



โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของการให้แสงแอลอีดีในรูปแบบที่แตกต่างกันต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล (*Lactuca sativa* L.)
Effects of different LED lighting patterns on growth and antioxidant quantity in red and green coral lettuces (*Lactuca sativa* L.)

ชื่อนิสิต นางสาวพรปวีณ์ ฤทัยมณีเกษม **เลขประจำตัวนิสิต** 6032135023

ภาควิชา พฤษศาสตร์
ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของการให้แสงแอลอีดีในรูปแบบที่ต่างกันต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ
ในผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล (*Lactuca sativa* L.)

นางสาวพรปวีณ์ ฤทัยมณีเกษม
6032135023

โครงการวิทยาศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

Effects of different LED lighting patterns on growth and antioxidant quantity
in red and green coral lettuces (*Lactuca sativa* L.)

Miss Pornpawee Ruethaimaneekasem
6032135023

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of Bachelor of Science

Botany program, Department of Botany

Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2020

ชื่อโครงการวิทยาศาสตร์ (ภาษาไทย) ผลของการให้แสงแอลอีดีในรูปแบบที่แตกต่างกันต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล (*Lactuca sativa* L.)

ชื่อโครงการวิทยาศาสตร์ (ภาษาอังกฤษ) Effects of different LED lighting patterns on growth and antioxidant quantity in red and green coral lettuces (*Lactuca sativa* L.)

ชื่อนิสิต นางสาวพรปวีณ์ ฤทัยมณีเกษม


ภาควิชา พฤกษศาสตร์


สาขาวิชา พฤกษศาสตร์


อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ชัยวนนท์

ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาพฤกษศาสตร์อนุมัติให้โครงการวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑามาศ ชัยวนนท์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธิดา โฆษิตทรัพย์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญชลี ใจดี)

ชื่อเรื่อง	ผลของการให้แสงแอลอีดีในรูปแบบที่แตกต่างต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล (<i>Lactuca sativa</i> L.)
ชื่อนิสิต	นางสาวพรปวีณ์ ฤทัยมณีเกษม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ชัยวนนท์
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
ภาควิชา	พฤกษศาสตร์
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

การปลูกพืชโดยใช้แสงเทียม เช่น แอลอีดี สามารถกำหนดช่วงคลื่นแสง เวลาที่ให้แสง หรือความเข้มแสงซึ่งมีผลต่อการเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระของพืชได้ การทดลองศึกษาครั้งนี้ ศึกษาอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินและระยะเวลาที่ให้แสงต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดชนิดเรดโครอลและกรีนโครอล โดยศึกษาผ่านการวัดน้ำหนักสด ความกว้างของทรงพุ่ม ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์การต่อต้านสารอนุมูลอิสระ โดยอัตราส่วนแสงสีแดง (R) ต่อแสงสีน้ำเงิน (B) ได้แก่ 1R:1B, 1R:2B และ 2R:1B และระยะเวลาของการให้แสง ได้แก่ (1) ให้แสง 6 ชั่วโมง, มีด 6 ชั่วโมง, ให้แสง 6 ชั่วโมง และ มีด 6 ชั่วโมง (2) ให้แสง 12 ชั่วโมง และมีด 12 ชั่วโมง และ (3) ให้แสง 24 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 12 การทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง) และมีค่า Daily Light Integral (DLI) เท่ากัน ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งผลการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักสดและความกว้างทรงพุ่มทุกการทดลองในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสูง คือ $R^2 = 0.72$ และ $R^2 = 0.88$ ตามลำดับ และผักสลัดทั้งสองชนิดภายใต้การให้แสงอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 มีน้ำหนักสดสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น รวมถึงการให้แสง 24 ชั่วโมงมีแนวโน้มต่อน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้น และพบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดอายุ 42 วันของผักสลัดทั้งสองชนิดภายใต้อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 สูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น ทั้งนี้ผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระโดยวัดเป็นร้อยละ สูงกว่าผักสลัดกรีนโครอล จากการศึกษาครั้งนี้สามารถระบุได้ว่าคุณภาพของแสงและระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันและการเลือกใช้อัตราส่วนของแสงและระยะเวลาการให้แสงแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะให้พืชมีลักษณะอย่างไร

คำสำคัญ: *Lactuca sativa* L., แอลอีดี, อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน, ระยะเวลาการให้แสง, สารต้านอนุมูลอิสระ

Title	Effects of different LED lighting patterns on growth and antioxidant quantity in red and green coral lettuces (<i>Lactuca sativa</i> L.)
Student name	Pornpawee Ruethaimaneekasem
Senior project advisor	Assist. Prof. Dr. Juthamas Chaiwanon
Program	Botany
Department	Botany
Academic year	2020

Abstract

Artificial lighting such as light-emitting diodes (LEDs) allows manipulation of light wavelengths, photoperiod and light intensity, which affect not only plant growth and development but also antioxidant production. This research aims to study effects of ratios of red and blue light and photoperiod on biomass, canopy size, anthocyanin production and antioxidant capacity of green and red coral lettuce. The plants were given white light (W) or different ratios of red and blue light (R:B) including 1:1, 1:2 and 2:1. For each light, three different light (L) and dark (D) cycles were tested, including (1) 6 h L, 6 h D, 6 h L and 6 h D, (2) 12 h L and 12 h D, and (3) 24 h L. All 12 conditions (4 light patterns x 3 photoperiods) received similar daily light integral. A completely randomized design was used, and the experiments were repeated twice. Correlation analysis of plant fresh weight and canopy of every condition showed high correlation. The result showed that red coral and green coral lettuce grown with LEDs in the ratio of 2:1 had the highest fresh weight, and the continuous lighting (24 h) of all ratios tested led to higher fresh weight. The ratio of 1:2 showed the highest anthocyanin levels and radical scavenging activity in both cultivars, although the red coral lettuce showed much higher levels. This study suggested that different light quality and photoperiods affected plant growth and antioxidant activity differently and that the light combination should be chosen based on desired effects on plants and cultivars.

Keyword: *Lactuca sativa* L., light-emitting diodes (LEDs), the ratio of red and blue light, photoperiod, antioxidant

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ชัยวนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิทยาศาสตร์ ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำปรึกษาต่าง ๆ ตลอดจนการแก้ไขและตรวจทานโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์จนสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ใจดี กรรมการสอบโครงการวิทยาศาสตร์ที่กรุณาเสียสละเวลาในการตรวจสอบและแก้ไขโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโครงการเรียนการสอนเพื่อประสบการณ์ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาสับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาพืชและห้องปฏิบัติการกลาง ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ใช้อุปกรณ์และสถานที่สำหรับการวิจัยในโครงการวิทยาศาสตร์นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ตลอดระยะเวลา 4 ปี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้และชีวิตประจำวันได้

ขอขอบพระคุณพี่น้องสัตบุรุษไทและปรีญาเอก โดยเฉพาะนางสาวเกวลิ จันทะโพธิ์ และนายสมภพ พิณิจ ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดการทำงานโครงการวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนโครงการวิทยาศาสตร์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณเพื่อนชาวบอตันและนายทรงกลด วงศ์เจริญที่คอยช่วยเหลืออย่างเต็มที่และเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณตนเองที่ตั้งใจและอดทนพยายามกับการทำโครงการวิทยาศาสตร์ครั้งนี้ตลอดระยะเวลาเกือบ 1 ปีจนสำเร็จลุล่วง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. การตรวจสอบเอกสาร.....	3
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการ.....	8
4. ผลการศึกษา.....	13
5. อภิปรายผลการศึกษา.....	25
6. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	30
เอกสารอ้างอิง.....	32
ภาคผนวก ก.....	41
ภาคผนวก ข.....	43
ภาคผนวก ค.....	49

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1	น้ำหนักสดของผักสลัดเรดโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 13
2	น้ำหนักสดของผักสลัดกรีนโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 14
3	น้ำหนักสดของผักสลัดเรดโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 14
4	น้ำหนักสดของผักสลัดเรดโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 15
5	กราฟ scatter plot ระหว่างน้ำหนักสดและความกว้างทรงพุ่มภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 โดยรวมทุกช่วงอายุและชนิดพันธุ์ของผักสลัด..... 16
6	ค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงของใบในผักสลัดเรดโครอล (สีแดง) และกรีนโครอล (สีเขียว) ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ในทุกช่วงอายุ..... 17
7	ลักษณะสีใบของผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอล..... 18
8	ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดเรดโครอลในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 20
9	ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดกรีนโครอลในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 21
10	ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดเรดโครอลในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 21
11	ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดกรีนโครอลในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน..... 22

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 รูปแบบการให้แสงแอลอีดี.....	10
2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในการทดลองครั้งที่ 1.....	18
3 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในการทดลองครั้งที่ 2.....	19
4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2.....	23
5 ความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดเรดโครอลในการทดลองครั้งที่ 2.....	24

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อาหารเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งความนิยมในการกินอาหารปัจจุบันนี้คือ การกินเพื่อดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะการกินผัก ซึ่งเป็นอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เพราะภายในผักมีสารต้านอนุมูลอิสระ อาทิ แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการทำงานของร่างกาย อนึ่งพืชนั้นต้องใช้แสงเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตรวมถึงกระบวนการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ และสารประเภทอื่นภายในพืชเอง (Walters, 2005; Matsuda et al., 2007; Perez et al., 2008) ทั้งนี้ประเภทผักที่ได้รับความนิยม เนื่องด้วยราคาและหาบริโภคได้ง่าย คือ ผักสลัด อาทิ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค ผักกาดแก้ว เรดโครอล กรีนโครอล เป็นต้น

แสงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมากโดยปัจจัยของแสง ได้แก่ ความยาวคลื่นแสง (light wavelength) ความเข้มแสง (light intensity) และช่วงเวลาที่ได้รับแสงต่อวัน (photoperiod) (Taiz and Zeiger, 1991) ซึ่งในแต่ละปัจจัยส่งผลต่อพืชในรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชนั้นยังมีข้อมูลที่ไม่แน่ชัดขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Kim et al., 2005) แต่จากการศึกษาพบว่าช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงมีผลต่อการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีการดูดกลืนแสงช่วงคลื่นดังกล่าวได้มากที่สุด (McCree, 1972; Okamoto et al., 1996) และพืชยังมีตัวรับแสง (photoreceptors) ในช่วงคลื่นดังกล่าวซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตรวมถึงกระบวนการผลิตสารต่าง ๆ ภายในพืช (Bourget, 2008; Massa et al., 2008; Morrow, 2008) นอกจากนี้ ความเข้มแสงและช่วงเวลาที่ได้รับแสงต่อวันส่งผลเป็นอย่างมากต่อพืชว่าจะมีการกระตุ้นหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชและกระบวนการต่าง ๆ ภายในพืชได้ (Briggs et al., 2001; Briggs and Olney, 2001; Clouse, 2001)

กระบวนการผลิตสารต่าง ๆ โดยเฉพาะการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระนั้นมีความสำคัญต่อร่างกายของมนุษย์ และจากการศึกษาพบว่าแสงในช่วงคลื่นต่าง ๆ กันทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิโตออกซิเดชันในระดับที่แตกต่างกัน จึงทำให้ระบบกำจัดอนุมูลอิสระ (antioxidant defense system) เปลี่ยนแปลงไป โดยจะทำให้ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น อาทิ แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Samuolienė et al., 2010) ทั้งนี้มีการศึกษาปริมาณสารอาหาร รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดหลายชนิดนั้นมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของผักสลัด (Mou, 2009)

การใช้แสงเทียม (artificial lighting) ในอุตสาหกรรมการปลูกผักนั้นทำให้มีประสิทธิภาพต่อการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อผักให้ได้ในปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมได้ อาทิ ความเข้มแสง รูปแบบการให้แสง ระยะเวลาในการให้แสง เป็นต้น (Samuolienė et al., 2011) และการปลูกผักโดยใช้แสงเทียมนั้นเป็นที่นิยมสำหรับการปลูกผักใบเขียวและสมุนไพรต่าง ๆ ซึ่งเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในหลายประเทศ (Kozai, 2013) ปัจจุบันการปลูกผักมีการใช้ระบบแสงที่สามารถควบคุมช่วงคลื่นแสงและระยะเวลาในการให้แสงกับพืชได้ รวมถึงผักสลัด ซึ่งระบบแสงที่นิยมใช้ คือ แสงแอลอีดี (Light-Emitting Diodes, LEDs) เนื่องจากใช้กระแสไฟฟ้าในปริมาณน้อย รวมถึงมีการถ่ายเทความร้อนต่ำ หลอดขนาดเล็ก และมีอายุการใช้

งานนานเมื่อเทียบกับการใช้แสงเทียมในรูปแบบอื่น อาทิ หลอด high-pressure sodium และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น (Ohtake et al., 2015; Tamulaitis et al., 2005) และจากการศึกษาพบว่าการใช้ช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน (400-500 nm) และแสงสีแดง (600-700 nm) มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก รวมทั้งในเรื่องประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและรงควัตถุต่าง ๆ (Abidi et al., 2013; Massa et al., 2008; Pfündel and Baake, 1990; Yamori et al., 2016; Yamori and Shikanai, 2016)

จากผลการศึกษาพบว่าการใช้แสงสีน้ำเงินหรือแสงสีแดงช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การให้แสงสีแดงเพียงช่วงคลื่นเดียวนั้นลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แสงสีน้ำเงินและสีแดงพร้อมกันหรือการใช้แสงสีขาว (Goins et al., 1998; Wang et al., 2015) หรือการใช้แสงสีน้ำเงินเพียงช่วงคลื่นเดียวนั้นลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและส่งผลกระทบต่อตอบสนองของคลอโรพลาสต์ (Kim et al., 2004; Loreto et al., 2009; Tholen et al., 2008; Wada et al., 2003) จึงสรุปได้ว่าการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับแสงสีแดงเหมาะสมมากกว่าการใช้แสงเพียงชนิดเดียว และมีการรายงานผลว่าการเจริญเติบโตของผักสลัดยังขึ้นอยู่กับรูปแบบการให้แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดง กล่าวคือ ได้แก่ การให้แสงทั้งสองสลับ (alternating lighting) เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตในกลุ่มของผักสลัดชนิด leafy (Kuno et al., 2017) ในขณะที่การให้แสงทั้งสองสีพร้อมกัน (simultaneous lighting) เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตในผักสลัดชนิดคอสมอส (Jishi et al., 2016)

การควบคุมการให้แสงแอลอีดีในการปลูกพืชให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความยาวคลื่นแสง ความเข้มแสง และช่วงเวลาที่ได้รับแสง โดยให้พืชได้รับปริมาณแสงที่พืชต้องการต่อวัน (Daily Light Integral, DLI) เหมาะสมต่อชนิดของพืชจะสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในพืชโดยใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดได้ โครงการนี้ต้องการศึกษาผลของการให้แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงในรูปแบบที่ต่างกัน ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล ซึ่งเป็นผักสลัดในกลุ่ม leafy โดยในการศึกษานี้จะปลูกผักสลัดในระบบไร้ดิน (hydroponics) และวัดการเจริญเติบโตด้วยการเปรียบเทียบน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ลักษณะสัณฐานวิทยา การดูดกลืนแสงของใบ และตรวจวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการให้แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงในรูปแบบที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงรูปแบบของการให้แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ในผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล และนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการปลูกผักสลัดชนิดอื่น ๆ ได้

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร

2.1 ผักสลัด

ผักสลัด (ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Lactuca sativa* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) เป็นผักประเภทหนึ่งที่มีความนิยมในการบริโภคและเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก และสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี อนึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการปลูกไม่ให้อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินมาตรฐานที่ผักสลัดควรจะได้รับ (Ryder, 1979) ทั้งนี้ผักสลัดถือว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เพราะอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการสูง อาทิ แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส เป็นต้น (Watt and Merrill, 1963) รวมถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่สูง อาทิ วิตามินซี แคโรทีนอยด์ สารประเภทฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น (Nicolle et al., 2004)

ประเภทของผักสลัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทโดยใช้เกณฑ์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาบางประการ ดังนี้ (Thompson, 1944; Rodenburg, 1960)

1. ผักสลัดชนิด crisphead หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า iceberg lettuce มีลักษณะใบที่ห่อเป็นหัวแน่น มีขนาดใหญ่ ใบมีลักษณะกรอบและใบทางด้านนอกมีสีเขียวเข้มและมีสีเหลืองอ่อนทางด้านใน โดยผักสลัดชนิดนี้มีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ได้แก่ พันธุ์ Great Lake, Vanguard, Salinas เป็นต้น
2. ผักสลัดชนิด butterhead มีลักษณะใบที่ห่อกลายเป็นหัวกลม ใบอ่อนนุ่ม ผิวใบมีลักษณะลื่นๆ ได้แก่ พันธุ์ White Boston, Big Boston, Buttercrunch เป็นต้น
3. ผักสลัดชนิด cos หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Romaine Lettuce มีลักษณะใบที่ห่อเป็นแนวยาว ใบทางด้านนอกสีเขียวเข้มและมีสีเหลืองอ่อนทางด้านใน ได้แก่ พันธุ์ Paris Island, Valmaine เป็นต้น
4. ผักสลัดชนิด leaf ผักสลัดชนิดนี้มีความหลากหลายของสีใบ ความทนต่อสภาพอากาศได้แตกต่างกัน แต่โดยปกติผักสลัดชนิดนี้จะลักษณะของใบที่ไม่ห่อเป็นหัว ใบมีลักษณะหยาบและกว้าง ได้แก่ พันธุ์ Prizehead, Salad Bowl, Grand Rapids เป็นต้น
5. ผักสลัดชนิด stem มีลักษณะของลำต้นยาวและอวบ ใบมีขนาดเล็ก ไม่มีการห่อของใบ ได้แก่ พันธุ์ Celtuce
6. ผักสลัดชนิด latin มีลักษณะการห่อของใบหลวม และใบมีลักษณะยาวคล้ายกับผักสลัดชนิด cos ได้แก่ พันธุ์ Gallega, Criolla Verde, Criolla Blanca เป็นต้น

2.2 แอลอีดี

แอลอีดีหรือไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diodes, LEDs) คืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ให้แสงเทียม โดยสามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมที่แคบได้ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทดแทนแสงธรรมชาติได้ (Gupta and Jatothu, 2013)

การใช้แอลอีดีนั้นถือเป็นนวัตกรรมที่ช่วยเพิ่มโอกาสในการศึกษาเกี่ยวกับด้านเพาะปลูก (cultivation) และด้านการปลูกพืชสวน (horticulture) เนื่องจากแอลอีดีมีคุณสมบัติในการกำหนดช่วงคลื่นแสง (light wavelength) ที่จะศึกษาได้ รวมถึงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านออกมาต่ำ และมีอายุการใช้งานนาน (Okamoto et al., 1996; Ilieva et al., 2010) ทำให้สามารถควบคุมปัจจัยในการทดลองได้เป็นอย่างดี

การกำหนดช่วงคลื่นแสงของแอลอีดีนั้นสามารถที่จะทำการแบ่งแยกเป็นช่วงคลื่นแสงต่าง ๆ หรือรวมช่วงคลื่นแสงเข้าด้วยกันได้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการศึกษา โดยความหลากหลายของช่วงคลื่นแสงนี้ จะทำให้ส่งผลต่อความแตกต่างในการเจริญเติบโตของพืช (Morrow, 2008) ทั้งนี้พบว่าช่วงคลื่นแสงจะกระตุ้นตัวรับแสง (photoreceptor) อาทิ phytochromes และ cryptochromes เป็นต้น ซึ่งจะนำไปสู่การควบคุมลักษณะทางสัณฐานวิทยา (photomorphogenesis) ทำให้พืชนั้นมีการเจริญเติบโต (Carvalho et al., 2011) และจากการศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระในพืชชนิดต่าง ๆ นั้นถูกสร้างขึ้นจากการได้รับแสงจากแอลอีดี อาทิ ผักสลัด เป็นต้น (Li and Kubota, 2009; Ohashi-Kaneko et al., 2007)

ค่าพื้นฐานของแสงแอลอีดีซึ่งจำเป็นต้องถูกกำหนดเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก ซึ่งประกอบด้วยค่าชนิดต่าง ๆ ดังนี้ (Kelly et al., 2020)

1. Photosynthetically active radiation (PAR) หรือ photon spectrum เป็นค่าของความยาวคลื่นแสง 400-700 นาโนเมตรซึ่งพืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้
2. Photosynthetic photon flux density (PPFD) เป็นค่าที่แสงตกกระทบบนพื้นผิวของพืชต่อพื้นที่ ซึ่งสามารถวัดค่าความเข้มแสง (light intensity) ได้
3. Daily light integral (DLI) เป็นค่าที่พืชได้รับปริมาณแสงภายใน 1 วัน

โดยค่าเหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญต่อการนำมาปรับใช้ให้เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงต้นทุนในการใช้แสงเทียมนี้

นอกจากนี้การศึกษาพบว่าพืชนั้นใช้พลังงานในการสังเคราะห์แสงรวมถึงการนำพลังงานนี้ชักนำให้เกิดกระบวนการตอบสนองทางสรีรวิทยา โดยอาศัยคุณภาพแสง (light quality) ความเข้มแสง (light intensity) และระยะเวลาการให้แสง (photoperiod) เป็นตัวชักนำในการเกิดกระบวนการเหล่านี้ (Jiao et al., 2007) โดยทั้ง 3 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยแสงที่ต้องมี นอกจากนี้ยังส่งผลต่อพืชในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยคุณภาพแสงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและกระบวนการสร้างสารประกอบทุติยภูมิ (Shohael et al., 2006; Gupta and Jatothu, 2013) และมีการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ในต้นอ่อนของ *Fagopyrum tataricum* พบว่าความเข้มแสงและช่วงเวลาที่ได้รับแสงต่อวันทำให้เกิดความหลากหลายขององค์ประกอบและความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก (Lee et al., 2014; Thwe et al., 2014; Seo et al., 2015) นอกจากนี้ระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมกับพืชนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของพืช

รวมถึงลักษณะการให้แสง เช่น การให้แสงทั้งสองสลับแบบสลับ (alternating lighting) การให้แสงทั้งสองพร้อมกัน (simultaneous lighting) เป็นต้น ช่วงเวลาในการให้แสงแอลอีดีในรูปแบบที่ต่างกันั้น (Zhang et al., 2015; Chen et al., 2016) ส่งผลให้การเติบโตมีความหลากหลาย ทั้งนี้การให้แสงแอลอีดีช่วงคลื่นแสงสีแดงและสีน้ำเงินแบบสลับกับผักสลัดชนิด leafy พันธุ์ Summer Surge โดยให้ช่วงคลื่นสีแดง 12 ชั่วโมง และช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน 12 ชั่วโมง (R12/B12) อัตราการเจริญเติบโตมากกว่าการให้ช่วงคลื่นสีแดง 18 ชั่วโมง และช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน 6 ชั่วโมง (R18/R6) และการให้ช่วงคลื่นแสงสีแดงและสีน้ำเงินพร้อมกัน 16 ชั่วโมง (RB16) และ 24 ชั่วโมง (RB24) ซึ่งจากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าการให้แสงตลอดเวลาและให้ในรูปแบบสลับของช่วงคลื่นแสงสีแดงและสีน้ำเงิน สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตได้ โดยวัดจากน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความกว้าง และความสูงของลำต้น จำนวนใบ (Ohatake et al., 2018)

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแอลอีดีเป็นอุปกรณ์แสงที่จะช่วยในเรื่องของการเจริญเติบโตของพืช การเกิดกระบวนการในการสร้างสารชนิดต่าง ๆ ภายในพืชได้เป็นอย่างดี

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือสารที่มีความสามารถยับยั้งกระบวนการ oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) อาทิ superoxide (O_2^{\bullet}), peroxide (ROO^{\bullet}), hydroxide (HO^{\bullet}) เป็นต้น ซึ่งจัดอยู่ในประเภท reactive oxygen species (ROS) โดยถูกสร้างได้จากหลายกระบวนการ ทั้งสร้างภายในระบบภูมิคุ้มกันของมนุษย์ และได้รับจากภายนอกร่างกายจากมลพิษทางอากาศ อาทิ คาร์บอนหรือแม้กระทั่งได้รับจากการใช้สารอินทรีย์และยาฆ่าแมลง (Halliwell and Gutteridge, 1989)

อนุมูลอิสระเหล่านี้มีความว่องไวต่อการทำลายเซลล์และสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ อาทิ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก เป็นต้น (Halliwell and Gutteridge, 1990) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคชนิดต่าง ๆ อาทิ มะเร็ง โรคหัวใจ เบาหวาน มาลาเรีย เป็นต้น (Alho and Leinonen 1999; Duh 1998; Hertog et al., 1993; Tanizawa et al., 1992) จากการศึกษาพบว่าพืชสามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (natural antioxidant) เพื่อต่อต้าน ROS ให้พืชนั้นสามารถอยู่รอดต่อไปได้ (Lu and Foo, 1995)

สารต้านอนุมูลอิสระจากพืช ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) เช่น สารประเภทโทโคฟีรอล สารประเภทฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก (Gülcin, 2012) ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์เป็นอย่างมาก (Arnous et al., 2001) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาพบว่าคลอโรฟิลล์ และอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ เช่น คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี ฟิโอไฟตินเอ ฟิโอไฟตินบี เป็นต้น ซึ่งเป็นสารประกอบปฐมภูมิ (primary metabolites) มีหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงเป็นหลัก (Khandelwal et al., 2014) มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ด้วย (Lanfer-Marquez et al., 2005)

เทคนิคในการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นอยู่กับวิธีการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน คือ ปฏิกิริยา HAT (hydrogen atom transfer) และปฏิกิริยา SET (single electron transfer) ซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละวิธีที่มาจาก 2 ปฏิกิริยานั้นไม่แตกต่างกัน แต่ผลงานจลนกับปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นนั้นมีความแตกต่างกัน

สำหรับเทคนิคที่ใช้พื้นฐานของปฏิกิริยา HAT สารต้านอนุมูลอิสระนั้นจะยับยั้งอนุมูลอิสระโดยการให้ไฮโดรเจน (hydrogen donation) ไปจับกับอนุมูลอิสระ โดยใช้พลังงานในการแตกตัวประมาณ -10 kcal/mol และสร้างพันธะไฮดรอกซิลน้อยกว่า -36 kcal/mol ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเพียงไม่กี่วินาที รวมถึงปฏิกิริยานี้ไม่ขึ้นกับความเป็นกรดเบสและตัวทำละลาย อนึ่งไม่ควรใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ อาทิ ไอออนโลหะ เนื่องจากจะทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงขึ้นได้ (Prior et al., 2005; Miguel, 2010) เทคนิคที่ใช้พื้นฐานของปฏิกิริยา HAT มีดังนี้ (Huang et al., 2005)

1. Crocin-bleaching assays
2. Chemiluminescent assay
3. Inhibition of induced LDL oxidation
4. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC)
5. Total radical-trapping antioxidant parameter (TRAP)
6. Total oxyradical scavenging capacity assay (TOSCA)

สำหรับเทคนิคที่ใช้พื้นฐานของปฏิกิริยา SET สารต้านอนุมูลอิสระนั้นเกิดการแตกตัวให้โปรตอน (deprotonation) และสามารถสร้างพันธะไฮดรอกซิลกับหมู่ฟังก์ชันได้ ซึ่งปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับความเป็นกรดเบส โดยการสร้างพันธะไฮดรอกซิลนั้นจะใช้พลังงานสูงถึง -45 kcal/mol ซึ่งปฏิกิริยานี้มีกระบวนการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอนที่ดำเนินไปอย่างช้า ๆ จนเสร็จสิ้นปฏิกิริยา ดังนั้นการสังเกตความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ลดลงมากกว่าจลศาสตร์ที่เกิดขึ้น รวมถึงการลดลงของหมู่โลหะ หมู่คาร์บอนิล และอนุมูลอิสระด้วย (Lemanska et al., 2001; Prior et al., 2005; Wright et al., 2001) อนึ่งไม่ควรใช้สารที่ปนเปื้อน อาทิ เหล็ก เนื่องจากจะทำให้เกิดความแปรปรวนของปฏิกิริยานี้สูง ซึ่งจะทำให้ผลการทดลองเกิดความไม่สม่ำเสมอขึ้น (Huang et al. 2005) เทคนิคที่ใช้พื้นฐานของปฏิกิริยา SET มีดังนี้ (Gülcin, 2012)

1. Cupric ions (Cu^{2+}) reducing antioxidant power (CU-PRAC) assay
2. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH \cdot) scavenging
3. 2,2-Azinobis 3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid radical (ABTS \cdot^+) scavenging assay
4. Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay
5. N,N-dimethyl-p-phenylenediamine radical (DMPD \cdot^+)
6. Total antioxidant potential assay โดยใช้ Cu^{2+} complex เป็นตัวออกซิไดซ์
7. Folin-Ciocalteu reagent (FCR) assay
8. Trolox equivalence antioxidant capacity (TEAC) assay

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระนั้นมีหลากหลายวิธีดังที่กล่าวข้างต้น อนึ่งการทดสอบที่นิยมนำมาใช้ อย่างแพร่หลาย คือ วิธี 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH \cdot) scavenging โดยการทดสอบนี้

จะใช้สาร 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียรโดยมีอิเล็กตรอนคู่เดี่ยวในตำแหน่ง Nitrogen bridge (Eklund et al., 2005) และทำการวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (Sharma and Bhat, 2009)

วิธีที่นิยมลำดับต่อมา คือ วิธี folin-ciocalteu reagent (FCR) assay ซึ่งเป็นวิธีการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในธรรมชาติทั้งหมด (Prior et al., 2005) โดยใช้สาร FCR phenol reagent หรืออาจเรียกอีกชื่อว่า gallic acid equivalence method (GAE) และทำการวัดความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ reagent และวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750-765 นาโนเมตร (Singleton, Orthofer and Lameula-Ravento, 1999)

นอกจากนี้การสกัดคลอโรฟิลล์สามารถใช้วิธีการสกัดโดย methanol, ethanol และ acetone ได้ และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร (Kaushal, Sharma and Attri, 2013)

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการ

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์

3.1.1.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลองการให้แสงในรูปแบบที่แตกต่างกัน

- ชุดแผงไฟแอลอีดี ได้แก่ หลอดสีขาว หลอดสีแดง และสีน้ำเงิน
- กระจกขนาด 21 cm x 32 cm x 11 cm
- แผ่นหลุมปลูก 35 หลุม
- ฟองน้ำสำหรับเพาะต้นกล้า
- กระจกสำหรับเพาะต้นกล้า
- โครงทอพีวีซีขนาด 40 cm x 40 cm x 70 cm
- เมล็ดผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล
- ป้อนออกซิเจน รุ่น Super Percision airpump 9000
- Aluminium Foil ขนาด 7.62 m
- ตาข่ายกรองแสง 5 เมตร
- Timer รุ่น TS-MT4 (China)
- Photometer รุ่น Lighting Passport (Asensetek)
- pH Meter รุ่น ExStik[®] Waterproof (Extech Instruments)
- EC Meter รุ่น COM-100 (HM Digital Inc., USA)

3.1.1.2 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

- Polypen รุ่น RP400 (Photon System Instruments, Czech Republic)
- Microplate reader รุ่น SpectraMax M3 Multi-Mode (Molecular Device, USA)
- Microcentrifuge รุ่น Sorvall Legend MICRO 21 (Thermo Scientific, USA)

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารเคมีสำหรับการผสมปุ๋ยสูตร Enshi nutrient solution

- Calcium nitrate tetrahydrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- Potassium nitrate (KNO_3)
- Magnesium sulfate heptahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Monoammonium phosphate ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)
- Boric acid (H_3BO_3)
- Zinc sulfate heptahydrate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

- Manganese sulfate tetrahydrate ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- Copper sulfate pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- Sodium molybdate dihydrate ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

3.1.2.2 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

3.1.2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี

- Methanol

3.1.2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

- Hydrochloric acid (HCl) ต่อ methanol อัตราส่วน 1:99 (v/v)
- Chloroform

3.1.2.2.3 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

- Methanol
- สารละลายเจือจาง Folin-Ciocalteu reagent (FCR)
- Na_2CO_3 ความเข้มข้น 7.5%

3.1.2.2.4 วิเคราะห์ radical scavenging activity

- Ethanol ความเข้มข้น 80 %
- DPPH radical 1 mL

3.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

3.2.1 เตรียมชุดแผงไฟแอลอีดีและอุปกรณ์ตั้งเวลา (timer) โดยกำหนดให้มีชุดการทดลองที่ใช้แสงแอลอีดี 4 ชุด ดังตารางที่ 3.1 ติดตั้งภายใต้โต๊ะปลูกพืชในโรงเรือนภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคลุมบริเวณที่ทำการทดลองใต้โต๊ะปลูกด้วย aluminium foil ในโครงสร้างแอลอีดี และคลุมด้วยตาข่ายกรองแสงรอบโต๊ะเพื่อป้องกันแสงจากภายนอก วัดความยาวคลื่นและปริมาณแสงด้วย photometer ให้ได้ค่าที่เหมาะสมตามชุดการทดลอง โดยมีค่า daily light integral (DLI) เท่ากับ $6.9 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ และค่า photosynthetic photon flux density (PPFD) อยู่ระหว่าง $215 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Pennisi et al., 2019)

ตารางที่ 1 รูปแบบการให้แสงแอลอีดี

เวลา ชุดการทดลอง	รูปแบบการให้แสง	6:00-12:00	12:00-18:00	18:00-24:00	00:00-06:00
W	รูปแบบที่ 1	W		W	
	รูปแบบที่ 2	W	W		
	รูปแบบที่ 3	W	W	W	W
1R:1B	รูปแบบที่ 1	1R:1B		1R:1B	
	รูปแบบที่ 2	1R:1B	1R:1B		
	รูปแบบที่ 3	1R:1B	1R:1B	1R:1B	1R:1B
1R:2B	รูปแบบที่ 1	1R:2B		1R:2B	
	รูปแบบที่ 2	1R:2B	1R:2B		
	รูปแบบที่ 3	1R:2B	1R:2B	1R:2B	1R:2B
2R:1B	รูปแบบที่ 1	2R:1B		2R:1B	
	รูปแบบที่ 2	2R:1B	2R:1B		
	รูปแบบที่ 3	2R:1B	2R:1B	2R:1B	2R:1B
SL (แสงธรรมชาติ)		แสงธรรมชาติ			

หมายเหตุ

W หมายถึง แสงแอลอีดีสีขาว

1R:1B หมายถึง อัตราส่วนของแสงแอลอีดีสีแดงต่อแสงแอลอีดีสีน้ำเงินเท่ากับ 1 ต่อ 1

1R:2B หมายถึง อัตราส่วนของแสงแอลอีดีสีแดงต่อแสงแอลอีดีสีน้ำเงินเท่ากับ 1 ต่อ 2

2R:1B หมายถึง อัตราส่วนของแสงแอลอีดีสีแดงต่อแสงแอลอีดีสีน้ำเงินเท่ากับ 2 ต่อ 1

รูปแบบที่ 1 หมายถึง การให้แสงช่วงเวลา 6.00-12.00 น. และช่วงเวลา 18.00-24.00 น.

รูปแบบที่ 2 หมายถึง การให้แสงช่วงเวลา 6.00-18.00 น.

รูปแบบที่ 3 หมายถึง การให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง

3.2.2 เพาะเมล็ดผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล ในฟองน้ำรูปสี่เหลี่ยมที่อยู่ภายในน้ำและได้รับแสงธรรมชาติเป็นเวลา 12 วัน และแบ่งต้นกล้าอายุ 12 วัน เป็น 13 กลุ่ม กลุ่มละ 35 ต้น และย้ายต้นกล้าลงปลูกในระบบ hydroponics ซึ่งประกอบด้วย container ขนาด 28 cm x 22 cm x 11 cm และใส่สารละลายปุ๋ย Enshi nutrient solution ปรับค่า EC (Electrical Conductivity) โดย EC meter ให้อยู่ระหว่าง $2.1 \pm 0.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ และค่า pH ปรับโดย pH meter ให้อยู่ระหว่าง 6.2 ± 0.3 (Ohtake et al., 2018) ทั้งนี้ เปลี่ยนสารละลายปุ๋ย Enshi nutrient solution ทุก ๆ 7 วัน รวมถึงให้ออกซิเจนตลอดเวลา ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-3 อีก 1 ครั้ง

3.2.3 วัดการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างของผักสลัดเรดโค รอล และกรีนโครอล จำนวน 5-6 ต้น เมื่ออายุ 22 วัน 32 วันและ 42 วัน วัดค่าการดูดกลืนแสงของใบ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) ด้วยเครื่อง PolypenRP410 โดยใช้ leaf clip จากตัว เครื่องวัดหนีบบริเวณจุดที่ต้องการทำการวัดค่า รวมถึงตั้งค่าการวัดค่า Absorbance และ Transmittance ซึ่ง ทั้งสองค่านี้จะมีผลต่อการคำนวณค่า NDVI ที่เครื่องรายงาน ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

โดย R_{NIR} = ช่วงคลื่น near infrared และ R_{RED} = ช่วงคลื่นแสงสีแดง (Huang et al., 2013) ซึ่งทำการสุ่มวัด 2 จุดในแต่ละใบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนค่า NDVI ของแต่ละใบ และวัดน้ำหนักสด ความกว้างของทรงพุ่ม (canopy) และแช่ตัวอย่างในไนโตรเจนเหลวทันที

3.2.4 นำตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส มาวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในต้น อายุ 42 วัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.4.1 วัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และ แคโรทีนอยด์ (Chen et al., 2016)

บดตัวอย่างใบ 0.1 g และสกัดด้วย methanol ปริมาตร 1.5 mL จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยง ด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 10000 g เป็นเวลา 5 นาที และ นำsupernatant ไปวัดการดูดกลืนแสง โดย spectrophotometer ที่ช่วงคลื่นแสง 663 nm, 645 nm และ 470 nm หลังจากนั้นคำนวณ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม ดังสมการนี้ (Lichtenthaler and Wellburn, 1983)

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ (mg/g)} = (12.72 \times OD_{663} - 2.59 \times OD_{645})V / 1000W$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี (mg/g)} = (22.88 \times OD_{645} - 4.67 \times OD_{663})V / 1000W$$

$$\text{คลอโรฟิลล์รวม (mg/g)} = (20.20 \times OD_{663} + 8.02 \times OD_{645})V / 1000W$$

โดย V = ปริมาตรทั้งหมดของสารสกัด (mL)

W = น้ำหนักสดของตัวอย่าง (g)

3.2.4.2 วัดปริมาณแอนโทไซยานิน (Liang and He, 2018)

บดชิ้นส่วนใบ 0.1 g สกัดใน 1 % Hydrochloric acid (HCl) ใน methanol ปริมาตร 1.4 mL และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เติมน้ำ 200 μ L และ chloroform 200 μ L หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยง ด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 10000 g เป็นเวลา 5 นาที และใช้ supernatant 200 μ L เพื่อนำมาวัดค่า ดูดกลืนแสงโดย spectrophotometer ที่ช่วงคลื่นแสง 530 และ 657 nm หลังจากนั้นคำนวณ ปริมาณแอนโทไซยานิน ดังสมการนี้

$$\text{แอนโทไซยานิน (}\mu\text{g/g)} = (A_{530} - (0.25 \times A_{657})) \times V \times DF / W$$

โดย V = ปริมาตรทั้งหมดของสารสกัด (mL)

DF = dilution factor เท่ากับ 1

W = น้ำหนักสดของตัวอย่าง (g)

3.2.4.3 วัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วย Folin-Ciocalteu method (Bao et al., 2005)

บดชิ้นส่วนใบ 0.1 g ในไนโตรเจนเหลว และนำมาสกัดด้วย methanol ปริมาตร 1.5 mL หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 10000 g เป็นเวลา 5 นาที เมื่อเสร็จนำ supernatant 20 μ L และเติมน้ำกลั่น 30 μ L รวมถึงเติม 50 μ L ของสารละลายเจือจาง Folin-Ciocalteu reagent และทำให้เป็นกลางด้วย 150 μ L 7.5 % Na_2CO_3 และทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงโดย spectrophotometer ที่ช่วงคลื่นแสง 760 nm คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยสร้าง standard curve และเทียบกับกรดแกลลิกมาตรฐาน

3.2.4.4 วัดค่า radical scavenging activity ด้วย DPPH assay (บังอร วงศ์รักษ์ และศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ, 2549)

บดชิ้นส่วนใบ 0.1 g ในไนโตรเจนเหลว และนำมาสกัดด้วย methanol ปริมาตร 1.5 mL หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 10000 g เป็นเวลา 5 นาที เมื่อเสร็จนำ supernatant 20 μ L และเติม DPPH radical 180 μ L ทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm โดย spectrophotometer และนำค่าที่วัดได้คำนวณ % inhibition หรือความสามารถในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระ ดังสมการนี้

$$\% \text{ inhibition} = 1 - [A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}] \times 100$$

A_{sample} = Absorbance ที่วัดได้จากสารสกัดตัวอย่างผสมกับ DPPH radical

A_{control} = Absorbance ที่วัดได้จาก DPPH radical

3.2.5 สรุปผลโดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS Statistic version 22 (IBM Corp., Chicago, USA) ซึ่งใช้วิธี one-way ANOVA โดยทำ Tukey's Test และ Dunnett's T3 test ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ผลการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสด ความกว้างของทรงพุ่ม (canopy) และค่าการดูดกลืนแสงของใบ (NDVI) ของผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอลอายุ 22 วัน 32 วัน และ 42 วัน และการวิเคราะห์ผลปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระประเภทต่าง ๆ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และ radical scavenging activity ในอายุ 42 วัน

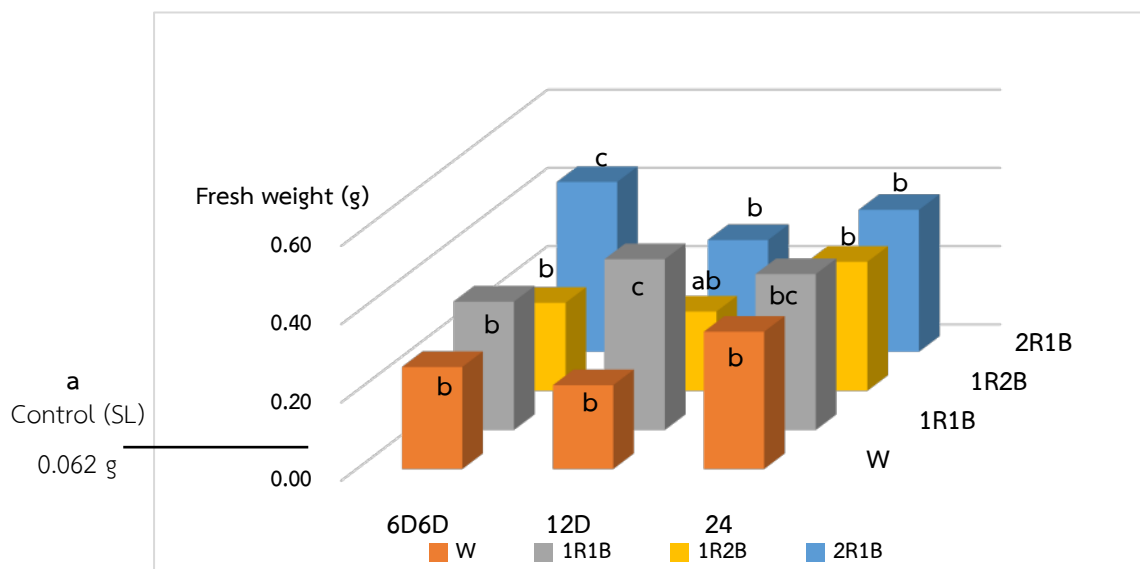
บทที่ 4

ผลการศึกษา

การทดลองนี้ต้องการเปรียบเทียบผลของรูปแบบแสงสี (wavelength) และเวลาที่พืชได้รับแสง (photoperiod) โดยมีรูปแบบแสงสีอัตราส่วนแสงสีแดง (R) ต่อแสงสีน้ำเงิน (B) 4 รูปแบบ ได้แก่ แสงขาว (white light, W), 1R:1B, 1R:2B และ 2R:1B และระยะเวลาของการให้แสง 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ให้แสง 6 ชั่วโมง, มีด 6 ชั่วโมง, ให้แสง 6 ชั่วโมง และ มีด 6 ชั่วโมง (6D6D), 2) ให้แสง 12 ชั่วโมง และมีด 12 ชั่วโมง (12D) และ 3) ให้แสง 24 ชั่วโมง (24) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ (SL) ทำการทดลองในผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอล วัดค่าการเติบโตของผักสลัด และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 12 ชุดการทดลอง เพื่อระบุรูปแบบของแสงสี และ/หรือเวลาที่พืชได้รับแสง ที่มีผลกระทบต่อการเติบโตหรือปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ได้ผลการทดลองดังนี้

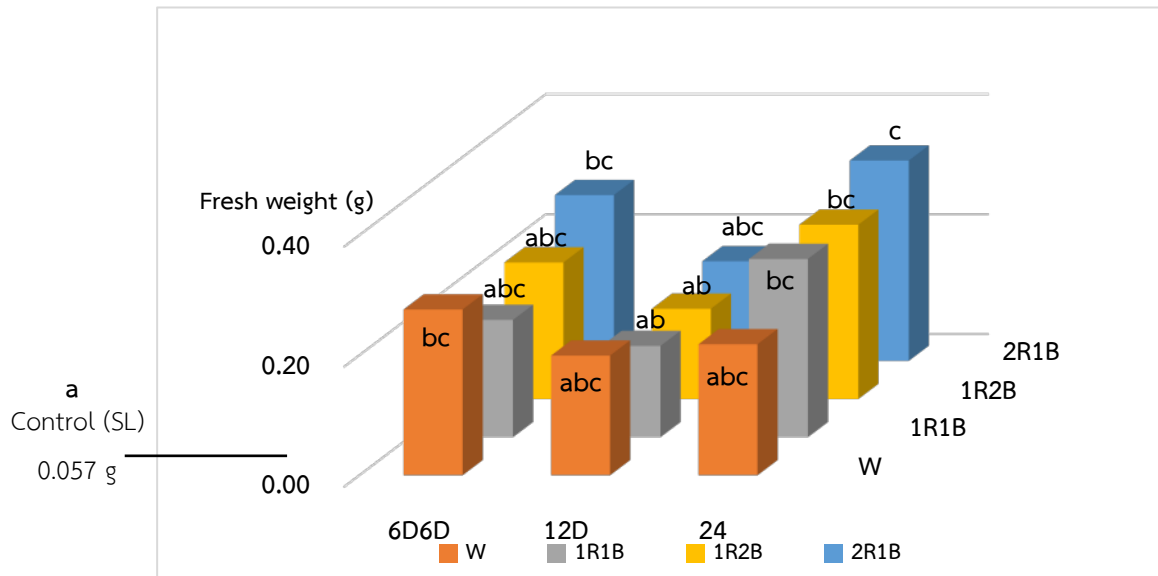
4.1 การเติบโตของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) ภายใต้รูปแบบการให้แสงแอลอีดีที่ต่างกันโดยการวัดน้ำหนักสด (fresh weight)

เมื่อวัดการเติบโตจากน้ำหนักสด พบว่ามีความแตกต่างของผลการทดลองในทุกรูปแบบการให้แสง กล่าวคือ ผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลภายใต้อัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 ในรูปแบบการให้แสงที่ 3 (24) อายุ 22 วัน มีน้ำหนักสดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการให้แสงอื่น ดังภาพที่ 1-4 และเมื่อเปรียบเทียบผักอายุ 32 วัน และ 42 วัน มีผลการทดลองของน้ำหนักสดที่ยังไม่สามารถระบุได้ว่ารูปแบบการให้แสงใดที่ให้ปริมาณน้ำหนักสดสูงสุดของผักทั้งสองชนิดในการทดลองทั้ง 2 ครั้ง

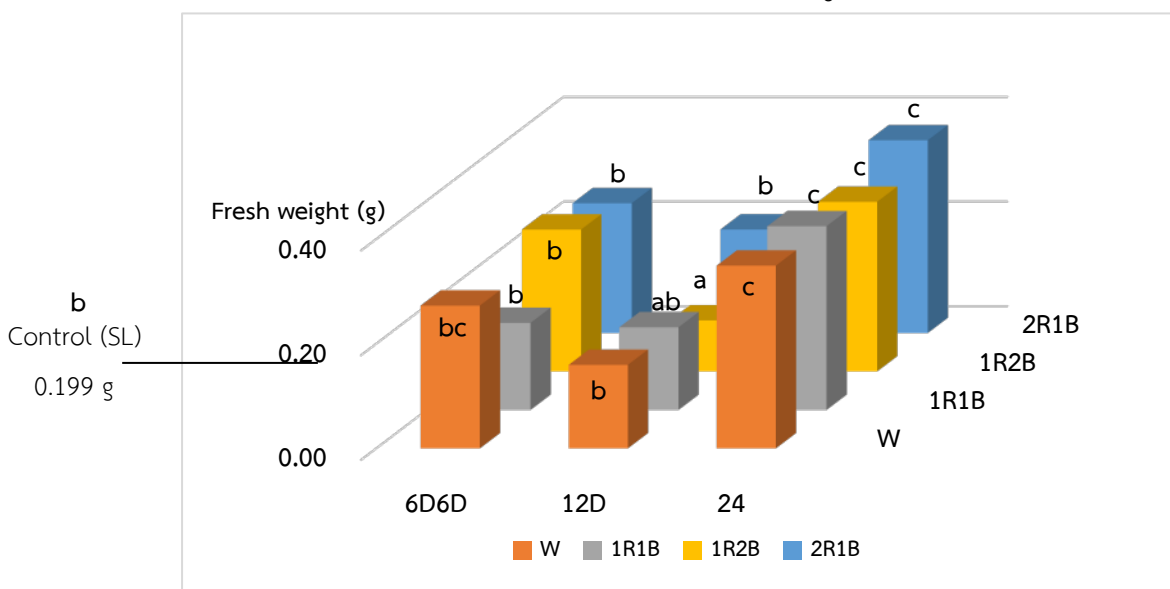


ภาพที่ 1 น้ำหนักสดของผักสลัดเรดโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุด

การทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวด้านบนกราฟ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

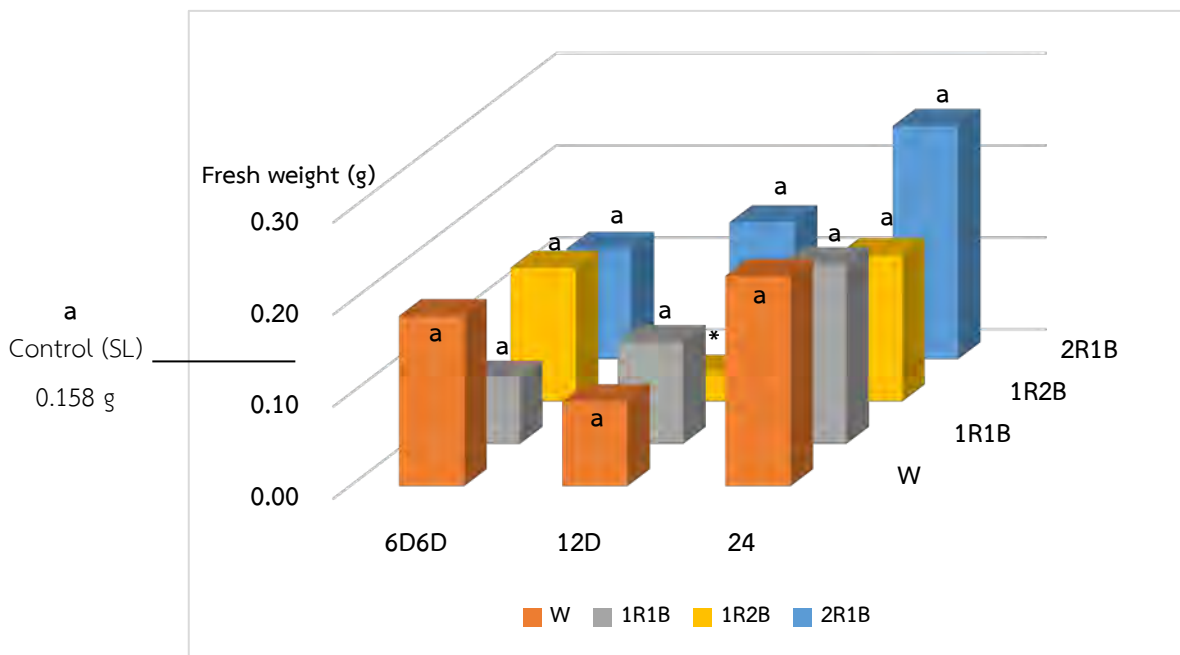


ภาพที่ 2 น้ำหนักสดของผักสลัดกรีนโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA ด้วย Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุดการทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวด้านบนกราฟ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 3 น้ำหนักสดของผักสลัดเรดโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุด

การทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวด้านบนกราฟ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

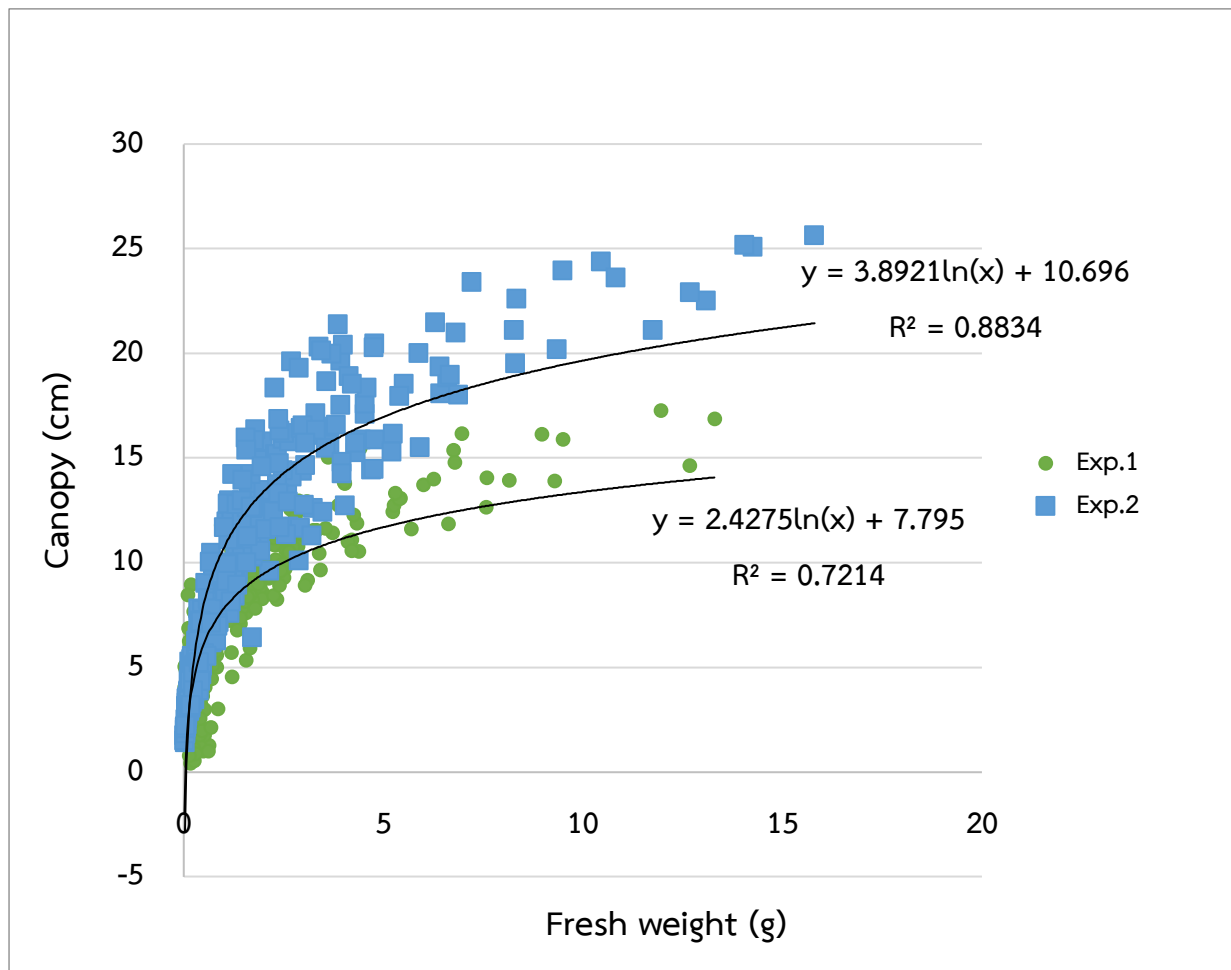


ภาพที่ 4 น้ำหนักสดของผักสลัดกรีนโครอลอายุ 22 วันในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA ด้วย Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุดการทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันที่แสดงในแนวด้านบนกราฟ หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ *รูปแบบการให้แสงแบบที่ 2 (12D) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 ไม่สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติได้ เนื่องจากจำนวนตัวอย่างเหลือเพียง 1 ตัวอย่าง

4.2 การเติบโตของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) ภายใต้รูปแบบการให้แสงแอลอีดีที่ต่างกันโดยการวัดความกว้างทรงพุ่ม (canopy)

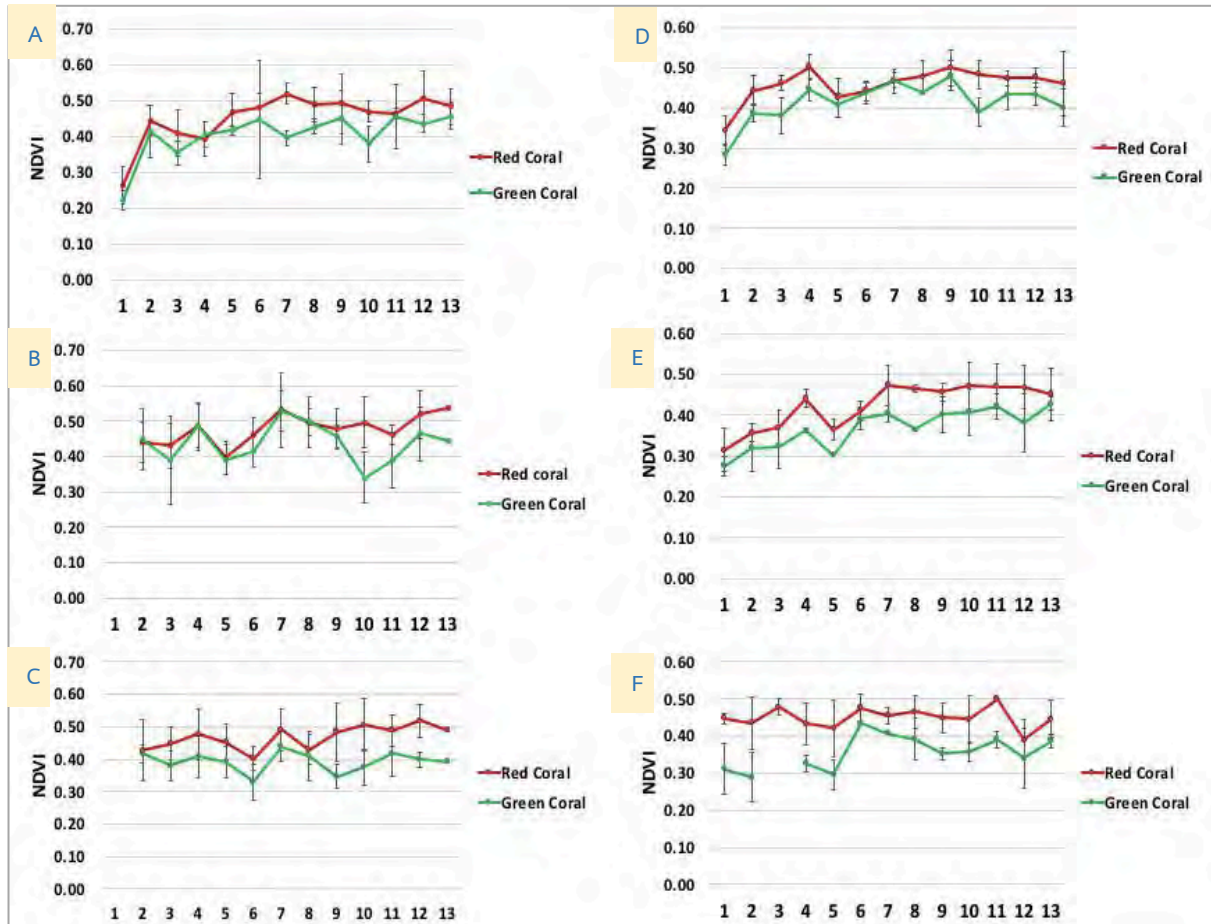
จากการศึกษาความกว้างทรงพุ่มโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยโปรแกรม Image J และการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติพบว่าความกว้างทรงพุ่มมีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกรูปแบบการให้แสงของผักทั้งสองชนิด ทำให้ยังไม่สามารถระบุได้ว่ารูปแบบการให้แสงใดที่ให้ความกว้างทรงพุ่มสูงสุดของผักทั้งสองชนิดในการทดลองทั้ง 2 ครั้ง แต่เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำหนักสดและความกว้างทรงพุ่ม พบว่ามีความสัมพันธ์แบบ positive correlation ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.7214$ และ $R^2 = 0.8834$ ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (regression) โดยเป็นกราฟ logarithmic regression กล่าวคือ เมื่อน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น ความกว้างของทรงพุ่มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟ scatter plot ระหว่างน้ำหนักสดและความกว้างทรงพุ่มภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 โดยรวมทุกช่วงอายุและชนิดพันธุ์ของผักสลัด ซึ่งใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (regression) โดยเป็นกราฟ logarithmic regression

4.3 การเติบโตของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) ภายใต้รูปแบบการให้แสงแอลอีดีที่ต่างกันโดยการวัดค่าดัชนีแสงของใบ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

จากการศึกษาค่าดัชนีแสงของใบด้วยเครื่อง PolypenRP410 พบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงของใบในแต่ละช่วงอายุอยู่ในช่วง 0.2-0.5 โดยจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของใบในผักสลัดเรดโครอลมีค่าสูงกว่าผักสลัดกรีนโครอลในทุกช่วงอายุของการทดลองทั้ง 2 ครั้ง ดังภาพที่ 6 รวมถึงมีลักษณะของสีใบในผักสลัดเรดโครอลมีสีเข้มกว่าผักสลัดกรีนโครอล ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงของใบในผักสลัดเรดโครอล (สีแดง) และกรีนโครอล (สีเขียว) ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในการทดลองครั้งที่ 1 A) อายุ 22 วัน, B) 32 วัน* และ C) 41 วัน* และการทดลองครั้งที่ 2 D) อายุ 22 วัน, E) 32 วัน และ F) 42 วัน** (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสงดังตารางที่ 1)

หมายเหตุ *ผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงโดยแสงธรรมชาติ (control) ตายทั้งหมดในการทดลองครั้งที่ 1

**ผักสลัดกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ตายทั้งหมดในการทดลองครั้งที่ 2



ภาพที่ 7 ลักษณะสีใบของผักสลัด A) เรดโครอล และ B) กรีนโครอล

4.4 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) ภายใต้รูปแบบการให้แสงแอลอีดีที่ต่างกัน อายุ 42 วัน

4.4.1 คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม (chlorophyll a, b and total chlorophyll)

จากผลการศึกษาพบว่า การทดลองครั้งที่ 1 ของผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) ในทางกลับกันผักสลัดกรีนโครอลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อทำการทดลองครั้งที่ 2 พบว่าผักสลัดทั้งสองชนิดมีปริมาณ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณที่สูงกว่าผักสลัดเรดโครอลในแต่ละรูปแบบการให้แสง แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมภายในพันธุ์ พบว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกันในแต่ละรูปแบบการให้แสงของทั้งสองพันธุ์ ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) ในการทดลองครั้งที่ 1 โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 และ *Tukey's Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสงดังตารางที่ 1) หมายเหตุ ** ผักสลัดทั้งสองชนิดภายใต้แสงธรรมชาติ (control) ตายทั้งหมด

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Chlorophyll a (mg/g fresh weight)		Chlorophyll b (mg/g fresh weight)		Total Chlorophyll (mg/g fresh weight)	
			RC	GC	RC*	GC	RC	GC
SL **	1							
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	0.28349 a	0.21304 b	0.14949 a	0.11169 b	0.59048 a	0.44340 b
	3	1R:1B	0.27586 a	0.11717 a	0.14643 a	0.06471 a	0.57513 a	0.24568 a
	4	1R:2B	0.19771 a	0.20140 b	0.10147 a	0.10243 b	0.41027 a	0.41027 b
	5	2R:1B	0.18643 a	0.21603 b	0.09615 a	0.11070 b	0.38714 a	0.44820 b
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	0.19986 a	0.15818 b	0.10800 a	0.08859 a	0.41773 a	0.33234 a
	7	1R:1B	0.32327 a	0.25905 b	0.16756 a	0.13813 b	0.67174 a	0.54043 b
	8	1R:2B	0.26340 a	0.17705 b	0.14489 a	0.10056 ab	0.55197 a	0.37276 ab
	9	2R:1B	0.26582 a	0.21068 b	0.14347 a	0.11642 b	0.55551 a	0.44178 b
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	0.40436 a	0.19221 b	0.21318 a	0.10932 b	0.84223 a	0.40476 b
	11	1R:1B	0.26136 a	0.21434 b	0.14097 a	0.11501 b	0.54614 a	0.44755 b
	12	1R:2B	0.38168 a	0.23808 b	0.19552 a	0.12241 b	0.79184 a	0.49417 b
	13	2R:1B	0.32447 a	0.19731 b	0.17330 a	0.10898 b	0.67707 a	0.41371 ab

ตารางที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) ในการทดลองครั้งที่ 2 โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA

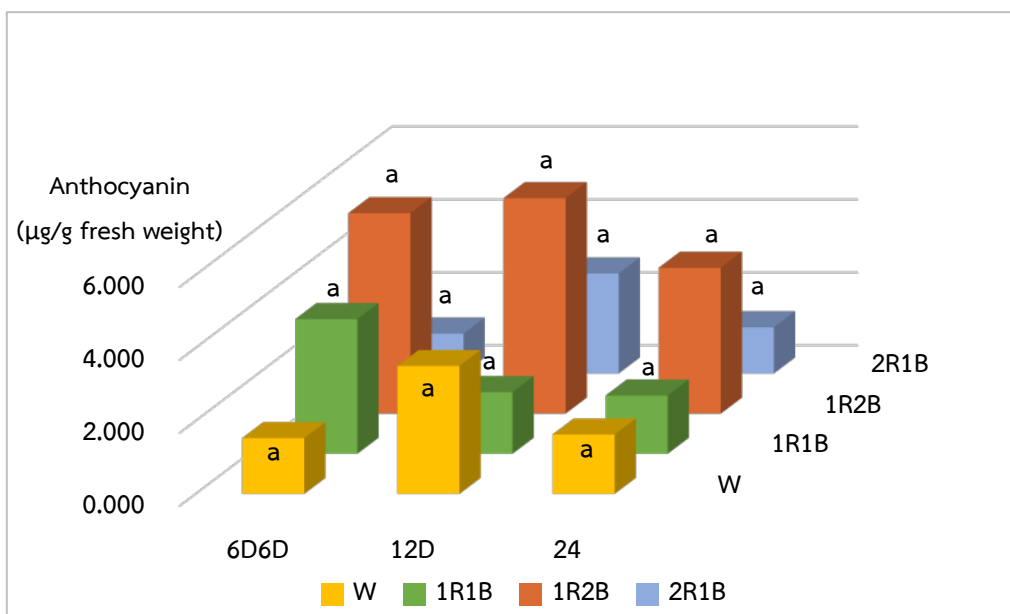
วิธี Dunnett's T3 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสงดังตารางที่ 1)

หมายเหตุ ** ผักสลัดกรีนโครอลภายใต้รูปแบบที่ 1 (6D6D) อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1:1 ตายทั้งหมด

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Chlorophyll a (mg/g fresh weight)		Chlorophyll b (mg/g fresh weight)		Total Chlorophyll (mg/g fresh weight)	
			RC	GC	RC	GC	RC	GC
SL	1		0.21457 a	0.14361 a	0.12055 a	0.07965 a	0.45103 a	0.30131 a
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	0.42214 a	0.19978 a	0.22022 c	0.10798 a	0.87797 a	0.41758 a
	3	1R:1B**	0.23034 ab		0.12634 a		0.48248 a	
	4	1R:2B	0.38430 a	0.24072 a	0.20549 a	0.12972 b	0.80205 a	0.50295 ab
	5	2R:1B	0.39390 a	0.09199 a	0.20738 a	0.05153 a	0.82029 a	0.19329 a
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	0.28685 a	0.25172 ab	0.15493 a	0.13314 b	0.59952 a	0.52454 bc
	7	1R:1B	0.24393 a	0.20965 a	0.13197 a	0.11218 b	0.50994 a	0.43759 ab
	8	1R:2B	0.30767 a	0.27148 ab	0.16245 a	0.14659 bc	0.64097 a	0.56737 ab
	9	2R:1B	0.28117 a	0.22681 a	0.15117 a	0.12113 b	0.58727 a	0.47328 a
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	0.33416 a	0.24791 ab	0.18154 a	0.13435 b	0.69898 a	0.51838 b
	11	1R:1B	0.30522 a	0.33954 c	0.16405 a	0.18226 c	0.63747 a	0.70902 b
	12	1R:2B	0.32474 a	0.19315 a	0.17300 a	0.11140 ab	0.67738 a	0.40761 bc
	13	2R:1B	0.25271 a	0.24784 a	0.13941 a	0.13600 bc	0.52978 a	0.51917 c

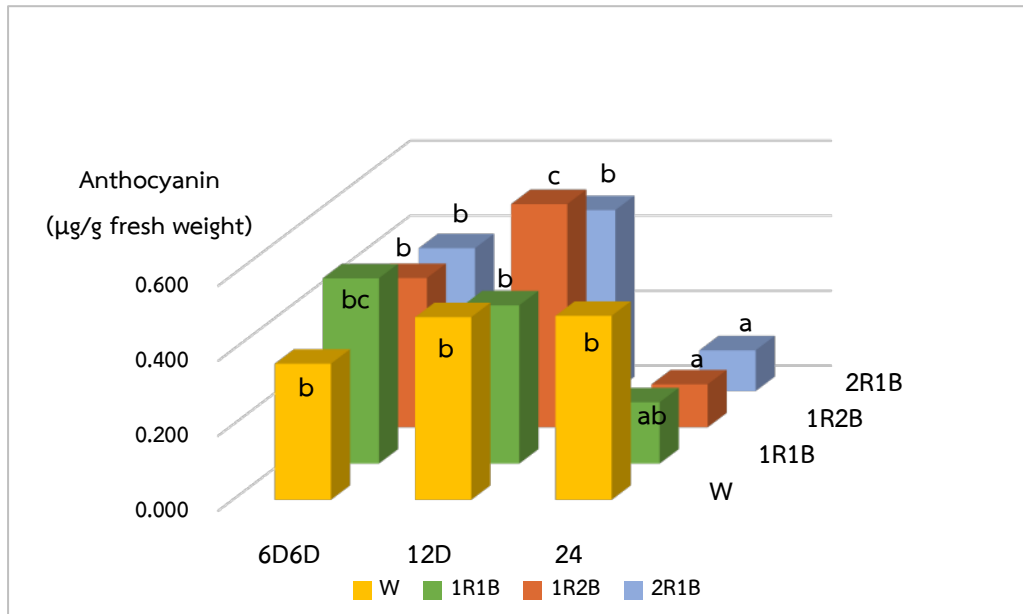
4.4.2 แอนโทไซยานิน (anthocyanin)

จากการผลการศึกษาพบว่า การทดลองครั้งที่ 1 ของผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) ในทางกลับกันผักสลัดกรีนโครอลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) เมื่อทำการทดลองครั้งที่ 2 พบว่าผักสลัดทั้งสองชนิดมีปริมาณแอนโทไซยานินแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) โดยผลการทดลองทั้ง 2 ครั้งสามารถสรุปได้ว่าผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลภายใต้อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด ซึ่งผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณที่สูงกว่าผักสลัดกรีนโครอล แต่ยังไม่สามารถสรุประยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมได้ ดังภาพที่ 7-10



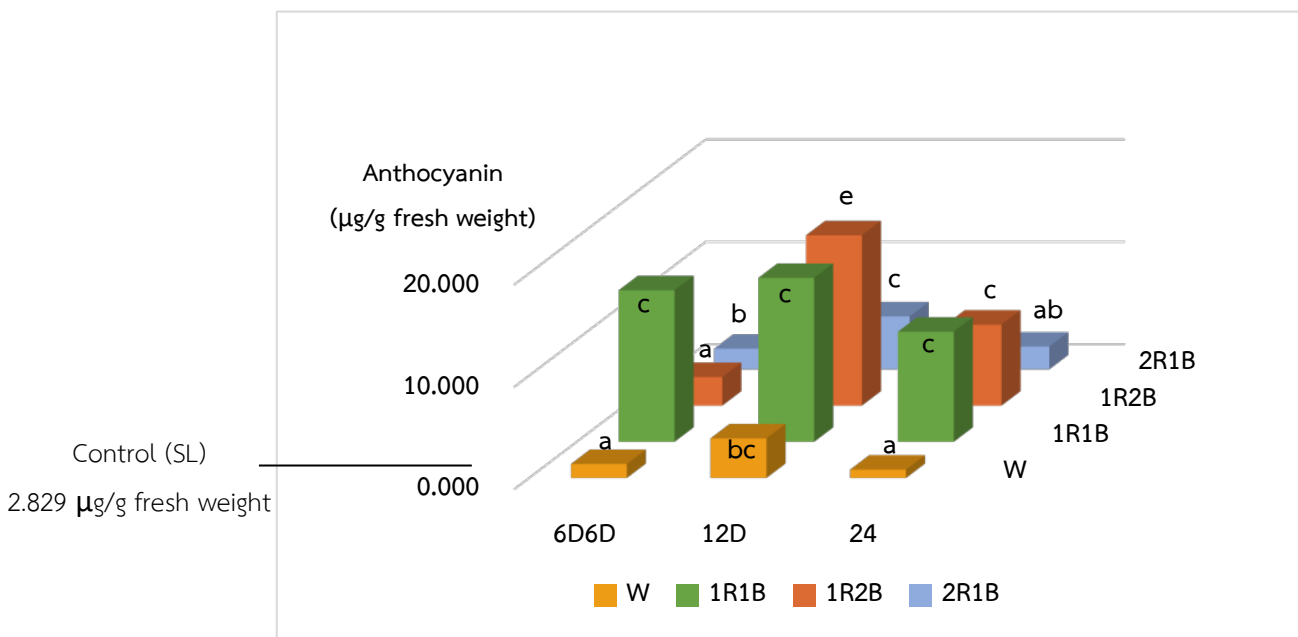
ภาพที่ 8 ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดเรดโครอลในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุดการทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และ ชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวด้านบนกราฟ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ *ผักสลัดเรดโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงโดยแสงธรรมชาติ (control) ตายทั้งหมด



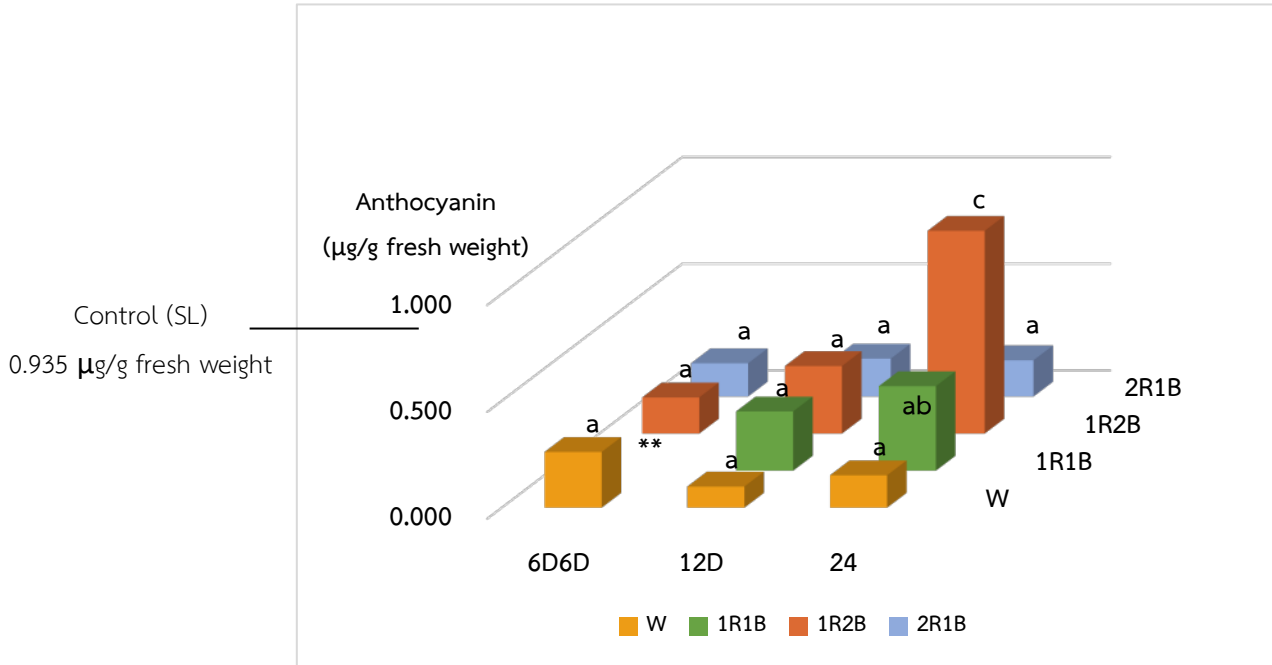
ภาพที่ 9 ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดกรีนโครอลในการทดลองครั้งที่ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินโดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุดการทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และ ชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งบนกราฟ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ *ผักสลัดกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงโดยแสงธรรมชาติ (control) ตายทั้งหมด



ภาพที่ 10 ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดเรดโครอลในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดย

วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุดการทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวด้านบนกราฟ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 11 ปริมาณแอนโทไซยานินของผักสลัดเรดโครอลในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 13 ชุดการทดลอง (4 อัตราส่วนแสง x 3 ระยะเวลาการให้แสง และชุดควบคุมซึ่งได้รับแสงธรรมชาติ (SL) ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวด้านบนกราฟ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ **ผักสลัดกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ตายทั้งหมด

4.4.3 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound)

จากผลการศึกษาพบว่า การทดลองครั้งที่ 1 ของผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) และเมื่อทำการทดลองครั้งที่ 2 ของผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้พบว่าผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าผักสลัดกรีนโครอลในการทดลองทั้ง 2 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 วิเคราะห์ผลทางสถิติ one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 ที่ระดับความเชื่อ 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสงดังตารางที่ 1)

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Phenolic compound (mg/g fresh weight)			
			การทดลองครั้งที่ 1		การทดลองครั้งที่ 2	
			RC	GC	RC	GC
SL*	1				1.36293 a	0.76420 ab
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	0.44761 a	0.38357 a	1.15761 a	0.44989 a
	3	1R:1B**	0.86971 a	0.21530 a	2.57399 ab	
	4	1R:2B	0.73829 a	0.30951 a	0.98431 a	0.73141 a
	5	2R:1B	0.27629 a	0.40639 a	1.49710 ab	0.26543 a
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	0.57950 a	0.25493 a	1.38627 a	0.76938 ab
	7	1R:1B	0.71939 a	0.28968 a	2.50536 ab	2.06005 b
	8	1R:2B	0.99271 a	0.71914 a	3.00750 b	1.50304 b
	9	2R:1B	1.24618 a	0.40089 a	1.46547 a	0.84674 ab
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	0.88882 a	0.36882 a	1.26587 a	0.64174 a
	11	1R:1B	0.76232 a	0.40121 a	2.80322 b	1.57993 b
	12	1R:2B	1.29561 a	0.34464 a	2.31018 ab	1.27014 ab
	13	2R:1B	0.71632 a	0.37864 a	1.93460 ab	1.07884 ab

หมายเหตุ *ผักสลัดทั้งสองชนิดภายใต้แสงธรรมชาติ (control) ตายทั้งหมด

**ผักสลัดกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงที่ 1 (6D6D) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ตายทั้งหมด

4.4.4 ความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition of radical scavenging activity)

จากผลการศึกษาพบว่า การทดลองครั้งที่ 1 ของผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลมีความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) โดยผักสลัดเรดโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงที่ 2 (12D) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 และผักสลัดกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงที่ 1 (6D6D) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 มีความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 72.02 % และ 36.12% ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองครั้งที่ 2 พบว่าผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงที่ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 มีความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 89.69% และ 56.82% ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลการศึกษาของผักสลัดเรดโครอลเมื่อทดลองครั้งที่ 2 พบว่าภายใต้อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 2 และ 2 ต่อ 1 พบว่ามีความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระมากกว่า 80 % ในรูปแบบการให้แสงแบบที่ 3 (24) เมื่อเทียบกับระยะเวลาการให้แสง 6D6D และ 12D แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระคิดเป็นร้อยละของผักสลัดเรดโครอลในการทดลองครั้งที่ 2 ภายใต้รูปแบบการให้แสงแบบที่ 1 (6D6D), 2 (12D) และ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

รูปแบบการให้แสง	แบบที่ 1 (6D6D)	แบบที่ 2 (12D)	แบบที่ 3 (24)
W	31.04% a	55.03% bc	44.30% a
1R:1B	86.71% c	86.77% c	89.69% c
1R:2B	21.52% a	89.59% c	85.52% c
2R:1B	53.68% ab	53.60% a	81.06% c

บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

5.1 ศึกษาผลของปัจจัยการให้แสงต่อการเติบโตของผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงแอลอีดีที่ต่างกัน

การศึกษานี้พบว่า การให้แสงที่ความเข้มแสง (PPFD) เท่ากับ $130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงสามารถเพิ่มการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการให้แสงเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงสลับมีด 6 ชั่วโมง (6D6D) และการให้แสงเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีด 12 ชั่วโมง (12D) ภายใต้ค่าความเข้มแสง (PPFD) เท่ากับ $215 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ซึ่งจากการศึกษาของ Koontz และ Prince (1986) และ Lefsrud และคณะ (2006) พบว่าการให้แสงเป็นระยะเวลานานสามารถเพิ่มการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดได้ เช่น พื้นที่ของใบ น้ำหนักสด ปริมาณของคลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ การศึกษาของ Kelly และคณะ (2020) พบว่าค่าความเข้มแสง (PPFD) ที่ $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดลงพร้อมกับความหนาแน่นของฟลักซ์ที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point) ซึ่งเป็นจุดที่เมื่อเพิ่มค่าความเข้มแสงไม่สามารถที่จะเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงได้ แต่การเพิ่มระยะเวลาการให้แสงสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์สุทธิของแต่ละวันได้ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ต้องควบคุมค่าความเข้มแสงให้อยู่ระดับที่เหมาะสมต่อการเติบโตของพืช เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับพืชได้

อีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญของปัจจัยแสงคือ ค่า daily light integral (DLI) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดค่า DLI อยู่ที่ $6.9 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ การศึกษาของ Kelly และคณะ (2020) พบว่าค่า DLI ที่ไม่ได้สูงมารวมถึงค่าความเข้มแสงที่ต่ำและระยะเวลาการให้แสงที่นานสามารถเพิ่มอัตราการเติบโตได้มากกว่าความเข้มแสงที่สูงและระยะเวลาการให้แสงที่สั้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ค่า DLI สามารถเพิ่มมวลชีวภาพได้ แต่ค่าที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์รวมถึงสภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

5.2 ศึกษาผลการเติบโตของผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงแอลอีดีที่ต่างกัน

การให้แสงแอลอีดีนั้นสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตได้ โดยวัดจากน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความกว้างทรงพุ่ม (canopy) และความสูงของลำต้น จำนวนใบ เป็นต้น อนึ่งการให้แสงแอลอีดีสามารถลดอัตราการเจริญเติบโตได้เช่นกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบการให้แสงแอลอีดี และจากการศึกษาของ Abidi และคณะ (2013) และ Massa และคณะ (2008) เป็นต้น พบว่าช่วงคลื่นแสงสีแดงและสีน้ำเงินนั้นมีผลต่อการเติบโต เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแสงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย

5.2.1 น้ำหนักสด (fresh weight)

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงที่ 3 (24) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 ให้น้ำหนักสูงสุด ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องการศึกษาก่อนหน้านี้ โดยแสงสีแดงจะถูกดูดซับผ่าน phytochrome ทำให้เกิดการ ทำงานขึ้นของกระบวนการต่าง ๆ ภายในพืช เช่น การเพิ่มมวลชีวภาพ (Jokan et al., 2010) การแผ่ ขยายขนาดของใบ (Stutte et al., 2009) เป็นต้น นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Dougher และ Bugdee (2001) พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแสงสีน้ำเงินเพียงเล็กน้อย เข้าไปทำงานร่วมกับแสงสีแดง สามารถเพิ่มมวลชีวภาพของผักสลัดได้ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Hogewoning และคณะ (2010) พบว่าระบบการทำงานของสารสังเคราะห์แสงมีความผิดปกติ เมื่ออยู่ภายใต้ช่วงคลื่นแสงสีแดงเพียงแสงเดียว และถ้าเพิ่มแสงสีน้ำเงินร่วมกับแสงสีแดงสามารถป้องกันการดำเนินงานที่ผิดปกติของ สารสังเคราะห์แสงได้ และการศึกษาของ Wang และคณะ (2016), Nhut และคณะ (2003), Li และ คณะ (2013) และ Hernandez และ Kubota (2016) พบว่าอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่เหมาะสมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพืชและระยะเวลาการเติบโต โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะมีการ สะสมของมวลชีวภาพ เช่น ผักสลัด สตรอว์เบอร์รี่ คาโนล่า และแตงกวา ในอัตราส่วนแสงสีแดงต่อ แสงสีน้ำเงิน 12/1, 7/3, 1/3 และ 9/1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ใช้อัตราส่วนแสงสีแดง ต่อแสงสีน้ำเงินมีอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ 1/1, 1/2 และ 2/1 จึงยังไม่สามารถระบุถึงอัตราส่วน แสงที่เหมาะสมต่อการเพิ่มชีวมวลได้อย่างแน่นอน

5.2.2 ความกว้างทรงพุ่ม (canopy)

การทดลองนี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่ารูปแบบการให้แสงและอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินแบบใดที่เหมาะสมต่อความกว้างทรงพุ่ม เมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดนี้เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อศึกษา ความสัมพันธ์ของน้ำหนักสดและความกว้างทรงพุ่ม พบว่ามีความสัมพันธ์แบบ positive correlation ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.7214$ และ $R^2 = 0.8834$ ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยวิเคราะห์การ ถดถอยเชิงเส้นตรง (regression) โดยเป็นกราฟ logarithmic regression

การศึกษาของ Hanyu และ Shoji (2000), Stutte และคณะ (2009) และ Runkle (2016) พบว่าช่วงคลื่นแสงสีแดงเพียงอย่างเดียวจะมีผลต่อการยืดของลำต้น (stem elongation) ซึ่งมีผลต่อ ทรงพุ่ม รวมถึงทำให้ความหนาของใบ (leaf thickness) ลดลง ทำให้มีลักษณะการเติบโตที่ผิดปกติได้ ดังนั้นการเพิ่มช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินเข้ามาทำงานร่วมกับแสงสีแดงจะสามารถช่วยทำให้ลดการยืดของ ลำต้น รวมถึงทำให้ใบหนาขึ้นและมีการแผ่ขยายของใบเพิ่มขึ้น (leaf expansion) ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาครั้งนี้ที่มีการใช้แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินร่วมกัน

5.2.3 ค่าการดูดกลืนแสงของใบ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

การศึกษานี้พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของใบในผักสลัดเรดโครอลจะสูงกว่าผัก สลัดกรีนโครอลในทุกช่วงอายุของการทดลองทั้ง 2 ครั้ง เนื่องจากผักสลัดเรดโครอลมีลักษณะของสีเขียว

เขียวเข้มกว่าผักสลัดกรีนโครอล ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ไม่ใช่ช่วงคลื่นแสงสีแดงสูงกว่า ดังสมการนี้

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

กล่าวคือ เมื่อมีการดูดซับของช่วงคลื่นแสงสีแดงน้อย ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของใบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wardlow และคณะ (2007) ซึ่งเสนอว่าค่าการดูดกลืนแสงที่สูง แสดงว่ามีการสะสมของปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่สูง นอกจากนี้การศึกษาของ Rouse และคณะ (1973) พบว่าค่าดูดกลืนแสงของใบมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพ นอกจากนี้การวัดค่าการดูดกลืนแสงของใบ สามารถเป็นตัวชี้วัดเกี่ยวกับการเติบโตของพืชได้ โดยจากการศึกษาของ Koller และ Upadhyaya (2005) พบว่า ค่า NDVI ยังสามารถเป็นตัวชี้วัดที่ดีในการบ่งบอกถึงมวลชีวภาพ รวมถึงความแข็งแรงของพืชอีกด้วยซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ในเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของใบและมวลชีวภาพ

5.3 ศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงแอลอีดีที่ต่างกัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมื่อเทียบกับผักสลัดกรีนโครอล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Son และ Oh (2013) พบการให้อัตราส่วนของแสงแอลอีดีในช่วงแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงแตกต่างกันนั้นส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะผักสลัดชนิดสีแดง ซึ่งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักสลัดชนิดสีเขียว ทั้งนี้จากการศึกษาของ Wu และคณะ (2007) พบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive phytochemicals) อาทิ วิตามินซี วิตามินอี รวมถึงคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารสี (pigments) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน และมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการทำงานของยีนอีกด้วยโดย Liu และคณะ (2004) พบว่ายีน *LeHY5* และ *LeCOP1LIKE* มีผลต่อตัวรับส่งสัญญาณของแสงรวมถึงกระตุ้นการสร้างสารสีและสารอาหารชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระภายในพืชอีกด้วย

5.3.1 คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม (chlorophyll a, b and total chlorophyll)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมภายใต้รูปแบบการให้แสงที่แตกต่างกันของการทดลองทั้ง 2 ครั้ง อาจเป็นผลจากอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ปริมาณไม่แตกต่างกันในระหว่างรูปแบบการให้แสง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างพันธุ์ พบว่าผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมที่สูงกว่าผักสลัดกรีนโครอล ซึ่งการศึกษาของ Calatayud และ Barreno (2004) พบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่แตกต่างกันระหว่างผักสลัดชนิด red และชนิด green เป็นผลจากการสะสมของรงควัตถุชนิดอื่น เช่น แอนโทไซยานิน แต่ในการศึกษาของ Cosgrove (1981), Senger (1982), Giliberto และคณะ (2005) และ Li และ Kubota (2009)

พบว่าช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินมีความสำคัญต่อการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ การเปิดปากใบ รวมถึงกระบวนการ photomorphogenesis ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะควบคุมการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และแอนโทไซยานินได้ และการศึกษาของ Son และ Oh (2013) พบว่ามีการผลิตปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มากภายใต้แสงสีน้ำเงิน แต่ไม่สามารถกระตุ้นการเติบโตของพืช ซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้การใช้แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงร่วมกันจะสามารถกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์แสงทั้งระบบได้

5.3.2 แอนโทไซยานิน (anthocyanin)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลภายใต้อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด ซึ่งผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณที่สูงกว่าผักสลัดกรีนโครอล แต่ยังไม่สามารถสรุปรูปแบบการให้แสงที่เหมาะสมได้ เนื่องจากปริมาณของแอนโทไซยานินในแต่ละระยะเวลาการให้แสงในการทดลองทั้ง 2 ครั้ง มีแนวโน้มของผลการทดลองไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Koontz และ Prince (1986) และ Lefsrud และคณะ (2006) พบว่าการให้แสงเป็นระยะเวลานานสามารถเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดได้ เช่น ปริมาณของคลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น นอกจากนี้การศึกษาของ Park และคณะ (2007) พบว่าช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์ของแอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ได้ โดยผ่านการกระตุ้นของเอนไซม์ PAL (phenylalanine ammonia-lyase) ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในกระบวนการ phenylpropanoid ที่ผลิตแอนโทไซยานิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่อัตราส่วนแสงสีน้ำเงินที่มากกว่าแสงสีแดงจึงมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และการศึกษาของ Mulabagal และคณะ (2010) พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินมีสูงในผักสลัดชนิด red leaf มากกว่าผักสลัดชนิด green leaf ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ และมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าอีกด้วย

5.3.3 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายใต้รูปแบบการให้แสงที่แตกต่างกันของการทดลองทั้ง 2 ครั้ง แต่เมื่อเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกระหว่างพันธุ์พบว่าผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงกว่าผักสลัดกรีนโครอล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Liu และคณะ (2007) และการศึกษาของ Llorach และคณะ (2008) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกในผักสลัดพบปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกถึงร้อยละ 70 และจากการศึกษาของ Johkan และคณะ (2010) และ Stutte และคณะ (2009) พบว่าการให้แสงช่วงคลื่นแสงสีแดงและสีน้ำเงินมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายใต้รูปแบบการให้แสงและอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกในอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินแต่เนื่องจากอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นผลที่ทำให้ปริมาณไม่แตกต่างกันในระหว่างรูปแบบการให้แสงเช่นเดียวกันกับการศึกษาในคลอโรฟิลล์

5.3.4 ความสามารถในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระ (% inhibition of radical scavenging activity)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลภายใต้อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 2 และ 2 ต่อ 1 ภายใต้รูปแบบการให้แสงที่ 3 (24) มีความสามารถในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระมากกว่า 80 % เมื่อเทียบระยะเวลาการให้แสง 6D6D และ 12D ทั้งนี้ผักสลัดเรดโครอลมีปริมาณที่สูงกว่าผักสลัดกรีนโครอล จากการศึกษา Son และ Oh (2013) พบว่าอัตราส่วนของแสงสีน้ำเงินที่สูงร่วมกับการทำงานของแสงสีแดงสามารถเพิ่มความสามารถในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระได้ เช่นเดียวกับกับStutte และคณะ (2009) พบว่าการให้แสงช่วงคลื่นแสงสีแดงและสีน้ำเงินมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความสามารถในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระได้ และการศึกษาของ Liu และคณะ (2007) พบว่าผักสลัดชนิด red มีสามารถการต่อต้านสารอนุมูลอิสระสูงกว่าผักสลัดชนิด green ภายใต้ชนิดพันธุ์และเงื่อนไขการปลูกเดียวกัน ซึ่งการศึกษาดังกล่าวทั้งหมดสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของการให้แสงแอลอีดีในรูปแบบที่แตกต่างกันต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดเรดโครอล และกรีนโครอล พบว่ารูปแบบการให้แสงที่แตกต่างซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินและระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกัน มีผลต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

ผลการศึกษาของการเติบโตในผักสลัดทั้งสองชนิด มีปริมาณของน้ำหนัสดกที่เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้การให้แสงของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2:1 โดยระยะเวลาการให้แสง 24 ชั่วโมง ในทางกลับกัน การศึกษาความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดทั้งสองชนิดในทุกรูปแบบการให้แสง พบว่าความกว้างทรงพุ่มเพิ่มขึ้นตามอายุของผัก แต่ผลการตอบสนองต่อรูปแบบการให้แสงมีแนวโน้มแตกต่างกันไป จึงไม่สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบการให้แสงแบบใดที่เหมาะสมต่อความกว้างของทรงพุ่ม แต่เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่มและน้ำหนัสดกพบว่ามีความสัมพันธ์แบบ positive correlation กล่าวคือเมื่อความกว้างทรงพุ่มเพิ่มขึ้น น้ำหนัสดกเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของใบในผักสลัดทั้งสองชนิดในทุกรูปแบบการให้แสงพบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงของใบอยู่ระหว่าง 0.3-0.5 โดยจะมีค่าสูงในผักสลัดเรดโครอล และเมื่อสังเกตลักษณะของสีใบของผักสลัดทั้งสองชนิด ใบของผักสลัดเรดโครอลมีสีใบที่เข้มกว่าผักสลัดกรีนโครอล ทำให้มีค่าการดูดกลืนแสงของใบที่สูงดังที่กล่าวก่อนหน้านี้อันนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการให้แสงแบบใดที่เหมาะสมต่อค่าการดูดแสงของใบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่ามีความใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการให้แสง

ผลการศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระ พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีปริมาณสูงในผักสลัดเรดโครอลเมื่อเทียบกับผักสลัดกรีนโครอล โดยเมื่อศึกษาในแต่ละรูปแบบการให้แสง พบว่าอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น แต่ยังไม่สามารถระบุได้ว่าระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานิน เนื่องจากปริมาณของแอนโทไซยานินในแต่ละระยะเวลาการให้แสงในการทดลองทั้ง 2 ครั้ง มีแนวโน้มของผลการทดลองไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 2 และ 2 ต่อ 1 โดยมีระยะเวลาการให้แสง 24 ชั่วโมง มีความสามารถในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระมากกว่า 80% ในผักสลัดเรดโครอลเมื่อเทียบกับระยะเวลาการให้แสงแบบอื่น และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม รวมถึงสารประกอบฟีนอลิกยังไม่สามารถระบุได้ว่ารูปแบบการให้แสงแบบใดเหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นต่อสารทั้งสองชนิด ดังนั้นการศึกษาดังนี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบการให้แสงแอลอีดีมีผลต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอล ทั้งนี้การเลือกใช้รูปแบบการให้แสงแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของพืชและความต้องการของผู้ปลูกว่าต้องการให้พืชมีลักษณะอย่างไร กล่าวคือต้องการเพิ่มขนาดและน้ำหนักให้มากขึ้น หรือต้องการเพิ่มปริมาณสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายให้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้พบปัญหาการตายของผักสลัด อาจเป็นผลทำให้ผลการทดลองในหลายตัวชี้วัดมีผลไม่ชัดเจนและมีปัญหาในการวิเคราะห์ทางสถิติ เนื่องด้วยบางการทดลองเหลือจำนวนตัวอย่างเพียง 1 ตัวอย่าง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นผลมาจากอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่สูงถึง 30-35°C ดังนั้นควรมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อผักสลัด เพื่อลดอัตราการตาย นอกจากนี้ขนาดของกระบะปลูกผักสลัดมีขนาดเล็กเนื่องจากแผงแอลอีดีมีขนาดเล็ก ดังนั้นจำเป็นต้องให้มีขนาดที่จะสามารถได้รับแสงจากแผงแอลอีดีได้ทั่วถึง รวมถึงระยะระหว่างหลุมปลูกค่อนข้างแคบ อาจเป็นผลทำให้ผักสลัดเจริญได้ไม่เต็มที่

อย่างไรก็ตามสำหรับแนวทางในการศึกษารูปการให้แสงแอลอีดีต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัด โดยศึกษาอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในอัตราส่วนที่หลากหลาย รวมถึงการนำช่วงคลื่นแสงอื่นมาศึกษาผลที่ดีต่อการเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหรือไม่ เพื่อเป็นข้อมูลต่อการปลูกผักสลัดให้มีคุณภาพ รวมถึงการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- บ้งอร วงศ์รัักษ์ และศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ. ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน. วิทยานิพนธ์ปริญญา
เกษตรบัณฑิต, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2549.
- Abidi, F., et al. 2013. Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. Plant Biology 15(1): 67–74.
- Alho, H., and Leinonen, J. 1999. Total antioxidant activity measured by chemiluminescence methods. In Methods in Enzymology, Volume 299. pp.3-15: Academic Press.
- Arnous, A., Makris, D. P., and Kefalas, P. 2001. Effect of principal polyphenolic components in relation to antioxidant characteristics of aged red wines. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49(12): 5736-5742.
- Bao, J., Cai, Y., Sun, M., Wang, G., and Corke, H. 2005. Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(6): 2327-2332.
- B.K., W., and Merrill, A. L. 1963. Composition of foods. Agriculture Handbook (8): 51.
- Bourget, C. M. 2008. An introduction to light-emitting diodes. HortScience 43(7): 1944-1946.
- Briggs, W. R., et al. 2001. The phototropin family of photoreceptors. Plant Cell 13(5): 993-997.
- Briggs, W. R. and Olney, M. A. 2001. Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date. Five phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome. Plant Physiology 125(1): 85-88.
- Calatayud, A., and Barreno, E. 2004. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. Plant Physiology and Biochemistry 42(6): 549-555.
- Carvalho, R. F., Takaki, M., and Azevedo, R. A. 2011. Plant pigments: the many faces of light perception. Acta Physiologiae Plantarum 33(2): 241-248.
- Clouse, S. D. 2001. Integration of light and brassinosteroid signals in etiolated seedling growth. Trends in Plant Science 6(10): 443-445.
- Chen, L., Cheng, C., and Liang, J. 2002. Effect of esterification on the Folin-Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. Food Chemistry 170: 10-15.
- Chen, X. L., Xue, X. Z., Guo, W. Z., Wang, L. C., and Qiao, X. J. 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.
- Cosgrove, D. J. 1981. Rapid suppression of growth by blue light: occurrence, time course, and general characteristics. Plant Physiology 67(3): 584-590.

- Dougher, T. A., and Bugbee, B. 2001. Differences in the response of wheat, soybean and lettuce to reduced blue radiation. Photochemistry and Photobiology 73(2): 199-207.
- Eklund, P. C., Langvik, O. K., Wärna, J. P., Salmi, T. O., Willför, S. M., and Sjöholm, R. E. 2005. Chemical studies on antioxidant mechanisms and free radical scavenging properties of lignans. Organic & biomolecular chemistry 3(18): 3336-3347.
- Fu, W., Li, P., and Wu, Y. 2012. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. Scientia Horticulturae 135: 45-51.
- Giliberto, L., et al. 2005. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. Plant Physiology 137(1): 199-208.
- Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwo-Lewandowski, M.M., and Brown, C.S. 1998. Life cycle experiments with Arabidopsis under red light-emitting diodes (LEDs). Life Support and Biosphere Science 5(2): 143-149.
- Gülcin, I. 2012. Antioxidant activity of food constituents: an overview. Archives of Toxicology 86(3): 345-391.
- Gupta, S. D., and Jatothu, B. 2013. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. Plant Biotechnology Reports 7(3): 211-220.
- Halliwell, B., and Gutteridge, J. M. C. 1989. Free radicals in biology and medicine, second edition. Clarendon.
- Halliwell, B., and Gutteridge, J. M. C. 1990. Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview. In Methods in Enzymology, Volume 186, pp.1-85: Academic Press.
- Hanyu, H., and Shoji, K. 2000, November. Acceleration of growth in spinach by short-term exposure to red and blue light at the beginning and at the end of the daily dark period. In IV International ISHS Symposium on Artificial Lighting 580: (pp. 145-150).
- Hernández, R., and Kubota, C. 2016. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. Environmental and Experimental Botany 121: 66-74.
- Hertog, M. G., Feskens, E. J., Kromhout, D., Hollman, P. C. H., and Katan, M. B. 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. The Lancet 342(8878): 1007-1011.

- Hogewoning, S. W., et al. (2010). Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. Journal of Experimental Botany 61(11): 3107-3117.
- Huang, D., Ou, B., and Prior, R. L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(6): 1841-1856.
- Huang, J., Wang, X., Li, X., Tian, H., and Pan, Z. 2013. Remotely sensed rice yield prediction using multi-temporal NDVI data derived from NOAA's-AVHRR. PLOS ONE 8(8).
- Ilieva, I., Ivanova, T., Naydenov, Y., Dandolov, I., and Stefanov, D. 2010. Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse. Advances in Space Research 46(7): 840-845.
- Jiao, Y., Lau, O. S., and Deng, X. W. 2007. Light-regulated transcriptional networks in higher plants. Nature Reviews Genetics 8(3): 217-230.
- Jishi, T., Kimura, K., Matsuda, R., and Fujiwara, K. 2016. Effects of temporally shifted irradiation of blue and red LED light on cos lettuce growth and morphology. Scientia Horticulturae 198: 227-232.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. N., and Yoshihara, T. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. HortScience 45(12): 1809-1814.
- Kaushal, M., Sharma, K. D., and Attri, S. 2013. Effect of blanching on nutritional quality of dehydrated colocasia, *Colocasia esculenta* (L.) Schott leaves. Indian Journal of Natural Products and Resources 4(2): 161–164.
- Kelly, N., Choe, D., Meng, Q., and Runkle, E. S. 2020. Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. Scientia Horticulturae 272: 109565.
- Khandelwal, S., Rishi, A., and Khurana, S. 2014. Estimation of primary and secondary metabolites from leaves of three medicinal plants. International Research Journal of Pharmacy 5(10): 783-785.
- Kim, S. J., Hahn, E. J., Heo, J. W., and Paek, K. Y. 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. Scientia Horticulturae 101(1-2): 143-151.

- Kim, H. H., Wheeler, R. M., Sager, J. C., Gains, G. D., and Naikane, J. H. 2005. Evaluation of lettuce growth using supplemental green light with red and blue light-emitting diodes in a controlled environment-a review of research at Kennedy Space Center. In V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture 711. pp. 111-120.
- Koller, M., and Upadhyaya, S. K. 2005. Prediction of processing tomato yield using a crop growth model and remotely sensed aerial images. Transactions of the ASAE 48(6): 2335-2341.
- Koontz, H. V., and Prince, R. P. 1986. Effect of 16 and 24 hours daily radiation (light) on lettuce growth. HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science 21(1): 123-124.
- Kozai, T. 2013. Plant factory in Japan-current situation and perspectives. Chronica Horticulturae 53(2): 8-11.
- Kuno, Y., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J., and Ohdoi, K. 2017. Effects of irradiation patterns and light quality of red and blue light-emitting diodes on growth of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. 'Greenwave'). Environmental Control Biology 55(3): 129-135.
- Lanfer-Marquez, U. M., Barros, R. M., and Sinnecker, P. 2005. Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. Food Research International 38(8-9): 885-891.
- Lee, S. W., et al. 2014. Influence of different LED lamps on the production of phenolic compounds in common and Tartary buckwheat sprouts. Industrial Crops and Products 54: 320-326.
- Lefsrud, M. G., Kopsell, D. A., Augé, R. M., and Both, A. J. 2006. Biomass production and pigment accumulation in kale grown under increasing photoperiods. HortScience 41(3): 603-606.
- Lemanska, K., Szymusiak, H., Tyrakowska, B. E., Zielinski, R., Soffers, A. E., and Rietjens, I. M. 2001. The influence of pH on antioxidant properties and the mechanism of antioxidant action of hydroxyflavones. Free Radical Biology and Medicine 31(7): 869-881.
- Li, Q., and Kubota, C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environmental and Experimental Botany 67(1): 59-64.
- Li, H., Tang, C., and Xu, Z. 2013. The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. Scientia Horticulturae 150: 117-124.

- Liang, J., and He, J. 2018. Protective role of anthocyanins in plants under low nitrogen stress. Biochemical and Biophysical Research Communications 498(4): 946-953.
- Lichtenthaler, H. K., and Wellburn, A. R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents.
- Liu, Y., et al. 2004. Manipulation of light signal transduction as a means of modifying fruit nutritional quality in tomato. Proceedings of the National Academy of Sciences 101(26): 9897-9902.
- Liu, X., et al. 2007. Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. LWT-Food Science and Technology 40(3): 552-557.
- Llorach, R., Martínez-Sánchez, A., Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I., and Ferreres, F. 2008. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. Food Chemistry 108(3): 1028-1038.
- Loreto, F., Tsonev, T., and Centritto, M. 2009. The impact of blue light on leaf mesophyll conductance. Journal of Experimental Botany 60(8): 2283–2290.
- Lu, F., and Foo, L. Y. 1995. Phenolic antioxidant components of evening primrose. Nutrition, Lipids, Health, and Disease: 86-95.
- Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M., and Mitchell, C.A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. HortScience 43: 1951–1956.
- Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., and Kurata, K. 2007. Analysis of the relationship between blue-light photon flux density and the photosynthetic properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves with regard to the acclimation of photosynthesis to growth irradiance. Soil Science and Plant Nutrition 53(4): 459-465.
- McCree, K. J. 1972. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. Agricultural Meteorology 9: 191-216.
- Miguel, M. G. 2010. Antioxidant activity of medicinal and aromatic plants. A review. Flavour and Fragrance Journal 25(5): 291-312.
- Morrow, R. C. 2008. LED lighting in horticulture. HortScience 43(7): 1947-1950.
- Mou, B. 2009. Nutrient content of lettuce and its improvement. Current Nutrition and Food Science 5(4): 242-248.
- Mulabagal, V., Ngouajio, M., Nair, A., Zhang, Y., Gottumukkala, A. L., and Nair, M. G. 2010. In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. Food chemistry 118(2): 300-306.

- Nhut, D. T., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K., and Tanaka, M. 2003. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). Plant Cell, Tissue and Organ Culture 73(1): 43-52.
- Nicolle, C., et al. 2004. Characterisation and variation of antioxidant micronutrients in lettuce (*Lactuca sativa* folium). Journal of the Science of Food and Agriculture 84(15): 2061-2069.
- Ohashi-Kaneko, K., Takase, M., Kon, N., Fujiwara, K., and Kurata, K. 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. Environmental Control in Biology 45(3): 189-198.
- Ohtake, N., Ishikura, M., Suzuki, H., Yamori, W., and Goto, E. 2018. Continuous irradiation with alternating red and blue light enhances plant growth while keeping nutritional quality in lettuce. HortScience 53(12): 1804-1809.
- Okamoto, K., Yanagi, T., and Kondo, S. 1996, May. Growth and morphogenesis of lettuce seedlings raised under different combinations of red and blue light. In II Workshop on Environmental Regulation of Plant Morphogenesis 435. pp.149-158.
- Okamoto, K., et al. 1996, August. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. In International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems 440: pp.111-116.
- Park, J. S., et al. 2007. Genes up-regulated during red coloration in UV-B irradiated lettuce leaves. Plant cell reports 26(4): 507-516.
- Pfündel, E. and Baake, E. 1990. A quantitative description of fluorescence excitation spectra in intact bean leaves greened under intermittent light. Photosynthesis Research 26: 19-28.
- Perez, C. P., et al. 2008, September. Composition of carotenoids in tomato fruits as affected by moderate UV-B radiation before harvest. In International Symposium on Tomato in the Tropics 821. pp. 217-222.
- Prior, R. L., Wu, X., and Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(10): 4290-4302.
- Ragaei, S., Abdel-Aal, E. S. M., and Noaman, M. 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. Food Chemistry 98(1): 32-38.
- Rodenburg, C. M. 1960. Varieties of lettuce. An International Monograph. Zwolle: WEJ Tjeenk Willink.

- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP 351: pp. 309-317.
- Runkle, E. 2016. Red light and plant growth. Michigan State University Extantion Floriculture Team.
- Ryder, E. J. 1979. Lettuce. In Leafy Salad Vegetables. pp.13-94. Dordrecht: Springer.
- Sago, Y. 2016. Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. HortScience 51(9): 1087-1091.
- Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Sirtautas, R., Novičkovas, A., and Duchovskis, P. 2011. The effect of supplementary LED lighting on the antioxidant and nutritional properties of lettuce. In International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys2011 952. pp.835-841.
- Samuolienė, G., Sirtautas, R., Brazaitytė, A., and Duchovskis, P. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. Food Chemistry 134(3): 1494-1499.
- Samuolienė, G., et al. 2010. Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant and nutritional properties of green vegetables. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 939. pp.85-91.
- Senger, H. 1982. The effect of blue light on plants and microorganisms. Photochemistry and Photobiology 35(6): 911-920.
- Seo, J. M., Arasu, M. V., Kim, Y. B., Park, S. U., and Kim, S. J. 2015. Phenylalanine and LED lights enhance phenolic compound production in Tartary buckwheat sprouts. Food Chemistry 177: 204-213.
- Sharma, O. P., and Bhat, T. K. 2009. DPPH antioxidant assay revisited. Food Chemistry 113(4): 1202-1205.
- Shohael, A. M., Ali, M. B., Yu, K. W., Hahn, E. J., Islam, R., and Paek, K. Y. 2006. Effect of light on oxidative stress, secondary metabolites and induction of antioxidant enzymes in *Eleutherococcus senticosus* somatic embryos in bioreactor. Process Biochemistry 41(5): 1179-1185.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology 299: 152-178.

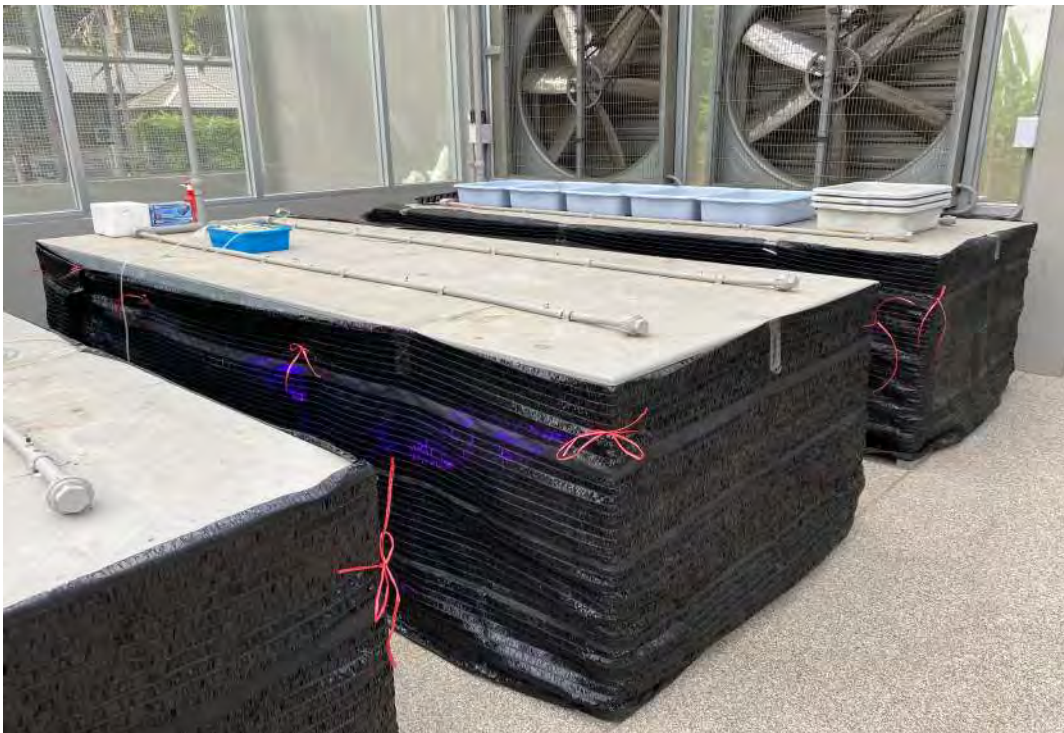
- Son, K. H., and Oh, M. M. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. HortScience 48(8): 988-995.
- Stutte, G. W., Edney, S., and Skerritt, T. 2009. Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. HortScience 44(1): 79-82.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. Plant Physiology. first edition. 179–264 pp. New York: Benjamin/Cummings Publishing Co.
- Tanizawa, H., et al. 1992. Studies on natural antioxidants in citrus species. I. Determination of antioxidative activities of citrus fruits. Chemical and Pharmaceutical Bulletin 40(7): 1940-1942.
- Tamulaitis, G., et al. 2005. High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. Journal of Physics D: Applied Physics 38(17): 3182.
- Thwe, A. A., et al. 2014. Effects of light-emitting diodes on expression of phenylpropanoid biosynthetic genes and accumulation of phenylpropanoids in *Fagopyrum tataricum* sprouts. Journal of Agricultural and Food Chemistry 62(21): 4839-4845.
- Tholen, D., Boom, C., Noguchi, K. O., Ueda, S., Katase, T., and Terashima, I. 2008. The chloroplast avoidance response decreases internal conductance to CO₂ diffusion in *Arabidopsis thaliana* leaves. Plant, Cell and Environment 31(11): 1688-1700.
- Thompson, R. C. 1944. Lettuce varieties and culture.
- Wada, M., Kagawa, T., and Sato, Y. 2003. Chloroplast movement. Annual Review of Plant Biology 54(1): 455-468.
- Walters, R. G. 2005. Towards an understanding of photosynthetic acclimation. Journal of Experimental Botany 56(411): 435-447.
- Wang, X. Y., Xu, X. M., and Cui, J. 2015. The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light. Photosynthetica 53(2): 213-222.
- Wang, J., Lu, W., Tong, Y., & Yang, Q. (2016). Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. Frontiers in Plant Science 7: 250.
- Wardlow, B. D., Egbert, S. L., and Kastens, J. H. 2007. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the US Central Great Plains. Remote Sensing of Environment 108(3): 290-310.

- Wu, M. C., et al. 2007. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. Food Chemistry 101(4): 1753-1758.
- Wright, J. S., Johnson, E. R., and DiLabio, G. A. 2001. Predicting the activity of phenolic antioxidants: theoretical method, analysis of substituent effects, and application to major families of antioxidants. Journal of the American Chemical Society 123(6): 1173-1183.
- Yamori, W., Kondo, E., Sugiura, D., Terashima, I., Suzuki, Y., and Makino, A. 2016. Enhanced leaf photosynthesis as a target to increase grain yield: insights from transgenic rice lines with variable Rieske FeS protein content in the cytochrome b6/f complex. Plant, Cell and Environment 39(1): 80-87.
- Yamori, W., and Shikanai, T. 2016. Physiological functions of cyclic electron transport around photosystem I in sustaining photosynthesis and plant growth. Annual Review of Plant Biology 67: 81-106.
- Zhang, G., Shen, S., Takagaki, M., Kozai, T., and Yamori, W. 2015. Supplemental upward lighting from underneath to obtain higher marketable lettuce (*Lactuca sativa*) leaf fresh weight by retarding senescence of outer leaves. Frontiers in Plant Science, 6: 1110.

ภาคผนวก ก
ประมวลภาพระหว่างการทดลอง



ภาพที่ 12 โครงแอลอีดีติดตั้งใต้โต๊ะภายในโรงเรือน



ภาพที่ 13 บริเวณรอบโต๊ะคลุมด้วยตาข่ายกรองแสง



ภาพที่ 14 ต้นกล้าผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลอายุ 12 วันก่อนให้แสงแอลอีดี



ภาพที่ 15 กระบะผักสลัดเรดโครอลและกรีนโครอลภายใต้โครงแอลอีดี

ภาคผนวก ข

ตารางผลการวิเคราะห์สถิติของตัวชี้วัดการเติบโตโดย IBM SPSS Statistics version 22

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ ข1 แสดงน้ำหนักสด (fresh weight), ความกว้างทรงพุ่ม (canopy) และค่าการดูดกลืนแสงในใบ (NDVI) ของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) อายุ 22 วัน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Tukey's test และ *Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสง ดังตารางที่ 1)

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Fresh weight (g)		Canopy (cm)		NDVI	
			RC*	GC	RC	GC	RC	GC*
SL	1		0.0576 a	0.0621 a	3.6737 ab	3.9707 ab	0.2638 a	0.2219 a
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	0.2609 b	0.2762 bc	4.8880 ab	3.5895 ab	0.4454 bc	0.4144 ab
	3	1R:1B	0.3279 b	0.1953 abc	3.6633 ab	3.8260 ab	0.4111 bc	0.3539 a
	4	1R:2B	0.2250 c	0.2275 abc	5.3810 b	4.4437 b	0.3919 b	0.4062 a
	5	2R:1B	0.4340 b	0.2762 bc	2.9710 ab	3.1688 ab	0.4693 bc	0.4168 ab
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	0.2144 b	0.1994 abc	4.7195 ab	2.7876 ab	0.4818 bc	0.4487 ab
	7	1R:1B	0.4365 c	0.1519 ab	3.1107 ab	3.1322 ab	0.5197 c	0.3963 b
	8	1R:2B	0.2028 ab	0.1504 ab	3.8604 ab	3.1700 ab	0.4883 bc	0.4286 ab
	9	2R:1B	0.2854 ab	0.1659 abc	5.6830 b	3.3155 b	0.4928 bc	0.4534 ab
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	0.3510 b	0.2183 abc	5.7680 b	4.6124 b	0.4704 bc	0.3794 ab
	11	1R:1B	0.3982 bc	0.2968 bc	4.0528 ab	3.9090 ab	0.4643 bc	0.4565 ab
	12	1R:2B	0.3298 b	0.2903 bc	4.7224 ab	4.2317 ab	0.5081 c	0.4362 ab
	13	2R:1B	0.3626 b	0.3337 c	1.6194 a	1.9464 a	0.4836 bc	0.4577 ab

ตารางที่ ข2 แสดงน้ำหนักสด (fresh weight), ความกว้างทรงพุ่ม (canopy) และค่าการดูดกลืนแสงในใบ (NDVI) ของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) อายุ 32 วัน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Tukey's test และ *Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสง ดังตารางที่ 1)

หมายเหตุ **ผักสลัดทั้งสองชนิดภายใต้แสงธรรมชาติ (control) ตายทั้งหมด

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Fresh weight (g)		Canopy (cm)		NDVI	
			RC*	GC*	RC	GC*	RC	GC
SL**	1							
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	2.5897 a	1.8636 b	8.9542 ab	8.3245 ab	0.4406 a	0.4484 ab
	3	1R:1B	1.1082 a	0.4654 a	8.1558 ab	3.7320 a	0.4296 a	0.3908 ab
	4	1R:2B	1.6259 a	0.8972 ab	7.7910 ab	6.5798 ab	0.4868 a	0.4855 ab
	5	2R:1B	2.9529 a	1.5860 ab	9.8173 ab	7.9963 ab	0.3959 a	0.3902 ab
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	1.4165 a	0.4460 a	8.3485 ab	5.8135 ab	0.4620 a	0.4138 ab
	7	1R:1B	2.0869 a	1.8320 b	9.4368 ab	8.9736 b	0.5311 a	0.5282 b
	8	1R:2B	0.8123 a	0.4599 a	5.9025 a	4.5582 a	0.4959 a	0.4980 b
	9	2R:1B	1.7249 a	0.8630 ab	9.8653 ab	6.7917 ab	0.4791 a	0.4568 ab
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	1.5154 a	0.6378 a	10.1118 ab	6.4272 ab	0.4960 a	0.3398 a
	11	1R:1B	2.3887 a	1.3143 ab	10.3822 ab	6.7488 ab	0.4621 a	0.3875 ab
	12	1R:2B	3.0908 a	1.9001 b	12.5918 b	8.9662 ab	0.5183 a	0.4648 ab
	13	2R:1B	2.5567 a	1.9938 b	11.2538 b	9.0300 b	0.5363 a	0.4451 ab

ตารางที่ ข3 แสดงน้ำหนักสด (fresh weight), ความกว้างทรงพุ่ม (canopy) และค่าการดูดกลืนแสงในใบ (NDVI) ของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) อายุ 41 วัน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Tukey's test และ *Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสง ดังตารางที่ 1)

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Fresh weight (g)		Canopy (cm)		NDVI	
			RC*	GC	RC	GC	RC	GC
SL**	1							
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	5.9702 a	5.6950 bc	12.8820 a-d	13.1420 c	0.4276 a	0.4178 a
	3	1R:1B	2.7533 a	0.5161 a	9.1818 abc	5.1790 a	0.4475 a	0.3805 a
	4	1R:2B	1.9766 a	3.1778 abc	8.8715 ab	10.2768 abc	0.4765 a	0.4080 a
	5	2R:1B	6.6613 a	5.7386 bc	12.7913 a-d	12.7484 c	0.4527 a	0.3922 a
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	3.1458 a	0.8574 ab	13.7985 a-d	6.1450 abc	0.4010 a	0.3303 a
	7	1R:1B	5.9361 a	4.2014 abc	12.7893 a-d	11.1578 abc	0.4904 a	0.4387 a
	8	1R:2B	1.5210 a	0.6645 a	8.2920 a	5.4120 ab	0.4286 a	0.4096 a
	9	2R:1B	3.1176 a	1.3458 abc	12.0830 a-d	9.3385 abc	0.4835 a	0.3469 a
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	5.7130 a	1.3363 abc	15.0890 cd	8.7107 abc	0.5041 a	0.3755 a
	11	1R:1B	8.1789 a	4.9039 abc	14.8832 bcd	12.4398 bc	0.4883 a	0.4173 a
	12	1R:2B	10.6053 a	6.1488 c	16.8188 d	12.5588 c	0.5180 a	0.3980 a
	13	2R:1B	8.4766 a	3.1746 abc	15.9638 d	9.9892 abc	0.4889 a	0.3924 a

หมายเหตุ **ผักสลัดทั้งสองชนิดภายใต้แสงธรรมชาติ (control) ตายทั้งหมด

การทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ ข4 แสดงน้ำหนักสด (fresh weight), ความกว้างทรงพุ่ม (canopy) และค่าการดูดกลืนแสงในใบ (NDVI) ของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) อายุ 22 วัน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Tukey's test และ *Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสง ดังตารางที่ 1)

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Fresh weight (g)		Canopy (cm)		NDVI	
			RC*	GC	RC	GC	RC*	GC
SL	1		0.1992 b	0.1582 a	4.7904 a	3.8050 a	0.3433 a	0.2826 a
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	0.2728 bc	0.1846 a	5.2468 a	4.3876 a	0.4429 ab	0.3877 b
	3	1R:1B	0.1663 b	0.0717 a	3.9168 a	2.5925 a	0.4606 b	0.3813 b
	4	1R:2B	0.2712 b	0.1451 a	4.2447 a	3.3497 a	0.5014 b	0.4470 bcd
	5	2R:1B	0.2481 b	0.1197 a	4.5123 a	3.4723 a	0.4258 ab	0.4071 bcd
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	0.1596 b	0.0920 a	3.8208 a	2.9105 a	0.4418 ab	0.4362 bcd
	7	1R:1B	0.1579 ab	0.1104 a	3.6350 a	3.1983 a	0.4662 b	0.4686 cd
	8	1R:2B	0.0976 a	0.0322**	3.1203 a	1.7250**	0.4778 b	0.4380**
	9	2R:1B	0.1979 b	0.1485 a	4.3212 a	3.6158 a	0.4997 b	0.4805 d
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	0.3492 c	0.2280 a	4.7717 a	4.5037 a	0.4833 b	0.3914bc
	11	1R:1B	0.3511 c	0.1949 a	4.8618 a	3.9245 a	0.4746 b	0.4329 bcd
	12	1R:2B	0.3242 c	0.1588 a	4.6788 a	3.6632 a	0.4755 b	0.4329 bcd
	13	2R:1B	0.3683 c	0.2531 a	4.9602 a	4.3046 a	0.4613 b	0.4006 bc

หมายเหตุ **ไม่สามารถทดสอบสถิติได้เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างไม่เพียงพอต่อการทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ ข5 แสดงน้ำหนักสด (fresh weight), ความกว้างทรงพุ่ม (canopy) และค่าการดูดกลืนแสงในใบ (NDVI) ของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) อายุ 32 วัน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Tukey's test และ *Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสง ดังตารางที่ 1)

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Fresh weight (g)		Canopy (cm)		NDVI	
			RC*	GC*	RC	GC	RC	GC*
SL	1		3.3908 d	2.3828 c	17.4170 e	13.8195 e	0.3146 a	0.2763 a
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	2.4102 bc	2.1512 c	15.5156 cde	13.1393 de	0.3565 ab	0.3199 ab
	3	1R:1B	0.7144 ab	0.3019 a	8.7764 ab	4.8546 ab	0.3682 a-d	0.3234 ab
	4	1R:2B	2.0178 bc	0.8805 ab	12.9978 b-e	9.0660 b-e	0.4411 b-e	0.3619 ab
	5	2R:1B	1.1888 b	1.1068**	12.0300 bcd	8.3160**	0.3641 abc	0.3016**
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	1.2037 bc	0.8278 ab	10.3150 abc	7.3683 abc	0.4113 a-e	0.3908 b
	7	1R:1B	2.1865 bc	0.9058 b	12.4177 b-e	7.3092 abc	0.4724 e	0.4032 b
	8	1R:2B	0.3159 a	0.1049 a	5.2507 a	2.6765 a	0.4645 de	0.3658 ab
	9	2R:1B	2.4438 c	0.9460 b	10.8418 bcd	8.5254 bcd	0.4570 cde	0.4012 b
รูปแบบที่ 3 (24hr)	10	W	3.0392 cd	1.2177 bc	14.6342 cde	9.3552 cde	0.4722 e	0.4068 b
	11	1R:1B	2.0006 bc	1.4158 bc	11.5680 bcd	10.8320 bcd	0.4699 e	0.4212 b
	12	1R:2B	2.8783 c	1.5538 bc	15.5853 de	10.7765 de	0.4676 e	0.3816 ab
	13	2R:1B	2.4659 c	1.9087 c	15.1728 cde	9.5020 cde	0.4516 b-e	0.4281 b

หมายเหตุ **ไม่สามารถทดสอบสถิติได้เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างไม่เพียงพอต่อการทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ ข6 แสดงน้ำหนักสด (fresh weight), ความกว้างทรงพุ่ม (canopy) และค่าการดูดกลืนแสงในใบ (NDVI) ของผักสลัดเรดโครอล (RC) และกรีนโครอล (GC) อายุ 42 วัน โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย one-way ANOVA วิธี Tukey's test และ *Dunnett's T3 test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งตัวอักษรที่แตกต่างกัน ในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ลำดับที่ 1-13 เป็นรูปแบบการให้แสงดังตารางที่ 1)

รูปแบบการให้แสง	ลำดับ	อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน	Fresh weight (g)		Canopy (cm)		NDVI	
			RC*	GC*	RC	GC	RC	GC*
SL	1		4.4892 bc	1.4062 b	19.3020 bc	14.7880 bcd	0.4474 a	0.3111 a
รูปแบบที่ 1 (6D6D)	2	W	9.5800 cd	4.9776 b	22.5952 c	16.3126 d	0.4350 a	0.2885 a
	3**	1R:1B	1.0754 a		9.2510 a		0.4788 a	
	4	1R:2B	6.3149 cd	3.1490 b	17.3834 bc	13.8610 bcd	0.4345 a	0.3261 a
	5	2R:1B	4.2674 bc	0.9182 a	18.5794 bc	9.1160 ab	0.4207 a	0.2961 a
รูปแบบที่ 2 (12D)	6	W	4.9052 c	2.9960***	17.0374 ab	16.5180***	0.4762 a	0.4329***
	7	1R:1B	0.9648 a	0.8630***	9.0547 a	7.0790***	0.4552 a	0.4079***
	8	1R:2B	0.5864 a	0.2574 a	5.8280 a	3.6235 a	0.4667 a	0.3920 a
	9	2R:1B	6.2781 cd	5.2617 c	17.9773 bc	16.8648 d	0.4498 a	0.3523 a
รูปแบบที่ 3 (24)	10	W	10.9579 e	2.7358 b	22.8625 c	15.0835 cd	0.4458 a	0.3571 a
	11	1R:1B	1.5848***	1.6896 b	9.9900***	10.3757 bc	0.5011***	0.3920 a
	12	1R:2B	3.1815 bc	1.2135 a	18.1214 bc	12.8477 bcd	0.3892 a	0.3401 a
	13	2R:1B	2.6479 ab	1.2929 ab	12.3600 ab	12.0913 bcd	0.4451 a	0.3864 a

หมายเหตุ **ผักสลัดกรีนโครอลภายใต้รูปแบบการให้แสงที่ 1 (6D6D) ของอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ตายทั้งหมด

***ไม่สามารถทดสอบสถิติได้เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างไม่เพียงพอต่อการทดสอบทางสถิติ

ภาคผนวก ค

สูตรอาหาร Enshi solution full strength

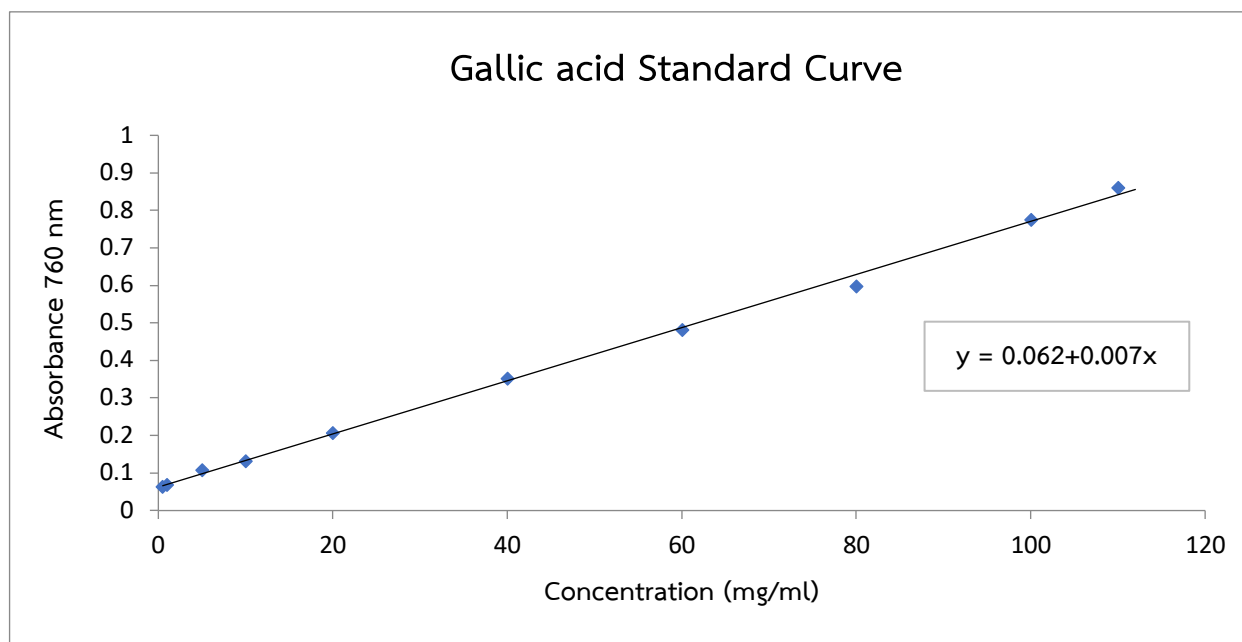
Table 1. 'Enshi' nutrient solution^z.

Chemicals	Amounts ^y (g/1000 L)
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	950
KNO ₃	810
MgSO ₄ ·7H ₂ O	500
NH ₄ H ₂ PO ₄	155
H ₃ BO ₃	3
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22
MnSO ₄ ·4H ₂ O	2
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.05
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.02

^zFull strength.^yAmounts of salts per 1000 L of tap water (Hori, 1966).

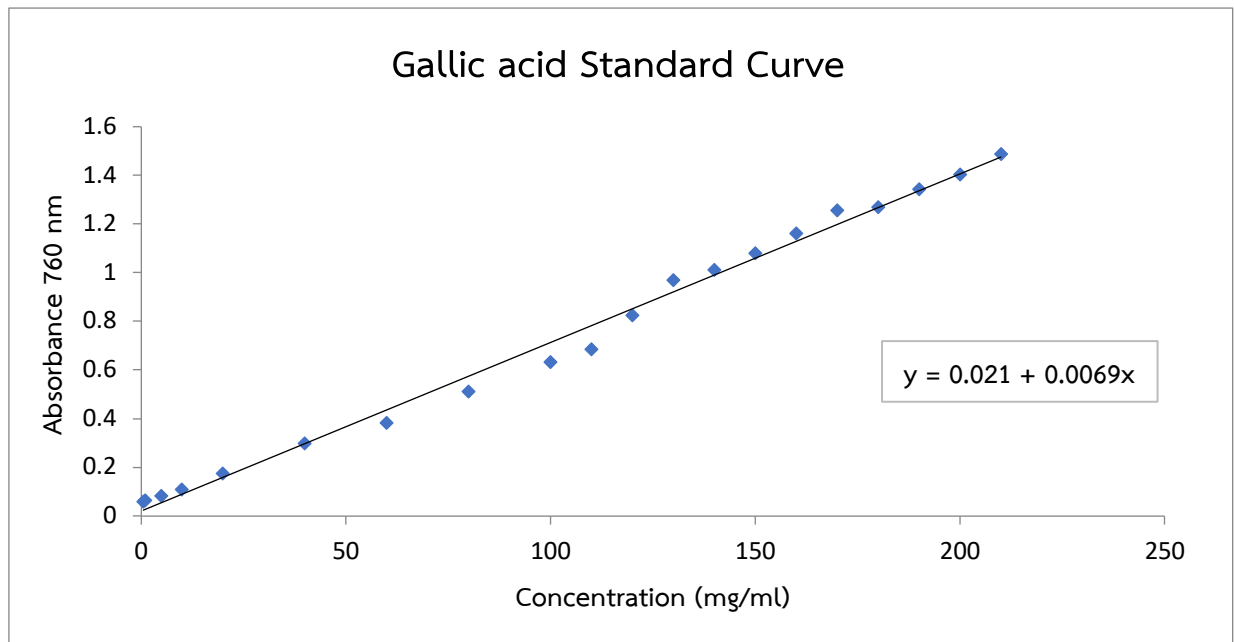
ภาพที่ ค1 สูตรอาหาร Enshi solution full strength โดยใช้ FeEDTA 25 mg.L⁻¹

กราฟมาตรฐานของ gallic acid เพื่อนำสมการที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิก
การทดลองครั้งที่ 1



ภาพที่ ค2 กราฟมาตรฐานของ gallic acid โดยมีสมการ $y = 0.062 + 0.007x$

การทดลองครั้งที่ 2



ภาพที่ ค3 กราฟมาตรฐานของ gallic acid โดยมีสมการ $y = 0.021 + 0.0069x$