ผลของความยาวคลื่นแสงต่อการเจริญเติบและการสะสมน้ำตาล ในต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

EFFECT OF WAVELENGTH OF LIGHT ON THE GROWTH AND SUGAR ACCUMULATION OF WHEATGRASS FAHNG 60

ศิริชัย สาตร์พันธุ์
SIRICHAI SARTPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2563
KMITL-2020-SC-M-030-035

ผลของความยาวคลื่นแสงต่อการเจริญเติบและการสะสมน้ำตาล ในต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

EFFECT OF WAVELENGTH OF LIGHT ON THE GROWTH AND SUGAR ACCUMULATION OF WHEATGRASS FAHNG 60

ศิริชัย สาตร์พันธุ์
SIRICHAI SARTPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2563
KMITL-2020-SC-M-030-035

EFFECT OF WAVELENGTH OF LIGHT ON THE GROWTH AND SUGAR ACCUMULATION OF WHEATGRASS FAHNG 60

SIRICHAI SARTPAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

DEPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020
KMITL-2020-SC-M-030-035

COPYRIGHT 2020
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของความยาวคลื่นแสงต่อการเจริญเติบและการสะสม.น้ำตาลในต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

ชื่อนักศึกษา ศิริชัย สาตร์พันธุ์

รหัสประจำตัว 61605077

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชา ฟิสิกส์

พ.ศ. 2563

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาผลของความยาวคลื่นแสงจากไดโอดเปล่งแสงต่อการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำตาลในต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 ไดโอดเปล่งแสงที่ใช้มีสีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว และสีขาว โดยใช้อัตราส่วนผสมของสีต่าง ๆ ดังนี้ แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในอัตราส่วน 1:1 แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีเขียวในอัตราส่วน 1:1:1 แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีขาวในอัตราส่วน 1:1:1 และแสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 50 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ โดยการให้แสงในโรงเรือนปิดตามอัตราส่วนดังกล่าวเป็นเวลา 7 วัน วันละ 16 ชั่วโมง แล้ววัดน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวต้น ความยาวราก ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณน้ำตาล ผลการทดลองพบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้อัตราส่วนของแสงสีแดงต่อสีน้ำเงิน ในอัตราส่วน 1:1 ให้น้ำหนักของต้นสดสูงสุดเท่ากับ 0.1464 กรัมต่อต้น น้ำหนักของต้นแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.1004 กรัมต่อต้น และความยาวของต้นสดสูงสุดเท่ากับ 19.42 เซนติเมตร ปริมาณรงควัตถุพบมากที่ในสุดในแสง สีแดง:สีน้ำเงิน อัตราส่วน 1:1 ปริมาณคลอโรฟิลล์เออยู่ที่ 1.0363 มิลิกรัมต่อลิตร คลอโรฟิลล์บี อยู่ที่ 0.4189 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคโรทีนอยด์อยู่ที่ 0.3208 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการตรวจวัดชนิดของน้ำตาลในต้นอ่อนข้าวสาลีพบเฉพาะน้ำตาลฟรุกโตสโดยพบปริมาณฟรุกโตสสูงสุดในต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสงสีแดง : สีน้ำเงิน : สีเขียว ในอัตราส่วน 1:1:1 เท่ากับ 8.2912 มิลลิกรัมต่อลิตร

คำสำคัญ : ไดโอดเปล่งแสง, ต้นอ่อนข้าวสาลี , คลื่นแสง

Thesis Title	EFFECT OF WAVELENGTH OF LIGHT ON THE GROWTH AND SUGAR ACCUMLATION OF WHEATGRASS FAHNG 60
Student Name	Sirichai Sartpan
Student ID	61605077
Degree	Master of Science
Department	Physics
Year	2020
Thesis Advisor	Dr. Witoon Yindeesuk

Abstract

This thesis studied the effect of light wavelengths from light-emitting diodes on growth and sugar accumulation in Fang 60, and the light emitting diodes (LEDs) has used in the experiment consist of red, blue, green, and white. The light treatment has a five treatment, red and blue light in ratio 1: 1, red blue and green light in the ratio 1: 1: 1, red blue and white light in ratio the 1: 1: 1, white light and sunlight. The photosynthetic photon flux density was 50 μmol m^{-2} s^{-1} and was exposed on the wheatgrass 16 hrs/day for a seven days. The experiment measured fresh weight, dry weight, stem height, root height, pigment content, and sugar content. The results showed that, the wheatgrass grown under the red and blue in the ratio of 1:1 gave the maximum fresh weight to 0.1464 g/plant, the maximum dry weight of the plant was 0.1004 grams per plant and the length of the plant Fresh maximum is 19.42 cm. Red and blue treatment gave the maximum yield of the pigment content. The amount of chlorophyll A is 1.0363 ml/l, Chlorophyll B is 0.4189 milliliters per liter and the carotene is 0.3208 ml/l. The sugar accumulation in the wheatgrass found only fructose. The red blue and green treatment gave the highest amount of fructose of 8.2912 ml/l.

Keywords: Wavelengths, Light Emitting Diode, Wheatgrass, Pigment

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา คอยสอนในเรื่องต่าง ๆ เลี้ยงข้าว ให้เงินสนับสนุน และช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ขอบคุณ ศ.ดร. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ ที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือในการเขียนงานวิจัย ขอบคุณ ผศ. ดร. สืบตระกูล สุชาติ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่เสียสละเวลาเพื่อมาเป็นกรรมการสอบปกป้องวิทยานิพนธ์ ขอบคุณอาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ สภาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความรู้ข้าพเจ้า ขอบคุณ อ. สุรชาติ กมลดิลก หัวหน้าโครงการวิจัยเพื่อให้ได้เงินสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอบคุณพี่และเพื่อนในภาควิชาฟิสิกส์ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการเรียน เรื่องงานและปัญหาใช้ชีวิตที่ทำให้ข้าพเจ้าผ่านพ้นมาได้ สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในการเรียนตั้งแต่ระดับ อนุบาลจนถึงระดับมหาบัณฑิต ขอบคุณนางสาวณัฐธีรา เชื้อนุกูลที่คอยให้คำปรึกษาตลอดจนการสนับสนุนข้าพเจ้าในทุก ๆ เรื่อง

ศิริชัย สาตร์พันธุ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะพันธุ์ข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60	3
2.2 กระบวนการการสังเคราะห์แสงของพืช	4
2.2.1 ตัวรับแสง Photoreceptor	6
2.2.2 ผลของความยาวคลื่นแสงที่มีผลกับพืช.	6
2.3 ปัจจัยทางแสงที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช	7
2.3.1 ค่าที่สำคัญที่บ่งบอกลักษณะของแสงกับพืช	8
2.3.2 ช่วงเวลาที่ได้รับแสง Photoperiods	10
2.4 ไดโอดเปล่งแสง Light Emitting Diode (LED)	10
2.5 การวัดปริมาณความเข้มของแสง	13
2.6 หลักการของเครื่อง UV-Vis spectrometer	14
2.6.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง	14
2.6.2 กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert’s law)	15
2.6.3 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	15
2.7 หลักการการทำงานของเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	17
2.8 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.1 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์	18
2.8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)	19
2.8.3 การเปียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison)	21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	25
3.1 การสร้างแหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง	25
3.1.1 การออกแบบแหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง	25
3.1.2 ขั้นตอนและลำดับการสร้างแหล่งกำเนิดแสง	28
3.1.3 การควบคุมความเข้มแสงด้วย Pulse Width Modulation (PWM)	30
3.1.4 การแบบวงจร LED ร่วมกับ Arduino Microcontroller	31
3.1.5 การปรับขนาดของ PWM เพื่อควบคุมความเข้มแสง	32
3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุเพาะและการเพาะปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี	34
3.3 การวางแผนการทดลองแบบสุ่ม	35
3.4 การเพาะปลูกในโรงเรือนปิด	36
3.5 การวัดการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์และการสะสมน้ำตาล	37
3.5.1 การวัดความสูง และการชั่งน้ำหนัก	37
3.5.2 วิธีสกัดการจากใบข้าวสาลีด้วยอะซิโตน	38
3.5.3 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณน้ำตาล	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	41
4.1 ปริมาณโฟตอนที่วัดได้ของแหล่งกำเนิดแสงและสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง.	41
4.2 ผลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี	42
4.3 ปริมาณรงควัตถุในต้นอ่อนข้าวสาลี	46
4.4 ปริมาณการสะสมน้ำตาลในต้นอ่อนข้าวสีที่ตรวจด้วยเครื่อง HPLC	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ประวัติผู้เขียน	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นที่ผลกับพืช	9
2.2 สารที่นำมาสร้างไดโอดเปล่งแสงชนิดต่าง ๆ	11
2.3 แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูล	18
2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน	20
2.5 ตัวอย่างข้อมูลทางสถิติ	20
3.1 แสดงคุณสมบัติของไดโอดเปล่งของแต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน	25
3.2 แสดงจำนวนไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ในแต่ละแผงแหล่งกำเนิดแสง	26
4.1 แสดงปริมาณ PPFD เฉลี่ยบนพื้นที่ 20 ตาราเซนติเมตร	41
4.2 แสดงน้ำหนักสดของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60	43
4.3 แสดงน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60	44
4.4 แสดงน้ำหนักของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60	44
4.5 แสดงน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60	45
4.6 แสดงผลการเจริญเติบโตคำนวณโดยวิธีการทางสถิติ	46
4.7 การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 654 นาโนเมตร	47
4.8 การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร	47
4.9 การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร	48
4.10 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นอ่อนข้าวสาลี	48
4.11 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นอ่อนข้าวสาลี	49
4.12 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ ของต้นอ่อนข้าวสาลี	49
4.13 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของข้อมูลที่ตรวจด้วยเครื่อง HPLC	52
5.1 แสดงภาพรวมข้อสรุปของการทดลองเงื่อนไขที่ดีที่สุด	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะเมล็ดของข้าวสาลีและต้นอ่อนข้าวสาลี	4
2.2 กระบวนการสังเคราะห์แสงที่เซลล์เปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานเคมี	5
2.3 แสดงส่วนประกอบภายในของคลอโรฟิลล์	6
2.4 สเปกตรัมของแสงที่พืชสามารถดูดกลืนได้ ก.แสดงช่วงของความยาวคลื่นที่พืชสามารถตอบสนองต่อการสังเคราะห์แสงได้ ข.แสดงช่วงความยาวคลื่นที่รงควัตถุสามารถที่สามารดูดกลืนได้	8
2.5 แสดงปริมาณโฟตอนรวมต่อวันที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่	9
2.6 แสดงการเคลื่อนที่ของพาหะและการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล	10
2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของไดโอดเปลางแสง	11
2.8 แสดงลักษณะของความยาวคลื่นแสง	13
2.9 แผนภาพการดูดกลืนแสง	14
2.10 ลักษณะของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	15
2.11 แสดงลักษณะการทำงานของ UV VIS	16
2.12 ลักษณะและส่วนประกอบเครื่อง HPLC	17
3.1 แสดงรูปแบบการจัดเรียงตำแหน่งของไดโอดเปล่งแสงตามรูปแบบกระจายตัว	26
3.2 แสดงรูปแบบการจัดเรียงของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองนี้	27
3.3 แสดงแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและแผ่นแบบ	28
3.4 แสดงวิธีการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสง	28
3.5 แสดงการเชื่อมต่อของไดโอดเปล่งแสง ตัวต้านทาน และสายไฟ	29
3.6 แสดงลักษณะของแสงจากแผงแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 4 ชนิด	29
3.7 แสดงขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ควบคุมสัญญาณที่สร้างจากตัวอุปกรณ์ควบคุม	30
3.8 Arduino microcontroller และ LED driver ขนาด 12 วัตต์	31
3.9 แสดงแบบวงจรควบคุมความเข้มแสงโดยใช้ Arduino UNO ในการสร้างพัลส์มาควบคุมกระแสที่ไหลผ่านในวงจรแหล่งกำเนิดแสง	31
3.10 แสดงไดอะแกรมการวัดปริมาณความเข้มแสงและการต่อส่วนควบคุม	32
3.11 แสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมการปรับขนาด Duty cycle	33
3.12 แสดงการเตรียมเมล็ดข้าวสาลีเพื่อนำไปเพาะปลูกในการทดลอง ก) ล้างน้ำสะอาดแล้วแช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ข) น้ำเมล็ดข้าวที่แช่น้ำแล้วบ่มในผ้าเปียกอีก 8 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดตุ่มราก	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 วัสดุเพาะที่ผสมระหว่างขุยมะพร้าวและแกลบดำในอัตราส่วน 1:1	35
3.14 แสดงการวางกระถางต้นอ่อนข้าวสาลีในแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ	36
3.15 วิธีการเตรียมต้นอ่อนข้าวสาลีเพื่อวัดการเจริญเติบโต ก.นำต้นอ่อนข้าวสาลีมาล้างให้สะอาด ข.จัดเรียงต้นอ่อนข้าวสาลีพร้อม ค.ใช้โปรแกรมเพื่อประมวลผล	37
3.16 แสดงลำดับขั้นตอนการสกัดคลอโรฟิลล์จากใบข้าว ก.สุ่มต้นอ่อนข้าวสาลีทำการตัดใบสดปริมาณ 0.2 กรัม ข.ใส่หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 5 มิลิลิตร ใส่อะซิโตน พร้อมกับปั่นเหวี่ยง 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที ค.ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อใบข้าวไม่มีสี ง.ปรับปริมาตรให้ได้สารสกัดปริมาตร 25 มิลิลิตร	38
4.1 แสดงสเปกตรัมของแสงที่วัดได้จากแหล่งกำเนิดแสงที่สร้างจากหลอด LED	42
4.2 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะต้นของต้นอ่อนข้าวสาลี	43
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนของแสงของสารสกัดจากต้นอ่อนข้าวสาลีที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm	46
4.4 แสดงปริมาณรงควัตถุคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์	50
4.5 ผลตรวจปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC ทั้ง 5 ตัวอย่าง	51
4.6 แสดงปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง	52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตพืชในปัจจุบันจะต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกให้มีความเหมาะสมกับพืช ซึ่งมีหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แร่ธาตุอาหาร และอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญคือปัจจัยทางด้านแสง ซึ่งพืชจะใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเปลี่ยนพลังงานที่ได้เป็นแป้งและน้ำในช่วง 400-700 นาโนเมตร อยู่ในช่วง Visible light หรือแสงในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็น แต่แสงจากธรรมชาตินั้นไม่สามารถควบคุมได้ ทั้งความเข้มแสง ความยาวคลื่น และปริมาณแสงในแต่ละวันที่ไม่เท่ากัน ถ้าหากเราสามารถควบคุมปัจจัยทางด้านแสงได้ จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและมีแร่ธาตุอาหารที่มากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนามาปลูกพืชในโรงเรือนที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในโรงเรือนมีหลากหลายประเภท ได้แก่ High pressure sodium (HPS) หลอด Halogen หลอด Fluoresence โดยหลอดไฟที่กล่าวมาข้างต้นมีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างและไม่เฉพาะเจาะจง ต่อมาได้มีการนำ Light Emitting Diode (LED) มาใช้เพาะปลูกพืชซึ่งมีข้อดีดังต่อไปนี้ ได้แก่ กินกระแสไฟน้อยแต่ให้ปริมาณแสงสว่างที่มาก สามารถเลือกความยาวคลื่นให้เหมาะสมกับพืชได้เนื่องจากหลอดไฟหนึ่งหลอดจะมีแค่หนึ่งความยาวคลื่น ทำให้ได้รับความนิยมมากในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการเกษตร

ต้นอ่อนข้าวสาลีหรือวีทกราส (Wheatgrass) เป็นต้นอ่อนที่เพาะจากเมล็ดแล้วเก็บเกี่ยวใน 1 สัปดาห์ จากนั้นนำต้นอ่อนมาคั้นน้ำเพื่อนำมาบริโภคหรือนำต้นอ่อนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ แม้กระทั่งนำไปเป็นอาหารสำหรับสัตว์เลี้ยง ซึ่งต้นอ่อนข้าวสาลีอุดมไปด้วยคลอโรฟิลล์และธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ปัจจุบันได้มีเกษตรกรปลูกจำหน่ายต้นอ่อนข้าวสาลีสดหรือคั้นน้ำขายให้กลุ่มผู้บริโภคและแปรรูปเป็นแคปซูล อย่างไรก็ตามกลุ่มเกษตรกรมีความต้องการที่จะพัฒนาการเพาะต้นอ่อนข้าวสาลีเพื่อให้ได้ต้นอ่อนข้าวสาลีที่มีคุณภาพสูง มีการพัฒนาวัสดุเพาะต้นอ่อนข้าวสาลีพบว่าฟางสับเป็นวัสดุเพาะที่ทำให้น้ำคั้นต้นอ่อนข้าวสาลีมีความหวานสูงกว่าวัสดุเพาะชนิดอื่นแต่ให้น้ำหนักของต้นอ่อนน้อยกว่าวัสดุเพาะชนิดอื่นทำให้ได้น้ำคั้นที่มีความหวานสูงสุด [1] และในงานวิจัยของ บุษราคัมและคณะ [2] ได้ศึกษาผลของวัสดุเพาะที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในต้นอ่อนข้าวสาลี พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีที่เพาะในวัสดุเพาะปอเทืองและเปลือกเมล็ดกาแฟให้ปริมาณน้ำตาลสูงสุด Tanaka *et al* [3] ได้ศึกษาการใช้แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินจากไดโอดเปล่งแสงในการทดลองปลูกกล้วยไม้ พบว่ามีน้ำหนักต้นและน้ำหนักรากมากขึ้น และยังสามารถเพิ่มการสะสมของคลอโรฟิลล์ในพืชมากขึ้น Heo, *et al.* [4] ได้ศึกษาผลกระทบของไดโอดเปล่งแสง (LED) สีแดงและสีน้ำเงิน เปรียบเทียบกับสีแดงผสมสีน้ำเงินในอัตราส่วน 1:1 พบว่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งสูงสุดในแสงสีแดงผสมกับสีน้ำเงิน และปริมาณการสะสมของน้ำตาลมากที่สุดในแสงสีแดงผสมสีน้ำเงิน นอกจากแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินแล้วยังได้มีการนำแสงสีขาวมาใช้ในการปลูกกรีนโอ๊ค Chen *et al.* [5] ได้ใช้แสงสีขาวผสมกับสีแดงและสีน้ำเงิน ผลการทดลองพบว่ากรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น งานวิจัย

ของ Lin *et al*. [6] ได้ใช้แสงสีขาวจาก LED ผสมลงไปในแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน เปรียบเทียบกับฟลูออเรสเซนต์ แล้วทดลองกับผักสลัด ผลการทดลองพบว่าแสงสีแดงและน้ำเงินที่ผสมกับ LED สีขาวช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตได้ดีและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาล Ma *et al.* [7] ได้ผสมแสงสีต่าง ๆ เข้าด้วยกันและนำมาใช้ในการปลูกมันฝรั่ง ผลการทดลองพบว่า แสงผสมระหว่างสีแดง สีน้ำเงินและสีเขียวให้พื้นที่ของใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณการสะสมของน้ำตาลสูงที่สุด Yan Li *et al.* [8] ได้ศึกษาการใช้แสงจาก LED ในอัตราส่วนแสงสีแดงและสีน้ำเงินเพื่อศึกษาการสะสมน้ำตาลในต้นมะเขือเทศ พบว่ามะเขือเทศมีการสะสมของน้ำตาลเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาผลกระทบของ LED ประกอบไปด้วยแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินอัตราส่วน 1:1 สีน้ำเงินผมสมแดงและเขียว สีขาวผสมแดงและน้ำเงิน แสงสีขาวและแสงธรรมชาติ ที่ความเข้มแสงเท่ากัน ที่มีผลต่อการเพิ่มของปริมาณน้ำตาล คลอโรฟิลล์ และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี ซึ่งการศึกษาจะช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ของพืชมากยิ่งขึ้นนำไปสู่การพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ทางด้านการเกษตรเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพื่อการบริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อต้องการเพิ่มปริมาณน้ำตาลและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 โดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงผสมในการปลูกที่อัตราส่วนของแสง สีแดงต่อสีน้ำเงินอัตราส่วน 1:1 สีแดง สีน้ำเงินและสีเขียวที่อัตราส่วน 1:1:1 สีแดง สีน้ำเงินและสีขาวที่อัตราส่วน 1:1:1 และสีขาว

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สร้างแหล่งกำเนิดแสงที่อัตราส่วนของแสงสีต่าง ๆ และสร้างส่วนควบคุมความเข้มแสง

2. สร้างโรงเรือนขนาดเล็กเพาะปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีติดตั้งตัววัดอุณหภูมิพร้อมกับออกแบบการทดลอง

3. ปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 ในแหล่งกำเนิดแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินอัตราส่วน 1:1 สีแดง สีน้ำเงินและสีเขียวที่อัตราส่วน 1:1:1 สีแดง สีน้ำเงินและสีขาวที่อัตราส่วน 1:1:1 สีขาวและแสงอาทิตย์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับต้นข้าวสาลีและทำการสรุปผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้ต้นอ่อนข้าวสาลีที่มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นและการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตรได้

2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานทางด้านแสง อิเล็กทรอนิกส์ การใช้เครื่องมือวัดและความรู้เกี่ยวกับการปลูกพืชมากยิ่งขึ้น

3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปทดลองกับฟาร์มหรือสถานที่จริง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อทางการเกษตร

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช กระบวนการที่พืชนำแสงมาใช้เป็นพลังงานเพื่อสร้างอาหาร ปัจจัยของแสงที่ส่งผลต่อพืช ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นแสงที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืช และตลอดจนกระบวนการวางแผนการทดลอง

2.1 ลักษณะพันธุ์ข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่เพาะปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย อีกทั้งต้นอ่อนข้าวสาลีใช้เวลาในการปลูกสั้น โดยประมาณหนึ่งสัปดาห์ และเหตุผลที่สำคัญคือสามารถปลูกเองได้ง่าย ลักษณะที่สำคัญของพืชเป็นดังนี้

<u>ข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60</u>

ชื่อพันธุ์ : ฝาง 60 (Fahng 60)

ชนิด : ข้าวสาลี

คู่ผสม : Pitic62 / Frondosa /// Pitic62 / Mazoe // Mexipak

ประวัติพันธุ์ : เดิมคือข้าวสาลีเบอร์ 1015 เป็นข้าวสาลีขนมปัง ซึ่งได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากศูนย์วิจัยการปรับปรุงข้าวโพดและข้าวสาลีนานาชาติ (CIMMYT) ประเทศเม็กซิโก เป็นสายพันธุ์ที่เกิดจากการผสมซ้อนของ Pitic62 / Frondosa /// Pitic62 / Mazoe // Mexipak นำมาปลูกครั้งแรกที่สถานีทดลองพืชสวนฝาง ในปี พ.ศ. 2516 – 2517 ผ่าน การศึกษาพันธุ์ (WTON) และการเปรียบเทียบผลผลิต (WTYN) ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนถึงปี พ.ศ. 2528–2529

การรับรองพันธุ์ : คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมการวิชาการเกษตร มีมติให้เป็น พันธุ์รับรองเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2530

<u>ลักษณะประจำพันธุ์</u>

1. เป็นข้าวสาลี สูงประมาณ 85 – 95 เซนติเมตร
2. อายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 95 วัน
3. ลำต้นสีเขียว มีใบยาวเรียวเล็ก มีสีเขียวเข้มปานกลาง มีนวลเคลือบ ก้านรวงมีลักษณะคดงอ
4. เมล็ดมีรูปร่างวงรี เยื่อหุ้มเมล็ดสีเหลืองนวล น้ำหนัก 1,000 เมล็ด 37 กรัม มีขนาดเมล็ดค่อนข้างใหญ่
5. ปริมาณโปรตีนในเมล็ด 10 – 11%

ผลผลิต : ประมาณ 280 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่น : 1. สามารถปลูกในสภาพร้อนและแห้งแล้งได้ดี

2. ต้านทานโรคราสนิมใบปานกลาง

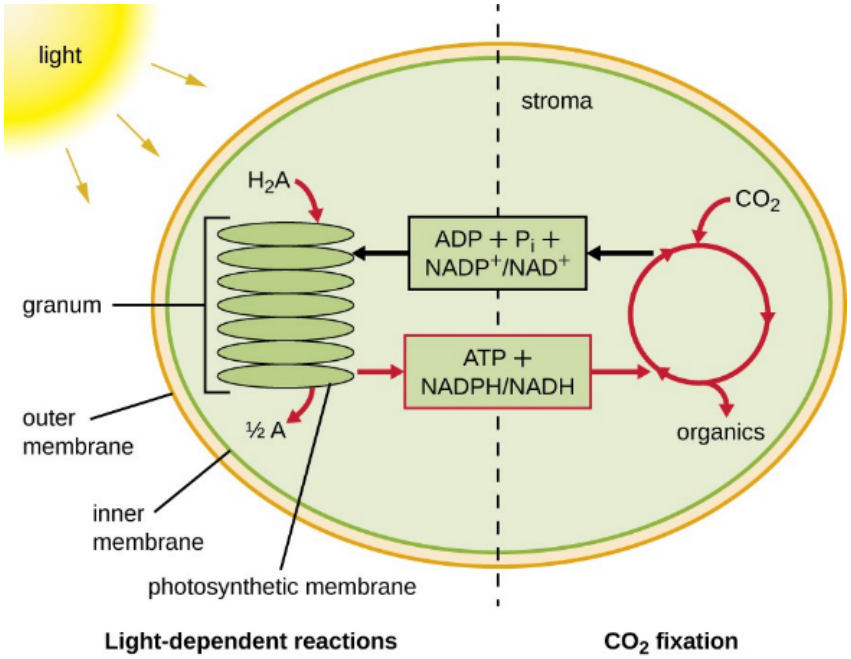
3. เป็นแป้งชนิดเอนกประสงค์เหมาะสำหรับใช้ทำคุกกี้ บิสกิต และขนมปัง

พื้นที่แนะนำ : ปลูกในแหล่งที่มีช่วงฤดูหนาวสั้น อากาศร้อนเร็ว และค่อนข้างแห้งแล้ง ทั้งในสภาพไร่และสภาพนาชลประทานในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีเมล็ดกลมลักษณะเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล ต้นอ่อนข้าวสาลีคือต้นข้าวสาลีที่เพาะจากเมล็ดแล้วเพาะปลูกเป็นเวลา 7-8 วัน เก็บเกี่ยวมาบริโภค ซึ่งส่วนใหญ่นิยมนำมาคั้นเป็นน้ำเพื่อเป็นเครื่องดื่ม แสดงดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะเมล็ดของข้าวสาลีและต้นอ่อนข้าวสาลี

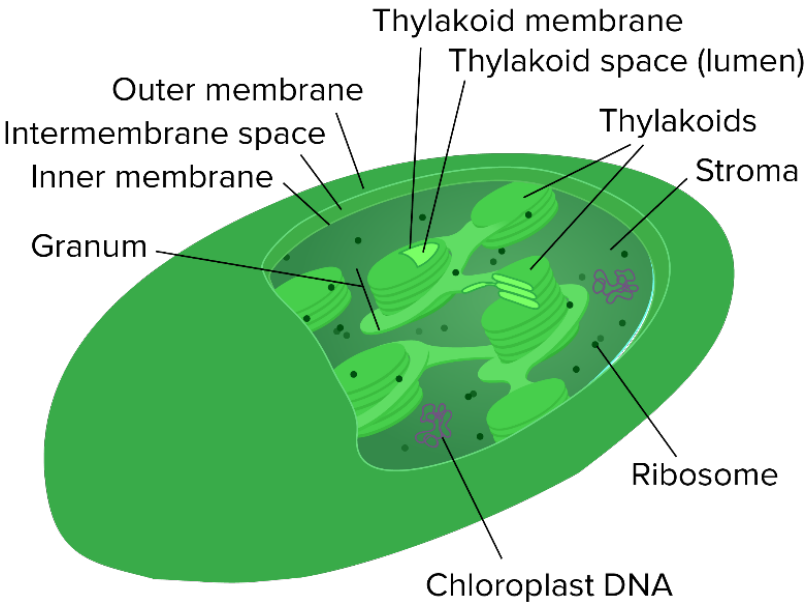
2.2 กระบวนการการสังเคราะห์แสงของพืช

การสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) เป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในคลอโรพลาสต์ที่อยู่ภายในพืช โดยใช้พลังงานจากแสงเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนจากน้ำ ให้กลายเป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตและแก๊สออกซิเจน กระบวนการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นจะทำงานร่วมกับกระบวนการหายใจในระดับเซลล์ กระบวนการหายใจในระดับเซลล์จะนำพลังงานที่ได้มาไปสร้างอาหาร การสังเคราะห์แสงประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการใช้แสงที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี และขั้นตอนที่ไม่ต้องใช้แสงซึ่งเป็นขั้นตอนของการสังเคราะห์น้ำตาล หรือเรียกชื่อว่า วัฏจักรเคลวิน (Cavin cycle)



รูปที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์แสงที่เซลล์เปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานเคมี แล้วเกิดการเปลี่ยนพลังงานเคมีให้อยู่ในรูปของคาร์บอน

คลอโรพลาสต์ (Chloroplast) เป็นออร์แกเนลล์ชนิดหนึ่งในเซลล์พืช ภายในคลอโรพลาสต์มีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบซึ่งสามารถที่จะดูดกลืนพลังงานจากแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ คลอโรพลาสต์ในพืชชั้นสูงจะมีลักษณะเป็นรูปไข่หรือวงรี ขนาดยาวประมาณ 5 ไมครอน กว้าง 2 ไมครอน หนาประมาณ 1 ไมครอน มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ภายในประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่สองส่วนคือ สโตรมา (stroma) และ ลาเมลลา (lamella) สโตรมาเป็นของเหลวใสมีเอมไซม์หลายชนิดที่นำไปใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง ส่วนลาเมลลาเป็นส่วนหนึ่งของเยื่อหุ้มชั้นในที่ยื่นเข้าไปในคลอโรพลาสต์ มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ซ้อนกัน ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน คลอโรฟิลล์และรงควัตถุ แผ่นลาเมลลาซ้อนกันหลายๆ ชั้นเรียกว่า กรานา (grana) แผ่นลาเมลลาแต่ละแผ่นที่ซ้อนอยู่ในกรานาเรียกว่าไทลาคอย์ (thylakoid) เป็นแหล่งรับพลังงานจากแสงซึ่งประกอบไปด้วยรงควัตถุ โดยจะมีส่วนที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงเรียกว่า รงควัตถุ หรือ pigment รงควัตถุต่างชนิดกันจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน คลอโรฟิลล์ มีสีเขียวพบทั่วไปในพืชเกือบทุกชนิด โดยจะพบคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีเป็นหลัก ดูดกลืนแสงในช่วงสีน้ำเงินและแดง แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุหลักที่พบในพืช จะดูดกลืนแสงสีเขียวสีม่วงและสีน้ำเงิน แคโรทีนอยด์มักพบในผลไม้ เช่น มะเขือเทศสีแดง ส้ม และข้าวโพด เป็นต้น การดูดกลืนความยาวคลื่นของแต่ละรงควัตถุแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบภายในของคลอโรฟิลล์

2.2.1 ตัวรับแสง Photoreceptor

พืชที่มีตัวรับแสงไว้ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโต และการพัฒนาของพืช เช่น ด้านความสูงของพืช การงอก ขนาดของใบ การออกดอกและออกผล เป็นต้น Photoreceptor จะเป็นส่วนที่ตอบสนองต่อแสงตั้งแต่ย่าน UV จนถึง IR ในพืชจะมี Photoreceptor อยู่ด้วยกัน 3 ประเภทดังนี้

1. Phytochrome เป็นตัวรับแสงที่ตอบสนองต่อแสงสีแดงและ อินฟาเรด ความยาวคลื่นแสงสีแดงสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดได้ดี
2. Cryptochrome เป็นตัวรับแสงสีน้ำเงิน มีผลต่อการยืดของลำต้นและการขยายของใบ
3. Phototrophin ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองที่เกี่ยวข้องกับแสง

2.2.2 ผลของความยาวคลื่นแสงที่มีผลกับพืช

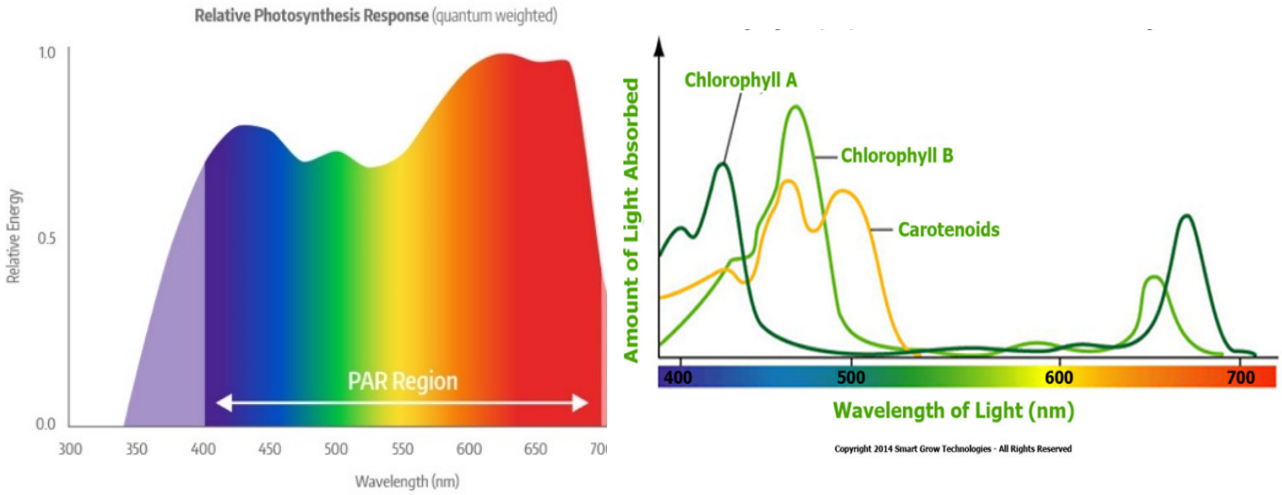
ความยาวคลื่นของแสงสีแดงช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตของลำต้นที่ดีขึ้น ช่วยเร่งการออกดอก ออกผล เมื่อเปรียบเทียบกับแสงสีฟ้าโดยใช้ตัวรับแสงชนิด Phytochrome ที่มีอยู่ในเซลล์ของพืช แสงสีน้ำเงิน มีส่วนช่วยในการเร่งฮอร์โมน Auxin ของพืช นอกจากนี้ยังทำให้ใบของพืชมีความแข็งแรงมากขึ้นและมีการเพิ่มจำนวนของคลอโรพลาส์ในใบ โดยจะใช้ตัวรับแสง Cryptochrome แสงสีเขียว แสงสีเขียวไม่มีความจำเป็นสำหรับพืชเนื่องจากพืชมีรงควัตถุคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสีเขียวทำให้พืชไม่มีการดูดกลืนแสงสีเขียว แต่มีการศึกษาในบางกรณีที่สีเขียวส่งผลต่อพืช

2.3 ปัจจัยทางแสงที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่มีผลต่อพืช สิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบกับพืช มีอยู่ 3 ประการดังนี้

1. ความเข้มของแสงจากธรรมชาติจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามภูมิประเทศ สภาพอากาศ วันและเวลา ปริมาณความเข้มแสงที่พืชต้องการจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ความเข้มแสงมีความสัมพันธ์กับปริมาณการสังเคราะห์แสง หากเพิ่มปริมาณความเข้มแสงจะทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งเป็นจุดอิ่มตัวของแสง ซึ่งจะทำให้พืชไม่มีอัตราการสังเคราะห์แสงอีก กระบวนการที่เกิดกับพืชเมื่อได้รับความเข้มแสงหลายกระบวนการ ได้แก่ การสังเคราะห์แสง การหายใจ การผลิตฮอร์โมน

2. คุณภาพของแสงหมายถึง สีหรือความยาวคลื่นที่พืชได้รับ โดยปกติพืชจะได้รับคือแสงจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีความยาวคลื่นหลายความยาวคลื่นตั้งแต่แสงในช่วงอัลตาไวโอเลตจนถึงอินฟาเรดพืชจะได้รับแสงจากหลายความยาวคลื่นแต่จะสะท้อนสีเขียวทำให้เรามองเห็นพืชมีสีเขียว โดยในโรงเรือนเพาะปลูกมักนิยมใช้สีแดงกับสีน้ำเงินในการเพาะปลูก ซึ่งในพืชจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงที่เรียกว่า Photosynthetically active radiation หรือเรียกสั้นๆว่า PAR คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ก ช่วงการตอบสนองของพืชที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยจะถูกดูดกลืนโดยรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ เป็นต้น รงควัตถุเหล่านี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณใบของพืชซึ่งจะคอยดูดกลืนแสงในช่วง PAR แสดงดังรูปที่ 2.4 ข



ก. ข.

รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของแสงที่พืชสามารถดูดกลืนได้

ก.แสดงช่วงของความยาวคลื่นที่พืชสามารถตอบสนองต่อการสังเคราะห์แสงได้

ข.แสดงช่วงความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนโดยรงควัตถุในพืช

2.3.1 ค่าที่สำคัญที่บ่งบอกลักษณะของแสงกับพืช

Photosynthetic photon flux (PPF) คือปริมาณที่บอกถึงจำนวนโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาของแหล่งกำเนิดแสงในหนึ่งหน่วยวินาที มีหน่วยเป็น μmol s^{-1}

Photosynthesis photon flux density (PPFD) มีหน่วยเป็น μmol $m^{-2}s^{-1}$ หน่วยของการแผ่รังสีของแต่ละความยาวคลื่นสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของจำนวนโฟตอน โดยปกติแล้วปริมาณความเข้มแสงหรือปริมาณโฟตอนจะวัดให้อยู่ในรูปของกำลังที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2) ซึ่งเป็นหน่วย SI แต่ละความยาวคลื่นจะมีค่าพลังงานที่แตกต่างกันออกไป หากอยากทราบจำนวนโฟตอนสามารถหาได้ดังสมการ

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad [2.1]$$

E คือ พลังงานของโฟตอน
h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์
c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ
λ คือ ความยาวคลื่นของแสง

จากนั้นหาจำนวนโฟตอนทั้งหมดที่ตกกระทบได้ดังสมการ

$$N_p = \frac{I}{E} \quad [2.2]$$

N_p คือ จำนวนโฟตอน
I คือ ฟลักซ์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า W/m^2

เปลี่ยนจำนวนโฟตอนให้อยู่ในหน่วยของไมโครโมลด้วยการหารด้วยเลขอะโวกาโดดังสมการ

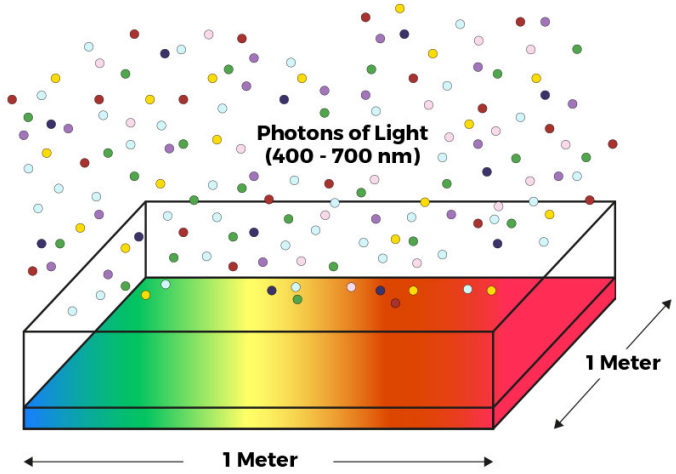
$$PPFD = \frac{N_p}{N_A \times 10^6} \quad [2.3]$$

N_A คือ เลขอะโวกาโดDaily light integral (DLI) คือการวัดจำนวนอนุภาคของแสงหรือโฟตอนที่ตกต่อวัน มีหน่วยเป็น mol/day หากเป็นการปลูกต้นไม้แบบในร่มหรือโรงเรือนค่านี้ถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้ทราบได้ว่าสามารถเปิดไฟปลูกต้นไม้เป็นเวลากี่ชั่วโมงต่อวันเพื่อให้พืชได้รับค่า

DLI ที่เพียงพอ ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ให้พลังงานในการสังเคราะห์แสง ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 2.4

$$DLI = PPFD \times time\ (s) \quad [2.4]$$

พืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณความต้องการความเข้มแสงที่แตกต่างกัน DLI มากปริมาณโฟตอนที่ตกกระทบก็มาก DLI น้อยปริมาณโฟตอนจะน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 2.5 แสดงปริมาณโฟตอนรวมต่อวันที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นที่มีผลกับพืช

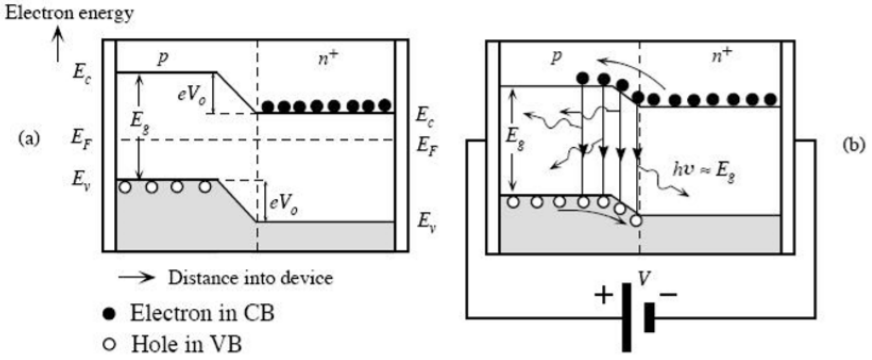
ความยาวคลื่น (nm)	ช่วงสี	ประโยชน์ต่อพืช
430-436	ม่วง	ไม่แน่นอน อาจมีผลมาจากแสงใกล้สีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นใกล้กับ 436 นาโนเมตร
436-495	น้ำเงิน	ความเข้มต่ำ ๆ มีความจำเป็นในการเพาะเมล็ดเมล็ดและการอนุบาลพืช
495-566	เขียว	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง
566-589	เหลือง	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง
589-627	ส้ม	ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์แสง
627-770	แดง	ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์แสง ช่วยเร่งดอก ลำต้น

2.3.2 ช่วงเวลาที่ได้รับแสง Photoperiods

เป็นเวลาที่พืชจะได้รับแสงในแต่ละวัน เป็นจำนวนชั่วโมงต่อวัน ช่วงเวลาที่พืชได้รับแสงนั้นทำให้พืชนั้นมีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันออกไปด้วย เช่น การสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโต การออกดอก การแตกยอด โดยพืชสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของการตอบสนองต่อแสงได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ พืชวันสั้น พืชวันยาว และพืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงวัน

2.4 ไดโอดเปล่งแสง Light Emitting Diode (LED)

ไดโอดเปล่งแสงหรือ Light Emitting Diode (LED) เป็นสารกึ่งตัวนำที่เกิดจากรอยต่อพี-เอ็น ซึ่งในสาร พีจะมีประจุพาหะโฮล ในสารเอ็นจะมีอิเล็กตรอน ถ้าหากยังไม่มีการไบแอสกระแสให้กับสารกึ่งตัวนำ ที่รอยต่อ พี-เอ็น จะเกิดสิ่งที่เรียกว่ากำแพงศักย์ขึ้นทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อิเล็กตรอนในฝั่งของสารเอ็น ไม่เกิดการเคลื่อนที่มายังสารพี แต่เมื่อใดที่ทำการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับรอยต่อกำแพงศักย์ที่กั้นจะค่อยๆลดลง ทำให้อิเล็กตรอนสารเอ็นสามารถเคลื่อนที่เข้าไปที่สารพีได้ ทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮลเรียกว่าการรวมตัวกันหรือการ Recombination พร้อมกับทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาอยู่ในรูปของโฟตอนหรือว่าแสงแสดงดังรูปที่ 2.4



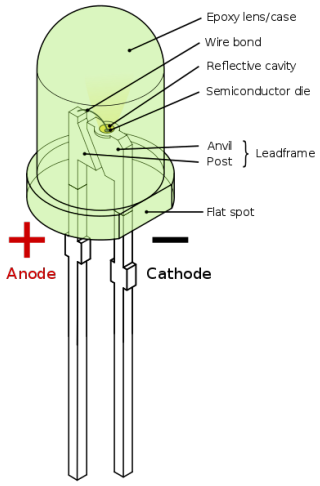
รูปที่ 2.6 แสดงการเคลื่อนที่ของพาหะและการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮลแล้วเกิดการปลดปล่อยโฟตอน

แสงที่เกิดจากไดโอดเปล่งแสงจะมีสีหรือความยาวคลื่นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำมาสร้างแสดงดังตารางที่ 2.1 การควบคุมปริมาณแสงสว่างหากกระแสไหลมากจะมีความสว่างมาก

ตารางที่ 2.2 สารที่นำมาสร้างไดโอดเปล่งแสงชนิดต่าง ๆ

สีที่ได้	สารที่ใช้
แดง	AlInGaP (Aluminium Indium Gallium Phosphide)
เขียว	InGaN (Indium Gallium Nitride)
เชียวเหลือง	GaAsP (Gallium Arsernide PhosPhide)
น้ำเงิน	InGaN (Indium Gallium Nitride)

เมื่อไดโอดเปล่งแสงเกิดการเปล่งแสงแล้วต้องมีการควบคุมทิศทางของแสง แสงที่ออกมาจะกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบทำให้ความเข้มแสงมีค่าน้อยลง ดังนั้นไดโอดเปล่งแสงจะมีพลาสติกใสพลาสติกห่อหุ้มและเอียงให้แสงสามารถสะท้อนออกไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ จึงใช้วัสดุสะท้อนแสง (Reflector) ที่ทำมาจากเหล็กและอลูมิเนียมเพื่อใช้สะท้อนแสงที่เปล่งออกมากจากซึ่งส่วนใหญ่จากผลิตมาจาก Epoxy ดังรูป 2.5 แสดงส่วนประกอบของไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Light Emitting Diode

ในปัจจุบันไดโอดเปล่งแสงมีหลายรูปแบบ ซึ่งหลักๆ จะแบ่งตามลักษณะของไดโอดเปล่งแสงสามารถแบ่งได้ 2 แบบ

Through Hold ซึ่งมีตัว Epoxy ยื่นออกมาจากตัวหลอด เป็นขาหรือขั้วยื่นออกมา 2 ขา โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3-8 มิลลิเมตร

- Surface Mount Type หรือ SMT คือแบบที่มีลักษณะเป็น chip ซึ่งเป็นที่นิยมเพราะสามารถผลิตได้ที่ละหลายๆชิ้นมีขนาดเล็ก

ในปัจจุบันได้มีการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน เช่น ให้ความสว่างกับระบบอาคาร อุปกรณ์แสดงผล ยานพาหนะ รวมถึงการเกษตร เนื่องจากไดโอดเปล่งแสงมีข้อดีที่มากกว่าหลอดชนิดอื่นดังนี้

1. ประหยัดพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากพลังงานน้อย แต่สามารถให้แสงสว่างมาก
2. สามารถเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการใช้ได้อย่างเฉพาะเจาะจง
3. อายุการใช้งานของหลอดยาวนานกว่าหลอดชนิดอื่น
4. ปลดปล่อยปริมาณความร้อนออกมาน้อยกว่าหลอดชนิดอื่น ทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานและลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้

สำหรับการใช้งานไดโอดเปล่งแสงนั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง โดยจะต้องมีการจำกัดกระที่ไหลผ่านโดยตัวต้านทาน ซึ่งการคำนวณค่าความต้านทานที่จะต้องนำมาต่อสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$R = \frac{V - V_F}{I_F} \qquad [2.5]$$

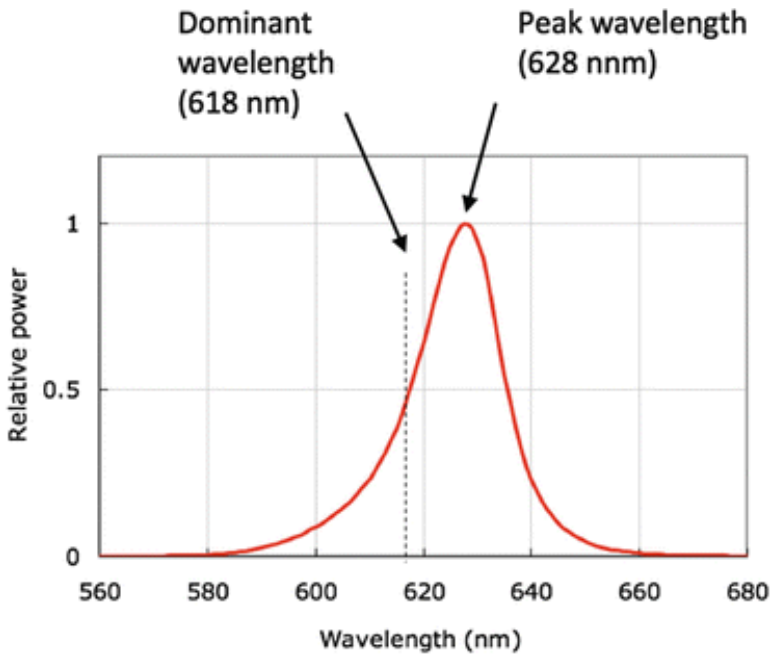
เมื่อ R คือค่าความต้านทาน (โอห์ม)

V คือศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

V_F คือศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดเปล่งแสง

I_F คือกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง

ค่าแรงดันหรือศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดเปล่งแสง จะมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและสารที่นำมาสร้างทั้งนี้การจะทราบค่าที่ใช้ให้ค้นหาจากตารางคุณสมบัติของผู้ผลิตโดยตรง แสงที่ออกมาจากไดโอดเปล่งแสงถึงแม้ว่าใน data sheet จะเขียนว่ามีความยาวคลื่นเดียว แต่ในทางปฏิบัติแล้วลักษณะของความยาวคลื่นจะไม่ได้แคบซึ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของความยาวคลื่นแสง

Peak wavelength เป็นบริเวณที่มีความยาวคลื่นสูงสุดเดียวซึ่งสเปกตรัมการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดแสงมาถึงจุดสูงสุด ซึ่งปกติตาของมนุษย์จะไม่สามารถที่จะตอบสนองได้แต่สามารถวัดได้ผ่าน Photodetector และ Dominante wavelength ความยาวคลื่นเดียวที่สายตามนุษย์รับรู้ โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงชนิดหนึ่งจะประกอบไปด้วยสเปกตรัมหลายความยาวคลื่น

2.5 การวัดปริมาณความเข้มของแสง

แสงคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่ในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นและมองไม่เห็น นอกจากนี้แสงยังเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ทำให้เกิดความสว่าง ความสว่างจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงและระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงถึงพื้นที่ ๆ แสงนั้นตกกระทบ และมุมส่องสว่าง การวัดปริมาณความเข้มแสงที่นิยมใช้มีดังนี้

1. มุมตัน (Solid angle) คือ มุมยอดที่ถูกรองรับด้วยพื้นที่ผิวทรงกรม ซึ่งมีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน ใช้อักษรว่า Sr

2. ความหนาแน่นฟลักซ์ของแสง (Luminous flux) คือฟลักซ์การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในมุมตันแทนด้วยสัญลักษณ์มีหน่วยเป็นลูเมน อักษรย่อ lm

3. ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous intensity) คือความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างหรือพลังงานที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางใดๆ ต่อมุมเชิงของแข็งหน่วยเป็นลูเมน/สเตอเรเดียน หรือ แคนเดลา cd

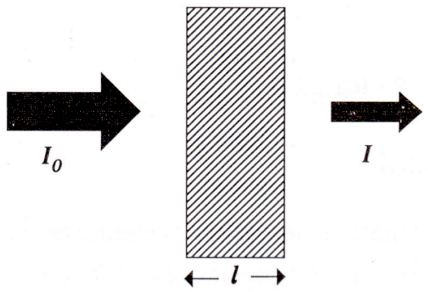
4. ความส่องสว่าง (Illuminance) คือ ความหนาแน่นของปริมาณแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวใด ๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ e มีหน่วยเป็น Lux

5. ความสว่าง (Luminance) คือ ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ มีหน่วยเป็น แคนเดลา/ ตารางเมตร หากวัตถุมีผิวที่มีลักษณะแตกต่างกันหรือมีสีที่ต่างกันก็จะทำให้ค่าสะท้อนที่ต่างกัน

2.6 หลักการของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

2.6.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง

การดูดกลืนของแสงเกิดขึ้นเมื่อมีแสงหรือโฟตอนซึ่งเป็นอนุภาคของแสงไปตกกระทบโมเลกุลของสารและถ่ายเทพลังงานที่มีอยู่ให้กับสารนั้น สารชนิดหนึ่งดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันได้มากน้อยไม่เท่ากัน การวัดการดูดกลืนแสงให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว ปริมาณการดูดกลืนแสงจะวัดได้สองค่า คือความเข้มแสงที่ผ่านไปจนถึงตัวรับสัญญาณซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับว่าแสงถูกดูดกลืนไปเท่าใด กับความเข้มของแสงตั้งต้นซึ่งมีค่าคงที่ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนภาพการวัดการดูดกลืนแสง

เมื่อแสงที่มีความเข้มค่าหนึ่งซึ่งแสดงด้วยขนาดของลูกศร (I_0) เดินทางผ่านสารละลายเป็นระยะหนึ่ง (l) แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้ทำให้แสงที่ผ่านออกมาและตรวจวัดได้มีความเข้มแสงลดลง (I) ปริมาณความเข้มแสงประเภทแรกที่ใช้ตรวจสอบการดูดกลืน คือ อัตราส่วนระหว่างแสงที่เหลือจากการดูดกลืน(I) ต่อด้วยความเข้มแสงเริ่มต้น (I_0) อัตราส่วนนี้เรียกว่า อัตราการส่งผ่าน (transmittance) ในทางตรงกันข้ามยังมีการใช้ส่วนกลับของอัตราการส่งผ่าน นั่นคือค่าอัตราการดูดกลืนมักนิยมใช้ในสเกลลอการิทึมเรียกว่า แอบซอร์แบนซ์ (absorbance)

2.6.2 กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law)

กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เป็นหลักการที่อธิบายความสามารถในการดูดกลืนแสงของสาร โดยใช้ค่าการดูดกลืนที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณของสารที่แสงมีอันตรกิริยาด้วยทั้งนี้ต้องมีเงื่อนไขว่าแสดงนั้นต้องเป็นแสงเอกรงค์ ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นดังสมการที่ 2.6

$$A = \varepsilon cl \qquad [2.6]$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสาร

ε คือ สมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวค่าหนึ่ง

l คือ ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่างหรือความกว้างของเซลล์ในหน่วยเซนติเมตร

c คือ ความเข้มข้นของสารในหน่วยโมลต่อลิต

2.6.3 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultraviolet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในการระบุชนิดและปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 ลักษณะของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

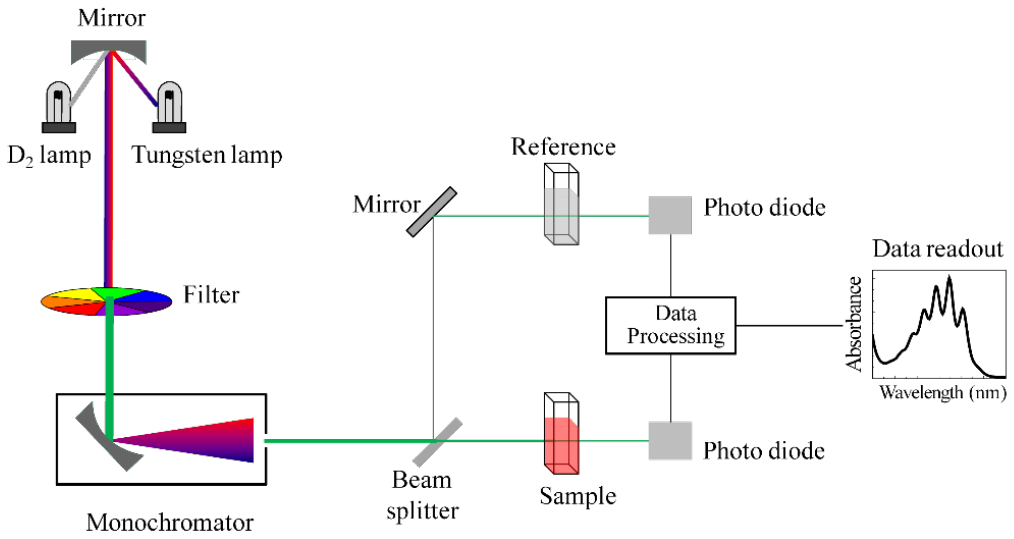
1. แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย หลอดกำเนิดแสง มีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงช่วง UV ใช้หลอด H_2 and D_2 lamp ให้ความยาว

คลื่นอยู่ในย่าน 160-380 นาโนเมตร ชนิดของสเปกโทรสโกปี UV molecular absorption และช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตร ชนิดของสเปกโทรสโกปีเป็นแบบ UV/visible/near-IR molecular absorption

2. โมโนโครมาเตอร์ส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง แสงจะสะท้อนกับเกรตติงภายในแล้วได้เป็นแถบแสงแคบ ๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวโดยใช้ฟิลเตอร์(กระจกสี) ปริซึม (prism) หรือ เกรตติง (grating)

3. เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvette) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอรตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

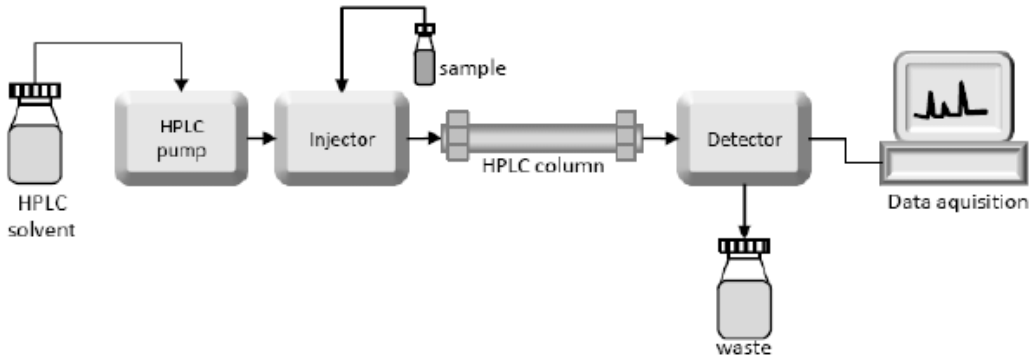
4. ตัวตรวจจับสัญญาณ (detector) ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการทำงานของ UV-Visible

2.7 หลักการการทำงานของเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

HPLC เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่ผสมกัน โดยกระบวนการแยกจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) หรือ คอลัมน์(column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งจะถูกแยกออกมาในเวลาที่ต่างกัน สารผสมที่อยู่ในตัวอย่าง สามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้น กับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเฟสที่อยู่กับที่โดยสารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดี กับเฟสที่เคลื่อนที่สารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณ (Detector) และสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งจะเรียกว่าโครมาโตแกรม (Chromatogram) โดยส่วนประกอบแสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะและส่วนประกอบเครื่อง HPLC

1. เฟสเคลื่อนที่ หรือตัวทำละลายที่ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่าง เป็นเฟสเคลื่อนที่ มีลักษณะเป็นของเหลว ทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่คอลัมน์เพื่อให้เกิดกระบวนการแยกภายในคอลัมน์

2. ดีเกเซอร์ (degaser) ทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศอากาศที่มีอยู่ในเฟสเคลื่อนที่ไม่ให้ฟองอากาศเข้าสู่คอลัมน์และ ตัวตรวจจับ

3. ปั๊ม (pump) ทำหน้าที่ดึงตัวทำละลายเข้าสู่ระบบ HPLC เนื่องจากในการแยกสารผสมในเทคนิค HPLC จะอาศัยหลักการไหลของเฟสเคลื่อนที่ผ่านเฟสอยู่กับที่ ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงทำให้เกิดความต้านทานการไหล ระบบปั๊มจึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เกิดความดันสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทาน

4. ตัวฉีด (injector) ทำหน้าที่ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าระบบ

5. คอลัมน์ (column) มีลักษณะเป็นของแข็งหรือเจลเป็นเฟสอยู่กับที่ทำหน้าที่ให้เกิดกระบวนการแยกของสารที่สนใจ โดยกระบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่างเฟสเคลื่อนที่กับเฟสอยู่กับที่

6. ตัวตรวจจับสัญญาณทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจที่ได้จากกระบวนการแยก ตัวตรวจจับมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับสารที่นำมาตรวจจับ

2.8 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

2.8.1 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์บางครั้งเรียกว่า แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด เป็นแผนการทดลองที่ใช้เมื่อหน่วยทดลอง (experimental unit) มีความสม่ำเสมอ คือ เป็นหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกัน (homogeneous) หรือเหมือนกันมากที่สุด โดยจัดทรีตเมนต์ให้กับหน่วยทดลองอย่างสุ่ม นั่นคือ หน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะมีโอกาสเท่าๆ กันที่จะได้รับทรีตเมนต์ใดทรีตเมนต์หนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบว่าค่าเฉลี่ยของประชากรหรือทรีตเมนต์ตั้งแต่ 2 ทรีตเมนต์ขึ้นไปเท่ากันหรือไม่ สามารถใช้ได้กับการทดลองที่ทรีตเมนต์มีจำนวนมาก ๆ ได้ ซึ่งในแต่ละทรีตเมนต์อาจจะมีจำนวนซ้ำเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แต่ปกติมักจะใช้จำนวนซ้ำเท่ากันเพื่อง่ายในการวิเคราะห์ผลการทดลอง แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์นี้จึงจัดเป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด กล่าวคือง่ายในการดำเนินการทดลอง การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ และการแปลผลการทดลอง สำหรับการสุ่มการทดลองนิยมใช้วิธีจับสลาก แล้วทำการจัดทำตารางเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป รูปแบบของสุ่มข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูล

ซ้ำที่	ทรีตเมนต์					
	1	2	…	j	…	T
1	X_{11}	X_{12}	…	X_{1j}	…	X_{1t}
2	X_{21}	X_{22}	…	X_{2j}	…	X_{2t}
⋮	…	…	…	…	…	…
i	X_{i1}	X_{i2}	…	X_{ij}	…	
⋮	…	…	…	…	…	…
n_j	$X_{n_j 1}$	$X_{n_j t}$	…	$X_{n_j j}$	…	$X_{n_j t}$
รวม $(T_{.j})$	$T_{.1}$	$T_{.2}$	…	$T_{.j}$	…	$T_{.t}$
เฉลี่ย $(\overline{X}_{.j})$	$\overline{X}_{.1}$	$\overline{X}_{.2}$	…	$\overline{X}_{.j}$	…	$\overline{X}_{.t}$

จากตารางแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการจัดเรียงโดยแต่ละทรีตเมนต์นั้นจะมีจำนวนซ้ำขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดลองยิ่งจำนวนซ้ำมากผลของข้อมูลจะดีมากยิ่งขึ้นมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยที่ตัวแทนข้อมูล x_{nt} ตัวอักษร n คือซ้ำที่และ t คือทรีตเมนต์ T_j เป็นจำนวนซ้ำรวม $\overline{\mathbf{X}}$ ค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์

2.8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่มากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป โดยสร้างสมมติฐานขึ้นมาเพื่อทำการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานด้วยค่าที่ยอมรับ ข้อกำหนดของ ANOVA ข้อมูลของทุก ๆ ประชากร จะต้องมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ (Normal distribution) เท่านั้น ค่าความผันแปร (Variation) ของข้อมูล แต่ละประชากรจะต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้นดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องทำการทดสอบการกระจายของข้อมูล (Normality test) ว่าข้อมูลทุกประชากรมีการกระจายแบบปกติและทดสอบความความแตกต่างของค่าความผันแปร (Homogeneities of Variance Test) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีความแตกต่างกันทุกประชากร เนื่องจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเดียวที่มีผลทำให้ค่าสังเกตแตกต่างกันนั่น คือ ข้อมูลมีความแตกต่างเนื่องจากกลุ่มที่แตกต่างเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์จึงแบ่งความแปรปรวนของข้อมูลเป็นดังนี้

1. ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์SSB เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากการที่ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวมโดยที่

$$\mathrm{SSB} = \sum_{i=1}^{k} n_i \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \qquad [2.7]$$

SSB คือ ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

k คือ แทนจำนวนทรีตเมน์

$n_{i.}$ คือ แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$\bar{x}_i$ คือ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทรีตเมนต์ที่ *i*

$\bar{x}$ คือ แทนค่าเฉลี่ยข้อมูลทั้งหมด

2. ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSE เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มซึ่งไม่ทราบสาเหตุว่าเป็นความแปรปรวนที่เกิดจากสาเหตุใด ในบางครั้งจึงเรียกว่าความคลาดเคลื่อน (Error Sum of Square) โดยที่

$$\mathrm{SSE} = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \qquad [2.8]$$

SSE คือ ความแปรปรวนภายในกลุ่ม

$\overline{\mathrm{X}}_{\mathrm{i}j}$ คือ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทรีตเมนต์

3. ความแปรปรวนรวม (Total Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SST เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวมโดยที่

$$SST = SSB + SSE \qquad [2.9]$$

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่ม ประชากรจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ความแปรปรวนของแต่ละประชากรต้องเท่ากัน ซึ่งเราสามารถสร้างสมมติฐานขึ้นมาทดสอบได้โดย

กำหนด μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 1

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 2

μ_k แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ k

สมมติฐานเชิงสถิติ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = ... = \mu_k$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq .... \neq \mu$ อย่างน้อยหนึ่งคู่

หรือ

H_0 : ค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่มแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

จากนั้นจะต้องคำนวณหาตัวแปรทางสถิติเพื่อมาทดสอบสมมติฐานที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งตัวแปรสถิติที่ต้องหาคือตัวแปร F วิธีการหาตัวแปรทางสถิติแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความแปรปรวน (source of variation)	องศาอิสระ (df)	ผลรวมกำลังสอง (sum of square)	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (mean of square	ค่าตัวสถิติ (F)
ระหว่างกลุ่ม	k-1	SSB	$\mathrm{MSB} = \frac{\mathrm{SSB}}{\mathrm{k}-1}$	$\mathrm{F} = \frac{\mathrm{MSB}}{\mathrm{MSE}}$
ภายในกลุ่ม	n-k	SSE	$\mathrm{MSE} = \frac{\mathrm{SSE}}{\mathrm{n}-\mathrm{k}}$	
รวม	n-1	SST		

หากตัวแปรทางสถิติทดสอบ F มากกว่าค่าวิกฤตจะปฏิเสธ และทำการยอมรับค่า H1 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ามีอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มตัวอย่างที่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นกลุ่มใดจะต้องคำนวณหาค่าความแตกต่างของกลุ่มประชากรต่อไป

2.8.3 การเปียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison)

เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการทดสอบว่าจะมีค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(significant)ก็จะบอกเพียงว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย1คู่ที่มีค่าแตกต่างกัน แต่จะไม่บอกว่าเป็นคู่ใดซึ่งเราจะต้องทำการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post hoc test) โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ซึ่งมีหลายวิธีด้วยซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้วิธีของ Turkey’s Honestly Significantly Different (HSD) ซึ่งเป็นวิธีการเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขที่ว่าจำนวนกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน วิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mathrm{x_i} - \bar{\mathrm{x}}_\mathrm{j} = q_{(\alpha,df,k)}\sqrt{\frac{MSE}{n}} \qquad [2.10]$$

เมื่อ q หาได้จากตารางค่าวิกฤต

Df = n-k จากตารางความแปรปรวน

MSE ได้จากการคำนวณหาค่าความแปรปรวน

N จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$\mathrm{x_{ij}} - \bar{\mathrm{x}}_\mathrm{i}$ เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ I กับ j ที่ต้องการเปรียบเทียบ

หาก q ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ q จากตารางวิกฤต แสดงว่าค่าเฉลี่ยคู่นั้นแตกต่างกันอย่างมีนับสำคัญที่ระดับ α เมื่อเปรียบเทียบแล้วมักนิยมจัดกลุ่มให้อยู่ในรูปของตัวอักษร

ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษแล้วตามด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หากค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ที่มีตัวอักษรเหมือนกัน จะสรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น α แต่ถ้าค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ที่มีตัวอักษรแตกต่างกันจะสรุปได้ว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น α โดยสามารถดูตัวอย่างได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างข้อมูลทางสถิติ

สูตรอาหารข้น	ปริมาณน้ำนมเฉลี่ยต่อวัน (กิโลกรัม)
A	$16.75^{ข} \pm 1.04$
B	$19.25^{ก} \pm 0.65$
C	$20.75^{ก} \pm 2.33$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$)

จากตารางที่ 2.5 จะให้ว่าสูตรอาหารสูตร B และ C มีปริมาณค่าน้ำนมเฉลี่ยต่อวันที่มีตัวอักษร ก กำกับอยู่ด้านหลังนั่นแสดงว่า สูตร B กับ สูตร C นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ถ้าหากเทียบกับสูตร A ทั้งสูตร B และ C มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตร A เนื่องจากสูตร A มีตัวอักษร ข กำกับซึ่งอยู่คนละกลุ่มกัน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chen et al. (2010) ได้ศึกษาการกระจายของรังสีโดยวิธีการจัดเรียง LED แตกต่างกัน 4 ลักษณะคือ แบบ Radial, Rhombus, Square Radial และ Square Rhombus จากการศึกษาพบว่าการจัดเรียงแบบ Radial และ square radial มีประสิทธิภาพการแผ่รังสีได้ดีกว่าการจัดเรียงอีก 2 รูปแบบ การศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าการจัดเรียงแบบ radial เนื่องจากมีความสว่างกระจายได้ดีที่สุด

Lin et al. (2013) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของแสงที่มีผลต่อผักกาด ด้วยแสงที่แตกต่างกัน 3 แบบ โดยใช้สีแดง 660 นาโนเมตร สีน้ำเงิน 454 นาโนเมตร และสีขาวโดยทำการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของพืชกับผักกาดที่ปลูกภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ จากการศึกษาพบว่าแสดงไดโอดเปล่งแสงสีแดง สีน้ำเงิน และสีขาว สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของผักกาดในได้ดีกว่า แสงจากฟลูออเรสเซนต์

สาธิต และคณะ (2555) ได้ศึกษาวัสดุเพาะที่เหมาะสมกับต้นอ่อนข้าวสาลีเพื่อดูวัสดุที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโต ใช้วัสดุต่างกัน 5 ชนิด ฟางสับ ทราย ดิน กระดาษ และไม่ใช้วัสดุเพาะ ผลการศึกษาพบว่าการใช้ฟางสับเป็นวัสดุเพาะให้น้ำต้นอ่อนสูงที่สุดและปริมาณน้ำคั้นมากกว่าวัสดุเพาะอื่นๆ

บุษราคัมและคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาผลของวัสดุเพาะที่มีผลต่อการเจริฐเติบโตและปริมาณน้ำตาลของต้นอ่อนข้าวสาลีโดยใช้วัสดุเพาะ 6 ชนิดคือ ฟางสับ ปอเทือง ผักตบชวา หยวกกล้วยสับ ซังข้าวโพดและเปลือกกาแฟ ผลการทดลองพบว่าในปอเทืองนั้นต้นอ่อนข้าวสาลีจะให้ปริมาณน้ำตาลในหน่วยองศาบริกซ์สูงที่สุด และฟางสับจะให้ส่วนสูงของต้นสูงที่สุด

Xiao-Xue Fan et al. (2017) นำเสนอผลจากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนมะเขือเทศที่ปลูกภายใต้แสงเทียมจากแอลอีดีผสมกันระหว่างสีแดงและสีน้ำเงิน โดยการควบคุมความเข้มแสง ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มแสง 300-500 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที มีผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมะเขือเทศมากที่สุด

Ma et al. (2015) ศึกษาการใช้แสงแอลอีดีสีเขียว ร่วมกับแสงสีน้ำเงินและแดง ต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตในการเพาะเนื้อเยื่อมันฝรั่ง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแสงสีแดงความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร และแสงสีน้ำเงิน และสีเขียว ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตรากและใบ เพิ่มจำนวนคลอโรฟิลล์ และปริมาณน้ำตาล

Kadkade et al. (1978) พบว่าการให้แสงนาน 16 ชั่วโมง ต่อวันของช่วงแสงที่ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเลต (371 นาโนเมตร) จะส่งผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแคลลัสที่ได้จากการเพาะเลี้ยง เอมบริโอของพืช Psuedotsu gamenziesiic และพบว่า ในพืชวงศ์ยาสูบก็มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโต ของแคลลัสด้วยเช่นกันซึ่งแสงทีมีความเข้มแสงสูงกว่า 150 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ส่งผลในการยับยั้งการเจริญเติบโต แต่ถ้าความเข้มแสง 24 μmol $m^{-2}s^{-1}$ จะมีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของแคลลัส

Seibert et al. (1980) รายงานว่าแสงสีน้ำเงินมีผลในการกระตุ้นการเจริญเติบโต และการเกิดยอดในแคลลัสของยาสูบที่ช่วงความเข้มแสงที่ 100-500 μmol $m^{-2}s^{-1}$ โดยให้แสงนาน 16 ชั่วโมงต่อวัน การเกิดยอดจากแคลลัสของยาสูบ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการให้แสงต่อเนื่องติดกันเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยให้แสงสีน้ำเงินความเข้มแสงสูง 1,550 μmol $m^{-2}s^{-1}$

Tripath et al. (1995) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของยอดและรากของต้นอ่อน ธัญพืชภายใต้สภาพแสงสีแดงพบว่า การงอกและความสมบูรณ์ของรากจะขึ้นอยู่กับแสงสีแดง ที่มีความเข้มแสงระหว่าง 300-500 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์จะถูกกระตุ้นในแสงสีแดง ดังนั้นการให้แสงสีแดงกับต้นอ่อนจะส่งผลทำให้ต้นอ่อนนั้นมีสีเขียวและรากมีความสมบูรณ์มากขึ้น

Nhut et al. (1997) ได้ทดลองเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นอ่อนกล้วยภายใต้สภาพแสงจากไดโอดเปล่งแสงพบว่า ต้นอ่อนขนาดเล็กจะมีน้ำหนักสดสูงสุดเมื่อเลี้ยงภายใต้แสงสีแดง 80 เปอร์เซ็นต์กับสีน้ำเงิน 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ค่าเท่ากับที่เลี้ยงภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์

slam et al. (2001) ศึกษาคุณภาพแสงและความเข้มแสงในการชักนำให้เกิดแคลลัสและชักนำให้แคลลัสพัฒนาไปเป็นต้นในกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสพบว่าคุณภาพแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของแคลลัสเมื่อเลี้ยงบนอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสโดยการเจริญเติบโตของแคลลัสนั้นจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่ออยู่ภายใต้แสงสีแดงและแสงสีเหลืองส่วนการชักนำให้เกิด(protocorm like-

bodies, PLBs) เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมน้ำตาลมอลโทส หรือซอบิทอลภายใต้สภาพแสงสีแดงและแสง สีเหลือง ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับแสงสีขาวแต่การเกิด PLBs จะถูกยับยั้งเมื่อเลี้ยงภายใต้สภาพแสงสีเขียว หรือแสงสีน้ำเงิน สาหรับการทดลองเรื่องความเข้มแสงพบว่าความเข้มแสงที่ 50 μmol $m^{-2}s^{-1}$ จะ ส่งเสริมให้มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวยอด ความยาวใบ และความกว้างของใบมากที่สุด เมื่อ เปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่มากหรือน้อยกว่านี้

Tanaka et al. (2001) รายงานว่า เมื่อเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิส ในอาหารเหลวสูตรดัดแปลง Kyoto ภายใต้สภาพแสงสีแดง 80 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแสงสีน้ำเงิน 20 เปอร์เซ็นต์ จากแสงไฟไดโอดเปล่งแสทำให้มีน้ำหนักแห้ง และน้ำหนักสด ของยอดและรากสูงสุด เมื่อเปรียบกับแสงฟลูออเรสเซนต์หรือใช้แสงสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์ หรือแสงสีแดง 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแสง สีน้ำเงิน 50 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแสงกับต้นอ่อนข้าวสาลี โดยต้องระบบขึ้นเพื่อทำการเพาะปลูกพืชและสร้างแหล่งกำเนิดแสงพร้อมทำการวัดค่าความเข้มแสง ความยาวคลื่น พร้อมทั้งออกแบบการทดลอง วิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งได้ดังนี้

3.1 การสร้างแหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง

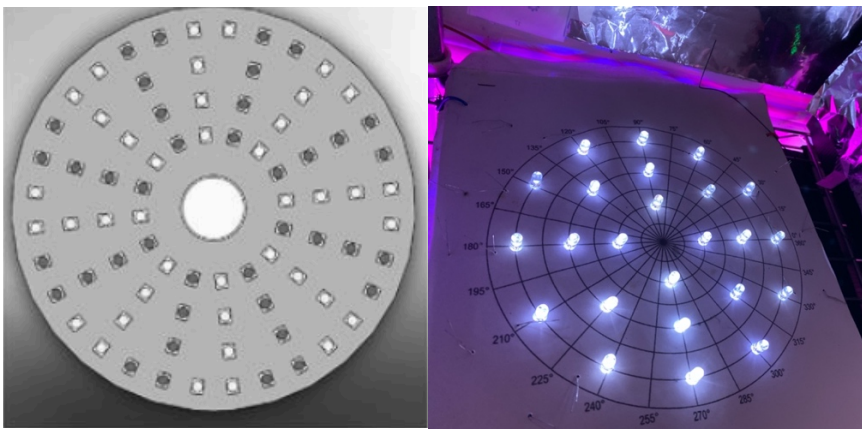
3.1.1 การออกแบบแหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง

ผู้ทดลองได้เลือกซื้อไดโอดเปล่งแสงสีต่าง ๆ ที่หาได้ตามท้องตลาด ไดโอดเปล่งแต่ละรุ่นแต่ละสี จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของไดโอดเปล่งของแต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน

สี	กระแส (มิลลิแอมป์)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	มุมการส่องสว่าง (ดีกรี)	ความยาวคลื่นสูงสุด (นาโนเมตร)	ความสว่าง (แคนเดลา)
แดง	20	2.1	30	630	6
น้ำเงิน	20	4	30	480	12
เขียว	20	3.7	30	525	9
ขาว	20	3.2	30-50	400-700	6

จากตารางจะเห็นได้ว่าไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีนั้นมีคุณสมบัติพื้นฐานที่แตกต่างกัน การสร้างแหล่งกำเนิดแสงอัตราส่วนแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินอัตราส่วน 1:1 จะต้องคำนวณจำนวนหลอดให้พอดีกับปริมาณแสงที่ออกมา การทดลองจะสร้างแหล่งกำเนิดแสง 4 เงื่อนไข สีแดงและสีน้ำเงิน 1:1 สีแดง สีน้ำเงินและสีเขียวอัตราส่วน 1:1:1 สีแดง สีน้ำเงินและสีขาว 1:1 และสีขาว การออกแบบการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสง ใช้รูปแบบการกระจายตัวตามรัศมี เนื่องจากมีงานวิจัยได้ศึกษาว่าการจัดเรียงรูปแบบนี้จะได้ลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ดีขึ้น [17] ลักษณะการจัดเรียงตัวแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยใช้ฟิวเจอร์บอร์ดเป็นฐานในการยึดไดโอดเปล่งแสงเข้าด้วยกัน

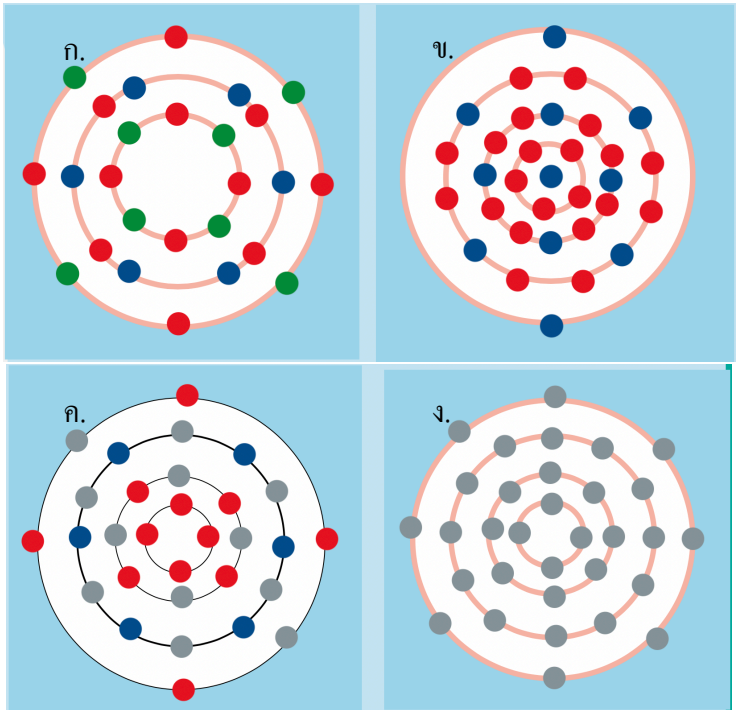


รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบการจัดเรียงตำแหน่งของไดโอดเปล่งแสงตามรูปแบบกระจายตัวตามแนววงกลม

แต่ละแผงนั้นจะมีหลอดไดโอดเปล่งแสง แต่ละสีที่แตกต่างกันออกไปโดยคำนวณจากกำลังไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสรุปจำนวนของหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ตามตารางที่ 3.2 ซึ่งจำนวนไดโอดเปล่งแสงนั้นไม่สามารถบอกอัตราส่วนของแสงได้เพียงแต่เป็นการประมาณค่าเท่านั้น

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวน LED ที่ใช้ในแต่ละแผงแหล่งกำเนิดแสง

ไดโอดเปล่งแสง	**จำนวนไดโอดเปล่งแสงในแต่ละแผง (ดวง)**			
	RB	**RBG**	**RBW**	**W**
Red	20	12	12	-
Blue	10	6	6	-
Green	-	8	-	-
White	-	-	-	25



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบการจัดเรียงของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองนี้

ก. แสดงการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสงชนิด RBG

ข. แสดงการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสงชนิด RB

ค. แสดงการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสงชนิด RBW

ง. แสดงการจัดเรียงไดโอดเปล่งแสงชนิด White

แหล่งจ่ายไฟได้เลือกใช้ LED DRIVER ขนาด 12 W เป็นแหล่งจ่ายไฟโดยเราจะต้องหาค่าความต้านทานที่ต้านกระแสสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$R = \frac{V-(N\times V_{LED})}{I} \qquad [2.6]$$

R คือ ความต้านทาน

V คือ ศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

V_{LED} คือ ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมไดโอดเปล่งแสง

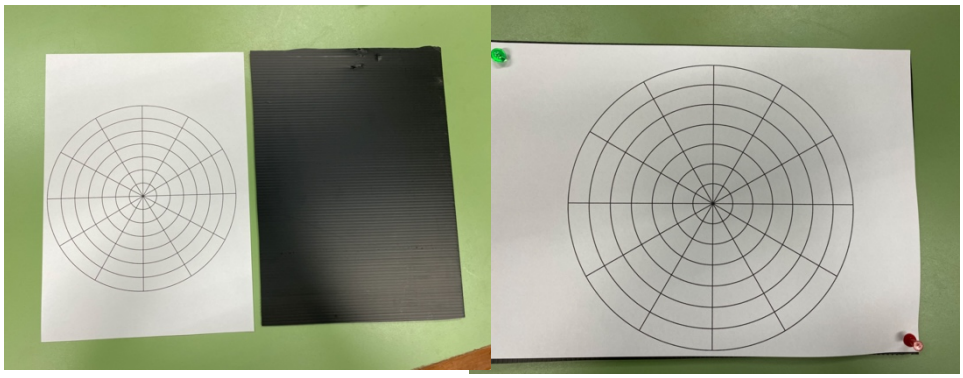
I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง

N คือ จำนวนของไดโอดเปล่งแสงที่ใช้

1.1.2 ขั้นตอนและลำดับการสร้างแหล่งกำเนิดแสง

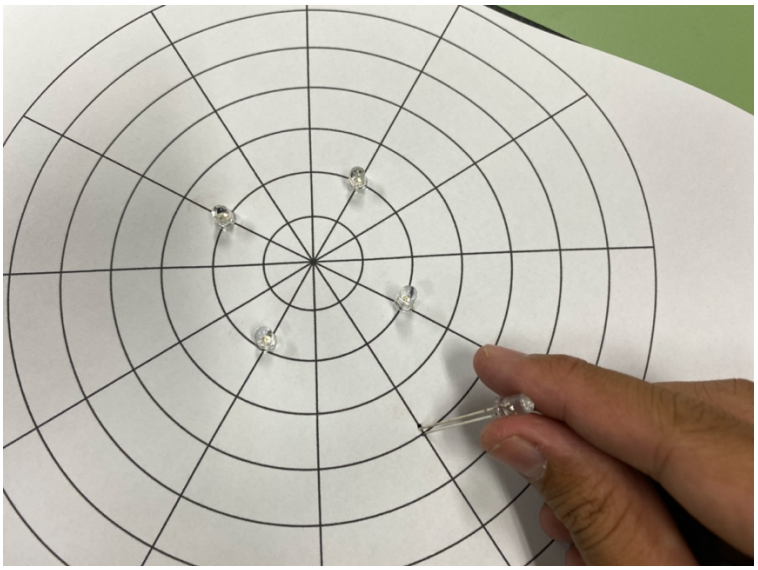
ในหัวข้อนี้จะอธิบายขั้นตอนการทำแผงแหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง โดยจะอธิบายเป็นหัวข้อดังนี้

1. ตัดฟิวเจอร์บอร์ดสีดำขนาดเท่ากับกระดาษ A4 เตรียมไว้ทั้งหมดสี่แผ่น และนำแผ่นแม่แบบที่ได้จัดเตรียมไว้มาติดกับแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ได้ตัดไว้ในขั้นตอนแรก แสดงดังรูปที่ 3.3



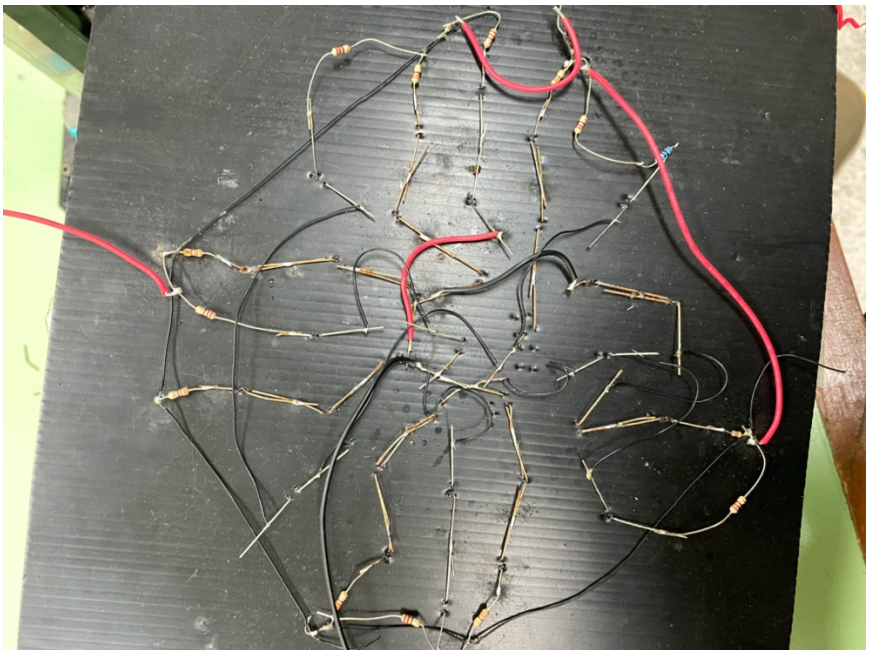
รูปที่ 3.3 แสดงแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและแผ่นแบบ

2. นำไดโอดเปล่งแสงที่เตรียมไว้ปักลงไปบนฐานที่ได้เตรียมไว้ตามลักษณะการจัดเรียงที่ออกแบบไว้ ทำจนครบทุกแผง แสดงดังรูปที่ 3.4



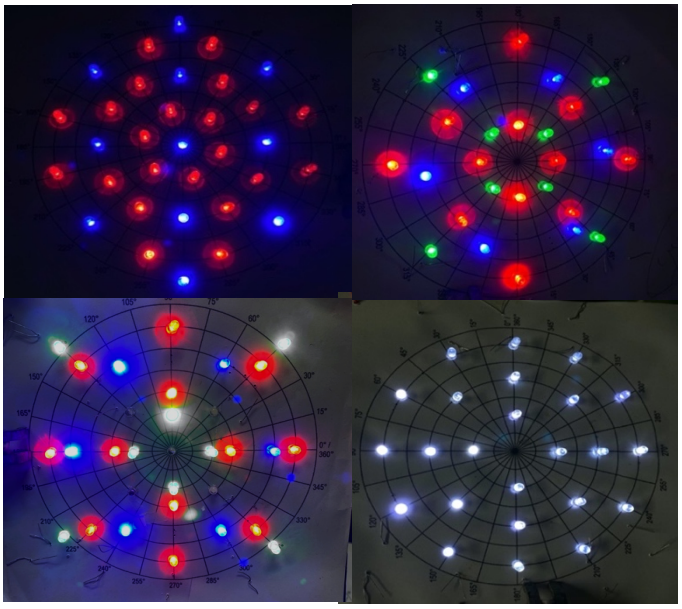
รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการจัดเรียงตำแหน่งของไดโอดเปล่งแสง

3. บัดกรีตัวต้านกับไดโอดเปล่งแสงพร้อมกับใช้สายไฟเชื่อมแหล่งจ่ายกระแสกับขากราวด์เข้าด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อของไดโอดเปล่งแสง ตัวต้านทาน และสายไฟ

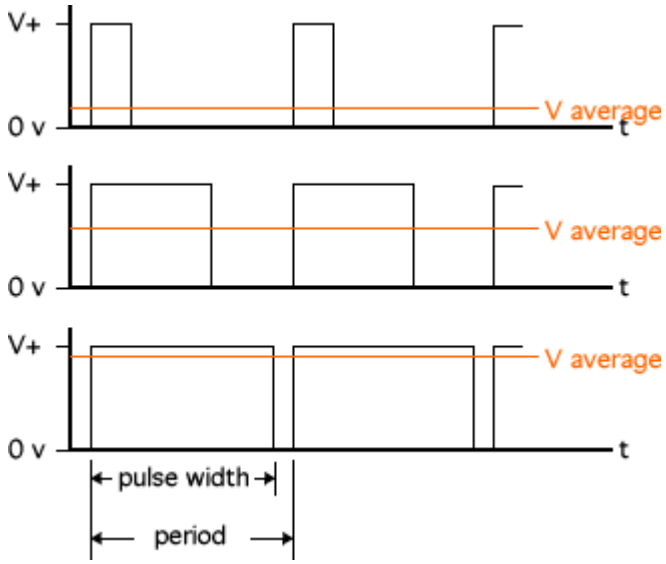
ทำกระบวนการนี้ซ้ำเป็นจนเสร็จสิ้นครบทุกแผง หลังจากบัดกรีเสร็จทุกแผงแล้วจึงต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงให้กับแผงลักษณะของแสงไฟที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของแสงจากแผงแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 4 ชนิด

3.1.3 การควบคุมความเข้มแสงด้วย Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation เป็นการเขียนข้อมูลแบบอนาล็อกด้วยสัญญาณดิจิตอล โดยการสร้างสัญญาณดิจิตอลคลื่นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมขึ้นมาดังรูปที่ 3.8 โดยสัญญาณที่ออกมาจะสลับกันระหว่างเปิด (HIGH) กับปิด (LOW) โดยจะกำหนดคาบสัญญาณให้สั้นๆ ความถี่ที่ใช้กันอยู่ที่ช่วง 30 เฮิรตซ์ ถึง 100 เฮิรตซ์ หลักการการควบคุมการทำงานคือการปรับเปลี่ยนความกว้างของลูกคลื่นในแต่ละคาบเวลาถ้าลูกคลื่นสั้นก็จะทำให้แรงดันเฉลี่ยออกมามีค่าน้อย ถ้าลูกคลื่นยาวแรงดันเฉลี่ยจะมีค่ามากขึ้นแสดง
ดังรูปที่ 3.7

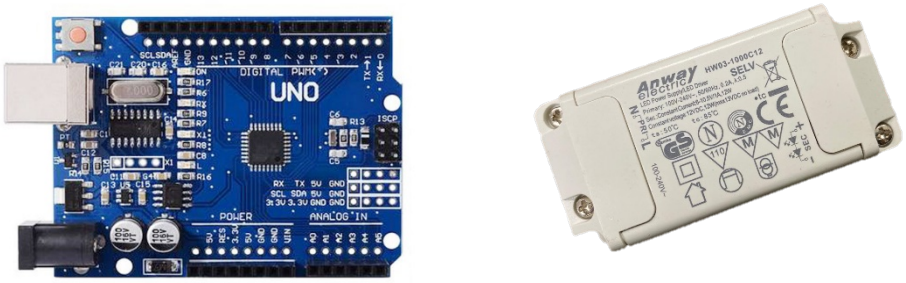


รูปที่ 3.7 แสดงขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ควบคุมสัญญาณที่สร้างจากตัวอุปกรณ์ควบคุม

เทคนิคนี้โดยทั่วไปจะมีการสร้างลูกคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ออกมาโดยกำหนดคาบของสัญญาณ (period) ให้สั้นๆ ซึ่งปกติคาบจะมีค่าไม่เกิน 33 มิลลิวินาที สำหรับการทดลองทั่วไป และอาจมีค่าน้อยถึง 0.01 มิลลิวินาที หรือน้อยกว่าในงานอุตสาหกรรมบางชนิด หลักการสำคัญ คือ การปรับเปลี่ยนความกว้างของลูกคลื่นในแต่ละคาบ โดยถ้าลูกคลื่นสั้นก็จะทำให้แรงดันเฉลี่ยที่ออกมามีค่าน้อย และถ้าลูกคลื่นยาวแรงดันเฉลี่ยก็จะมีค่ามากขึ้น จากรูปแรงดันเฉลี่ย (เส้นสีส้ม) จะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับความกว้างของลูกคลื่น ซึ่งความกว้างของลูกคลื่นนี้เรียกว่า pulse width หรือ duty cycle pulse width จะต้องน้อยกว่าค่าความยาวคาบเสมอ duty cycle จะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวคาบ เช่น ถ้าคาบ = 10 มิลลิวินาที และ duty cycle = 40 เปอร์เซ็นต์ นั่นหมายความว่า pulse width = 10 * 0.4 = 4 มิลลิวินาที เป็นต้น

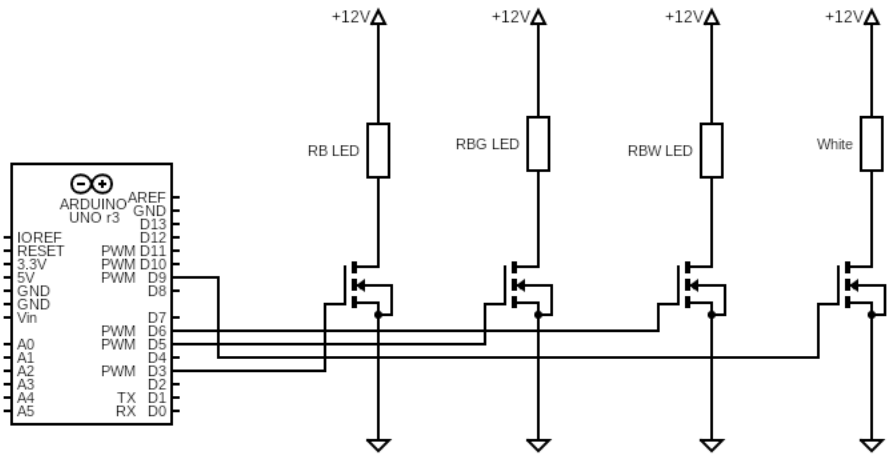
3.1.4 การแบบวงจรไดโอดเปล่งแสงร่วมกับ Arduino Microcontroller

ในการออกแบบวงจรควบคุมความเข้มแสงของไดโอดเปล่งแสงจะใช้การสร้างพัลส์จาก Arduino Uno R3 ซึ่งจะสร้างพัลส์ออกจากขาดิจิตอลเพื่อควบคุมแรงดันที่ขาเกตของทรานซิสเตอร์ชนิด MOSFET IRF 540N เพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านในวงจรมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงดันที่ควบคุมไว้ โดยใช้ แหล่งจ่ายจาก LED Power Supply/LED Driver รุ่น (Anway electric, HW03-1000C12) ขนาด 12 W จ่ายกระแส 1 แอมป์แปร์ แรงดัน 12 โวลต์ แสดงรูปอุปกรณ์ดังรูป ที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Arduino microcomtroller และ LED driver ขนาด 12 วัตต์

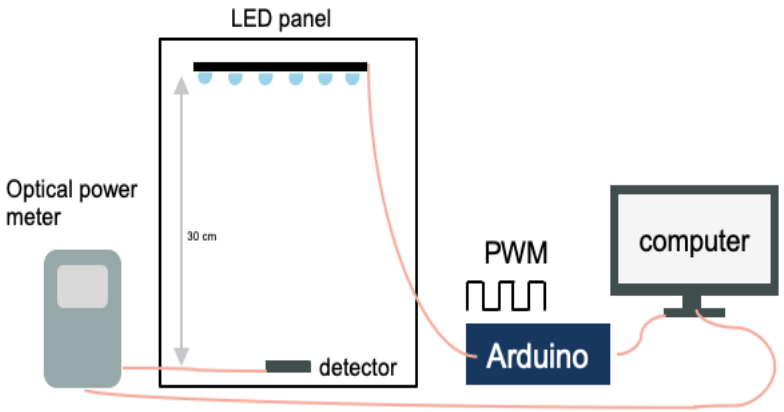
หลังจากนั้นได้ทำการออกแบบวงจรในแต่ละสีโดยนำตัวขับกระแสไฟฟ้าต่อกับไดโอดเปล่งแสง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกระแสให้กับไดโอดเปล่งแสง นำขาลบของไดโอดเปล่งแสงต่อเข้ากับขาเดรนของทรานซิสเตอร์ จากนั้นเชื่อมต่อขาดิจิตอลของ Arduino เข้ากับ ขาเกตของทรานซิสเตอร์ แล้วจากนั้นนำ ขาไฟกราวด์ของตัวขับกระแสและ Arduino ต่อเข้ากับขาซอร์ส แสดงดังรูปที่ 3.9 แล้วเขียนโปรแกรมควบคุมพัลส์



รูปที่ 3.9 แสดงแบบวงจรควบคุมความเข้มแสงโดยใช้ Arduino UNO ในการสร้างพัลส์ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านในวงจรแหล่งกำเนิดแสง

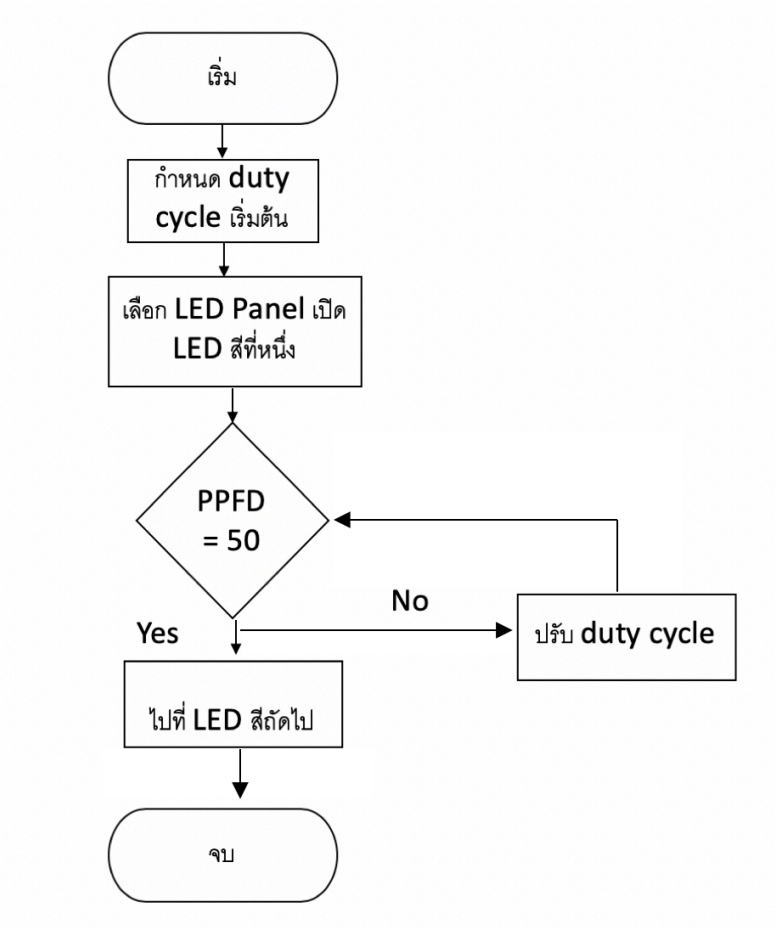
3.1.5 การปรับขนาดของ PWM เพื่อควบคุมความเข้มแสง

ในการปรับความเข้มของแสงนั้นเราจะทำการปรับความกว้างของพัลส์ที่ถูกสร้างจากขาดิจิตอลของ Arduino วิธีการตรวจสอบความเข้มแสง จะต้องนำตัวตรวจจับนั้นไปวางไว้ด้านล่างตรงกึ่งกลางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นระยะ 30 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะเขียนโค้ดสั่งการเพื่อสร้างพัลส์โดยเพิ่มขนาดของพัลส์ไปเรื่อย ๆ จนได้ความเข้มที่ต้องการแล้วทำการย้ายตำแหน่งตัวตรวจจับให้ทั่วบริเวณแสงที่ได้กำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงไดอะแกรมการวัดปริมาณความเข้มแสงและการต่อส่วนควบคุม

การเขียนโค้ดควบคุมขนาดความกว้างของพัลส์จะเลือกใช้ขาดิจิตอล ในส่วนของโปรแกรมเริ่มแรกจะกำหนดความกว้างของพัลส์ขึ้นมาก่อนซึ่งสามารถกำหนดได้ตั้งแต่ 0 – 255 หลังจากนั้นอัปโหลดโค้ดลงบอร์ด Arduino เช็คความเข้มแสงที่อ่านได้จากตัวตรวจจับว่าได้ค่าตามที่ต้องการหรือยังหากไม่ให้ทำการปรับความกว้างของพัลส์ไปเรื่อย ๆ จนได้ปริมาณโฟตอนตามที่ต้องการแล้วจึงเปลี่ยนสีของไดโอดเปล่งแสงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมการปรับขนาดความกว้างของลูกคลื่น

ในการปรับความเข้มแสงนั้นจะเริ่มปรับที่ละสี ยกตัวอย่างเช่น ใน RB อัตราส่วน 1:1 ซึ่งมีสีแดงและสีน้ำเงินผสมกัน ลำดับแรกจะต้องปิดสีแดงแล้ววัดสีน้ำเงินเขียนโค้ดให้ได้ความเข้มแสงที่ประมาณ 25 ไมโครโมรต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นย้ายตำแหน่งการวัดไปจนครบบนพื้นที่ 20 ตารางเซนติเมตร ที่แล้วนำความเข้มแสงมาหาค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นจึงปิดสีแดงแล้ววัดสีน้ำเงินให้ความเข้มแสง 25 ไมโครโมรต่อตารางเมตรต่อวินาที ใช้วิธีเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นที่เหลือเพื่อวัดความเข้มแสงให้ได้ 50 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที

ภายในห้องเพาะปลูกมีการเปิดเครื่องปรับอากาศโดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิของห้องโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT 22/AM2302 Module ทั้งหมด 5 ตัวติดตั้งภายในชั้นเพาะปลูกพืช 1 เซ็นเซอร์ต่อ 1 ช่อง จากนั้นเก็บค่าอุณหภูมิทุก 30 นาที โดยทำงานร่วมกับ Raspberry pi 3 Model B+ เขียนคำสั่งการใช้งานในภาษาไพทอน (Python) เพื่อให้ค่าของอุณหภูมิความชื้นและเวลาถูกบันทึกลงในไฟล์นามสกุล .txt

3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุเพาะและการเพาะปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี

ในการทดลองได้เลือกใช้เมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 ที่นิยมใช้เพาะปลูกกันทั่วไปหาซื้อได้ตามท้องตลาด ขั้นตอนการเพาะปลูกจะนำเมล็ดข้าวสาลีล้างน้ำให้สะอาดชำระล้างให้ดินที่ติดมาหลุดออกพร้อมกับคัดแยกเมล็ดเสีย จากนั้นจะนำเมล็ดไปแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบ 8 ชั่วโมง ให้เทน้ำทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำสะอาด บ่มในผ้าชุบน้ำอีกเป็นเวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง เมล็ดจะเกิดการงอกเป็นตุ่มเล็ก ๆ แสดงดังรูปที่ 3.12

ก ข

รูปที่ 3.12 แสดงการเตรียมเมล็ดข้าวสาลีเพื่อนำไปเพาะปลูกในการทดลอง

ก. ล้างน้ำสะอาดแล้วแช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

ข. น้ำเมล็ดข้าวที่แช่น้ำแล้วบ่มในผ้าเปียกอีก 8 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดตุ่มราก

นำเมล็ดข้าวสาลีโรยลงบนวัสดุเพาะซึ่งวัสดุเพาะที่ใช้ในการทดลองคือแกลบดำผสมกับขุยมะพร้าวละเอียดในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากัน เทใส่กระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ใส่วัสดุเพาะลงในกระถางเพาะปลูก รดน้ำให้วัสดุเพาะชุ่มน้ำแล้วโรยเมล็ดข้าวสาลีลงไปเกลี่ยเมล็ดให้กระจายเท่าๆ กันไม่ทับหรือซ้อนกันแสดงดังรูปที่ 3.13

ก

ข

รูปที่ 3.13 ก. วัสดุเพาะที่ผสมระหว่างขุยมะพร้าวและแกลบดำในอัตราส่วน 1:1
ข. เมล็ดข้าวสาลีที่โรยลงบนวัสดุเพาะที่ได้จัดเตรียมไว้

3.3 การวางแผนการทดลองแบบสุ่ม

การทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งเหมาะกับงานทดลองที่หน่วยทดลองที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเหมือน ๆ กัน ลักษณะของแผนการทดลองประกอบด้วยทรีตเมนต์จำนวน t ทรีตเมนต์ แต่ละทรีตเมนต์มีการทำซ้ำจำนวน n ซ้ำ หน่วยทดลองที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเหมือน ๆ กัน มีจำนวนทั้งหมด N หน่วย โดย $N = n_1 + n_2 + \ldots + n_t$ โดยวิธีออกแบบการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

1) ทำการสุ่มหน่วยทดลองโดยการใช้วิธีจับฉลาก ซึ่งในการทดลองนี้มีหน่วยทดลองเป็นกระถางต้นอ่อนข้าวสาลี มีแสงจากไดโอดเปล่งแสงเป็นทรีตเมนต์ โดยมีทั้งหมด 5 ทรีตเมนต์ จำนวน 3 ซ้ำ เท่ากัน เพราะฉะนั้นหน่วยทดลองจะต้องมีทั้งหมด 5x3 เท่ากับ 15 กระถาง จากนั้นเขียนหมายเลข 1-15 กำกับแต่ละหน่วยทดลองหรือแต่ละกระถาง พร้อมกับเขียนหมายเลข 1-15 ใส่กล่องใบที่ 1

2) เขียนฉลากจำนวน 12 ใบ ใส่กล่องใบที่ 2 ดังนี้ โดยกำหนดให้ T1 คือทรีตเมนต์ RB , T2 คือ ทรีตเมนต์ RBG , T3 คือทรีตเมนต์ RBW , T4 คือทรีตเมนต์ W

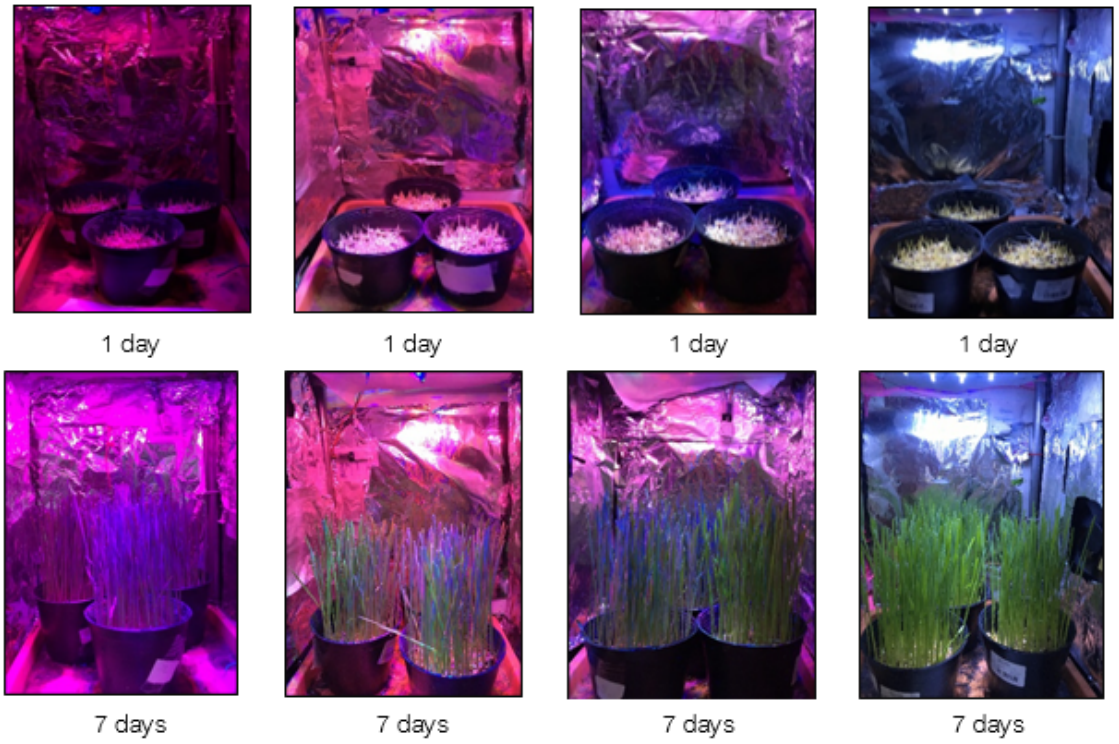
T1r1 แทนการใช้ทรีตเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1
T1r2 แทนการใช้ทรีตเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 2
.
.
.

T5r3 แทนการใช้ทรีตเมนต์ที่ 5 ซ้ำที่ 3

3) ดำเนินการสุ่มหยิบฉลากจากกล่องใบที่ 1 และจากกล่องใบที่ 2 จับคู่กันจนครบ จะได้ว่าหน่วยทดลอง หมายเลขใดใช้กับทรีตเมนต์ใดและเป็นซ้ำที่เท่าไร เช่น สุ่มหยิบฉลากใบแรก จากกล่องใบที่ 1 ได้ฉลาก หมายเลข 11 และหยิบ ฉลากใบแรกจากกล่องใบที่ 2 เป็น t1r3 แสดงว่าหน่วยทดลองหมายเลข 11 จะถูก ทดลองโดยใช้ทรีตเมนต์ที่ 1 และเป็นซ้ำที่ 3

3.4 การเพาะปลูกในโรงเรือนปิด

หลังจากออกแบบแผนการทดลองเสร็จแล้วจะนำต้นอ่อนข้าวสาลีวางตามแผนการทดลองที่ได้จัดเตรียมไว้บนชั้นเพาะปลูกจะมีถาดรองกระถางเพื่อกันไม่ให้น้ำซึม วางกระถางให้อยู่กึ่งกลางเพื่อแสงตกกระทบพืชได้โดยตรงป้องกันไม่ให้การค่าความผิดพลาดเนื่องจากความเข้มแสงขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.14



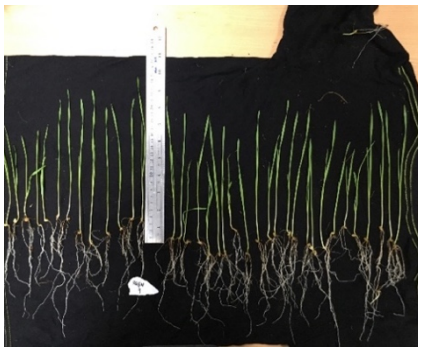
รูปที่ 3.14 แสดงการวางกระถางต้นอ่อนข้าวสาลีในแหล่งกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสง

3.5 การวัดการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์และการสะสมน้ำตาล

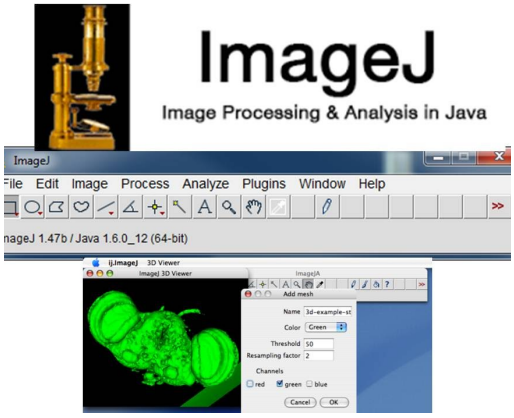
3.5.1 การวัดความสูง และการชั่งน้ำหนัก

หลังปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีครบ 7 วัน จะนำต้นอ่อนข้าวสาลีที่ได้มาทำการวัดและวิเคราะห์ดูการเจริญเติบโต โดยลำดับแรกจะนำต้นอ่อนข้าวสาลีในกระถางออกมาล้างดินที่ติดอยู่กับรากออกให้สะอาดระวังไม่ให้รากขาด จากนั้นค่อยๆดึงแยกต้นอ่อนข้าวสาลีทีละต้นออกจากกันไม่ให้รากขาด นำมาวางเรียงกันบนผ้าสีดำยืดลำต้นและรากให้อยู่ในแนวตรงวางไม้บรรทัดลงข้างๆ เพื่อเป็นสเกลอ้างอิงเพื่อใช้การวัด จากนั้นถ่ายภาพเพื่อนำไปประมวลภาพโดยใช้โปรแกรม Image J ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถที่จะวัดความยาวของสิ่งของได้และสามารถนำข้อมูลเก็บไว้ในไฟล์ได้ แสดงดังรูปที่ 3.15

ก.



ข.



ค.

รูปที่ 3.15 วิธีการเตรียมต้นอ่อนข้าวสาลีเพื่อวัดการเจริญเติบโต

ก. นำต้นอ่อนข้าวสาลีมาล้างให้สะอาด

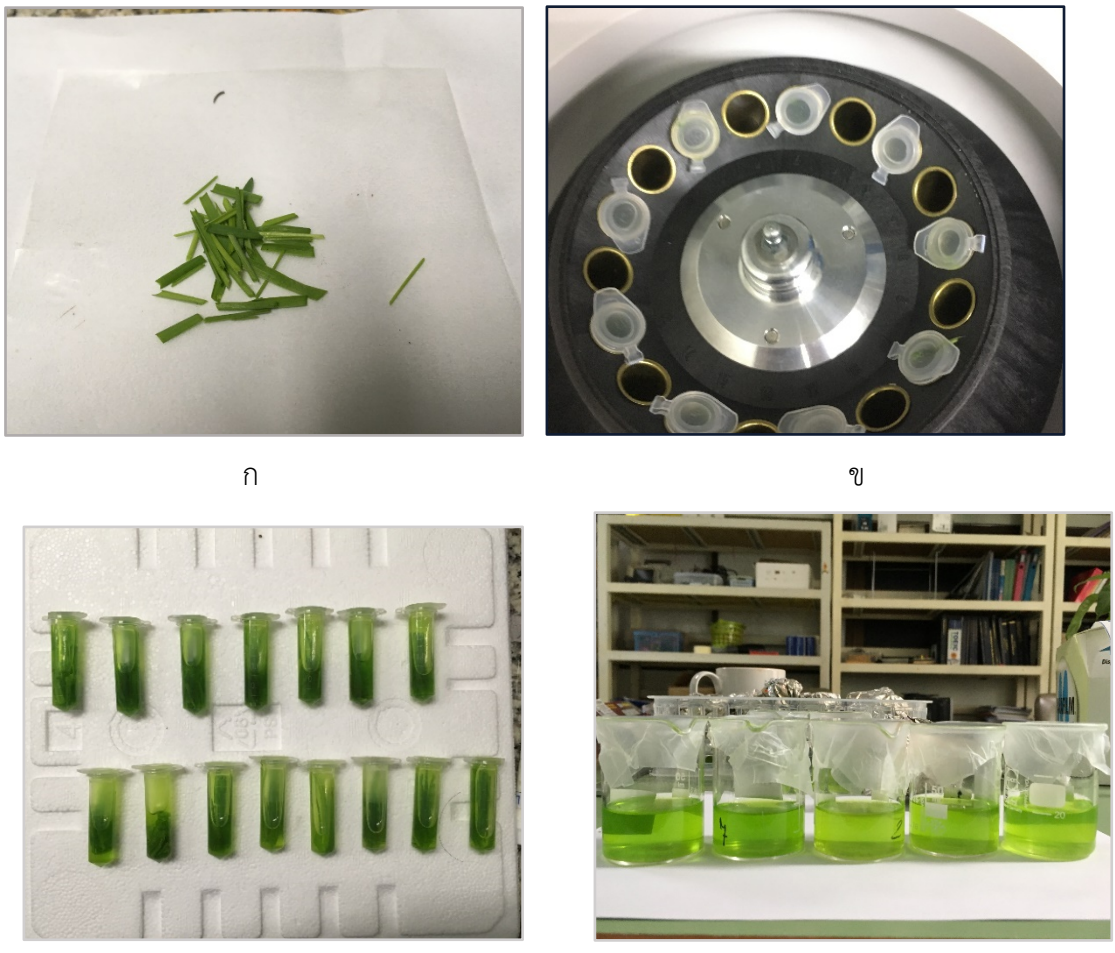
ข. จัดเรียงต้นอ่อนข้าวสาลีพร้อม

ค. ใช้โปรแกรมเพื่อประมวลผล

จากนั้นตัดรากกับต้นแยกออกจากกัน จากนั้นนำไปชั่งบนตราชั่งดิจิตอลเพื่อชั่งน้ำหนักสดของต้นและรากพร้อมกับบันทึกผล จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเป็นเวลา 72 ชั่วโมงแล้วนำกลับมาชั่งอีกหนึ่งครั้งเพื่อวัดน้ำหนักแห้งของต้นและรากแล้วบันทึกผล

3.5.2 วิธีสกัดการจากใบข้าวสาลีด้วยอะซิโตน

หลังจากที่นำต้นอ่อนข้าวสาลีมาล้างทำความสะอาด ได้ทำการแบ่งต้นอ่อนข้าวสาลีทรีตเมนต์ละ 15 ต้น เพื่อนำมาสกัดคลอโรฟิลล์จากใบข้าว โดยวิธีการสกัดนั้นได้ใช้วิธีของ Litcher และคณะ [10] โดยจะใช้ใบสดของต้นอ่อนข้าวสาลีปริมาณ 0.2 กรัม ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปใส่หลอดขนาด 5 มิลลิลิตรที่มีฝาปิดพร้อมกับเติมอะซิโตนลงไปแล้วปิดฝา นำลงไปจัดเรียงในเครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมกับเปิดเครื่องแล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที แล้วจากนั้นทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แสดงได้ดังรูปที่ 3.16



ก ข

ค ง

รูปที่ 3.16 แสดงลำดับขั้นตอนการสกัดคลอโรฟิลล์จากใบข้าว

ก. สุ่มต้นอ่อนข้าวสาลีทำการตัดใบสดปริมาณ 0.2 กรัม

ข. ใส่หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 5 มิลลิลิตร ใส่อะซิโตน พร้อมกับปั่นเหวี่ยง 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

ค. ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อสกัดสารออกจากใบข้าว

ง. ปรับปริมาตรให้ได้สารสกัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร

เมื่อทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงใบข้าวในหลอดเปลี่ยนเป็นสีขาวแล้วจึงกรองกากหรือใบข้าวออกแล้วเทสารสกัดใส่ลงในบีกเกอร์ ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตนให้ได้สารละลาย 25 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยด์โลหะและพาราฟินแล้วหุ้มด้วยฟอยด์เพื่อป้องกันแสงเข้าไปทำลายคลอโรฟิลล์จากนั้นนำไปวัดปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่องสเปกโตโฟเตอร์มิเตอร์เพื่อวัดการดูดกลืนของแสง

3.5.3 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณน้ำตาล

สำหรับการคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์จะต้องใช้วิธีการวัดค่าการดูดกลืนของแสง ในการทดลองนี้จะวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer โดยสแกนค่าความยาวคลื่นตั้งแต่ 300-800 นาโนเมตร นำสารสกัดจากใบข้าวเทใส่คิวเวทแล้วใส่เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์เพื่อวัดการดูดกลืน วัดทุกตัวอย่างที่ได้เตรียมมาจากนั้นนำค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร 645 นาโนเมตร และ 470 นาโนเมตร เพื่อคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์จากสูตรของ Lichtenthaler และคณะ ตามสมการที่ 3.1 – 3.3

$$Chl\ a\ \left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{(12.72\times \mathrm{OD}_{663} - 2.59\times \mathrm{OD}_{645})\mathrm{V}}{1000\mathrm{W}} \quad [3.1]$$

$$Chl\ b\ \left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{(22.88\times \mathrm{OD}_{645} - 4.67\times \mathrm{OD}_{663})\mathrm{V}}{1000\mathrm{W}} \quad [3.2]$$

$$Car\ \left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{\left(\frac{(1000\times \mathrm{OD}_{470} - 3.27\times \mathrm{Chl.a} - 104\times \mathrm{chl.b})}{229}\right)\mathrm{V}}{1000\mathrm{W}} \quad [3.2]$$

V คือ ปริมาตรของสารละลายในหน่วยมิลลิลิตร

W คือ น้ำหนักสดของใบ มีหน่วยเป็นกรัม

Chl a คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

Chl b คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์บีมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

Car. คือ ปริมาณแคโรทีนอยด์มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

OD_{663} คือ ค่าการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

OD_{645} คือ ค่าการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร

OD_{470} คือ ค่าการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร

สำหรับการวัดปริมาณน้ำตาลนั้นจะเลือกใช้วิธีการตรวจสอบโดยเครื่อง HPLC โดยมีสภาวะเครื่องดังนี้ ซึ่งมี คอลัมน์: Benso (BP-800 Ca), Mobile Phase: DI, Flow rate 0.4 มิลลิลิตร/นาที Volume inject 20 ไมโครลิตร, Detector : RI ซึ่งจะทำการหาน้ำตาลประเภท ซูโครส กลูโคสและฟรุกโตส ทั้ง 3 ชนิด โดยใช้สารสกัดปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปริมาณน้ำตาลสามารถคำนวณได้จากสูตรของ วารุณี และคณะ โดยใช้พื้นที่ใต้กราฟของปริมาณสารตัวอย่างกับปริมาณของสารที่วัดได้มาคำนวณหาดังสมการ 2.1

$$\text{ความเข้มข้นของน้ำตาล (mg/L)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารตัวอย่าง} \times \text{ความเข้มข้นของน้ำตาลมาตรฐาน}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของน้ำตาลมาตรฐาน}} \qquad [3.3]$$

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

หลังจากที่ได้ทำการเพาะปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีในแหล่งกำเนิดแสงที่ทั้ง 5 ชนิด เมื่อครบ 7 วัน จึงนำต้นอ่อนข้าวสาลีที่ได้ออกมาวัดผลการเจริญเติบโตไม่ว่าจะเป็น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งขนาดของต้น การวัดการสะสมของน้ำตาลและการสะสมของรงวัตถุ ผลการทดลองแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน แสดงได้ดังต่อไปนี้

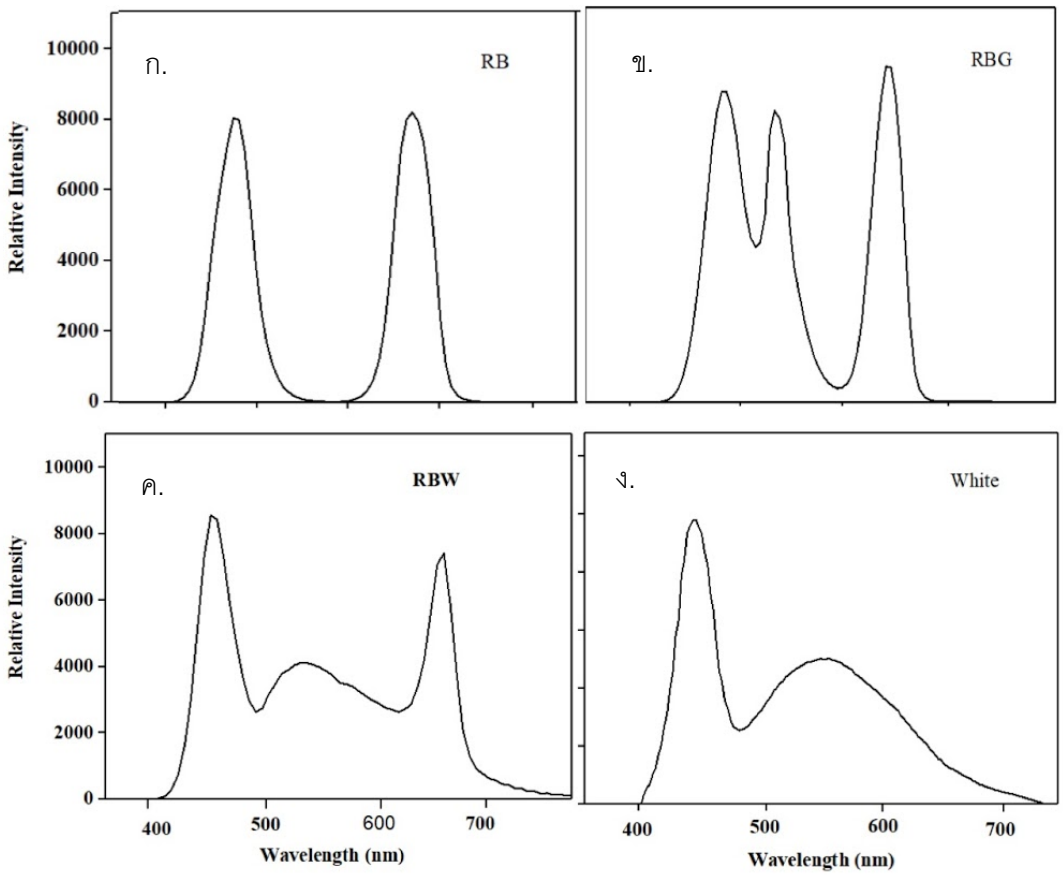
4.1 ปริมาณโฟตอนที่วัดได้ของแหล่งกำเนิดแสงและสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง

ปริมาณโฟตอนที่ต้องการใช้ในการทดลองนี้อยู่ที่ 50 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ผลจากการวัดแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 จากตารางจะเห็นว่าการที่ใช้เทคนิคการควบคุมความกว้างพัลส์ ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงส่งผลต่อปริมาณโฟตอน ซึ่งจากการปรับความกว้างของพัลซ์ได้ผลตรงตามที่ต้องการ ปริมาณโฟตอนที่ได้คือค่าเฉลี่ยจากการวัดบนพื้นที่ 20 ตารางเซนติเมตร ทั้งหมด 25 จุดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณ PPFD เฉลี่ยบนพื้นที่ 20 ตาราเซนติเมตร

ชนิดของแสง	Photosynthetic Photon flux density μmol $m^{-2}s^{-1}$				
	น้ำเงิน 480 (นาโนเมตร)	เขียว 525 (นาโนเมตร)	แดง 660 (นาโนเมตร)	ขาว 400-700 (นาโนเมตร)	รวม
RB = 1:1	25.38±1.2	0	25.34±1.1	0	50.72±1.2
RBG = 1:1:1	16.84±0.6	17.01±1.0	16.82±0.8	0	50.67±0.8
RBW = 1:1:1	16.53±1.3	0	16.87±0.4	16.99±0.5	50.39±0.7
W	0	0	0	50.79±1.3	50.79±1.3

จากนั้นได้วัดอัตราส่วนของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อยืนยันอัตราส่วนของแสงที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการทดลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า สเปกตรัมของแสงได้ถูกแบ่งออกเป็นอัตราส่วนอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น RB อัตราส่วน 1:1 แสงของทั้งสองความยาวคลื่นนี้จะต้องแบ่งอย่างละครึ่ง จากกราฟสเปกตรัมของแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินแบ่งเป็นอย่างละครึ่งแสดงว่าแสงที่ได้เตรียมมาได้ตามอัตราส่วน 1:1 ในเงื่อนไขอื่น ๆ อัตราส่วนของแสงก็แบ่งตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของแสงที่วัดได้จากแหล่งกำเนิดแสงที่สร้างจากไดโอดเปล่งแสง

ก. สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินในอัตราส่วน 1:1

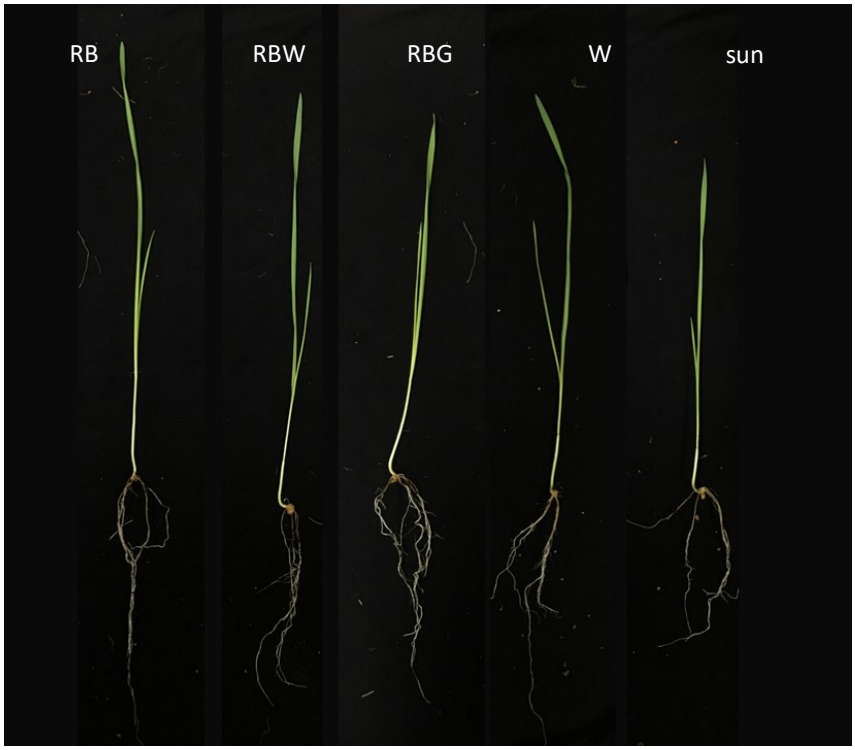
ข. สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินต่อสีเขียวในอัตราส่วน 1:1:1

ค. สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินต่อสีขาวในอัตราส่วน 1:1:1

ง. สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงสีขาวความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร

4.2 ผลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี

หลังจากการคัดแยกต้นอ่อนข้าวสาลีในแต่ชนิดของแสงเมื่อนำมาจัดวางแล้วเปรียบเทียบลักษณะทางภายในของต้นอ่อนข้าวสาลีพบว่ามีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันเมื่อมองด้วยสายตา ต้นอ่อนข้าวสาลีในแหล่งกำเนิดแสง RB นั้นจะมีความสูงของต้นมากกว่าต้นอื่นๆ อีกทั้งสีของต้นอ่อนข้าวสาลีมีลักษณะที่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะต้นของต้นอ่อนข้าวสาลี

น้ำหนักสดของต้นอ่อนข้าวสาลีเมื่อชั่งรวมกันทั้งหมด 100 ต้นพบว่า ต้นอ่อนข้าวสาลีภายใต้แสง RB ให้น้ำหนักสดอยู่ที่ 13.583 กรัม ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสงสีขาวให้น้ำหนักต้นน้อยที่สุดคือ 9.205 กรัม ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ให้น้ำหนักต้นน้อยที่สุด คือ 9.205 กรัม ส่วนต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกแบบปกติคือให้แสงตามธรรมชาติมีน้ำหนักอยู่ที่ 11.201 กรัม แสดงดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักสดของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

ชนิดของแสง	**น้ำหนักสด (กรัม)**			
	ซ้ำที่ 1	**ซ้ำที่ 2**	**ซ้ำที่ 3**	**เฉลี่ย**
RB	13.583	13.091	13.028	14.234
RGB	10.500	14.317	13.277	12.698
RBW	14.296	13.007	13.420	13.574
W	8.791	8.974	9.849	9.205
Sunlight	11.060	11.048	11.495	11.201

หลังจากนำต้นสดไปอบเพื่อไล่น้ำที่อยู่ในต้นออกผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 ต้นอ่อนที่ปลูกภายใต้แสง RBW นั้นให้น้ำหนักแห้งสูงที่สุดคือ 1.355 กรัม น้ำหนักแห้งของต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสงธรรมชาติมีน้ำหนักแห้งต่ำที่สุดคือ 1.099 กรัม น้ำหนักแห้งจะแสดงให้เห็นมวลของพืชจริง ๆ โดยที่ไม่มีน้ำ

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

ชนิดของแสง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย
RB	1.341	1.172	1.253	1.255
RGB	1.138	1.273	1.176	1.196
RBW	1.313	1.374	1.379	1.355
W	1.211	1.207	1.285	1.234
Sunlight	1.112	1.078	1.108	1.099

ในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงน้ำหนักของราก จากข้อมูลในตาราง จะเห็นว่าต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสง RB และ RBW อยู่ที่ 10.034 กรัม และ 10.030 กรัมตามลำดับ ต้นอ่อนข้าวสาลีภายใต้แสงสีขาวให้น้ำหนักแห้งของรากน้อยที่สุดอยู่ที่ 7.379 กรัม

ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักสดของรากต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

ชนิดของแสง	น้ำหนักรากสด (กรัม)			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย
RB	9.365	11.350	9.386	10.034
RGB	9.497	10.215	9.969	9.894
RBW	10.886	9.469	9.735	10.030
W	7.449	7.287	7.401	7.379
Sunlight	8.618	8.597	9.535	8.917

น้ำหนักแห้งของรากจากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณใกล้เคียงกันโดยค่าที่น้อยสุดอยู่ที่แสงจากธรรมชาติอยู่ที่ 0.875 กรัม

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

ชนิดของแสง	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม)			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย
RB	0.925	1.016	0.903	0.948
RGB	1.029	0.908	0.883	0.940
RBW	1.008	0.929	0.947	0.961
W	1.026	0.980	0.965	0.991
Sunlight	0.867	0.839	0.919	0.875

หลังจากได้ข้อมูลดิบมานำไปคำนวณค่าทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลหรือว่า ANOVA แล้วจากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีของ Tukey โดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณค่าทางสถิติ ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเจริญเติบโตคำนวณโดยวิธีการทางสถิติ

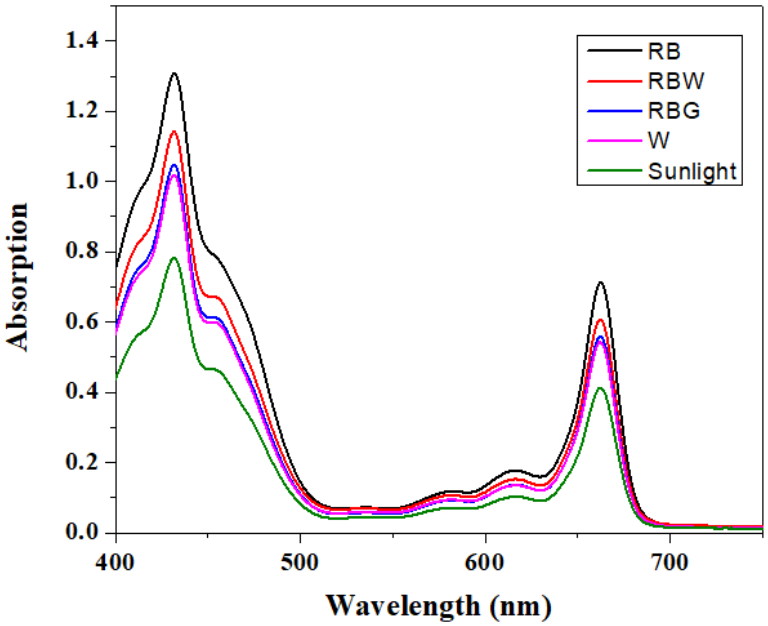
ชนิดของแสง	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)		น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)		ความยาว(เซนติเมตร)	
	ต้น	ราก	ต้น	ราก	ต้น	ราก
RB	0.1464±0.003^{a}	0.0125±0.011^{ab}	0.1004±0.0848^{a}	0.0094±0.0001^{a}	19.42±0.45^{a}	9.21±0.23^{c}
RBG	0.1203±0.014^{bc}	0.0119±0.003^{bc}	0.0989±0.0697^{a}	0.0093±0.0006^{a}	17.72±0.99^{ab}	14.75±0.4^{a}
RBW	0.1357±0.006^{ab}	0.0135±0.007^{a}	0.1003±0.0363^{a}	0.0096±0.0004^{a}	18.12±0.69^{ab}	11.28±0.14^{b}
Sunlight	0.0920±0.005^{d}	0.0109±0.005^{c}	0.0891±0.0168^{c}	0.0078±0.0003^{b}	16.58±0.27^{c}	10.22±0.25^{bc}
W	0.1120±0.002^{cd}	0.0123±0.005^{abc}	0.0891±0.0436^{ab}	0.0099±0.0003^{a}	17.37±0.34^{bc}	11.17±0.25^{b}

*หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ซึ่งจากการทดสอบสมมติฐานด้วย ANOVA พบว่ามีอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มตัวอย่างที่มีความแตกต่างทางสถิติในทุก ๆ ผลการทดลองค่าบวกลบในตารางแสดงถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตารางข้อมูลที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงเห็นว่า หากค่าไหนมีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าผลนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากตารางพบว่าในทรีตเมนต์ RB ให้น้ำหนักต้นสด น้ำหนักต้นแห้ง ความยาวต้นสูงสุด จัดอยู่ในกลุ่มตัวอักษรเอแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในแสง RBW ให้น้ำหนักสดราก น้ำหนักต้นแห้ง สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3 ปริมาณรงควัตถุในต้นอ่อนข้าวสาลี

รงควัตถุในต้นอ่อนข้าวสาลีที่สนใจมีอยู่ทั้งหมดสามชนิดคือ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ วัดโดยนำสารสกัดจากใบต้นอ่อนข้าวสาลีมาวัดการดูดกลืนของแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตโฟมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนของแสงของสารสกัดจากต้นอ่อนข้าวสาลีที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละทรีตเมนต์นั้นมีค่าไม่เท่ากันแสดงให้เห็นว่าปริมาณรงควัตถุนั้นจะมีค่าแตกต่างกันออกไปด้วย จากบทที่ 3 ที่ได้กล่าวถึงวิธีการหาปริมาณรงควัตถุไปแล้วนั้น จะเลือกใช้ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร 645 นาโนเมตร และ 663 นาโนเมตร นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ การดูดกลืนแสงในสารสกัดจากต้นอ่อนข้าวสาลีพบว่าที่ความยาวคลื่น 654 นาโนเมตร ในแสงชนิด RB อัตราส่วน 1:1 นั้นมีการดูดกลืนมากที่สุดอยู่ที่ 0.7118 ค่าการดูดกลืนที่น้อยที่สุดอยู่ที่ แสงสีขาว อยู่ที่ 0.4779 แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 654 นาโนเมตร

ชนิดของแสง	การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 654 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย
RB	0.823	0.627	0.684	0.7118
RGB	0.514	0.654	0.505	0.5581
RGBW	0.568	0.651	0.599	0.6065
W	0.425	0.486	0.521	0.4779
Sun	0.412	0.564	0.506	0.4943

สำหรับการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร พบว่า RB มีการดูดกลืนคลื่นแสงที่มากที่สุดอยู่ที่ 0.2784 ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่แสงจากธรรมชาติคือ 0.1923 แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร

ชนิดของแสง	การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่1	ซ้ำที่2	ซ้ำที่3	เฉลี่ย
RB	0.332	0.238	0.265	0.2784
RGB	0.207	0.255	0.199	0.2205
RGBW	0.229	0.261	0.240	0.2433
W	0.173	0.202	0.214	0.1963
Sun	0.165	0.214	0.197	0.1923

การดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร จากตารางที่ พบว่าใน RB นั้นมีการดูดกลืนสูงที่สุดคือ 0.631 ค่าที่น้อยที่สุดจะอยู่ที่แสงสีขาว คือ 0.401 แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

ชนิดของแสง	การดูดกลืนของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่1	ซ้ำที่2	ซ้ำที่3	เฉลี่ย
RB	0.724	0.590	0.578	0.631
RGB	0.427	0.541	0.422	0.463
RGBW	0.486	0.542	0.503	0.510
W	0.348	0.420	0.435	0.401
Sun	0.351	0.543	0.427	0.440

หลังจากได้ข้อมูลการดูดกลืนมาแล้วนำมาคำนวณหาปริมาณรงควัตถุตามสมการที่ได้กล่าวไปข้างต้น ปริมาณรงควัตถุทั้งสามชนิด คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์แสดงดังตารางที่ 4.10-4.12

จากตารางทั้งสามพบว่าปริมาณรงควัตถุของต้นอ่อนข้าวสาลีมีปริมาณแตกต่าง ปริมาณรงควัตถุทั้งสามชนิดจะมีปริมาณมากเมื่อปลูกภายใต้แสง RB ในอัตราส่วน = 1:1

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์เอของต้นอ่อนข้าวสาลี

ชนิดของแสง	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
	ซ้ำที่1	ซ้ำที่2	ซ้ำที่3	เฉลี่ย
RB	1.195	0.916	0.997	1.036
RGB	0.746	0.953	0.736	0.812
RGBW	0.825	0.947	0.871	0.881
W	0.618	0.704	0.756	0.693
Sun	0.599	0.824	0.737	0.720

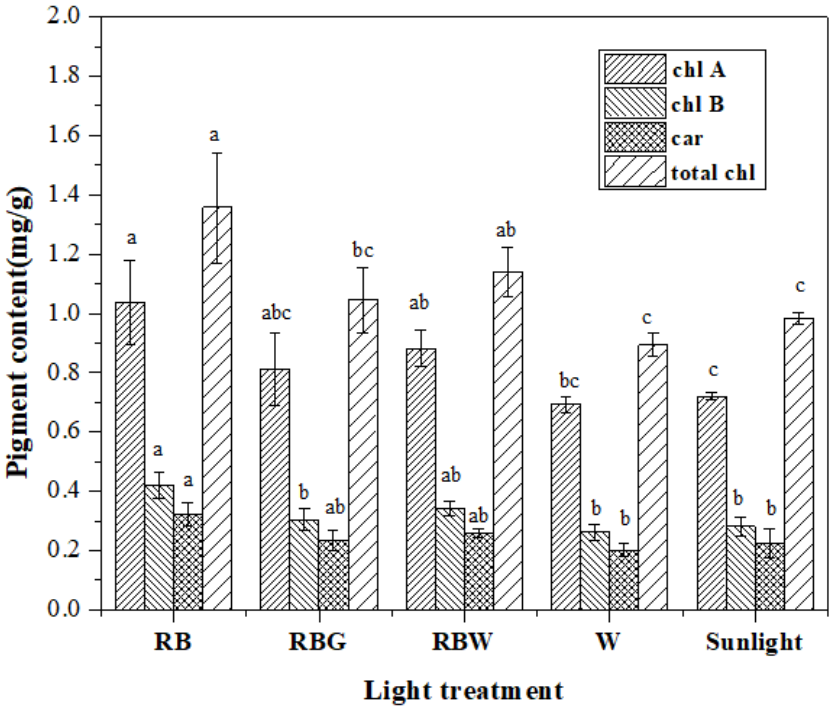
ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์บีของต้นอ่อนข้าวสาลี

ชนิดของแสง	ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
	ซ้ำที่1	ซ้ำที่2	ซ้ำที่3	เฉลี่ย
RB	0.468	0.314	0.359	0.381
RGB	0.292	0.348	0.274	0.305
RGBW	0.322	0.367	0.336	0.342
W	0.247	0.293	0.307	0.282
Sun	0.232	0.283	0.269	0.261

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนข้าวสาลี

ชนิดของแสง	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
	ซ้ำที่1	ซ้ำที่2	ซ้ำที่3	เฉลี่ย
RB	0.367	0.302	0.294	0.321
RGB	0.215	0.274	0.213	0.234
RGBW	0.246	0.273	0.254	0.258
W	0.175	0.211	0.219	0.202
Sun	0.177	0.279	0.216	0.224

ข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.3 จากรูปข้อมูลที่แสดงได้ใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย จากรูปที่พบว่า ในทรีทเมนต์ RB ให้ปริมาณ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และ แคโรทีนอยด์สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

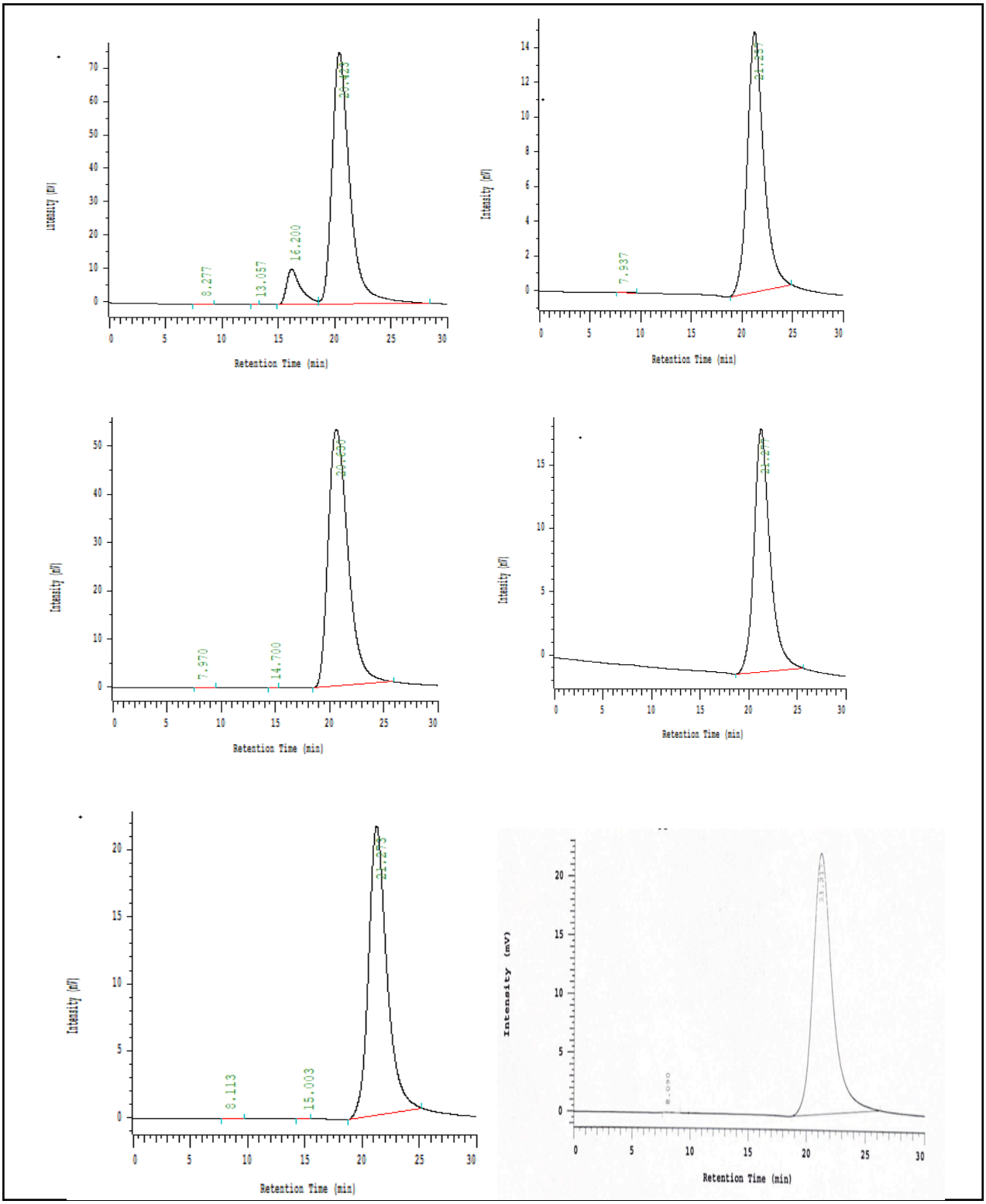


รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์

ปริมาณรงควัตถุพบนั้น ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้ทรีตเมนต์แสงสีน้ำเงิน สีแดงในอัตราส่วน 1:1 ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุดอยู่ที่ 1.231 มิลลิกรัมต่อกรัม คลอโรฟิลล์บีอยู่ที่ 0.4354 มิลลิกรัมต่อกรัม และแคโรทีนอยด์อยู่ที่ 0.3652 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณรงควัตถุในแสงสีแดงต่อสีน้ำเงินนี้มีค่ามากกว่าสีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[8,18] แสงที่ให้ปริมาณรงควัตถุต่ำที่สุดคือแสงอาทิตย์ เนื่องจากว่าแสงอาทิตย์เป็นแสงที่ไม่สามารถจควบคุมสภาพวะแสงได้อีกทั้งแสงอาทิตย์มีช่วงสเปกตรัมของแสงที่กว้าง ทำให้มีประสิทธิภาพการเพาะปลูกพืชที่ไม่ค่อยดีมากนัก จึงทำให้ได้ปริมาณรงควัตถุและการเจริญเติบโตน้อยตามไปด้วย

4.4 ปริมาณการสะสมน้ำตาลในต้นอ่อนข้าวสีที่ตรวจด้วยเครื่อง HPLC

ปริมาณน้ำตาลตรวจวัดได้จากการนำสารสกัดจากต้นอ่อนข้าวสาลีไปตรวจปริมาณสารด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้สารมาตรฐานเป็นน้ำตาล ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส จากการตรวจสอบพบว่าสารสกัดจากต้นอ่อนข้าวสาลีพบเพียงน้ำตาลฟรุกโตส ไม่พบน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคส อย่างไรก็ตามอาจจะเป็นผลมาจากระยะของต้นอ่อนข้าวในระยะแรกซึ่งมีบางงานวิจัยได้กล่าวว่าในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของพืชจะพบชนิดของน้ำตาลที่แตกต่างกัน จากการตรวจปริมาณสารน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4



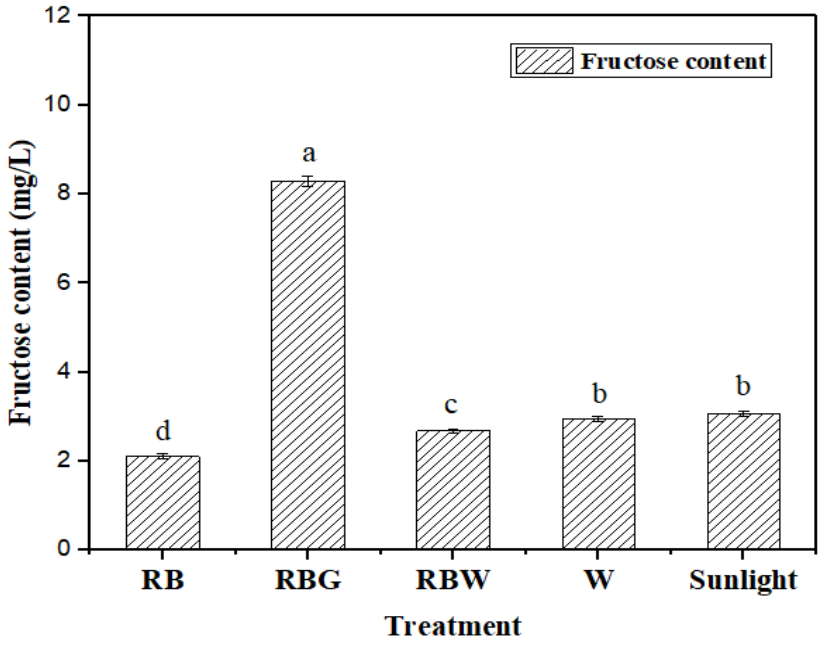
รูปที่ 4.4 ผลตรวจปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC ทั้ง 5 ตัวอย่าง

จากข้อมูลการตรวจ HPLC พื้นที่ใต้กราฟที่เวลาปริมาณ 20-25 นาทีเป็นเฟสของน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟที่ของสารตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของข้อมูลที่ตรวจด้วยเครื่อง HPLC

ชนิดของแสง	พื้นที่ใต้กราฟ
RB	1735637
RBG	6810650
RBW	2196439
W	2390626
Sunlight	2516510

จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC พบว่าในเงื่อนไข RBG จะให้ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสสูงที่สุดคือ 8.231 mg/L ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60

การที่พบเฉพาะน้ำตาลฟรุกโตสนั้นอาจจะเป็นผลมาจากระยะของต้นอ่อนข้าวสาลีซึ่งอาจอยู่ในช่วงการสะสมคาร์โบไฮเดรตเพื่อการเจริญเติบโตจึงมักจะพบแต่น้ำตาลฟรุกโตสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wlikinson และคณะ[16] สำหรับแสง RBG นั้นการเพิ่มแสงสีเขียวไปในแหล่งกำเนิดแสงอาจจะดูเหมือนว่าสีเขียวจะไม่ดูดกลืนโดยโครงสร้างใบไม้เพราะมีสีเขียว แต่ได้มีงานวิจัยของ Maและคณะ[6] ได้เคยศึกษาแล้วพบว่าเมื่อแสงสีเขียวเดินทางเข้าสู่โครงสร้างของใบไม้แล้วจะยังไม่ถูกดูดกลืนในทันที แต่จะถูกสะท้อนได้โดยคลอโรพลาสต์สู่คลอโรพลาสต์ แต่ละครั้งของการสะท้อนแสงสีเขียวจะถูกดูดกลืนที่ละน้อย ๆ กระบวนการการสะท้อนจะเกิดการสะท้อนซ้ำๆไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแสงสีเขียวถูกดูดกลืนจนหมดทำให้ทรีตเมนต์ RBG มีการดูดกลืนมากกว่าปกติเกิดการสร้างอาหารได้ดีมากขึ้นกว่าแสงสีอื่น อีกทั้งยังมีการศึกษาของ Choiและคณะ[15] เกี่ยวกับแสงสีน้ำเงินพบว่าแสงสีน้ำเงินมีส่วนทำให้ปริมาณน้ำตาลในต้นสตอร์เบอรี่มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับสีอื่น เนื่องจากมีปริมาณโฟตอนของแสงสี
น้ำเงินมาก

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ดำเนินการและกล่าวปัญหาที่พบในงานวิจัย และงานที่สามารถทำได้ในอนาคต

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลในต้นอ่อนข้าวสาลี ซึ่งน้ำตาลนั้นจะทำให้รสชาติของต้นอ่อนข้าวสาลีหวานขึ้น โดยการใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของแสงนั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นอ่อนข้าวสาลี ซึ่งแสงสีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว หรือ RBG นั้นส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสสูงมากที่สุด ในการทดลองนี้พบเฉพาะน้ำตาลฟรุกโตสนั่นแสดงให้เห็นว่าหากปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีในแหล่งกำเนิดแสง RBG จะช่วยให้ต้นอ่อนข้าวสาลีหวานมากขึ้นจากเดิม แสงจากธรรมชาตินั้นให้ปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสงจากไดโอดเปล่งแสง การเจริญเติบโตทางด้านกายภาพจะพบว่าแสงสีน้ำเงิน สีแดง ช่วยให้ต้นอ่อนข้าวสาลีมีน้ำหนักสด ความยาวของต้นที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณรงควัตถุต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสดง RB ให้ปริมาณรงควัตถุทั้งสามชนิดมากที่สุด ผลการทดลองนั้นสรุปลงในตารางที่ 5.1 ผลการทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่าการควบคุมปัจจัยทางแสงจะช่วยให้ต้นอ่อนข้าวสาลีนั้นมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น มีปริมาณรงควัตถุ และปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น โดยปกติแล้วการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีจะปลูกภายใต้แสงจากธรรมชาตินั่นคือแสงอาทิตย์ซึ่งมีช่วงสเปกตรัมกว้าง หลายความยาวคลื่นจึงไม่ตรงกับความต้องการของพืช อีกทั้งในหนึ่งวันมีปริมาณแสงไม่คงที่ ทำพืชได้รับแสงไม่เพียงพอต่อความต้องการ เพราะฉะนั้นการควบคุมปัจจัยทางแสงจะช่วยให้ต้นอ่อนข้าวสาลีหรือพืชชนิดอื่น ๆ นั้นมีการเจริญเติบโตที่ดีมากยิ่งขึ้น

สำหรับปัญหาที่พบในการทดลองนั้นคือการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีครั้งนี้ได้ปลูกในกระถางขนาด 12 นิ้ว ที่ โรยเมล็ดไว้ 150 เมล็ดต่อกระถาง เมื่อปลูกครบ 7 วัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีขึ้นรวมกันอย่างหนาแน่นส่งผลต่อการเจริญเติบโต มีการเจริญเติบโตที่ไม่เท่ากันบางเมล็ดไม่ขึ้นอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 5.1 แสดงภาพรวมข้อสรุปของการทดลองเงื่อนไขที่ดีที่สุด

ข้อมูล	ทรีตเมนต์
น้ำตาลฟรุกโตส	RBG
น้ำหนักสด	RBG
น้ำหนักแห้ง	RBW
คลอโรฟิลล์ เอ	RB
คลอโรฟิลล์ บี	RB
แคโรทีนอยด์	RB

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยการศึกษาผลกระทบของความยาวคลื่นแสงที่มีผลต่อต้นอ่อนข้าวสาลียังมีประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยได้อนาคตได้ดังนี้

1. การผสมไดโอดเปล่งแสงหลายสีเข้าด้วยกัน ทำให้อาจไม่ทราบได้แน่ชัดว่าผลการทดลองที่ได้นั้นเป็นผลมาจากความยาวคลื่นใด ในอนาคตหากมีผู้สนใจอาจจะใช้เป็นความยาวคลื่นเดียวเพื่อทำการเพาะปลูกและสังเกตผล

2. ในการทดลองนี้ใช้กระถางที่มีขนาดเล็กจึงทำให้ต้นอ่อนข้าวสาลีขึ้นรวมกันอย่างหนาแน่น หามีผู้สนใจทำในอนาคตผู้ทดลองแนะนำให้ให้ใช้ถาดเพาะปลูกขนาดใหญ่เพื่อลดความแออัดของต้นอ่อนข้าวสาลี

3. นอกจากต้นอ่อนข้าวสาลีจะมีรงคุวัตถุกับน้ำตาลแล้วยังมีแร่ธาตุอื่น ๆที่มีประโยชน์ อาทิ เช่น วิตามิน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ผู้ทดลองไม่ได้ตรวจวัดเพิ่มเติมสารอื่น ๆ ในอนาคตหากมีผู้สนใจสามารถใช้วิธีการทดลองแบบเดียวกันและสามารถนำไปวัดแร่ธาตุเพิ่มเติมได้

4. งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มปลูกต้นอ่อนข้าวสาลีได้ เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแหล่งกำเนิดแสงอาจจะใช้การนับจำนวนหลอด LED แทนการวัด PPFD เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน จะทำให้ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกภายใต้แสงจาก LED มีคุณภาพที่ดีมากขึ้น มีปริมาณน้ำตาลมากขึ้นสามารถขายได้ในราคาที่สูง

เอกสารอ้างอิง

[1] บุษราคัม จีนปิ้ง. ชมดาว ข้าจริง. 2560 ผลของวัสดุเพาะที่มีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำตาลของต้นอ่อนข้าวสาลี. การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยศิลปวัฒนธรรม ครั้งที่ 4.

[2] วารุณี ภู่สัจจพงษ์. อรพิน เกิดชูชื่น. และสิรินทรเทพ เต้าประยูร. 2546. น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ในรากและสารหลั่งรากของข้าวสุพรรณบุรี 1. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 339-350.

[3] สาธิต ปิ่นมณี. ศิลาวัน จันทรบุตร. กาญจนา พิบูลย์. 2555. การพัฒนาวัสดุเพาะและการใช้ประโยชน์จากกากต้นอ่อนข้าวสาลี. สัมนาวิชาการกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง 13-20.

[4] Chen, X.L., W.Z. Guo, X.Z. Xue, L.C. Wang and X.J. Qiao. 2014. Growth and quality responses of 'Green Oak Leaf' lettuce as affectedby mono-chromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp(FL) and light-emitting diode (LED). Scientia Horticulturae 172:168–175.

[5] Heo, J.W, K.S. Shin, S.K. Kim and K.Y. Paek. 2006. Light quality affects in vitro growth of grape 'Teleki 5BB7'. *Journal of Plant Biology* 49:276–280.

[6] Kuan, H.L., M.Y. Huangb, W.D. Huang, M.H. Hsu and Z.W. Yang and C.M. Yang. 2013. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (Lactuca sativaL. var. capitata). Scientia Horticulturae 150:86-91.

[7] Ma, X., Y. Wang, M. Liu, J. Xu and Z. Xu. 2015a. Effects of green and red lights on the growth and morphogenesisof potato (Solanumtuberosum L.) plantlets in vitro. Scientia Horticulturae 190:104–109.

[8] Ma, G., L. Zhang, M. Kato, K. Yamawaki, Y. Kiriiwa, M. Yahata, Y. Ikoma and H. Matsumoto. 2015b. Effect of the combination of ethylene and red LED light irradiation on carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in the flavedo of citrus fruit. *Postharvest Biology* and *Technology* 99:99–104.

[9] Tanaka, M., T. Takamura, H. Watanabe, M. Endo, T. Yanagi and K. Okamoto. 1998. *In vitro* growth of Cymbidium plantlets cultured under super bright and blue light emitting diodes (LEDs). *Journal of Horticultural Science* 73:39–44.

[10] Yan, L., X. Guofeng, W. Min, S. Qinghua, Y. Fengjuan, and W. Xiufeng. 2017. Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. Scientia Horticulturae 255:490–497.

[11] Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carote- noids: Pigments of photosynthetic biomembra- nes. *Methods Enzymol.* 148:350-382.

[12] Cicerrone R. J., C. C. Delwiche, S. C. Tyler, and P. R. Zimmerman, 1992, cMethane Emission from California Rice Paddies with Varied Treatmentsé, Global Biogeochemical Cycle, Vol. 6, No. 3, pp. 233-248.

[13] Choi, H. G., Moon, B. Y., & Kang, N. J. (2015). *Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. Scientia Horticulturae, 189, 22–31.*

[14] Wilkinson, R., 1994, Plant-environment Interactions, Marcel Dekker, US., 599 pp.

[15] Chen, W.-C., Lai, T.-T., Wang, M.-W., & Hung, H.-W. (2011). *An optimization system for LED lens design. Expert Systems with Applications, 38(9), 11976–11983.*

[16] Li H, Xu Z, Tang C (2010) Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (Gossypium hirsutum L.) plantlets in vitro. Plant Cell Tissue Organ Cult 103:155–163

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล	ศิริชัย สาตร์พันธุ์
วัน/ เดือน/ปีเกิด	27 ตุลาคม พ.ศ. 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	161/58 หมู่ 10 ตำบลคลองมะเดื่อ อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยม โรงเรียนกระทุ่มแบนวิเศษสมุทคุณ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง