การศึกษาการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระในผักชีโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี

นายมาโนช แสนหลวง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A study of growth and antioxidant in coriander using LED light sources

Mr. Manoch Sanluang

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระในผักชีโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี
โดย	นายมาโนช แสนหลวง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์พล จิรพงศานานุรักษ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ อุณหไวทยะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มาโนช แสนหลวง : การศึกษาการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระในผักชีโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี. (A study of growth and antioxidant in coriander using LED light sources) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะปลูกพืชผักอยู่มากมาย หนึ่งในนั้นคือการปลูกผักชี (Coriandrum sativum) เกษตรกรนิยมปลูกผักชีในแถบภาคกลางของประเทศไทยซึ่งจะปลูกได้ดีในช่วงฤดูหนาวทำให้ผักชีมีราคาถูกในช่วงฤดูนี้ แต่ฤดูอื่นจะปลูกผักชีได้ยากมากขึ้นเนื่องจากสภาพอากาศแบบร้อนชื้นในประเทศไทย อีกทั้งศัตรูพืชที่มาทำลายผักชี ทำให้ผักชีมีราคาสูง การนำแสงเทียมมาใช้ในการเพาะปลูกพืชจึงนิยมมากขึ้น ซึ่งสามารถเลือกปลูกในพื้นที่ปิดควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมได้อีกทั้งยังควบคุมผลผลิตได้ตลอดทั้งปี โดยงานวิจัยนี้จะออกแบบและสร้างหลอดไฟที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักชีต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตในด้านความสูง จำนวนใบ จำนวนก้าน น้ำหนักสดและแห้ง อีกทั้งยังวิเคราะห์ถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในผักชีอีกด้วย ทั้งนี้งานวิจัยจะเน้นการศึกษาผลของแสงทั้ง 3 สีซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นผักชี ประกอบไปด้วยแสงสี Red (660 nm), Blue (447 nm) และ Far-red (730 nm) นำมาสร้างเป็นหลอดแอลอีดี 6 แบบคือ R:B:Fr = 10:4:1, 10:2:1, 10:1:1 และ R:B = 10:4, 10:2, 10:1 โดยใช้ค่า PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) ที่ 2 ระดับคือ 150±10 และ 250±10 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับการปลูกผักชีด้วยแสงอาทิตย์ รวม 13 การทดลอง จากผลการทดลองพบว่าการใช้หลอดไฟแอลอีดีในการเพาะปลูกผักชีส่งผลดีกว่าการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ทุกรูปแบบที่ระดับความเข้มแสงทั้ง 2 ระดับ การเลือกใช้แสงที่ค่า PPFD ที่สูงกว่าส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักชีทุกด้าน จากการวิเคราะห์แสงสีพบว่าแสงสี Far-red ส่งผลต่อความสูงของต้นผักชีอย่างมาก แต่จะทำให้จำนวนใบและก้าน รวมถึงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลง ส่วนแสงสี Blue ทำให้จำนวนใบและจำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากขึ้น มีน้ำหนักแห้งมีมากแต่ปริมาณน้ำหนักสดมีค่าลดลงตามสัดส่วนของแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของสารต้านอนุมูลอิสระพบว่าแสงสี Blue ช่วยทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นแต่แสงสี Far-red ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6070282821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Coriandrum sativum, Antioxidant, LEDs lamps, Light spectrum

Manoch Sanluang : A study of growth and antioxidant in coriander using LED light sources. Advisor: Assoc. Prof. THAVATCHAI TAYJASANANT

Thailand is an agricultural country that grows various types of vegetables. One of them is coriander. Farmers prefer to grow coriander in the middle region in Thailand. Coriander will grow well in winter, so its price is low during this season. But it is expensive in other seasons because it is difficult to grow coriander in tropical climate and insects can destroy coriander, resulting in the high price of coriander. However, coriander can be grown by using LED light sources which can grow in a closed environmental system that can control the productivity of coriander all year round. In this research will design and build LED light tubes for growing coriander to increase growth characteristics such as the height, leaves and shoot number, fresh and dry weight as well as antioxidant activity. The main purpose is to study effects on two different light spectra consist of Red(660 nm) and Blue(447 nm) and Far-red(730 nm). We cultivate coriander under six types of LED with R:B:Fr ratios equal 10:4:1, 10:2:1, 10:1:1 and R:B ratios equal 10:4, 10:2, 10:1 at two different PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) 150±10 and 250±10 μmol/m^2/s compared with daylight environment totally 13 experiments. Results showed that coriander's growth characteristics culture under LED lights is better than culture under daylight. Using LED with higher PPFD influences on better growth parameters. Far-red light has the most impact on the height of coriander but decreases leaf and shoot numbers as well as fresh and dry weight.

Field of Study: Electrical Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2019 Advisor's Signature .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดขึ้นและประสบผลสำเร็จได้ก็ด้วยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากหน่วยงาน Smart Light and Lighting Technologies (STAR) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทางคณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้ และขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ธวัชชัย เตชัสอนันต์ เป็นอย่างยิ่ง ที่คอยให้คำแนะนำ เพื่อนำไปสู่การแก้ไข พร้อมทั้งเป็นที่ปรึกษาและผลักดันให้เกิดโครงงานนี้ขึ้น และขอขอบคุณคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อาจารย์สุรชัย ชัยทัศนีย์ อาจารย์พิสิษฐ์พล จิรพงศานานุรักษ์ และ อาจารย์ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ ที่ให้คำแนะนำในการพัฒนางานวิจัยให้สมบูรณ์มากขึ้น รวมถึงห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไฟฟ้าและการส่องสว่าง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่อนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบแสงสว่างทั้งหมด บริษัท ทีแอนด์ที อินโนเวชั่น จำกัด สำหรับการสร้างหลอดไฟสำหรับปลูกผักชี และ บริษัท อินโนเวทีฟ สเปซ จำกัด สำหรับการสร้างโรงปลูกผักในระบบปิด รวมถึงผู้ให้ความช่วยเหลือและมีส่วนร่วมทุกท่านที่มิได้กล่าวถึงที่ให้ความช่วยเหลือ คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

มาโนช แสนหลวง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

บทที่ 1 บทนำ 7

1.1 ที่มาและความสำคัญ 7

1.2 วัตถุประสงค์ 8

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 8

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 8

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต 9

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 16

2.1 นิยามแสงสว่างสำหรับพืช 16

2.1.1 Photosynthetic Photon Flux (PPF) 17

2.1.2 Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) 17

2.1.3 Daily light Integral (DLI) 18

2.2 คุณลักษณะสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ตามฤดูกาลในประเทศไทย 19

2.3 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 21

2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักชี 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 การเพาะเมล็ดผักชี 25
2.3.2 การเตรียมปุ๋ยในการปลูกผักชีแบบไฮโดรโปรนิกส์ 25
2.3.3 สารต้านอนุมูลอิสระในผักชี 26
บทที่ 3 การออกแบบหลอดไฟแอลอีดีสำหรับปลูกผักชี 28
3.1 การเลือกความยาวคลื่นของเม็ดแอลอีดีและการกำหนดอัตราส่วนแสงของหลอดแอลอีดี 28
3.1.1 การเลือกความยาวคลื่นของเม็ดแอลอีดี 28
3.1.2 การกำหนดอัตราส่วนแสงของหลอดแอลอีดี 29
3.2 การออกแบบและการคำนวณอัตราส่วนแสงสำหรับหลอดไฟปลูกผักชี 30
3.2.1 ส่วนประกอบของหลอดไฟแอลอีดี T8 30
3.2.1.1 เม็ดแอลอีดี 30
3.2.1.2 แผ่น PCB 30
3.2.1.3 วงจรขับเม็ดแอลอีดีหรือไดร์เวอร์แอลอีดี 31
3.2.1.4 โครงหลอดไฟ พร้อมเลนส์ฝาปิด 32
3.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแสงสว่างของหลอดไฟแอลอีดี T8 32
3.2.3 การคำนวณอัตราส่วนแสงสำหรับหลอดไฟปลูกผักชี 34
3.2.4 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาจำนวนเม็ดแอลอีดี 37
3.2.4.1 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B4Fr1 37
3.2.4.2 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B2Fr1 41
3.2.4.3 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B1Fr1 43
3.2.4.4 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B4 46
3.2.4.5 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B2 48
3.2.4.6 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B1 50
บทที่ 4 วัสดุอุปกรณ์ วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ 53
4.1 การออกแบบแปลงปลูกผักแบบไร้ดินและห้องควบคุมสภาพอากาศ 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1 การออกแบบแปลงปลูกผักแบบไร้ดิน 53
4.1.2 ห้องควบคุมสภาพอากาศ 55
4.2 การทดสอบแสงสว่าง 57
4.2.1 การหาค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ 58
4.2.2 การหาค่า PPFD ของแสงสว่างที่ความสูงต่าง ๆของแสงแต่ละประเภท 59
4.3 การเพาะต้นกล้าและการทดลองให้แสงกับผักชี 62
4.3.1 การเพาะต้นกล้า 62
4.3.1.1 อุปกรณ์สำหรับเพาะต้นกล้าผักชี 62
4.3.1.2 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้าผักชี 62
4.3.2 การทดลองการให้แสงสว่างกับผักชี 63
4.3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลองการให้แสงสว่างกับผักชี 63
4.3.2.2 ขั้นตอนการทดลองการให้แสงสงว่างกับผักชี 64
4.4 การวัดผลการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชี 66
4.4.1 การวัดผลการเจริญเติบโต 66
4.4.1.1 ความสูง 66
4.4.1.2 จำนวนใบ 67
4.4.1.3 จำนวนก้าน 67
4.4.1.4 น้ำหนักสด 67
4.4.1.5 น้ำหนักแห้ง 67
4.4.2 การวัดสารต้านอนุมูลอิสระ 68
4.4.2.1 การเตรียมตัวอย่างผักชีเพื่อทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระ 68
4.4.2.2 การทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระ 68
บทที่ 5 ผลการทดลองการเจริญเติบโตและปริมาณสารอาหารในผักชี จากแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี 70
5.1 ผลการวัดค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของหลอดไฟแอลอีดี 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมและความยาวคลื่น 70
5.1.2 ผลการคำนวณค่า PPF 72
5.1.3 ผลการคำนวณค่าอัตราส่วนแสง 73
5.2 ผลการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชี 74
5.2.1 ผลการวัดการเจริญเติบโต 74
5.2.1.1 ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงของผักชี 75
5.2.1.2 ผลการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบของผักชี 80
5.2.1.3 ผลการเจริญเติบโตด้านจำนวนก้านของผักชี 82
5.2.1.4 ผลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดของผักชี 85
5.2.1.5 ผลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งของผักชี 85
5.2.2 ผลการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 87
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 90
6.1 สรุปงานวิจัย 90
6.2 ข้อเสนอแนะ 91
บรรณานุกรม 93
ภาคผนวก ก 97
ภาคผนวก ข 99
ประวัติผู้เขียน 105

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกสีและความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นในช่วง 400 – 700 นาโนเมตร 16
ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ 18
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของแสงสี Far-red : Red : Blue ที่ได้ออกแบบ 29
ตารางที่ 3.2 ค่าแฟคเตอร์ของเม็ดแอลอีดีเมื่อมีการใช้งานที่อุณหภูมิของจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ 33
ตารางที่ 3.3 ผลรวมของค่า PPF ตามช่วงความยาวคลื่นของเม็ดแอลอีดี
สี Blue, Red และ Far-red 35
ตารางที่ 3.4 การคำนวณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี 36
ตารางที่ 3.5 ค่าแรงดันของเม็ดแอลอีดีสีต่าง ๆเมื่อมีการเลือกใช้พิกัดกระแสที่ค่าอื่น ๆ 36
ตารางที่ 3.6 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B4Fr1 37
ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B4Fr1 38
ตารางที่ 3.8 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B4Fr1 38
ตารางที่ 3.9 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B2Fr1 41
ตารางที่ 3.10 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B2Fr1 41
ตารางที่ 3.11 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B2Fr1 42
ตารางที่ 3.12 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B1Fr1 43
ตารางที่ 3.13 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B1Fr1 44
ตารางที่ 3.14 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B1Fr1 44
ตารางที่ 3.15 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B4 46
ตารางที่ 3.16 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B4 46
ตารางที่ 3.17 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B4 47
ตารางที่ 3.18 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B2 48
ตารางที่ 3.19 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B2 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.20 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B2 49
ตารางที่ 3.21 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B1 50
ตารางที่ 3.22 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B1 50
ตารางที่ 3.23 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B1 51
ตารางที่ 3.24 ตารางสรุประยะการวางเม็ดแอลอีดีบนแผ่น PCB แบบ 33S2P 52
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่า PPFD และค่าความสว่าง แล้วนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ 59
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความสว่างของหลอดไฟ R10B1Fr1 อ้างอิงที่ระดับความสูงต่าง ๆ 60
ตารางที่ 4.3 ค่า PPFD ที่ความสูงต่าง ๆของหลอดไฟ R10B4Fr1, R10B2Fr1 และ R10B1Fr1 61
ตารางที่ 4.4 ค่า PPFD ที่ความสูงต่าง ๆของหลอดไฟ R10B4, R10B2 และ R10B1 61
ตารางที่ 4.5 การทดลองการให้แสงสว่างกับผักชี 65
ตารางที่ 5.1ผลการคำนวณค่า PPF ช่วง PAR light และค่า PPF ที่รวมช่วงแสงสี Far-red 73
ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแสงกับอัตราส่วนของแสงหลังการออกแบบ 74
ตารางที่ 5.3 ผลการวัดการเจริญเติบโตของผักชีจากการใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s 76
ตารางที่ 5.4 ผลการวัดการเจริญเติบโตของผักชีจากการใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s 77
ตารางที่ 5.5 ผลการวัดการเจริญเติบโตของผักชีจากการทดลองควบคุมโดยใช้แสงอาทิตย์ 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปแสดงสเปกตรัมของแสงกับความเข้มแสงตามช่วงฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2554 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2555 20

รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของแสงตามช่วงเวลาในวันที่ท้องฟ้าเปิดและวันที่มีเมฆ ในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝน 20

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชภายในคลอโรพลาสต์ 21

รูปที่ 2.4 (ก) ช่วงความยาวคลื่นของการดูดรับแสงของคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ (ข) ปริมาณการดูดรับแสงของพืชตามช่วงความยาวคลื่นของแสง (ค) ช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง 22

รูปที่ 2.5 ค่าความเป็นกรดด่างในการละลายธาตุอาหาร 26

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างเม็ดแอลอีดี SMD 2835 30

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกระแสและแรงดันของเม็ดแอลอีดีสีต่าง ๆ 31

รูปที่ 3.3 แผ่นวงจร PCB รูปแบบการต่อวงจรเม็ดแอลอีดีแบบ 33S2P 31

รูปที่ 3.4 โครงหลอดไฟแอลอีดี T8 (รูปซ้าย หลอดที่ทำมาจากพอลิคาร์บอเนตทั้งหมด และรูปขวา หลอดที่ทำมาจากอลูมิเนียมและพอลิคาร์บอเนต) 32

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของจุดเชื่อมต่อและค่าแฟคเตอร์ของโฟตอน 33

รูปที่ 3.6 เครื่องมือสำหรับวัดค่าคุณลักษณะทางแสงและสี หรือ เครื่อง Integrating Sphere 35

รูปที่ 3.7 ช่องว่างของการวางเม็ดแอลอีดีสีอื่น ๆหลังจากการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red 39

รูปที่ 3.8 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red ต่อวงจร 40

รูปที่ 3.9 รูปแบบการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red และ Blue ต่อวงจร 40

รูปที่ 3.10 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red, Blue และ Far-red ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B4Fr1 41

รูปที่ 3.11 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red, Blue และ Far-red ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B2Fr1 43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.12 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red, Blue และ Far-red ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B1Fr1 46
รูปที่ 3.13 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red และ Blue ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B4 48
รูปที่ 3.14 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red และ Blue ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B2 50
รูปที่ 3.15 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red และ Blue ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B1 52
รูปที่ 4.1 โครงสร้างแปลงปลูกผักชีในแนวตั้ง 53
รูปที่ 4.2 (ก) แปลงปลูกผักพร้อมรางสำหรับปลูกผักชี (ข) การแบ่งการทดลองให้แสงโดยใช้ฉากสีดำกั้น 54
รูปที่ 4.3 การติดตั้งระบบน้ำเข้าสู่แปลงปลูกผักชี 54
รูปที่ 4.4 การติดตั้งหลอดไฟและตัวปรับระดับความสูงของหลอดไฟ 55
รูปที่ 4.5 ชุดควบคุมระบบแสงสว่างและระบบน้ำสำหรับแปลงปลูกผักชี 55
รูปที่ 4.6 ภายในห้องควบคุมสภาพอากาศสำหรับแปลงปลูกผักชี 56
รูปที่ 4.7 อุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยส่งข้อมูลและแสดงผลบนแอพพลิเคชั่น . 56
รูปที่ 4.8 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟในแต่ละการทดลอง 57
รูปที่ 4.9 (ก) เครื่องวัดค่า PPFD (ข) เครื่องวัดค่าความสว่าง 58
รูปที่ 4.10 ตำแหน่งจุดวัดแสงเพื่อหาค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ 58
รูปที่ 4.11 ตำแหน่งจุดวัดค่าความสว่างของหลอดไฟอ้างอิง 59
รูปที่ 4.12 ต้นกล้าผักชีหลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 17 วัน 63
รูปที่ 4.13 การเตรียมต้นกล้าผักชีลงกระถางปลูก 63
รูปที่ 4.14 การทดลองการให้แสงสว่างกับต้นผักชี รวม 12 การทดลอง ซึ่งใช้ฉากกั้นสีดำในการแบ่งการทดลองการให้แสงสว่าง 64
รูปที่ 4.15 การวัดความสูงของผักชี 66
รูปที่ 4.16 การนับจำนวนใบของต้นผักชี (ก) ใบยอดจำนวน 3 ใบ (ข) ใบยอดจำนวน 1 ใบ 67
รูปที่ 4.17 ต้นผักชีอบแห้งหลังอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง 68
รูปที่ 4.18 ตัวอย่างผักชีแห้งที่แบ่งใส่หลอดทดลองหลอดละ 1 กรัม 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่น ของตัวอย่าง R10B4Fr1 70

รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่น ของตัวอย่าง R10B2Fr1 71

รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่น ของตัวอย่าง R10B1Fr1 71

รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่น ของตัวอย่าง R10B4 71

รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่น ของตัวอย่าง R10B2 72

รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่น ของตัวอย่าง R10B1 72

รูปที่ 5.7 กราฟความสูงเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง) 78

รูปที่ 5.8 กราฟความสูงเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น) 79

รูปที่ 5.9 กราฟจำนวนใบเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (ตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง) 81

รูปที่ 5.10 กราฟจำนวนใบเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น) 82

รูปที่ 5.11 กราฟจำนวนก้านเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (ตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง) 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.12 กราฟจำนวนก้านเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)..... 84

รูปที่ 5.13 กราฟน้ำหนักสดเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)..... 86

รูปที่ 5.14 กราฟน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)..... 86

รูปที่ 5.15 กราฟปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)..... 88

รูปที่ 5.16 กราฟปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีจำนวน 1 กรัมภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)..... 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในอดีตมนุษย์ต่างใช้แสงจากดวงอาทิตย์เพื่อทำการเกษตรกรรม แสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พืชเจริญเติบโต แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีทำให้มนุษย์สามารถสร้างแสงสว่างขึ้นมาใช้เพื่อการเกษตรได้ อย่างเช่นหลอดไฟ ที่ไม่มีข้อจำกัดทางด้านการใช้งานและสามารถติดตั้งในทุกพื้นที่ รวมทั้งยังสามารถจัดสรรพื้นที่ในการเกษตรได้ตามความต้องการ ซึ่งเหมาะกับการทำการเกษตรในสังคมเมืองที่ทุกพื้นที่มีมูลค่าสูงจึงทำให้คนส่วนใหญ่มองว่าการทำเกษตรกรรมเป็นการสิ้นเปลืองพื้นที่มากกว่าการนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ อย่างการสร้างสำนักงาน หรือ อาคารพาณิชย์ เป็นต้น ที่ทำให้นักลงทุนมองเห็นถึงผลกำไรที่มากกว่าการทำเกษตรกรรม อีกทั้งปัญหาของสภาพอากาศที่ทำให้การทำเกษตรกรรมมีความไม่แน่นอน เช่น ในช่วงฤดูฝนที่ไม่มีแสงแดดติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้พืชผักทางการเกษตรได้รับความเสียหายหรือผลผลิตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ จึงทำให้การทำเกษตรกรรมไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร ดังนั้นการเกษตรสมัยใหม่สามารถทำได้ในพื้นที่ปิด โดยส่วนใหญ่นิยมใช้แสงสว่างจากหลอดไฟแอลอีดี (Light Emitted Diode, LED) ในการปลูกพืช ซึ่งหลอดไฟแอลอีดีสามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นของแสงให้ตรงตามความต้องการของพืชได้สามารถส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและยังผลิตสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากขึ้นอีกด้วย

จากการศึกษาพบว่าข้อดีของการใช้แสงที่มีความยาวคลื่นตรงกับที่พืชต้องการ เช่น การให้แสงสีแดงไกล (Far-red) กับผักกาดแดง ส่งผลให้ผักกาดแดงมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น (Li and Kubota 2009) การให้แสงสีแดง (Red) ส่งผลให้ผักกาดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้น (Chen, Xue et al. 2016) หรือการให้แสงสีน้ำเงิน (Blue) ทำให้ผักกาดมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (Son and Oh 2015) เป็นต้น ทั้งนี้การเลือกใช้แสงสีที่ไม่ตรงตามที่พืชต้องการจะส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตหรือผลิตสารอาหารที่น้อยลง เช่น การให้แสงสีส้ม (Orange) ส่งผลให้ผักกาดมีน้ำหนักแห้งที่ลดลง หรือการแสงสี Far-red ที่ความยาวคลื่นสูงส่งผลให้ผักกาดมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลงเช่นกัน (Chen, Xue et al. 2016) อีกทั้งหลอดไฟแอลอีดียังมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดไฟรุ่นเก่าอย่างหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และหลอดไฟโซเดียมความดันสูงในด้านการใช้พลังงานที่น้อยกว่าและหลอดไฟแอลอีดียังไม่มีปัญหาในด้านความร้อนที่สูง จึงเหมาะแก่การนำไปปลูกพืชอย่างมาก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกผักชีที่เป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์อย่างมาก อีกทั้งยังเป็นพืชผักเศรษฐกิจที่เป็นที่นิยมในประเทศไทยอย่าง โดยมุ่งเน้นเรื่องการใช้แสงที่มีความยาวคลื่นตรงกับความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยาวคลื่นที่ผักชีต้องการอย่างแสงสี Far-red, Red และ Blue เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตในด้านความสูง จำนวนใบ จำนวนก้าน น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง และเพื่อเน้นการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์อัตราส่วนของแสงที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ในการปลูกผักชีเพื่อเป็นประโยชน์ในการทำเกษตรกรรมเชิงอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลกระทบของความยาวคลื่นแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักกาดเขียวและผักชี
2) เพื่อศึกษาการออกแบบและจัดทำหลอดไฟแอลอีดีสำหรับการปลูกผักชี
3) เพื่อศึกษาผลการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีภายใต้การให้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีเปรียบเทียบกับแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1) ใช้แสงจากหลอดแอลอีดี 3 สีได้แก่สี Far-red, Red และ Blue ในการเพิ่มการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระให้กับผักชี โดยเปรียบเทียบกับการปลูกผักชีด้วยแสงอาทิตย์
2) ทดลองผลของค่าค่าความหนาแน่นของค่าฟลักซ์โฟตอนของแสง (Photosynthetic Photon Flux Density; PPFD) ที่ต่างกันต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระให้กับผักชี
3) ทดสอบการเจริญเติบโตโดยการวัดปริมาณน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูง จำนวนใบและจำนวนก้านของผักชี
4) ทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระโดยการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักชี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้
   1.1) ศึกษาผลความหมายและคำศัพท์ที่เกี่ยวของกับแสงสว่างที่ให้พืช
   1.2) ศึกษาผลของแสงสีต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มปริมาณสารอาหารให้แก่พืช
   1.3) ศึกษาวิธีการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิก (Hydroponic)
   1.4) ศึกษาคุณสมบัติของผักชีในด้านการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระ
   1.5) ศึกษาวิธีการออกแบบหลอดไฟแอลอีดีสำหรับการปลูกผักชี
   1.6) ศึกษาวิธีการวัดการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชี
2) ออกแบบหลอดไฟและแปลงปลูกสำหรับการทดลองปลูกผักชี
3) ติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ก่อนทำระบบไปใช้ในการปลูกผักชี
4) ปลูกผักชีด้วยแสงจากหลอดไฟแอลอีดีเปรียบเทียบกับการปลูกด้วยแสงอาทิตย์

5) บันทึกผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชี
6) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง
7) เขียนบทความตีพิมพ์วารสารวิชาการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทำให้สามารถออกแบบหลอดไฟสำหรับการปลูกผักชีที่ทำให้ผักชีมีการเจริญเติบโตและมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด
2) ทำให้สามารถทราบถึงวิธีการออกแบบหลอดไฟสำหรับการปลูกผักชี
3) ทำให้สามารถทราบถึงอัตราส่วนของแสงที่ดีที่สุดในการปลูกผักชี

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสเปกตรัมของแสงที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มปริมาณสารอาหารของพืช ซึ่งมีการใช้กับพืชหลายประเภทเช่น พืชกินใบ พืชกินผล และดอกไม้ โดยจะเน้นผลของแสงที่มีต่อผักกินใบอย่างผักชีและผักกาดเขียวเท่านั้น

ผักชีเป็นพืชล้มลุกที่ปลูกได้ตลอดทั้งปีโดยมีถิ่นกำเนิดทางยุโรปตอนใต้และแถบเมดิเตอร์เรเนียน ผักชีมีคุณสมบัติเป็นยามักถูกใช้ทั้งส่วนของใบสดและเมล็ด ซึ่งความหลากหลายของเม็ดสีในผักต่าง ๆ นั้นมีมากถึง 600 เม็ดสี แต่ละสีมีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไป จากการวัดเม็ดสีในใบผักชีพบว่าใบผักชีมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่มาก ถ้าอาหารที่มีส่วนประกอบของผักที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงจะทำให้เพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลสระในพลาสมาเป็นผลทำให้ยับยั้งโรคต่าง ๆ มากมายที่จะเกิดขึ้นในหลอดเลือดได้ ปัจจุบันผู้บริโภคก็มีความกังวลเกี่ยวกับการเพิ่มสารเติมแต่งสังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร ซึ่งสารเติมแต่งที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิดได้แก่ Butylated hydroxy anisole (BHA) และ Butylated hydroxy toluene (BHT) ซึ่งสารดังกล่าวจะส่งผลเสียต่อ DNA ในร่างกาย (Naznin, Lefsrud et al. 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้นจึงมีการให้ความสนใจในเรื่องการใช้สารเติมแต่งสังเคราะห์ที่ทำมาจากธรรมชาติ เช่น การใช้พืชสมุนไพร หรือสารสกัดจากพืชที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ ท่ามกลางปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมมากมาย แสงภายนอกจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการส่งผลทำให้พืชสร้างสารตัวใหม่ขึ้นมา และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพืชจะเกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับแสงที่มีความหลากหลายของความยาวคลื่นแสง (Johkan, Shoji et al. 2012), (Stutte and Edney 2009) ซึ่งหลอดไฟแอลอีดีเป็นอีกหนึ่งแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีหลอดไฟแอลอีดีคือการผลิตหลอดไฟแอลอีดีสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ที่ควบคุมสิ่งแวดล้อมได้ (Controlled Environments) ซึ่งหลอดไฟแอลอีดีมีความสามารถต่าง ๆในการควบคุมสเปกตรัมของแสงได้ การให้ความเข้มแสงสูง และผลิตความร้อนออกมาน้อย ข้อดีเหล่านี้จึงทำให้หลอดไฟแอลอีดีเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบแสงสำหรับการปลูกพืช โดยแสงสี Red มีส่วน

สำคัญในการพัฒนาระบบการสังเคราะห์แสงและการเปลี่ยนรูปร่างของพืช ในขณะที่แสงสี Blue ส่งผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ การเปิดปากใบ การสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ และกระบวนการ (Photomorphogenesis) ที่พืชตอบสนองต่อสัญญาณของแสงโดยไม่ใช่ตอบสนองต่อทิศทางหรือช่วงเวลาที่ได้รับแสง เป็นการที่แสงมีผลต่อการควบคุมลักษณะที่ปรากฏของพืช หรือควบคุมการพัฒนาโครงสร้างของพืช (Sæbø, Krekling et al. 1995), (Senger 1982) ความแตกต่างของความยาวคลื่นของแสงแอลอีดีสามารถเลือกและปรับให้พืชเจริญเติบโตและสะสมสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดได้

จากการปลูกผักชีโดยใช้แสงที่มีส่วนผสมของแสงสี Red และ Blue หลากหลายอัตราส่วน ผลการเจริญเติบโตและลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphological) พบว่า การใช้แสงสี Red เพียงสีเดียวส่งผลต่อความสูงของผักชีมากที่สุด โดยขนาดความสูงของต้นผักชีเมื่อมีการให้แสงที่มีอัตราส่วน Red ต่อ Blue เท่ากับ 5:1 (R:B = 5:1) มีขนาดเป็น 0.88 เท่า แสงที่มีอัตราส่วน Red ต่อ Blue เท่ากับ 10:1 (R:B = 10:1) มีขนาดเป็น 0.95 เท่า และ แสงที่มีอัตราส่วน Red ต่อ Blue เท่ากับ 19:1 (R:B = 19:1) มีขนาดเป็น 0.83 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียว

ในส่วนของจำนวนใบและจำนวนต้นที่มากที่สุดจะมีการวัดและเปรียบเทียบกับการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียว เมื่อมีการให้แสงแบบ R:B = 5:1, R:B = 10:1 และ R:B = 19:1 มีจำนวนใบของต้นผักชีเป็น 1 เท่า, 1.3 เท่า และ 1.2 เท่าตามลำดับ ในขณะเดียวกันเมื่อให้ในอัตราส่วนเดียวกันจำนวนต้นของผักชีมีจำนวนเป็น 1เท่า, 1.3 เท่า และ 1.1 เท่าตามลำดับเมื่อเทียบกับการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียว

ในส่วนของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่มากที่สุดจะมีการวัดและเปรียบเทียบกับการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียว เมื่อมีการให้แสงแบบ R:B = 5:1, R:B = 10:1 และ R:B = 19:1 ทำให้น้ำหนักสดของต้นผักชีเป็น 1 เท่า, 1.5 เท่า และ 1.3 เท่าตามลำดับ ในขณะเดียวกันเมื่อให้ในอัตราส่วนเดียวกันน้ำหนักแห้งของผักชีมีน้ำหนักเป็น 1.1 เท่า, 1.5 เท่า และ 1.4 เท่าตามลำดับเมื่อเทียบกับการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียว

จากที่กล่าวมาข้างต้นผลการเจริญเติบโตสามารถสรุปได้ว่าแสงสี Red จะทำให้ผักชีมีลำต้นที่สูง จึงทำให้ใบแผ่ขยายมากขึ้น ในทางกลับกันทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักชีลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Tanaka, Takamura et al. 2015) ที่กล่าวว่าแสงสี Red ช่วยให้ใบมีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้นแต่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Hoenecke, Bula et al. 1992) ที่กล่าวว่าการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียวทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชมีค่าน้อยกว่าการใช้แสงสี Red ผสม Blue

จากการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระของผักชีโดยการใช้ระบบทางเคมีอย่าง (2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH Radical Scavenging Capacity Assay) พบว่าเมื่อมีการให้แสงแบบ R:B

= 5:1 ตัวอย่างมีสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด และเมื่อมีการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียวพบว่าตัวอย่างมีสารต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด และเมื่อวิเคราะห์ต้านอนุมูลอิสระของต้นผักชี เมื่อมีการให้แสงแบบ R:B = 5:1, R:B = 10:1 และ R:B = 19:1 ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของต้นผักชีเป็น 2 เท่า, 1.6 เท่า และ 1.5 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียว

จากงานวิจัยอื่น ๆ กล่าวว่าการเพิ่มแสงสี Blue ให้กับพืชทำให้พืชมีการสะสมปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Johkan, Shoji et al. 2012), (Stutte and Edney 2009)และพบว่าผักกาดแดงมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเมื่อมีการใช้สัดส่วนของเม็ดแอลอีดีสี Red : Blue = 53 : 47 (Son and Oh 2015) พบว่าแอลอีดีสี Red ช่วยทำให้เมล็ดถั่วมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (Wu, Hou et al. 2007)

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงการใช้อัตราส่วนของแสงสี Red ต่อ Blue ที่ต่างกันที่มีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตและการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระเห็นได้ว่าการใช้แสงสี Red เพียงอย่างเดียวไม่ได้ทำให้ผักชีมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด ซึ่งต้องใช้แสงสี Red ผสมกับ Blue ในการปลูกผักชีจึงจะทำให้มีผลผลิตเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ผลการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากแสงสี Red มากกว่าสี Blue อย่างไรก็ตามพบว่าแสงสี Blue มีผลต่อการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ โดยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจะลดลงตามปริมาณแสงสี Blue ที่ลดลง

เมื่อศึกษางานวิจัยของ (Chen, Xue et al. 2016) ทดลองกับผักกาดเขียวกรีนโอ๊ก พบว่าแสงสี Red มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวมากที่สุด โดยเฉพาะในส่วนของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และจำนวนใบ โดยแสงสี Blue มีผลทำให้ผักกาดเขียวกรีนโอ๊กมีความสูงลดลง และแสงสี Far-red ที่มีความยาวคลื่นสูงมีผลทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวกรีนโอ๊คลดลง ในส่วนของการเพิ่มปริมาณสารอาหารพบว่าแสงสี Red สามารถเพิ่มปริมาณสารแคโรทีนอยด์ วิตามินซี และคลอโรฟิลล์เอ และบีในผักกาดเขียวกรีนโอ๊ก เช่นเดียวกับแสงสี Blue ที่มีส่วนช่วยให้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ เอ และบีเพิ่มขึ้น อีกทั้งแสงสี Blue ยังทำให้ลดสารไนเตรทอีกด้วย และยังพบว่า แสงสี Orange ส่งผลให้ผักกาดเขียวกรีนโอ๊กมีปริมาณความหวาน วิตามินซี และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบีลดลง อีกทั้งยังไปเพิ่มไนเตรทให้กับผักกาดเขียวกรีนโอ๊กด้วย กล่าวได้ว่าส่งผลให้คุณค่าทางสารอาหารลดลง

งานวิจัยของ (Pinho, Jokinen et al. 2017) พบว่าการใช้แสงสี Red ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตรดีกว่าการใช้แสงสี Red ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์พบว่าการใช้แสงสี Red ช่วงความยาวคลื่นที่ 660 นาโนเมตร สามารถดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นสูงสุดของคลอโรฟิลล์เอได้ และยังช่วยเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในผักกาดเขียวอีกด้วย นอกจากนี้การใช้แสงสี Far-red ควบคู่กับการใช้แสงสี Red ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตรและแสงสี Blue ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร มีผลทำให้การเจริญเติบโตของขนาดพื้นที่ใบ ความกว้างของใบ น้ำหนักสด และน้ำหนัก

แห้งเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณสารอาหารให้กับผักกาดเขียว ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าแสงสี Far-red ส่งผลให้ผักกาดเขียวมีการสังเคราะห์แสงมากขึ้น และเมื่อมีการเปลี่ยนความยาวคลื่นของแสงสี Blue จาก 455 นาโนเมตรเป็น 460 นาโนเมตร พบว่าช่วยเพิ่มปริมาณธาตุซิงค์ (Zinc) ในผักกาดเขียว

งานวิจัยของ (Son and Oh 2015) พบว่าการใช้แสงสี Red มีผลทำให้ผักกาดเขียวมีการเจริญเติบโตทั้งปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบและรากเพิ่มขึ้น เมื่อใช้แสงสี Blue ในปริมาณที่เหมาะสมมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปลี่ยนแสงสี Blue เป็นแสงสี Green ใน 1 อัตราส่วนของอัตราส่วนแสงทั้งหมดพบว่าผักกาดเขียวปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น แต่แสงสี Green มีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

งานวิจัยของ (Kang, Park et al. 2016) พบว่าการใช้แสงสี Red ทำให้ผักกาดเขียวมีการเจริญเติบโตของความกว้างและความยาวของใบมากขึ้น รวมถึงอัตราส่วนน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบและรากเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย และยังส่งผลให้ผักกาดเขียวมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ในทางกลับกันเมื่อใช้แสงสี Blue มีผลทำให้ความกว้างและความยาวใบลดลง แต่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในผักกาดเขียวเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้แสงสี Green ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดเขียวลดลง

งานวิจัยของ (Wang, Lu et al. 2016) พบว่าการใช้แสงสี Red หรือ Blue อย่างใดอย่างหนึ่งไม่ได้ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งการใช้แสงผสมที่พอเหมาะจะทำให้พืชได้รับประโยชน์และมีการเจริญเติบโตที่มากกว่า จากงานวิจัยพบว่าแสงสี Red ส่งผลให้ผักกาดเขียวมีน้ำหนักแห้งของใบและพื้นที่ใบเพิ่มมากขึ้น ทำให้ผักกาดเขียวมีปริมาณซูโครสและแป้งที่เพิ่มขึ้น และลดน้อยลงตามปริมาณแสงสี Red ที่ลดลง ส่วนแสงสี Blue ส่งผลให้ผักกาดเขียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยของ (Shimizu, Saito et al. 2011) พบว่าการใช้แสงสี Red มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวในส่วนของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และอัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันแสงสี Blue ส่งผลให้ผักกาดเขียวมีจำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งลดลง ส่วนแสงสี Green ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงของผักกาดเขียวลดลง

งานวิจัยของ (Kook, Park et al. 2013) พบว่าการใช้แสงสี Blue มีผลต่อการเจริญเติบโตและทำให้สารอาหารในผักกาดเขียวเพิ่มขึ้น ทั้งด้านความยาวราก พื้นที่ใบ จำนวนใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ และน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของราก รวมถึงสารต้านออกซิเดชั่นและปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มมากขึ้น ในทางกลับกันแสงสี Red ให้ผลที่ลบทุกด้านเมื่อเปรียบเทียบกับแสงสี Blue จากงานวิจัยพบว่ามีความแตกต่างจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น กล่าวได้ว่า แสงสี Blue มีผลการ

เจริญเติบโตมากกว่าแสงสี Red ทั้งนี้เพราะการใช้แสงสี Red ความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร อาจส่งผลเสียต่อผักกาดเขียวทำให้มีการเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าแสงสี Red ที่ความยาวคลื่นอื่นที่มากกว่า

งานวิจัยของ (Liu, Fu et al. 2016) พบว่าเมื่อใช้แสงสี Green เข้ามาผสมในหลอดแอลอีดี มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของใบและน้ำหนักโดยรวมของผักกาดเขียวมีค่าเพิ่มมากขึ้น และยังทำให้ปริมาณสารคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในผักกาดเขียวมีค่ามากขึ้นด้วย แต่แสงสี Green ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของรากลดลง

งานวิจัยของ (Lin, Huang et al. 2013) พบว่าเมื่อใช้แสงสี White ที่เป็นแสงที่ประกอบไปด้วยแสงสี Red, Blue และ Green เข้ามาผสมในหลอดแอลอี ซึ่งตรงกลับงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นว่าแสงสี Green ช่วยทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดเขียวให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของทั้งใบและรากเพิ่มขึ้น และยังทำให้ปริมาณสารให้ความหวานมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณสารไนเตรทให้น้อยลง และการเพิ่มแสงสี White ช่วยให้ผักกาดเขียวมีค่าความกรอบ ความหวาน สีสัน และรูปร่างมากที่สุด ทั้งนี้ค่าดังกล่าวข้างต้น มีผลอย่างมากในเชิงธุรกิจ ซึ่งในการเลือกหลอดไฟต้องให้คำนึงถึงแสงสีที่นำไปใช้ในการปลูกผัก แต่การใช้แสงสี Green ที่อยู่ในแสงสี White มีผลเสียคือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณสารแคโรทีนอยด์ลดลง

ตารางสรุปผลของแสงสีที่มีต่อพืชในด้านการเจริญเติบโตและปริมาณสารอาหารที่อยู่ในพืชจะเป็นไปดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ผลของแสงสีที่มีต่อพืชในเรื่องคุณลักษณะของการเจริญเติบโตและปริมาณสารอาหาร

ชนิดของผัก	ผู้วิจัย	แสงสี (นาโนเมตร)	ผลของแสงต่อพืช
ผักชี	Naznin, Lefsrud et al.	Blue (449)	เพิ่มจำนวนใบ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ
		Red (661)	เพิ่มความสูง แต่ลดน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง
ผักกาดเขียวกรีนโอ๊ก	Chen, Xue et al	Blue (450)	ลดความสูง เพิ่มแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์เอและบี ลดสารไนเตรท
		Orange (596)	ลดความหวาน วิตามินซี และปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี และเพิ่มไนเตรท
		Red (660)	เพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและจำนวนใบ เพิ่มปริมาณสารแคโรทีนอยด์ วิตามินซี และคลอโรฟิลล์เอและบี
		Far-red (850)	ลดน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิดของผัก	ผู้วิจัย	แสงสี (นาโนเมตร)	ผลของแสงต่อพืช
ผักกาดเขียว	Pinho, Jokinen et al.	Blue (455)	ลดปริมาณธาตุซิงค์
		Blue (460)	เพิ่มปริมาณธาตุซิงค์
		Red (640)	ลดปริมาณธาตุเหล็ก และ คลอโรฟิลล์เอ
		Red (660)	เพิ่มปริมาณธาตุเหล็ก และ คลอโรฟิลล์เอ
		Far-red (730)	เพิ่มพื้นที่ใบ ความกว้างของใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง
ผักกาดเขียว	Son and Oh	Blue (456)	เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์
		Green (518)	เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์แต่ลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
		Red (655)	เพิ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบและราก
ผักกาดเขียว	Kang, Park et al.	Blue (465)	ลดความกว้างและความยาวใบลดลง แต่เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์
		Green (525)	ลดอัตราการสังเคราะห์แสงและปริมาณคลอโรฟิลล์
		Red (625)	เพิ่มความกว้างและความยาวของใบ เพิ่มอัตราส่วนน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบและราก อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
ผักกาดเขียว	Wang, Lu et al.	Blue (450)	เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
		Red (657)	เพิ่มน้ำหนักแห้งของใบ พื้นที่ใบ ปริมาณซูโครสและแป้ง
ผักกาดเขียว	Shimizu, Saito et al.	Blue	ลดจำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง
		Green	ลดอัตราการสังเคราะห์แสง
		Red	เพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
ผักกาดเขียว	Kook, Park et al.	Blue (460)	เพิ่มความยาวราก พื้นที่ใบ จำนวนใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ และน้ำหนักสด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิดของผัก	ผู้วิจัย	แสงสี (นาโนเมตร)	ผลของแสงต่อพืช
			และน้ำหนักแห้งของราก สารต้านออกซิเดชั่น และปริมาณคลอโรฟิลล์
		Red (635)	ลดอัตราการเจริญเติบโตทุกด้านเมื่อเปรียบเทียบกับแสงสี Blue เนื่องจากความยาวคลื่นของแสงสี Red
ผักกาดเขียว	Liu, Fu et al.	Green (480-560)	เพิ่มน้ำหนักแห้งของใบและน้ำหนักโดยรวม สารคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ แต่ลดน้ำหนักแห้งของราก
ผักกาดเขียว	Lin, Huang et al.	White (400-700)	เพิ่มความกรอบ ความหวาน สีสัน และรูปร่าง แต่ลดคลอโรฟิลล์และปริมาณสารแคโรทีนอยด์
		Green (500-600)	เพิ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของทั้งใบและราก ความหวาน ลดปริมาณสารไนเตรท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามแสงสว่างสำหรับพืช

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งแสงตามความยาวคลื่นออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แสงที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible Light) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 380– 780 นาโนเมตร และแสงที่ตามนุษย์มองไม่เห็น (Invisible Light) มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 380 นาโนเมตร เรียกว่า แสงอัลตร้าไวโอเลตจะ และมีความยาวคลื่นมากกว่า 780 นาโนเมตร เรียกว่า แสงอินฟราเรด ซึ่งแสงที่มนุษย์มองเห็นมีความสำคัญต่อพืชเนื่องจากความยาวคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ในช่วง 400 – 700 นาโนเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงแบ่งออกเป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติและแหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติขนาดใหญ่ที่แผ่รังสีออกมาในช่วง 280 – 2800 นาโนเมตร (Niu 2016) ประกอบไปด้วยแสงอัลตร้าไวโอเลต 4% เป็นแสงที่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หากได้รับเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการเผาไหม้ของเซลล์ด้านนอก แสงอินฟราเรด 53% เป็นแสงที่ให้ความร้อนสูง และแสงที่ตามองเห็น 43% โดยปกติแสงที่ส่องออกมาจากดวงอาทิตย์จะมองเห็นเป็นแสงขาว ประกอบด้วยแสงที่มีสีต่าง ๆ ผสมกันอยู่ เรียกอีกอย่างว่า ‘สเปกตรัมของแสง’ โดยสีที่อยู่ในแสงขาวสามารถทดลองการกระจายของแสงขาวได้จากการนำแสงขาวส่องผ่านไปยังปริซึม ทำให้เกิดการหักเหของแสงที่มุมต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากัน เมื่อเอาฉากไปรับแสงที่ส่องผ่านมาจากปริซึมจะเห็นสีของแสงขาวที่ต่าง ๆ กันตามความยาวคลื่นดังตารางที่ 2.1 ในส่วนของแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ หลอดไฟประเภทต่าง ๆ เช่น หลอดอินแคนเดสเซนต์, หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดแอลอีดี เป็นต้น ในปัจจุบันมนุษย์สามารถสร้างหลอดไฟที่เลือกความยาวคลื่นของแสงที่ส่องออกมาได้ตามต้องการ ทำให้เทคโนโลยีด้านแสงสว่างสำหรับพืชจึงได้รับความสนใจมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 การจำแนกสีและความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นในช่วง 400 – 700 นาโนเมตร

แสงสี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
สีไวโอเลต (Violet)	400 - 425
สีน้ำเงิน (Blue)	425 – 490
สีเขียว (Green)	490 - 550
สีเหลือง (Yellow)	550 - 585
สีส้ม (Orange)	585 - 620
สีแดง (Red)	620 - 700

สำหรับแสงสว่างที่ให้กับพืชจะใช้หน่วยในการวัดแสงไม่เหมือนกับแสงที่มนุษย์ที่ใช้วัดค่าความสว่าง ในหน่วย ลักซ์ (Lux) เนื่องจากแสงที่ให้กับพืชจะพิจารณาจากปริมาณโฟตอนที่ส่งไปยังพืชต่อพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา เพื่อให้พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งสเปกตรัมของแสงแต่ละสีจะมีค่าพลังงานไม่เท่ากัน หลอดไฟแต่ละประเภทก็จะมีค่าสเปกตรัมของแสงที่แตกต่างกัน เช่น หลอดไฟ 2 หลอดที่แตกต่างกัน มีค่าฟลักซ์ความสว่าง (Luminous Flux) เท่ากัน แต่โฟตอนที่พืชได้รับจะไม่เท่ากัน เนื่องจากพืชพิจารณาจากปริมาณโฟตอนจากแหล่งกำเนิดแสงเท่านั้น โดยพืชจะใช้ช่วงความยาวคลื่นในการสังเคราะห์แสง (Photosynthetically Active Radiation; PAR) อยู่ในช่วง 400 – 700 นาโนเมตร ค่าโฟตอนจะพิจารณาจากช่วงของความยาวคลื่นเท่านั้น หน่วยในการวัดแสงสำหรับพืชโดยใช้หลักการวัดสเปกตรัมของแสงในช่วง PAR มีดังต่อไปนี้

2.1.1 Photosynthetic Photon Flux (PPF)

Photosynthetic Photon Flux (PPF) เป็นค่าฟลักซ์โฟตอน (Photon Flux) ของแสงในช่วง PAR อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร ที่ถูกผลิตออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น ไมโครโมลต่อวินาที (μmol/s) ซึ่งการวัดค่า PPF เป็นการวัดเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของดวงโคมเท่านั้น ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าพืชนั้นได้รับแสงในปริมาณเท่าใด จึงเป็นหน่วยที่ไม่นิยมในการวัดค่าแสงที่พืชได้รับ ทั้งนี้การหาค่า PPF สามารถคำนวณได้จากการวัดกำลังทางแสงผ่านเครื่องวัด Integrating Sphere ที่มีเครื่องวัดเป็นแบบ Spectroradiometer ที่สามารถวัดกำลังของแสงตามความยาวคลื่นของแสง ตามสมการที่ 2.1

$$PPF(\mu mol/s) = 10^6 \sum_{\lambda_i=400nm}^{700nm} \frac{P(\lambda_i)\cdot\lambda_i}{h\cdot c\cdot N_A} \qquad (2.1)$$

เมื่อ PPF คือ ฟลักซ์โฟตอนของแสงที่ผลิตออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง (ไมโครโมลต่อวินาที)

$P(\lambda_i)$ คือ ค่ากำลังที่ความยาวคลื่นของแสงนั้น ๆ (วัตต์/นาโนเมตร)

h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์ มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} (จูล-วินาที)

c คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 2.99×10^{8} (เมตรต่อวินาที)

λ_i คือ ความยาวคลื่นของแสง (นาโนเมตร)

N_A คือ เลขอาโวกาโดร มีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23}

2.1.2 Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD)

Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) เป็นค่าความหนาแน่นของค่าฟลักซ์โฟตอนของแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (PAR) ช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร ต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งถูกผลิตออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น ไมโครโมลต่อตาราง

เมตรต่อวินาที (μmol/m^2/s) โดยค่า PPFD นิยมวัดด้านบนสุดของพืช ซึ่งค่า PPFD จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงกับพืช กล่าวได้ว่า แหล่งกำเนิดแสงใช้ค่าความเข้มเท่าเดิม เมื่อพืชเจริญเติบโตและมีความสูงเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่า PPFD เพิ่มขึ้นตามความสูงของพืชด้วย ทั้งนี้ค่า PPFD สามารถคำนวนได้จากค่าความสว่างต่อค่าคงที่ (K) ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ ดังสมการที่ 2.2

$$PPFD(\mu mol / m^2 / s) = \frac{E}{K} \qquad (2.2)$$

เมื่อ $PPFD$ คือ ค่าความหนาแน่นของค่าฟลักซ์โฟตอน (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

E คือ ค่าความสว่าง (ลักซ์)

K คือ ค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ

ค่าคงที่ (K) ของแหล่งกำเนิดแสงได้มาจากการเปรียบเทียบค่าความสว่างกับค่า PPFD โดยแหล่งกำเนิดแสงแต่ละแบบจะมีค่าคงที่ไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ

แหล่งกำเนิดแสง	ค่าคงที่ (K)
แสงอาทิตย์	54
ฟลูออเรสเซนต์ 4000 K	74
หลอดโซเดียมความดันสูง	82
หลอดเมทัลฮาไลด์	71
หลอดโซเดียมความดันต่ำ	106
หลอดฮาโลเจน 100 วัตต์	50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.3 Daily light Integral (DLI)

Daily light Integral (DLI) เป็นค่าของแสงที่พืชได้รับต่อวัน เพื่อช่วยระบุความต้องการแสงของพืชแต่ละชนิดที่ต้องการแสงในแต่ละวันที่ไม่เท่ากัน เมื่อได้รับแสงที่พอเหมาะกับความต้องการ จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ เมื่อพืชได้รับแสงมากกว่านี้ค่า DLI ในแต่ละวันแล้ว พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ เรียกจุดนี้ว่าจุดอิ่มตัว มีหน่วยเป็นโมลต่อตารางเมตรต่อวัน (mol/m^2/d) ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า PPFD แสดงได้ดังสมการที่ 2.3

$$DLI(mol/m^2/day) = PPFD \times 3.6 \times 10^{-3} \times Photoperiod \quad (2.3)$$

เมื่อ DLI คือ ค่าของแสงที่พืชได้รับต่อวัน (โมลต่อตารางเมตรต่อวัน)

$PPFD$ คือ ค่าความหนาแน่นของค่าฟลักซ์โฟตอน (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

$Photoperiod$ คือ จำนวนชั่วโมงที่ให้แสงต่อวัน (ชั่วโมงต่อวัน)

2.2 คุณลักษณะสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ตามฤดูกาลในประเทศไทย

อย่างที่ได้กล่าวไว้ว่าสเปกตรัมของแสงอาทิตย์นั้นแผ่รังสีออกมาในช่วง 280 – 2800 นาโนเมตร เมื่อแสงอาทิตย์ส่องเข้ามาสู่โลก สิ่งแรกที่แสงอาทิตย์จะพบคือชั้นบรรยากาศทำให้แสงถูกดูดซับบริเวณชั้นบรรยากาศ ซึ่งแสงส่วนใหญ่ที่ถูกดูดซับและสะท้อนออกไปในชั้นบรรยากาศนั้นคือแสงช่วงคลื่นสั้นหรือแสง UV แต่เป็นเพียงช่วงคลื่นสั้นเฉพาะ UV-C และ UV-B บางส่วนเท่านั้นที่ถูกดูดซับและสะท้อนออกไป และแสงบางส่วนเกิดการสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากโมเลกุลของสารในอากาศที่มีขนาดเล็กกว่ารัศมีของความยาวคลื่นแสง ซึ่งทำแสงเกิดการกระจัดกระจายไปในทุกทิศทาง โดยการกระเจิงของโมเลกุลสารนี้บางครั้งถูกเรียกว่า รังสีท้องฟ้า (Sky Radiation) โดยแสงช่วงคลื่นอื่น ๆ จะผ่านเข้ามาจากชั้นบรรยากาศก็จะส่องมายังพื้นโลก โดยแสงบางส่วนนั้นไม่ได้ส่องมาที่พื้นโลกได้โดยตรงเนื่องจากแสงอาจจะถูกบดบังด้วยก้อยเมฆที่ลอยอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนโลกทำให้แสงบริเวณนั้นถูกสะท้อนออกไปบางส่วนและบางส่วนก็ส่องผ่านลงมา เป็นผลทำให้สเปกตรัมของแสงเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล อีกทั้งความเข้มแสงยังลดลงอีกด้วย

ทั้งนี้สเปกตรัมของแสงตามช่วงฤดูกาลในประเทศไทยแบ่งตามเดือนได้ดังนี้

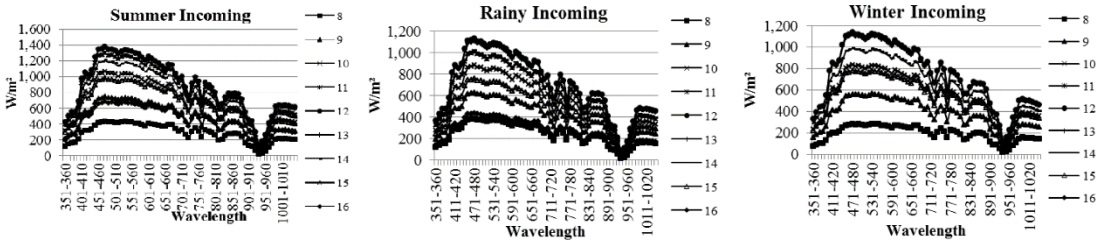
ฤดูร้อน พิจารณาจากเดือนมีนาคม ถึง เดือนพฤษภาคม

ฤดูฝน พิจารณาจากเดือนมิถุนายม ถึง เดือนตุลาคม

ฤดูหนาว พิจารณาจากเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกุมภาพันธ์

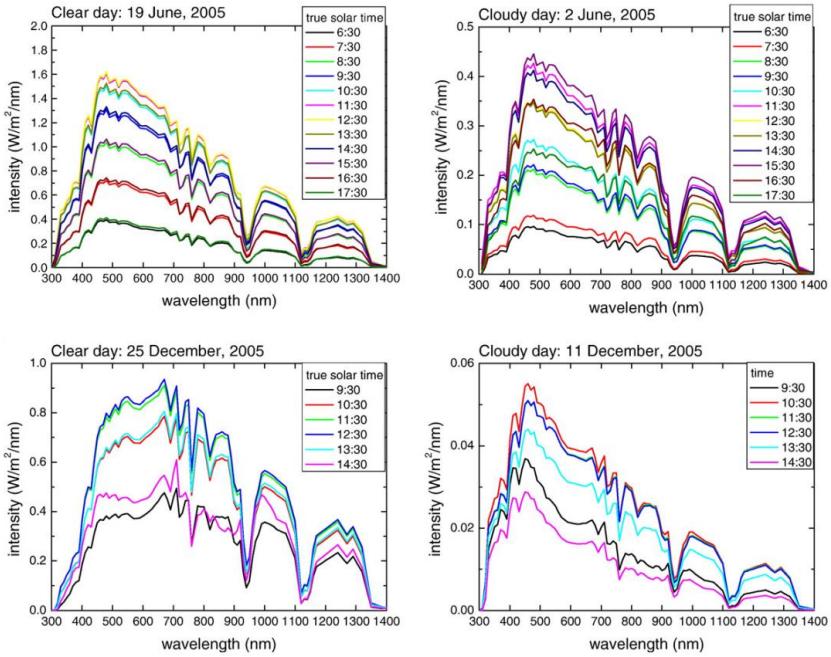
โดยความเข้มของแสงอาทิตย์ในประเทศไทยและสเปกตรัมของแสงตามช่วงฤดูกาลจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทุกช่วงเวลาในแต่ละวัน โดยความเข้มแสงเฉลี่ยสูงสุดวัดได้ที่ฤดูร้อน ซึ่งมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย 672.68 วัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือฤดูหนาวซึ่งมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย 665.08 วัตต์ต่อตารางเมตร และน้อยที่สุดคือฤดูฝนซึ่งมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยเพียง 629.24 วัตต์ต่อตารางเมตร (การวัดความเข้มแสงเฉลี่ยทำในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2554 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2555) ทั้งนี้สเปกตรัมของแสงในฤดูกาลต่าง ๆ มีสเปกตรัมของแสงที่แตกต่างกันออกไปดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ละฤดูกาลพบว่าความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันไม่มาก เมื่อเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์ที่ฤดูร้อนมีความเข้มแสงกว่าฤดูฝนอย่างมาก (Limhoon and Bualert 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.1 รูปแสดงสเปกตรัมของแสงกับความเข้มแสงตามช่วงฤดูกาลในประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2554 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2555 (Limhoon and Bualert 2013)

และเมื่อวัดค่าสเปกตรัมของแสงอาทิตย์บนพื้นโลกในช่วงเวลาที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมหรือวันที่ท้องฟ้าเปิด ค่าสเปกตรัมของแสงก็จะเปลี่ยนไปและฤดูกาลก็ส่งผลค่าสเปกตรัมของแสงเปลี่ยนไปอีกด้วยแม้ว่าจะเป็นวันที่ท้องฟ้าเปิดเหมือนกัน โดยช่วงความยาวคลื่นของแสงยังคงมีครบทุกความยาวคลื่นแสงแต่อัตราส่วนของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเช่น ในวันที่ท้องฟ้าเปิดเดือนมิถุนายน ฤดูฝน สเปกตรัมของแสงจะมีแสงสี Blue มากกว่าช่วงแสงสี Red และ Green แต่ถ้าเป็นวันที่ท้องฟ้าเปิดเดือนธันวาคม ฤดูหนาว แสงสี Red, Blue และ Green จะมีแสงอยู่ในระดับเดียวกัน แต่ถ้าเป็นช่วงที่มีเมฆมากในช่วงฤดูหนาว แสงสี Blue และ Green จะมีมากกว่าช่วงแสงสี Red ซึ่งสเปกตรัมของแสงในวันที่ท้องฟ้าเปิด และวันที่มีเมฆในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝนแสดงดังรูปที่ 2.2



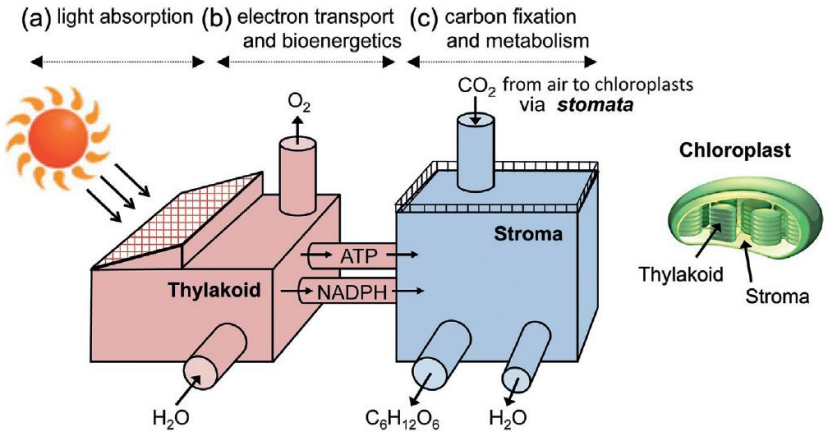
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของแสงตามช่วงเวลาในวันที่ท้องฟ้าเปิดและวันที่มีเมฆในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝน (van Sark 2008)

2.3 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ของใบพืช ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ส่วนประกอบหลักสามส่วน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจากแสง เมื่อพืชสังเคราะห์ด้วยแสงแล้ว จะได้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจนออกมา (Yamori 2016) โดยสมการทางเคมีในการสังเคราะห์แสงเป็นดังนี้

$$6CO_2 + 12H_2O + LightEnergy \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การดูดรับแสง (light absorption) การส่งผ่านอิเล็กตรอนและพลังงานชีวภาพ (electron transportation and bioenergetics) และ การตรวจจับคาร์บอนและกระบวนการเผาผลาญอาหาร (carbon fixation and metabolism) โดยกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นภายในคลอโรพลาสต์ ดังรูปที่ 2.3

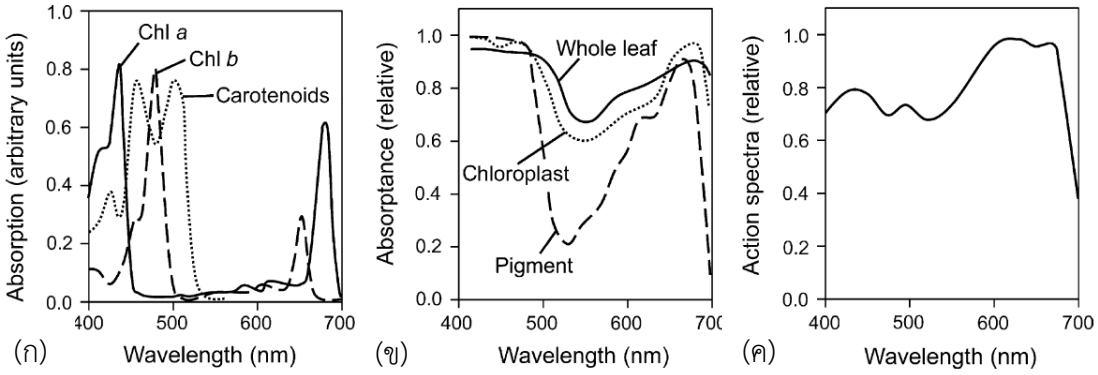


รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชภายในคลอโรพลาสต์

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเริ่มต้นจากการตรวจจับแสงด้วยเม็ดสีของพืชสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ และคาโรทีนอยด์ ซึ่งเม็ดสีสองชนิดนี้มีหน้าที่ในการดูดรับแสงที่นำไปสู่กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คลอโรฟิลล์เป็นเม็ดสีหลักที่ใช้ดูดรับช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดงและสีน้ำเงินโดยคลอโรฟิลล์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งมีโครงสร้างและคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในแต่ละช่วงความยาวคลื่นมีความแตกต่างกันด้วย ส่วนคาโรทีนอยด์เป็นเม็ดเพิ่มเติมที่จะดูดรับแสงสีน้ำเงินเป็นหลัก ซึ่งใช้คลอโรพลาสต์ในการดักจับพลังงานแสงที่เหลือ ดังรูปที่ 2.4ก โดยใบของพืชนั้นจะดูดรับแสงสีแดงและสีน้ำเงินได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และดูดรับแสงสีเขียวได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ดังรูปที่ 2.4ข โดยส่วนใหญ่ใบของพืชจะดูดรับแสงสีแดงและน้ำเงินบริเวณด้านบน

แต่แสงสีเขียวที่ได้รับจะถูกลดทอนให้หายไปเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงสีเขียวอยู่ภายในใบของพืช เมื่อแสงสีเขียวเดินทางเข้าสู่ภายในใบ จะเกิดการสะท้อนไปมาระหว่างผนังเซลล์กับช่องอากาศภายในเป็นผลให้พลังงานของแสงสีเขียวหายไประหว่างการสะท้อน (Terashima, Fujita et al. 2009) ทั้งนี้ช่วงสเปกตรัมของแสงสีแดงที่ช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตรมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างมาก ดังรูปที่ 2.4ค



รูปที่ 2.4 (ก) ช่วงความยาวคลื่นของการดูดรับแสงของคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์
(ข) ปริมาณการดูดรับแสงของพืชตามช่วงความยาวคลื่นของแสง
(ค) ช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ประกอบไปด้วยปัจจัยภายในและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

1) ปัจจัยภายใน

1.1) การจำแนกพืชตามประเภทของการสังเคราะห์ด้วยแสง

การจำแนกพืชตามรูปแบบการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นการจำแนกพืชตามพันธุกรรม ทำให้ปริมาณการสังเคราะห์แสงของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันออกไปด้วย สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ C_3, C_4 และ CAM โดย C_3 มาจากผลผลิตแรกที่ได้จากการสังเคราะห์แสง คือ 3-carbon acid และ C_4 มาจากผลผลิตแรกที่ได้จากการสังเคราะห์แสง คือ 4-carbon acid ส่วนประเภท CAM นั้นมีรูปแบบการสังเคราะห์แสงที่แตกต่างออกไป มีการปรับตัวเพื่อลดการคายน้ำ หรือการสูญเสียน้ำออกจากต้น โดยการปิดปากใบเวลากลางวัน และเปิดปากใบเวลากลางคืน เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พร้อมทั้งคายความชื้นและปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมา พืชจะนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เก็บไว้ในตอนกลางคืนมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวัน ลักษณะการทำงานของพืชกลุ่มนี้จะสลับกับพืชทั่วไป ซึ่งอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชประเภท C_3 จะมากที่สุด ตามด้วยประเภท C_4 และ CAM ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2) อายุของใบ

อายุของใบมีผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง โดยใบอ่อนของพืชนั้นคลอโรฟิลล์ยังเจริญไม่เต็มที่ ส่วนใบแก่ของพืชคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงขาดประสิทธิภาพ

2) ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม

2.1) ความเข้มของแสง

ความเข้มของแสงเป็นปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หากมีความเข้มแสงมาก อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอุณหภูมิกับความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงร่วมกัน กล่าวได้ว่า หากอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ความเข้มแสงน้อยจะไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้ว จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลงตามอุณหภูมิและความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้น โดยปกติหากไม่พิจารณาปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชส่วนใหญ่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 0 - 35 °C หรือ 0 - 40 °C ในทางกลับกันหากอุณหภูมิสูงกว่านี้ อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ควบคุมและการทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสง โดยเรียกปฏิกิริยาเคมีที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิว่า ปฏิกิริยาเทอร์โมเคมิคัล (thermochemical reaction) หากความเข้มของแสงน้อยมาก จนทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชเกิดขึ้นน้อยกว่ากระบวนการหายใจ จะส่งผลให้น้ำตาลถูกใช้หมดไป พืชจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสง และช่วงเวลาที่ได้รับแสง เช่น หากพืชได้รับแสงนานจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงดีขึ้น แต่ในทางกลับกันพืชได้รับแสงที่มีความเข้มมากในเวลานานเกินไป จะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงหยุดชะงักได้ เนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกกระตุ้นมากเกินไป ออกซิเจนที่เกิดขึ้นแทนที่จะออกสู่บรรยากาศภายนอก พืชกลับนำไปออกซิไดซ์ส่วนประกอบและสารอาหารต่าง ๆ ภายในเซลล์ รวมทั้งคลอโรฟิลล์ทำให้สีของคลอโรฟิลล์จางลง เป็นผลให้ประสิทธิภาพของคลอโรฟิลล์และเอนไซม์เสื่อมลง ทำให้การสร้างน้ำตาลลดลงไปด้วย

2.2) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่สำคัญต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้นจากระดับปกติที่มีในอากาศ อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยจนถึงระดับหนึ่ง ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงขึ้น แต่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่ได้สูงขึ้นตามไปด้วย และหากพืชได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าระดับน้ำเป็นเวลานาน จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์

แสงลดต่ำลงได้ คาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น ความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ความเข้มของแสงน้อย และอุณหภูมิของอากาศต่ำ กรณีเช่นนี้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดต่ำลงตามไปด้วย ในทางตรงกันข้ามหากคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงขึ้น ความเข้มของแสงและอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น กรณีเช่นนี้อัตราการสังเคราะห์แสงจะสูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดอาหารมากขึ้นจึงเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

2.3) อุณหภูมิ

โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 – 35 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงขึ้นกว่านี้อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดต่ำลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เพราะเอนไซม์ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะ หากสูงเกิน 40 องศาเซลเซียสเอนไซม์จะเสื่อมสภาพทำให้การทำงานของเอนไซม์หยุดชะงักลง

2.4) น้ำ

น้ำเป็นแหล่งของอิเล็กตรอนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพืชขาดน้ำอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง นอกจากนี้น้ำมีผลต่อการปิดและเปิดของปากใบ ซึ่งมีผลกระทบต่อการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบ หากใบมีสภาพขาดน้ำปากใบจะปิดเพื่อลดการคายน้ำทำให้ขาดแคลนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง

2.5) ธาตุอาหาร

การขาดธาตุอาหารมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งธาตุแมกนีเซียม (Mg) และไนโตรเจน (N) เป็นธาตุที่สำคัญในองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์การขาดสาร เป็นผลทำให้พืชมีอาการใบเหลืองซีดที่เรียกว่า คลอโรซิส เนื่องจากใบขาดคลอโรฟิลล์ ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณเกลือแร่ ธาตุแมกนีเซียม และไนโตรเจนของเกลือในดินมีความสำคัญต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ดังนั้นหากในดินขาดธาตุทั้งสองพืชจะขาดคลอโรฟิลล์ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าเหล็ก (Fe) จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์และสารไซโตโครม (ตัวรับและถ่ายทอดอิเล็กตรอน) หากไม่มีธาตุเหล็กในดินเพียงพอ จะทำให้การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ก็จะเกิดขึ้นไม่ได้

2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักชี

ผักชี มีชื่อสามัญคือ Coriander และชื่อวิทยาศาสตร์คือ Coriandrum sativum L เป็นพืชสมุนไพรที่ปลูกได้ตลอดทั้งปีจัดอยู่ในวงศ์ Apiaceae สายพันธุ์ Umbelliferae มีถิ่นกำเนิดในแถบเมดิเตอร์เรเนียนเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศอินเดีย, อิตาลี, ตุรกี และเม็กซิโก เป็นต้น (Sharma and Sharma 2012) โดยในประเทศไทยนั้นนิยมปลูกในแถบจังหวัดราชบุรี นครปฐม และกรุงเทพมหานคร ต้นผักชีมีความสูงประมาณ 20 – 140 เซนติเมตร ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ต้น

อ่อน ผักชีมีเอกลักษณ์เฉพาะเรื่องกลิ่น จึงมักนำไปใช้ในการเพิ่มกลิ่นให้กับอาหาร หรือนำไปสกัดเป็นยา และน้ำมันหอมระเหย (Sahib, Anwar et al. 2013) โดยทุกส่วนของผักชีสามารถนำไปรับประทานได้ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นราก ลำต้น ใบ และผลหรือเมล็ด ยิ่งไปกว่านั้นผักชีมีสรรพคุณในการช่วยบำรุงสายตา ลดระดับน้ำตาลในเลือด และลดความเสี่ยงการเกิดเป็นโรคมะเร็ง ส่วนคุณค่าทางโภชนาการต่อผักชีสด 100 กรัม แบ่งเป็นพลังงาน 23 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 3.67 กรัม น้ำตาล 0.87 กรัม เส้นใย 2.8 กรัม ไขมัน 0.52 กรัม โปรตีน 2.13 กรัม น้ำ 92.21 กรัม วิตามินเอ 337 ไมโครกรัม (42%) เบต้าแคโรทีน 3,930 ไมโครกรัม (36%) ลูทีนและซีแซนทีน 865 ไมโครกรัม วิตามินบี 1 0.067 มิลลิกรัม 6% วิตามินบี 2 0.162 มิลลิกรัม (14%) วิตามินบี 3 1.114 มิลลิกรัม (7%), วิตามินบี 5 0.57 มิลลิกรัม (11%) รวมทั้งในส่วนของใบและเมล็ดของผักชียังมีสารต้านอนุมูลอิสระ (Anti-oxidant) โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยป้องกันหรือทำลายอนุมูลอิสระ(Oxidant) ที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกาย และได้รับมลพิษจากสภาพแวดล้อมภายนอกแล้วทำให้เกิดความผิดปกติในเซลล์ภายในร่างกาย ทำให้เซลล์เสื่อมและถูกทำลายได้ง่ายขึ้น เป็นผลทำให้ชราหรือแก่ก่อนวัย ซึ่งการเสื่อมสภาพของเซลล์สามารถพัฒนาไปสู่การเกิดโรคมะเร็งได้ (Wangensteen, Samuelsen et al. 2004, Wong and Kitts 2006) ทั้งนี้ได้มีการนำผักชีไปทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DDPH Radical Scavenging พบว่าค่าสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีที่พิกัด IC50% = 147 µg/mL (Sahib, Anwar et al. 2013)

2.3.1 การเพาะเมล็ดผักชี

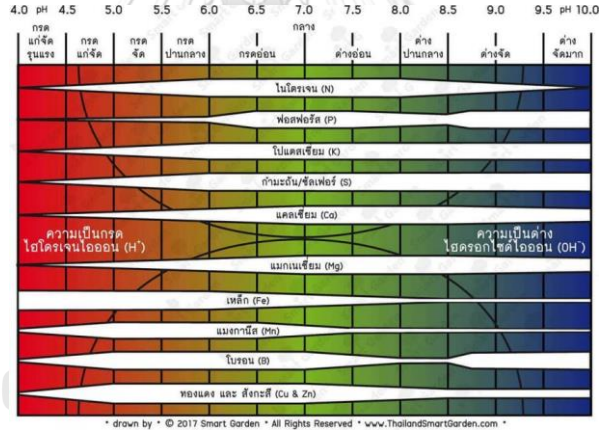
การเพาะต้นกล้าของผักชี มักนิยมนำไปเมล็ดพันธุ์ไปเพาะในดินเพาะต้นกล้าก่อน โดยดินเพาะกล้าเป็นดินร่วนที่นำไปผสมกับปุ๋ยคอกที่สามารถระบายน้ำได้ดี จากนั้นจึงนำเมล็ดไปหว่านและทำการรดน้ำให้ดินชุ่มเล็กน้อยก่อนที่จะหว่านเมล็ด หลังจากนั้นจึงนำกากมะพร้าวหรือฟางมาคลุมหน้าดินไว้เพื่อป้องกันแสงแดดและรักษาความชุ่มชื้นให้กับดิน โดยทำการรดน้ำในเวลาเช้าและเย็นของทุกวัน เป็นระยะเวลา 7-14 วัน

2.3.2 การเตรียมปุ๋ยในการปลูกผักชีแบบไฮโดรโปรนิกส์

สำหรับปลูกผักชีแบบไฮโดรโปรนิกส์ จะใช้ปุ๋ยน้ำสำเร็จรูปเอและบี เนื่องจากปุ๋ยเอ และปุ๋ยบี มีความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงจะทำให้ปุ๋ยเกิดการตกตะกอนได้ โดยปุ๋ยเอ ประกอบไปด้วยธาตุโมโนแอมโมเนียฟอสเฟต โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต โพแทสเซียมไนเตรทแมกนีเซียมซัลเฟส และ Nic Spray ในขณะเดียวกันปุ๋ยบี ประกอบไปด้วยธาตุแคลเซียมไนเตรท และเวสโก้เรโซลิน APN (จุลธาตุ) ซึ่งจะนำปุ๋ยเอและบีไปละลายน้ำ ทำให้ธาตุอาหารต่าง ๆ ละลายน้ำ ก่อนที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยน้ำในแปลงผักไฮโดรโปนิกส์นั้น

ซึ่งอัตราส่วนสำหรับน้ำเปล่าต่อปุ๋ยเอและบีความเข้มข้นสูงนั้นจะมีการวัดค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า (Electrical Conductivity) หรือที่นิยมเรียกกันว่า EC ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้น มีหน่วย

การวัดเป็น mS/cm โดยปกติแล้วน้ำบริสุทธิ์จะมีค่า EC เท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีการเติมปุ๋ยเอและบีความเข้มข้นสูงเข้าไปแล้วจะทำให้ค่า EC สูงขึ้น ซึ่งค่า EC ที่เพิ่มมากขึ้น จะใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความเข้มข้นของปุ๋ยเอและบีที่นำไปละลายน้ำในถังน้ำเปล่า โดยค่า EC ที่เหมาะกับพืชแต่ละชนิดก็มีค่าต่างกันออกไป ปุ๋ยสำหรับผักชีจะมีค่า EC อยู่ในช่วง 2.5 – 3 mS/cm ทั้งนี้ยังต้องพิจารณาค่าความเป็นกรดและด่างในปุ๋ยน้ำ หรือการวัดค่า Ph ของน้ำ โดยค่า pH จะใช้เป็นตัวบอกสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของปุ๋ยที่ให้กับพืช มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของปุ๋ย และยังทำให้การละลายตัวของธาตุหรือสารต่าง ๆ ในดินออกมา สารอาหารบางอย่างก็มีประโยชน์ แต่บางอย่างก็อาจเป็นพิษกับพืชได้ หากปุ๋ยมีความเป็นกรดมาก เช่น ค่า Ph อยู่ในช่วง 4.5 – 5.5 พืชจะมีธาตุอลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็ก ดังรูปที่ 2.5 ละลายออกมามากเกินไป เป็นผลให้ใบไหม้และยังส่งผลร้ายกับพืชได้ และหากปุ๋ยมีค่าความเป็นด่างมาก เช่น ค่า Ph อยู่ในช่วง 7 – 8 พืชก็จะดูดแคลเซียม ทำให้เกิดอาการใบหนา อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วค่า Ph ที่เหมาะสมกับการปลูกผักชีจะอยู่ในช่วง 6 – 6.5 ซึ่งเป็นสภาวะปุ๋ยแบบเป็นกรดอ่อน ๆ และเป็นช่วง Ph ของปุ๋ยจะมีธาตุโพแทสเซียม และฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช



รูปที่ 2.5 ค่าความเป็นกรดด่างในการละลายธาตุอาหาร

2.3.3 สารต้านอนุมูลอิสระในผักชี

สารต้านอนุมูลอิสระในผักชีพบได้ในส่วนของใบ ลำต้น ผลและเมล็ด ซึ่งฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของส่วนใบและลำต้นมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการชักและต้านการถูกทำลายของเซลล์สมอง ต้านแบคทีเรีย ต้านเชื้อราและมีฤทธิ์ช่วยย่อยในระบบทางเดินอาหาร ส่วนผลและเมล็ดพบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านแบคที่เรีย ต้านเชื้อรา ต้านปรสิต ต้านการอักเสบ ต้านการก่อมะเร็งมีฤทธิ์ ลดน้ำตาลในเลือดลดความดันเลือดลดไขมันในเลือด ลดความวิตกกังวล แก้ปวดสามารถจับและกำจัดโลหะหนักปกป้องตับและไต

ในการสกัดสารจากส่วนใบและลำต้น นิยมสกัดด้วยแอลกอฮอล์ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดจากน้ำสารสกัดเอทิลอะซิเทรตจากส่วนใบมีฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด การสกัดสารด้วยน้ำและสารสกัดด้วยเอทิลอะซิเทรตจากส่วนใบและลำต้นพบว่ามีฤทธิ์ ต้านการชักและต้านการถูกทำลายของเซลล์สมองได้ดีกว่าสารสกัดจากบิวทานอล ซึ่งสารสำคัญในสารสกัดน้ำคือ สารกลุ่ม flavonoids glycosides ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ ต้านออกซิเดชันที่ดี สารสกัดจากแอลกอฮอล์จากส่วนลำตันมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ดี อีกทั้งน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากใบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียเช่นเดียวกัน (Wangensteen, Samuelsen et al. 2004, Wong and Kitts 2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การออกแบบหลอดไฟแอลอีดีสำหรับปลูกผักชี

การออกแบบแสงสว่างสำหรับการปลูกผักชีจะนำผลการศึกษาจากงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการออกแบบแสงสว่าง โดยผลจากการศึกษาพบว่าแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารอาหารของผักชี ได้แก่ แสงสี Far-red และแสงสี Red ที่ส่งผลให้ผักชีมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มมากขึ้นและแสงสี Blue ที่ทำให้ผักชีมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามแสงสี Far-red และ Red ที่ในปริมาณสัดส่วนที่มากนั้นจะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักชีลดลง ในทำนองเดียวกันแสงสี Blue ที่มากทำให้การเจริญเติบโตของผักชีลดลง ดังนั้นในการออกแบบแสงสว่างนั้นจะออกแบบเพื่อหาอัตราส่วนของแสงสี Far-red : Red : Blue ที่ทำให้ผักชีมีผลการเจริญเติบโตและมีปริมาณสารอาหารที่มากที่สุด จากงานวิจัยของ (Naznin, Lefsrud et al. 2016) ได้มีการเลือกอัตราส่วนแสงสว่างที่มีเฉพาะอัตราส่วนแสงสี Red และ Blue เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของแสงสี Far-red ด้วยที่คาดว่าจะส่งผลให้ผักชีมีการเจริญเติบโตที่ดีมากขึ้น

จากงานวิจัยของ (Naznin, Lefsrud et al. 2016) ได้ศึกษาอัตราส่วนของแสงสว่าง ที่ขึ้นอยู่กับจำนวนเม็ดแอลอีดีมาใช้ในการออกแบบ เช่น อัตราส่วน Red ต่อ Blue เท่ากับ 5:1 กล่าวได้ว่าการใช้จำนวนเม็ดแอลอีดีสี Red 5 เม็ดต่อเม็ดแอลอีดีสี Blue 1 เม็ด จึงจะทำให้ผลการออกแบบมีความผิดพลาดหากมีการใช้เม็ดแอลอีดีจากผู้ผลิตรายอื่น การที่จะทำให้สามารถออกแบบแสงสว่างควรใช้อัตราส่วนของค่า PPF ของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี ซึ่งนำไปใช้ในการออกแบบหลอดไฟสีผสม จะทำให้อัตราส่วนแสงมีความใกล้เคียงกันและมีความถูกต้องมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 การเลือกความยาวคลื่นของเม็ดแอลอีดีและการกำหนดอัตราส่วนแสงของหลอดแอลอีดี

3.1.1 การเลือกความยาวคลื่นของเม็ดแอลอีดี

จากที่กล่าวมาในบทที่ 1 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการออกแบบแสงสว่างสำหรับปลูกผักชีจะใช้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักมากที่สุด โดยใช้แสงทั้งหมด 3 สี ได้แก่ แสงสี Far-red ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 730-740 นาโนเมตร แสงสี Red ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 640-660 นาโนเมตร และแสงสี Blue ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 450-460 นาโนเมตร ทั้งนี้เม็ดแอลอีดีจากผู้ผลิตมีให้เลือกมากมายแต่ในงานวิจัยนี้เลือกเม็ดแอลอีดีของบริษัท Lumileds รุ่น LUXEON Sunplus 2835 Line เพราะความยาวคลื่นของเม็ดแอลอีดีตรงกับความต้องการ โดยแบ่งเป็นแสงสีและความยาวคลื่น ดังนี้

1) แสงสี Far-red (730 นาโนเมตร)

2) แสงสี Red (660 นาโนเมตร)

3) แสงสี Blue (447 นาโนเมตร)

3.1.2 การกำหนดอัตราส่วนแสงของหลอดแอลอีดี

การกำหนดอัตราส่วนแสงสำหรับหลอดแอลอีดีเพื่อที่จะศึกษาผลของแสงสี Red, Blue และ Far-red ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม โดยตั้งต้นจากงานวิจัยของ (Naznin, Lefsrud et al. 2016) ที่ใช้หลอดแอลอีดีที่อัตราส่วนแสงระหว่างแสงสี Red ต่อแสงสี Blue เท่ากับ 10:2 แล้วทำให้ผลการเจริญเติบโตและมีสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าแสงสี Red มีผลต่อการเจริญเติบโต และสี Blue มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระในผักชี ดังนั้นการออกแบบอัตราส่วนแสงจึงเลือกที่จะเพิ่มสัดส่วนสีน้ำเงิน 2 เท่าและลดอัตราส่วนแสงสีน้ำเงินลด 2 เท่าจากการทดลองตั้งต้น กล่าวได้ว่าอัตราส่วนแสงสี Red : Blue เท่ากับ 10:4 และ 10:1 เพื่อศึกษาผลของแสงสี Blue ต่อการเพิ่มสารต้านอนุมูลอสระในผักชีว่าหากปริมาณแสงสี Blue มีมากจะทำให้สารต้านอนุมูลอิสระในผักชีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และการลดปริมาณแสงสี Blue ส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้แสงสี Blue ที่มากก็ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของผักชี ทั้งด้านความสูงและน้ำหนัก ทั้งนี้จึงเลือกใช้แสงสี Far-red เพื่อลดข้อเสียนี้โดยจากงานวิจัยของ (Pinho, Jokinen et al. 2017) ที่ได้ใช้แสงสี Far-red ส่งผลทำให้ผักกาดมีการเจริญเติบโตในด้านความสูง ความกว้างและความยาวใบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยของ (Lee, Park et al. 2015, Lee, Son et al. 2016) ได้กล่าวว่าการเพิ่มอัตราส่วนแสงสี Red ต่อแสงสี Far-red ที่ดีที่สุด เท่ากับอัตราส่วน 8.6:1 ซึ่งแนวโน้มของแสงสี Far-red ที่ใช้ในปริมาณที่น้อยลงส่งผลดีกว่าในแง่ของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงเพิ่มสัดส่วนของแสงสี Red ต่อ Far-red เป็น 10:1 เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และนำไปออกแบบหลอดไฟแอลอีดีที่มีอัตราส่วนแสงสี Red ต่อแสงสี Blue ต่อแสงสี Far-red เท่ากับอัตราส่วน 10:4:1, 10:2:1 และ 10:1:1 ตามลำดับ โดยอัตราส่วนแสงสีของหลอดแอลอีดีออกแบบไว้ทั้งหมดเพื่อใช้ในการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของแสงสี Far-red : Red : Blue ที่ได้ออกแบบ

การทดลองที่	Far-red	Red	Blue
1 (Fr1R10B4)	1	10	4
2 (Fr1R10B2)	1	10	2
3 (Fr1R10B1)	1	10	1
4 (R10B4)	-	10	4
5 (R10B2)	-	10	2
6 (R10B1)	-	10	1

3.2 การออกแบบและการคำนวณอัตราส่วนแสงสำหรับหลอดไฟปลูกผักชี

สำหรับการปลูกผักชีได้เลือกออกแบบหลอดไฟในระบบปิด โดยเป็นฟาร์มในแนวตั้งหรือ (Vertical Farm) ทั้งนี้การให้แสงในแต่ละชั้นยังเลือกหลอดไฟแบบท่อ (Tube; T) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว เรียกว่าหลอดแอลอีดี T8 เนื่องจากเป็นหลอดไฟที่เปลี่ยนง่ายและติดตั้งสะดวก สามารถใช้เป็นหลอดทดแทนหลอดไฟรุ่นเก่าอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์ อย่างไรก็ตามการออกแบบเพื่อสร้างหลอดไฟแอลอีดีจะต้องทราบถึงส่วนประกอบต่าง ๆ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเข้มของแสงที่ออกมาหลอดไฟ รวมไปถึงการคำนวณอัตราส่วนของแสงสีและการจัดวางตำแหน่งของเม็ดแอลอีดีเพื่อให้แสงจากหลอดไฟมีความสม่ำเสมอมากที่สุด

3.2.1 ส่วนประกอบของหลอดไฟแอลอีดี T8

3.2.1.1 เม็ดแอลอีดี

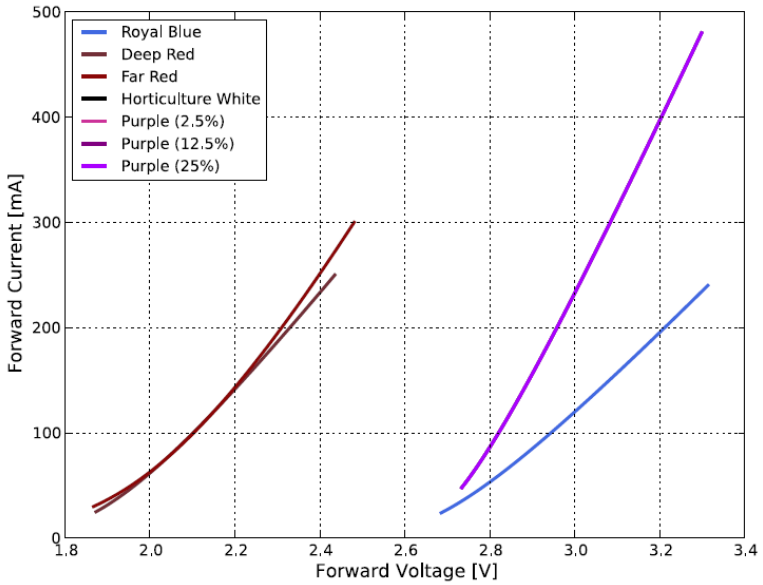
โดยทั่วไปแล้วเม็ดแอลอีดีที่นำมาผลิตหลอดไฟ T8 ในปัจจุบันนิยมรูปแบบ SMD (Surface Mount Device) ซึ่งเป็นเม็ดแอลอีดีที่วางบนแผ่น PCB โดยข้อดีที่สำคัญคือมีขนาดเล็กทำให้สามารถวางเม็ดแอลอีดีได้จำนวนมาก และแสงที่ออกมาจากเม็ดแอลอีดีจะไม่บังจากเม็ดแอลอีดีที่อยู่ติดกัน โดยขนาดเม็ดแอลอีดีที่นิยมใช้มีขนาดความกว้าง 28 มิลลิเมตรและความยาว 35 มิลลิเมตร หรือเรียกว่า เม็ดแอลอีดี SMD 2835รูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างเม็ดแอลอีดี SMD 2835

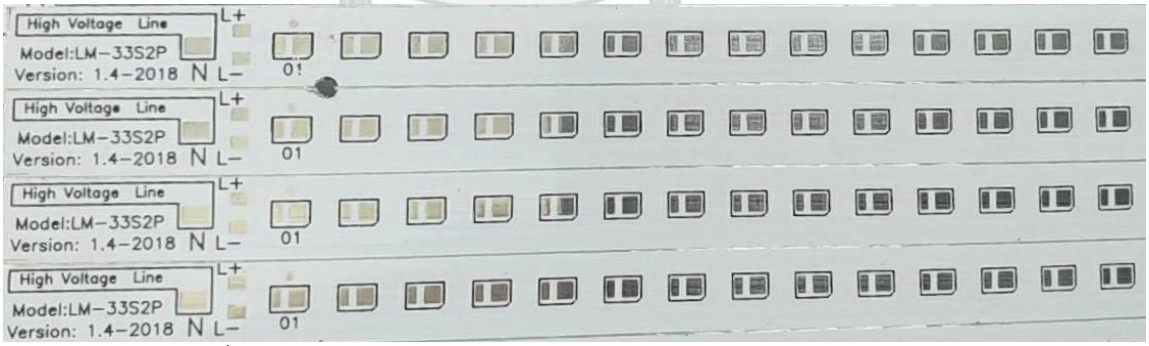
3.2.1.2 แผ่น PCB

โดยทั่วไปแล้วการผลิตหลอดไฟแอลอีดี T8 สำหรับวางเม็ดแอลอีดี จะมีการเลือกค่าความสว่างของหลอดไฟ จำนวนเม็ดแอลอีดี และรูปแบบการต่อเม็ดแอลอีดีที่ใช้สำหรับวางหลอดไฟ ตามลำดับ โดยรูปแบบการต่อเม็ดแอลอีดีจะมีการกำหนดชื่อเพื่อให้ทราบถึงรูปแบบการต่อ ตัวอย่างเช่น แผ่น PCB แบบ 20S3P เป็นเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรม 20 เม็ดแล้วต่อชนานกัน 3 ชุดรวม 60 เม็ด โดยที่ S แทน Series และ P แทน Parallel ซึ่งการออกแบบหลอดไฟปลูกพืชนั้นจำเป็นต้อง

ใช้แผ่น PCB ที่มีวงจรการต่อเม็ดแอลอีดีแบบอนุกรมจำนวนมาก เนื่องจากความหลากหลายของสีของเม็ดแอลอีดีที่มีค่าแรงดันที่ไม่เท่ากันเมื่อใช้ค่ากระแสที่เท่ากัน ตามกราฟ V-I Characteristics ของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีดังรูปที่ 3.2 ทั้งนี้การต่อแอลอีดีแต่ละแบบก็จะมีผลดีผลเสียแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งาน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบวงจร PCB รูปแบบ 33S2P ซึ่งเป็นเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรม 33 เม็ด แล้วต่อขนานกัน 2 ชุดรวม 66 เม็ด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดกระแสและแรงดันของเม็ดแอลอีดีสีต่าง ๆ



รูปที่ 3.3 แผ่นวงจร PCB รูปแบบการต่อวงจรเม็ดแอลอีดีแบบ 33S2P

3.2.1.3 วงจรขับเม็ดแอลอีดีหรือไดร์เวอร์แอลอีดี

วงจรขับเม็ดแอลอีดี (LED Driver) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงไว้ใช้ขับเม็ดแอลอีดีตามแผ่น PCB ที่ได้ออกแบบไว้ โดยไดร์เวอร์แอลอีดีที่นิยมใช้ขับหลอดไฟ T8 นั้นจะเป็นวงจรจ่ายกระแสไฟคงที่ (Constant current) และแรงดัน

จะเป็นช่วงที่เปลี่ยนแปลงได้ตามค่ากระแสที่ป้อนให้กับเม็ดแอลอีดี ซึ่งเม็ดแอลอีดีแต่ละสีเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน จะมีค่าแรงดันที่ไม่เท่ากันตามกราฟ V-I Characteristics (รูปที่ 3.2) ของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี

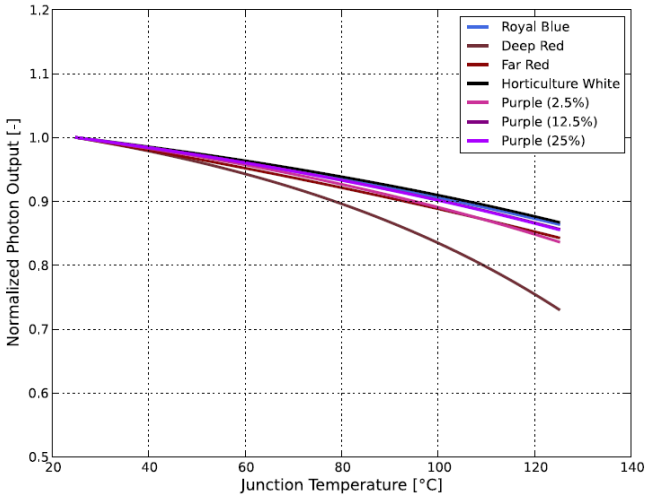
3.2.1.4 โครงหลอดไฟ พร้อมเลนส์ฝาปิด

โครงหลอดไฟแอลอีดี T8 ที่นิยมใช้มี 2 ประเภท ได้แก่ แบบโครงหลอดที่ทำมาจากพอลิคาร์บอเนตทั้งหมด และโครงหลอดอลูมิเนียมดังรูปที่ 3.4 โดยโครงพอลิคาร์บอเนตจะมีราคาถูกแต่ระบายความร้อนได้ไม่ดีเท่ากับโครงอลูมิเนียมที่ระบายความร้อนได้ดีกว่า แต่มีราคาที่สูงกว่า สำหรับเลนส์ที่นำมาปิดโครงหลอดไฟจะมี 2 ประเภท ได้แก่ เลนส์ใส และเลนส์ขุ่น โดยข้อดีของแบบเลนส์ใสคือความเข้มแสงที่ออกมาจากหลอดจะมีการสูญเสียที่น้อยกว่าการใช้เลนส์ขุ่น แต่เลนส์แบบขุ่นจะรวมแสงได้ดีกว่าเลนส์ใส ซึ่งการรวมแสงของเลนส์ขุ่นจะทำให้แสงสีต่าง ๆ ที่ส่องออกมาแล้วผ่านออกมาจากหลอดนั้นผสมกันทั้งหมดหรือมีค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ดีกว่าการใช้เลนส์ใส อีกทั้งยังลดแสงแยงตาที่เกิดขึ้นจากหลอดไฟด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกโครงหลอดแบบอลูมิเนียมเพราะระบายความร้อนได้ดีกว่า และเลือกเลนส์แบบฝาใสเพราะแสงที่ออกมามีค่าความเข้มแสงที่มากกว่าการใช้เลนส์ขุ่น ซึ่งข้อเสียของการรวมแสงนั้น สามารถแก้ไขได้โดยการจัดวางเม็ดแอลอีดีแต่ละสีให้ห่างออกจากกันในระยะที่เท่ากัน

3.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแสงสว่างของหลอดไฟแอลอีดี T8

การออกแบบหลอดไฟปลูกพืชต้องเลือกให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน รวมทั้งพิจารณาถึงอุณหภูมิในการใช้งาน ซึ่งจะมีผลต่อค่าความเข้มของแสงที่ส่องออกมา หากอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้ความเข้มแสงลดน้อยลง โดยรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี โดยอุณหภูมิใช้งานสูงมากขึ้นค่าแสงที่ออกมาก็ลดน้อยลง รวมทั้งยังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 โดยตัวอย่างของค่าแฟคเตอร์ของเม็ดแอลอีดีเมื่อมีการใช้งานที่อุณหภูมิของจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

รูปที่ 3.4 โครงหลอดไฟแอลอีดี T8 (รูปซ้าย หลอดที่ทำมาจากพอลิคาร์บอเนตทั้งหมด และรูปขวา หลอดที่ทำมาจากอลูมิเนียมและพอลิคาร์บอเนต)



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของจุดเชื่อมต่อและค่าแฟคเตอร์ของโฟตอน

$$PPF_{OtherTemp}(\mu mol/s) = PPF_{@25C} \times K_{Temp} \quad (3.1)$$

เมื่อ $PPF_{OtherTemp}$ คือ ค่า PPF ขณะจุดเชื่อมต่อมีอุณหภูมิอื่น ๆ (ไมโครโมลต่อวินาที)

$PPF_{@25C}$ คือ ค่า PPF ขณะจุดเชื่อมต่อมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ไมโครโมลต่อวินาที)

K_{Temp} คือ ค่าแฟคเตอร์ของเม็ดแอลอีดีขณะจุดเชื่อมต่อมีอุณหภูมิที่ค่าต่าง ๆ

ตารางที่ 3.2 ค่าแฟคเตอร์ของเม็ดแอลอีดีเมื่อมีการใช้งานที่อุณหภูมิของจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ

สี	$K_{25\,C}$	$K_{60\,C}$	$K_{75\,C}$	$K_{85\,C}$
Far-red	1	0.949	0.915	0.902
Red	1	0.952	0.903	0.886
Blue	1	0.952	0.94	0.922

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทั้งนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นกับเม็ดแอลอีดีส่งผลทำให้เม็ดแอลอีดีและหลอดไฟแอลอีดี T8 มีอุณหภูมิสูงมากขึ้น และยังทำให้แสงสว่างที่ออกมามีปริมาณที่น้อยกว่าที่ออกแบบไว้ การออกแบบหลอดไฟต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1) อุณหภูมิโดยรอบของการใช้งาน การนำหลอดไฟไปใช้ในแปลงปลูกผักที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ จะต้องพิจารณาถึงอุณหภูมิโดยรอบเพราะจะทำให้หลอดไฟระบายความร้อนได้ช้าเกิดอุณหภูมิสะสมที่ตัวหลอด

2) การระบายความร้อนของหลอดไฟ จากวัสดุที่นำมาทำหลอดจะต้องเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดีเพราะจะทำให้ส่งผ่านความร้อนจากภายในมาสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็ว โดยจะใช้อลูมิเนียมมาเป็นโครงหลอด ซึ่งมีความแข็งแรงและสามารถกระจายความร้อนจากภายในสู่ภายนอกได้อย่างรวดเร็วกว่าวัสดุที่ทำมาจากพอลิคาร์บอเนต

3) ความร้อนจากวงจรขับหลอดแอลอีดี เกิดขึ้นจากการกำหนดค่าพิกัดกำลังของหลอดไฟแอลอีดี โดยการเลือกขนาดของวงจรขับหลอดแอลอีดีจะพิจารณาจากขนาดของหลอดแอลอีดีด้วย โดยการทดลองเลือกใช้หลอดไฟขนาด 60 เซนติเมตร ทั้งนี้โครงสร้างของหลอดไฟไม่ควรมีค่าพิกัดกำลังเกิน 20 วัตต์ เนื่องจากขนาดหลอดที่เล็กจะทำให้เกิดความร้อนสะสมสูง

3.2.3 การคำนวณอัตราส่วนแสงสำหรับหลอดไฟปลูกผักชี

ในการคำนวณอัตราส่วนแสงสำหรับหลอดไฟปลูกผักชีจำเป็นต้องนำเม็ดแอลอีดีแต่ละสีไปทดสอบในเครื่อง Integrating Sphere ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นเครื่องวัดค่าพารามิเตอร์ทางแสงและสีของแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ จะสามารถหาค่าค่ากำลังที่ความยาวคลื่นของแสง หรือ $P(\lambda_i)$ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อนาโนเมตร ตั้งแต่ความยาวคลื่น 350 – 1000 นาโนเมตร โดยที่เม็ดแอลอีดีแต่ละสีก็จะมีค่ากำลังที่แตกต่างกันในแต่ละความยาวคลื่นของแสง ในการออกแบบอัตราส่วนแสงที่เป็นสัดส่วนของแสงสีต่าง ๆ โดยพิจารณาจากช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์ด้วยแสง หรือช่วง PAR Light มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร เท่านั้น โดยแบ่งเป็น

แสงสี Blue พิจารณาช่วงคลื่นที่ 400 - 499 นาโนเมตร

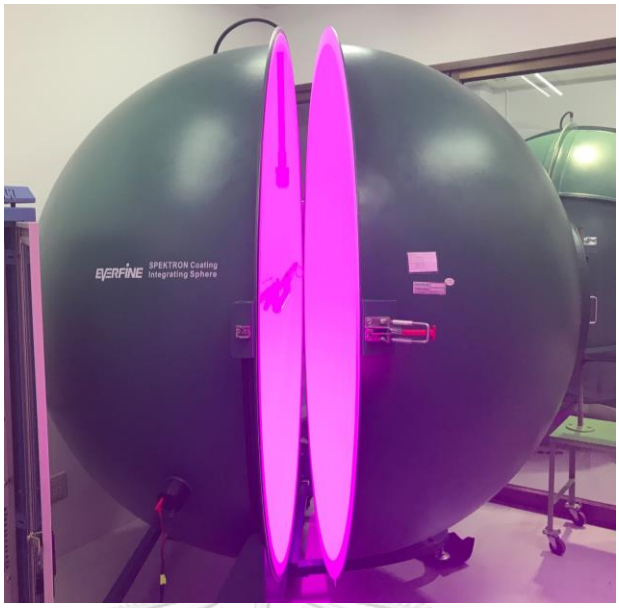
แสงสี Green พิจารณาช่วงคลื่นที่ 500 - 599 นาโนเมตร

แสงสี Red พิจารณาช่วงคลื่นที่ 600 - 700 นาโนเมตร

ทั้งนี้แสงที่อยู่นอกช่วง PAR light อย่างแสงสี UV และ Far-red ถ้าถูกนำไปใช้ในการออกแบบอัตราส่วนแสงสีจะมีการพิจารณาช่วงความยาวคลื่นแสงด้วย โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นของแสงดังนี้

แสงสี UV พิจารณาช่วงคลื่นที่ 350 - 399 นาโนเมตร

แสงสี Far-red พิจารณาช่วงคลื่นที่ 701 - 800 นาโนเมตร



รูปที่ 3.6 เครื่องมือสำหรับวัดค่าคุณลักษณะทางแสงและสี หรือ เครื่อง Integrating Sphere

เมื่อได้ข้อมูลค่ากำลังจาก Integrating sphere แล้วสามารถนำมาหาค่า PPF ของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีตามช่วงที่กำหนด โดยการวัดค่ากำลังของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี จะป้อนกระแสขับเม็ดแอลอีดีที่ 125 มิลลิแอมป์ ซึ่งทำการวัดเม็ดแอลอีดีสี Blue, Red และ Green แล้วนำไปคำนวณค่า PPF ตามสมการที่ 2.1 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลรวมของค่า PPF ตามช่วงความยาวคลื่นของเม็ดแอลอีดีสี Blue, Red และ Far-red

PPF	ผลรวมของค่า PPF ตามช่วงความยาวคลื่น (μmol/s)				
ช่วงความยาวคลื่น	400-499	500-599	600-700	701-800	รวม
Blue	0.843	0.007	0.001	0.001	0.852
Red	0.001	0.001	0.621	0.001	0.625
Far-red	0.000	0.000	0.027	0.559	0.584

จากตารางที่ 3.3 แสดงเห็นว่าเมื่อใช้ป้อนกระแสให้กับเม็ดแอลอีดีแต่ละสีค่า PPF รวมของเม็ดแอลอีดีแต่ละเม็ดจะมีค่า PPF ไม่เท่ากัน โดยแสงสีที่มีค่า PPF มากที่สุด ได้แก่ แสงสี Blue , Red และ Far-red ตามลำดับ โดยที่แสงสี Blue จะมีค่า PPF อยู่ในช่วง 400-499 นาโนเมตร แสงสี Red จะมีค่า PPF อยู่ในช่วง 600-700 นาโนเมตรและแสงสี Far-red จะมีค่า PPF อยู่ในช่วง 701-800 นาโนเมตร ทั้งนี้การคำนวณอัตราส่วนเม็ดแอลอีดีไม่สามารถใช้อัตราส่วนเม็ดแอลอีดีแทนอัตราส่วน PPF

ของแสงได้ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาถึงน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี จากการนำค่า PPF ของสีที่มีค่ามากที่สุด ต่อ PPF ของสีอื่น ๆ ทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การคำนวณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี

เม็ดแอลอีดี	ค่า PPF ตามช่วงความยาวคลื่นของแสง			การคำนวณ	ค่าน้ำหนัก
	400-499	600-700	701-800		
Blue	0.843	0.001	0.001	0.843/0.843	1.000
Red	0.001	0.621	0.001	0.843/0.621	1.358
Far-red	0.000	0.027	0.559	0.843/0.559	1.509

จากตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี ซึ่งค่าน้ำหนักบ่งบอกว่าหากต้องการให้ค่า PPF ของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีมีความเข้มแสงออกมาเท่ากัน โดยที่อ้างอิงจากเม็ดแอลอีดีที่มีค่า PPF มากที่สุด นั่นคือ เม็ดแอลอีดีสี Blue เพื่อให้เม็ดแอลอีดีสี Red และ Far-red มีค่า PPF เท่ากับสี Blue จำเป็นต้องใช้เม็ดแอลอีดีสี Red 1.358 เม็ดและเม็ดแอลอีดีสี Far-red 1.509 เม็ดเพื่อที่จะทำให้ค่า PPF เท่ากับเม็ดแอลอีดีสี Blue 1 เม็ดเท่านั้น

ทั้งนี้เมื่อมีการเลือกพิกัดกระแสใช้งานแล้วแรงดันที่ใช้งานของเม็ดแอลอีดีในแต่ละสีก็จะเปลี่ยนไปตามพิกัดกระแส ซึ่งระบุไว้ตามคู่มือของเม็ดแอลอีดีดังรูปที่ 3.2และแสดงตัวอย่างขนาดแรงดันตามพิกัดกระแสที่เลือกใช้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าแรงดันของเม็ดแอลอีดีสีต่าง ๆเมื่อมีการเลือกใช้พิกัดกระแสที่ค่าอื่น ๆ

สี	แรงดัน (V) ที่พิกัดกระแส 100mA	แรงดัน (V) ที่พิกัดกระแส 120mA	แรงดัน (V) ที่พิกัดกระแส 125mA	แรงดัน (V) ที่พิกัดกระแส 180mA	แรงดัน (V) ที่พิกัดกระแส 240mA
Blue	2.873	2.927	2.940	3.089	3.251
Red	1.988	2.034	2.045	2.172	2.310
Far-red	1.850	1.892	1.903	2.018	2.144

ในการออกแบบหลอดไฟปลูกผักชีตามอัตราส่วนต่าง ๆที่กำหนดไว้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนของแสงแต่ละสีที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนที่กำหนดของทุกสี แล้วคูณด้วยจำนวนเม็ดที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ที่เลือกไว้ พร้อมทั้งปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม โดยผลรวมของค่าที่ได้ต้องเท่ากับจำนวนเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกันบน PCB

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า PPF ของแสงแต่ละสีอีกครั้งเพื่อดูอัตราส่วนของแสงพร้อมทั้งหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบ

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่จ่ายให้กับหลอดไฟแอลอีดีเฉพาะส่วนไฟฟ้ากระสตรงเท่านั้น ทั้งนี้การคำนวณจะถูกนำไปใช้ในการเลือกวงจรขับหลอดแอลอีดี โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$P = V \times I \qquad (3.2)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าของหลอด มีหน่วยเป็น W

I คือ กระแสขับหลอด มีหน่วยเป็น A

V คือ แรงดันตกคร่อมแต่ละวงจร มีหน่วยเป็น V

หมายเหตุ ค่ากระแสขับหลอดจะต้องนำไปคูณกับจำนวนวงจรที่ต่อขนานกัน เช่น หากมีการเลือก PCB แบบ 33S2P ค่ากระแสที่นำไปคิดกำลังจะต้องนำไปคูณ 2 ด้วย

ขั้นตอนที่ 5 การจัดวางเม็ดแอลอีดีบนหลอดไฟ T8 ขนาด 60 เซนติเมตร ในการวางเม็ดแอลอีดีจะต้องทราบข้อมูลของจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสี และรูปแบบ PCB สำหรับการวางเม็ดแอลอีดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.4 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาจำนวนเม็ดแอลอีดี

3.2.4.1 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B4Fr1

ขั้นตอนที่ 1 คูณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีกับอัตราส่วนของแสงแต่ละสีที่กำหนดไว้ โดยผลการคำนวณเป็นไปดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B4Fr1

แสงสี	อัตราส่วนแสงที่กำหนด	ค่าน้ำหนัก	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง
Blue	4	1.000	4
Red	10	1.358	13.580
Far-red	1	1.509	1.509

ขั้นตอนที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนที่กำหนดของทุกสี โดยผลรวมของเปอร์เซ็นต์แสงต้องรวมกันมีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้คูณด้วยจำนวนเม็ดที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ที่เลือกไว้คือ 33 เม็ด พร้อมทั้งปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม โดยผลรวมของค่าที่ได้ต้องเท่ากับจำนวนเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ดัง

ตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B4Fr1

แสงสี	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง	% ของเม็ดแอลอีดี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีที่ปัดเศษ
Blue	4	0.210	6.916	7
Red	13.580	0.711	23.475	23
Far-red	1.509	0.079	2.609	3

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า PPF ของแสงแต่ละสีอีกครั้งเพื่อดูอัตราส่วนของแสง คำนวณโดยยึดอัตราส่วนแสงสี Red เป็นหลัก (ใช้แสงสีใดก็ได้เป็นเกณฑ์) ซึ่งการคำนวณจะใช้ค่า PPF รวมของแสงสีอื่น ๆ ต่อค่า PPF ของแสงสี Red แล้วคูณด้วยอัตราส่วนแสงสี Red เช่นอัตราส่วนแสงสี Blue เท่ากับ (5.901/14.283) x 10 = 4.131 เมื่อทำการคำนวณครบทุกสีแล้วจะเป็นไปตามตารางที่ 3.8 โดยพบว่าค่าอัตราส่วนแสงที่คำนวณได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดของ PCB ที่จำเป็นต้องเลือกให้จำนวนเม็ดให้ลงตัวตามวงจรที่ได้กำหนดไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.8 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B4Fr1

สี	จำนวนเม็ดแอลอีดี	PPF ของแสงแต่ละสี	ค่า PPF รวมแต่ละสี	อัตราส่วนแสงใหม่
Blue	7	0.843	5.901	4.131
Red	23	0.621	14.283	10.000
Far-red	3	0.559	1.677	1.174

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณกำลังรวมทำได้โดยการรวมแรงดันของเม็ดแอลอีดีทุกสีที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละชุดคูณกับกระแสพิกัดที่กำหนดไว้ โดยจากวงจร PCB ที่กำหนดไว้เป็นแบบ 33S2P ในการหาค่าแรงดันของวงจรสามารถคำนวณจากเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกัน 33 เม็ด

โดยแรงดันของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี เมื่อใช้พิกัดกระแส 125 มิลลิแอมป์ จะไปเป็นไปตามตารางที่ 3.5

แรงดันของสี Far-red = 3 x 1.903 = 5.709 โวลต์

แรงดันของสี Red = 23 x 2.045 = 47.035 โวลต์

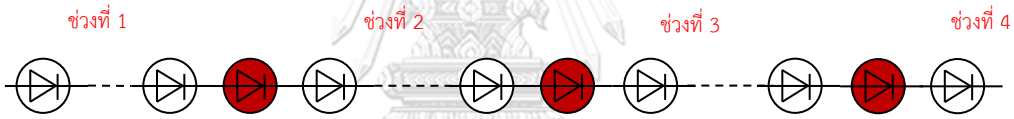
แรงดันของสี Blue = 7 x 2.940 = 20.58 โวลต์

แรงดันรวมเท่ากับ 5.709 + 47.035 + 20.58 = 73.324 โวลต์

การเลือกวงจรขับหลอดแอลอีดีเลือกพิกัดกระแสมากกว่า 250 มิลลิแอมป์และแรงดันอยู่ในช่วง 73.324 โวลต์

ขั้นตอนที่ 5 การจัดวางเม็ดแอลอีดีบนหลอดสั้นขนาด 60 เซนติเมตร เลือกใช้แผ่น PCB แบบ 33S2P โดยในแต่ละวงจรที่อนุกรมกันประกอบด้วยเม็ด แอลอีดีสี Red 23 เม็ด สี Blue 7 เม็ด และสี Far-red 3 เม็ด รวม 33 เม็ดต่อวงจรและนำมาขนานกันรวม 2 ชุด

ในการวางเม็ดลงบนตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่น PCB จะเริ่มต้นจากการนำเม็ดแอลอีดีที่น้อยที่สุดมาวางก่อน ซึ่งเม็ดแอลอีดีสี Far-red มีจำนวนน้อยที่สุดที่ 3 เม็ด เมื่อวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red แล้วจะทำให้เหลือช่องว่างในการวางแอลอีดีสีอื่น ๆ จำนวน 4 ช่วง ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ช่องว่างของการวางเม็ดแอลอีดีสีอื่น ๆหลังจากการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red

จากรูปที่ 3.7 ต้องวางแอลอีดีสีอื่น ๆ อีก 30 เม็ดลงบนช่วงที่ 1-4 โดยระยะห่างระหว่างเม็ดแอลอีดีในแต่ละช่วงจะแบ่งเป็นอัตราส่วนดังนี้ ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1 : 2 : 2 : 1 โดยสาเหตุที่ต้องมีการแบ่งอัตราส่วนตรงกลาง 2 ส่วนเพราะจาก PCB ที่วงจรแอลอีดีมีการขนานกันแต่รูปแบบการวางเม็ดแอลอีดีนั้นเป็นแถวเดี่ยว ทำให้การเว้นระยะห่างของแอลอีดีที่ปลายทั้ง 2 ด้านมีระยะห่าง 1 ส่วนเมื่อนำไปต่อกันอีกวงจรก็จะมีระยะห่างของเม็ดแอลอีดีเป็น 2 ส่วนเท่ากันทั้งแถว

ขั้นตอนการคำนวณการระยะห่างในการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red

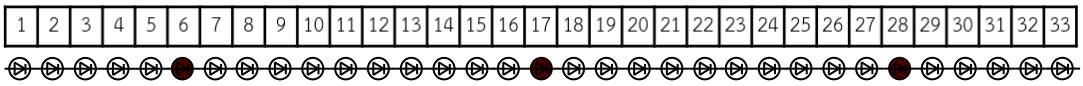
- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 เท่ากับ 1 : 2 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวมเท่ากับ 6

- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 3 = 30 เม็ด

- ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 เท่ากับ 1 x 30/6 : 2 x 30/6 : 2 x 30/6 : 1 x 30/6 = 5 : 10 : 10 : 5

- ดังนั้นระยะการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red เท่ากับ 5 : 10 : 10 : 5

เมื่อนำไปจัดเรียง แล้วจะได้รูปแบบการจัดวางเม็ดดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red ต่อวงจร

สุดท้ายคือเม็ดแอลอีดีสี Blue ที่มีจำนวน 7 เม็ดซึ่งจะวางลงบนพื้นที่ว่างแล้วทำให้เกินช่องว่างทั้งหมด 8 ช่วง ซึ่งระยะห่างระหว่างแอลอีดีสี Blue คำนวณดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณระยะห่างระหว่างเม็ดแอลอีดีสี Blue

- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5 : ช่วงที่ 6 : ช่วงที่ 7 : ช่วงที่ 8 เท่ากับ 1 : 2 : 2 : 2 : 2 : 2 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวม = 14

- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 7 = 26 เม็ด

- ช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 8 เท่ากับ 1 x 26/14 = 1.857

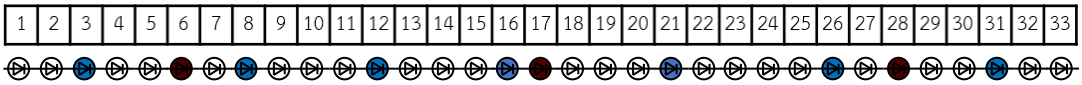
- ช่วงที่ 2 ถึง ช่วงที่ 7 เท่ากับ2 x 26/14 = 3.714

- ดังนั้นช่วงที่ 1 ถึง ช่วงที่ 8 มีระยะห่างกันดังนี้ 1.86 : 3.7 : 3.7: 3.7 : 3.7: 3.7 : 3.7 : 1.86

- ปัดให้เป็นจำนวนเต็มเท่ากับ 2 : 3 : 4 : 4 : 4 : 4 : 3 : 2* รวม 26 เม็ด

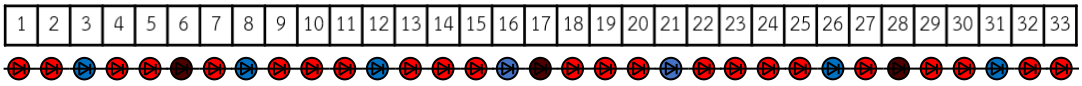
* หมายเหตุ เนื่องจากการปัดเศษขึ้นทั้งหมดทำให้จำนวนช่องว่างรวมเกิน เช่น 2 : 4 : 4 : 4 : 4 : 4 : 4 : 2 รวม 28 เม็ด ดังนั้นจำเป็นต้องลดจำนวนช่องลงโดยเริ่มลดจากขอบทั้งสองด้านของช่วงตรงกลางที่เกินลงทีละ 1 ช่อง เนื่องจากแสงบริเวณขอบทั้งสองด้านมีปริมาณแสงน้อยกว่าแสงช่วงตรงกลางที่มีแสงจากเม็ดข้างเคียงกระจายแสงออกมา ดังนั้นการลดช่องว่างของแสงควรเริ่มจากขอบทั้งสองด้าน เพื่อให้ยังรวมกันให้ได้จำนวนช่องที่กำหนดดังเดิม ซึ่งผลที่ได้จะถูกปรับเปลี่ยนเป็น 2 : **3** : 4 : 4 : 4 : 4 : **3** : 2 รวม 26 เม็ด

เมื่อนำแอลอีดีสี Blue ไปจัดเรียงรวมกับแอลอีดีสี Far-red แล้วจะได้รูปแบบการจัดวางเม็ดดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 รูปแบบการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red และ Blue ต่อวงจร

ซึ่งช่องว่างที่เหลือก็คือช่องว่างสำหรับใส่เม็ดแอลอีดีสี Red ดังนั้น การจัดวางเม็ดแอลอีดีตัวอย่าง R10B4Fr1 จะเป็นไปตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red, Blue และ Far-red ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B4Fr1

3.2.4.2 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B2Fr1

ขั้นตอนที่ 1 คูณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีกับอัตราส่วนของแสงแต่ละสีที่กำหนดไว้ โดยผลการคำนวณเป็นไปดังตารางที่ 3.9

ขั้นตอนที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนที่กำหนดของทุกสี โดยผลรวมของเปอร์เซ็นต์แสงต้องรวมกันได้ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้คูณด้วยจำนวนเม็ดที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ที่เลือกไว้คือ 33 เม็ด พร้อมทั้งปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม โดยผลรวมของค่าที่ได้ต้องเท่ากับจำนวนเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.9 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B2Fr1

แสงสี	อัตราส่วนแสงที่กำหนด	ค่าน้ำหนัก	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง
Blue	2	1.000	2
Red	10	1.358	13.580
Far-red	1	1.509	1.509

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.10 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B2Fr1

แสงสี	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง	% ของเม็ดแอลอีดี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีที่ปัดเศษ
Blue	2	0.117	3.863	4
Red	13.580	0.795	26.223	26
Far-red	1.509	0.088	2.914	3

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า PPF ของแสงแต่ละสีอีกครั้งเพื่อดูอัตราส่วนของแสง คำนวณโดยยึดอัตราส่วนแสงสี Red เป็นหลัก (ใช้แสงสีใดก็ได้เป็นเกณฑ์) ซึ่งการคำนวณจะใช้ค่า PPF รวมของแสงสีอื่น ๆ หารด้วยค่า PPF ของแสงสี Red แล้วคูณด้วยอัตราส่วนแสงสี Red เช่นอัตราส่วนแสง

สี Blue เท่ากับ (3.372/16.146) x 10 = 2.088 เมื่อทำการคำนวณครบทุกสีแล้วจะเป็นไปตารางที่ 3.11 โดยพบว่าค่าอัตราส่วนแสงที่คำนวณได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดของ PCB ที่จำเป็นต้องเลือกให้จำนวนเม็ดให้ลงตัวตามวงจรที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ 3.11 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B2Fr1

สี	จำนวนเม็ดแอลอีดี	PPF ของแสงแต่ละสี	ค่า PPF รวมแต่ละสี	อัตราส่วนแสงใหม่
Blue	4	0.843	3.372	2.088
Red	26	0.621	16.146	10.000
Far-red	3	0.559	1.677	1.039

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณกำลังรวมทำได้โดยการรวมแรงดันของเม็ดแอลอีดีทุกสีที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละชุดคูณกับกระแสพิกัดที่กำหนดไว้ โดยจากวงจร PCB ที่กำหนดไว้เป็นแบบ 33S2P ในการหาค่าแรงดันของวงจรนั้นจะคำนวณจากเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกัน 33 เม็ด

โดยแรงดันของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี เมื่อใช้พิกัดกระแส 125 มิลลิแอมป์ จะไปเป็นไปตามตารางที่ 3.5

แรงดันของสี Far-red เท่ากับ 3 x 1.903 = 5.709 โวลต์

แรงดันของสี Red เท่ากับ 26 x 2.0454 = 53.17 โวลต์

แรงดันของสี Blue เท่ากับ 4 x 2.9404 = 11.76 โวลต์

แรงดันรวมเท่ากับ 5.709 + 53.17 + 11.76 = 70.639 โวลต์

การเลือกวงจรขับหลอดแอลอีดีเลือกพิกัดกระแสมากกว่า 250 มิลลิแอมป์และแรงดันอยู่ในช่วง 70.639 โวลต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 5 การจัดวางเม็ดแอลอีดีบนหลอดสั้นขนาด 60 เซนติเมตร เลือกใช้แผ่น PCB แบบ 33S2P โดยในแต่ละวงจรที่อนุกรมกันประกอบด้วยเม็ด แอลอีดีสี Red 26 เม็ด สี Blue 4 เม็ด และสี Far-red 3 เม็ด รวม 33 เม็ดต่อวงจรและนำมาขนานกันรวม 2 ชุด

ในการวางเม็ดลงบนตำแหน่งต่าง ๆของแผ่น PCB จะเริ่มต้นจากการนำเม็ดแอลอีดีที่น้อยที่สุดมาวางก่อน ซึ่งเม็ดแอลอีดีสี Far-red มีจำนวนน้อยที่สุดที่ 3 เม็ด เมื่อวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red แล้วจะทำให้เหลือช่องว่างในการวางแอลอีดีสีอื่น ๆ จำนวน 4 ช่วง

ขั้นตอนการคำนวณการระยะห่างในการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red มีดังนี้

- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 เท่ากับ 1 : 2 : 2 : 1 ดังนั้น อัตราส่วนรวม = 6

- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆเท่ากับ 33 – 3 = 30 เม็ด

- ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4

เท่ากับ 1 x 30/6 : 2 x 30/6 : 2 x 30/6 : 1 x 30/6 = 5 : 10 : 10 : 5

- ดังนั้นระยะการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red เท่ากับ 5 : 10 : 10 : 5

สุดท้ายคือเม็ดแอลอีดีสี Blue ที่มีจำนวน 4 เม็ดซึ่งจะวางลงบนพื้นที่ว่างแล้วทำให้เกินช่องว่างทั้งหมด 5 ช่วง ซึ่งระยะห่างระหว่างแอลอีดีสี Blue คำนวณดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณการระยะห่างในการวางเม็ดแอลอีดีสี Blue

- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5 เท่ากับ 1 : 2 : 2 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวมเท่ากับ 8

- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 4 = 29 เม็ด

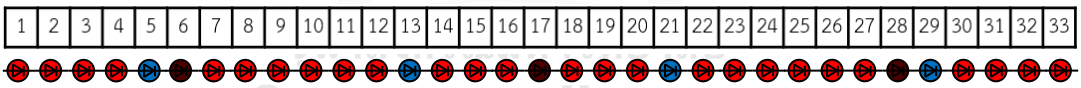
- ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5

เท่ากับ 1 x 29/8 : 2 x 29/8 : 2 x 29/8 : 2 x 29/8 : 1 x 29/8

= 3.6 : 7.3 : 7.3 : 7.3 : 3.6

- ปัดให้เป็นจำนวนเต็ม ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5 เท่ากับ 4 : 7 : 7 : 7 : 4 รวม 29 เม็ด

เมื่อนำผลการคำนวณระยะห่างของเม็ดแอลอีดีสี Far-red และ Blue มาวางลงบนแผง PCB แล้วช่องว่างที่เหลือก็คือช่องว่างสำหรับใส่เม็ดแอลอีดีสี Red โดยการจัดวางเม็ดแอลอีดีเป็นไปดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red, Blue และ Far-red ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B2Fr1

3.2.4.3 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B1Fr1

ขั้นตอนที่ 1 คูณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีกับอัตราส่วนของแสงแต่ละสีที่กำหนดไว้ โดยผลการคำนวณเป็นไปดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B1Fr1

แสงสี	อัตราส่วนแสงที่กำหนด	ค่าน้ำหนัก	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง
Blue	1	1.000	1
Red	10	1.358	13.580

Far-red	1	1.509	1.509

ขั้นตอนที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนที่กำหนดของทุกสี โดยผลรวมของเปอร์เซ็นต์แสงต้องรวมกันได้ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้คูณด้วยจำนวนเม็ดที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ที่เลือกไว้คือ 33 เม็ด พร้อมทั้งปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม โดยผลรวมของค่าที่ได้ต้องเท่ากับจำนวนเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B1Fr1

แสงสี	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง	% ของเม็ดแอลอีดี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีที่ปัดเศษ
Blue	1	0.062	2.052	2
Red	13.580	0.844	27.853	28
Far-red	1.509	0.094	3.095	3

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า PPF ของแสงแต่ละสีอีกครั้งเพื่อดูอัตราส่วนของแสง คำนวณโดยยึดอัตราส่วนแสงสี Red เป็นหลัก (ใช้แสงสีใดก็ได้เป็นเกณฑ์) ซึ่งการคำนวณจะใช้ค่า PPF รวมของแสงสีอื่น ๆ หารด้วยค่า PPF ของแสงสี Red แล้วคูณด้วยอัตราส่วนแสงสี Red เช่นอัตราส่วนแสงสี Blue เท่ากับ (1.686/17.388) x 10 = 0.970 เมื่อทำการคำนวณครบทุกสีแล้วจะเป็นไปตารางที่ 3.14 โดยพบว่าค่าอัตราส่วนแสงที่คำนวณได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดของ PCB ที่จำเป็นต้องเลือกให้จำนวนเม็ดให้ลงตัวตามวงจรที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ 3.14 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B1Fr1

สี	จำนวนเม็ดแอลอีดี	PPF ของแสงแต่ละสี	ค่า PPF รวมแต่ละสี	อัตราส่วนแสงใหม่
Blue	2	0.843	1.686	0.970
Red	28	0.621	17.388	10.000
Far-red	3	0.559	1.677	0.964

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณกำลังรวมทำได้โดยการรวมแรงดันของเม็ดแอลอีดีทุกสีที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละชุดคูณกับกระแสพิกัดที่กำหนดไว้ โดยจากวงจร PCB ที่กำหนดไว้เป็นแบบ 33S2P ในการหาค่าแรงดันของวงจรนั้นจะคำนวณจากเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกัน 33 เม็ด

โดยแรงดันของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี เมื่อใช้พิกัดกระแส 125 มิลลิแอมป์ จะไปเป็นไปตามตารางที่ 3.5

แรงดันของสี Far-red = 3 x 1.903 = 5.709 โวลต์

แรงดันของสี Red = 28 x 2.045 = 57.26 โวลต์

แรงดันของสี Blue = 2 x 2.940 = 5.88 โวลต์

แรงดันรวมเท่ากับ 5.709 + 57.26 + 5.88 = 68.849 โวลต์

การเลือกวงจรขับหลอดแอลอีดีเลือกพิกัดกระแสมากกว่า 250 มิลลิแอมป์และแรงดันอยู่ในช่วง 68.849 โวลต์

ขั้นตอนที่ 5 การจัดวางเม็ดแอลอีดีบนหลอดสั้นขนาด 60 เซนติเมตร เลือกใช้แผ่น PCB แบบ 33S2P โดยในแต่ละวงจรที่อนุกรมกันประกอบด้วยเม็ด แอลอีดีสี Red 28 เม็ด สี Blue 2 เม็ด และสี Far-red 3 เม็ด รวม 33 เม็ดต่อวงจรและนำมาขนานกันรวม 2 ชุด

ในการวางเม็ดลงบนตำแหน่งต่าง ๆของแผ่น PCB จะเริ่มต้นจากการนำเม็ดแอลอีดีที่น้อยที่สุดมาวางก่อน ซึ่งเม็ดแอลอีดีสี Blue มีจำนวนน้อยที่สุดที่ 2 เม็ด เมื่อวางเม็ดแอลอีดีสี Blue แล้วจะทำให้เหลือช่องว่างในการวางแอลอีดีสีอื่น ๆ จำนวน 3 ช่วง

ขั้นตอนการคำนวณการระยะห่างในการวางเม็ดแอลอีดีสี Blue มีดังนี้

- จากการแบ่งช่วงที่ 1:ช่วงที่ 2 :ช่วงที่ 3 เท่ากับ 1 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวมเท่ากับ 4
- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 2 = 31 เม็ด
- ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 เท่ากับ

1 x 31/4 : 2 x 31/4 : 1 x 31/4 = 7.8 : 15.5 : 7.8

- ดังนั้นระยะการวางเม็ดแอลอีดีสี Blue เท่ากับ 8 : 15 : 8

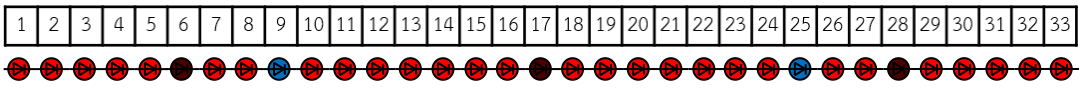
สุดท้ายคือเม็ดแอลอีดีสี Far-red ที่มีจำนวน 3 เม็ดซึ่งจะวางลงบนพื้นที่ว่างแล้วทำให้เกินช่องว่างทั้งหมด 4 ช่วง ซึ่งระยะห่างระหว่างแอลอีดีสี Far-red คำนวณดังนี้

- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 เท่ากับ 1 : 2 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวมเท่ากับ 6
- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 3 = 30 เม็ด
- ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4

เท่ากับ 1 x 30/6 : 2 x 30/6 : 2 x 30/6 : 1 x 30/6 = 5 : 10 : 10 : 5

- ดังนั้นระยะการวางเม็ดแอลอีดีสี Far-red เท่ากับ 5 : 10 : 10 : 5

เมื่อนำผลการคำนวณระยะห่างของเม็ดแอลอีดีสี Far-red และ Blue มาวางลงบนแผง PCB แล้วช่องว่างที่เหลือก็คือช่องว่างสำหรับใส่เม็ดแอลอีดีสี Red โดยการจัดวางเม็ดแอลอีดีเป็นไปดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red, Blue และ Far-red ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B1Fr1

3.2.4.4 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B4

ขั้นตอนที่ 1 คูณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีกับอัตราส่วนของแสงแต่ละสีที่กำหนดไว้ โดยผลการคำนวณเป็นไปดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B4

แสงสี	อัตราส่วนแสงที่กำหนด	ค่าน้ำหนัก	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง
Blue	4	1.000	4
Red	10	1.358	13.580

ขั้นตอนที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนที่กำหนดของทุกสี โดยผลรวมของเปอร์เซ็นต์แสงต้องรวมกันได้ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้คูณด้วยจำนวนเม็ดที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ที่เลือกไว้คือ 33 เม็ด พร้อมทั้งปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม โดยผลรวมของค่าที่ได้ต้องเท่ากับจำนวนเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B4

แสงสี	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง	% ของเม็ดแอลอีดี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีที่ปัดเศษ
Blue	4	0.228	7.510	7
Red	13.580	0.772	25.490	26

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า PPF ของแสงแต่ละสีอีกครั้งเพื่อดูอัตราส่วนของแสง คำนวณโดยยึดอัตราส่วนแสงสี Red เป็นหลัก (ใช้แสงสีใดก็ได้เป็นเกณฑ์) ซึ่งการคำนวณจะใช้ค่า PPF รวมของแสงสีอื่น ๆ หารด้วยค่า PPF ของแสงสี Red แล้วคูณด้วยอัตราส่วนแสงสี Red เช่นอัตราส่วนแสงสี Blue เท่ากับ (5.901/16.146) x 10 = 3.655 เมื่อทำการคำนวณครบทุกสีแล้วจะเป็นไปตารางที่ 3.17 โดยพบว่าค่าอัตราส่วนแสงที่คำนวณได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดของ PCB ที่จำเป็นต้องเลือกให้จำนวนเม็ดให้ลงตัวตามวงจรที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ 3.17 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B4

สี	จำนวนเม็ดแอลอีดี	PPF ของแสงแต่ละสี	ค่า PPF รวมแต่ละสี	อัตราส่วนแสงใหม่
Blue	7	0.843	5.901	3.655
Red	26	0.621	16.146	10.000

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณกำลังรวมทำได้โดยการรวมแรงดันของเม็ดแอลอีดีทุกสีที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละชุดคูณกับกระแสพิกัดที่กำหนดไว้ โดยจากวงจร PCB ที่กำหนดไว้เป็นแบบ 33S2P ในการหาค่าแรงดันของวงจรนั้นจะคำนวณจากเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกัน 33 เม็ด

โดยแรงดันของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี เมื่อใช้พิกัดกระแส 125 มิลลิแอมป์ จะไปเป็นไปตามตารางที่ 3.5

แรงดันของสี Red = 26 x 2.045 = 53.17 โวลต์

แรงดันของสี Blue = 7 x 2.940 = 20.58 โวลต์

แรงดันรวมเท่ากับ 53.17+20.58 = 73.75 โวลต์

การเลือกวงจรขับหลอดแอลอีดีเลือกพิกัดกระแสมากกว่า 250 มิลลิแอมป์และแรงดันอยู่ในช่วง 73.75 โวลต์

ขั้นตอนที่ 5 การจัดวางเม็ดแอลอีดีบนหลอดสั้นขนาด 60 เซนติเมตร เลือกใช้แผ่น PCB แบบ 33S2P โดยในแต่ละวงจรที่อนุกรมกันประกอบด้วยเม็ด แอลอีดีสี Red 26 เม็ด สี Blue 7 รวม 33 เม็ดต่อวงจรและนำมาขนานกันรวม 2 ชุด

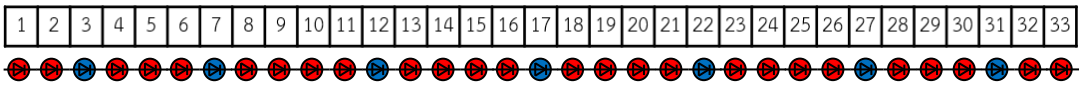
โดยเม็ดแอลอีดีสี Blue ที่มีจำนวน 7 เม็ดซึ่งจะวางลงบนพื้นที่ว่างแล้วทำให้เกินช่องว่างทั้งหมด 8 ช่วง ซึ่งระยะห่างระหว่างแอลอีดีสี Blue คำนวณดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณระยะห่างระหว่างเม็ดแอลอีดีสี Blue

- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5 : ช่วงที่ 6 : ช่วงที่ 7 : ช่วงที่ 8 เท่ากับ 1 : 2 : 2 : 2 : 2 : 2 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวมเท่ากับ 14
- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 7 = 26 เม็ด
- ช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 8 เท่ากับ 1 x 26/14 = 1.857
- ช่วงที่ 2 ถึง ช่วงที่ 7 เท่ากับ 2 x 26/14 = 3.714
- ดังนั้นช่วงที่ 1 ถึง ช่วงที่ 8 มีระยะห่างกันดังนี้ 1.86 : 3.7 : 3.7: 3.7 : 3.7: 3.7 : 3.7 : 1.86
- ปัดให้เป็นจำนวนเต็มเท่ากับ 2 : 3 : 4 : 4 : 4 : 4 : 3 : 2 รวม 26 เม็ด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อนำแอลอีดีสี Blue ไปจัดเรียงแล้วช่องว่างที่เหลือคือช่องว่างสำหรับเม็ดแอลอีดีสี Red ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red และ Blue ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B4

3.2.4.5 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B2

ขั้นตอนที่ 1 คูณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีกับอัตราส่วนของแสงแต่ละสีที่กำหนดไว้ โดยผลการคำนวณเป็นไปดังตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B2

แสงสี	อัตราส่วนแสงที่กำหนด	ค่าน้ำหนัก	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง
Blue	2	1.000	2
Red	10	1.358	13.580

ขั้นตอนที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนที่กำหนดของทุกสี โดยผลรวมของเปอร์เซ็นต์แสงต้องรวมกันได้ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้คูณด้วยจำนวนเม็ดที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ที่เลือกไว้คือ 33 เม็ด พร้อมทั้งปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม โดยผลรวมของค่าที่ได้ต้องเท่ากับจำนวนเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B2

แสงสี	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง	% ของเม็ดแอลอีดี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีที่ปัดเศษ
Blue	2	0.128	4.237	4
Red	13.580	0.872	28.763	29

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า PPF ของแสงแต่ละสีอีกครั้งเพื่อดูอัตราส่วนของแสง คำนวณโดยยึดอัตราส่วนแสงสี Red เป็นหลัก (ใช้แสงสีใดก็ได้เป็นเกณฑ์) ซึ่งการคำนวณจะใช้ค่า PPF รวมของแสงสีอื่น ๆ หารด้วยค่า PPF ของแสงสี Red แล้วคูณด้วยอัตราส่วนแสงสี Red เช่นอัตราส่วนแสงสี Blue เท่ากับ (3.372/16.146) x 10 = 1.872 เมื่อทำการคำนวณครบทุกสีแล้วจะเป็นไปตารางที่

3.20 โดยพบว่าค่าอัตราส่วนแสงที่คำนวณได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดของ PCB ที่จำเป็นต้องเลือกให้จำนวนเม็ดให้ลงตัวตามวงจรที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ 3.20 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B2

สี	จำนวนเม็ดแอลอีดี	PPF ของแสงแต่ละสี	ค่า PPF รวมแต่ละสี	อัตราส่วนแสงใหม่
Blue	4	0.843	3.372	1.872
Red	29	0.621	18.009	10.000

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณกำลังรวมทำได้โดยการรวมแรงดันของเม็ดแอลอีดีทุกสีที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละชุดคูณกับกระแสพิกัดที่กำหนดไว้ โดยจากวงจร PCB ที่กำหนดไว้เป็นแบบ 33S2P ในการหาค่าแรงดันของวงจรนั้นจะคำนวณจากเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกัน 33 เม็ด

โดยแรงดันของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี เมื่อใช้พิกัดกระแส 125 มิลลิแอมป์ จะไปเป็นไปตามตารางที่ 3.5

แรงดันของสี Red เท่ากับ 29 x 2.045 = 59.305 โวลต์

แรงดันของสี Blue เท่ากับ 4 x 2.940 = 11.76 โวลต์

แรงดันรวมเท่ากับ 59.305 + 11.76 = 71.065 โวลต์

การเลือกวงจรขับหลอดแอลอีดีเลือกพิกัดกระแสมากกว่า 250 มิลลิแอมป์และแรงดันอยู่ในช่วง 71.065 โวลต์

ขั้นตอนที่ 5 การจัดวางเม็ดแอลอีดีบนหลอดสั้นขนาด 60 เซนติเมตร เลือกใช้แผ่น PCB แบบ 33S2P โดยในแต่ละวงจรที่อนุกรมกันประกอบด้วยเม็ด แอลอีดีสี Red 29 เม็ด สี Blue 4 รวม 33 เม็ดต่อวงจรและนำมาขนานกันรวม 2 ชุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยเม็ดแอลอีดีสี Blue ที่มีจำนวน 4 เม็ดซึ่งจะวางลงบนพื้นที่ว่างแล้วทำให้เกินช่องว่างทั้งหมด 8 ช่วง ซึ่งระยะห่างระหว่างแอลอีดีสี Blue คำนวณดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณระยะห่างระหว่างเม็ดแอลอีดีสี Blue

- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5 = 1 : 2 : 2 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวม = 8

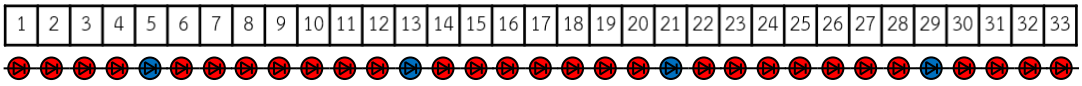
- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 4 = 29 เม็ด

- ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5

เท่ากับ 1 x 29/8 : 2 x 29/8 : 2 x 29/8 : 2 x 29/8 : 1 x 29/8 = 3.6 : 7.3 : 7.3 : 7.3 : 3.6

- ปัดให้เป็นจำนวนเต็ม ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 : ช่วงที่ 4 : ช่วงที่ 5 = 4 : 7 : 7 : 7 : 4 รวม 29 เม็ด

เมื่อนำแอลอีดีสี Blue ไปจัดเรียงแล้วช่องว่างที่เหลือคือช่องว่างสำหรับเม็ดแอลอีดีสี Red ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red และ Blue ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B2

3.2.4.6 การออกแบบหลอดไฟอัตราส่วน R10B1

ขั้นตอนที่ 1 คูณค่าน้ำหนักของเม็ดแอลอีดีแต่ละสีกับอัตราส่วนของแสงแต่ละสีที่กำหนดไว้ โดยผลการคำนวณเป็นไปดังตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 ผลการคำนวณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสงของตัวอย่าง R10B1

แสงสี	อัตราส่วนแสงที่กำหนด	ค่าน้ำหนัก	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง
Blue	1	1.000	1
Red	10	1.358	13.580

ขั้นตอนที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนที่กำหนดของทุกสี โดยผลรวมของเปอร์เซ็นต์แสงต้องรวมกันได้ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้คูณด้วยจำนวนเม็ดที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ที่เลือกไว้คือ 33 เม็ด พร้อมทั้งปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม โดยผลรวมของค่าที่ได้ต้องเท่ากับจำนวนเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกันบน PCB ตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.22 ผลการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีของตัวอย่าง R10B1

แสงสี	ผลคูณค่าน้ำหนักกับอัตราส่วนแสง	% ของเม็ดแอลอีดี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสี	จำนวนเม็ดแอลอีดีแต่ละสีที่ปัดเศษ
Blue	1	0.069	2.264	2
Red	13.580	0.931	30.736	31

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า PPF ของแสงแต่ละสีอีกครั้งเพื่อดูอัตราส่วนของแสง คำนวณโดยยึดอัตราส่วนแสงสี Red เป็นหลัก (ใช้แสงสีใดก็ได้เป็นเกณฑ์) ซึ่งการคำนวณจะใช้ค่า PPF รวมของแสงสีอื่น ๆ หารด้วยค่า PPF ของแสงสี Red แล้วคูณด้วยอัตราส่วนแสงสี Red เช่นอัตราส่วนแสงสี Blue เท่ากับ (1.686/19.251) x 10 = 0.876 เมื่อทำการคำนวณครบทุกสีแล้วจะเป็นไปตารางที่

3.23 โดยพบว่าค่าอัตราส่วนแสงที่คำนวณได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดของ PCB ที่จำเป็นต้องเลือกให้จำนวนเม็ดให้ลงตัวตามวงจรที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ 3.23 การคำนวณอัตราส่วนแสงใหม่ตามวงจรที่ได้เลือกไว้ตัวอย่าง R10B1

สี	จำนวนเม็ดแอลอีดี	PPF ของแสงแต่ละสี	ค่า PPF รวมแต่ละสี	อัตราส่วนแสงใหม่
Blue	2	0.843	1.686	0.876
Red	31	0.621	19.251	10.000

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณกำลังรวมทำได้โดยการรวมแรงดันของเม็ดแอลอีดีทุกสีที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละชุดคูณกับกระแสพิกัดที่กำหนดไว้ โดยจากวงจร PCB ที่กำหนดไว้เป็นแบบ 33S2P ในการหาค่าแรงดันของวงจรนั้นจะคำนวณจากเม็ดแอลอีดีที่ต่ออนุกรมกัน 33 เม็ด

โดยแรงดันของเม็ดแอลอีดีแต่ละสี เมื่อใช้พิกัดกระแส 125 มิลลิแอมป์ จะไปเป็นไปตามตารางที่ 3.5

แรงดันของสี Red เท่ากับ 31 x 2.045 = 63.395 โวลต์

แรงดันของสี Blue เท่ากับ 2 x 2.940 = 5.88 โวลต์

แรงดันรวมเท่ากับ 63.395 + 5.88 = 69.275 โวลต์

การเลือกวงจรขับหลอดแอลอีดีเลือกพิกัดกระแสมากกว่า 250 มิลลิแอมป์และแรงดันอยู่ในช่วง 69.275 โวลต์

ขั้นตอนที่ 5 การจัดวางเม็ดแอลอีดีบนหลอดสั้นขนาด 60 เซนติเมตร เลือกใช้แผ่น PCB แบบ 33S2P โดยในแต่ละวงจรที่อนุกรมกันประกอบด้วยเม็ด แอลอีดีสี Red 30 เม็ด สี Blue 2 รวม 33 เม็ดต่อวงจรและนำมาขนานกันรวม 2 ชุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยเม็ดแอลอีดีสี Blue ที่มีจำนวน 2 เม็ดซึ่งจะวางลงบนพื้นที่ว่างแล้วทำให้เกินช่องว่างทั้งหมด 3 ช่วง ซึ่งระยะห่างระหว่างแอลอีดีสี Blue คำนวณดังนี้

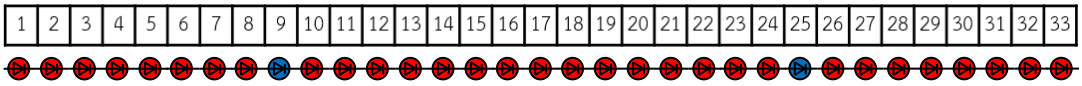
ขั้นตอนการคำนวณระยะห่างระหว่างเม็ดแอลอีดีสี Blue

- จากการแบ่งช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 เท่ากับ 1 : 2 : 1 ดังนั้นอัตราส่วนรวมเท่ากับ 4
- จำนวนช่องว่างที่เหลือสำหรับการวางเม็ดสีอื่น ๆ เท่ากับ 33 – 2 = 31 เม็ด
- ช่วงที่ 1 : ช่วงที่ 2 : ช่วงที่ 3 เท่ากับ 1 x 31/4 : 2 x 31/4 : 1 x 31/4

= 7.8 : 15.5 : 7.8

- ดังนั้นระยะการวางเม็ดแอลอีดีสี Blue เท่ากับ 8 : 15 : 8

เมื่อนำแอลอีดีสี Blue ไปจัดเรียงแล้วช่องว่างที่เหลือคือช่องว่างสำหรับเม็ดแอลอีดีสี Red ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 รูปแบบการจัดวางเม็ดแอลอีดีสี Red และ Blue ต่อวงจรของตัวอย่าง R10B1

ทั้งนี้ระยะการวางเม็ดของหลอดไฟตัวอย่าง R10B4Fr1, R10B2Fr1, R10B1Fr1, R10B4, R10B2 และ R10B1 จะเป็นไปดังตารางที่ 3.24

ตารางที่ 3.24 ตารางสรุประยะการวางเม็ดแอลอีดีบนแผ่น PCB แบบ 33S2P

ตัวอย่าง	สี	จำนวนเม็ดแอลอีดี	ระยะห่างการวางเม็ดแอลอีดี (ช่อง)
R10B4Fr1	Blue	7	2 : 3 : 4 : 4 : 4 : 4 : 3 : 2
	Red	23	วางในตำแหน่งที่เหลือ
	Far-red	3	5 : 10 : 10 : 5
R10B2Fr1	Blue	4	4 : 7 : 7 : 7 : 4
	Red	26	วางในตำแหน่งที่เหลือ
	Far-red	3	5 : 10 : 10 : 5
R10B1Fr1	Blue	2	8 : 15 : 8
	Red	28	วางในตำแหน่งที่เหลือ
	Far-red	3	5 : 10 : 10 : 5
R10B4	Blue	7	2 : 3 : 4 : 4 : 4 : 4 : 3 : 2
	Red	26	วางในตำแหน่งที่เหลือ
R10B2	Blue	4	4 : 7 : 7 : 7 : 4
	Red	29	วางในตำแหน่งที่เหลือ
R10B1	Blue	2	8 : 15 : 8
	Red	31	วางในตำแหน่งที่เหลือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
วัสดุอุปกรณ์ วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

4.1 การออกแบบแปลงปลูกผักแบบไร้ดินและห้องควบคุมสภาพอากาศ

4.1.1 การออกแบบแปลงปลูกผักแบบไร้ดิน

การออกแบบแปลงปลูกผักชีแบบไร้ดินในห้องควบคุมสภาพแวดล้อม จะทำการออกแบบเป็นชั้นในแนวตั้งเพื่อให้มีพื้นที่ในการใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยกำหนดให้ขนาดความสูงของแปลงปลูกพอดีกับผู้วิจัย เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการทำงานมากที่สุด และออกแบบให้มีความกว้างเท่ากับความยาวหลอดไฟ เพื่อให้สามารถติดตั้งหลอดไฟได้พอดี ซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความสูงของชั้นแปลงปลูกมีขนาดเทากับ 0.65 เมตร 1.8 เมตร และ 0.5 เมตร ตามลำดับ จำนวน 3 ชั้น และมีความสูงจากพื้นชั้นละ 0.5 เมตร รวมความสูงเป็น 2 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.1

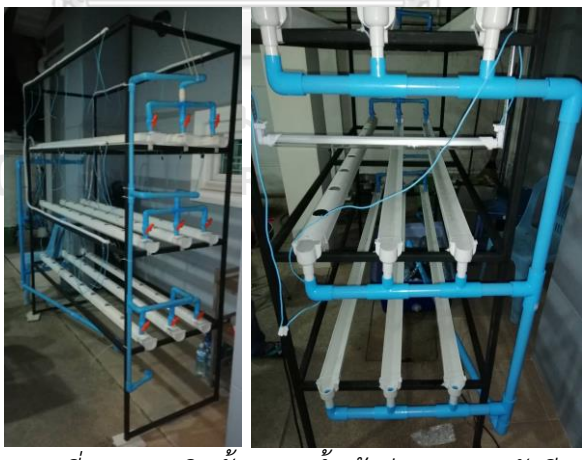
รูปที่ 4.1 โครงสร้างแปลงปลูกผักชีในแนวตั้ง

อุปกรณ์สำหรับปลูกผักชีจะทำการออกแบบให้ผักชีได้รับแสงสว่างอย่างเต็มที่ เพื่อไม่ให้ต้นผักชีมีส่วนของใบที่ยื่นออกมาทับซ้อนกันระหว่างต้น กำหนดให้ระยะห่างระหว่างต้นของหลุมปลูกเป็น 15 เซนติเมตร โดย 1 ชั้นปลูกผักสามารถวางรางปลูกได้ 3 ราง ในแต่ละรางมีหลุมสำหรับปลูก 8 หลุม รวม 24 หลุมต่อชั้น ดังรูปที่ 4.2(ก) แบ่งออกเป็น 12 การทดลอง ใช้ฉากสีดำในการบังแสงให้แยกออกจากกัน ซึ่งใช้ผักชีจำนวน 6 ต้นต่อการทดลอง ดังรูปที่ 4.2(ข)

(ก) (ข)

รูปที่ 4.2 (ก) แปลงปลูกผักพร้อมรางสำหรับปลูกผักชี
(ข) การแบ่งการทดลองให้แสงโดยใช้ฉากสีดำกั้น

การติดตั้งระบบน้ำในภาคการจ่ายน้ำเข้าสู่รางน้ำ โดยมีการใช้ปั๊มน้ำดูดน้ำจากถังน้ำที่อยู่ด้านล่าง เพื่อทำการจ่ายให้กับรางน้ำแต่ละรางแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ซึ่งมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในรางปลูกผักแต่ละรางให้มีอัตราการไหลของน้ำที่เท่ากัน โดยการติดตั้งวาล์วน้ำเพื่อปรับอัตราการไหลของน้ำ ส่วนทางออกของน้ำจะให้น้ำออกรวมกันและไหลลงสู่ถังน้ำ ดังรูปที่ 4.3

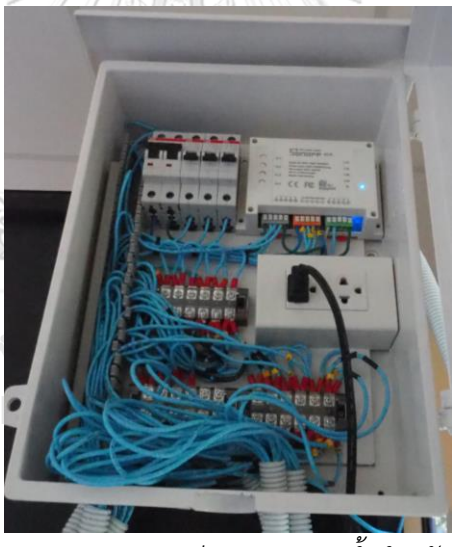


รูปที่ 4.3 การติดตั้งระบบน้ำเข้าสู่แปลงปลูกผักชี

การติดตั้งระบบแสงสว่างจะทำการติดตั้งหลอดไฟสำหรับการปลูกผักชีตัวอย่างละ 2 หลอด พร้อมติดตั้งตัวปรับระดับความสูงเพื่อใช้ในปรับค่า PPFD 2 ระดับ คือ 150 และ 250 μmol/m^2/s ดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 การติดตั้งหลอดไฟและตัวปรับระดับความสูงของหลอดไฟ

ในการควบคุมระบบแสงสว่างและระบบน้ำ มีการสร้างชุดควบคุมแสงสว่างให้มีการทำงานเป็นเวลา โดยสามารถตั้งเวลา และควบคุมโทรศัพท์มือถือ โดยการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุผิดปกติระหว่างการทดสอบ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ชุดควบคุมระบบแสงสว่างและระบบน้ำสำหรับแปลงปลูกผักชี

4.1.2 ห้องควบคุมสภาพอากาศ

ห้องควบคุมสภาพอากาศ สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นห้องที่ไม่ต้องการให้รับแสงสว่างจากภายนอกเข้ามายังสู่แปลงปลูกผัก เพื่อศึกษาผลของแสงจากหลอดแอลอีดีที่ส่งผลต่อผักชีเท่านั้น อีกทั้งยังควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องควบคุมสภาพอากาศ โดยมีการควบคุมอุณหภูมิตลอดทั้งวันไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องปรับอากาศ และควบคุมความชื้นอยู่ในช่วง 60 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์สัมพัทธ์ ด้วยเครื่องเพิ่มความชื้น ดังรูปที่ 4.6

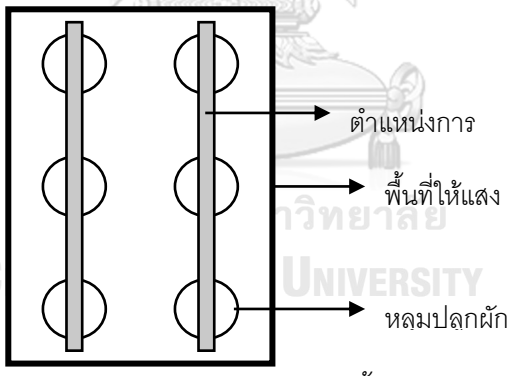
รูปที่ 4.6 ภายในห้องควบคุมสภาพอากาศสำหรับแปลงปลูกผักชี

ทั้งนี้ภายในห้องควบคุมสภาพอากาศมีการบันทึกข้อมูลทั้งอุณหภูมิและความชื้นตลอดระยะเวลาปลูก โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 ผ่านอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อส่งข้อมูลไปยังแอพพลิชั่นบนโทรศัพท์มือถือ ดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 อุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยส่งข้อมูลและแสดงผลบนแอพพลิเคชั่น

4.2 การทดสอบแสงสว่าง

การให้แสงสว่างกับผักชีมีการทดสอบใช้แสงที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 รูปแบบ และมีการใช้ค่า PPFD ในการทดลองที่แตกต่างกัน โดยมีการติดตั้งหลอดไฟจำนวน 2 หลอดต่อการทดลอง ทั้งนี้กำหนดค่า PPFD เท่ากับ 150 และ 250 μmol/m^2/s และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 μmol/m^2/s ต่อการให้แสงแต่ละรูปแบบ ซึ่งพืชนั้นมีการรับแสงและสังเคราะห์ด้วยแสงบริเวณใบของพืช โดยแสงที่พืชได้รับจากหลอดไฟนั้นมีทิศทางที่ไม่ใช่แนวนอน แสงที่พืชได้รับจะมาจากทุกทิศทาง ซึ่งควรพิจารณาแสงที่พืชได้รับเป็นแบบ 3 มิติ อย่างไรก็ตามการออกแบบแสงให้พืชได้รับเท่ากันในทุก ๆ ส่วนของต้นนั้นจะต้องมีการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ โดยพิจารณาจากรูปแบบการกระจายแสงของหลอดไฟ กับทิศทางของใบว่ามีทิศทางใด และแสงที่ส่องลงบนใบมีค่าความเข้มแสงเท่าไร เมื่อสามารถพิจารณาตัวแปรเหล่านี้ จะสามารถควบคุมตัวแปรค่า PPFD ที่ส่องให้กับพืชได้เท่ากันมากที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้ได้พิจารณาการให้แสงเฉพาะแสงในแนวนอนเท่านั้น เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองและการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสง โดยมีการพิจารณาค่า PPFD ของแสงที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในการทดลองนั้นมีการติดตั้งหลอดไฟที่ตำแหน่งตรงกลางระหว่างหลุมปลูก ดังรูปที่ 4.8 เพื่อให้มีความสว่างเพียงพอต่อความต้องการ ในการปรับเปลี่ยนค่า PPFD จะใช้ตัวปรับระดับความสูงที่ติดตั้งเข้ากับขั้วหลอดไฟ เพื่อปรับระดับความสูง ทำให้สามารถเพิ่มและลดค่า PPFD ตามที่กำหนดไว้ได้ตามการทดลอง



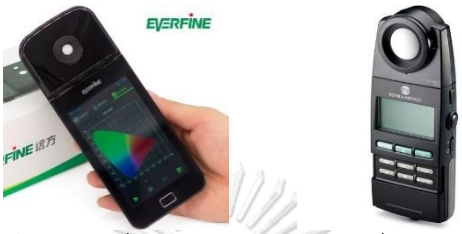
รูปที่ 4.8 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟในแต่ละการทดลอง

ในการทดสอบค่า PPFD จะเป็นไปตามสมการที่ 2.2

$$PPFD(\mu mol / m^2 / s) = \frac{E}{K} \qquad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.2 ในการหาค่า PPFD จะต้องทำการวัดค่า E หรือค่าความสว่าง (ลักซ์) ของหลอดไฟที่ความสูงต่าง ๆ และจะต้องทราบค่า K หรือค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสง ก็จะสามารถหาค่า PPFD ที่ความสูงต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากหลอดไฟที่ออกแบบทั้งหมดนั้นไม่ได้เป็นหลอดไฟ

มาตรฐาน ทำให้แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะมีสัดส่วนของแสงสีที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถทราบค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ ได้ ดังนั้นในการทดสอบแสง จึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การหาค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ และการหาค่า PPFD ของแสงที่ระดับความสูงต่าง ๆ ทั้งนี้ในการทดสอบแสงจะวัดค่า PPFD ด้วยเครื่อง PLA-20 Plant Lighting Analyzer ดังรูปที่ 4.9(ก) และวัดค่าความสว่างด้วยเครื่องลักซ์มิเตอร์ ดังรูปที่ 4.9(ข)



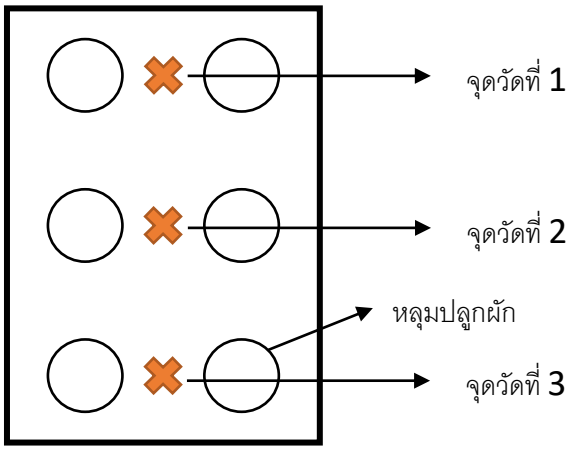
รูปที่ 4.9 (ก) เครื่องวัดค่า PPFD (ข) เครื่องวัดค่าความสว่าง

4.2.1 การหาค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงประเภทต่าง ๆ

จากสมการที่ 2.2 สามารถการหาค่า K หรือค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงสว่าง โดยการทำการวัดค่าความสว่างและค่า PPFD ของแหล่งกำเนิดแสงทุกรูปแบบ แสดงดังสมการที่ 4.1

$$K = \frac{E}{PPFD} \qquad (4.1)$$

เนื่องจากค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงจะคงที่เสมอหากเป็นแหล่งกำเนิดแสงเดิม จึงทำการทดลองโดยการกำหนดจุดวัด 3 จุด แสดงดังรูปที่ 4.10 จากการทดลองเลือกติดตั้งหลอดไฟที่ความสูง 11.5 เซนติเมตรจากจุดวัดแสง ซึ่งทุกการทดลองจะติดตั้งหลอดไฟที่ความสูงที่เท่ากัน หลังจากวัดค่าแล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความสว่างและค่า PPFD แล้วนำไปหาค่า K ตามสมการที่ 4.1 และแสดงดังตารางที่ 4.1



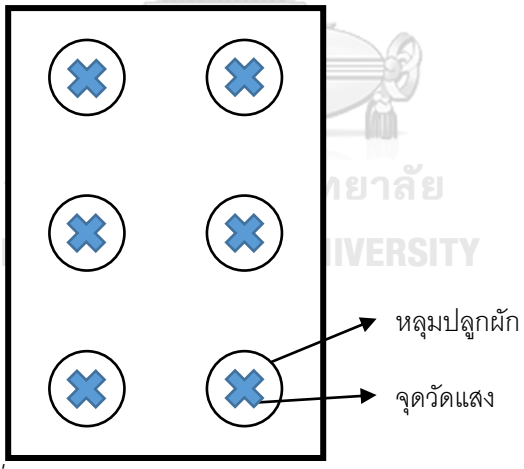
รูปที่ 4.10 ตำแหน่งจุดวัดแสงเพื่อหาค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่า PPFD และค่าความสว่าง แล้วนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ

รูปแบบการให้แสง	ค่า PPFD เฉลี่ย	ค่าความสว่างเฉลี่ย	ค่า K
R10B4	233.984	2539.000	10.851
R10B2	227.539	2551.333	11.213
R10B1	218.276	2517.667	11.534
R10B4Fr1	225.972	2478.333	10.967
R10B2Fr1	219.912	2478.667	11.271
R10B1Fr1	213.740	2483.000	11.617

4.2.2 การหาค่า PPFD ของแสงสว่างที่ความสูงต่าง ๆของแสงแต่ละประเภท

ในการทดลองการหาความสว่างของแสงที่ระดับความสูงต่าง ๆ จะทำการทำการวัดค่าความสว่างของหลอดไฟอ้างอิงทุกระดับความสูง ซึ่งได้กำหนดให้หลอดไฟ R10B1Fr1 เป็นหลอดไฟอ้างอิง โดยการกำหนดจุดวัด 6 จุด ที่มีตำแหน่งตรงกับหลุมปลูกผัก ดังรูปที่ 4.11 นั้นทำการหาค่าเฉลี่ยความสว่างที่วัดได้ ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งจุดวัดค่าความสว่างของหลอดไฟอ้างอิง

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความสว่างของหลอดไฟ R10B1Fr1 อ้างอิงที่ระดับความสูงต่าง ๆ

รูปแบบการให้แสง	ระดับความสูง (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยความสว่าง (ลักซ์)
R10B1Fr1	7.5	3668.333
R10B1Fr1	8.5	3305.931
R10B1Fr1	9.5	2981.127
R10B1Fr1	10.5	2809.000
R10B1Fr1	11.5	2621.167
R10B1Fr1	12.5	2448.667
R10B1Fr1	13.5	2328.833
R10B1Fr1	14.5	2212.000
R10B1Fr1	15.5	2076.333
R10B1Fr1	16.5	1981.000
R10B1Fr1	17.5	1891.000
R10B1Fr1	18.5	1833.667
R10B1Fr1	19.5	1756.000
R10B1Fr1	20.5	1675.667
R10B1Fr1	21.5	1635.833
R10B1Fr1	22.5	1570.833

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.1 ค่าความสว่างที่เกิดขึ้นจากกลุ่มหลอดไฟที่ไม่มีแสงสี Far-red จะมีค่ามากกว่า 1.014 – 1.029 เท่าของกลุ่มหลอดไฟที่มีแสงสี Far-red ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาดได้ทำการใส่ค่าแก้ไขค่าความสว่าง โดยการคูณค่าชดเชย 1.02 เท่า กับค่าความสว่างที่วัดได้จากหลอดไฟอ้างอิง เฉพาะหลอดไฟในกลุ่มที่ไม่มีแสงสี Far-red ได้แก่ หลอดไฟแบบ R10B4, R10B2 และ R10B1 ซึ่งค่าชดเชยที่คูณเข้าไปนั้น เมื่อนำไปคำนวณเป็นค่า PPFD แล้วจะไม่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่มากกว่าหรือน้อยกว่า 10 μmol/m^2/s (±10 μmol/m^2/s)ตามที่กำหนดไว้ หลังจากที่ได้ค่าความสว่างของหลอดไฟแต่ละรูปแบบแล้ว สามารถคำนวณค่า PPFD ที่ความสูงต่าง ๆ จากสมการที่ 2.2 และจะได้ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่า PPFD ที่ความสูงต่าง ๆของหลอดไฟ R10B4Fr1, R10B2Fr1 และ R10B1Fr1

ระดับความสูง (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยความสว่าง (ลักซ์)	PPFD (μmol/m^2/s)		
		R10B4Fr1 K = 10.967	R10B2Fr1 K = 11.271	R10B1Fr1 K = 11.617
7.5	3668.333	334.475	325.462	315.775
8.5	3305.931	301.432	293.309	284.579
9.5	2981.127	271.817	264.492	256.620
10.5	2809.000	256.122	249.220	241.803
11.5	2621.167	238.996	232.555	225.634
12.5	2448.667	223.267	217.251	210.785
13.5	2328.833	212.341	206.619	200.469
14.5	2212.000	201.688	196.253	190.412
15.5	2076.333	189.318	184.216	178.734
16.5	1981.000	180.626	175.758	170.527
17.5	1891.000	172.420	167.773	162.780
18.5	1833.667	167.192	162.687	157.845
19.5	1756.000	160.111	155.796	151.159
20.5	1675.667	152.786	148.668	144.244
21.5	1635.833	149.154	145.134	140.815
22.5	1570.833	143.227	139.367	135.220

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4 ค่า PPFD ที่ความสูงต่าง ๆของหลอดไฟ R10B4, R10B2 และ R10B1

ระดับความสูง (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยความสว่าง (ลักซ์)	ค่าเฉลี่ยความสว่างหลังคูณค่าแก้(ลักซ์)	PPFD (μmol/m^2/s)		
			R10B4 K = 10.851	R10B2 K = 11.213	R10B1 K = 11.534
7.5	3668.333	3741.700	344.821	333.701	324.396
8.5	3305.931	3372.050	310.755	300.734	292.349
9.5	2981.127	3040.750	280.224	271.187	263.626
10.5	2809.000	2865.180	264.044	255.529	248.404

ระดับความสูง (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยความสว่าง (ลักซ์)	ค่าเฉลี่ยความสว่างหลังคูณค่าแก้(ลักซ์)	PPFD (μmol/m^2/s)		
			R10B4 K = 10.851	R10B2 K = 11.213	R10B1 K = 11.534
11.5	2621.167	2673.590	246.388	238.442	231.794
12.5	2448.667	2497.640	230.173	222.750	216.539
13.5	2328.833	2375.410	218.909	211.849	205.942
14.5	2212.000	2256.240	207.926	201.221	195.611
15.5	2076.333	2117.860	195.174	188.880	183.613
16.5	1981.000	2020.620	186.213	180.208	175.183
17.5	1891.000	1928.820	177.753	172.020	167.224
18.5	1833.667	1870.340	172.363	166.805	162.154
19.5	1756.000	1791.120	165.063	159.740	155.286
20.5	1675.667	1709.180	157.511	152.432	148.182
21.5	1635.833	1668.550	153.767	148.808	144.659
22.5	1570.833	1602.250	147.657	142.896	138.911

4.3 การเพาะต้นกล้าและการทดลองให้แสงกับผักชี

4.3.1 การเพาะต้นกล้า

4.3.1.1 อุปกรณ์สำหรับเพาะต้นกล้าผักชี

1) กระถางเพาะปลูก

2) ปุ๋ยคอก

3) เมล็ดผักชี

4) ฟาง

5) ฟองน้ำ

6) ถ้วยปลูกผักไฮโดรโปนิก

4.3.1.2 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้าผักชี

1) การเตรียมดินในกระถางสำหรับการเพาะเมล็ดผักชี โดยการพรวนดินให้ร่วนและตากแดดไว้เป็นเวลา 1 วัน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) หว่านเมล็ดผักชีบนดินให้ทั่วกระถาง และใช้ปุ๋ยกลบเมล็ดผักชีหนา 1 นิ้ว พร้อมคลุมหน้าดินด้วยฟาง และรดน้ำให้ทั่วดินในกระถางเพาะกล้า

3) รดน้ำช่วงเช้าของทุกวันเป็นเวลาประมาณ 14 วัน หรือจนกว่าต้นกล้าผักชีจะงอกและมีใบจริงออกมา ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาในการเพาะต้นกล้าผักชีทั้งสิ้น 17 วัน ดังรูปที่ 4.12

4) เลือกและคัดแยกต้นกล้าในกระถางเพาะปลูก ที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 72 ต้น นำมาใส่ฟองน้ำและใส่ถ้วยปลูก ดังรูปที่ 4.13

รูปที่ 4.12 ต้นกล้าผักชีหลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 17 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.13 การเตรียมต้นกล้าผักชีลงกระถางปลูก

4.3.2 การทดลองการให้แสงสว่างกับผักชี

4.3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลองการให้แสงสว่างกับผักชี

1) ต้นกล้าผักชี

2) หลอดไฟสำหรับการทดลอง 6 แบบ

3) แปลงปลูกผักในแนวตั้ง

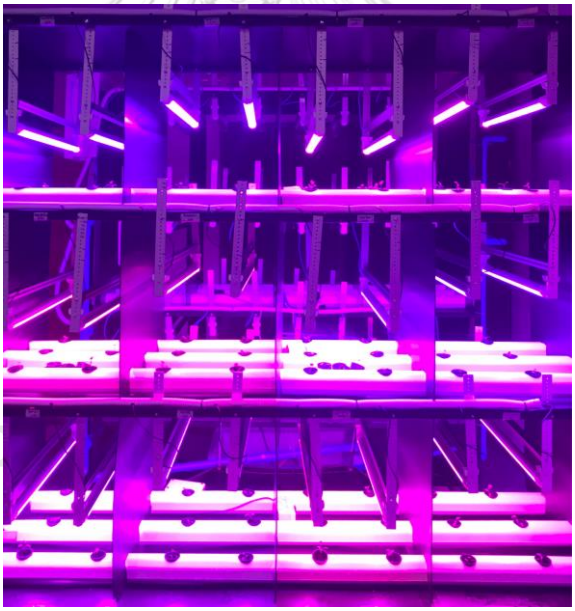
4) ปุ๋ยเอบีผสมน้ำ

5) สารลดค่า pH ในน้ำ

6) เครื่องวัด EC และ pH

4.3.2.2 ขั้นตอนการทดลองการให้แสงสว่างกับผักชี

1) ใช้ตัวอย่างต้นกล้าผักชีการทดลองตัวอย่างละ 6 ต้น นำไปใส่ไว้ในแปลงปลูกผักในแนวตั้ง โดยให้แสงสว่างที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 แบบ ได้แก่ R10B4Fr1, R10B2Fr1, R10B1Fr1, R10B4, R10B2 และ R10B1 และใช้ค่า PPFD ในการทดลอง 2 ค่า ได้แก่ 150 และ 250 μmol/m^2/s รวมทั้งหมด 12 การทดลอง และแบ่งช่องให้แสงด้วยแผ่นพลาสติกสีดำ เพื่อลดการสะท้อนของแสงที่จะเกิดกับการทดลองข้างเคียง ดังรูปที่ 4.14 ส่วนการติดตั้งหลอดไฟนั้นจะติดตั้งที่ความสูงแตกต่างกัน โดยอ้างอิงผลการคำนวณค่าแสง ตามตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.14 การทดลองการให้แสงสว่างกับต้นผักชี รวม 12 การทดลอง ซึ่งใช้ฉากกั้นสีดำในการแบ่งการทดลองการให้แสงสว่าง

2) ทำการให้แสงสำหรับการปลูกผักชีในระยะเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน เท่ากันทุกการทดลอง โดยเริ่มให้แสงตั้งแต่เวลา 5.00 น. – 21.00 น. โดยทำการทดลอง(ตั้งแต่วันที่ 14 กันยายน 2562 ถึง 13 ตุลาคม 2562) รวมระยะเวลาให้แสง 29 วัน หรือประมาณ 4 สัปดาห์ ซึ่งการทดลองให้แสงนั้นเป็นไปดังตารางที่ 4.5 ทั้งนี้ในส่วนของการทดลองควบคุมจะให้ผักชีได้รับ

แสงอาทิตย์ต่อเนื่องตั้งแต่วันที่เริ่มเพาะต้นกล้า และบันทึกผลการทดลองพร้อมกันในวัดสุดท้ายของการทำการทดลอง

3) การเตรียมระบบน้ำจะใช้ปุ๋ยน้ำสูตรเอบี โดยใช้เครื่องวัด EC และ pH ในการปรับและควบคุมค่า EC ที่ 2.5 – 3 mS/cm และ ค่า pH ที่ 6 – 6.5 ทุกสัปดาห์

4) ทำการบันทึกผลการทดลองจะมีการวัดผลการเจริญเติบโตของต้นผักชีในด้านความสูง จำนวนใบ และจำนวนก้าน ตลอดทุกสัปดาห์ หลังจากที่บันทึกผลการทดลองแล้ว จะปรับความสูงของหลอดไฟให้สูงขึ้นตามการเจริญเติบโตของผักชี พื่อเป็นการคงค่าความ PPFD ที่ให้กับต้นผักชี และลดความร้อนระหว่างหลอดไฟกับต้นผักชี และการเก็บผลการทดลองสัปดาห์สุดท้ายจะมีการวัดปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มเติม และนำตัวอย่างแห้งทั้งหมดของต้น

การทดลองที่	รูปแบบการให้แสง	ค่า PPFD ที่กำหนด ($\mu mol/m^2/s$)	ติดตั้งหลอดไฟที่ระดับความสูง (ซม.)	ค่า PPFD หลังการติดตั้ง ($\mu mol/m^2/s$)
1	R10B4Fr1	250	10.5	256.122
2	R10B4Fr1	150	21.5	149.154

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผักชีไปวัดสารต้านอนุมูลอิสระพร้อมเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมด

ตารางที่ 4.5 การทดลองการให้แสงสว่างกับผักชี

3	R10B2Fr1	250	10.5	249.220
4	R10B2Fr1	150	20.5	148.668
5	R10B1Fr1	250	9.5	256.620
6	R10B1Fr1	150	19.5	151.159
7	R10B4	250	11.5	246.388
8	R10B4	150	22.5	147.657
9	R10B2	250	10.5	255.529
10	R10B2	150	21.5	148.808
11	R10B1	250	10.5	248.404
12	R10B1	150	20.5	148.182

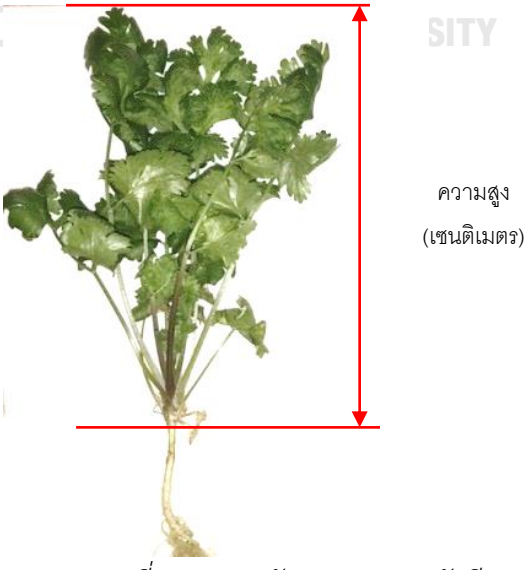
4.4 การวัดผลการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชี

4.4.1 การวัดผลการเจริญเติบโต

4.4.1.1 ความสูง

การวัดความสูงของผักชีจะเริ่มวัดตั้งแต่โคนต้นบริเวณรอยต่อกับรากขึ้นมาจนถึงปลายของใบผักชีของต้นผักชีทุกต้นทุกสัปดาห์ โดยการวัดจะใช้ไม้บรรทัดในหน่วยเซนติเมตร ดังรูปที่ 4.15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
SITY



รูปที่ 4.15 การวัดความสูงของผักชี

4.4.1.2 จำนวนใบ

การนับจำนวนใบ จะนับเป็นหนึ่งใบ ก็ต่อเมื่อใบผักชีแยกออกมาอย่างสมบูรณ์แล้ว ใบบริเวณยอดของต้นผักชีจะนับเป็น 3 ใบ ดังรูปที่ 4.16(ก) และใบบริเวณยอดต้นผักชีจะนับเป็น 1 ใบเท่านั้น ดังรูปที่ 4.16(ข)

รูปที่ 4.16 การนับจำนวนใบของต้นผักชี (ก) ใบยอดจำนวน 3 ใบ (ข) ใบยอดจำนวน 1 ใบ

4.4.1.3 จำนวนก้าน

จำนวนก้านจะนับจากโคนต้นผักชีที่เป็นก้านที่สมบูรณ์ สามารถมองเห็นและแยกได้อย่างชัดเจน โดยจะไม่นับก้านที่แตกออกไปจากก้านหลัก และก้านที่เป็นก้านอ่อนที่กำลังงอกออกมาจากโคนต้นผักชี

4.4.1.4 น้ำหนักสด

การวัดน้ำหนักสดเป็นการวัดมวลของต้นผักชีทั้งหมด โดยเครื่องชั่งที่ได้รับมาตรฐาน ซึ่งจะทำการวัดทันทีหลังจากที่มีการบันทึกผลการทดลอง เพราะค่าน้ำหนักของต้นผักชีจะเปลี่ยนแปลงไปหลังจากที่ทิ้งไว้เป็นเวลานานจากการคายน้ำ เพื่อลดความผิดพลาดจากการวัดไปจากความเป็นจริง

4.4.1.5 น้ำหนักแห้ง

การวัดน้ำหนักแห้งเป็นการวัดมวลแห้งของผักชี จะทำการกำจัดน้ำภายในต้นผักชี โดยการอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.17 จากนั้นนำมาวัดด้วยเครื่องชั่งทันที เพราะอาจทำให้น้ำหนักแห้งของต้นผักชีเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความชื้นในอากาศ

รูปที่ 4.17 ต้นผักชีอบแห้งหลังอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง

4.4.2 การวัดสารต้านอนุมูลอิสระ

4.4.2.1 การเตรียมตัวอย่างผักชีเพื่อทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระ

1) นำตัวอย่างผักชีแห้งทั้งหมด มาทำการบดด้วยเครื่องปั่นอย่างละเอียด หลังจากนั้นทำการวัดปริมาณน้ำหนักแห้งทันที เพื่อป้องกันความชื้นที่อยู่โดยรอบทำให้น้ำหนักของผักชีเพิ่มมากขึ้น

2) ใส่ผักชีที่บดละเอียดจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ในแต่ละการทดลองที่ รวมเป็นจำนวน 13 ตัวอย่างการทดลอง ดังรูปที่ 4.18

รูปที่ 4.18 ตัวอย่างผักชีแห้งที่แบ่งใส่หลอดทดลองหลอดละ 1 กรัม

4.4.2.2 การทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระ

การตรวจสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH Radical Scavenging Capacity Assay) โดยวิธีของ (Zhu, Zhou et al. 2006) โดยเตรียมอนุมูลอิสระ DPPH ที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร

1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมสารให้เข้ากัน และทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้ Trolox สารมาตรฐานในการสร้างกราฟมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวอย่างกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH บันทึกค่าในหน่วย mg Trolox equivalents/g sample

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

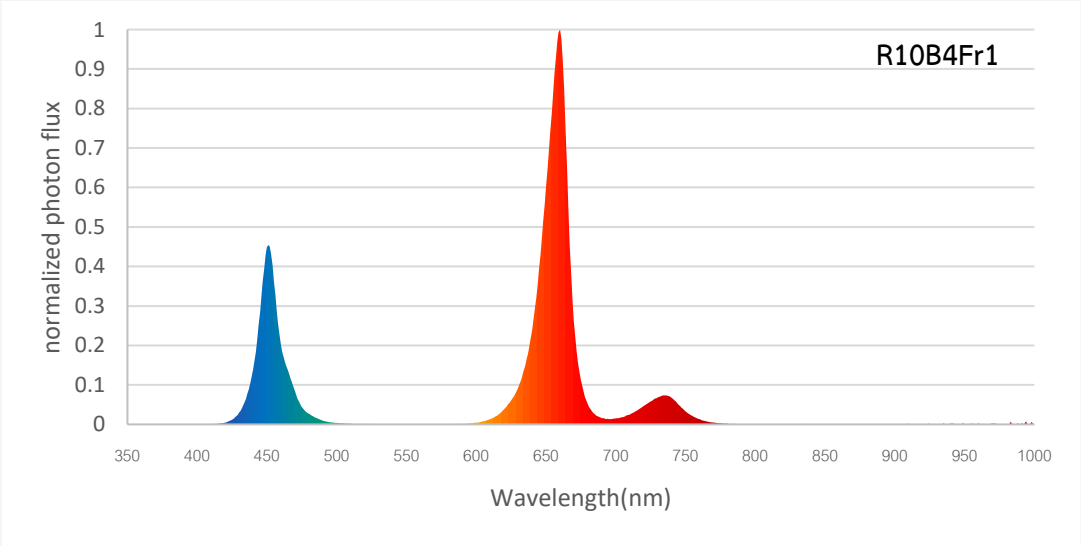
บทที่ 5
ผลการทดลองการเจริญเติบโตและปริมาณสารอาหารในผักชี จากแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี

5.1 ผลการวัดค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของหลอดไฟแอลอีดี

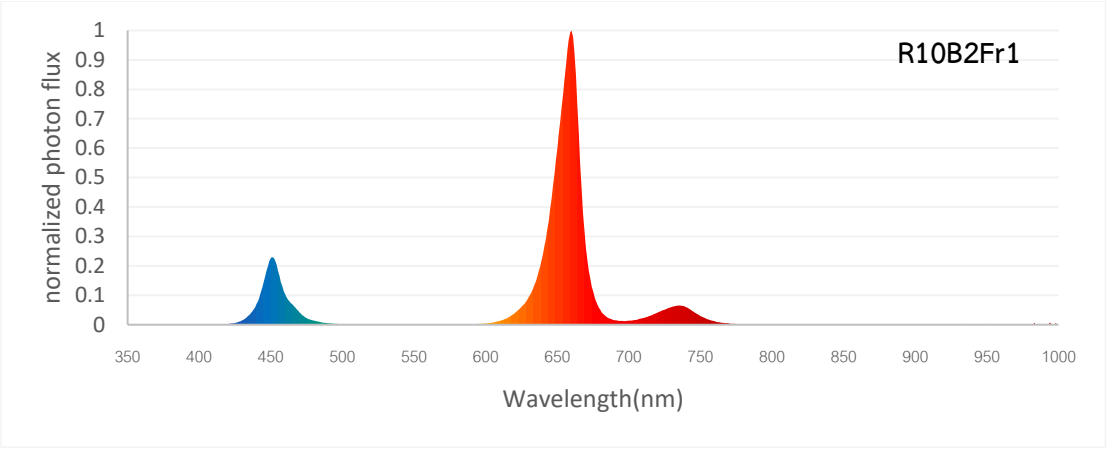
การวัดค่ากำลังเชิงสเปกตรัมจากเครื่องวัด Integrating sphere จะได้ค่ากำลังเชิงสเปกตรัมตามความยาวคลื่น สามารถนำมาแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมและความยาวคลื่น เพื่อให้เห็นถึงผลการออกแบบแสงสว่างที่สามารถสังเกตได้จากอัตราส่วนของแสงสีต่าง ๆ ประกอบกับการคำนวณอัตราส่วนของแสง โดยการหาอัตราส่วนของแสงสี Red แสงสี Blue และแสงสี Far-red จะวัดค่าความยาวคลื่นที่ 600 – 700 นาโนเมตร, 400 – 500 นาโนเมตร และ 700 – 800 นาโนเมตร ตามลำดับ ที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้น และผลการวัดค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสง จากนั้นนำไปคำนวณหาค่า PPF เพื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณในบทที่ 3 มี 6 ตัวอย่าง ได้แก่ R10B4Fr1, R10B2Fr1, R10B1Fr1, R10B4, R10B2 และ R10B1 ดังนี้

5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมและความยาวคลื่น

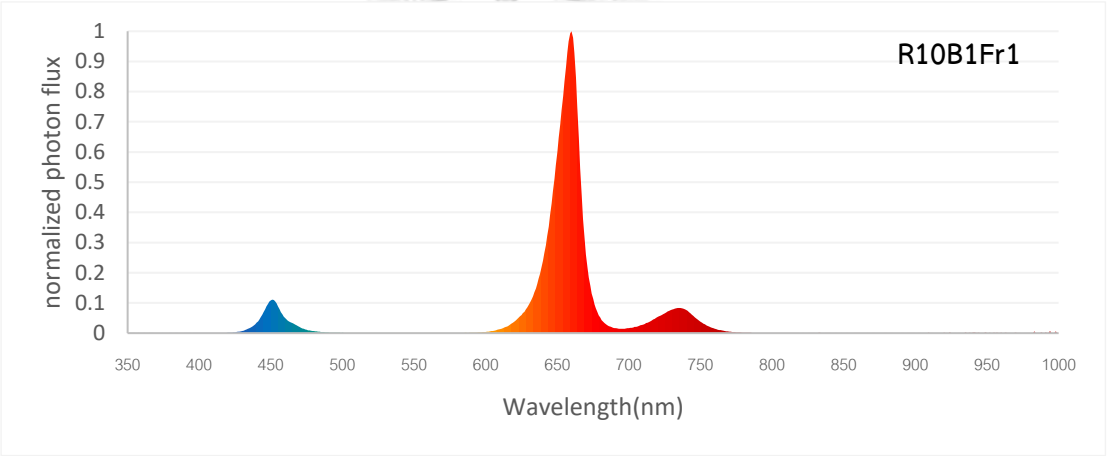
จากความสัมพันธ์ของค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่าง R10B4Fr1, R10B2Fr1, R10B1Fr1, R10B4, R10B2 และ R10B1 สามารถนำไปพิจารณาช่วงของแสงสี Red แสงสี Blue และแสงสี Far-red ได้ดังรูปที่ 5.1 ถึง 5.6



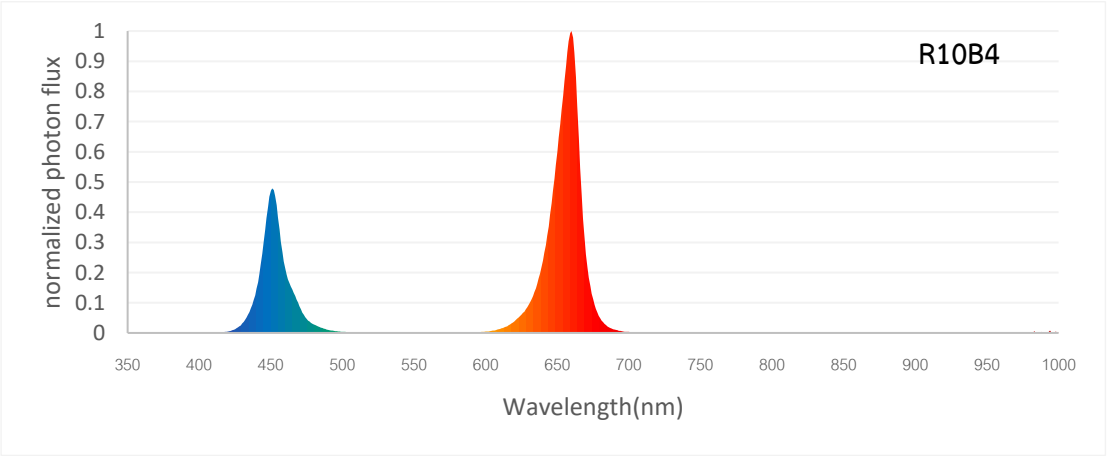
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่าง R10B4Fr1



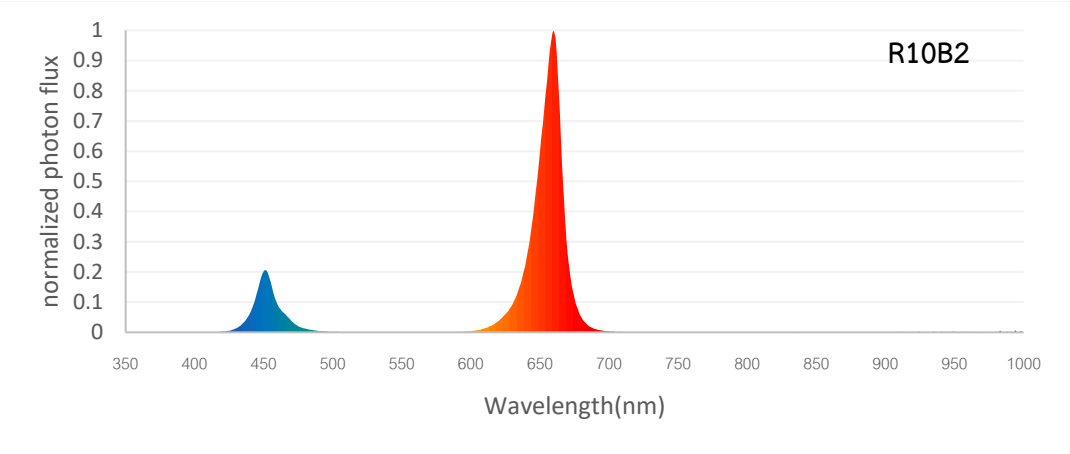
รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่าง R10B2Fr1



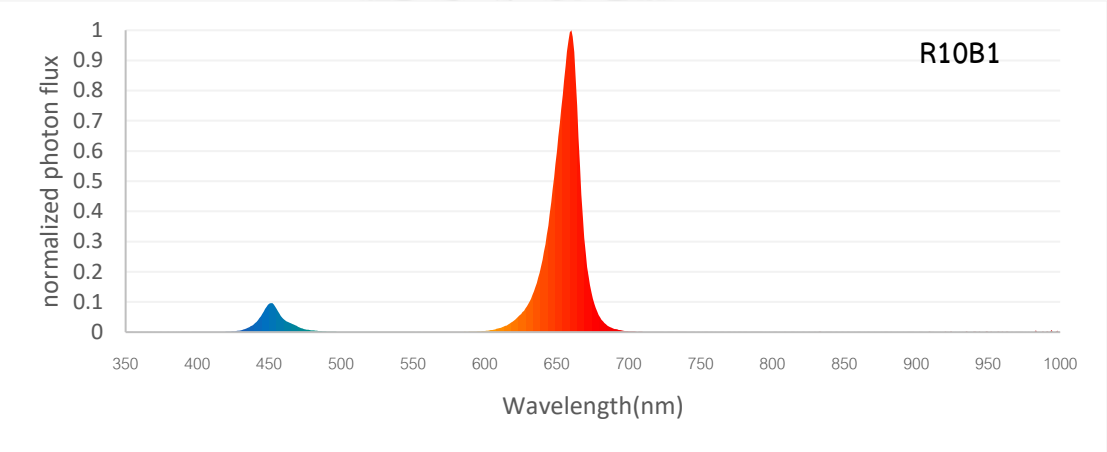
รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่าง R10B1Fr1



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่าง R10B4



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่าง R10B2



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่าง R10B1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1.2 ผลการคำนวณค่า PPF

จากผลการวัดค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงตั้งแต่ความยาวคลื่น 350 ถึง 1000 นาโนเมตร โดยวัดเพิ่มขึ้นทีละ 1 นาโนเมตร สามารถนำข้อมูลมาแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงและความยาวคลื่นของแสงตั้งแต่ 350 ถึง 1000 นาโนเมตร โดยรูปแบบข้อมูลกำลังเชิงสเปกตรัม สามารถคำนวณค่า PPF ได้จากสมการที่ 2.1

$$PPF(\mu mol/s) = 10^6 \sum_{\lambda_i=400nm}^{700nm} \frac{P(\lambda_i)\cdot\lambda_i}{h\cdot c\cdot N_A} \qquad (2.1)$$

จากสมการที่ 2.1 ค่า PPF จะได้จากผลคูณของค่ากำลังเชิงสเปกตรัมกับความยาวคลื่นนั้น ๆ และหารด้วยค่าคงที่ของแพลงค์ ความเร็วแสง และเลขอาโวกาโดร จากนั้นนำมารวมกันทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร ดังนั้นสามารถหาค่า PPF ช่วง PAR light (400 – 700 nm) และค่า PPF ของหลอดไฟรวมช่วงแสงสี Far-red (400 - 800 nm) ของตัวอย่าง R10B4Fr1, R10B2Fr1, R10B1Fr1, R10B4, R10B2 และ R10B1 ได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1ผลการคำนวณค่า PPF ช่วง PAR light และค่า PPF ที่รวมช่วงแสงสี Far-red

ตัวอย่าง	PPF (PAR light 400 – 700 nm) (μmol/s)	PPF (Far-red 400 - 800 nm) (μmol/s)
R10B4Fr1	30.233	33.109
R10B2Fr1	29.830	32.830
R10B1Fr1	27.424	31.185
R10B4	33.352	33.500
R10B2	32.490	32.780
R10B1	31.375	31.827

จากตารางที่ 5.1 ผลการวัดพบว่าค่า PPF ของแสงที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นผลมาจากอุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อเม็ดแอลอีดี รวมถึงผลของฝาครอบของหลอดไฟที่เลือกใช้นั้นส่งผลให้ค่า PPF ลดลง

5.1.3 ผลการคำนวณค่าอัตราส่วนแสง

ในการหาค่าอัตราส่วนของแสงจาก Integrating Sphere จะได้ค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสง และนำมาคำนวณหาค่า PPF ของแสงแต่ละสี เพื่อนำไปหาอัตราส่วนแสงสี Red : Blue : Far-red จากบทที่ 3 การคำนวณค่า PPF จะแบ่งความยาวคลื่น ได้แก่ แสงสี Red แสงสี Blue และแสงสี Far-red จะวัดค่าที่ความยาวคลื่น 600 – 700 นาโนเมตร 400 – 499 นาโนเมตร และ 701 – 800 นาโนเมตร ตามลำดับ สามารถคำนวณค่า PPF และอัตราส่วนแสงแต่ละสีได้ดังตารางที่ 5.2 โดยสามารถคำนวณหาอัตราส่วนแสงได้ดังนี้

$$R:B:Fr=\frac{PPF_{\mathrm{Red}}}{PPF_{\mathrm{Red}}}\times 10:\frac{PPF_{Blue}}{PPF_{\mathrm{Red}}}\times 10:\frac{PPF_{Far-red}}{PPF_{\mathrm{Red}}}\times 10$$

ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแสงกับอัตราส่วนของแสงหลังการออกแบบ

ตัวอย่าง	อัตราส่วนแสงที่ออกแบบ	อัตราส่วน PPF ของแสงแต่ละสี (μmol/s)	อัตราส่วนของแสงหลังการออกแบบ
R10B4Fr1 (R : B : Fr)	10 : 4 : 1	9.112 : 21.031 : 2.749	10 : 4.332 : 1.307
R10B2Fr1 (R : B : Fr)	10 : 2 : 1	5.319 : 24.444 : 2.818	10 : 2.176 : 1.153
R10B1Fr1 (R : B : Fr)	10 : 1 : 1	2.566 : 24.802 : 3.643	10 : 1.034 : 1.469
R10B4 (R : B)	10 : 4	9.170 : 24.093	10 : 3.805
R10B2 (R : B)	10 : 2	5.236 : 27.184	10 : 1.926
R10B1 (R : B)	10 : 1	2.633 : 28.682	10 : 0.918

จากตารางที่ 5.2 ผลการวัดค่าแสงพบว่าความคลาดเคลื่อนของแสงจากหลอดไฟหลังจากการออกแบบมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการคำนวณจำนวนเม็ดแอลอีดีเพื่อใช้สำหรับวางลงบนแผ่น PCB ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มทำให้ต้องมีการปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม ความคลาดเคลื่อนสำหรับอัตราส่วนแสงสี Blue พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแสงสี Far-red นั้นพบว่ามีความคลาดเคลื่อนมากกว่าแสงสี Blue มากเนื่องจากอัตราส่วนของแสงที่น้อยเมื่อปัดเศษจำนวนเม็ดแอลอีดีสี Far-red ขึ้นทำให้อัตราส่วนของแสงสี Far-red เพิ่มขึ้น

5.2 ผลการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชี

5.2.1 ผลการวัดการเจริญเติบโต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองการวัดการเจริญเติบโตของผักชี จะใช้เกณฑ์ในการพิจารณาเรื่องการเจริญเติบโตทั้งหมด 5 ด้านประกอบไปด้วย ความสูง จำนวนใบ จำนวนก้าน น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะมีการวัดผลการเจริญเติบโตของผักชีในด้านความสูง จำนวนใบ และ จำนวนก้านของผักชีทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งผลการทดลองควบคุมที่ใช้แสงอาทิตย์ในการเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้หลอดไฟแอลอีดีจะมีการวัดผลการเจริญเติบโตเฉพาะสัปดาห์สุดท้ายเท่านั้น ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดจะใช้ค่าเฉลี่ยในการแสดงข้อมูลจากจำนวนผักชีที่ใช้ในการปลูกต่อการทดลองเป็นจำนวน 6 ต้นต่อการทดลอง ผลการวัดการเจริญเติบโตจากการใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีจะแบ่งตารางออกเป็นการทดลองที่ใช้ค่า PPFD 250 และ 150 μmol/m^2/s เป็นไปดังตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 ตามลำดับ และผลการทดลองควบคุมที่ใช้แสงอาทิตย์จะมีการวัดผลการเจริญเติบโตเริ่มต้นและสัปดาห์สุดท้ายเท่านั้น ผลการวัดการเจริญเติบโตเป็นไปดังตารางที่ 5.5 ทั้งนี้การทดลองที่มีการใช้แสงจากหลอดแอลอีดีที่ค่า PPFD 250 และ 150 μmol/m^2/s จะมีการเปรียบเทียบกับ

ตัวอย่างควบคุมที่มาจากแสงอาทิตย์เหมือนกันเพื่อเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตในแต่ละหัวข้อที่มีการวัดผล

5.2.1.1 ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงของผักชี

จากการทดลองเรื่องความสูงของผักชีเมื่อมีการใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ของการให้แสงพบว่าการให้แสงแบบ R10B1Fr1 ให้ผลการเจริญเติบโตเรื่องความสูงมากที่สุดโดยมีความสูงเพิ่มมากขึ้น 31.22% รองลงคือการให้แสงแบบ R10B1 ที่ความสูงของผักชีเพิ่มขึ้น 26.98% จากการวิเคราะห์รูปแบบการให้แสงพบว่าการใช้แสงสี Red ผลต่อการเพิ่มความสูงของผักชี โดยตัวอย่างของผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B2 และ R10B4 จะมีความสูงลดลงตามลำดับ และการเพิ่มแสงสี Far-red ในสัปดาห์ที่ 1 ช่วยให้ความสูงของผักชีเพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้แสงสี Far-red ทั้งนี้ความสูงของผักชีนั้น เพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของแสงสี Red ที่มากขึ้น โดยตัวอย่างที่มีความสูงเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดในสัปดาห์ที่ 1 คือตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B4 ซึ่งมีความสูงเพิ่มขึ้นเพียง 13.99% เท่านั้น ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าแนวโน้มของความสูงของผักชีก็จะเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของแสงสี Red โดยตัวอย่างที่มีความสูงเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B1 และ R10B2 ที่ความสูงของผักชีเพิ่มมากขึ้น 36.38% และ 36.97% ตามลำดับ ทั้งนี้การใช้แสงสี Far-red ในสัปดาห์ที่ 2 ไม่ได้ทำให้ผักชีมีความสูงเพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้แสงสี Far-red โดยตัวอย่าง R10B2Fr1 ผักชีมีความสูงเพิ่มมากขึ้น 31.65% เท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง R10B2 ซึ่งมีความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่มีการใช้แสงสี Far-red ทั้งนี้สัปดาห์ที่ 2 ตัวอย่างที่มีผลการเจริญเติบโตที่ผิดแปลกไปคือการทดลอง R10B1Fr1 ที่ความสูงของผักชีเพิ่มขึ้นเพียง 3.87% เท่านั้น ในสัปดาห์ที่ 3 สำหรับสัปดาห์นี้ความสูงของผักชีทุกตัวอย่างจะมีความสูงเพิ่มมากขึ้นอย่างมากทุกตัวอย่าง โดยมีความสูงเพิ่มมากขึ้น 45% เป็นอย่างน้อย และยังพบอีกว่าแนวโน้มของผักชียังคงเพิ่มตามปริมาณแสงสี Red ที่มากขึ้น โดยตัวอย่างที่มีความสูงเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B1Fr1 ที่มีความสูงเพิ่มมากขึ้น 72.01% ทั้งนี้การใช้แสงสี Far-red ส่งผลให้ความสูงของผักชีเพิ่มมากขึ้น โดยตัวอย่าง R10B4Fr1 ผักชีมีความสูงเพิ่มมากขึ้น 61.32% เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้แสงสี Far-red คือตัวอย่าง R10B4 ซึ่งมีความสูงเพิ่มมากขึ้นเพียง 45.07% เท่านั้นและในสัปดาห์สุดท้ายสัปดาห์ที่ 4 การเจริญเติบโตของผักชีเพิ่มมากขึ้นมากที่สุดคือกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B1Fr1 ที่มีความสูงเพิ่มมากขึ้น 69.17% ซึ่งในสัปดาห์นี้ผลการเจริญเติบโตของกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้รับแสงสี Far-red จะเปลี่ยนไปโดยกลุ่มตัวอย่างที่มีสี Blue มากกลับมีความสูงที่เพิ่มขึ้นมากกว่าโดยตัวอย่าง R10B4 R10B2 และ R10B1 มีความสูงเพิ่มมากขึ้น 50.64%, 48.37% และ 47.30% ตามลำดับ ทั้งนี้ความสูงที่เพิ่มมากขึ้นนั้นแตกต่างกันไม่มากเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ได้รับแสงสี Far-red ที่มีความสูงเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก

ตารางที่ 5.3 ผลการวัดการเจริญเติบโตของผักชีจากการใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s

สัปดาห์ที่	รูปแบบการให้แสง	ความสูง (มม.)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวนก้าน (ก้าน)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
เริ่มต้น	R10B4Fr1	42.800	1.000	1.000	-	-
	R10B2Fr1	42.817	1.000	1.000	-	-
	R10B1Fr1	42.650	1.000	1.000	-	-
	R10B4	42.050	1.000	1.000	-	-
	R10B2	41.867	1.000	1.000	-	-
	R10B1	42.067	1.000	1.000	-	-
1	R10B4Fr1	50.317	2.500	2.500	-	-
	R10B2Fr1	51.600	2.667	2.667	-	-
	R10B1Fr1	55.967	2.333	2.333	-	-
	R10B4	47.933	2.333	2.333	-	-
	R10B2	52.650	2.500	2.500	-	-
	R10B1	53.417	2.000	2.000	-	-
2	R10B4Fr1	64.517	5.500	4.167	-	-
	R10B2Fr1	67.933	7.167	4.500	-	-
	R10B1Fr1	58.133	6.167	4.167	-	-
	R10B4	61.083	5.833	4.167	-	-
	R10B2	72.117	7.000	4.667	-	-
	R10B1	72.850	5.000	4.000	-	-
3	R10B4Fr1	104.083	19.333	7.833	-	-
	R10B2Fr1	108.367	17.500	7.500	-	-
	R10B1Fr1	100.000	15.333	7.167	-	-
	R10B4	88.617	18.833	7.500	-	-
	R10B2	116.933	21.333	8.667	-	-
	R10B1	111.740	16.800	7.200	-	-
4	R10B4Fr1	155.000	39.667	10.333	9.245	0.878
	R10B2Fr1	137.333	43.833	13.833	8.745	0.777
	R10B1Fr1	169.167	37.667	9.167	6.435	0.585
	R10B4	133.500	41.000	11.667	7.480	0.803
	R10B2	173.500	52.500	12.500	12.873	1.200
	R10B1	164.600	38.600	9.200	7.368	0.742

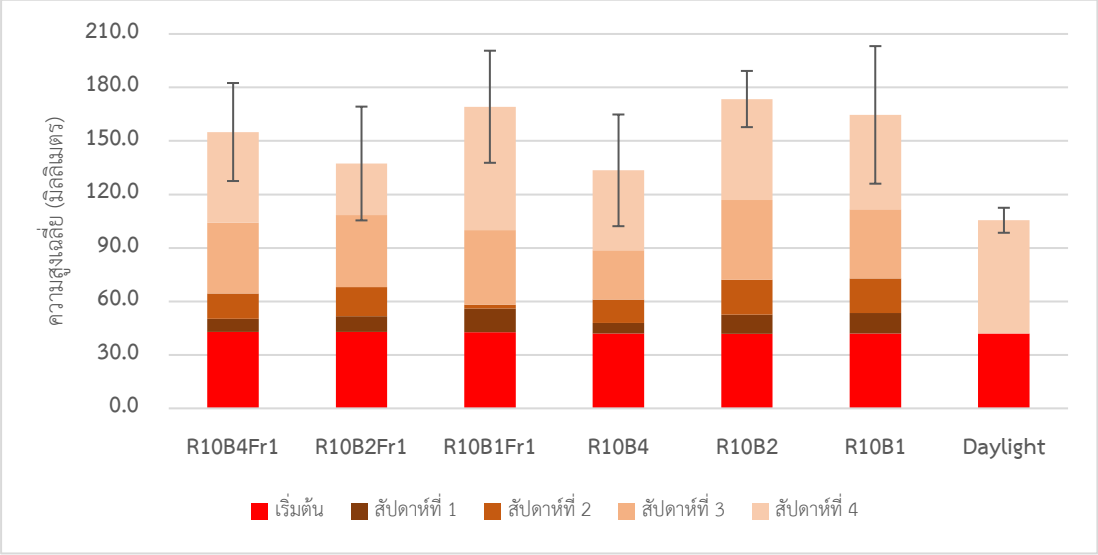
ตารางที่ 5.4 ผลการวัดการเจริญเติบโตของผักชีจากการใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s

สัปดาห์ที่	รูปแบบการให้แสง	ความสูง (มม.)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวนก้าน (ก้าน)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
เริ่มต้น	R10B4Fr1	42.050	1.000	1.000	-	-
	R10B2Fr1	42.467	1.000	1.000	-	-
	R10B1Fr1	41.767	1.000	1.000	-	-
	R10B4	41.683	1.000	1.000	-	-
	R10B2	42.083	1.000	1.000	-	-
	R10B1	42.667	1.000	1.000	-	-
1	R10B4Fr1	51.133	2.167	2.167	-	-
	R10B2Fr1	53.367	2.000	2.000	-	-
	R10B1Fr1	48.733	2.167	2.167	-	-
	R10B4	48.667	2.000	2.000	-	-
	R10B2	53.033	2.167	2.167	-	-
	R10B1	54.300	2.667	2.667	-	-
2	R10B4Fr1	62.333	4.667	3.667	-	-
	R10B2Fr1	61.167	3.333	3.333	-	-
	R10B1Fr1	57.183	3.833	3.500	-	-
	R10B4	55.933	3.667	3.333	-	-
	R10B2	63.983	5.333	4.000	-	-
	R10B1	69.950	5.667	4.333	-	-
3	R10B4Fr1	87.817	10.833	5.833	-	-
	R10B2Fr1	79.883	9.500	5.500	-	-
	R10B1Fr1	97.017	11.000	5.667	-	-
	R10B4	72.400	9.333	5.333	-	-
	R10B2	92.783	13.167	7.167	-	-
	R10B1	89.750	14.000	6.833	-	-
4	R10B4Fr1	127.000	29.000	7.833	3.300	0.310
	R10B2Fr1	123.000	18.833	6.667	2.490	0.240
	R10B1Fr1	138.500	22.333	6.833	2.535	0.230
	R10B4	103.000	19.833	7.000	2.653	0.258
	R10B2	139.333	31.667	8.333	4.625	0.445
	R10B1	141.400	26.800	8.400	3.750	0.334

ตารางที่ 5.5 ผลการวัดการเจริญเติบโตของผักชีจากการทดลองควบคุมโดยใช้แสงอาทิตย์

สัปดาห์ที่	รูปแบบการให้แสง	ความสูง (มม.)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวนก้าน (ก้าน)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
เริ่มต้น	Daylight	42.000	1.000	1.000	-	-
4	Daylight	63.500	11.833	5.333	0.598	0.055

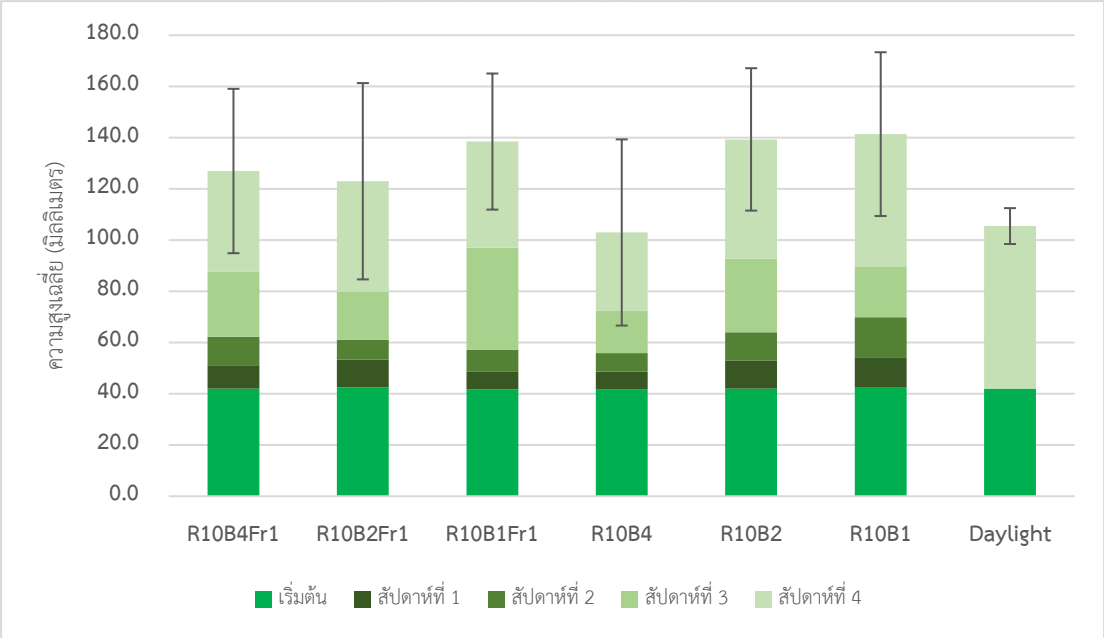
ทั้งนี้ในการเปรียบเทียบผลความสูงทั้งหมดกับตัวอย่างควบคุมพบว่าความสูงของต้นผักชีที่ดีรับแสงอาทิตย์มีความสูงน้อยที่สุด โดยตัวอย่างที่มีความสูงมากที่สุดคือตัวอย่าง R10B2 รองลงมาคือตัวอย่าง R10B1Fr1 ที่มีความสูงมากกว่าตัวอย่างควบคุมถึง 64.45% และ 60.34% โดยตัวอย่างที่มีความสูงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมคือตัวอย่าง R10B4 ซึ่งมีความสูงมากกว่าตัวอย่างควบคุมเพียง 26.54% เท่านั้น โดยความสูงเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s เป็นไปดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 กราฟความสูงเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง)

ผลการทดลองเรื่องความสูงของผักชีเมื่อมีการใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 การให้แสงแบบ R10B1 เพิ่มความสูงให้กับผักชีมากที่สุด โดยความสูงผักชีเพิ่มมากขึ้น 27.26% รองลงมาคือตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B2, R10B2Fr1, R10B4Fr1, R10B4 และ R10B1Fr1 ตามลำดับทั้งนี้ในสัปดาห์ที่ 1 เมื่อให้แสงที่ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ให้ผลที่แตกต่างจากการให้แสงที่มีความเข้มสูงกว่า ซึ่งผลของแสงสี Far-red ไม่ได้ส่งผลให้ความสูงของผักชีเพิ่มมาก

ขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 แต่แสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อความสูงของผักชี ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าการให้แสงแบบ R10B1 ยังคงเพิ่มความสูงให้กับผักชีมากที่สุด โดยความสูงผักชีเพิ่มมากขึ้น 28.82% โดยความสูงของผักชีลดลงตามสัดส่วนของแสงสี Red ที่ลดน้อยลงตามลำดับ ซึ่งผลของแสงสี Far-red จะส่งผลที่ดีกว่าเฉพาะตัวอย่าง R10B4Fr1 ที่เพิ่มความสูงให้กับผักชีมากกว่าการให้แสงแบบ R10B4 และ R10B2 ในสัปดาห์ที่ 3 การให้แสงแบบ R10B1Fr1 เพิ่มความสูงให้กับผักชีมากที่สุด ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 69.65% และความสูงของผักชีนั้นลดลงตามสัดส่วนของแสงสี Red ที่ลดน้อยลง โดยสัปดาห์ที่ 3 นั้นแสงสี Far-red ส่งผลให้ความสูงเพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่มีแสงสี Far-red และในสัปดาห์ที่ 4 สัปดาห์สุดท้ายพบว่าความสูงของผักชีเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้น โดยการให้แสงแบบ R10B1 เพิ่มความสูงมากที่สุด โดยความสูงของผักชีเพิ่มขึ้น 57.54% และตัวอย่าง R10B2 และ R10B4 มีความสูงที่ลดน้อยลงมาตามลำดับ โดยแสงสี Far-red ส่งผลให้ความสูงของผักชีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้แสงสี Far-red เฉพาะตัวอย่าง R10B2Fr1 และ R10B4Fr1 เท่านั้น ทั้งนี้ความสูงของผักชีรวมที่มีความสูงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์คือตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B1 ที่มีความสูงมากกว่าตัวอย่างควบคุมถึง 34.02% อย่างไรก็ตาม มีตัวอย่างเดียวที่มีความสูงน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมคือตัวอย่างที่ใช้แสง R10B4 ซึ่งมีความสูงน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม 2.37% โดยความสูงเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s เป็นไปดังรูปที่ 5.8



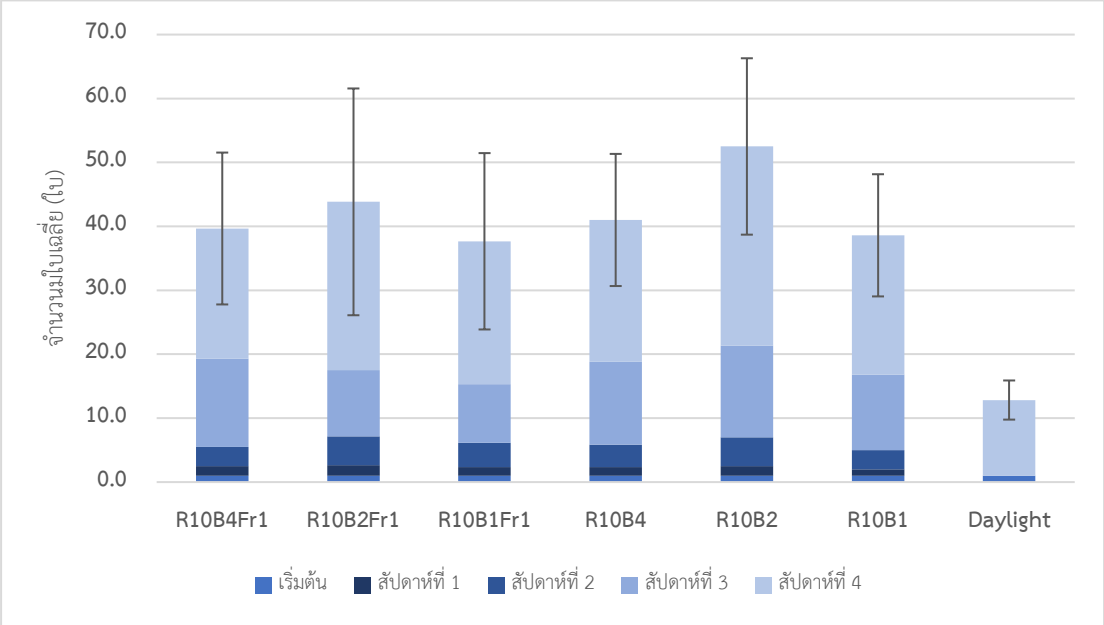
รูปที่ 5.8 กราฟความสูงเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)

ดังนั้นการทดลองนี้จึงพบว่าแสงสีที่มีผลต่อความสูงของต้นผักชีคือแสงสี Red ควบคู่กับการใช้แสงสี Far-red ซึ่งสัดส่วนของแสงสี Red ที่มากนั้นจะทำให้ต้นผักชีมีความสูงที่เพิ่มมากขึ้น การเพิ่มแสงสี Far-red จะไปเสริมให้ผักชีมีความสูงเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ทั้งนี้การใช้ค่า PPFD ที่สูงกว่าจะทำให้ความสูงของผักชีเพิ่มขึ้นดีกว่าการใช้ค่า PPFD ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้การปลูกผักชีด้วยแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยแล้วมีความสูงที่ต่ำกว่าการปลูกผักชีด้วยหลอดไฟแอลอีดี มีเพียงตัวอย่างเดียวเท่านั้นที่มีความสูงเฉลี่ยน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมคือตัวอย่าง R10B4 เนื่องจากสัดส่วนของแสงสี Red ที่น้อยและการใช้ค่า PPFD ที่ต่ำ ส่งผลให้ผักชีมีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด

5.2.1.2 ผลการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบของผักชี

การทดลองเรื่องจำนวนใบของผักชีเมื่อมีการใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 การเพิ่มจำนวนใบของผักชีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ การใช้แสงรูปแบบ R10B2Fr1 เพิ่มจำนวนใบให้กับผักชีมากที่สุด ซึ่งใบของผักชีเพิ่มขึ้น 1.67 เท่าในสัปดาห์ที่ 1 และเพิ่มขึ้นอีก 1.68 เท่าในสัปดาห์ที่ 2 รองลงมาคือการให้แสงแบบ R10B2 ทำให้ใบของผักชีเพิ่มขึ้น 1.5 เท่าในสัปดาห์ที่ 1 และ 1.8 เท่าในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งพบว่าการใช้แสงสี Far-red ช่วยทำให้ใบของผักชีมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการใช้แสงสี Red และ Blue ที่มากเกินไปไม่ได้ทำให้จำนวนใบของผักชีเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งแนวโน้มของการใช้แสงสี Blue ที่มากขึ้นทำให้จำนวนใบของผักชีเพิ่มมากขึ้นกว่า การใช้สี Red ที่มาก ซึ่งเปรียบเทียบจากการเพิ่มจำนวนใบของตัวอย่างผักชีในสัปดาห์ที่ 1 ที่ได้รับแสงแบบ R10B4Fr1 จะมีจำนวนใบของผักชีมากกว่าการให้แสงแบบ R10B1Fr1 และผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B4 จะมีจำนวนใบของผักชีมากกว่าการให้แสงแบบ R10B1 เช่นเดียวกัน ในสัปดาห์ที่ 3 การเพิ่มจำนวนใบที่มากที่สุดพบในตัวอย่างที่มีการให้แสงแบบ R10B4Fr1 ซึ่งเพิ่มจำนวนใบให้กับผักชีมากที่สุดถึง 2.51 เท่าจากเดิม ซึ่งตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงสี Far-red และมีปริมาณสี Red เพิ่มมากขึ้นจะทำให้จำนวนใบของผักชีลดน้อยลงตามลำดับ ส่วนตัวอย่างผักชีที่ไม่มีแสงสี Far-red จะมีจำนวนใบของผักชีเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 2 เท่า และในสัปดาห์สุดท้ายพบว่า จำนวนใบของผักชีเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ตัวอย่าง R10B2Fr1 รองลงมาคือ R10B2 ซึ่งจำนวนใบของผักชีเพิ่มขึ้น 1.5 และ 1.46 เท่าตามลำดับ โดยในสัปดาห์นี้การใช้แสงสี Red จะทำให้จำนวนใบของผักชีเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้แสงสี Blue ทั้งนี้เมื่อมีการเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างควบคุมที่ใช้แสงอาทิตย์พบว่าจำนวนใบของตัวอย่างที่ได้รับแสงจากหลอดแอลอีดีมีจำนวนใบที่มากกว่ากลุ่มตัวอย่างควบคุมอย่างมาก ซึ่งมีจำนวนใบผักชีมากกว่าตัวอย่างควบคุม 1.93 – 3.09 เท่า ซึ่งการใช้แสงแอลอีดีช่วยให้จำนวนใบของผักชีเพิ่มขึ้นอย่างมากไม่ว่าจะใช้แสงจากหลอดแอลอีดีรูปแบบใดก็ตาม โดยจำนวนใบเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s เป็นไปดังรูปที่ 5.9

ผลการทดลองเรื่องจำนวนใบของผักชีเมื่อมีการใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 จำนวนใบของผักชีเมื่อได้รับแสงแบบ R10B1 มีการเพิ่มจำนวนใบมากที่สุดที่ 1.67 เท่า โดยการใช้ค่า PPFD ที่ต่ำนั้นแสงสี Red ส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนใบมากกว่าแสงสี Blue และแสงสี Far-red ทำให้จำนวนใบของผักชีลดน้อยลง ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 การให้แสงแบบ R10B2 เพิ่มจำนวนใบมากที่สุด จำนวนใบเพิ่มมากขึ้น 1.46 เท่า โดยการเพิ่มแสงสี Blue ทำให้ใบผักชีลดน้อยลงกว่าการเพิ่มแสงสี Red สำหรับตัวอย่างที่ใช้แสงสี Far-red พบว่าจำนวนใบของผักชีจะมีมากขึ้นตามปริมาณแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้นแต่โดยรวมแล้วก็ยังเพิ่มจำนวนใบน้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีสี Far-red ในสัปดาห์ที่ 3 กลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้รับแสงสี Far-red จะมีการเพิ่มจำนวนใบของผักชีในจำนวนที่ใกล้เคียงกันที่ 1.5 เท่าจากเดิม

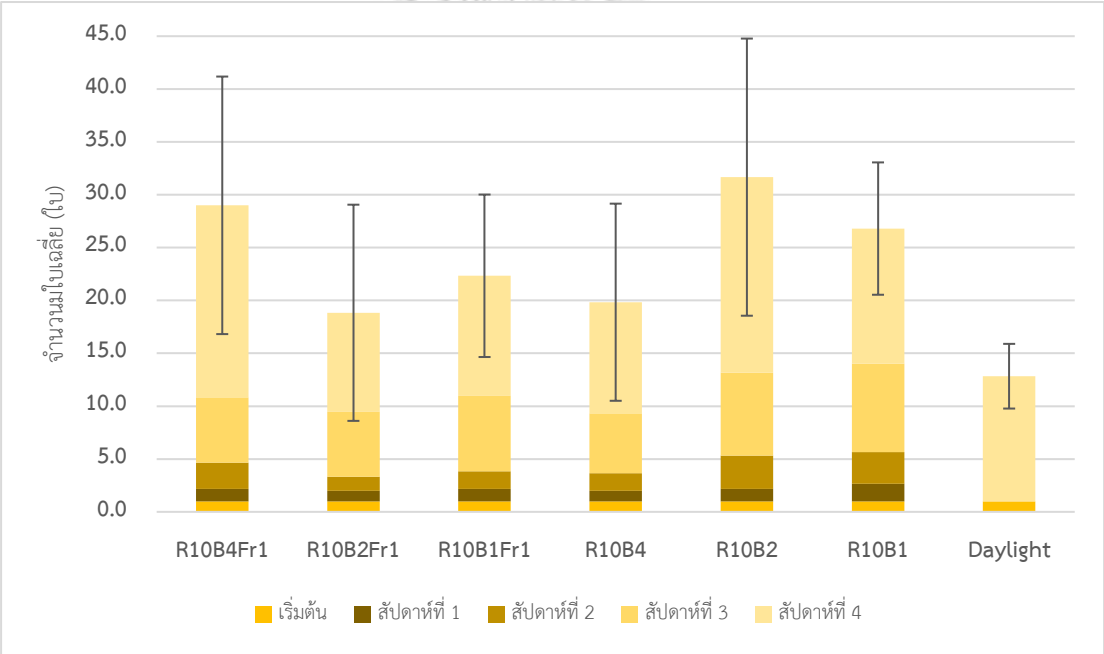


รูปที่ 5.9 กราฟจำนวนใบเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (ตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง)

ส่วนกลุ่มที่ได้รับแสงสี Far-red จะมีการเพิ่มจำนวนใบที่มากกว่าในตัวอย่าง R10B2Fr1 และ R10B1Fr1 ซึ่งจำนวนใบเพิ่มมากขึ้น 1.85 และ 1.86 เท่าตามลำดับ จำนวนใบนั้นเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้น และสุดท้ายสัปดาห์ที่ 4 จำนวนใบของผักชีเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อได้รับแสงแบบ R10B4Fr1 ซึ่งจำนวนใบของผักชีเพิ่มมากขึ้น 1.67 เท่า รองลงมาคือการแสงแบบ R10B2 ซึ่งเพิ่มจำนวนใบผักชี 1.46 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์พบว่าจำนวนใบของตัวอย่างที่ได้รับแสงจากหลอดแอลอีดีมีจำนวนใบที่มากกว่ากลุ่มตัวอย่างควบคุมเช่นเดียวกันกับกลุ่มที่ได้รับค่า PPFD ที่สูงกว่า โดยมีจำนวนใบมากกว่าตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์

0.46 – 1.46 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้หลอดไฟแอลอีดีที่มีค่าแสงสม่ำเสมอตลอดเวลาส่งผลดีต่อจำนวนใบผักชีไม่ว่าจะใช้ค่า PPFD ที่ระดับใดก็ตาม โดยจำนวนใบเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s เป็นไปดังรูปที่ 5.10

จากผลการทดลองพบว่าในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีแสงสี Far-red การใช้แสงสี Red และ Blue ที่มีอัตราส่วนที่มากเกินไปทำให้จำนวนใบของผักชีลดลง ผักชีมีจำนวนใบมากที่สุดเมื่อมีการให้แสงแบบ R10B2 ทั้งนี้ในกลุ่มตัวอย่างที่มีแสงสี Far-red พบว่าการใช้แสงสี Far-red ทำให้จำนวนใบของผักชีลดน้อยลงกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้แสงสี Far-red ในเรื่องของค่า PPFD ที่สูงกว่าจะทำให้จำนวนใบของผักชีมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ PPFD ที่ต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แสงอาทิตย์พบว่าการใช้หลอดไฟแอลอีดี ทำให้จำนวนใบของผักชีเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้แสงอาทิตย์ในระยะเวลาการปลูกที่เท่ากัน

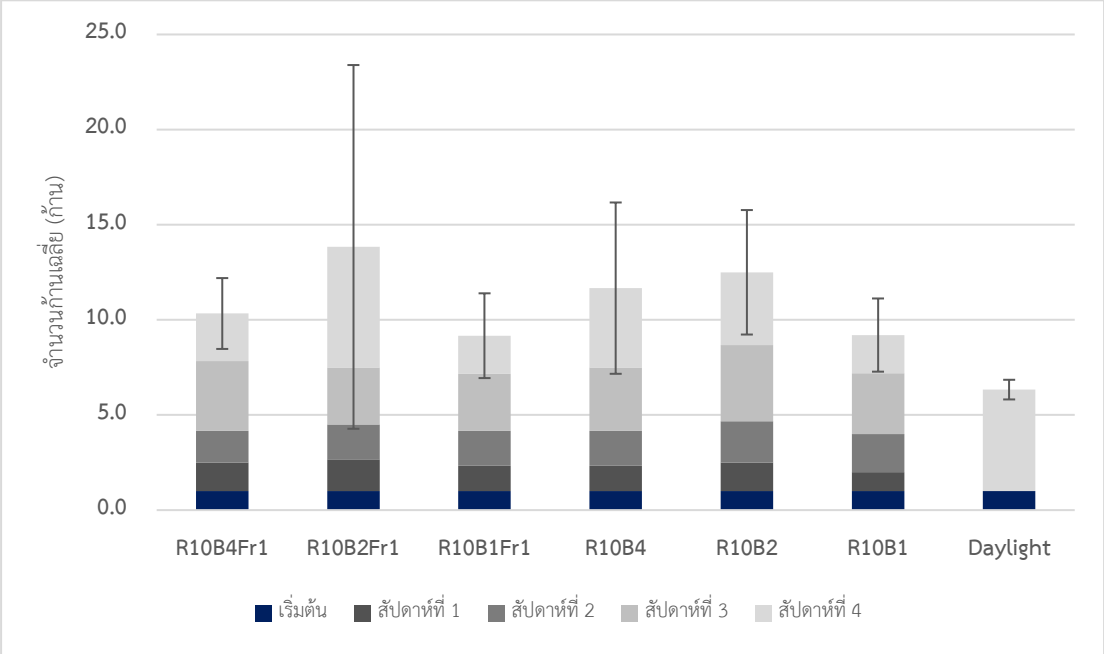


รูปที่ 5.10 กราฟจำนวนใบเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)

5.2.1.3 ผลการเจริญเติบโตด้านจำนวนก้านของผักชี

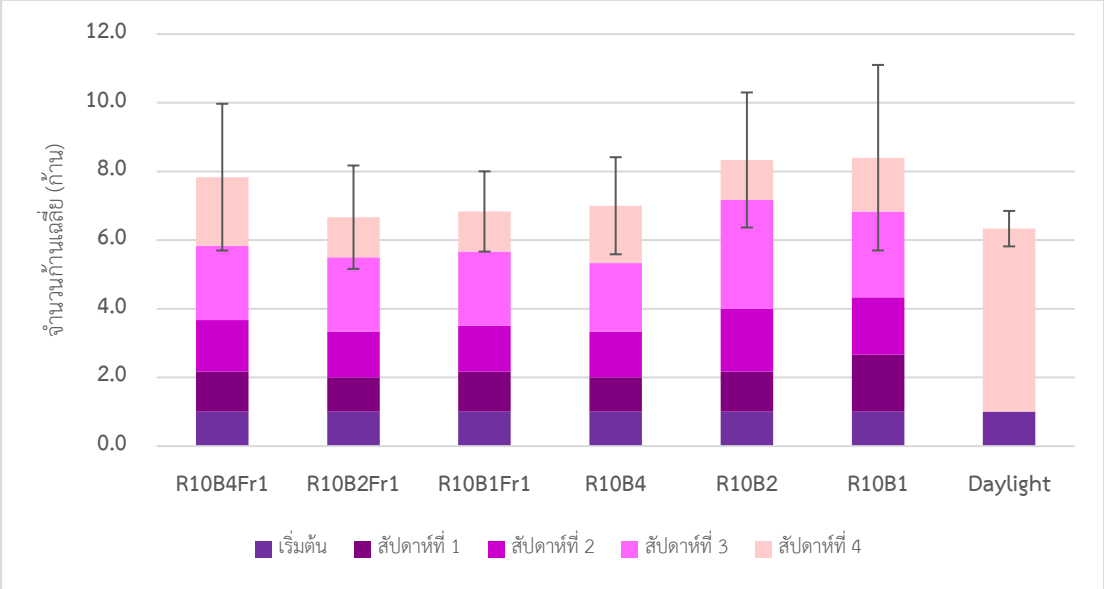
การทดลองเรื่องจำนวนก้านของผักชีเมื่อมีการใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 จำนวนก้านของผักชีเพิ่มขึ้นมากที่สุดในตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B2Fr1 รองลงมาคือ R10B2 ที่ทำให้จำนวนก้านผักชีเพิ่มขึ้น 1.67 และ 1.5 เท่าตามลำดับซึ่งการใช้แสงสี

Far-red ส่งผลให้จำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีแสงสี Far-red ทุกกรณี ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 จำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B1 ทำให้จำนวนก้านของผักชีเพิ่มขึ้น 1 เท่า ซึ่งการใช้แสงสี Far-red ในสัปดาห์ที่ 2 จะทำให้ผักชีมีจำนวนก้านที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช้แสงสี Far-red ทุกกรณี โดยจำนวนก้านของผักชีเพิ่มน้อยสุดที่ตัวอย่าง R10B4Fr1 ที่จำนวนก้านของผักชีเพิ่มขึ้นเพียง 0.67 เท่า และในสัปดาห์ที่ 3 จำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากที่สุดในตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B4Fr1 ที่จำนวนก้านเพิ่มมากขึ้น 0.88 เท่า ซึ่งจำนวนก้านลดลงตามสัดส่วนของแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่จำนวนก้านของผักชีในกลุ่มที่ไม่มีแสงสี Far-red มีการเพิ่มที่ใกล้เคียงกันซึ่งเพิ่มขึ้น 0.8 – 0.85 เท่าจากเดิม และสุดท้ายในสัปดาห์ที่ 4 จำนวนก้านของผักชีเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อให้แสงแบบ R10B2Fr1 ที่เพิ่มจำนวนก้านให้ผักชี 0.84 เท่า ซึ่งจำนวนก้านผักชีจะลดลงตามปริมาณแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้น และในกลุ่มที่ไม่มีแสงสี Far-red พบว่าจำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้นโดยมากที่สุดที่กลุ่มตัวอย่าง R10B4 ตามด้วย R10B2 และ R10B1 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบจำนวนก้านกับกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์พบว่าการใช้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีทุกแบบให้ผลด้านจำนวนก้านที่ดีกว่าการใช้แสงอาทิตย์ทุกกรณี โดยจำนวนก้านเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s เป็นไปดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 กราฟจำนวนก้านเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (ตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง)

ผลการทดลองเรื่องจำนวนก้านของผักชีเมื่อมีการใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 จำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากที่สุดเมื่อให้แสงแบบ R10B1 ซึ่งจำนวนก้านเพิ่มมากขึ้น 1.67 เท่า ซึ่งจำนวนก้านของผักชีลดลงตามปริมาณแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้น การใช้แสงสี Far-red ทำให้จำนวนก้านของผักชีลดน้อยลง ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 จำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากที่สุดในตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B2 ที่จำนวนก้านเพิ่มมากขึ้น 0.84 เท่า และจำนวนก้านลดน้อยลงตามปริมาณแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แสงสี Far-red จำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้น โดยแสงสี Far-red ไม่มีนัยสำคัญต่อจำนวนก้านของผักชีในสัปดาห์ที่ 2 สำหรับสัปดาห์ที่ 3 พบว่า จำนวนก้านของผักชีเพิ่มมากที่สุดในตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B2 ซึ่งเพิ่มจำนวนก้านผักชี 0.79 เท่า ซึ่งการเพิ่มแสงสี Red ทำให้ผักชีมีจำนวนก้านที่ลดน้อยลงกว่าการเพิ่มแสงสี Blue และการใช้แสงสี Far-red ส่งผลให้จำนวนก้านผักชีลดน้อยลงกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช้แสงสี Far-red และในสัปดาห์ที่ 4 จำนวนก้านของผักชีเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงสี Blue โดยตัวอย่างที่จำนวนก้านเพิ่มมากที่สุดคือตัวอย่างที่ได้รับแสงแบบ R10B4Fr1 รองลงมาคือ R10B4 ที่จำนวนก้านเพิ่มขึ้น 0.34 และ 0.31 เท่าตามลำดับ โดยจำนวนผักชีลดน้อยลงตามปริมาณแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในตัวอย่างที่ใช้และไม่ใช้แสงสี Far-red ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบจำนวนก้านกับกลุ่มตัวอย่างควบคุมพบว่าการใช้หลอดแอลอีดี ทำให้ผักชีมีจำนวนก้านที่มากกว่าตัวอย่างควบคุมทั้งหมด โดยจำนวนก้านเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s เป็นไปดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 กราฟจำนวนก้านเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)

จากผลการทดลองเรื่องจำนวนก้านของผักชีพบว่าเมื่อมีการใช้ค่า PPFD ที่สูง จำนวนก้านของผักชีจะดีที่สุดเมื่อให้แสงแบบ R10B2Fr1 และ R10B2 ซึ่งการเพิ่มแสงสี Red ทำให้จำนวนก้านลดน้อยลงกว่าการเพิ่มแสงสี Blue และแสงสี Far-red ทำให้จำนวนก้านของผักชีลดน้อยลง เมื่อมีการใช้ค่า PPFD ที่ต่ำ จำนวนก้านของผักชีจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณแสงสี Red ซึ่งการใช้แสงสี Far-red ส่งผลทำให้จำนวนก้านของผักชีลดลงเช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ค่า PPFD ที่สูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แสงอาทิตย์พบว่า จำนวนก้านของผักชีภายใต้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีที่ใช้ค่า PPFD สูงและต่ำ มีจำนวนก้านที่มากกว่าตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์ทั้งหมด

5.2.1.4 ผลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดของผักชี

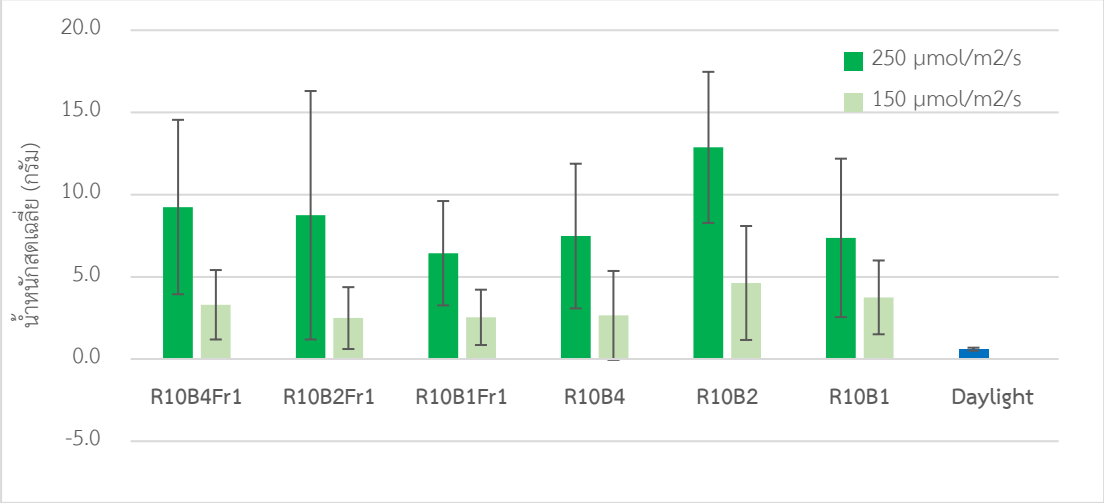
การทดลองเรื่องน้ำหนักสดของผักชี พบว่าการใช้ค่า PPFD ที่สูงกว่าส่งผลทำให้น้ำหนักสดของผักชีมากกว่าการใช้ค่า PPFD ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้แนวโน้มของแสงสีที่ส่งผลต่อน้ำหนักสดของผักชีภายใต้ค่า PPFD ทั้ง 2 ค่านั้นมีแนวโน้มที่เหมือนกันคือ น้ำหนักสดของผักชีมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่มีแสงสี Far-red และเมื่อเพิ่มแสงสี Blue จะทำให้น้ำหนักสดของผักชีลดน้อยลงกว่าการเพิ่มแสงสี Red ในกลุ่มตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงสี Far-red พบว่าน้ำหนักสดของผักชีจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งน้ำหนักของผักที่เรียงจากน้ำหนักสดมากไปน้อยคือ R10B4Fr1, R10B2Fr1 และ R10B1Fr1 ตามลำดับ ทั้งนี้กลุ่มที่มีแสงสี Far-red โดยรวมแล้วมีน้ำหนักน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับแสงสี Far-red ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าแสงสี Far-red ส่งผลเสียต่อน้ำหนักสดในผักชี เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดกับตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์พบว่าน้ำหนักสดเฉลี่ยของตัวอย่างควบคุมมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเพียง 0.598 กรัมเท่านั้นซึ่งน้อยกว่าน้ำหนักสดของตัวอย่างที่ได้รับแสงจากหลอดแอลอีดีทั้งหมด โดยน้ำหนักสดเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 $\mu mol/m^2/s$ เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นไปดังรูปที่ 5.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

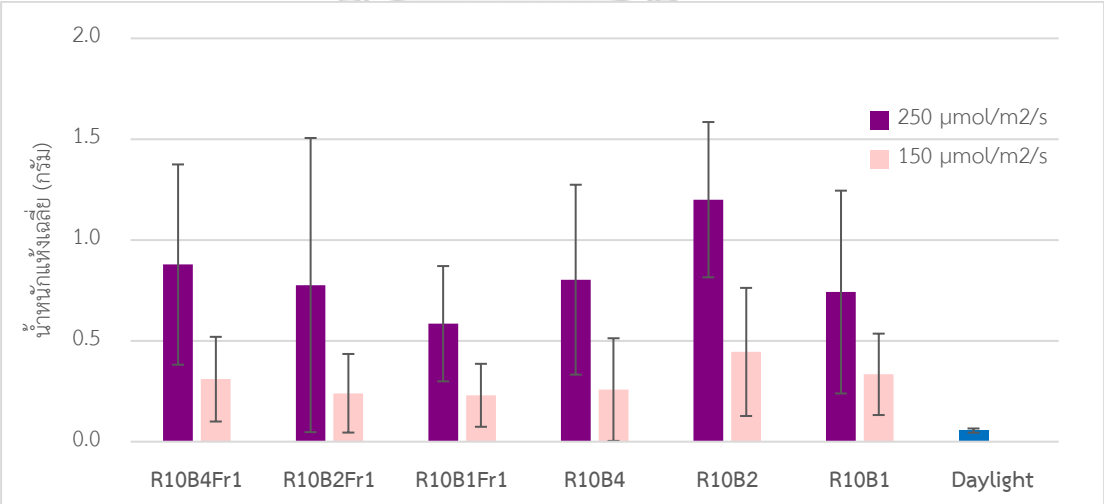
5.2.1.5 ผลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งของผักชี

การทดลองเรื่องน้ำหนักแห้งของผักชีพบว่าผลการทดลองจะมีความคล้ายคลึงกับผลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสด เพราะน้ำหนักแห้งของผักชีได้มาจากการดึงมวลน้ำในผักชีออกไปทั้งหมดให้เหลือแต่เพียงมวลของผักชีเท่านั้น โดยน้ำหนักแห้งของผักชีจะเหลือเพียง 8 – 10% เท่านั้นหลังจากที่มีการนำมวลน้ำออก ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าการใช้ค่า PPFD ที่สูงกว่าส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งของผักชีมากกว่าการใช้ค่า PPFD ที่ต่ำกว่า น้ำหนักแห้งของผักชีมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่มีแสงสี Far-red และเมื่อเพิ่มแสงมี Red ทำให้น้ำหนักแห้งของผักชีลดน้อยกว่าการเพิ่มแสงสี Blue และในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แสงสี Far-red การเพิ่มแสงสี Red จะทำให้ผักชีมีน้ำหนักแห้งลดลงตามลำดับ ซึ่งข้อสรุปก็เป็นเช่นเดียวกับข้อสรุปจากผลการทดลองด้าน

น้ำหนักสดคือ แสงสี Far-red ส่งผลเสียต่อน้ำหนักแห้งในผักชี และเมื่อเปรียบเทียบผักชีจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์พบว่าน้ำหนักแห้งของผักชีมีค่าน้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ได้รับแสงจากหลอดแอลอีดีทั้งหมด โดยน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นไปดังรูปที่ 5.14



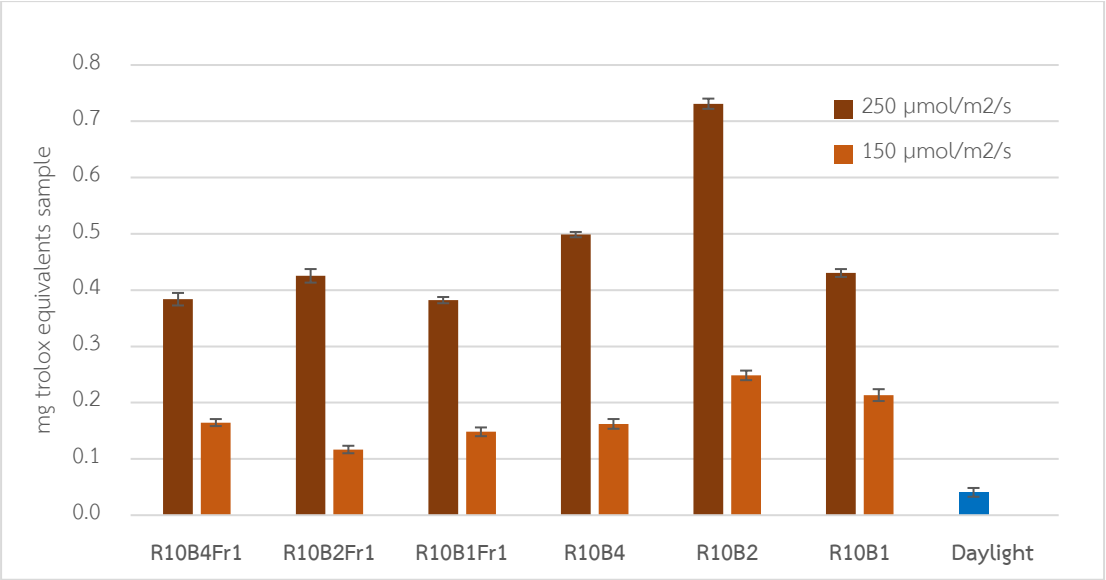
รูปที่ 5.13 กราฟน้ำหนักสดเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)



รูปที่ 5.14 กราฟน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)

5.2.2 ผลการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

ผลการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักชีพบว่า การใช้ค่า PPFD 250 μmol/m^2/s จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระรวมในผักชีมีปริมาณที่มากกว่าการใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ซึ่งปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดจากผักชีภายใต้การให้แสงจากหลอดแอลอีดีนั้นมีปริมาณที่มากกว่าการใช้แสงอาทิตย์ ซึ่งจากผลการวัดค่าสารต้านอนุมูลอิสระจากน้ำหนักแห้งของผักชีทั้งหมด พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณสูงสุดจากตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงแบบ R10B2 ซึ่งมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ถึง 18.01 เท่า เมื่อวิเคราะห์ถึงแสงสีที่ใช้พบว่า เมื่อใช้ PPFD 250 μmol/m^2/s ในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีแสงสี Far-red การเพิ่มแสงสี Red จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักชีลดลงมากกว่าการเติมแสงสี Blue โดยการเพิ่มแสงสี Red จาก R10B2 เป็น R10B1 จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง 41.14% ต่างจากการเพิ่มแสงสี Blue จาก R10B2 เป็น R10B4 ที่ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงเพียง 31.81% เท่านั้น ส่วนการเพิ่มแสงสี Far-red ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงทุกตัวอย่าง ซึ่งการเพิ่มแสงสี Far-red เข้าไปในตัวอย่าง R10B2 เป็น R10B2Fr1 จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมาก โดยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง 41.83% และตัวอย่างอื่น ๆเมื่อเพิ่มแสงสี Far-red จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง 11.19 - 23.01% โดยตัวอย่างจากหลอดแอลอีดีมีค่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าตัวอย่างควบคุมถึง 9.41 – 18.01 เท่า ทั้งนี้เมื่อใช้ PPFD 150 μmol/m^2/s ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน คือการใช้แสงแบบ R10B2 ทำให้ผักชีมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ซึ่งมากกว่าตัวอย่างที่ใช้แสงอาทิตย์ 6.12 เท่า ในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีแสงสี Far-red การเพิ่มแสงสี Blue ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดมากกว่าการเพิ่มแสงสี Red โดยการเพิ่มแสงสี Blue ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง 34.70% ส่วนการเพิ่มแสงสี Red ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงเพียง 14.10% เท่านั้น ส่วนในกลุ่มตัวอย่างแสงสี Far-red พบว่าแสงสี Far-red จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีลดลง โดยการเพิ่มแสงสี Far-red เข้าไปในตัวอย่าง R10B2 เป็น R10B2Fr1 ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง 53.02% ทั้งนี้มีเพียงตัวอย่างเดียวที่ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นคือตัวอย่าง R10B4 เป็น R10B4Fr1 ที่ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น 1.46% ทั้งนี้ตัวอย่างผักชีที่ได้รับแสงจากหลอดแอลอีดีมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าตัวอย่างควบคุมถึง 2.87 – 6.12 เท่า โดยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นไปดังรูปที่ 5.15

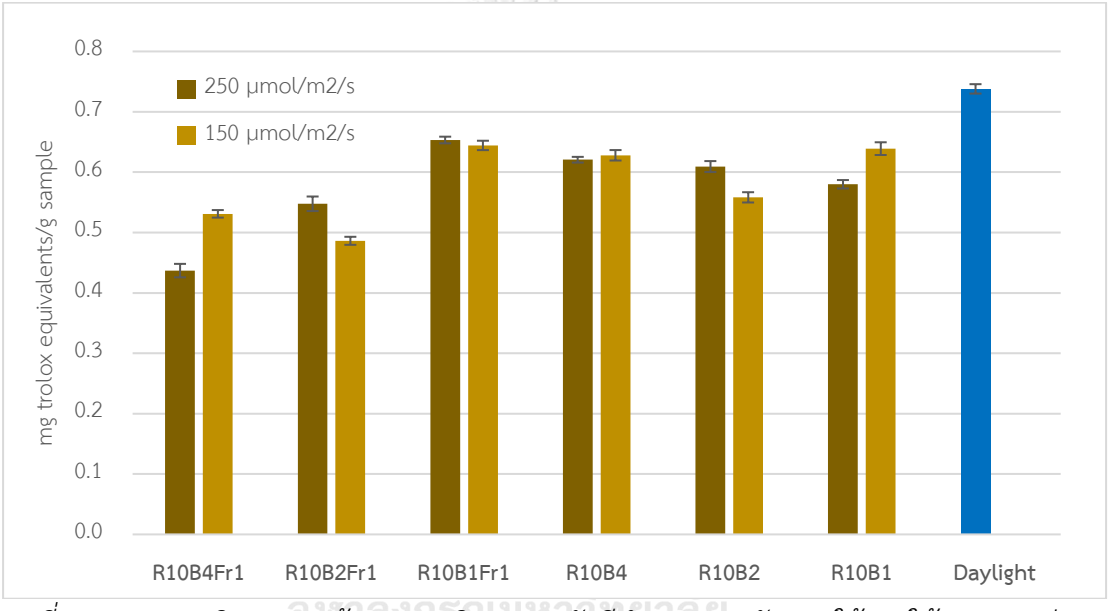


รูปที่ 5.15 กราฟปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 µmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 µmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)

อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างผักชีเพียง 1 กรัมจากตัวอย่างผักชีทั้งหมดกลับให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน โดยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระตรวจพบได้มากที่สุดจากตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์ ซึ่งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่ากลุ่มผักชีที่ได้รับแสงจากหลอดแอลอีดีทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่า 1.13 – 1.69 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับแสงจากหลอดแอลอีดี ทั้งนี้การใช้แสงสีที่อัตราส่วนแตกต่างกันยังส่งผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระในลักษณะที่ต่างกัน โดยวิเคราะห์เฉพาะกลุ่มแสงแอลอีดีพบว่า เมื่อใช้ PPFD 250 µmol/m^2/s ในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีแสงสี Far-red ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้น โดยพบสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดที่ตัวอย่าง R10B4 และลดลงตามปริมาณแสงสี Blue ที่ลดลง ส่วนในกลุ่มที่มีแสงสี Far-red ให้ผลที่ตรงข้ามกันคือเมื่อใช้แสงสี Far-red ควบคู่กับแสงสี Red จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น โดยตัวอย่าง R10B1Fr1 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด และลดลงตามปริมาณสี Red ที่ลดน้อยลง ทั้งนี้เมื่อใช้ PPFD 150 µmol/m^2/s ในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีแสงสี Far-red พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดที่ตัวอย่าง R10B2 ซึ่งการเพิ่มแสงสี Red จะทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นกว่าการเพิ่มแสงสี Blue เพียงเล็กน้อย และในกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับแสงสี Far-red พบว่าการใช้แสงสี Far-red ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงกว่ากลุ่มที่ไม่มีแสงสี Far-red อย่างไรก็ตามมีเพียงตวอย่างเดียวเท่านั้นที่เมื่อใช้แสงสี Far-red แล้วทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นคือตัวอย่าง

R10B1Fr1 ที่ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเพียง 0.83% เท่า โดยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีจำนวน 1 กรัม ภายใต้การให้แสงรูปแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นไปดังรูปที่ 5.16

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจากตัวอย่างผักชีเพียง 1 กรัมเป็นการบ่งบอกถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากน้ำหนักตัวอย่างที่เท่ากัน ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดที่ใช้น้ำหนักของผักชีทั้งหมดในการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งต้นผักชีที่มีน้ำหนักที่มากย่อมทำให้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มาก การวิเคราะห์ผลในปริมาณน้ำหนักที่เท่ากันจะทำให้ทราบถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่แท้จริง



รูปที่ 5.16 กราฟปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีจำนวน 1 กรัมภายใต้การให้แสงแบบต่าง ๆ เมื่อใช้ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับผักชีที่ได้รับแสงอาทิตย์ พร้อมแท่งในแนวตั้งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อการทดลอง ยกเว้นตัวอย่าง R10B1 เมื่อใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ที่มี 5 ตัวอย่างเท่านั้น)

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้อธิบายถึงการใช้แสงจากหลอดแอลอีดีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชี โดยศึกษาผลของการใช้แสงสี ได้แก่แสงสี Red, Blue และ Far-red นำมาทำเป็นหลอดไฟแอลอีดีที่มีแสงสีผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ R10B4Fr1, R10B2Fr1, R10B1Fr1, R10B4, R10B2 และ R10B1 (R10B4Fr1 คือ อัตราส่วนสี Red : Blue : Fr เท่ากับ 10 : 4 : 1) ใช้ค่าความเข้มแสงสำหรับพืชหรือค่า PPFD ที่แตกต่างกัน 2 ค่าในการทดลองได้แก่ 150 และ 250 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับการปลูกผักชีด้วยแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาผลการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักชี ในงานวิจัยนี้ยังอธิบายถึงการออกแบบหลอดไฟแอลอีดีจากแสงสี Red, Blue และ Far-red ที่มีสัดส่วนที่ต่างกันที่ได้ออกแบบไว้ การเลือกอุปกรณ์สำหรับการทำหลอดไฟแอลอีดีตั้งแต่การเลือกเม็ดแอลอีดี การจัดวางเม็ดแอลอีดี การเลือกตัวขับวงจร และการเลือกโครงหลอดไฟที่นำมาประกอบเข้าเป็นหลอดแอลอีดี อีกทั้งยังอธิบายถึงการคำนวณค่าทางแสงสำหรับพืช หรือค่า PPF ของแสงสีต่าง ๆแต่ละสี ที่ได้มาจากการวัดค่ากำลังเชิงสเปกตรัมของแสงจากเครื่อง Integrating Sphere ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการทางแสงสว่าง เพื่อใช้บ่งบอกถึงอัตราส่วนของแสงสีต่าง ๆ หลังการออกแบบของหลอดไฟทุกตัวอย่าง รวมไปถึงการออกแบบห้องควบคุมสภาพอากาศที่มีการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นจากอุปกรณ์ตลอดระยะเวลาการทดลอง และการออกแบบแปลงปลูกผักในแนวตั้งเพื่อใช้สำหรับการทดลองปลูกผักชี ทั้งนี้ตัวแปรที่ใช้ในพิจารณาผลของแสงสีที่ส่งผลต่อผักชีในเรื่องการเจริญเติบโตของผักชีประกอบไปด้วยความสูง จำนวนต้น จำนวนใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ส่วนการวัดปริมาณสารอาหารภายในต้นผักชีจะวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพียงอย่างเดียว

จากผลการทดลองพบว่าการใช้แสงที่มีค่า PPFD ที่สูงกว่าส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกว่าการใช้ค่า PPFD ที่ต่ำในการปลูกผักชี และการใช้หลอดไฟแอลอีดีที่ค่า PPFD 150 และ 250 μmol/m^2/s ในการปลูกผักชีให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการใช้แสงอาทิตย์ในการปลูกผักชีทุกตัวอย่าง ทั้งนี้เป็นเพราะตัวอย่างที่ได้รับแสงอาทิตย์นั้นได้ทำการปลูกช่วงเดือนกันยายน ถึง เดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนที่มีเมฆมาก ทำให้พืชไม่ได้รับแสงเท่าที่ควร อีกทั้งความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดฤดูกาลฝนยังมีความเข้มแสงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูกาลอื่น ๆ ยิ่งไปกว่านั้นสเปกตรัมของแสงในขณะที่มีเมฆ สเปกตรัมของแสงก็จะเปลี่ยนแปลงไปโดยสเปกตรัมของแสงช่วงที่มีเมฆมากจะมีสเปกตรัมแสงสี Blue ที่น้อยและแสงสี Green เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เจริญเติบโตของต้นผักชีลดลงกว่าต้นผักชีที่ปลูกในระบบปิดที่ไม่มีแสงสี Green เมื่อวิเคราะห์ถึงแสงสีที่ส่งผลต่อผักชีในด้านต่าง ๆ พบว่าความสูงของผักชีเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแสงสี Red ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสงสี Far-red จะไปทำให้ความสูงของผักชีเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ในเรื่องของจำนวนใบและจำนวนก้านของผักชีให้ผลการทดลองที่คล้ายกัน ซึ่งพบว่าแสงสี Far-red ทำให้จำนวนใบและก้านของผักชีลดลงและการใช้แสงสี Red และ Blue ที่มากจนเกินไปจะทำให้ใบของผักชีลดลงเช่นกัน แต่การเพิ่มแสงสี Blue จะทำให้จำนวนก้านของผักชีลดลงมากกว่าการเพิ่มแสงสี Red และผลการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักชีจะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน เนื่องจากน้ำหนักแห้งของผักชีทุกการทดลองมีน้ำหนักลดลงที่ใกล้เคียงกันหลังจากที่มีการดึงมวลน้ำออก โดยน้ำหนักสดและแห้งของผักชีเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงสี Blue ซึ่งการเติมแสงสี Far-red จะทำให้น้ำหนักสดและแห้งของผักชีลดลงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับแสงสี Far-red ในเรื่องของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระพบว่าแสงสี Far-red ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง และการใช้แสงสี Blue ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น โดยข้อสรุปนี้เป็นการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด แต่เมื่อวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีทุกตัวอย่างเพียง 1 กรัมพบว่าผักชีภายใต้แสงอาทิตย์มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด โดยเมื่อวิเคราะห์ถึงแสงสีที่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระพบว่าแสงสี Far-red ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามแสงสี Red ในขณะที่กลุ่มที่ไม่ใช้แสงสี Far-red ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงสี Blue ที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจากตัวอย่างผักชีเพียง 1 กรัมเป็นการบ่งบอกถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากตัวอย่างน้ำหนักที่เท่ากัน เมื่อนำผักชีไปใช้ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ การเลือกผักชีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงในปริมาณน้ำหนักที่เท่ากันจะทำให้สารต้านอนุมูลอิสระมีมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาผลของแสงที่มีต่อการปลูกผักชี การออกแบบหลอดไฟแอลอีดีจะมีปัญหาเรื่องอัตราส่วนของแสงที่ออกแบบไม่ตรงกับค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนแผ่น PCB ให้ตรงกับจำนวนเม็ดตามที่ได้คำนวณจะทำให้อัตราส่วนของแสงมีค่าใกล้ค่าที่กำหนดได้มากกว่า ในส่วนของการปลูกผักชีพบว่าห้องที่ใช้ในการเพาะปลูกผักชีเป็นห้องควบคุมสภาพอากาศที่มีการควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศประเภทติดผนัง ซึ่งทำให้ค่าความชื้นในห้องลดลง จำเป็นต้องมีการใช้เครื่องเพิ่มความชื้นตลอดเวลา ทั้งนี้การเปลี่ยนประเภทของเครื่องปรับอากาศจะทำให้ความชื้นในห้องไม่ลดน้อยจนเกินไป ซึ่งในการปลูกผักชีจะต้องมีความชื้นอยู่ที่ 60 – 80 เปอร์เซ็นต์สัมพัทธ์ตลอดเวลาจะทำให้การปลูกผักชีดีที่สุด อีกทั้งในห้องควบคุมสภาพอากาศนั้นไม่มีระบบป้องกันฝุ่นหรือแมลงที่อาจจะเข้ามารบกวนทำให้การทดลองในครั้งแรกมีแมลงเข้ามาจำนวนมากและไม่สามารถป้องกันได้จึงได้เริ่มต้นการทดลองใหม่อีกครั้งและได้ทำการป้องกันเบื้องต้นโดยการทำความสะอาดร่างกายก่อน

เข้าแปลงปลูกผักทุกครั้ง การแก้ไขสามารถทำได้โดยการสร้างห้องเป่าลมบริเวณทางเข้าของแปลงปลูกผักจะช่วยป้องกันแมลงหรือเชื้อโรคเข้ามายังบริเวณเพาะปลูกได้ ทั้งนี้ผลการทดลองควบคุมที่ใช้แสงอาทิตย์ในการเพาะปลูกนั้นอาจจะให้ผลการทดลองที่ไม่ดีที่สุดเนื่องจากไม่ใช้ช่วงหน้าเพาะปลูกผักชี และสภาพอากาศไม่สามารถควบคุมได้เหมือนห้องควบคุมสภาพอากาศที่อุณหภูมิความชื้นอยู่ในช่วงที่กำหนด การแก้ไขปัญหาสามารถทำได้โดยเลือกเปรียบเทียบกับผักชีทุกฤดูกาลเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทุกฤดูเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากห้องทดลองที่ปลูกด้วยแสงแอลอีดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Chen, X.-l., et al. (2016). "Growth and nutritional properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and supplemental light provided by light-emitting diode." Scientia Horticulturae **200**: 111-118.

Hoenecke, M. E., et al. (1992). "Importance of `Blue' Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-light-emitting Diodes." HORTSCIENCE **27**(5): 427-430.

Johkan, M., et al. (2012). "Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in Lactuca sativa." Environmental and Experimental Botany **75**: 128-133.

Kang, W. H., et al. (2016). "Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs)." Horticulture, Environment, and Biotechnology **57**(6): 573-579.

Kook, H.-S., et al. (2013). "Blue LED (light-emitting diodes)-mediated growth promotion and control ofBotrytisdisease in lettuce." Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science **63**(3): 271-277.

Lee, M.-J., et al. (2015). "Growth and cell division of lettuce plants under various ratios of red to far-red light-emitting diodes." Horticulture, Environment, and Biotechnology **56**(2): 186-194.

Lee, M.-J., et al. (2016). "Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light." Horticulture, Environment, and Biotechnology **57**(2): 139-147.

Li, Q. and C. Kubota (2009). "Effects of supplemental light quality on growth and

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

phytochemicals of baby leaf lettuce." Environmental and Experimental Botany **67**(1): 59-64.

Limhoon, P. and S. Bualert (2013). "Variation of Net Radiation and Solar Spectrum in Thailand." International Journal of Environmental Science and Development: 107-110.

Lin, K.-H., et al. (2013). "The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (Lactuca sativa L. var. capitata)." Scientia Horticulturae **150**: 86-91.

Liu, H., et al. (2016). "Green light enhances growth, photosynthetic pigments and CO2 assimilation efficiency of lettuce as revealed by 'knock out' of the 480–560 nm spectral waveband." Photosynthetica **55**(1): 144-152.

Naznin, M. T., et al. (2016). "Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties." Acta Horticulturae(1134): 223-230.

Niu, G. (2016). Light. Plant Factory**:** 115-128.

Pinho, P., et al. (2017). "The influence of the LED light spectrum on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown lettuce." Lighting Res. Technol **49**(7): 866.

Sæbø, A., et al. (1995). "Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro." Plant Cell, Tissue and Organ Culture **41**: 177-185.

Sahib, N. G., et al. (2013). "Coriander (Coriandrum sativum L.): a potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals--a review." Phytother Res **27**(10): 1439-1456.

Senger, H. (1982). "The Effect of blue light on plant and microorganisms." Photochem. Photobiol. **35**: 911-920.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sharma, M. M. and R. K. Sharma (2012). Coriander. Handbook of Herbs and Spices**:** 216-249.

Shimizu, H., et al. (2011). "Light Environment Optimization for Lettuce Growth in Plant Factory." IFAC Proceedings Volumes **44**(1): 605-609.

Son, K.-H. and M.-M. Oh (2015). "Growth, photosynthetic and antioxidant parameters of two lettuce cultivars as affected by red, green, and blue light-emitting diodes." Horticulture, Environment, and Biotechnology **56**(5): 639-653.

Stutte, G. W. and S. Edney (2009). "Photoregulation of Bioprotectant Content of Red Leaf Lettuce with Light-emitting Diodes." HORTSCIENCE **44**(1): 79-82.

Tanaka, M., et al. (2015). "In vitro growth of Cymbidium plant lets cultured under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs)." The Journal of Horticultural Science and Biotechnology **73**(1): 39-44.

Terashima, I., et al. (2009). "Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green." Plant Cell Physiol **50**(4): 684-697.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

van Sark, W. G. J. H. M. (2008). "Simulating performance of solar cells with spectral downshifting layers." Thin Solid Films **516**(20): 6808-6812.

Wang, J., et al. (2016). "Leaf Morphology, Photosynthetic Performance, Chlorophyll Fluorescence, Stomatal Development of Lettuce (Lactuca sativa L.) Exposed to Different Ratios of Red Light to Blue Light." Front Plant Sci **7**: 250.

Wangensteen, H., et al. (2004). "Antioxidant activity in extracts from coriander." Food Chemistry **88**(2): 293-297.

Wong, P. and D. Kitts (2006). "Studies on the dual antioxidant and antibacterial properties of parsley (Petroselinum crispum) and cilantro (Coriandrum sativum) extracts." Food Chemistry **97**(3): 505-515.

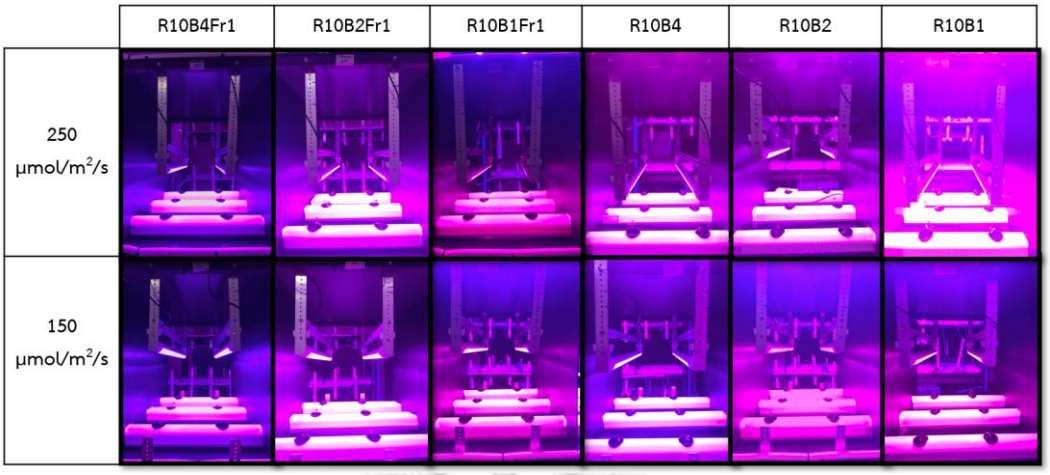
Wu, M., et al. (2007). "A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings." Food Chemistry **101**(4): 1753-1758.

Yamori, W. (2016). Photosynthesis and respiration. Plant Factory**:** 141-150.

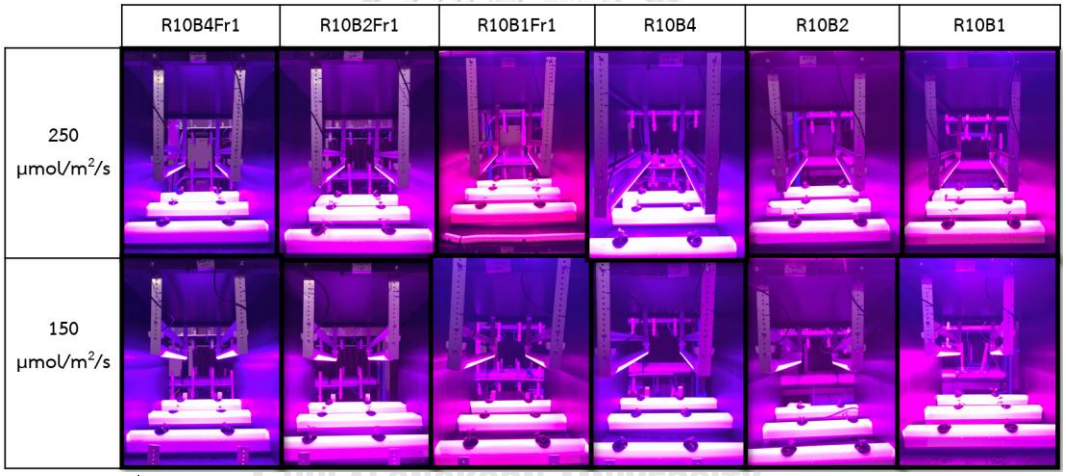
Zhu, K., et al. (2006). "Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase." Process Biochemistry **41**(6): 1296-1302.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

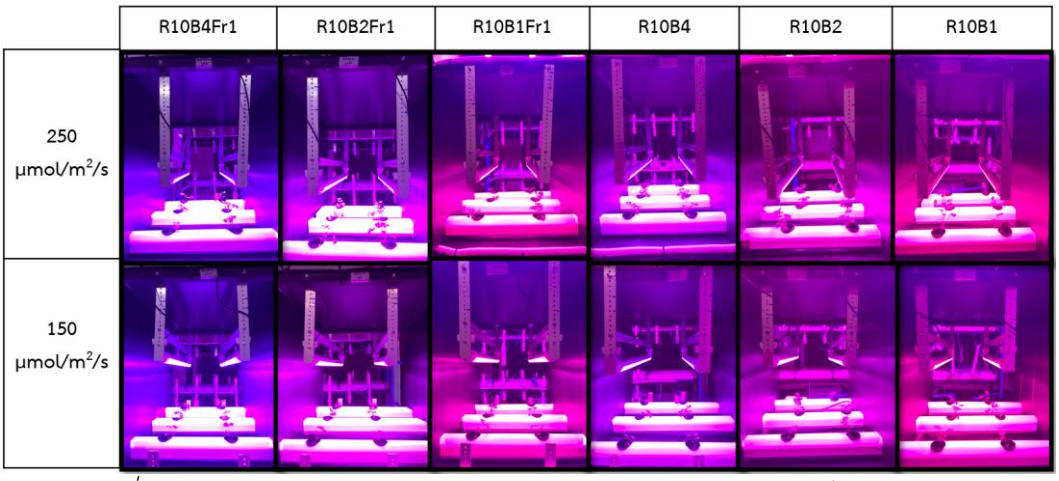
ภาคผนวก ก



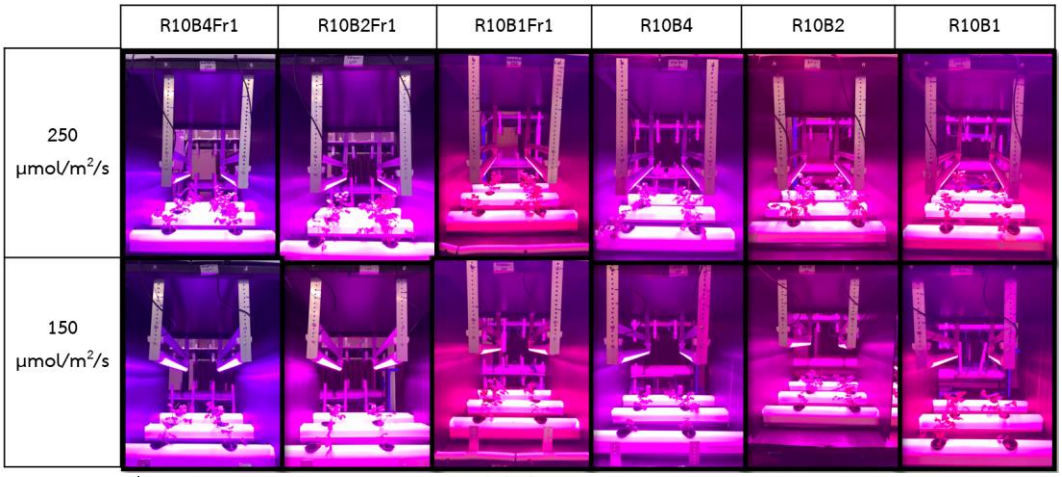
รูปที่ ข.1 ต้นกล้าผักชีหลังจากเพาะเมล็ดและนำมาให้แสงจากหลอดแอลอีดี แบบต่าง ๆ



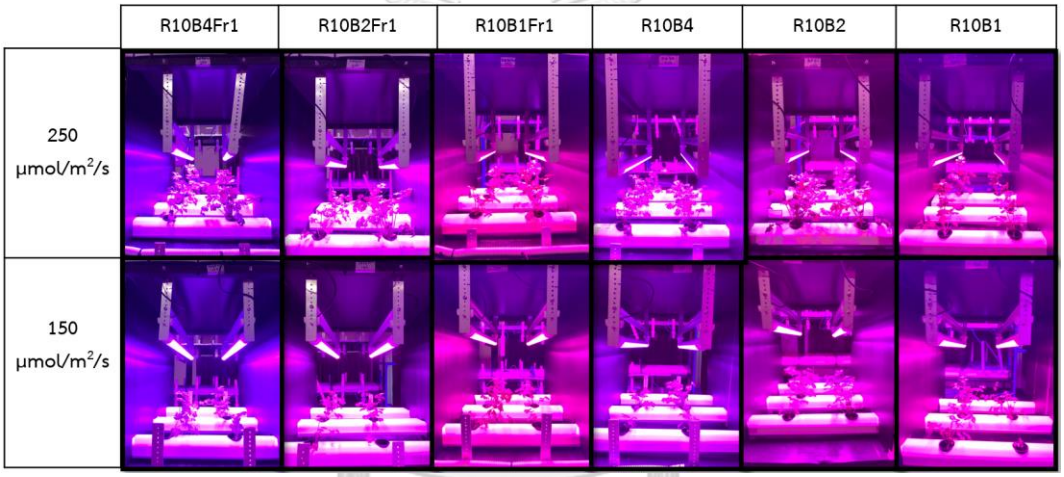
รูปที่ ข.2 ต้นผักชีหลังจากได้รับแสงจากหลอดแอลอีดี แบบต่าง ๆ เป็นเวลา 1 สัปดาห์



รูปที่ ข.3 ต้นผักชีหลังจากได้รับแสงจากหลอดแอลอีดี แบบต่าง ๆ เป็นเวลา 2 สัปดาห์



รูปที่ ข.4 ต้นผักชีหลังจากได้รับแสงจากหลอดแอลอีดี แบบต่าง ๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์



รูปที่ ข.5 ต้นผักชีหลังจากได้รับแสงจากหลอดแอลอีดี แบบต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข.6 ต้นผักชีหลังจากได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เป็นเวลา 4 สัปดาห์ในแปลงปลูกผัก

ภาคผนวก ข

EVERFINE

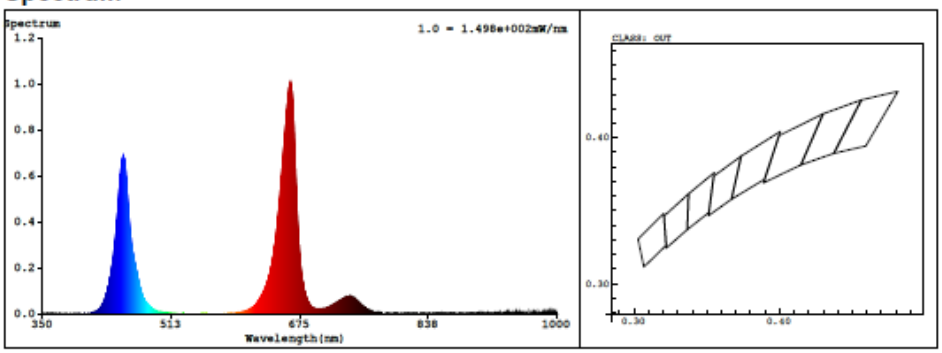
Spectrum Test Report

Sample	:	Date	: 2019-04-27 13:00:40
Specification	: R10B4Fr1	Sam. Status	: THDi=13.702,THDv=0.338
Sample No.	: SP02	Instrument	: HAAS-2000(EVERFINE)
Manufacturer	:	Test by	:
		Assessor	: damin

Test Condition

Temprature	: 25.0Deg	RH	: 65.0%
WL Range	: 350nm-1000nm	IP	: 48566 (74%)
Test Mode	: Accuracy Test	T	: 38 ms
		Sensitivity	: Low

Spectrum



Colorimetric Parameters

Chromaticity Coordinate: x = 0.2669 y = 0.0791 / u' = 0.3125 v' = 0.2085 (duv=-1.83e-01) Du,Dv:0.1319,-0.1269
CCT>=100000K Prcp WL: Ld=-564.1nm Purity=96.7%
Peak WL: Lp=663nm FWHM: =21.0nm Ratio:R=71.6% G=2.8% B=25.6%

Render Index: Ra = 0.0

R1 =0	R2 =0	R3 =0	R4 =0	R5 =0	R6 =0	R7 =0	
R8 =0	R9 =0	R10=0	R11=0	R12=0	R13=0	R14=0	R15=0

WHITE:OUT

Photometric & Radiometric Parameters

Flux = 320.18 lm Eff. : 16.49 lm/W Fe = 6.7082 W Scotopic:1995.2 S/P:6.2315

Electrical parameters

V = 230.0 V I = 0.08590 A P = 19.41 W PF = 0.9826 F=50.00 Hz

Electrotechnology and Illumination Laboratory (E-LU)
http://www.ee.kmutt.ac.th

รูปที่ ค.1 ผลการทดสอบแสงสว่างตัวอย่าง R10B4Fr1 ด้วยเครื่องอินทิเกรทติ้งสเฟียร์ใน ห้องปฏิบัติการทางแสงสว่าง

EVERFINE

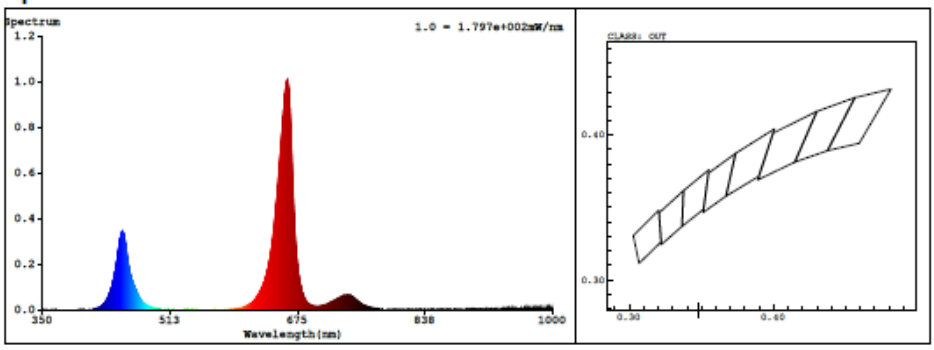
Spectrum Test Report

Sample	:	Date	: 2019-04-27 13:12:54
Specification	: R10B2Fr1	Sam. Status	: THDi=13.369,THDv=0.338
Sample No.	: SP04	Instrument	: HAAS-2000(EVERFINE)
Manufacturer	:	Test by	:
		Assessor	: damin

Test Condition

Temprature	: 25.0Deg	RH	: 65.0%
WL Range	: 350nm-1000nm	IP	: 46115 (70%)
Test Mode	: Accuracy Test	T	: 30 ms
		Sensitivity	: Low

Spectrum



Colorimetric Parameters

Chromaticity Coordinate: x = 0.3485 y = 0.1155 / u' = 0.3778 v' = 0.2818 (duv=-2.12e-01) Du,Dv:0.1972,-0.0781
CCT>=100000K Prcp WL: Ld=-551.0nm Purity=61.8%
Peak WL: Lp=662nm FWHM: =20.4nm Ratio:R=83.7% G=2.0% B=14.3%

Render Index: Ra = 0.0

R1 =0	R2 =0	R3 =0	R4 =0	R5 =0	R6 =0	R7 =0	
R8 =0	R9 =0	R10=0	R11=0	R12=0	R13=0	R14=0	R15=0

WHITE:OUT

Photometric & Radiometric Parameters

Flux = 333.85 lm Eff. : 17.99 lm/W Fe = 6.3474 W Scotopic:1169 S/P:3.5014

Electrical parameters

V = 230.0 V I = 0.08221 A P = 18.56 W PF = 0.9816 F=50.00 Hz

Electrotechnology and Illumination Laboratory (E-LU)
http://www.ee.kmutt.ac.th

รูปที่ ค.2 ผลการทดสอบแสงสว่างตัวอย่าง R10B2Fr1 ด้วยเครื่องอินทิเกรทติ้งสเฟียร์ใน ห้องปฏิบัติการทางแสงสว่าง

EVERFINE

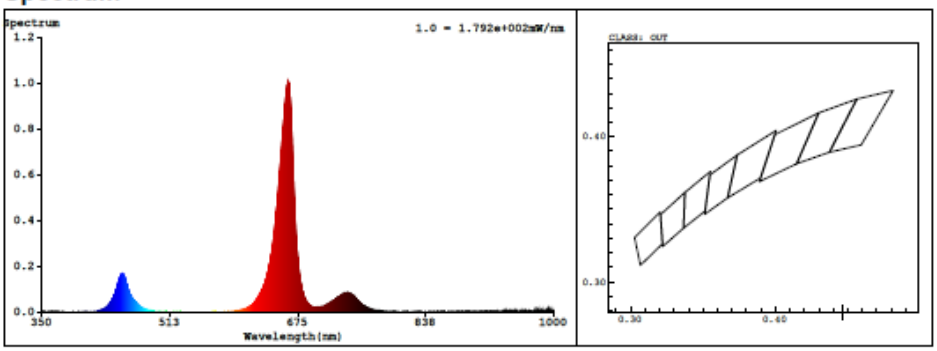
Spectrum Test Report

Sample	:	Date	: 2019-04-27 13:08:05
Specification	: R10B1Fr1	Sam. Status	: THDi=13.687,THDv=0.338
Sample No.	: SP03	Instrument	: HAAS-2000(EVERFINE)
Manufacturer	:	Test by	:
		Assessor	: damin

Test Condition

Temprature	: 25.0Deg	RH	: 65.0%
WL Range	: 350nm-1000nm	IP	: 45944 (70%)
Test Mode	: Accuracy Test	T	: 30 ms
		Sensitivity	: Low

Spectrum



Colorimetric Parameters

Chromaticity Coordinate: x = 0.4468 y = 0.1600 / u' = 0.4438 v' = 0.3576 (duv=1.16e-01) Du,Dv:-0.0041,-0.1162
CCT= 1001K Prcp WL: Ld=-513.5nm Purity=37.4%
Peak WL: Lp=662nm FWHM: =20.7nm Ratio:R=90.5% G=1.8% B=7.7%

Render Index: Ra = 11.6

R1 =7	R2 =0	R3 =0	R4 =35	R5 =0	R6 =0	R7 =0	
R8 =50	R9 =9	R10=0	R11=79	R12=0	R13=0	R14=0	R15=12

WHITE:OUT

Photometric & Radiometric Parameters

Flux = 303.85 lm Eff. : 17.01 lm/W Fe = 5.8045 W Scotopic:571.46 S/P:1.8807

Electrical parameters

V = 230.0 V I = 0.07920 A P = 17.87 W PF = 0.9808 F=50.00 Hz

Electrotechnology and Illumination Laboratory (E-LU)
http://www.ee.kmutt.ac.th

รูปที่ ค.3 ผลการทดสอบแสงสว่างตัวอย่าง R10B1Fr1 ด้วยเครื่องอินทิเกรทติ้งสเฟียร์ใน ห้องปฏิบัติการทางแสงสว่าง

EVERFINE

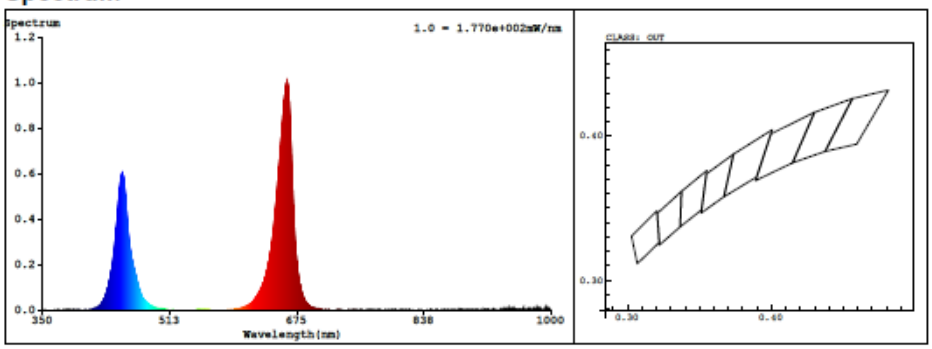
Spectrum Test Report

Sample	:	Date	: 2019-04-27 13:21:00
Specification	: R10B4	Sam. Status	: THDi=13.465,THDv=0.338
Sample No.	: SP07	Instrument	: HAAS-2000(EVERFINE)
Manufacturer	:	Test by	:
		Assessor	: damin

Test Condition

Temprature	: 25.0Deg	RH	: 65.0%
WL Range	: 350nm-1000nm	IP	: 45448 (69%)
Test Mode	: Accuracy Test	T	: 30 ms
		Sensitivity	: Low

Spectrum



Colorimetric Parameters

Chromaticity Coordinate: x = 0.2829 y = 0.0858 / u' = 0.3266 v' = 0.2230 (duv=-1.87e-01) Du,Dv:0.1460,-0.1173
CCT>=100000K Prcp WL: Ld=-562.3nm Purity=89.9%
Peak WL: Lp=662nm FWHM: =20.5nm Ratio:R=75.1% G=2.4% B=22.5%

Render Index: Ra = 0.0

R1 =0	R2 =0	R3 =0	R4 =0	R5 =0	R6 =0	R7 =0	
R8 =0	R9 =0	R10=0	R11=0	R12=0	R13=0	R14=0	R15=0

WHITE:OUT

Photometric & Radiometric Parameters

Flux = 363.62 lm Eff. : 18.89 lm/W Fe = 6.8407 W Scotopic:2003.1 S/P:5.5089

Electrical parameters

V = 230.0 V I = 0.08528 A P = 19.25 W PF = 0.9816 F=50.00 Hz

Electrotechnology and Illumination Laboratory (E-LU)
http://www.ee.kmutt.ac.th

รูปที่ ค.4 ผลการทดสอบแสงสว่างตัวอย่าง R10B4 ด้วยเครื่องอินทิเกรทติ้งสเฟียร์ในห้องปฏิบัติการทางแสงสว่าง

EVERFINE

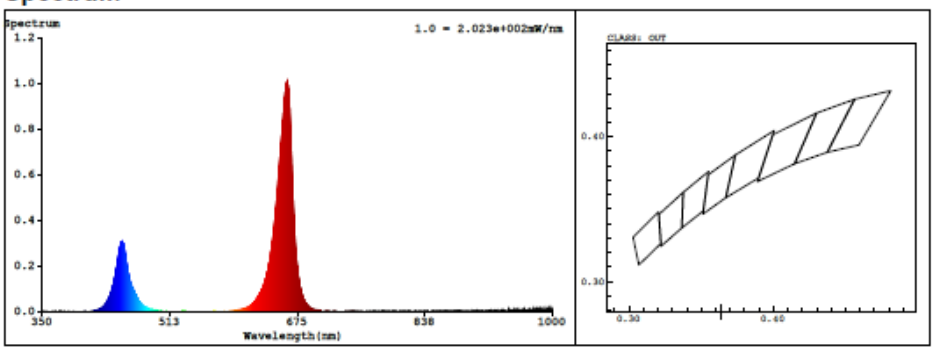
Spectrum Test Report

Sample	:	Date	: 2019-04-27 13:25:33
Specification	: R10B2	Sam. Status	: THDi=13.529,THDv=0.338
Sample No.	: SP08	Instrument	: HAAS-2000(EVERFINE)
Manufacturer	:	Test by	:
		Assessor	: damin

Test Condition

Temprature	: 25.0Deg	RH	: 65.0%
WL Range	: 350nm-1000nm	IP	: 51927 (79%)
Test Mode	: Accuracy Test	T	: 30 ms
		Sensitivity	: Low

Spectrum



Colorimetric Parameters

Chromaticity Coordinate: x = 0.3641 y = 0.1221 / u' = 0.3897 v' = 0.2940 (duv=-2.20e-01) Du,Dv:0.2091,-0.0699
CCT>=100000K Prcp WL: Ld=-546.7nm Purity=55.6%
Peak WL: Lp=662nm FWHM: =20.2nm Ratio:R=85.3% G=1.9% B=12.8%

Render Index: Ra = 0.0

R1 =0	R2 =0	R3 =0	R4 =0	R5 =0	R6 =0	R7 =0	
R8 =0	R9 =0	R10=0	R11=0	R12=0	R13=0	R14=0	R15=0

WHITE:OUT

Photometric & Radiometric Parameters

Flux = 363.73 lm Eff. : 19.65 lm/W Fe = 6.3933 W Scotopic:1145.4 S/P:3.1491

Electrical parameters

V = 230.0 V I = 0.08198 A P = 18.51 W PF = 0.9816 F=50.00 Hz

Electrotechnology and Illumination Laboratory (E-LU)
http://www.ee.kmutt.ac.th

รูปที่ ค.5 ผลการทดสอบแสงสว่างตัวอย่าง R10B2 ด้วยเครื่องอินทิเกรทติ้งสเฟียร์ในห้องปฏิบัติการทางแสงสว่าง

EVERFINE

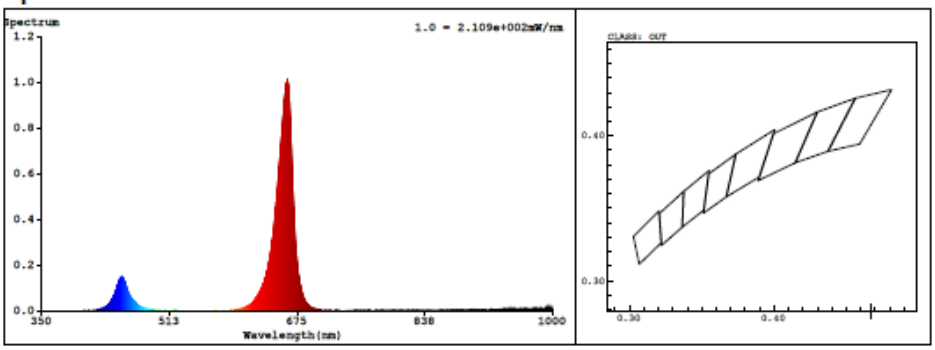
Spectrum Test Report

Sample	:	Date	: 2019-04-27 13:17:25
Specification	: R10B1	Sam. Status	: THDi=13.465,THDv=0.338
Sample No.	: SP06	Instrument	: HAAS-2000(EVERFINE)
Manufacturer	:	Test by	:
		Assessor	: damin

Test Condition

Temprature	: 25.0Deg	RH	: 65.0%
WL Range	: 350nm-1000nm	IP	: 54039 (82%)
Test Mode	: Accuracy Test	T	: 30 ms
		Sensitivity	: Low

Spectrum



Colorimetric Parameters

Chromaticity Coordinate: x = 0.4668 y = 0.1687 / u' = 0.4564 v' = 0.3712 (duv=-1.08e-01) Du,Dv:0.0084,-0.1072
CCT= 1001K Prcp WL: Ld=-508.9nm Purity=41.3%
Peak WL: Lp=662nm FWHM: =20.4nm Ratio:R=91.6% G=1.7% B=6.6%

Render Index: Ra = 11.7

R1 =21	R2 =0	R3 =0	R4 =29	R5 =0	R6 =0	R7 =0	
R8 =43	R9 =26	R10=0	R11=75	R12=0	R13=0	R14=0	R15=27

WHITE:OUT

Photometric & Radiometric Parameters

Flux = 355.72 lm Eff. : 19.54 lm/W Fe = 5.9912 W Scotopic:584.1 S/P:1.642

Electrical parameters

V = 230.0 V I = 0.08065 A P = 18.21 W PF = 0.9816 F=50.00 Hz

Electrotechnology and Illumination Laboratory (E-LU)
http://www.ee.kmutt.ac.th

รูปที่ ค.6 ผลการทดสอบแสงสว่างตัวอย่าง R10B1 ด้วยเครื่องอินทิเกรทติ้งสเฟียร์ในห้องปฏิบัติการทางแสงสว่าง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	มาโนช แสนหลวง
วัน เดือน ปี เกิด	30 September 1995
สถานที่เกิด	Bangkok
วุฒิการศึกษา	King Mongkut's University of Technology Thonburi
ที่อยู่ปัจจุบัน	123 ม.11 ต.บางครุ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ 10130
ผลงานตีพิมพ์	M. Sanluang, T. Tayjasanant, and K. Pattanapakdee, "Effects of red, blue and far-red LED lights on coriander's growth and antioxidant" The 50th National Graduate Research Conference, 2020, pp. 593-600.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University