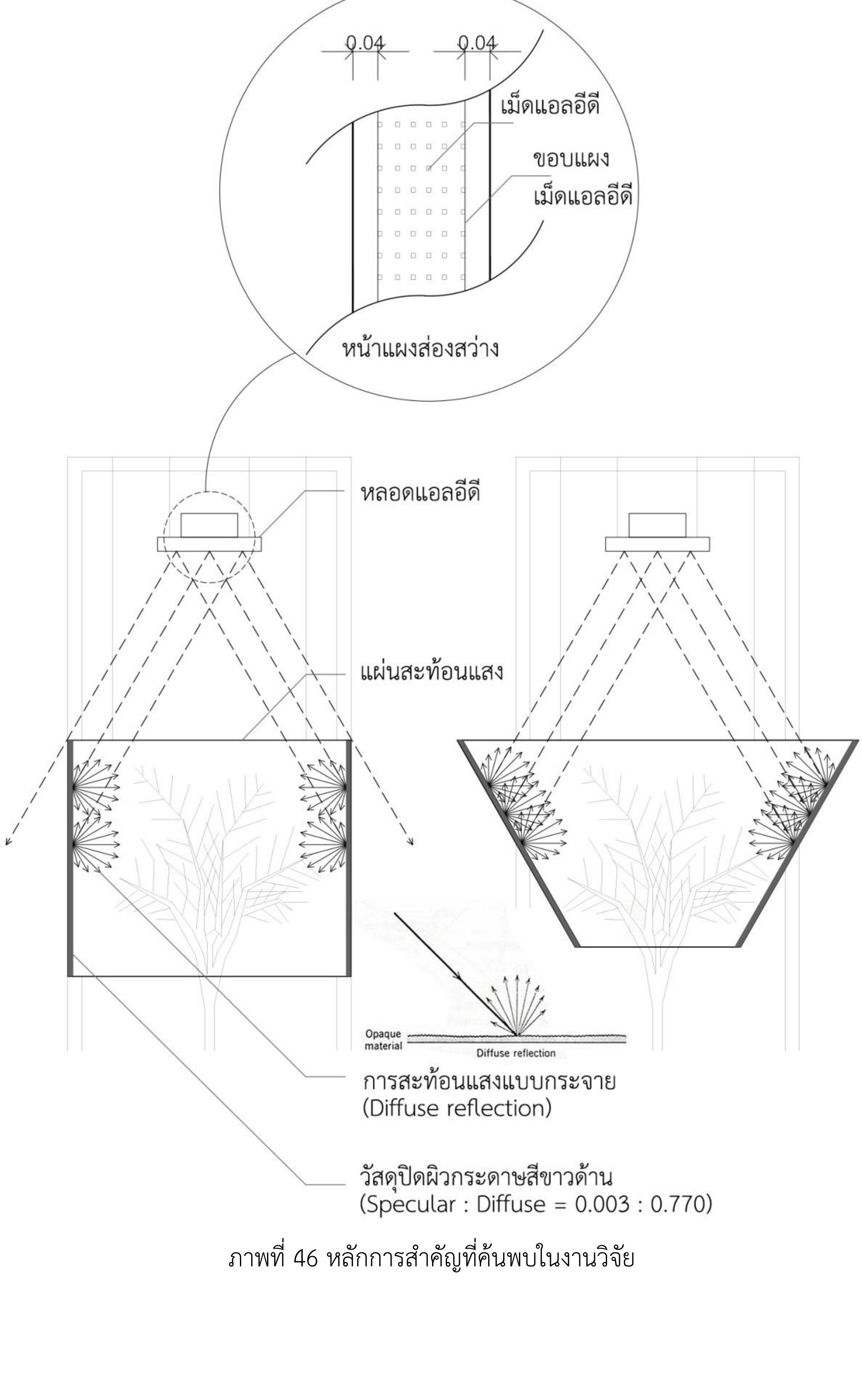
กัญชา : จากการวิจัยพบว่า กัญชาเป็นพืชต้องการความเข้มแสงสูง และเป็นพืชวันสั้นออกดอกเมื่อได้รับแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน การออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมสำหรับกัญชาตามสภาพแวดล้อมภายในอาคารหรือพื้นที่ควบคุม จึงพิจารณาใช้แสงจากหลอดแอลอีดีกระแสตรง (ใช้เทคนิคผสมสีของแสงให้ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์) เชื่อมต่อโซลาเซลล์กระแสตรงในเวลากลางวันที่มีประสิทธิภาพในการสร้างมวลราว 83% จากหลอดแอลอีดีเชื่อมต่อไฟบ้าน เพื่อลดต้นทุนทางด้านพลังงานของหลอดแอลอีดี หลังพระอาทิตย์ตกดินใช้แสงจากหลอดแอลอีดีเชื่อมต่อไฟบ้าน ให้มีระยะเวลารับแสงยาวกว่า 12 ชั่วโมงต่อวันในระยะทำใบ และ 12 ชั่วโมงต่อวันในระยะทำดอก ร่วมกับการใช้แผ่นสะท้อนแสงเอียงทำมุม 60° องศา จากระนาบพื้น เพื่อเพิ่มการสร้างมวลลำต้น และ มวลดอก 0.66%, 11.52% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมุม 90° ที่เป็นมุมเต็นท์ปลูกทั่วไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3. สรุปหลักการสำคัญที่ค้นพบในงานวิจัย

แผ่นสะท้อนแสงที่ปิดผิวด้วยกระดาษสีขาวด้านมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในการสะท้อนแสงแบบกระจายทุกทิศทาง (Diffuse reflection) ส่งผลทำให้การสะท้อนแสงเข้าสู่ด้านข้างของต้นพืชจากการออกแบบมุมองศาแผ่นสะท้อนแสง มีแนวโน้มส่องถึงบริเวณใต้ผิวใบเพิ่มมากขึ้น เมื่อรงควัตถุดูดซับแสงในชั้น Spongy mesophyll บริเวณด้านล่างใบได้รับการกระตุ้นจากแสงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้

มีแนวโน้มในการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงบริเวณใต้ใบที่มีประสิทธิภาพคิดเป็น 62% จากการสังเคราะห์แสงบริเวณเหนือใบ



ภาพที่ 46 หลักการสำคัญที่ค้นพบในงานวิจัย

5.4. ข้อเสนอแนะ

จากการสรุปหลักการสำคัญที่ค้นพบในงานวิจัยเกี่ยวกับการสะท้อนแสงเข้าสู่ด้านล่างใบ ควรทำการวิจัยต่อยอดเกี่ยวกับการออกแบบอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สามารถสะท้อนแสงเข้าสู่ด้านล่างใบได้ เช่น กระถาง หรือ แปลงปลูก เพื่อความสะดวกในการใช้งานและความสวยงามเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Chin, L. Y .and Chong, K. K. (2012). Study of high power light emitting diode (LED) lighting system in accelerating the growth rate of Lactuca sativa for indoor cultivation. *International Journal of the Physical Sciences,* 7(11), 1773-1781. doi:10.5897/ijps11.1568

Choi, H. G., Moon, B. and Kang, N. (2015). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae,* 189, 22-31. doi:10.1016/j.scienta.2015.03.022

Fluence Bioengineering. (2019). HIGH PPFD Cultivation Guide. Retrieved from http://www.fluence.science/wp-content/uploads/2016/09/High-PPFD-Cultivation-Guide-9.27.16.pdf. [2019, 16 September]

Gupta, S. D. and Agarwal, A. (2017). Artificial Lighting System for Plant Growth and Development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment. In (pp. 1-25).

Kim, S. J., Hahn, E. J., Heo, J. W. and Paek, K. Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae,* 101(1), 143-151. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.003

Mortensen, L. M. and Ulsaker, R. (1985). Effect of CO2 concentration and light levels on growth, flowering and photosynthesis of Begonia × hiemalis Fotsch. *Scientia Horticulturae,* 27(1), 133-141. doi:https://doi.org/10.1016/0304-4238(85)90063-9

Owen, W. G. and Lopez, R. G. (2016). The Impact of DLI, Light Quality and Photoperiod on Bedding Plant Flowering Responses. *Greenhouse Product News*, 30-34.

PanAmericanSeed. (2020). Grower facts extra: African marigold marvel II Retrieved from https://www.panamseed.com/controls/GrowerPDF.aspx?blobid=645. [2021, March 30]

Smullen, B. (2015). IB Biology Topic Four Photosynthesis. Retrieved from https://www.slideshare.net/smullen57/hotosynthesis-2015. [2019, 16 September]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Stein, B., Reynolds, J. S. and McGuinness, W. J. (1986). *Mechanical and electrical equipment for buildings* (7th ed.). United States of America: John Wiley & Sons.

Warren, J. (2011). Evaporitic source rocks: Mesohaline responses to cycles of "famine or feast". *Layered Brines, Doug Shearman Memorial Volume,* 43, 315-392.

เนชั่นแนล จีโอกราฟฟิก. (2018). กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง : หน้าที่หลักของผู้ผลิต. Retrieved from https://ngthai.com/science/16243/photosynthesis/?fb_comment_id=2244275498940451_3558553020846019. [2019, 16 September]

กรวิทย์ กระจ่างพันธ์, ถิระวรรธน์ สืบธนะวงษ์ และ สุขสันติ์ หวังสถิตย์. (2561). การออกแบบแสงด้วยหลอดแอลอีดีส่องสว่างสำหรับปลูกพืชในอาคาร โดยอ้างอิงปริมาณแสงรวมต่อวัน. . ว. วิทยาศาสตร์เกษตร*,* 49(1 พิเศษ), 498-501.

กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน. Retrieved from https://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/2-solar.pdf [2562, 16 กันยายน]

จริญญา ฤทธิรัมย์ และ อารักษ์ ธีรอำพน. (2562). ผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบและผลผลิตของผักกาดหอมในระบบแพลนท์แฟคทอรี่. วารสารแก่นเกษตร*,* 47, 1243-1250.

ชานนท์ ลาภจิต. (2560). ผลของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แดง และน้ำเงิน ต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบอะควาโพนิค. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*,* 4(2).

ดนัย บุณยเกียรติ. (ม.ป.ป.). Photosynthesis. Retrieved from https://web.agri.cmu.ac.th/hort/course/359311/PPHY4_photosyn.htm. [2562, 16 กันยายน]

ดวงรัตน์ ศตคุณ, พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และ Crozat, Y. (2542). อิทธิพลของแสงและอายุใบต่อการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบฝ้าย. Paper presented at the การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 37, กรุงเทพมหานคร.

ธัมม์วริทธิ์ ตาลจรัส. (2559). การทดสอบการสะท้อนแสงธรรมชาติจากด้านบนเพื่อกระจายแสงสว่างให้กับอาคารพาดช่วงกว้าง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

นภัทร วัจนเทพินทร์ และ ไชยยันต์ บุญมี. (2560). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*,* 25(1), 158-176. doi:10.14456/tstj.2017.15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พรทิพย์ เจริญพิวัฒพงษ์. (2537). ผลของเวสสิคูลา อาบัสคูลา ไมคอไรซา ต่อการเติบโตและผลผลิตของดาวเรือง *Tagetes erecta* 49. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พิชญ์สินี เพชรไทย และ ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2560). ผลของความเข้มแสงและระยะเวลารับแสงต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอม. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์, 4, 54-59.

ภาวิณี อารีศรีสม, นรินทร์ ท้าวแก่นจันทร์, รุ่งทิพย์ กาวารี, เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์ และ กอบลาภ อารีศรีสม. (2560). ผลของความเข้มแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และสาร 2-*Acetyl*-1-*pyrroline* ของใบเตยหอม. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ (2562). [เทคโนโลยีและกระบวนการปลูกกัญชาเพื่อใช้งานการแพทย์].

วีระพงศ์ วงศ์ใหญ่. (2562). ระบบการถ่ายเทพลังงานจากโซลาร์เซลล์ด้วยการต่ออนุกรมวงจรคอนเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบสองทิศทาง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

สฤษดิ์ คงทนไพศาล. (2554). การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายที่มีระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาร่วมกับชุดตัวเก็บประจุและแท็ปหม้อแปลงด้วยวิธีการทางพันธุกรรม. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

ที่ อว ๖๙.๒.๑๓.๑/๗๘๙

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
๖๓ หมู่ ๔ ตำบลหนองหาร
อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
๕๐๒๙๐

๑๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๓

เรื่อง อนุญาตให้ใช้พื้นที่ศึกษาวิจัยการเก็บข้อมูลการให้แสงประดิษฐ์ กับต้นกัญชา

เรียน หัวหน้าศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อ้างถึง หนังสือศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ ศชช๑๘/๒๕๖๒ ลงวันที่ ๑๕ พฤศจิกายน ๒๕๖๒

ตามหนังสือที่อ้างถึงศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ขอศึกษาวิจัยการเก็บข้อมูลการให้แสงประดิษฐ์ กับต้นกัญชา ของนายจุลพัฒน์ ไม้แก้วธนวัฒน์ นิสิตระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งกำลังศึกษาในระดับวิทยานิพนธ์ ที่เกี่ยวกับการใช้แสงประดิษฐ์ในการปลูกกัญชา เพื่อพัฒนาการออกแบบ เทคนิคการสะท้อนแสง และระบบการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้อง ความละเอียดแจ้งแล้ว นั้น

มหาวิทยาลัยแม่โจ้พิจารณาแล้วเห็นชอบให้นายจุลพัฒน์ ไม้แก้วธนวัฒน์ เข้าร่วมดำเนินการวิจัยร่วมกับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริตา นาเทเวศน์ หัวหน้าโครงการวิจัยการศึกษาการตอบสนองต่ออิทธิพลของแสงและการแสดงออกทางพันธุกรรมของสายพันธุ์กัญชา ภายใต้การอนุญาตผลิตซึ่งยาเสพติดให้โทษประเภท ๕ ตามหนังสือสำคัญที่ ๗/๒๕๖๒ (ปลูก)

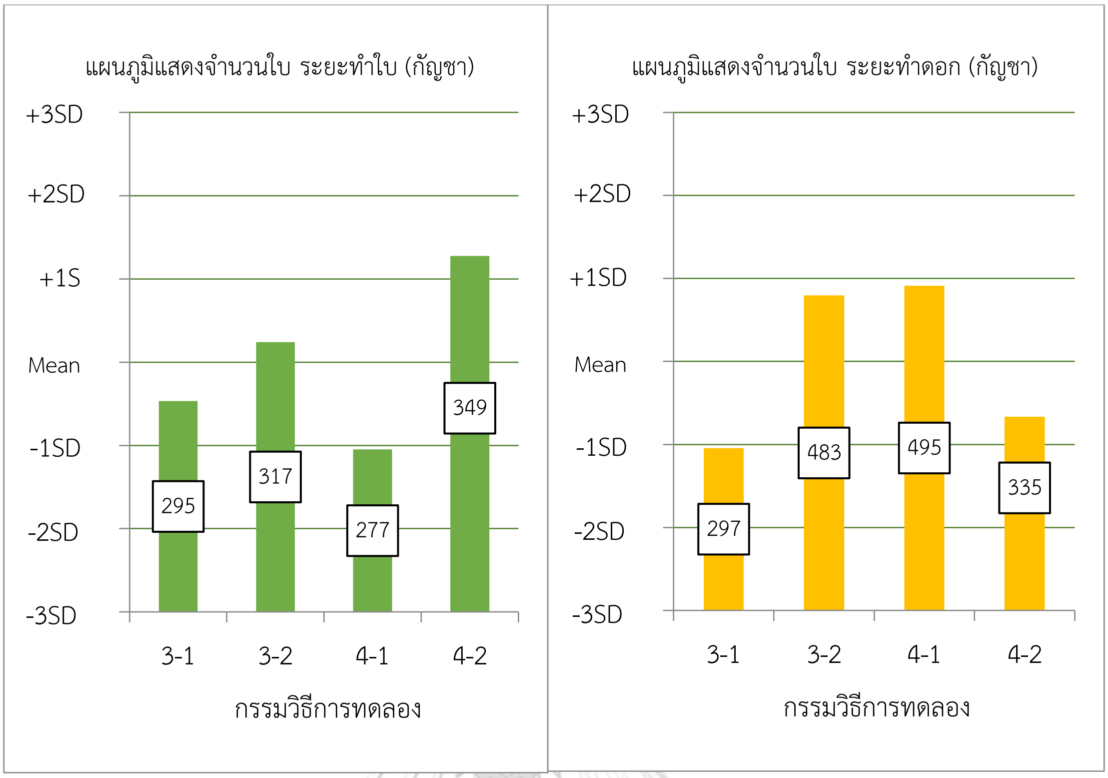
จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

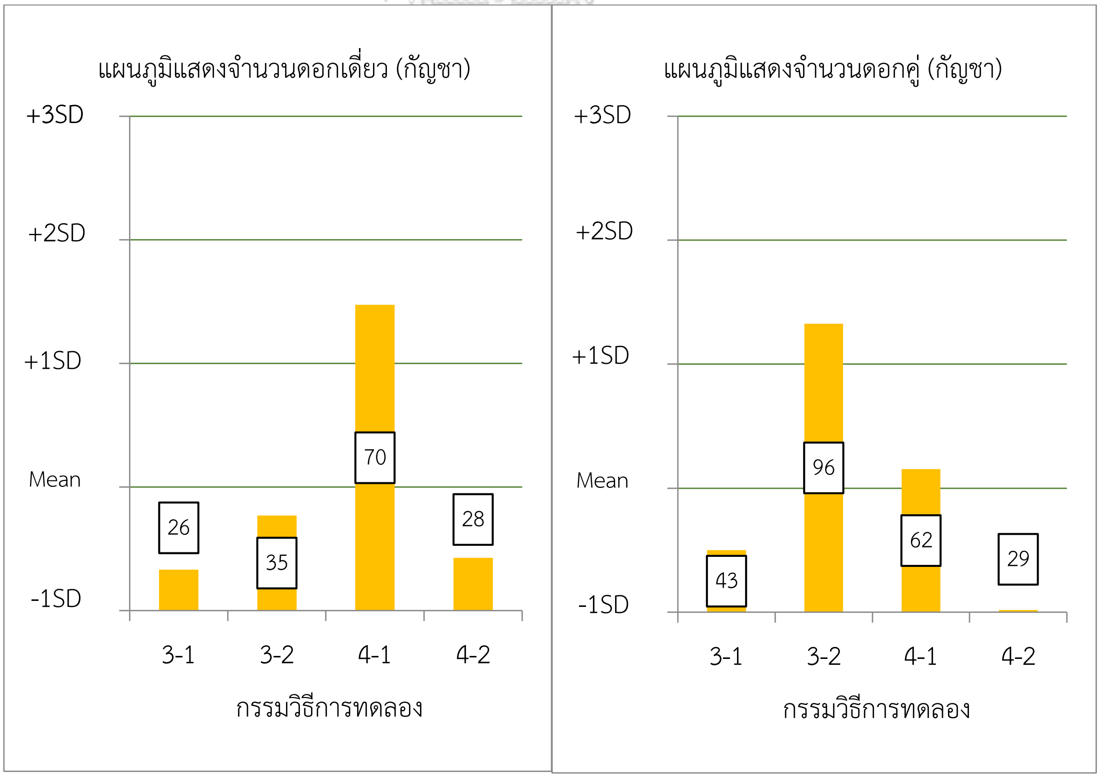
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพล ทองมา)
รักษาการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

สำนักงานมหาวิทยาลัย
กองบริหารงานทรัพย์สินและกิจการพิเศษ
โทรศัพท์ ๐ ๕๓๘๗ ๕๖๙๐-๒
โทรสาร ๐ ๕๓๘๗ ๕๖๙๓

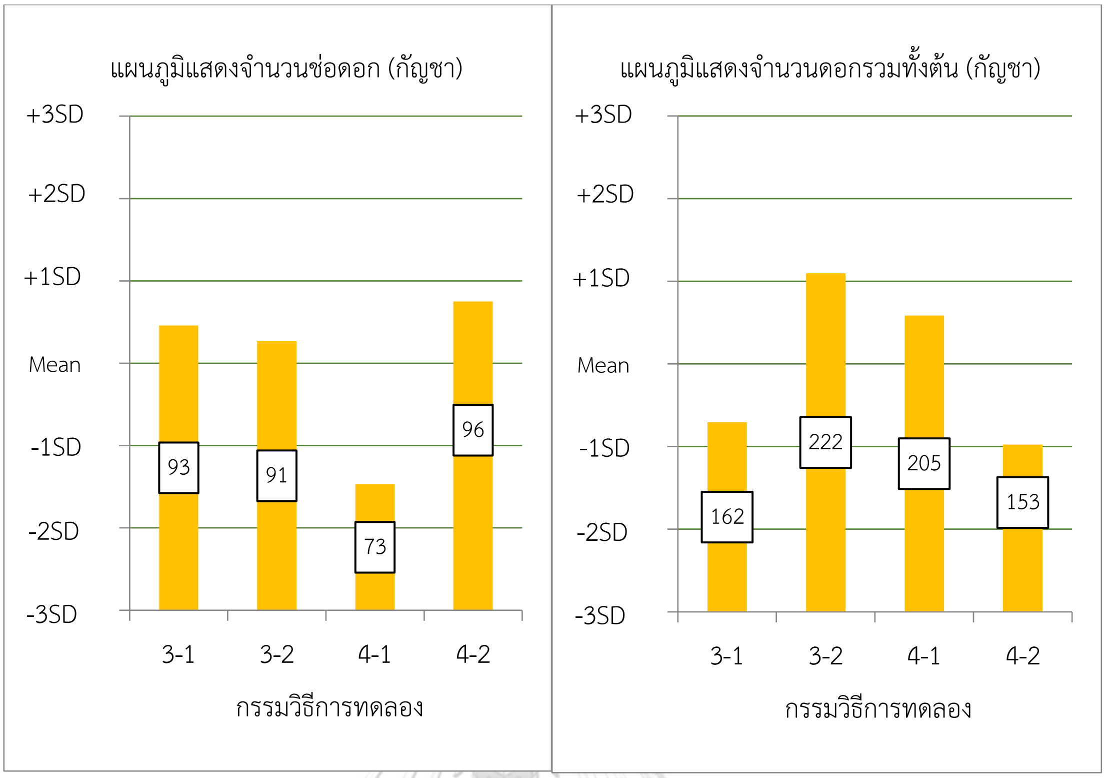
ภาพที่ 47 เอกสารได้รับความอนุเคราะห์เข้าใช้พื้นที่ปฏิบัติการและตัวอย่างต้นกัญชา



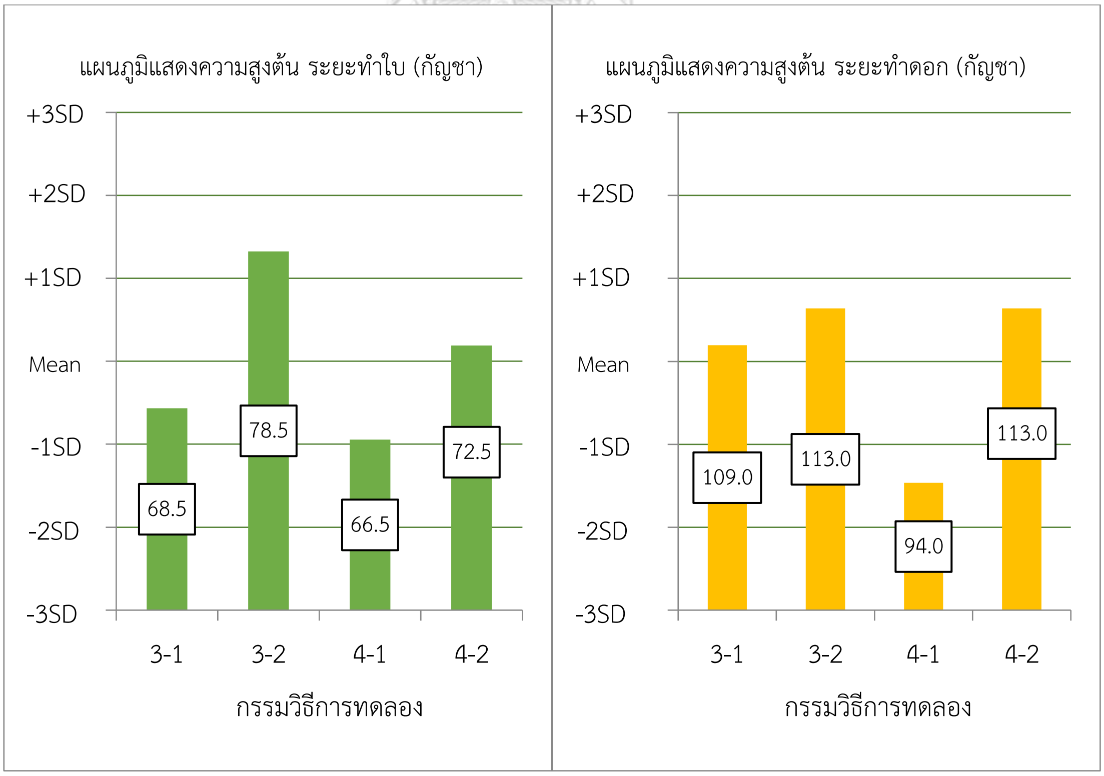
ภาพที่ 48 แผนภูมิแสดงจำนวนใบ ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา)



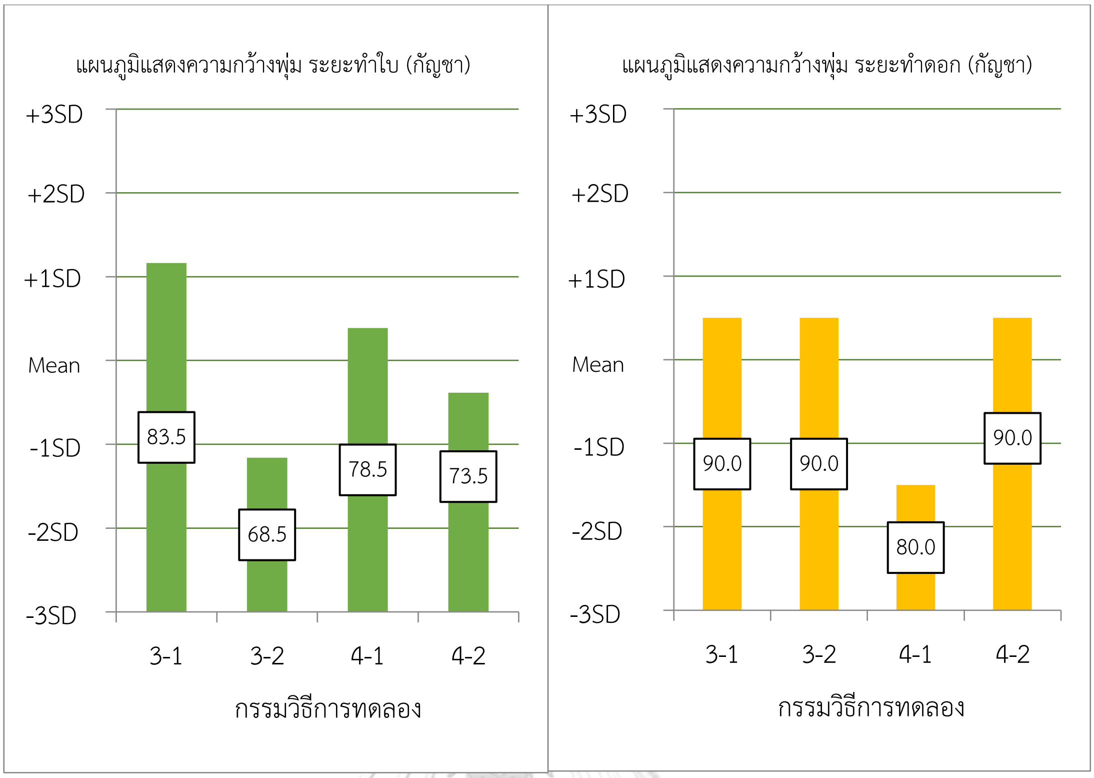
ภาพที่ 49 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกเดี่ยวและดอกคู่ ระยะทำดอก (กัญชา)



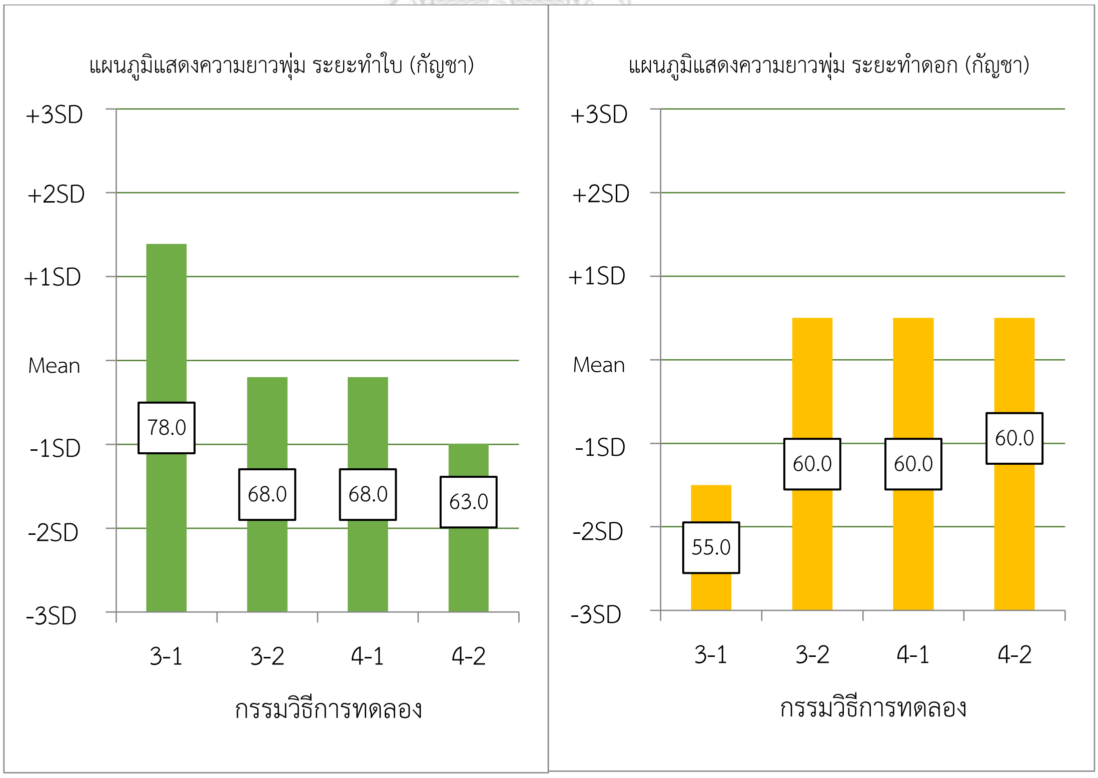
ภาพที่ 50 แผนภูมิแสดงจำนวนช่อดอกและดอกรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (กัญชา)



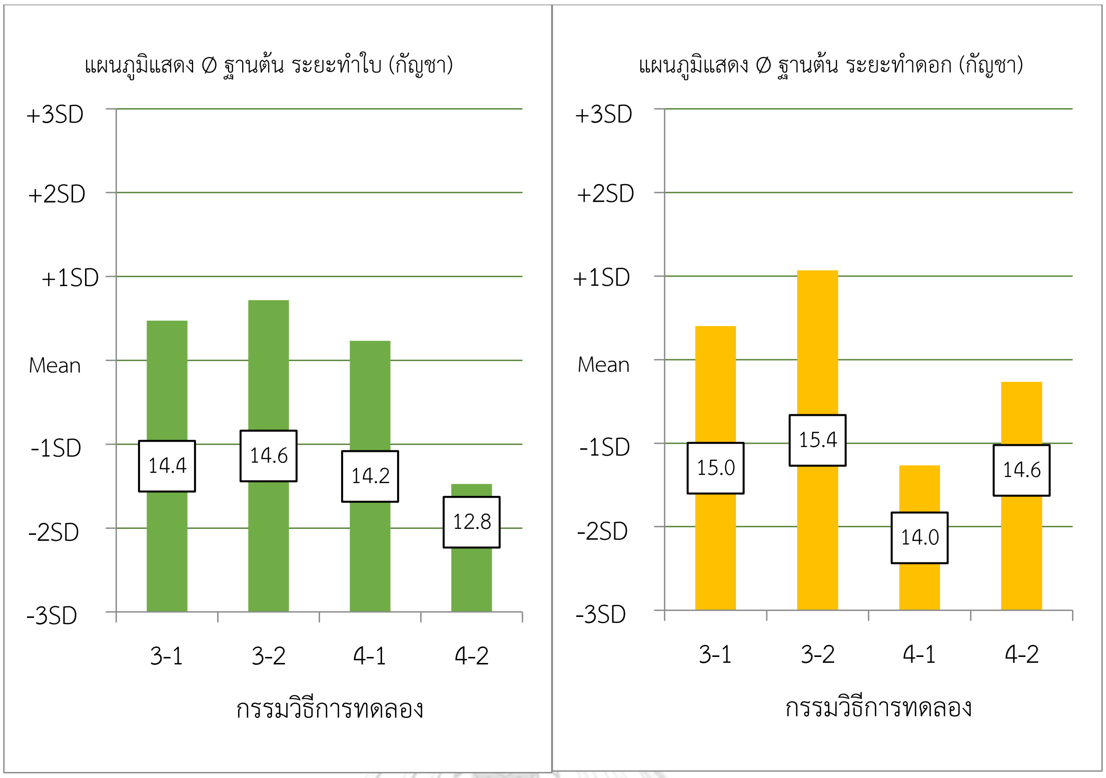
ภาพที่ 51 แผนภูมิแสดงความสูงต้น ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา)



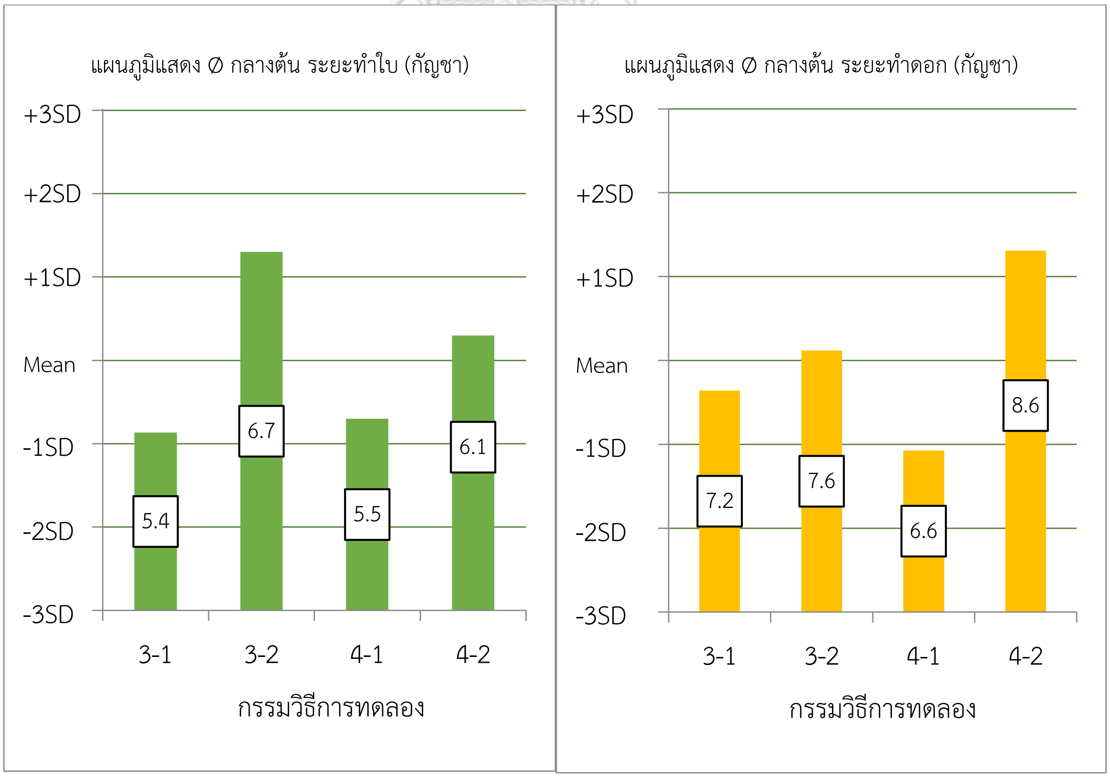
ภาพที่ 52 แผนภูมิแสดงความกว้างพุ่ม ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา)



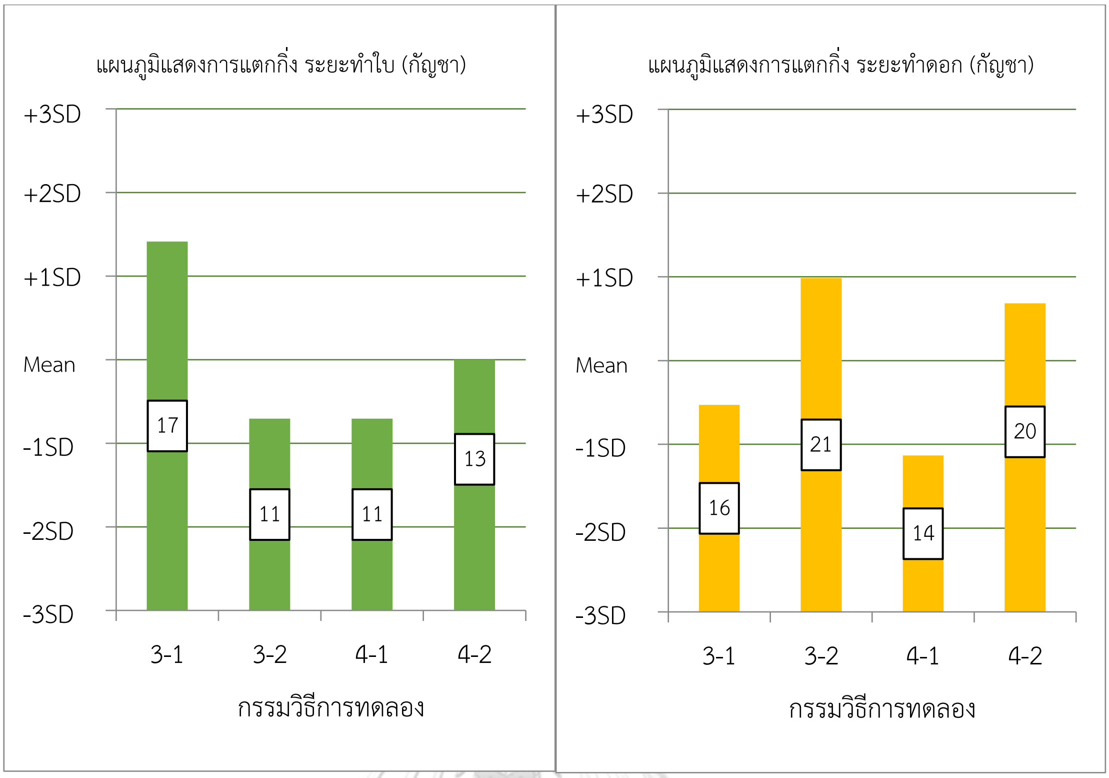
ภาพที่ 53 แผนภูมิแสดงความยาวพุ่ม ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา)



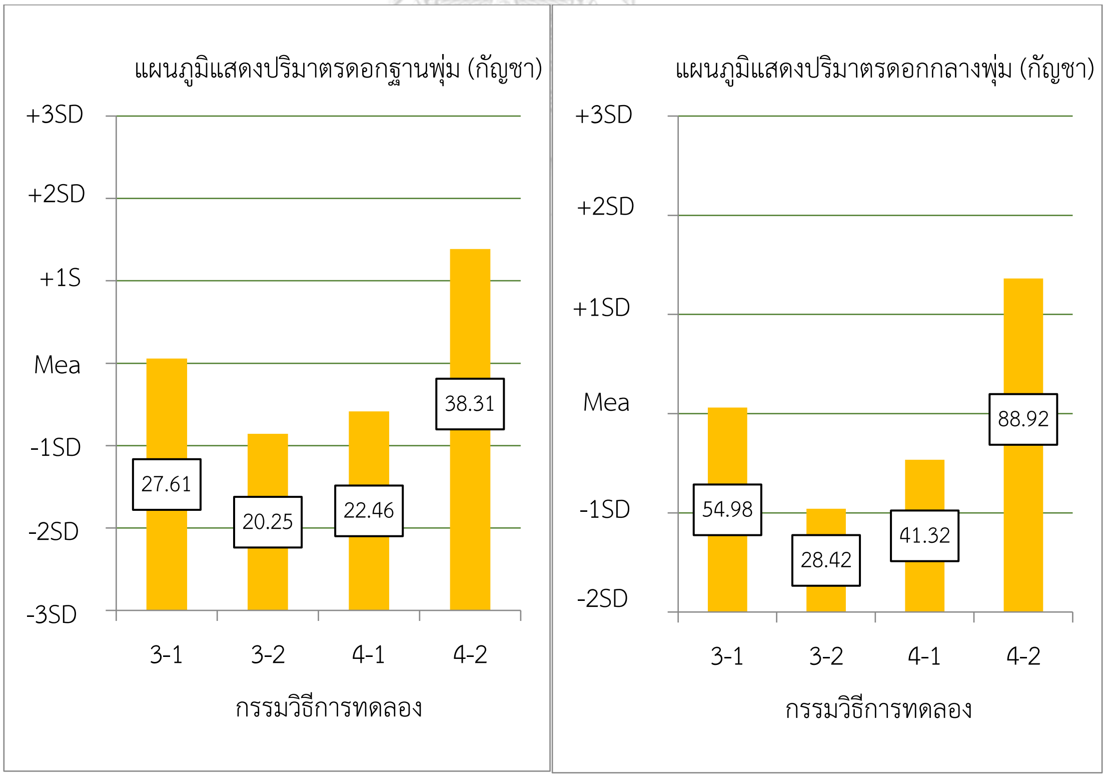
ภาพที่ 54 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางฐานต้น ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา)



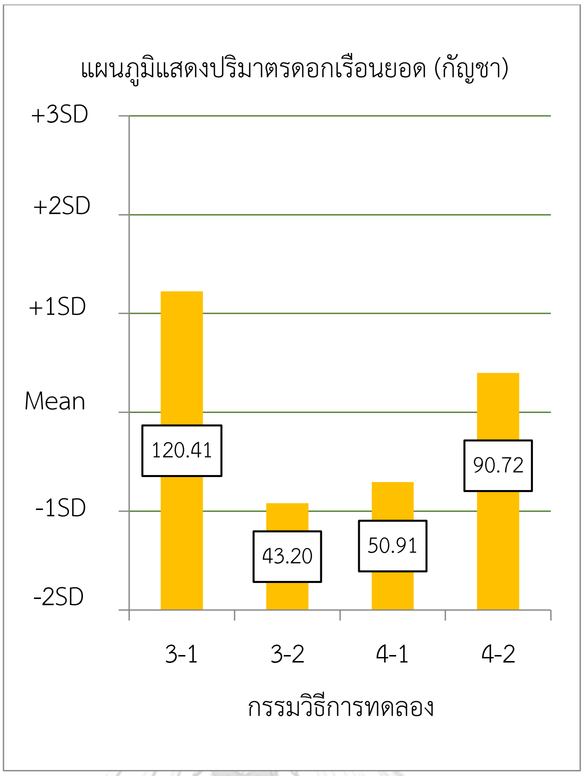
ภาพที่ 55 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางกลางต้น ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา)



ภาพที่ 56 แผนภูมิแสดงการแตกกิ่ง ระยะทำใบและระยะทำดอก (กัญชา)

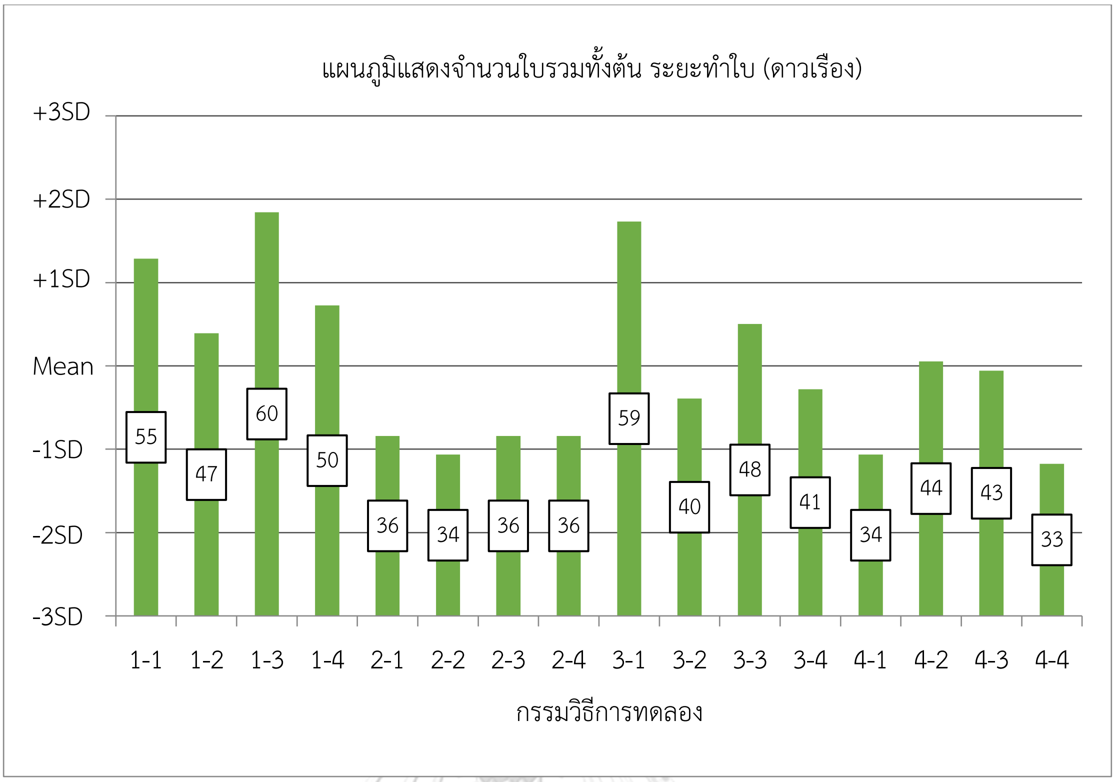


ภาพที่ 57 แผนภูมิแสดงปริมาตรดอกฐานพุ่มและกลางพุ่ม ระยะทำดอก (กัญชา)

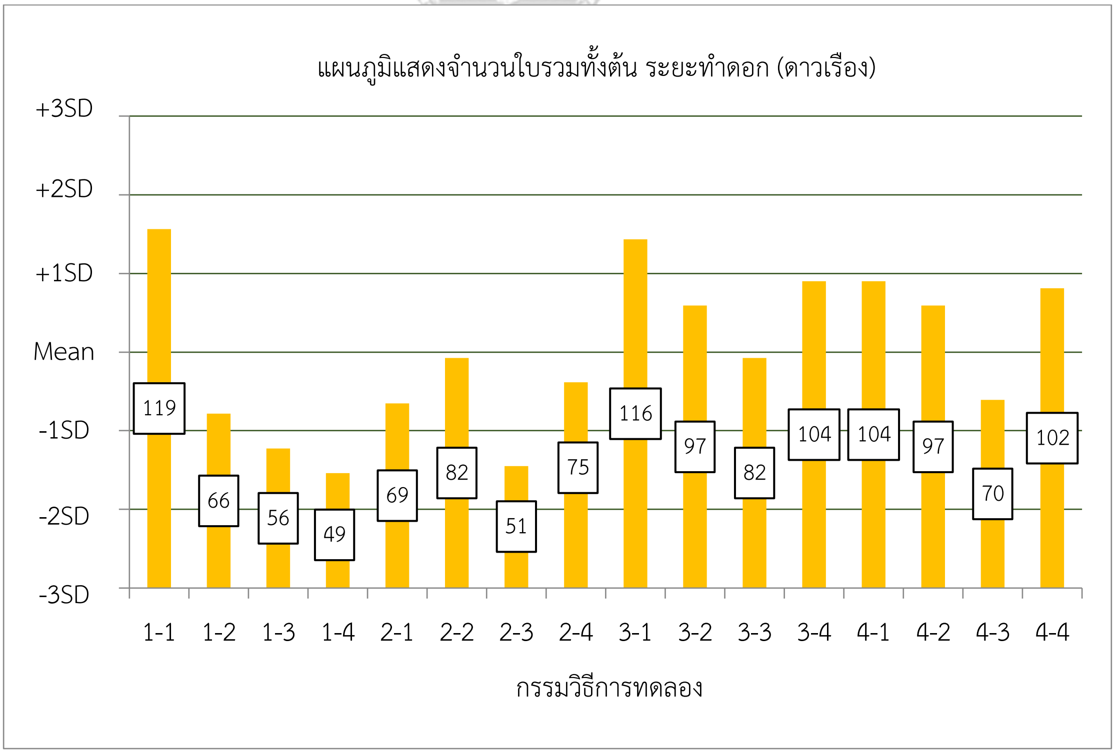


ภาพที่ 58 แผนภูมิแสดงปริมาตรดอกเรือนยอด ระยะทำดอก (กัญชา)

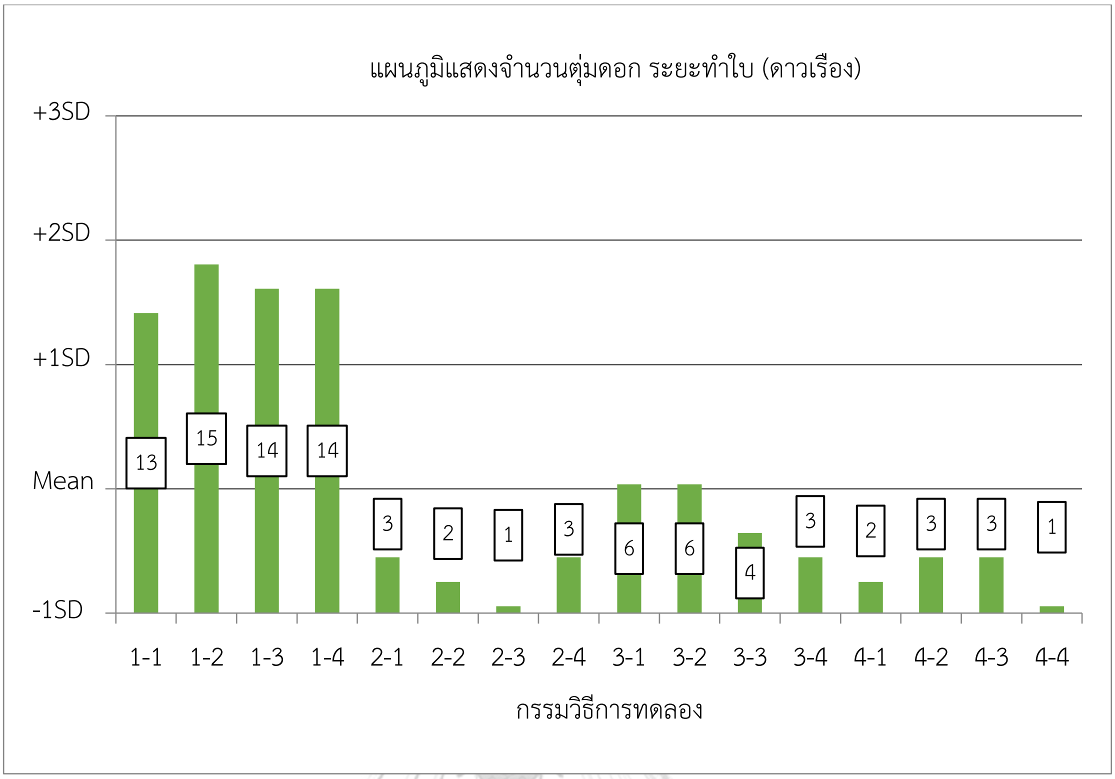
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



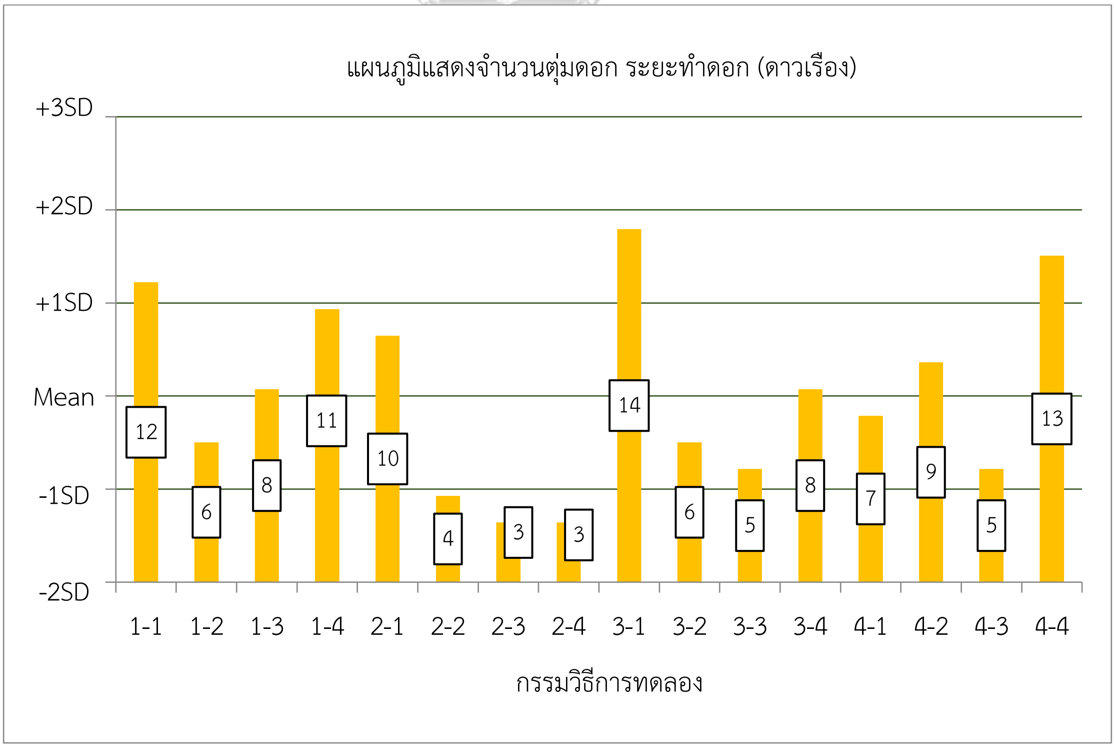
ภาพที่ 59 แผนภูมิแสดงจำนวนใบรวมทั้งต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



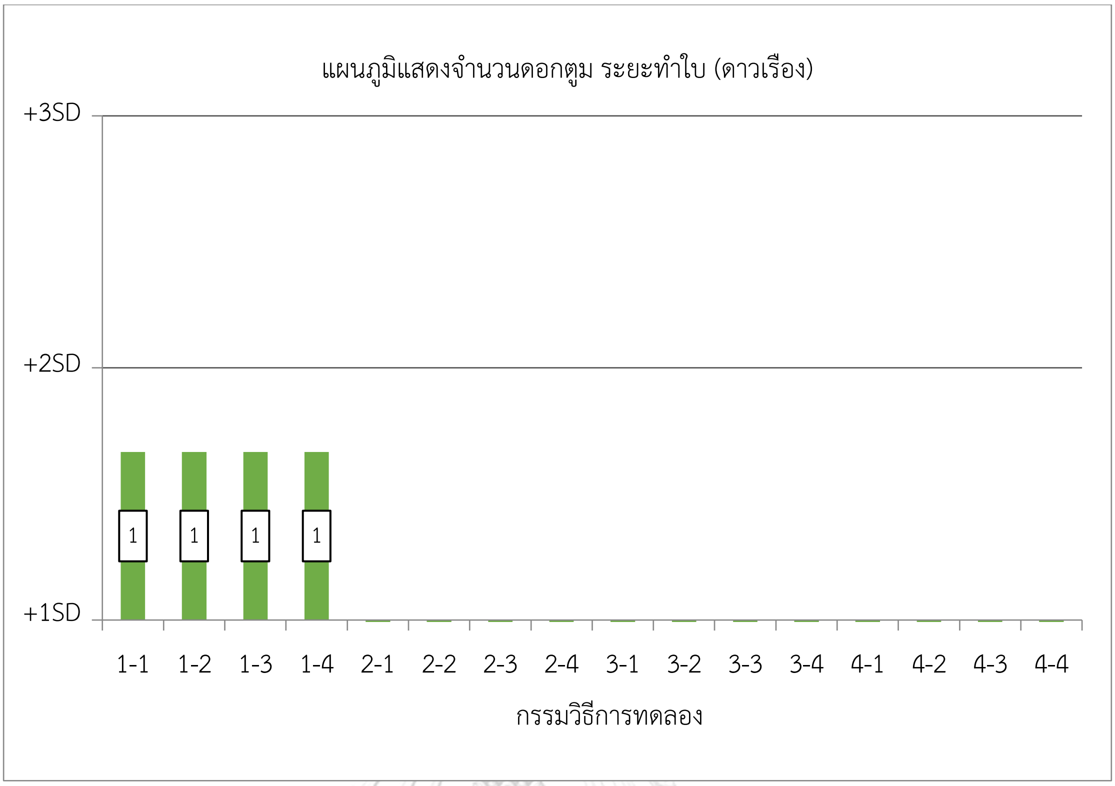
ภาพที่ 60 แผนภูมิแสดงจำนวนใบรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



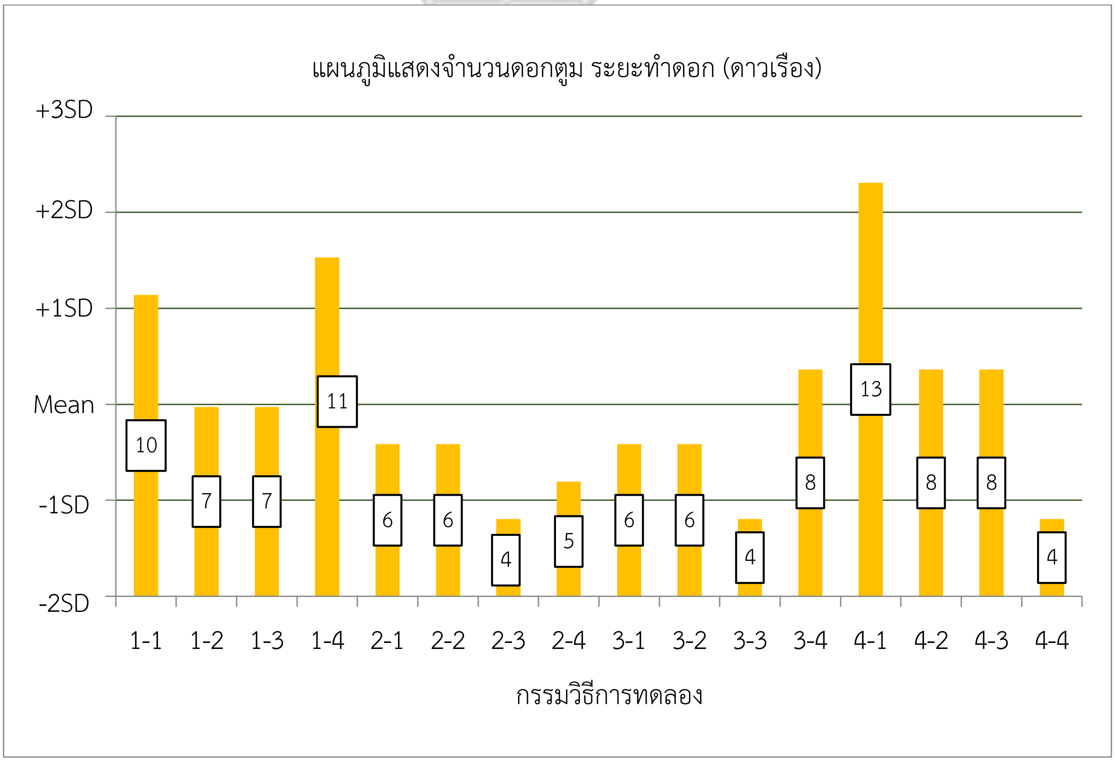
ภาพที่ 61 แผนภูมิแสดงจำนวนตุ่มดอก ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



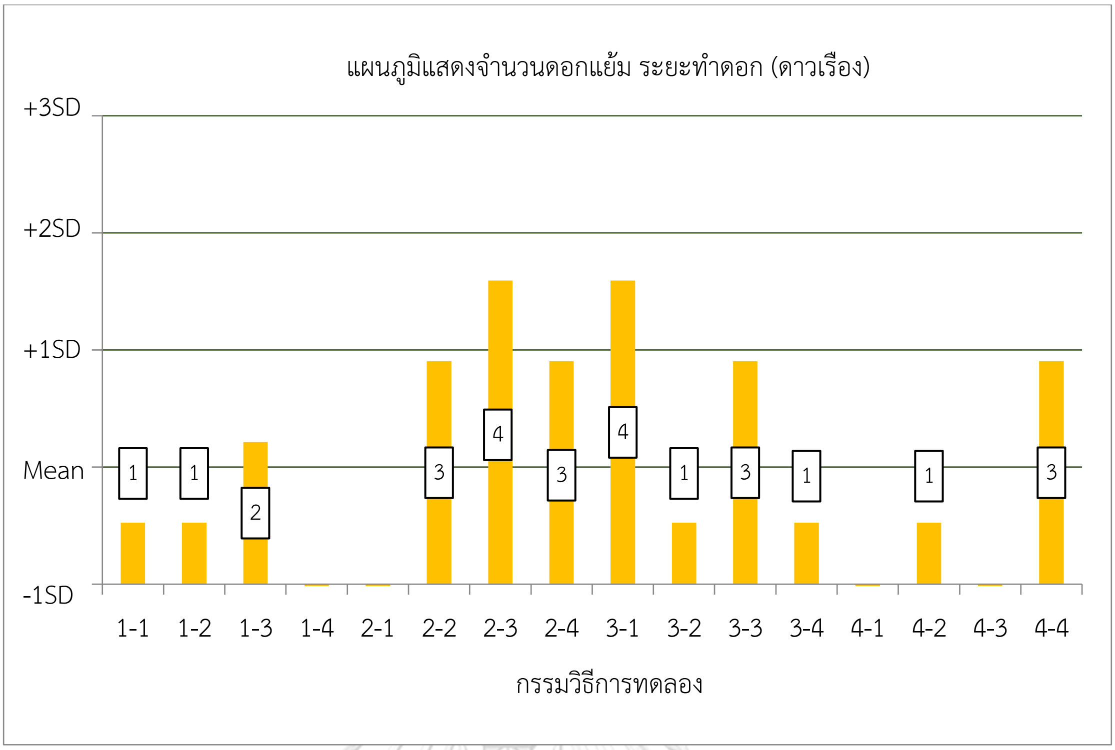
ภาพที่ 62 แผนภูมิแสดงจำนวนตุ่มดอก ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



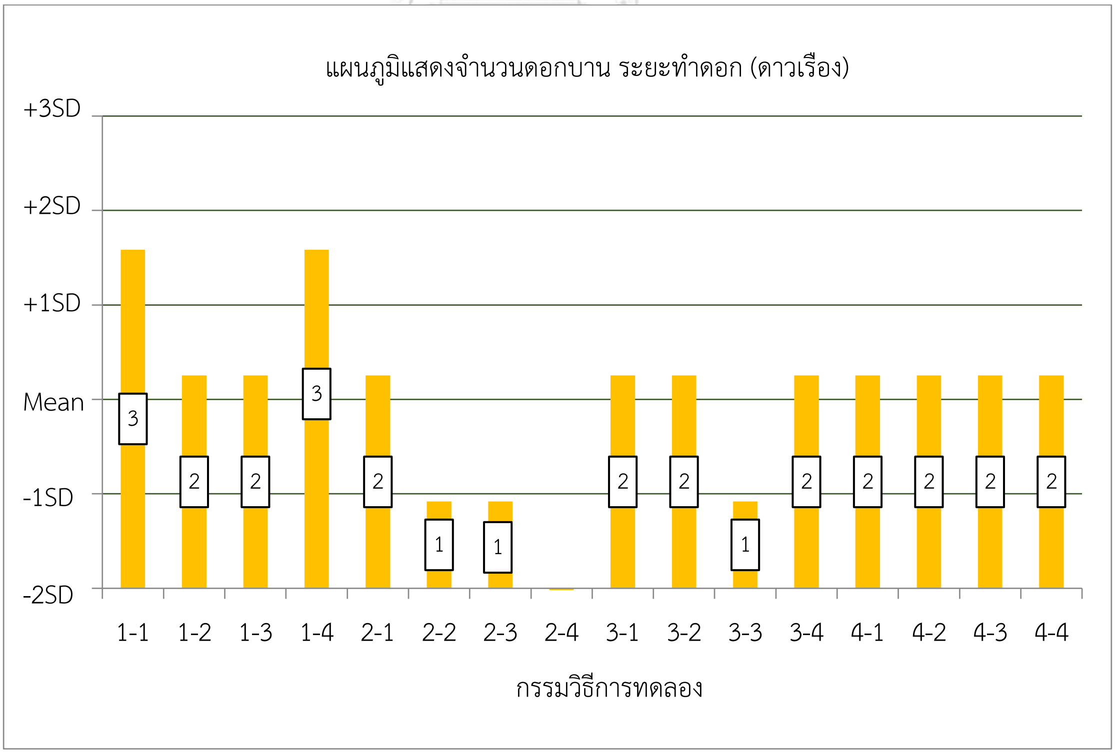
ภาพที่ 63 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกตูม ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



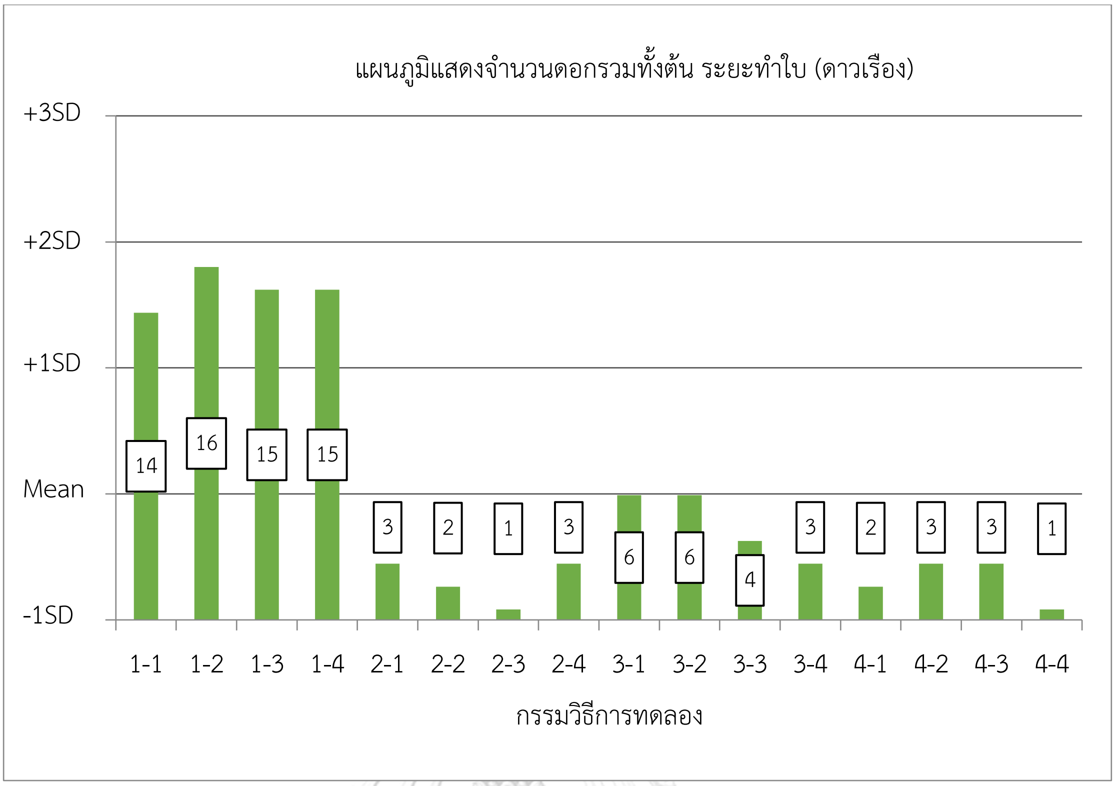
ภาพที่ 64 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกตูม ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



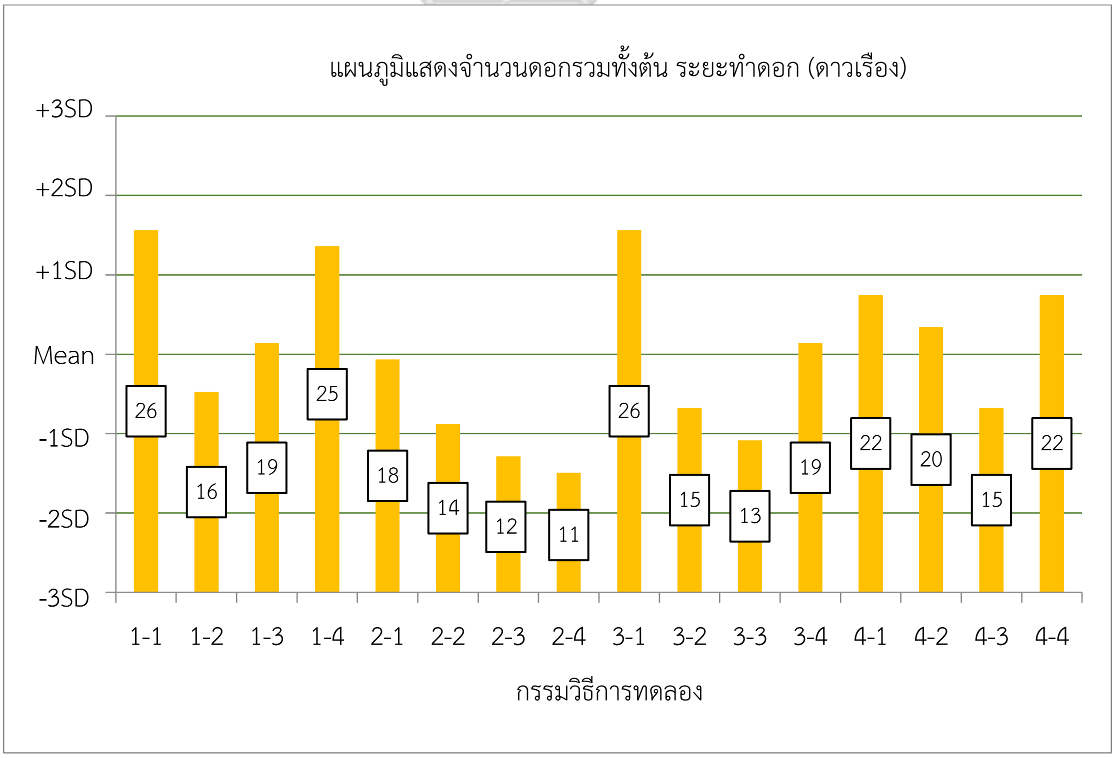
ภาพที่ 65 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกแย้ม ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



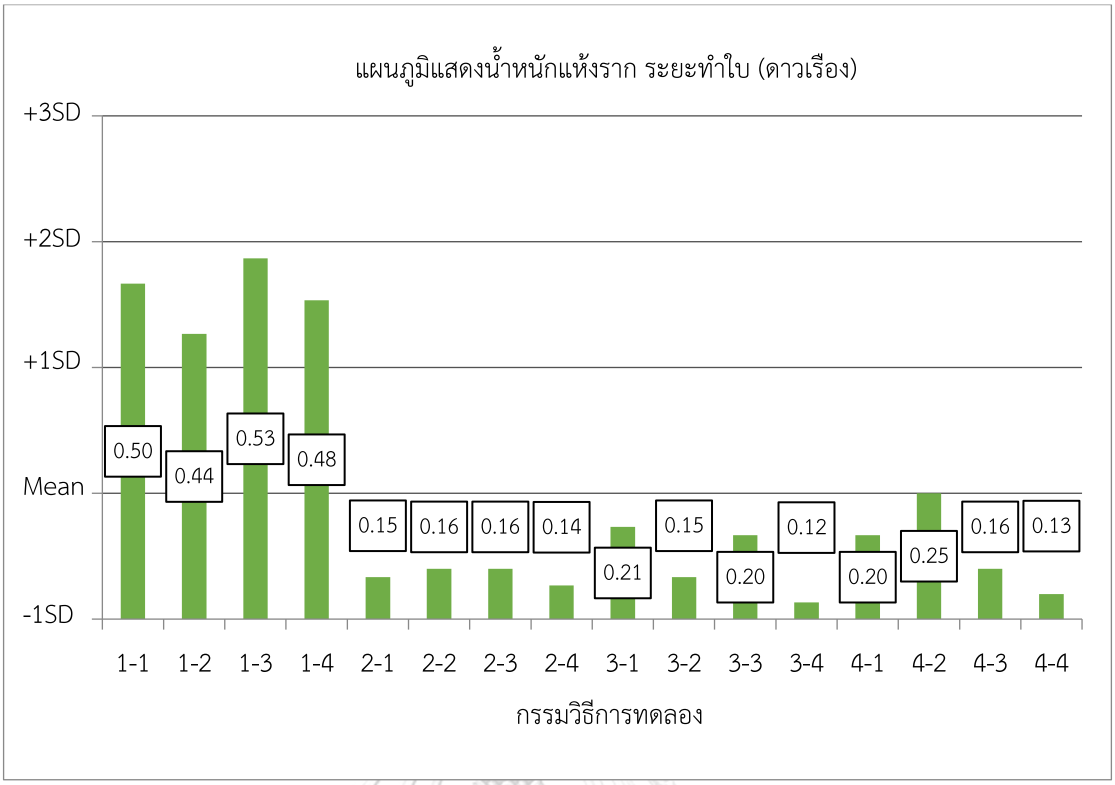
ภาพที่ 66 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกบาน ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



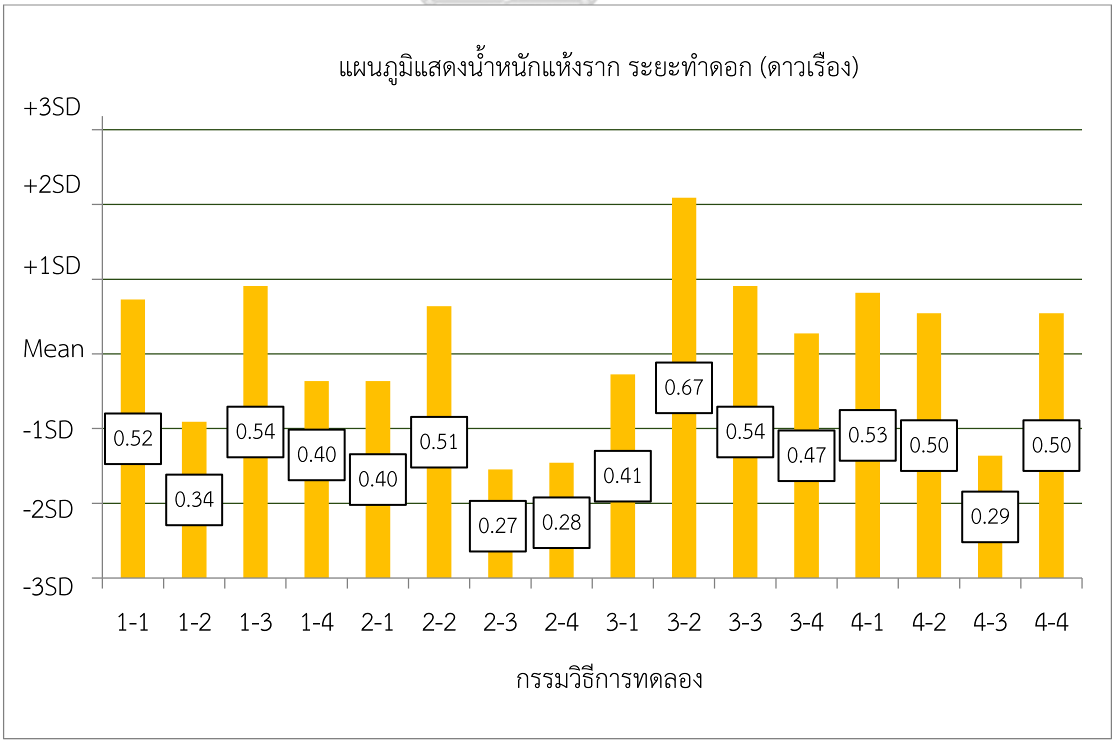
ภาพที่ 67 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกรวมทั้งต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



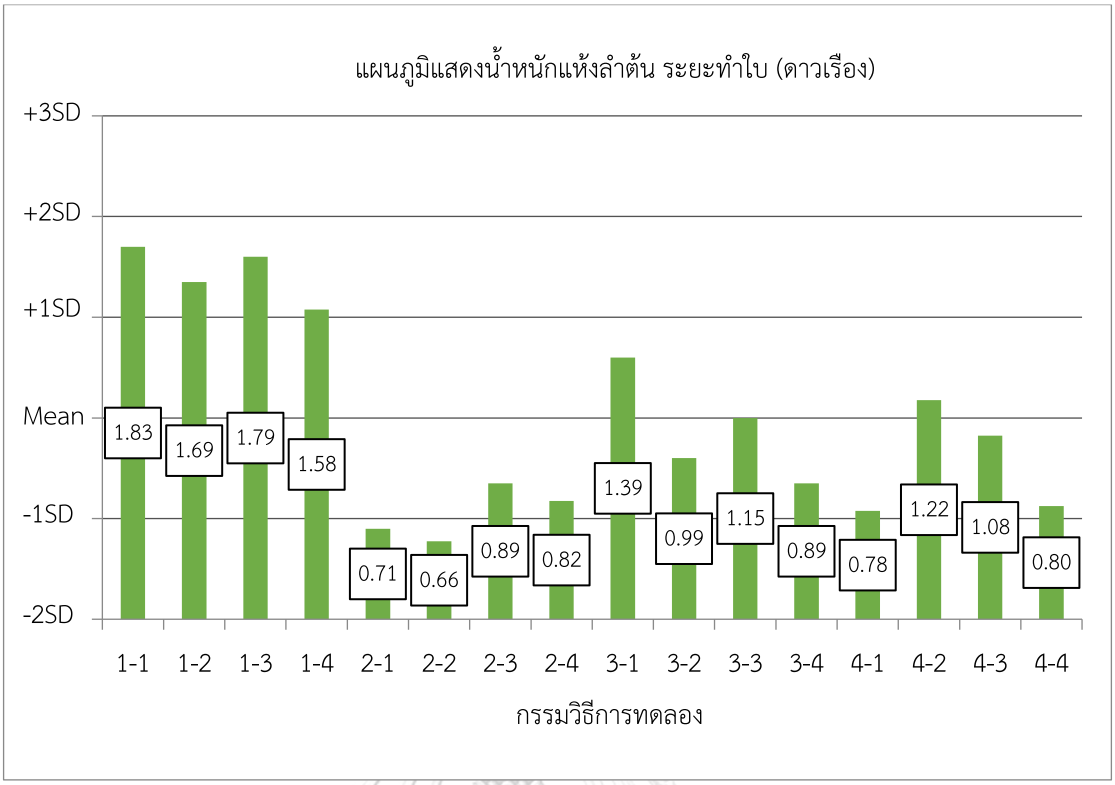
ภาพที่ 68 แผนภูมิแสดงจำนวนดอกรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



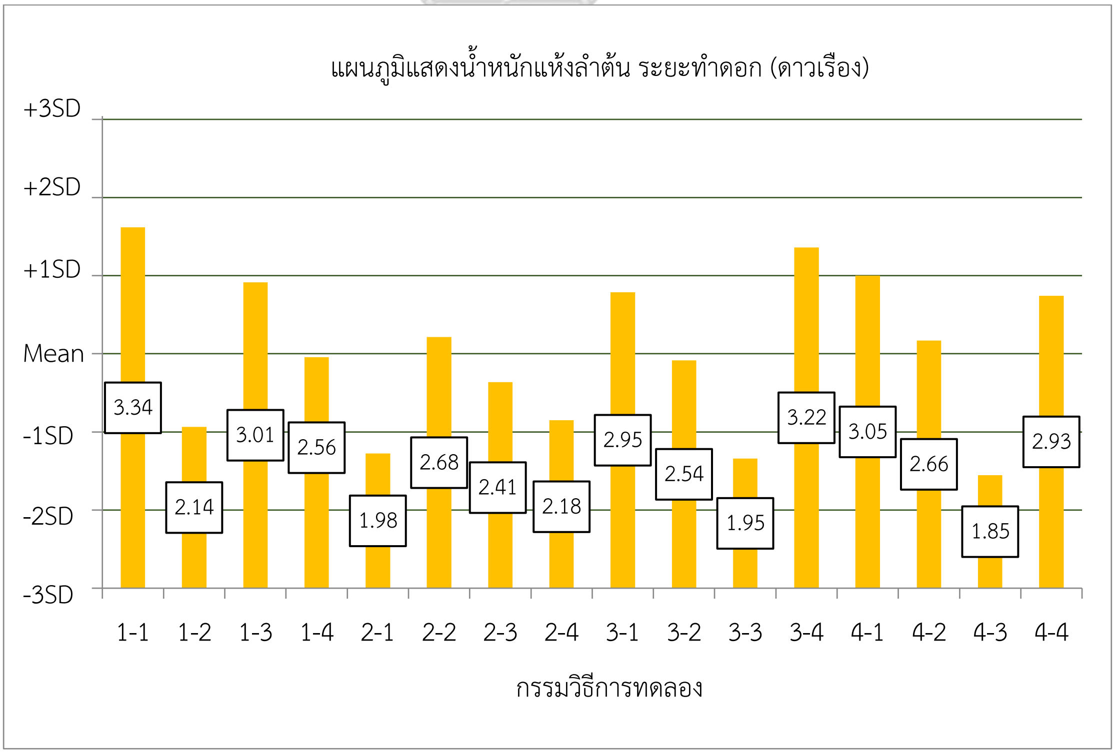
ภาพที่ 69 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งราก ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



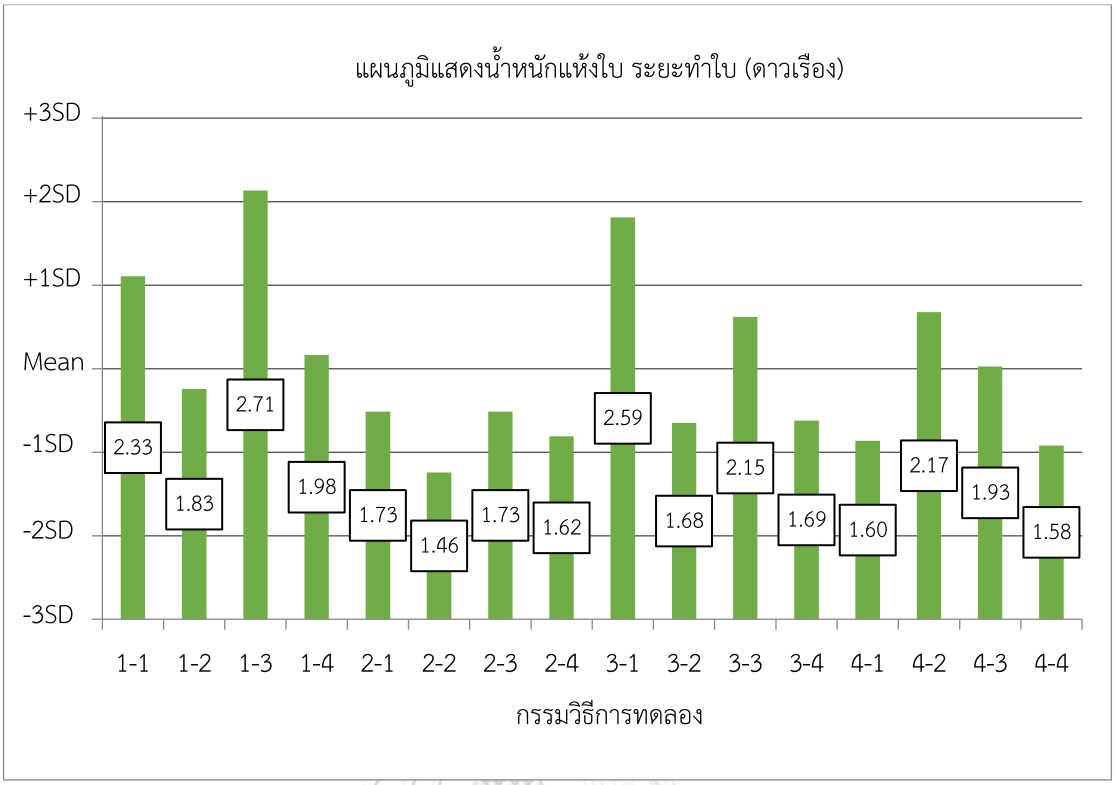
ภาพที่ 70 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งราก ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



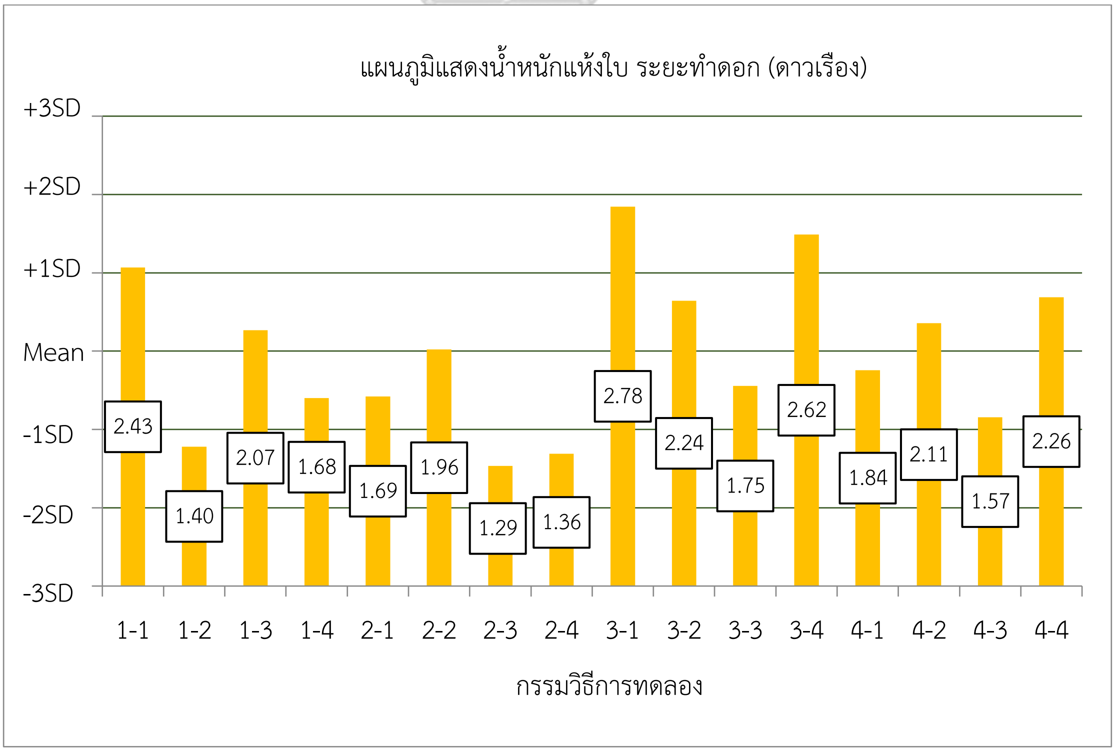
ภาพที่ 71 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งลำต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



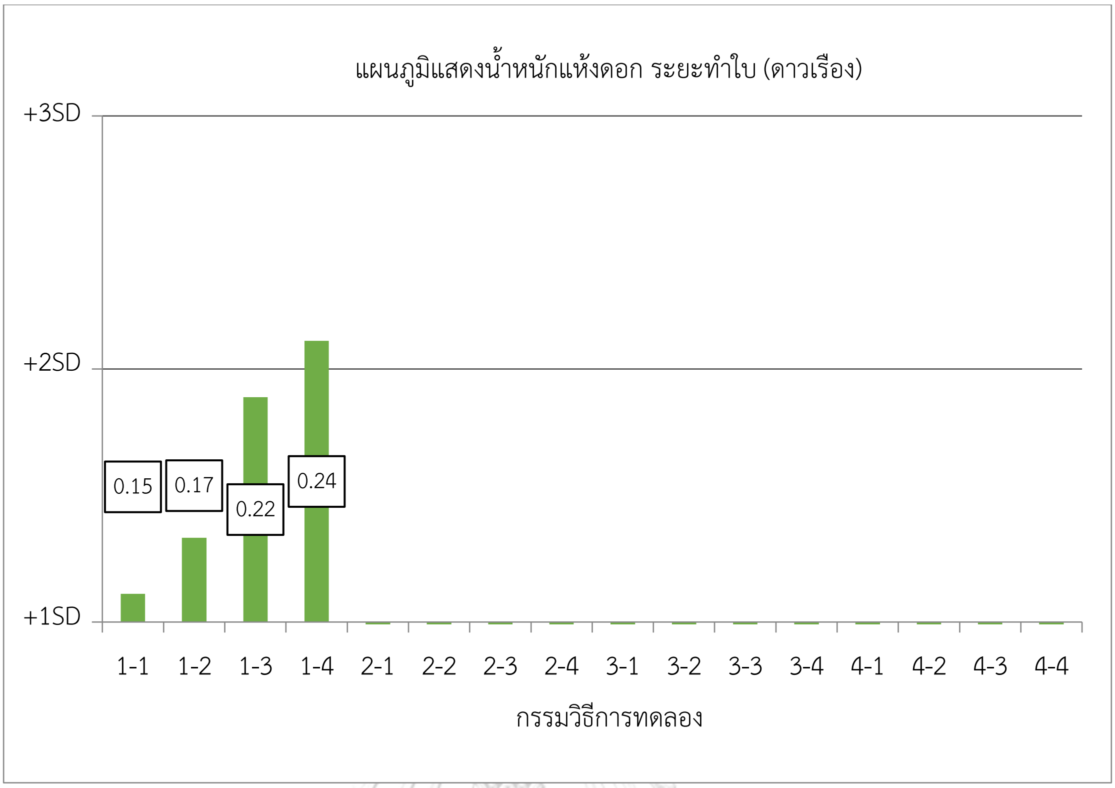
ภาพที่ 72 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งลำต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



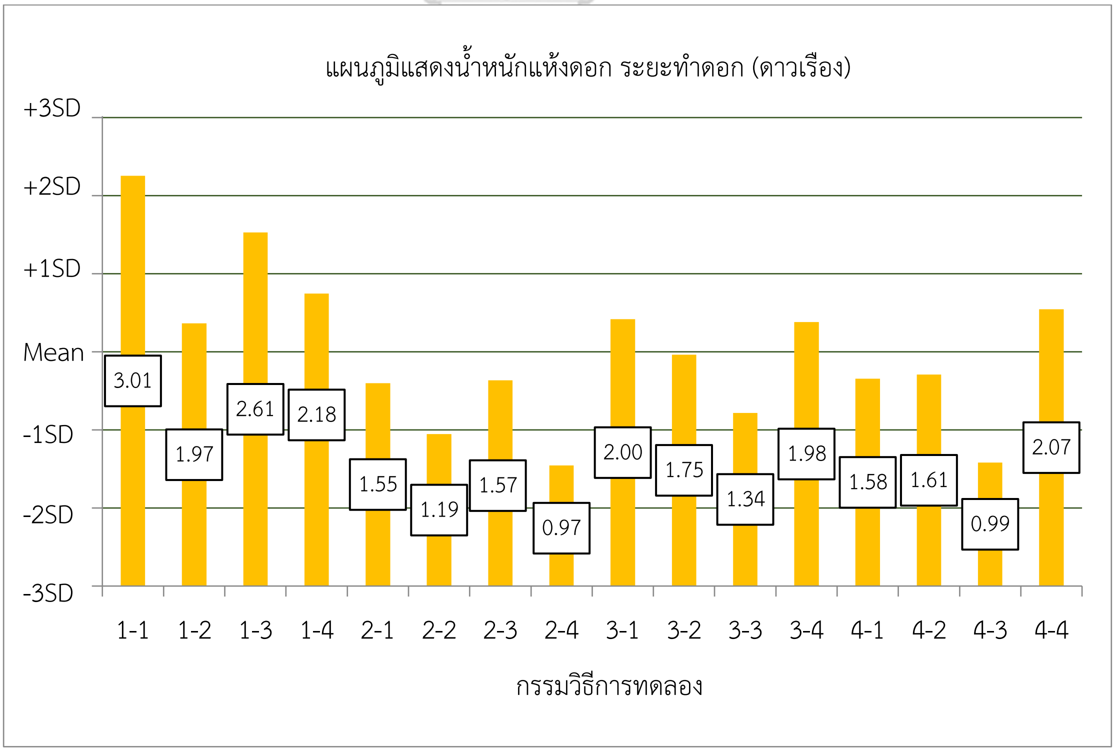
ภาพที่ 73 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งใบ ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



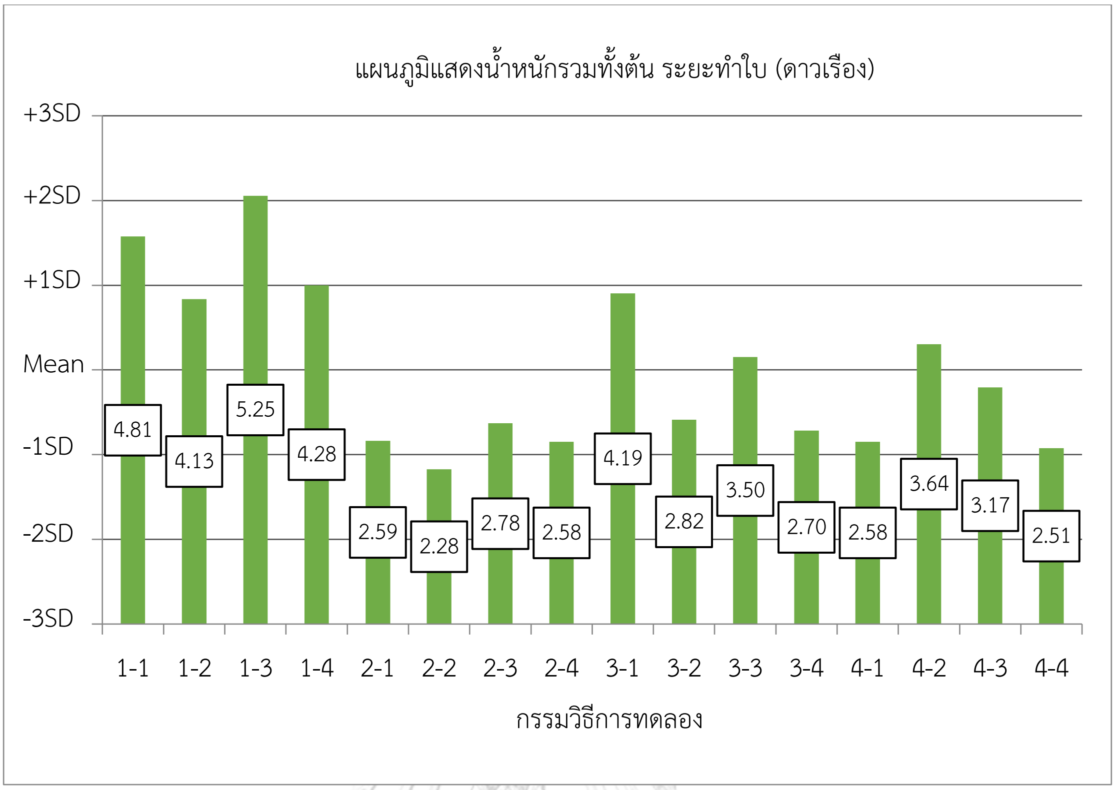
ภาพที่ 74 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งใบ ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



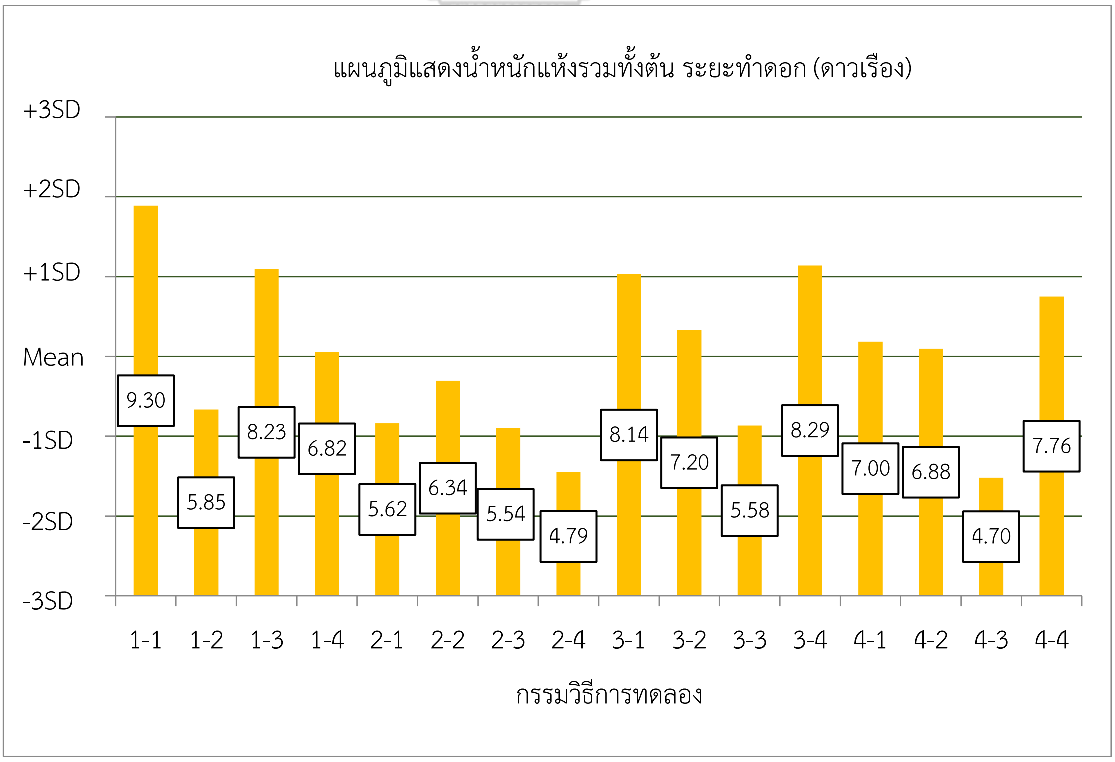
ภาพที่ 75 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งดอก ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



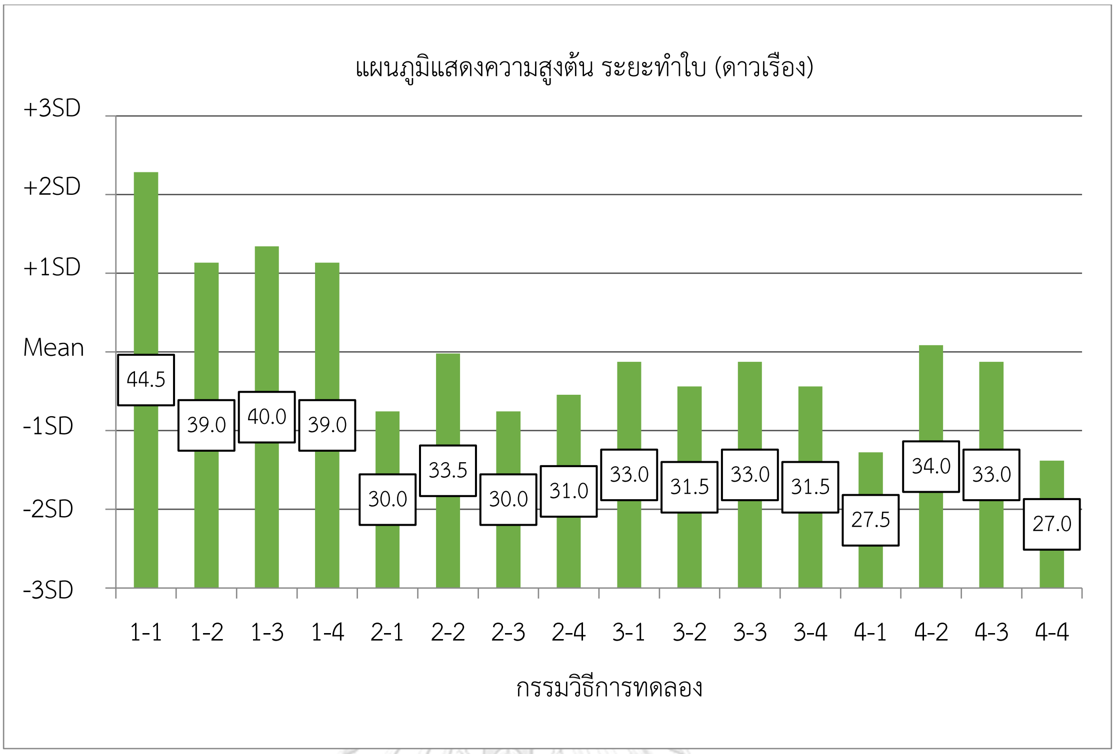
ภาพที่ 76 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งดอก ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



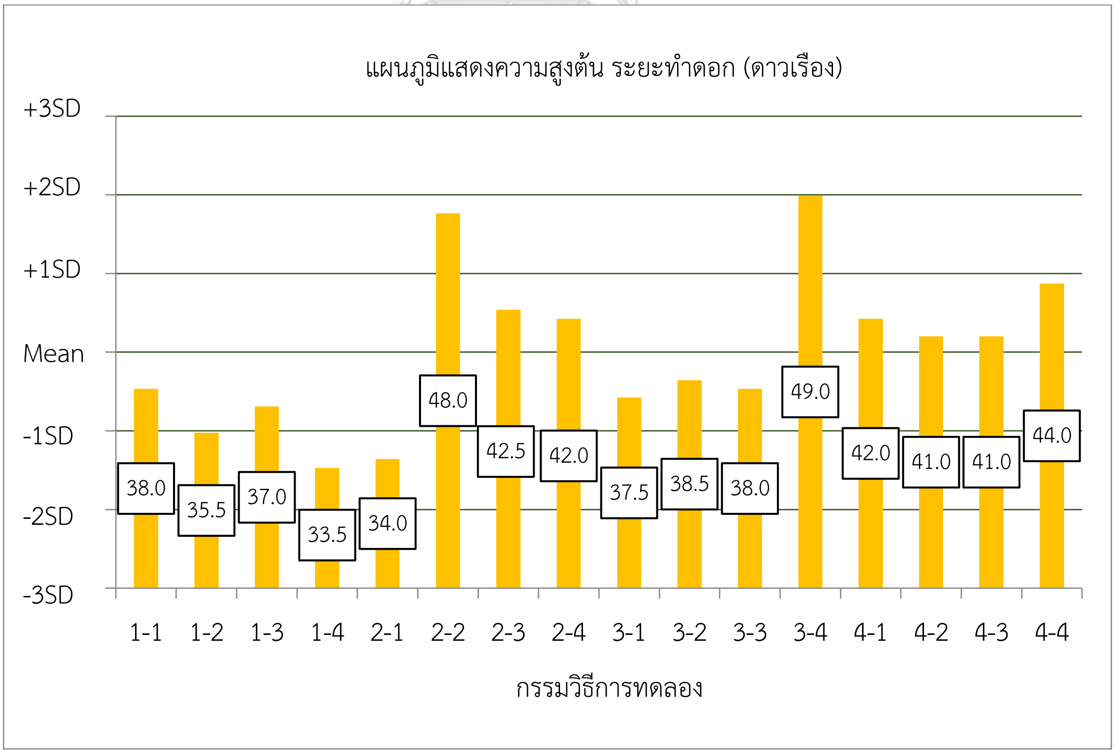
ภาพที่ 77 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



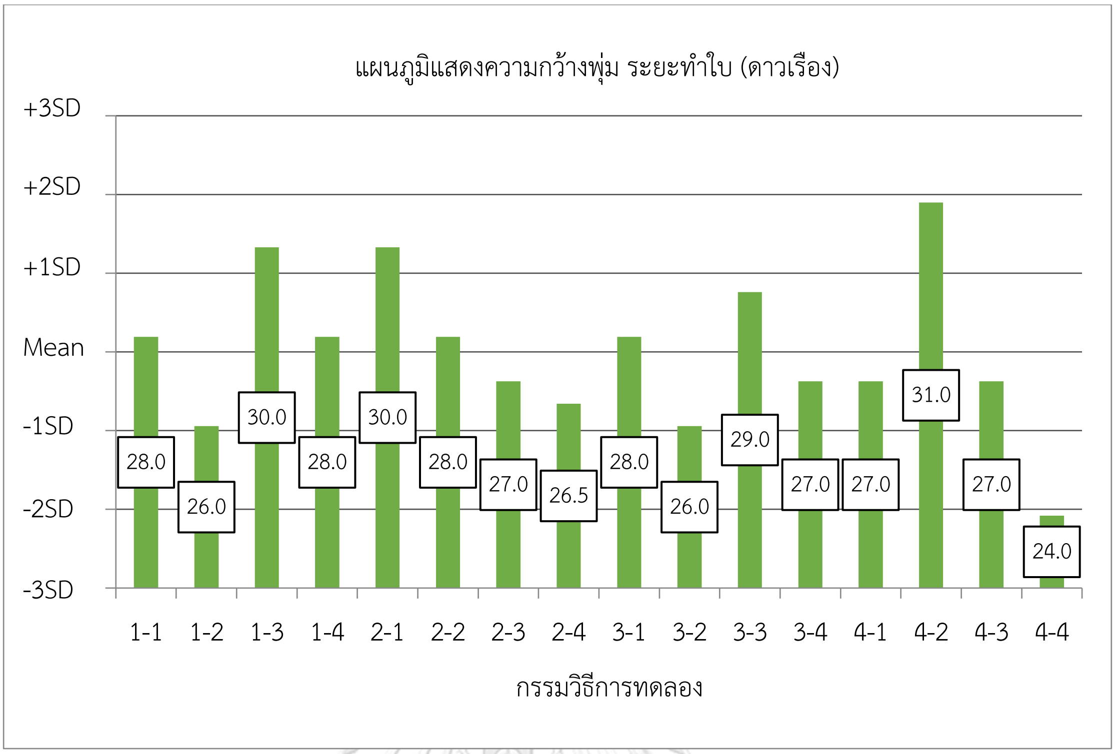
ภาพที่ 78 แผนภูมิแสดงน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



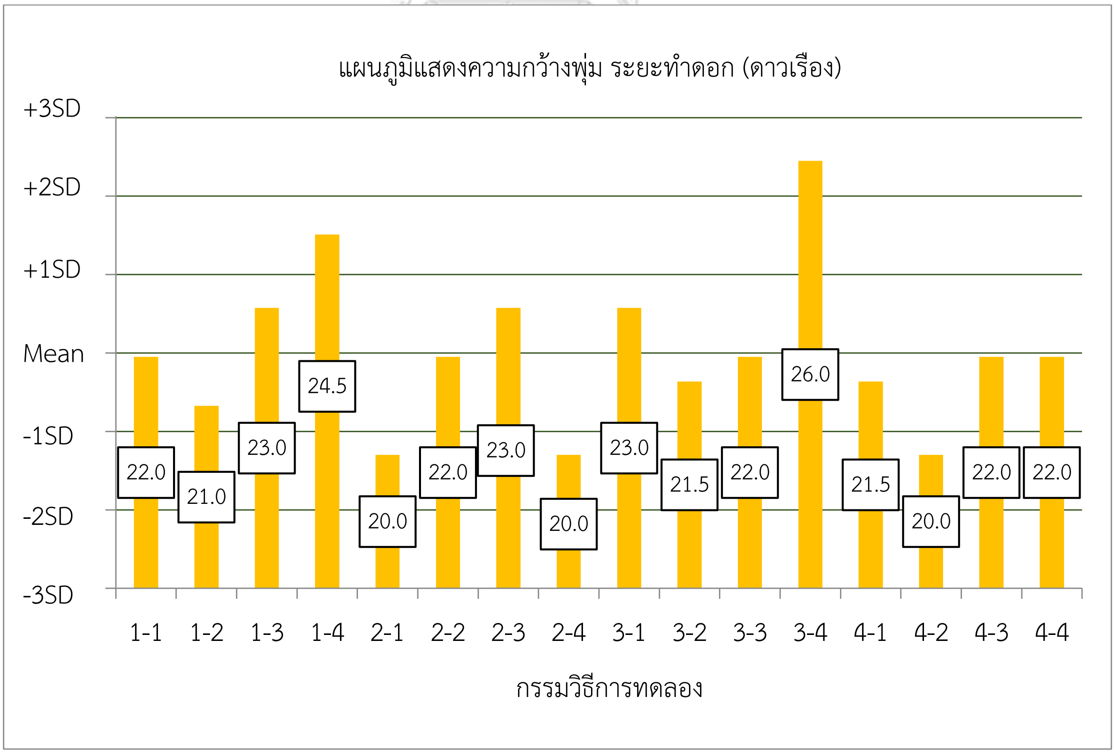
ภาพที่ 79 แผนภูมิแสดงความสูงต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



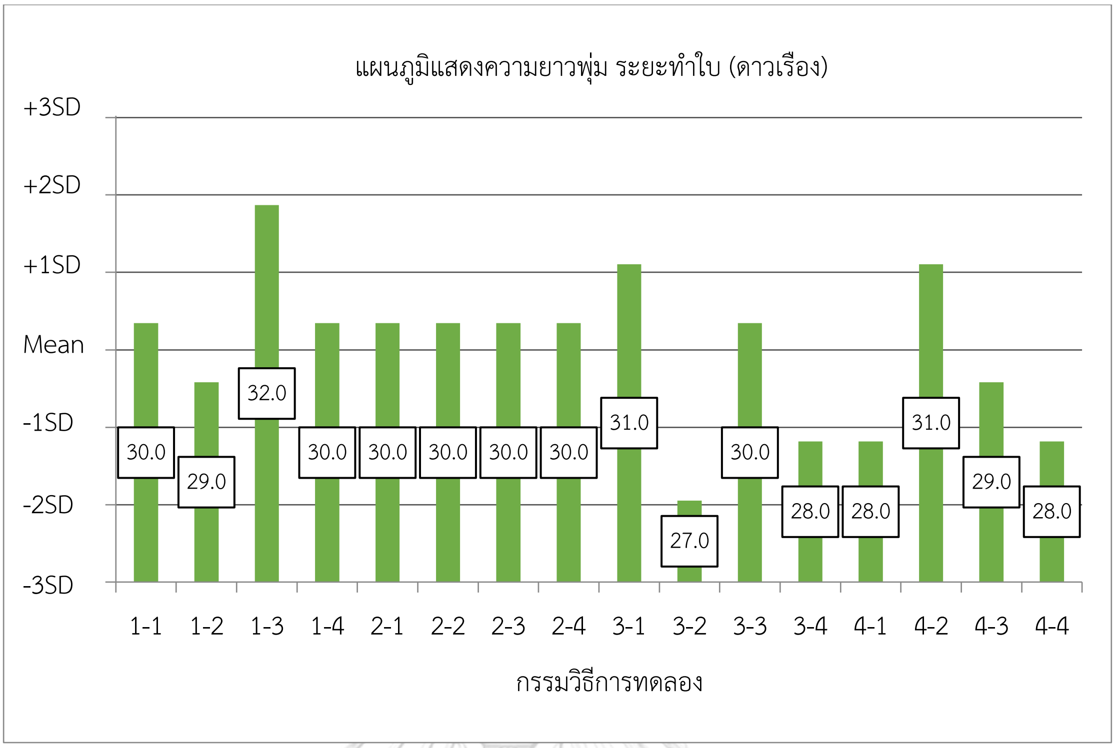
ภาพที่ 80 แผนภูมิแสดงความสูงต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



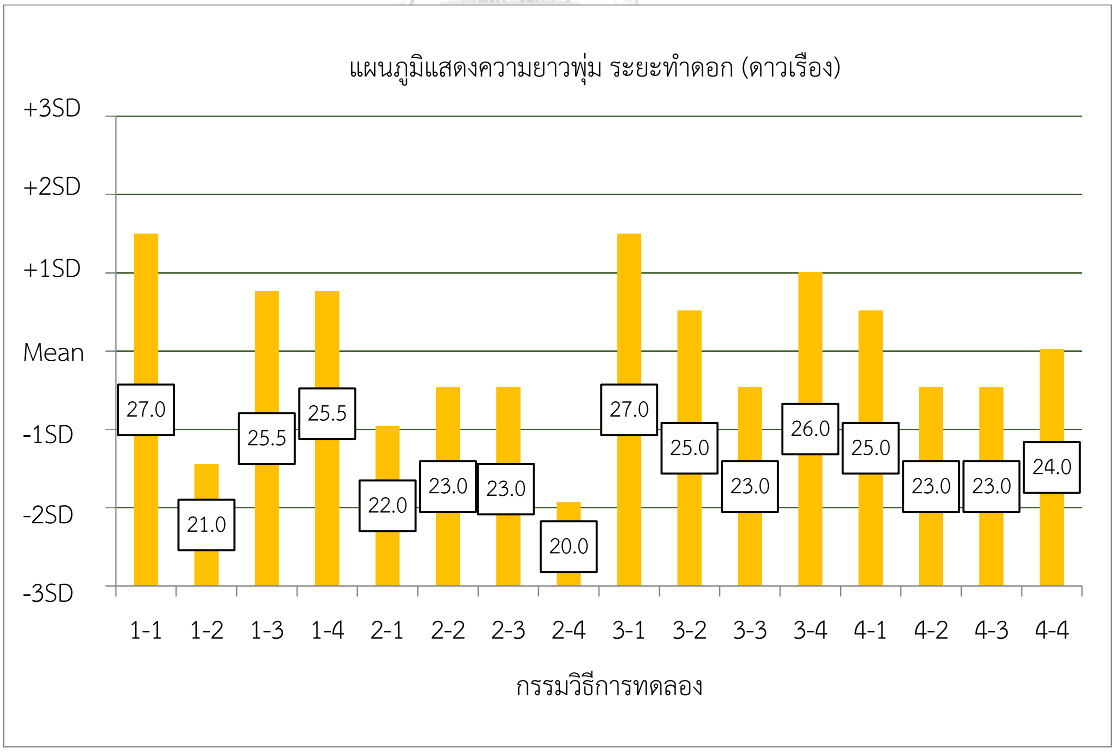
ภาพที่ 81 แผนภูมิแสดงความกว้างพุ่ม ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



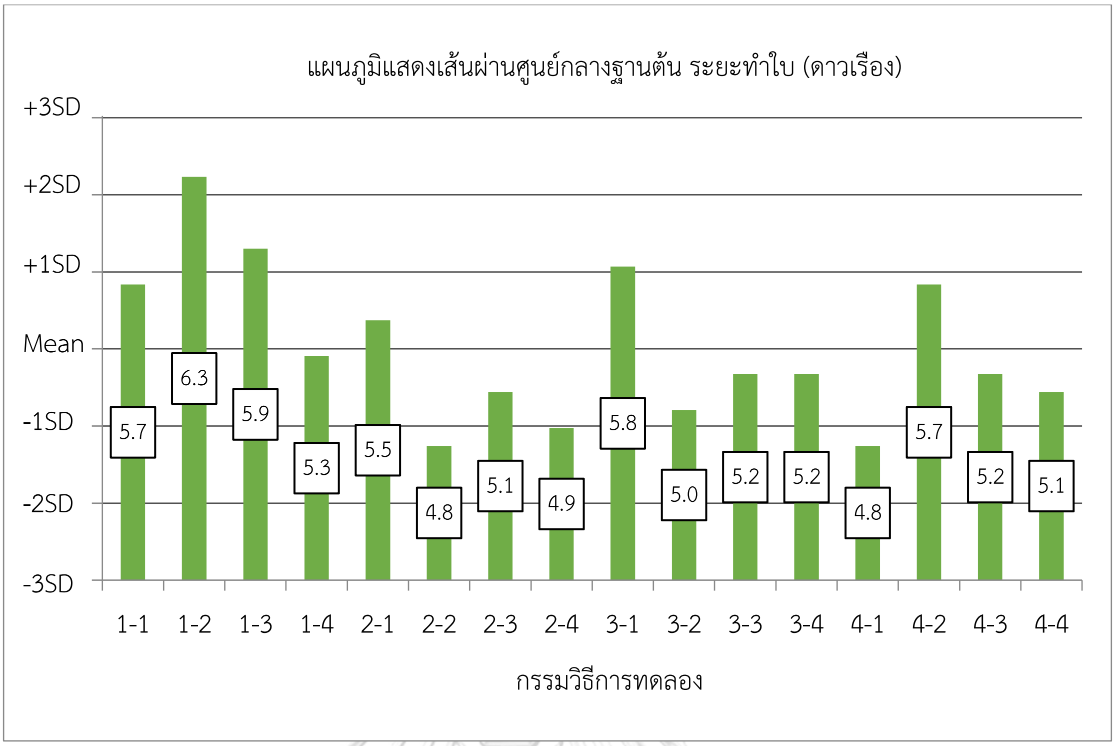
ภาพที่ 82 แผนภูมิแสดงความกว้างพุ่ม ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



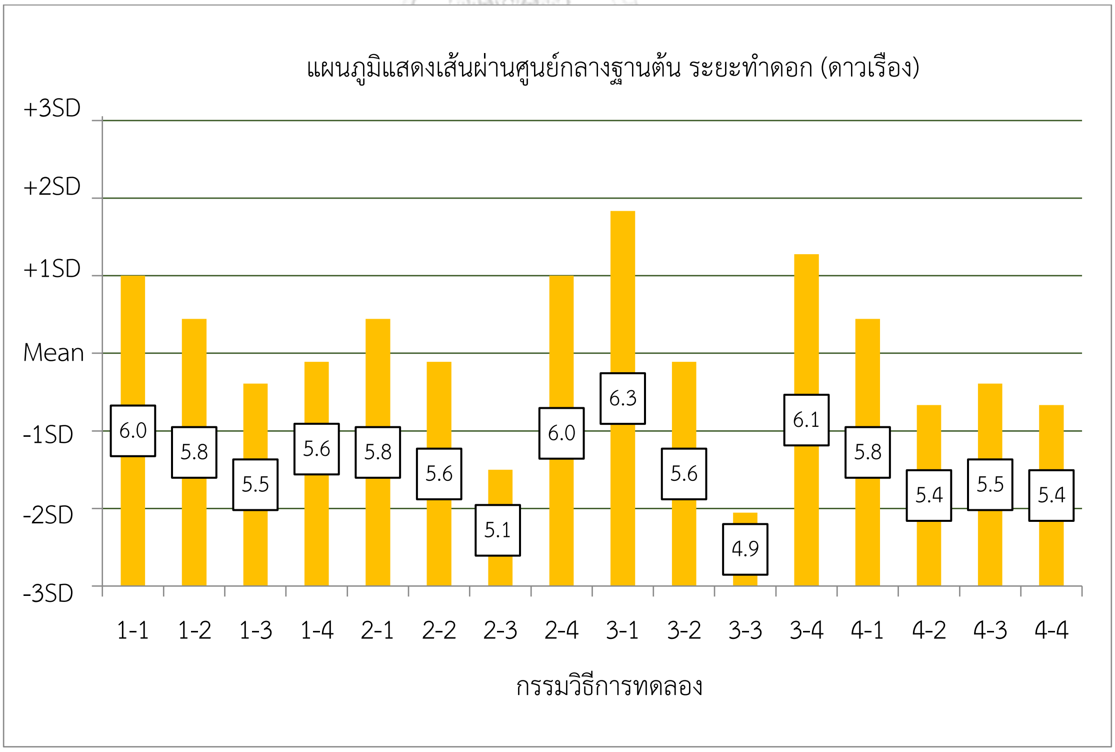
ภาพที่ 83 แผนภูมิแสดงความยาวพุ่ม ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



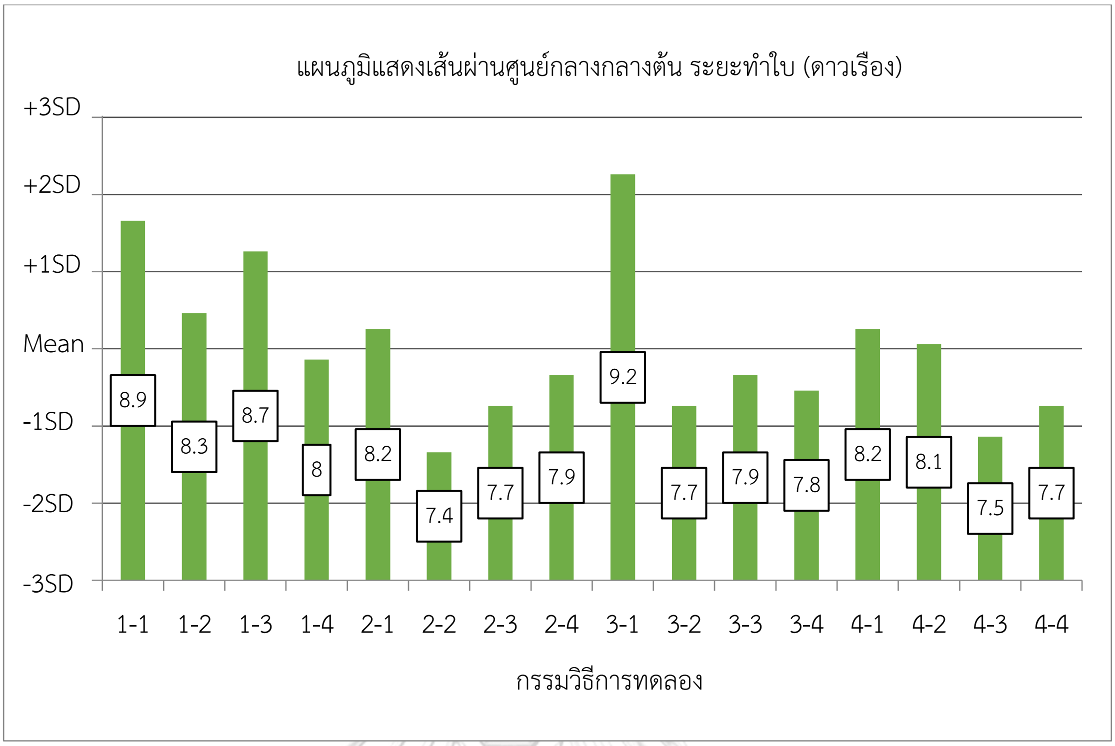
ภาพที่ 84 แผนภูมิแสดงความยาวพุ่ม ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



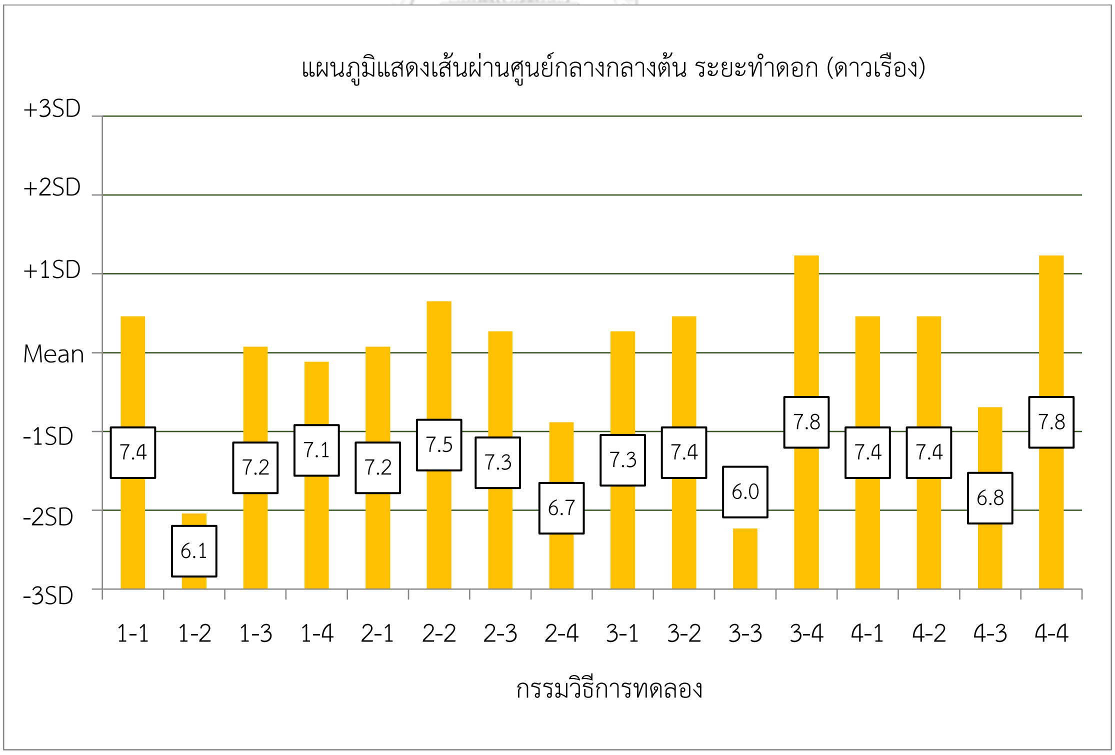
ภาพที่ 85 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางฐานต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



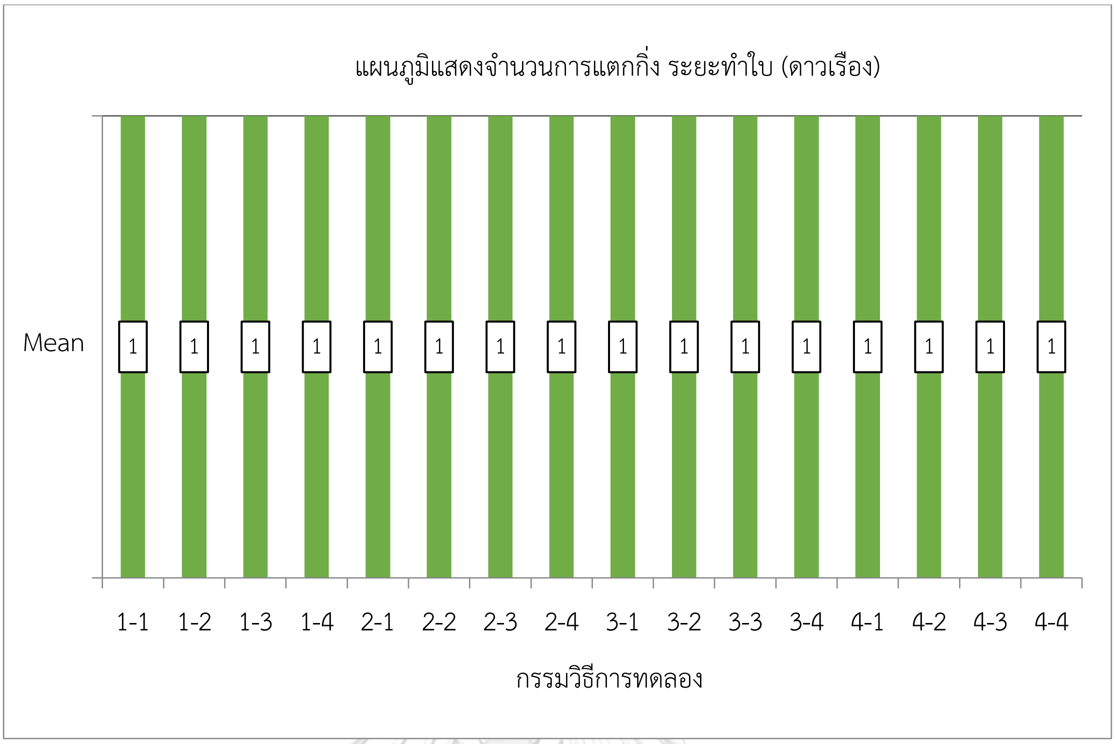
ภาพที่ 86 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางฐานต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



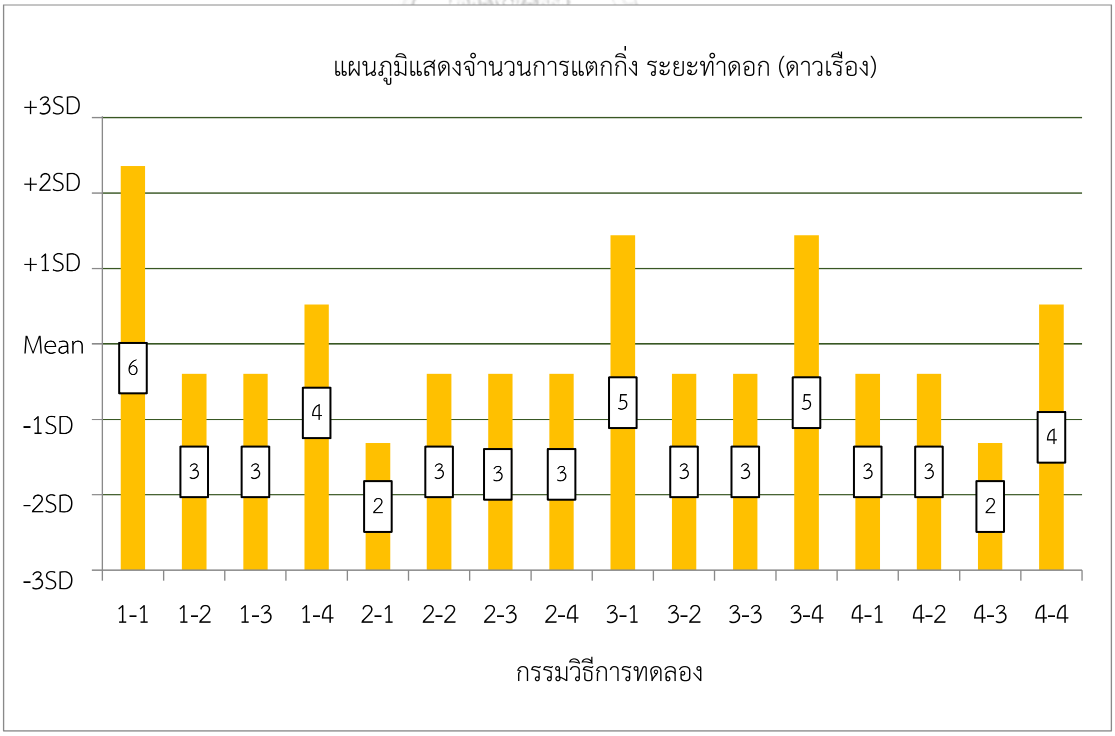
ภาพที่ 87 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางกลางต้น ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



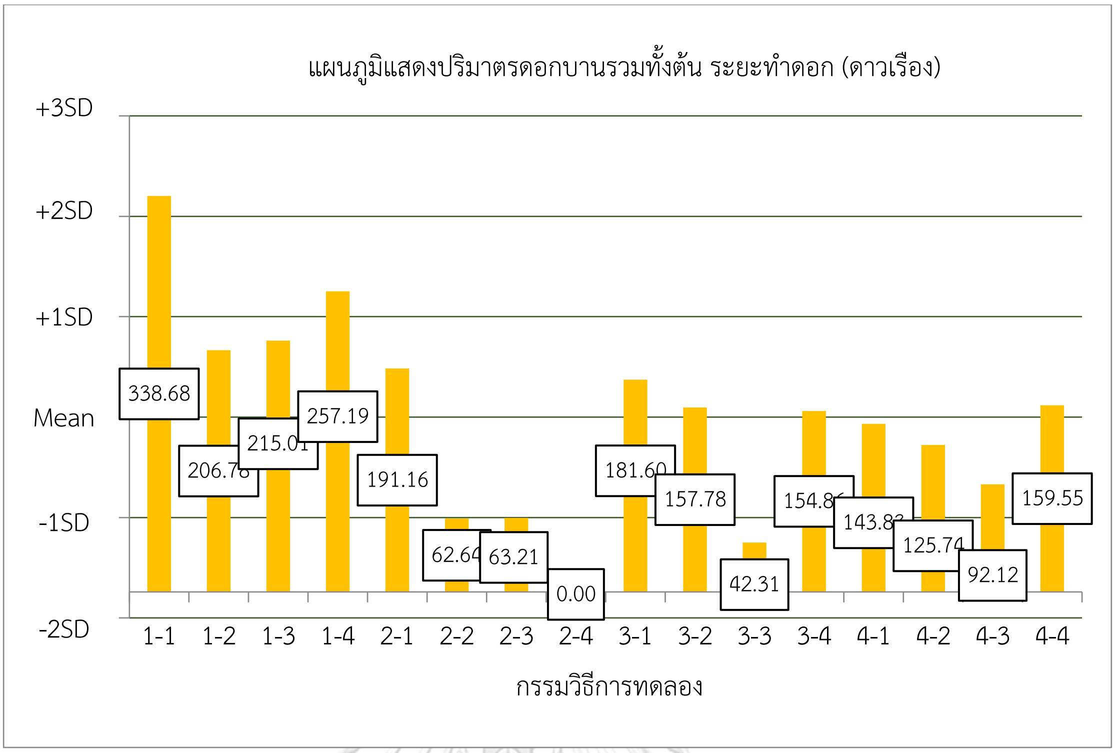
ภาพที่ 88 แผนภูมิแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางกลางต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



ภาพที่ 89 แผนภูมิแสดงจำนวนการแตกกิ่ง ระยะทำใบ (ดาวเรือง)



ภาพที่ 90 แผนภูมิแสดงจำนวนการแตกกิ่ง ระยะทำดอก (ดาวเรือง)



ภาพที่ 91 แผนภูมิแสดงปริมาตรดอกบานรวมทั้งต้น ระยะทำดอก (ดาวเรือง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล จุลพัฒน์ ไม้แก้วธนวัฒน์

วัน เดือน ปี เกิด 5 เมษายน 2535

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ปัจจุบัน 1/438 หมู่บ้านเพชรมณฑลกรีน ซอย6 ถนนมาเจริญ แขวงหนองแขม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY