ผลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระของพืช

นางสาวสุธิดา รอกกระโทก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

EFFECTS OF LED LIGHT ON SEED GERMINATION, GROWTH, YIELD AND ACCUMULATION OF ANTIOXIDANTS OF CROPS

Suthida Rokkrathok

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Crop Science

Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

ผลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระของพืช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.อารักษ์ ธีรอำพน)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.แหวนพลอย จินากูล)
กรรมการ

(ผศ. ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุธิดา รอกกระโทก : ผลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระของพืช (EFFECTS OF LED LIGHT ON SEED GERMINATION, GROWTH, YIELD AND ACCUMULATION OF ANTIOXIDANTS OF CROPS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา, 78 หน้า.

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตพืช ซึ่งการปลูกพืชในสภาพปิดต้องใช้ความเข้มแสง และคุณภาพแสง ที่เฉพาะเจาะจงต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช และ 2) เพื่อศึกษาผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผัก โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase การงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช โดยเพาะเมล็ดพืช 5 ชนิด ได้แก่ งา ทานตะวัน ข้าว ถั่วเขียว และถั่วเหลือง ภายใต้แสงจากหลอด LED (light–emitting diode) สีขาว สีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ (50 และ 100 μmol/m^2/s) เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง ผลการทดลองพบว่าเมล็ดงา และข้าว ภายใต้แสงสีแดงที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s มีกิจกรรมเอนไซม์และเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงที่สุด ในขณะที่เมล็ดทานตะวันมีความงอกสูงภายใต้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s แต่เมล็ดพืชขนาดใหญ่ ได้แก่ ถั่วเขียว และถั่วเหลืองไม่ตอบสนองต่อความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่แตกต่างกัน นอกจากนี้มีการทดสอบผลของการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสงต่างกัน 3 ระดับ (400, 200 และ 145 μmol/m^2/s) ในเมล็ดข้าว ถั่วเขียว ทานตะวัน และงา พบว่าที่ความเข้มแสง 145 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้เมล็ดมีความงอก น้ำหนักสด และการสะสมปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนข้าว ทานตะวัน และงา สูงขึ้น อย่างไรก็ตามความเข้มแสงทุกระดับส่งผลให้ถั่วเขียวมีการสะสมปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่ให้แสง การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของความคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผัก 3 ชนิด (ผักแพว สะระแหน่ และกรีนโอ๊ค) โดยปลูกพืชภายใต้คุณภาพแสงต่างกัน 12 อัตราส่วน ที่ความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ (140 และ 160 μmol/m^2/s) โดยมีแสงสีขาวเป็นตัวเปรียบเทียบ ผลการทดลองพบว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการคุณภาพแสง และความเข้มแสงที่จำเพาะ โดยการใช้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 μmol/m^2/s ส่งเสริมให้ผลผลิต และการสะสมสารสำคัญของผักแพว (ปริมาณฟีนอล) และกรีนโอ๊ค (กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ) สูงขึ้น สำหรับสะระแหน่ที่ปลูกภายใต้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 140 μmol/m^2/s ส่งเสริมให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณฟีนอล และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าการให้แสงแบบอื่น

จากผลการทดลองในครั้งนี้บ่งชี้ว่าการปลูกพืชภายใต้คุณภาพแสงร่วมกับความเข้มแสงที่เหมาะสม สามารถเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase การงอกของเมล็ด รวมถึงส่งเสริมการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนและพืชผักได้ แต่ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่เหมาะสมมีความจำเพาะกับชนิดของพืช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา สุธิดา รอดกระโทก

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

SUTHIDA ROKKRATHOK : EFFECTS OF LED LIGHT ON SEED GERMINATION, GROWTH, YIELD AND ACCUMULATION OF ANTIOXIDANTS OF CROPS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THITIPORN MACHIKOWA, Ph.D., 78 PP.

LIGHT QUALITY/LIGHT INTENSITY/SPROUT/PHENOLIC CONTENT/ENZYME ACTIVITY

Light is an important factor for growth, yield and quality of plants. Growing plants under closed conditions, specific light intensity and light quality may be required for maximum growth of each plant species. The objectives of this study were 1) to investigate effects of light quality and light intensity on seed germination and phenolic content in sprouts and 2) to investigate the effect of light quality and light intensity on growth, yield and the accumulation of antioxidant content in vegetables. There were 2 experiments, the first experiment was conducted to study the effects of light quality and light intensity on enzyme activity, seed germination and phenolic content in sprouts. Sesame, sunflower, rice, mungbean and soybean seeds were germinated under 3 LED (light-emitting diode) lights (white, red and red:blue) with 2 levels of light intensity (50 and 100 $\mu mol/m^2/s$) and a dark condition (control). The results revealed that the red light at 100 $\mu mol/m^2/s$ tended to increase the α–amylase activity and seed germination in sesame and rice. While seed germination in the sunflower was enhanced under white LED at 50 $\mu mol/m^2/s$, seed germination of mungbean and soybean exhibited no significant difference under the different light treatments. In addition, red:blue light combination with 3 levels of light intensity (145, 200 and 400 $\mu mol/m^2/s$) were also tasted in rice, mungbean, sunflower and

sesame seeds. The light intensity of 145 μmol/m^2/s produced the highest seed germination, fresh weight and phenolic content in rice, sunflower and sesame seedlings. However, all light intensities increased phenolic content in mungbean compared to the dark condition. The second experiment was conducted to investigate the effects of light quality and light intensity on growth, yield and the accumulation of antioxidant content in 3 vegetables (Vietnamese coriander, marsh mint and green oak). Treatments included the combination of 12 light qualities and 2 levels of light intensity (140 and 160 μmol/m^2/s) and a white LED was used as a control. The results indicated that each plant species required specific light quality and light intensity. The ratio of 5:5 (red:blue) at 160 μmol/m^2/s promoted growth, yield and antioxidant content in Vietnamese coriander (phenolic content) and green oak (antioxidant activity). In marsh mint, the highest fresh weight, dry weight, phenolic content and antioxidant activity was found in the white LED at 140 μmol/m^2/s.

The overall results demonstrated that the optimal combination of light intensity and light quality could increase α–amylase activity and germination, as well as, promote growth, yield and antioxidant accumulation in sprouts and vegetables; however, the requirement of light conditions was specific to plant species.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Crop Production Technology

Academic Year 2020

Student's Signature Suthida Rakkrathok

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ให้การอบรมสั่งสอน ทั้งด้านวิชาการและหลักการดำรงชีวิต ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ตลอดจนช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนแล้วเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร. แหวนพลอย จินากูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางแก้ไขปัญหา ตลอดจนช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาและคอยอบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ คุณนวลปรางค์ อุทัยดา คุณสหรัฐ นภากาศ คุณชญาน์นัทช์ สิริสิทธิกุล และคุณปณิธิ ผลบังเกิด เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับปริญญาโท แก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และสนับสนุนงบประมาณอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณ คุณดวงกมล เดชดอน คุณฉัตราพร ชับขุนทด และคุณนิรุจน์ คำจุมพล รวมถึงเพื่อนพี่น้องสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทุกท่านที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำวิจัย และให้กำลังใจมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุธิดา รอกกระโทก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ญ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 4

2.2 ความสำคัญของแสงต่อพืช 5

2.3 องค์ประกอบของแสง 11

2.4 อิทธิพลของแสงต่อการงอกของเมล็ด 12

2.5 อิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนากิ่งข้างของพืช 17

2.6 อิทธิพลของแสงต่อกระบวนการออกดอกของพืช 19

2.7 ผลของแสงต่อการสร้างสารสำคัญในพืช 20

2.8 ชนิดของหลอดไฟ และการประยุกต์ใช้หลอดไฟ LED ในการผลิตพืช 23

3. วิธีการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 ผลของแสงต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase การงอกของเมล็ด ผลผลิต และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 27

3.1.1 การทดลองที่ 1.1 ผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase การงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2 การทดลองที่ 1.2 ผลของความเข้มแสง ต่อผลผลิต และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 31
3.2 การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผัก 32
4. ผลการทดลอง และการอภิปรายผล
4.1 การทดลองที่ 1 ผลของแสงต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 38
4.1.1 การทดลองที่ 1.1 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 38
4.1.2 การทดลองที่ 1.2 ผลของความเข้มแสง ต่อการงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 47
4.2 การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผัก 51
5. บทสรุป 68
รายการอ้างอิง 71
ภาคผนวก 77
ประวัติผู้เขียน 78

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแสง ความยาวคลื่น และประโยชน์ต่อพืช 7

3.1 ปัจจัยของแสงที่ให้กับเมล็ดพืช 28

3.2 อัตราส่วนต่างๆ ของคุณภาพแสงที่ให้กับพืช 34

4.1 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในงา 39

4.2 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในงา 39

4.3 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในทานตะวัน 41

4.4 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในทานตะวัน 41

4.5 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในข้าว 42

4.6 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในข้าว 42

4.7 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเขียว 43

4.8 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเขียว 43

4.9 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเหลือง 45

4.10 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเหลือง 45

4.11 สรุปผลของความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่ส่งผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.12 ผลของความเข้มแสง ต่อเปอร์เซนต์ความงอก ดัชนีความงอก น้ำหนักสด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช 48
4.13 ผลของความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในผักแพว 55
4.14 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในผักแพว 56
4.15 ผลของความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในสะระแหน่ 60
4.16 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในสะระแหน่ 61
4.17 ผลของความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในกรีนโอ๊ค 64
4.18 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในกรีนโอ๊ค 65

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แถบสเปคตรัมของหลอดไฟแต่ละชนิด 5
2.2 แถบสีและแถบสเปคตรัมของแสงอาทิตย์ 6
2.3 ผลของแสงต่อการสร้างเอนไซม์และการงอกของเมล็ด..... 16
2.4 GA–biosynthetic pathway..... 17
2.5 แสดง color spectrum ของแสงอาทิตย์ (A) หลอดไฟ Incandescent (B) หลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ (C) หลอดไฟ LED สีน้ำเงิน (D) หลอดไฟ LED สีแดง (E) หลอดไฟ LED สีขาว (F)..... 24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

BSA	=	bovin serum albumin
DTT	=	dithiothreitol
EC	=	ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)
EDTA	=	ethylene diamine tetra acetic acid
GA	=	gibberellic acid
HEPES	=	4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid
KOH	=	potassium hydroxide
LAI	=	leaf area index
LED	=	light emitting diode
Na_2CO_3	=	sodium carbonate
$NaHSO_3$	=	sodium bisulfite
PAR	=	photosynthetic active radiation
PH	=	ค่าแสดงความเป็นกรดเป็นเบสของสาร (otential of hydrogen ion)
PPM	=	ความเข้มข้นหนึ่งส่วนในล้านส่วน (part per million)
TP	=	วิธีการเพาะเมล็ดแบบ top of paper
UV	=	ultra violet

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประชากรโลกได้เพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้มีการขยายชุมชนเมืองออกไปยังพื้นที่ป่า หรือพื้นที่ที่ใช้ในการเกษตรมากขึ้น ในขณะที่พื้นที่ทางการเกษตรลดลงแต่ความต้องการอาหารมีมากขึ้นส่งผลให้มีการปรับเปลี่ยนการปลูกพืชเป็นแบบเชิงเดี่ยว หรือมีการปลูกพืชชนิดเดียวเป็นจำนวนมาก เพื่อตอบสนองความต้องการอาหาร ซึ่งปัญหาที่ตามมาคือ การระบาดของโรค และแมลงศัตรูพืชเป็นจำนวนมาก เกษตรกรนิยมใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืช เพราะวิธีนี้มีความสะดวกและง่ายต่อการกำจัดศัตรูพืช ซึ่งผลที่ตามมาคือมีสารตกค้างในผลผลิตพืชเป็นปริมาณมาก เมื่อรับประทานเข้าไปมีการสะสมภายในร่างกายส่งผลให้เกิดเป็นโรคร้ายต่างๆ ขึ้น จากสถิติที่ผ่านมาพบว่าคนไทยและคนทั่วโลกมีอัตราการเสียชีวิตด้วยโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดเพิ่มมากขึ้น สาเหตุที่สำคัญเกิดจากความไม่สมดุลของการรับประทานอาหาร ส่งผลให้มีความเสี่ยงในการเป็นโรคต่างๆ เช่นโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง กระดูกพรุน โรคอ้วนและโรคมะเร็งบางชนิด ซึ่งปัจจุบันคนหันมาสนใจสุขภาพกันมากขึ้น โดยมีความตระหนักถึงสารเคมีตกค้างที่อาจปนเปื้อนมากับผัก ผลไม้ และอาหารที่รับประทาน ดังนั้นผู้คนจึงเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ปลอดภัยจากสารตกค้าง ถึงแม้ราคาค่อนข้างสูง ซึ่งวิธีการลดสารเคมีตกค้างในผักคือ การปลูกพืชในโรงเรือนแบบปิด การปลูกพืชในห้องปลูกพืช หรือการปลูกพืชในโรงเรือนเพาะเลี้ยง เพื่อลดปัญหาเรื่องโรคและแมลงศัตรูพืช รวมไปถึงการลดปริมาณสารเคมีเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืช โดยการปลูกพืชด้วยวิธีดังกล่าวมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องควบคุม ได้แก่ แสง น้ำ อุณหภูมิ ความชื้น และธาตุอาหารต่างๆ (ฐิติมา บุษบาศรี, 2555) ซึ่งการปลูกพืชในสภาพโรงเรือนมีแสงเป็นปัจจัยหลักในการปลูกพืช โดยการปลูกพืชในสภาพดังกล่าวพืชได้รับแสงจากธรรมชาติไม่เพียงพอเนื่องจากการพรางแสงของหลังคาโรงเรือน แต่โดยทั่วไปมีการให้แสงจากหลอดไฟแต่ละชนิดเสริม เช่น หลอดไส้ หลอดฮาโลเจน หลอดนิออน และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหลอดไฟชนิดต่างๆ มักมีข้อจำกัด เช่น หลอดไส้ใช้พลังงานมากและมีอายุการใช้งานสั้น ในขณะที่หลอดฮาโลเจนใช้พลังงานมากและปลดปล่อยความร้อนออกมาสูงทำให้ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ส่วนหลอดนิออนมีอายุการใช้งานสั้น และหลอดฟลูออเรสเซนต์ปล่อยช่วงความยาวคลื่นที่ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช และมีราคาค่อนข้างสูง นอกจากนี้แล้วการให้

แสงจากหลอดไฟจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการของพืช โดยพืชแต่ละชนิดหรือพืชแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีความต้องการแสงแตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบของแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชมี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ คุณภาพของแสง ความเข้มแสง และช่วงเวลาของแสง โดยองค์ประกอบดังกล่าวมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน เช่น พืชที่ชอบร่มเงา ถ้าได้รับความเข้มของแสงมากเกินไปจะทำให้ใบเหลือง แคระแกร็น ส่วนพืชที่ชอบแสง เช่น พืชไร่ หรือพืชสวนทั่วไปต้องการความเข้มแสงในปริมาณมาก และในพืชบางชนิดต้องการแสงเป็นเวลานานกว่าปกติเพื่อการออกดอก หรือบางชนิดต้องการแสงน้อยในระยะที่พืชขยายขนาดของผล ซึ่งแสงไฟที่กล่าวมาไม่สามารถควบคุมการให้ความยาวคลื่น ความเข้มแสง และช่วงเวลาของแสงได้แน่ชัด นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วแสงยังมีผลต่อพืชงอก หรือต้นอ่อนของพืช ที่ใช้เวลาเก็บเกี่ยวที่อายุ 7–14 วัน หลังจากเพาะเมล็ด นิยมรับประทานเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีวิตามิน และแร่ธาตุสูงกว่าผักชนิดเดียวกันที่โตเต็มที่แล้ว ต้นอ่อนพืชนิยมนำมารับประทานสดและประกอบเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและมีความนิยมแพร่หลายในกลุ่มของคนรักสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง บางชนิดมีสีสันสวยงาม รสชาติกรอบอร่อย ต้นอ่อนพืชจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของการบริโภคผักที่ปลอดภัย เหมาะกับสังคมเมืองที่มีพื้นที่พักอาศัยอยู่อย่างจำกัด เช่น ในบ้าน หรือในอาคารที่พักอาศัย สามารถปลูกได้ทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ เหมาะสำหรับใช้ปลูกผักปลอดภัยที่มีคุณค่าทางอาหารสูงไว้รับประทานในครัวเรือน ซึ่งการผลิตพืชงอกทำได้ไม่ยาก แต่การผลิตให้ได้ทั้งผลผลิตและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงต้องดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม นอกจากนี้การผลิตพืชในอาคาร ในสภาพปิด หรือการผลิตผักในสภาพโรงเรือน มีความนิยมมากขึ้นในปัจจุบันโดยเฉพาะในสังคมเมืองที่มีพื้นที่น้อย แล้วต้องการผลิตให้ผักมีผลผลิตและมีคุณภาพผลผลิตสูง ไม่มีสารพิษตกค้างจากการใช้ยาฆ่าแมลง รวมถึงมีสารสำคัญเพิ่มขึ้น เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ แต่การผลิตพืชในสภาพปิด ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพผักคือแสง โดยปัจจุบันมีการพัฒนาแสงประดิษฐ์ที่เรียกว่า Light Emitting Diode (LED) ที่สามารถควบคุมการให้ความยาวคลื่น ความเข้มแสง ช่วงเวลาของแสงได้ มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น และยังปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาน้อย เหมาะกับการงอก การเจริญเติบโตของพืช และการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในพืช อย่างไรก็ตามพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อความยาวคลื่น ความเข้มแสง และช่วงเวลาการรับแสงที่แตกต่างกัน การทราบความต้องการแสงของพืชที่ต่างชนิด หรือต่างกันในช่วงอายุของการเจริญเติบโต จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการผลิตพืช และสามารถลดปัญหาการได้รับแสงไม่เพียงพอจากดวงอาทิตย์ได้ (ดนัย บุณยเกียรติ, 2554)

จากที่กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของแสงจากหลอด LED ต่อการงอก การเจริญเติบโต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระของพืชผักและพืชสมุนไพรในประเทศไทยยังมีไม่มาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของคุณภาพแสงและความเข้มแสง

ของหลอด LED ที่แตกต่างกัน ต่อการการงอก และการปลูกพืชผัก พืชสมุนไพร โดยวิเคราะห์การสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ การเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช ผลสรุปที่ได้จากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้เพื่อการปลูกพืชในที่ร่มหรือในอาคาร เพื่อเพิ่มผลผลิตคุณค่าทางโภชนาการของพืชจากหลอดไฟ LED

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของช่วงความยาวคลื่นแสง และความเข้มแสง ต่อดัชนีความงอก เปอร์เซ็นต์ความงอก เอนไซม์ α–amylase และสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนพืช

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของช่วงความยาวคลื่นแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในผัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการปลูกพืชในสภาพโรงเรือนหรือในอาคาร โดยโรงเรือนปลูกพืชมีหลายประเภทแต่ละประเภทแบ่งตามลักษณะการใช้งาน เช่น โรงเรือนปรับอากาศแบบ Quensetter (โรงเรือนปลูกพืชแบบทรงหลังคาโค้ง 2 ชั้น) โรงเรือนปรับอากาศแบบ Rigid โรงเรือนหลังคาพันเลื้อย เหมาะสำหรับพืชที่มีความสูงมากประเภทเถาเลื้อย หรือต้นไม้กระถางและผักสลัดที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน ส่วนโรงเรือนแบบ Evaporation และโรงเรือนปลูกพืชแบบแฝด เหมาะสำหรับพืชที่มีความสูงไม่มาก ต้นไม้กระถาง ผักสลัด รวมถึงการเพาะกล้าที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน และโรงเรือนแบบหลังคาโค้ง เป็นโรงเรือนสำหรับเพาะกล้าพืช เช่น ผัก ไม้ดอก ไม้ผล ปาล์ม และ ยางพารา เป็นต้น ซึ่งสภาพภายในโรงเรือนที่กล่าวมาสามารถปรับอุณหภูมิและความชื้นได้ แต่มีแสงจากธรรมชาติไม่เพียงพอ เนื่องจากการพรางแสงของหลังคา ดังนั้นการเพิ่มแหล่งกำเนิดแสงนอกจากแสงอาทิตย์เพื่อให้มีแสงเพียงพอหรือพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชจึงมีความจำเป็น โดยทั่วไปในอดีตมีการนำหลอดไฟชนิดต่างๆ มาใช้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ เช่นหลอดไส้ หลอดฮาโลเจน หลอดนิออน และหลอดฟลูออเรสเซนต์ (รูปที่ 2.1) อย่างไรก็ตามหลอดไฟชนิดต่างๆ มักมีข้อจำกัด เช่น หลอดไส้ใช้พลังงานมากและมีอายุการใช้งานสั้น ในขณะที่หลอดฮาโลเจนใช้พลังงานมากและปลดปล่อยพลังงานความร้อนมากซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิสูงเกินไปไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ส่วนหลอดนิออนมีอายุการใช้งานสั้น ประสิทธิภาพการกำเนิดแสงต่ำ ควบคุมทิศทางของแสงได้ยาก (สยามเคมี, 2562) และหลอดฟลูออเรสเซนต์มีราคาค่อนข้างสูง และปล่อยช่วงความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร (เทอดชัย นบธีราสุภาพ, 2550) ที่ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาแสงประดิษฐ์เพื่อมาแก้ไขข้อจำกัดต่างๆ ดังกล่าวเรียกว่าหลอด LED ที่สามารถควบคุมการให้ความยาวคลื่นและความเข้มแสงได้ มีอายุการใช้งานนานขึ้น และยังปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาน้อย เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช โดยสีที่นิยมใช้ในการปลูกพืชคือ แสงสีขาว สีแดง และสีน้ำเงิน ซึ่งสีดังกล่าวเป็นช่วงความยาวคลื่นที่พืชสามารถดูดกลืน และนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากที่สุด (ดนัย บุณยเกียรติ, 2554)

รูปที่ 2.1 แถบสเปกตรัมของหลอดไฟแต่ละชนิด

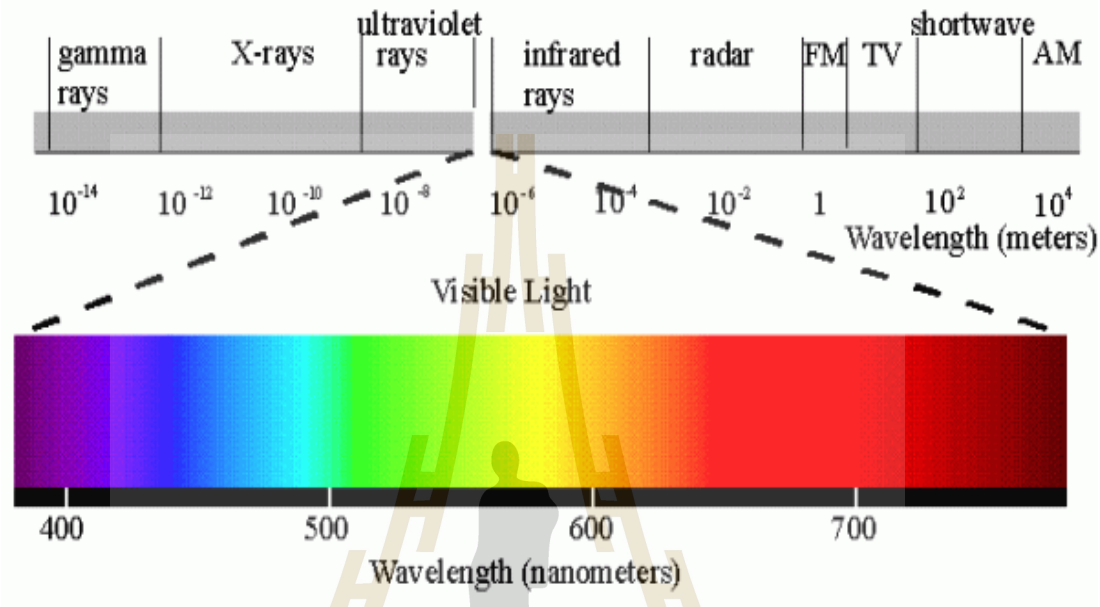
ที่มา: ออนไลน์ (2018), http://www.vcharkarn.com/vblog/35279/1/30

2.2 ความสำคัญของแสงต่อพืช

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดและช่วยเร่งการออกดอกในพืชบางชนิด แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค แสงที่เป็นประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400–700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มนุษย์มองเห็น แสงที่มีคุณสมบัติเป็นอนุภาคเรียกว่า โฟตอน (photon) แต่ละโฟตอนมีพลังงานเรียกว่าควอนตัม (quantum) และระดับของโฟตอนแปลตามความยาวคลื่นของแสง สามารถอธิบายได้ในเชิงปริมาณ (ความเข้มแสง) และในเชิงคุณภาพ (ความยาวคลื่น) การวัดปริมาณของแสง หรือจำนวนพลังงานรวมที่แสงผลิตออกมาอยู่ในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์/ตรม (W/m^2) หรือเทอมของจำนวนโฟตอน (moles of photons) มีหน่วยเป็นไมโครโมล/ตรม/วินาที ($\mu mol/m^2/s$) แสงจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วย color spectrum ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 250–3,000 นาโนเมตร ความยาวคลื่นแตกต่างกันทำให้เกิดสีที่แตกต่างกัน (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี, 2560)

แสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล คือแสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (visible light) ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 400–700 นาโนเมตร ประกอบด้วยแสงสีต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ได้แก่ สีม่วง (380–436 นาโนเมตร) น้ำ

เงิน (436–495 นาโนเมตร) เขียว (495–566 นาโนเมตร) เหลือง (556–589 นาโนเมตร) ส้ม (589–627 นาโนเมตร) และแสงสีแดง (627–770 นาโนเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แถบสีและแถบสเปกตรัมของแสงอาทิตย์

ที่มา: ออนไลน์ (2018), http://thn244288chemistry.blogspot.com/2016/08/blog–post_70.html

โดยชนิดของแสงที่มีสีต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยพืชสามารถดูดกลืนแสงได้ดี 2 ช่วงความยาวคลื่น คือแสงสีน้ำเงินที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400–500 นาโนเมตร และแสงสีแดงที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 600–700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยการเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับ 1) คลื่นรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชสามารถนำเอาพลังงานไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic active radiation; PAR) คือ ค่าความยาวคลื่นในช่วง 400–700 นาโนเมตร 2) สัดส่วนของการรับแสงของใบในช่วง PAR (Far redaction intercepted PAR; FINT) ซึ่งดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวใบต่อพื้นที่ดินใต้เรือนยอดที่ปกคลุม และค่าสัมประสิทธิ์ของ PAR (kPAR) เป็นปัจจัยกำหนดค่า FINT และ 3) ประสิทธิภาพการใช้รังสีดวงอาทิตย์ (radiation use efficiency; RUE) ซึ่งขึ้นอยู่กับศักยภาพของประสิทธิภาพการใช้รังสีดวงอาทิตย์ (potential RUE; pRUE) และความสัมพันธ์ของปัจจัยอุณหภูมิสำหรับประสิทธิภาพการใช้รังสีดวงอาทิตย์ (temperature correlation factor for RUE; TCFAR REDUE) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นต่อการเจริญเติบโตของพืชแสดงในตารางที่ 2.1

แสงจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยโฟตอนที่ความยาวคลื่นต่างๆ ดวงตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้แค่ช่วงความยาวคลื่นสั้นๆ เท่านั้น ช่วงแสงที่มีความถี่สูงกว่าช่วงที่มนุษย์มองเห็นเป็นช่วงแสงเหนือม่วง (ultraviolet) และช่วงแสงที่มีความถี่ต่ำกว่าช่วงที่มนุษย์มองเห็นเป็นช่วงแสงใต้แดง (infrared) พลังงานของแสงที่ดวงอาทิตย์เปล่งออกมามากหรือน้อยแตกต่างกันไปตามความยาวคลื่นต่างๆ โดยแสงบางช่วงความยาวคลื่นถูกดูดซับด้วยแก๊สต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน เป็นต้น ดังนั้นพลังงานแสงที่ตกลงบนพื้นโลกจึงต่างจากในอวกาศ ในขณะที่คลอโรฟิลล์ดูดแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นแคบๆ เท่านั้น และสามารถดูดแสงได้มากในช่วงแสงสีแดงและสีน้ำเงิน ซึ่งแสงมีความจำเป็นต่อกระบวนการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแสง ความยาวคลื่น และประโยชน์ต่อพืช

ช่วงคลื่น (นาโนเมตร)	**สี**	**ผลของแสงต่อพืช**
380–436	ม่วง	ให้ผลไม่แน่ชัด ผลที่เกิดขึ้นอาจมาจากช่วงคลื่นที่ใกล้กับสีน้ำเงิน (436 นาโนเมตร)
436–495	น้ำเงิน	ให้ผลเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสงที่เรียกว่า Phototropism และความเข้มแสงปริมาณต่ำมีผลต่อการเพาะเมล็ดและการอนุบาลต้นกล้า
495–566	เขียว	ให้ผลไม่แน่ชัด แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสง
566–589	เหลือง	ไม่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสง
589–627	ส้ม	ให้ผลเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด
627–770	แดง	ส่งเสริมการงอกของเมล็ด และมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเพราะทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ช่วยเร่งการออกดอก เร่งการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี (2560)

1) โฟโททรอปิซึม (phototropism) เป็นการตอบสนองต่อทิศทางของแสง โดยการโค้งของลำต้นและใบเข้าหาแสงซึ่งเรียกว่า positive phototropism เกิดจากการยืดของเซลล์ทางด้านที่ไม่ได้รับแสงเร็วกว่าทางด้านที่ได้รับแสง การโค้งของลำต้นทำให้ระบบยอดของต้นได้รับแสงเต็มที่เพื่อการสังเคราะห์แสง การโค้งของยอดเข้าหาแสง จากการศึกษาใน coleoptile ของข้าวโอ๊ต พบว่าการ

โค้งเข้าหาแสงเกิดจากการที่ปริมาณของฮอร์โมนออกซินปรากฏอยู่มากในด้านที่ไม่ได้รับแสงทำให้เกิดการขยายหรือยืดตัวของเซลล์ในบริเวณนั้นมากกว่าด้านที่ได้รับแสงซึ่งมีปริมาณออกซินอยู่น้อย ซึ่งการเคลื่อนที่ของออกซินที่เป็นผลมาจากแสงอธิบายโดยทฤษฎีของ Chlodny–Went คือ ออกซินเคลื่อนที่ไปสู่ด้านที่ไม่ได้รับแสงใน coleoptile ของต้นอ่อนซึ่งทำให้เกิดการตอบสนองของแสงต่อยอดและรากของพืช โดยแสงไม่ได้มีส่วนในการทำลายออกซิน (ปริมาณแสงที่สามารถก่อให้เกิดการเจริญชนิดนี้ใช้เพียงแสงสีน้ำเงิน ก็สามารถก่อให้เกิดการโค้งเข้าหาแสงได้) แต่ถ้าปริมาณแสงต่ำกว่านี้การโค้งเข้าหาแสงของ coleoptile ของต้นอ่อนเกิดน้อยลง ส่วนการตอบสนองของรากตามปกติเจริญออกจากแสง เรียกว่า negative phototropism แต่การตอบสนองต่อแสงของรากบางชนิดอาจเกิดน้อยมากหรือบางชนิดเป็นแบบ positive phototropism ได้

2) โฟโตเพอริโอดิซึม (photoperiodism) เป็นการตอบสนองที่สามารถวัดได้ด้วยเวลา โดยสามารถบอกถึงความแตกต่างของฤดูกาล ซึ่งส่งผลให้ความยาวของกลางวันและกลางคืนต่างกัน การตอบสนองเช่นนี้เกี่ยวข้องกับการทำงานของไฟโตโครม เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลเกี่ยวกับความยาวของกลางคืน หรือช่วงที่มีแสงเพื่อสร้างสัญญาณสำหรับการออกดอก โดยแสงมีผลต่อการออกดอกทั้งในแง่ของช่วงเวลาที่ได้รับแสง คุณภาพของแสง (wavelength) และพลังงานของแสง (irradiance หรือ radiant energy) ทั้ง 3 ส่วนมีผลกระทบต่อการออกดอกอย่างมีปฏิสัมพันธ์กัน (interaction) โดยการออกดอกขึ้นกับระยะเวลาของช่วงวัน พืชที่ตอบสนองต่อช่วงแสงแบ่งเป็นพืชวันยาวกับพืชวันสั้น ซึ่งความแตกต่างของพืชวันสั้นและวันยาวไม่ได้ขึ้นกับจำนวนชั่วโมงของวันวิกฤติ (critical day length) ว่ามากหรือน้อยกว่ากัน การตอบสนองต่อช่วงแสงยังมีผลต่อการเจริญของยอดหรือรากในแต่ละฤดู การร่วงของใบ โดยใบต้องเข้าสู่สภาพที่เรียกว่า ripeness to respond และเนื้อเยื่อเจริญต้องมีศักยภาพในการตอบสนองต่อสารกระตุ้น (stimulus) จากใบ ซึ่งมีความแตกต่างกันมากในพืชแต่ละชนิด และอายุของพืช

3) โฟโตมอร์โฟเจเนซิส (photomorphogenesis) คือการที่พืชตอบสนองต่อสัญญาณของแสงที่ไม่ใช่การตอบสนองต่อทิศทางหรือช่วงเวลาที่ได้รับแสง แต่แสงมีผลต่อการควบคุมลักษณะที่ปรากฏของพืชหรือควบคุมการพัฒนาโครงสร้างของพืช โดยตัวรับแสงที่เรียกว่า photoreceptor มีตัวรับแสงซึ่งเกี่ยวข้องกับ photomorphogenesis อยู่ 4 ชนิด คือ 1) ไฟโตโครม เป็นรงควัตถุซึ่งดูดซับแสงสีแดงแสง far red และแสงสีน้ำเงิน โดยเป็นตัวรับแสงซึ่งรู้จักมากที่สุดในจำนวนทั้งหมด 2) คริพโตโครม (cryptochrome) เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่ยังไม่ได้รับการจำแนกชัด สามารถดูดซับแสงสีน้ำเงินและรังสีอุลตราไวโอเล็ต ซึ่งมีความยาวคลื่น 320–400 นาโนเมตร 3) UV–B photoreceptor เป็นสารประกอบหนึ่งชนิดหรือมากกว่าที่ยังไม่ได้รับการจำแนก เป็นสารที่ไม่ใช่รงควัตถุ สามารถดูดซับรังสีอุลตราไวโอเล็ตช่วงคลื่น 280–320 นาโนเมตร และ 4) โปรโตคลอโร–ฟิลไลด์ เอ เป็นรงควัตถุซึ่งดูดซับแสงสีแดงและน้ำเงิน แล้วถูกรีดิวซ์กลายเป็นคลอโรฟิลล์เอ

ไฟโตโครมเป็นระบบของรงควัตถุซึ่งพบทั่วไปในพืชชั้นสูงและสาหร่าย ตำแหน่งของไฟโตโครมอยู่ระหว่างไซโตพลาสต์กับผนังเซลล์ และอาจอยู่รวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นไฟโตโครมจึงสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ในการยอมให้สารเข้าออกได้ เมื่อไฟโตโครมที่สามารถดูดกลืนแสงสีแดงซึ่งมีความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร อยู่ในรูป Pr ซึ่งเป็นรูปที่สังเคราะห์โดยพืช เมื่อได้รับแสงสีแดง Pr เปลี่ยนเป็น Pfr อย่างรวดเร็ว ซึ่งดูดซับแสง far red ที่มีความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร รูป Pr ของไฟโตโครมเป็นรูปที่ค่อนข้างคงตัว ส่วน Pfr นั้นสลายตัวง่าย ในพืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด เช่น กะหล่ำดอก Pfr สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็น Pr ได้ในขณะที่อยู่ในที่มืด เรียกว่าเกิด dark reversion แต่ปรากฏการณ์นี้ยังไม่พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และกระบวนการนี้อาจถูกระงับโดยอุณหภูมิต่ำและอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นกับความเป็นกรดด่างของเซลล์ เมื่อ Pfr ได้รับแสง far red เปลี่ยนกลับเป็น Pr อย่างรวดเร็วภายในเวลา 20–30 มิลลิเซคกัน (milliseconds) ส่วน Pr กลับเป็น Pfr เมื่อได้รับแสงสีแดงเป็นเวลาหลายวินาที ความสมดุลของไฟโตโครมทั้งสองรูปคือ Pr และ Pfr ขึ้นกับคุณภาพของแสงและไม่ขึ้นกับปริมาณพลังงานจากแสง ซึ่ง Pfr เป็นรูปที่ทำให้พืชเกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้ และเป็นรูปที่สามารถถูกเมตาบอไลท์ให้เปลี่ยนรูปหรือถูกทำลายได้ และไม่คงตัว Pr ทำหน้าที่เป็นสารชะงักกิจกรรมซึ่งถูกทำลายได้โดยการเปลี่ยนเป็น Pfr ซึ่ง Pr มีความคงตัวในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง (thermodynamic stable) เนื่องจากไฟ โตโครมที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมาอยู่ในรูปของ Pr ดังนั้น Pr จึงปรากฏอยู่ในพืชเสมอ และ Pfr เกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับแสงสีแดง

โดยการค้นพบไฟโตโครมเกิดจากการศึกษาการงอกของเมล็ดผักสลัด พบว่าแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร สามารถกระตุ้นการงอกได้สูงที่สุด ส่วนแสง far red ระงับการงอกของเมล็ด เมื่อให้แสงสีแดงสลับกับ far red พบว่าแสงที่พืชได้รับครั้งสุดท้ายเท่านั้นที่มีผลกระทบต่อการงอกของเมล็ด และต่อมาพบว่าไฟโตโครมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอีกหลายชนิดในพืช ซึ่งเกิดจากแสงสีแดงและแสง far red ที่ให้ผลตรงกันข้าม การศึกษาใน Mustard พบว่าการเจริญในที่มืด (skotomorphogenesis) และที่มีแสง (photomorphogenesis) พืชมีลักษณะการเจริญเติบโตที่ต่างกันดังนี้ 1) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในที่มืด ใบเลี้ยงไม่คลี่ขยาย ใบมีขนาดเล็ก มี hook บริเวณส่วนใต้ใบเลี้ยง และส่วนใต้ใบเลี้ยงยาวมาก ส่วนในที่มีแสง ใบเลี้ยงคลี่ขยายแผ่ใบเพื่อการรับแสง พบว่า hook หายไปทำให้ต้นตั้งตรง ส่วนใต้ใบเลี้ยงมีลักษณะปกติ 2) ลักษณะเซลล์ของใบเลี้ยง (cotyledon) ในที่มืดสร้าง ethioplast พืชไม่มีปากใบ หรือ สร้างปากใบน้อยมาก และมีการสร้าง glyoxysome เพื่อย่อยสลายไขมัน ส่วนในที่มีแสงพืชมีการสร้าง chloroplast ซึ่งมีแป้งเป็นองค์ประกอบภายใน มีการสร้างปากใบปกติ และมีการสร้าง peroxisome 3) ลักษณะทางสรีรวิทยาของใบเลี้ยงในที่มืดไม่มีการสะสมแอนโทไซยานิน มีการหายใจและการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว ส่วนในที่มีแสงมีการสะสมแอนโทไซยานิน มีการหายใจปกติและการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างช้าๆ

ในพืชที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ซึ่งสะสมอาหารไว้มากสำหรับการเจริญเติบโตในความมืด (ในดิน) ได้เป็นระยะเวลานานมักไม่ต้องการแสงเพื่อการงอกของเมล็ด แต่พืชหลายชนิด เช่น ไม้ดอกและหญ้าที่มีเมล็ดขนาดเล็กมาก มักมีการพักตัวเมื่อเมล็ดอยู่ลึกลงไปในดินถึงระดับที่แสงส่องลงไปได้น้อยแม้ว่าได้รับน้ำก็ตาม นอกจากนี้ในพืชบางชนิดแม้เมล็ดอยู่บนผิวดินแต่อยู่ภายใต้ร่มเงาของพืชอื่น ซึ่งทำให้อัตราส่วนของแสง Pr : Pfr มากมีผลทำให้เมล็ดนั้นไม่งอก จากการศึกษากลไกควบคุมการงอกของเมล็ดด้วยไฟโตโครม พบว่าการกระตุ้นให้เมล็ดผักกาดหอมงอกได้ด้วยแสงสีแดงมีกลไกกระตุ้นให้จิบเบอเรลลินที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยาเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นไฟโตโครมมีกลไกการกระตุ้นให้เมล็ดงอกได้โดยการส่งเสริมการสร้างจิบเบอเรลลิน

นอกจากผลของไฟโตโครมต่อการงอกของเมล็ดแล้วยังมีการศึกษาการหุบใบและดอกในช่วงเวลากลางคืน (sleep movement) และบานออกในช่วงเวลากลางวัน ที่ยังคงเกิดขึ้นแม้ว่าพืชอยู่ในความมืดตลอดเวลา พบว่าแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินมีอิทธิพลต่อวัฏจักรนี้ แสงสีน้ำเงินกระตุ้นให้ใบที่ปิดอยู่กางเปิดออกได้ และแสงสีแดงที่ตามด้วยความมืดส่งผลให้ใบที่กางเปิดอยู่เริ่มหุบลงได้ภายในเวลาประมาณ 5 นาทีในความมืด และหุบสนิทภายใน 30 นาที เนื่องจากแสง far red ที่สามารถยับยั้งอิทธิพลของแสงสีแดงได้ ดังนั้นจึงเชื่อว่าไฟโตโครมมีบทบาทในการหุบใบของพืช และมีการศึกษาการยืดยาวของลำต้น พบว่าแสงสีน้ำเงินมีส่วนในการยับยั้งการยืดยาวของลำต้น โดยลำต้นของต้นกล้าที่เจริญเติบโตในความมืดมีการยืดขยายตัวเร็ว การยับยั้งการยืดขยายตัวด้วยแสงเป็นการตอบสนองที่สำคัญเมื่อพืชงอกโผล่พ้นผิวดิน แสงเปลี่ยน Pr เป็น Pfr เป็นกลไกสำคัญต่อการตอบสนองของแสง รวมไปถึงการควบคุมการเปิดปิดปากใบของพืชที่ไม่ขาดแคลนน้ำ ปากใบเปิดมากเมื่อได้รับแสงมากขึ้นและปากใบปิดลงเมื่อไม่มีแสง โดยการทดสอบในถั่วปากอ้า (*Vicia faba* L.) ที่ปลูกภายในโรงเรือนพบว่าปากใบเปิดมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มแสงที่ใบได้รับ การตอบสนองของปากใบที่จำเพาะเจาะจงต่อแสงสีน้ำเงินทำได้ยากหากใช้แสงสีน้ำเงินเพียงสีเดียว เนื่องจากแสงสีน้ำเงินมีบทบาทต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของเซลล์คุมปากใบ ดังนั้นจึงมีการเลือกใช้การวิจัยที่ใช้แสงสีน้ำเงินร่วมกับแสงสีแดง โดยใช้แสงสีแดงที่มีความเข้มแสงมากจนกระทั่งทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเข้าสู่ระยะการอิ่มตัวไปด้วยแสง จากนั้นจึงเพิ่มแสงสีน้ำเงินที่ความเข้มแสงน้อยในภายหลัง ซึ่งแสงสีน้ำเงินที่เพิ่มให้สามารถกระตุ้นให้ปากใบเปิดมากขึ้นโดยที่ไม่เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเข้าสู่ระยะอิ่มตัวด้วยแสงสีแดงแล้ว ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้เพิ่มเติมว่าการเปิดปิดปากใบจำเพาะต่อแสงสีน้ำเงิน

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วแสงยังมีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของรงควัตถุในใบพืช โดยมีผลต่อการเรียงตัวของคลอโรพลาสต์ ซึ่งเมื่อมีความเข้มของแสงสูงคลอโรพลาสต์มักเรียงตัวในแนวตรงไปตามรัศมีของผนังเซลล์ เพื่อเป็นร่มให้กันเองและป้องกันการถูกทำลายโดยแสง ส่วนในสภาพแสงที่มีความเข้มน้อยหรือในที่มืด คลอโรพลาสต์แยกออกกันเป็นสองกลุ่มกระจายไปตาม

ผนังเซลล์ที่ใกล้ที่สุดและกระจายออกไปจนไกลที่สุดจากแหล่งของแสง เพื่อให้มีการดูดรับแสงได้มากที่สุด การเคลื่อนที่ของคลอโรพลาสต์ขึ้นกับทิศทางของแสงและความเข้มของแสง ตัวอย่าง คือ phototaxis (การเคลื่อนที่ของอวัยวะของสิ่งมีชีวิตในการตอบสนองต่อแสง)

2.3 องค์ประกอบของแสง

แสงประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อพืช ได้แก่ ความเข้มแสง (light intensity) คุณภาพแสง (light quality) และช่วงแสง (photoperiodism) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ความเข้มแสง คือปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ความเข้มของแสงมีความแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา และฤดูกาล อิทธิพลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ได้แก่ 1) พืชในร่ม เป็นพืชที่ต้องการความเข้มแสงน้อยจึงเจริญเติบโตได้ดี 2) พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพรางหรือลดความเข้มแสง และ 3) พืชกลางแจ้งเป็นพืชที่ต้องการความเข้มแสงสูง โดยกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มแสงมีหลายกระบวนการ เช่น การสังเคราะห์แสงของพืชเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้น และพืชที่เติบโตอยู่ในสภาพที่มีแสงน้อยมักมีอัตราการหายใจต่ำ ส่วนช่วงการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ ในพืชบางชนิดอาจไม่มีการออกดอกหากอยู่ในสภาพที่มีความเข้มแสงต่ำ นอกจากนี้แสงยังมีผลต่อการผลิตฮอร์โมน โดยแสงมีผลทำให้ออกซินที่สร้างขึ้นในพืชเสื่อมสภาพ เรียกกระบวนการนี้ว่า โฟโต–ออกซิเดชัน และพบว่าพืชที่ขึ้นในที่มืดมักมีการยืดยาวของลำต้นผิดปกติ

2) คุณภาพของแสง คือความยาวของคลื่นแสง ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ คลื่นแสงที่มองไม่เห็น ได้แก่ แสงเหนือม่วง (UV) ซึ่งเป็นแสงในส่วนที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสงในช่วงอินฟาเรด (Infrared) ที่มีผลทำให้ข้อปล้องของพืชยืดยาว ส่วนอีกกลุ่มคือ คลื่นแสงที่มองเห็นประกอบด้วยยาวคลื่นต่างๆ ที่ให้ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชต่างกัน ได้แก่ แสงสีม่วงและสีน้ำเงินเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชที่เรียกว่า โฟโททรอปิซึม (phototropism) แสงสีเขียวระงับการเจริญเติบโตของพืช แสงสีเหลือง สีส้ม และสีแดง มีผลต่อการงอกของเมล็ด และแสงสี far red มีผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ด โดยเฉพาะแสงสีน้ำเงินที่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้ปากใบเปิดเพื่อแลกเปลี่ยนแก๊สของพืช และมีอิทธิพลต่อผลผลิตทางการเกษตรของพืชเศรษฐกิจ

3) ช่วงแสง คือระยะเวลาที่พืชได้รับแสงในแต่ละวัน ซึ่งช่วงแสงมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาล และท้องถิ่น โดยทั่วไปช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตด้านลำต้น และการเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์ โดยการตอบสนองต่อช่วงแสง แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ พืชวันสั้นเป็นพืชที่มีความต้องการช่วงแสงในวันหนึ่งๆ สั้นกว่าช่วงวันวิกฤติจึงออกดอก โดยช่วงวันวิกฤตนี้มีค่าที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช โดยส่วนใหญ่ช่วงวันวิกฤติของพืชทั่วไปอยู่ในช่วง 12–14

ชั่วโมงต่อวัน ตัวอย่างพืชวันสั้น ได้แก่ กะหล่ำดอก ผักกาดหอม เป็นต้น ส่วนพืชวันยาวเป็นพืชที่ต้องการช่วงแสงในวันหนึ่งๆ ยาวกว่าช่วงวันวิกฤติ พืชชนิดนี้ ได้แก่ ผักโขม เป็นต้น สำหรับพืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง เป็นพืชที่สามารถเจริญได้ดีไม่ว่ามีช่วงวันสั้นหรือยาวก็ตาม เช่น มะเขือเทศ และข้าวโพด

2.4 อิทธิพลของแสงต่อการงอกของเมล็ด

เมล็ดของพืชประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) คัพภะ (embryo) และอาหารสะสมในเมล็ด เมื่อเมล็ดถูกแยกออกจากต้นแม่แล้วอยู่ในสภาพหยุดการเจริญเติบโตช่วงระยะเวลาหนึ่ง เมื่อเอาเมล็ดมาไว้ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมคัพภะที่อยู่ภายในเจริญเป็นต้นพืชใหม่ กระบวนการที่คัพภะภายในเมล็ดเจริญเป็นต้นใหม่นี้เรียกว่า การงอก (germination) ต้นพืชที่เจริญมาจากคัพภะในขณะที่เป็นต้นอ่อนอยู่ยังต้องอาศัยอาหารที่เก็บไว้ภายในเมล็ด เรียกว่าต้นกล้า (จูนลิฎา โยธาทิพย์, 2559)

กระบวนการงอกมีความสลับซับซ้อน และประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด เริ่มตั้งแต่ที่เมล็ดอยู่ในสภาพแห้ง มีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ด และภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เหมาะสม มีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ด ทำให้เกิดการงอกเป็นต้นกล้าที่เจริญเติบโตและพัฒนามาจากเอ็มบริโอของเมล็ด โดยสามารถสรุปกระบวนการงอกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. การมีชีวิตของเมล็ดเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะเมล็ด การที่เมล็ดมีชีวิตอยู่ได้น้อยอาจเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของเมล็ดไม่เหมาะสมขณะที่ยังอยู่บนต้นแม่หรือได้รับอันตรายขณะทำการเก็บเกี่ยว หรือกระบวนการผลิตเมล็ดไม่ดีพอ

2. สภาพแวดล้อมในขณะเพาะเมล็ดต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ

2.1 น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญในการงอกของเมล็ด น้ำช่วยทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนตัว และเป็นตัวทำละลายอาหารสะสมภายในเมล็ดที่อยู่ในสภาวะที่เป็นของแข็งให้อยู่ในสภาพที่อ่อนนุ่ม ออกซิเจนจากอากาศผ่านเปลือกเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ง่ายขึ้น ช่วยให้เอ็มบริโอมีการหายใจ จนทำให้เมล็ดเกิดกระบวนการงอกได้

2.2 แสง เมล็ดเมื่อเริ่มงอกมีทั้งชนิดที่ต้องการแสงและไม่ต้องการแสง ส่วนใหญ่หลังจากที่เมล็ดงอกแล้วขณะที่เป็นต้นกล้าเมื่อได้รับแสงที่พอเหมาะเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และสร้างอาหารเก็บไว้ในส่วนของใบส่งผลให้ต้นกล้าแข็งแรง และเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งพืชที่งอกได้ดีเมื่อได้รับแสง เช่น ผักกาดหอม สาบเสือ ปอชนิดต่างๆ เมล็ดหญ้า ยาสูบ วัชพืชต่างๆ เป็นต้น ส่วนเมล็ดพืชบางชนิด เช่นหอมหัวใหญ่ กระเจี๊ยบ แตงกวา ผักบุ้งจีน ฝ้าย ข้าวโพด ไม่งอกเมื่อได้รับแสง ทั้งนี้เป็นเพราะภายในเมล็ดมีอาหารสะสมอยู่มากในใบเลี้ยง ดังนั้นแสงจึงไม่จำเป็นต่อการนำมาสังเคราะห์อาหาร

2.3 อุณหภูมิ สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมช่วยให้เมล็ดดูดน้ำได้เร็วขึ้น กระบวนการในการงอกของเมล็ดเกิดขึ้นเร็วและช่วยให้เมล็ดงอกได้เร็วขึ้น โดยเมล็ดพืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิสำหรับการงอกแตกต่างกันไป เมล็ดพืชที่อยู่ในเขตร้อนต้องการอุณหภูมิเพื่อการงอกสูงกว่าเมล็ดที่อยู่ในเขตหนาว เช่น ฟักทอง งอกได้ดีที่สุดเมื่ออุณหภูมิของดินอยู่ระหว่าง 16 ถึง 26 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิในดินต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส เมล็ดฟักทองไม่งอก เมล็ดพืชโดยทั่วไปในเขตร้อนงอกได้ดีระหว่าง 20–30 องศาเซลเซียส พืชบางชนิดต้องการอุณหภูมิสูงสลับกับอุณหภูมิต่ำทำให้เมล็ดงอกได้ดี เช่น ถั่วเหลือง เป็นต้น

2.4 ออกซิเจน เมื่อเมล็ดเริ่มงอกเอ็มบริโอของพืชมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ กิจกรรมเหล่านี้ต้องใช้พลังงานมาก พลังงานที่นำมาใช้ได้มาจากการเผาผลาญอาหารที่สะสมอยู่ภายในเซลล์ด้วยออกซิเจนจากอากาศที่เข้าไปในเมล็ด มีบางส่วนของพลังงานแปรรูปออกมาเป็นความร้อน ดังนั้นขณะที่เมล็ดกำลังงอกอุณหภูมิบริเวณนั้นสูงกว่าอุณหภูมิที่อื่นๆ เมล็ดงอกได้ดีถ้ามีออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า พืชน้ำสามารถงอกได้ในสภาพออกซิเจนต่ำ ความชื้นสูง โดยเมล็ดเหล่านี้ได้พลังงานจากกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนการงอก การกระตุ้นให้เมล็ดงอกและเจริญมาเป็นต้นใหม่ เกี่ยวข้องกับกระบวนการ 2 กลุ่ม (จารุวรรณ แซ่เอง, 2559) คือ

1) การดูดน้ำ (imbibition of water) เมล็ดที่แห้งสามารถดูดน้ำได้มาก เกิดกับกรณีของเมล็ดที่ไม่ได้พักตัว ส่วนเมล็ดที่พักตัวดูดน้ำได้แต่ปริมาณไม่มาก การดูดน้ำทำให้น้ำหนักสดของเมล็ดเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่เมล็ดดูดน้ำแตกต่างกันตามชนิดของเมล็ดพืชตั้งแต่ 6 ชั่วโมงจนถึงหลายๆ วัน เนื่องจากเมล็ดต้องการความชื้นหรือน้ำในการงอก โดยน้ำช่วยเพิ่มอัตราเมตาบอลิซึมต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอกได้ (จารุวรรณ แซ่เอง, 2559) เมล็ดพืชโดยทั่วไปมีความชื้นต่ำประมาณ 8–13 เปอร์เซ็นต์ การที่เมล็ดงอกนั้นต้องได้รับปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอกอย่างเพียงพอ ฉะนั้นกระบวนการแรกที่เกิดขึ้น คือการดูดน้ำของเมล็ดเพื่อให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้นและอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อการเกิดกระบวนการต่างๆ สำหรับการงอก ในระหว่างการดูดน้ำของเมล็ด (imbibition period) เมล็ดเกิดการดูดน้ำอย่างรวดเร็ว ลักษณะของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ด และอุณหภูมิในขณะนั้นปริมาณความชื้นทำให้กระบวนการงอกเกิดขึ้นได้แตกต่างกันไปตามชนิดของเมล็ดพืช น้ำช่วยทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนลง และทำให้โพรโทพลาสซึมในเซลล์ได้รับน้ำ เมล็ดบวมขึ้นและเปลือกเมล็ดอาจแตก น้ำในเมล็ดเพิ่มขึ้นเป็น 40–60 เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักแห้ง (ปริมาณน้ำต่อน้ำหนักแห้งหลังเก็บเกี่ยว) และเข้าสู่ระยะช้า (lag period) หลังจากนั้นจึงมีรากงอกออกมาให้สังเกตุเห็น ส่งผลให้ต้นกล้าโตขึ้นและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 170–180 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ผลที่เกิดขึ้นนี้แตกต่างกันไปตามชนิดพืช

2) การสร้างระบบเอนไซม์และการใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ การหายใจของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเมล็ดถั่ว อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นภายใน 2–4 ชั่วโมงหลังจากแช่น้ำ หลังจากนั้นอัตราการหายใจคงที่อยู่หลายชั่วโมง เมื่อเรดิเคิลแทงออกมาการหายใจเพิ่มขึ้นชี้ให้เห็นว่าการหายใจเพิ่มขึ้นในครั้งที่สองเกิดจากการที่เปลือกหุ้มเมล็ดแตกออก ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดได้ดีขึ้น แต่ในกรณีของเมล็ดข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตลอดเวลาที่เมล็ดงอก เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรเครบส์มีกิจกรรมสูงขึ้น เพราะมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นในไมโตคอนเดรีย ในเมล็ดที่แห้งนั้นกระบวนการสร้างสารพลังงานสูง (ATP) จาก oxidative phosphorylation ไม่เกิดขึ้นซึ่งกิจกรรมการสร้างสารพลังงานสูงเกิดขึ้นเมื่อเมล็ดเริ่มงอกแม้ว่าในเมล็ดแห้งมีเอนไซม์ปรากฏอยู่หลายชนิด แต่ยังมีเอนไซม์อีกหลายชนิดซึ่งไม่ปรากฏอยู่ในเมล็ดหรือปรากฏอยู่ในรูปที่ไม่สามารถมีกิจกรรมได้ ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อเมล็ดงอกเท่านั้น ได้แก่ เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ไลเพส (lipases) และโปรตีเอส (protease) เป็นต้น เอนไซม์ดังกล่าวพืชใช้ในการย่อยสลายอาหารสำรองในเมล็ดซึ่งเป็นที่แน่ชัดแล้วว่าเอนไซม์เหล่านี้สังเคราะห์ขึ้นมาระหว่างการงอกของเมล็ด ตัวอย่างที่เห็นชัดเจนคือกรณีของเอนไซม์ α–amylase ซึ่งสร้างโดยเซลล์ในชั้นของอะลีโรนทำหน้าที่ย่อยสลายแป้งในแหล่งอาหารสำรอง โดยปกติการที่เมล็ดสร้าง α–amylase ได้นั้นต้องมีส่วนของคัพภะอยู่ด้วยหรือถ้าไม่มีคัพภะต้องเติมจิบเบอเรลลินให้กับเมล็ด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าคัพภะเป็นส่วนที่สร้างจิบเบอเรลลินเพื่อกระตุ้นให้เซลล์อะลีโรนมีการสังเคราะห์ α–amylase ซึ่งการสังเคราะห์ α–amylase ถูกทำให้หยุดชะงักโดยแอคติโนมัยซินดี (Actinomycin D) และคลอแรมฟีนิคอล (Chloramphenicol) ส่วน เบตาอะไมเลส (β–amylase) อยู่ในรูปที่ไม่สามารถเกิดกิจกรรมได้ในเมล็ดแห้ง ในขณะที่เมล็ดงอกมีการสังเคราะห์ RNA เพิ่มมากขึ้นและมีการเพิ่มปริมาณไรโบโซมมากขึ้น ส่วน mRNA นั้น พบอยู่ในเมล็ดแห้งในสภาพที่ไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ และ mRNA สามารถทำหน้าที่ได้เมื่อเมล็ดมีการดูดน้ำ (จารุวรรณ แซ่เอง, 2559)

3) การเคลื่อนย้ายโมเลกุลของอาหารที่ถูกเปลี่ยนรูปไปยังเอ็มบริโอ สารประกอบที่ได้จากอาหารที่สะสมไว้ถูกลำเลียงไปยังเอ็มบริโอ โดยเฉพาะเนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายยอดและปลายรากและบริเวณเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญและมีการพัฒนา

4) การหายใจมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น ต้นอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตและพัฒนามีการหายใจเพิ่มสูงขึ้นตามความต้องการพลังงานและสารประกอบ

5) การแบ่งตัวและการขยายตัวของเซลล์ เกิดการกลับคืนของการเจริญเติบโต (resumption of growth) ในระหว่างการงอกเนื้อเยื่อเจริญมีการกลับคืนของการเจริญเติบโต คือ การแบ่งตัวเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ มีการขยายตัวของเซลล์ ทำให้เอ็มบริโอมีขนาดใหญ่ขึ้นและเซลล์ที่สร้างขึ้นใหม่เกิดการ differentiation

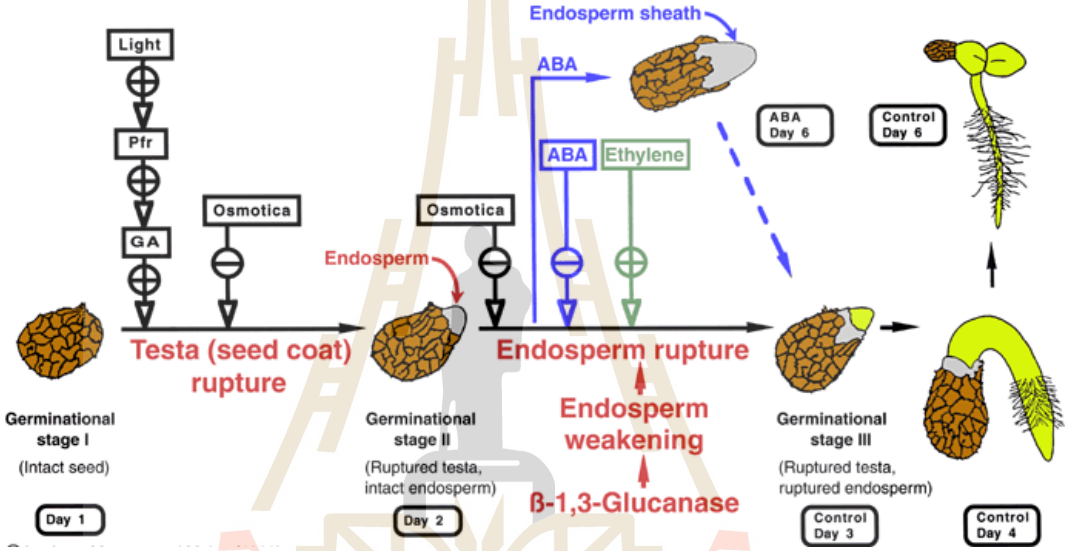
6) การเจริญและงอกของรากแรกเกิด (radicle) การงอกของส่วนที่เรียกว่ารากแรกเกิดของต้นอ่อนจัดเป็นสัญญาณที่แสดงให้เห็นว่าเมล็ดงอกแล้ว การขยายตัวของรากแรกเกิดออกมาจากเมล็ดเกิดจากการขยายตัวของเซลล์มากกว่าที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ หลังจากนั้นเซลล์ทั้งระบบถูกระตุ้นให้ทำงานอย่างเต็มที่ ทำให้อาหารที่สะสมอยู่ภายในเมล็ดมีการย่อยให้อยู่ในรูปโครงสร้างง่ายๆ เช่น ไขมันและน้ำมันถูกย่อยเป็นกรดไขมันและน้ำตาล โปรตีนถูกย่อยเป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นหลักซึ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของต้นกล้าและทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์ควบคุมการทำงานของฮอร์โมน แป้งถูกย่อยเป็นน้ำตาลเป็นต้น

7) การเจริญของต้นอ่อน (จารุวรรณ แซ่เอง, 2559) ลักษณะของยอดต้นอ่อนที่งอกขึ้นมาแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) hypogeal germination เป็นการงอกชนิดที่ส่วนใต้ของใบเลี้ยงไม่ยืดตัวหลังจากต้นอ่อนเจริญขึ้นไปแล้วเมล็ดยังคงอยู่ที่ระดับเดิม เช่น การงอกของเมล็ดข้าวโพด เมล็ดข้าว เมล็ดถั่วกลม (pea) เมล็ดมะเขือเทศ ถั่วลันเตาและมะพร้าว 2) epigeal germination คือการงอกชนิดที่ส่วนใต้ของใบเลี้ยงยืดตัวทำให้เมล็ดอยู่ในระดับสูงกว่าเดิม เช่น ถั่ว มะขาม การงอกของเมล็ดชนิดนี้ทำให้เกิดส่วนที่โค้งงอเป็นตะขอบริเวณส่วนใต้ของใบเลี้ยง ซึ่งจากการศึกษาในเมล็ดของพืช 964 ชนิด มีรายงานว่าเมล็ดพืชจำนวน 672 ชนิดที่การงอกของเมล็ดต้องได้รับการกระตุ้นโดยแสง โดยเมล็ดส่วนใหญ่ที่ตอบสนองต่อแสงเป็นเมล็ดที่มีขนาดเล็ก มีไขมันมาก เมล็ดของพืชป่าบางชนิดแสดงลักษณะว่าแสงระงับกระบวนการงอกได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงสีน้ำเงินและแสง far red เนื่องจากแสงทั้งสองนี้ลดปริมาณ Pfr ในเมล็ดไปถึงระดับที่ต่ำกว่าเมล็ดต้องการใช้เพื่อการงอก กระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยน Pfr เป็น Pr หรือเปลี่ยนไปเป็นรูปของ Pfr ที่ไม่กระตุ้นให้เกิดกิจกรรม นอกจากแสงแล้วการงอกของเมล็ดบางชนิดยังมีผลกระทบจากอุณหภูมิ ทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแสงร่วมกัน

ซึ่งในกระบวนการงอกของเมล็ดนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับเอนไซม์ amylase ที่มีผลจากการทำงานของฮอร์โมนจิบเบอเรลลินในเมล็ดแล้วส่งไปยังชั้น aleurone เพื่อให้เมล็ดสามารถดูดน้ำแล้วส่งผลให้เมล็ดงอกต่อไป ซึ่งการสร้างเอนไซม์ชนิดนี้เกิดจากการแสดงออกของยีน OSGA3oxl และ OSGA3OX2 โดยมีการสังเคราะห์เอนไซม์ที่ใบเลี้ยงมากกว่าที่ยอดของพืช

กระบวนการงอกต้องการพลังงาน และสารตั้งต้นสำหรับการสร้างส่วนประกอบ ซึ่งเมล็ดนำมาจากอาหารที่เก็บสะสมไว้ในรูปคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยผ่านการย่อยและการหายใจ แป้งถูกย่อยโดยเอนไซม์ amylase ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมอลโตสและน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกลูโคส โดยการควบคุมจากจิบเบอเรลลินที่ถูกกระตุ้นการทำงานโดยแสง ดังแสดงในรูปที่ 2 กลูโคสบางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่โดยเอนไซม์ invertase และบางส่วนถูกนำเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส และ TCA cycle ในกระบวนการหายใจเพื่อสร้างลำต้นในการเจริญเติบโต เอนไซม์ lipase ย่อยไขมันให้กลายเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน ซึ่งถูกย่อยต่อโดย

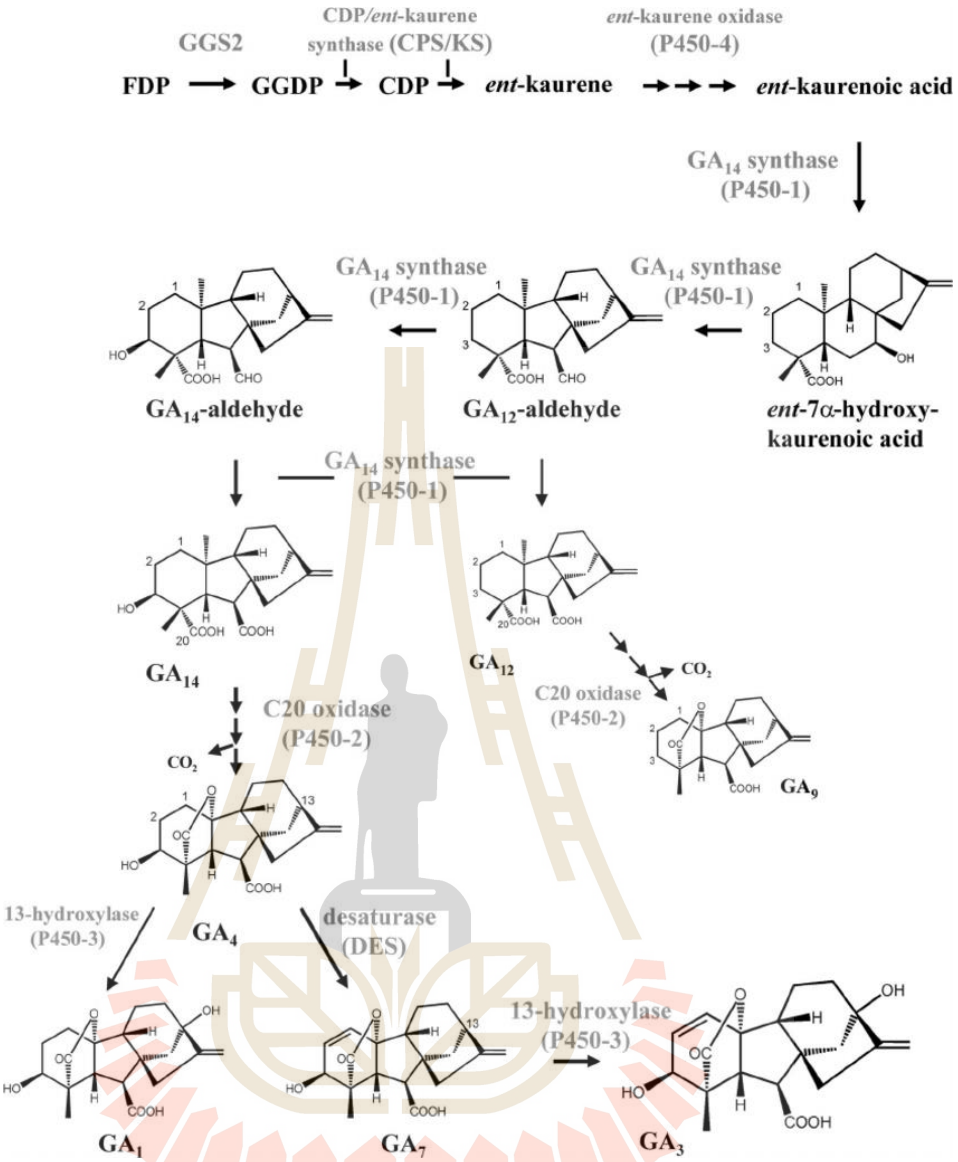
เอนไซม์ peroxidase และ aldehydrogenase ในกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งลดจำนวนคาร์บอนลงเรื่อยๆ และสร้างพลังงานเก็บไว้ใน NADPH พร้อมปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา นอกจากนี้กรดไขมันยังถูกย่อยโดยเอนไซม์ออกซิเดส ซึ่งเก็บคาร์บอนอะตอมไว้ใน acytyl–coenzyme A ที่สามารถเข้าสู่ TCA cycle ได้ ในขณะที่เอนไซม์ protease ย่อยสลายโปรตีนให้กรดอะมิโนซึ่งถูกนำไปสร้างโปรตีนใหม่หรือแลกเปลี่ยนกลุ่มอะมิโน (transmination) กับกรดอินทรีย์ หรือถูกย่อยสลายต่อให้กลายเป็นกรดไขมันกับแอมโมเนียได้



รูปที่ 2.3 ผลของแสงต่อการสร้างเอนไซม์และการงอกของเมล็ด

ที่มา: ออนไลน์ (2017), http://www.seedbiology.de/hormones.asp

ปริมาณจิบเบอเรลลินที่ถูกกระตุ้นโดยแสงมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ในเมล็ด ได้แก่ amylase, protease และ ribonuclease โดยเฉพาะ amylase ที่ส่งผลโดยตรงกับการงอก ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณจิบเบอเรลลินเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีเอนไซม์ amylase เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งจิบเบอ–เรลลินควบคุมกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ amylase ผ่านการสังเคราะห์ RNA โดยการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินเริ่มต้นที่กรดเมวาโลนิกเปลี่ยนไปตามกระบวนการเป็นจิบเบอเรลลินตามกระบวนการในรูปที่ 2.4 (Mitsuhashi et al., 2003) ซึ่งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินเกิดที่ใบเลี้ยงของพืชมากกว่าที่ยอด



รูปที่ 2.4 GA–biosynthetic pathway

ที่มา: ออนไลน์ (1969), https://aem.asm.org/content/74/24/7790/F1

2.5 อิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาก่ิงข้างของพืช

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพืชที่ได้รับแสงมากทำให้มีการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate: RGR) มากขึ้น แต่หากพืชได้รับปริมาณแสงมากเกินไปมีผลต่อการเจริญเติบโต โดยทำให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายอย่างรวดเร็ว จนเกิดอาการ chlorosis ซึ่งมีผลทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานหรือทำงานได้ไม่ดี และคลอโรฟิลล์ในใบลดลงเมื่อมีความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น หรือถ้าไม่ได้รับแสงพืชยังคงเจริญเติบโตไปจนกว่าอาหารที่สะสมไว้หมด แต่มีการเจริญเติบโตผิดปกติ โดยเรียกอาการดังกล่าวว่า etiolation โดยพืชมีลักษณะของอาการคือใบมีสีขาว

ลำต้นยาว ใบแผ่ไม่เต็มที่ ระบบรากอ่อนแอ และเนื้อเยื่อของพืชมีน้ำมาก ข้อปล้องยืดยาวผิดปกติ และต้นล้มเพราะมีความแข็งแรงไม่พอสำหรับการตั้งลำต้นให้ตรง ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสง และความเข้มแสงที่แตกต่างกัน โดยพืชที่ได้รับความเข้มแสงต่างกัน ทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่างกัน และส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตแตกต่างกัน ซึ่งผักส่วนใหญ่หยุดการสังเคราะห์แสงทันทีเมื่อได้รับความเข้มแสงต่ำเกินไป จากงานทดลองของ พิชญ์สินี เพรชไทย และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ (2560) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสงและระยะเวลารับแสงต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอม พบว่าการปลูกผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่ให้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ให้น้ำหนักสดส่วนยอด น้ำหนักแห้งส่วนยอด และปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด ในขณะที่เรดโอ๊คภายใต้แสงจากหลอดแอลอีดีให้ค่าน้ำหนักสดส่วนยอด และน้ำหนักแห้งส่วนยอดสูงที่สุด นอกจากนี้สุทธิดา มณีเมือง และคณะ (2558) ทำการศึกษาผลของความเข้มแสงจากชุดหลอดแอลอีดีสำหรับการปลูกผักสลัดเรดโอ๊คในระบบโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ พบว่าค่าเฉลี่ยของความสูงต้นและความยาวรากสูงสุด เมื่อปลูกโดยใช้จากชุดหลอดแอลอีดีสีน้ำเงิน และการเพิ่มความเข้มแสงส่งผลให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น และมีการศึกษาผลของความยาวคลื่นแสงต่อผักกินใบ พบว่าการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีเขียวและสีแดง ในอัตราส่วน 0:20:80 ทำให้น้ำหนักยอดและพื้นที่ใบของผักกาดหอมสูงที่สุด (He et al., 2019) นอกจากนี้แสงยังมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของกิ่งข้าง และลำต้นของพืช โดยพืชที่ได้รับแสงน้อย เช่น พืชที่ปลูกชิดกัน มีการยืดตัวและมีความสูงมากกว่าพืชปกติ โดยมีออกซินและจิบเบอเรลลินเป็นกลไกหนึ่งในการควบคุมการยืดตัวของปล้อง ซึ่งคุณภาพแสงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของต้น โดยแสงสีแดงยับยั้งการยืดตัวของลำต้นในที่มืดและการให้แสงเหนือแดง (far red) สามารถกระตุ้นการยืดตัวของปล้องแรกซึ่งมีความสำคัญมากในการโผล่พ้นผิวดินของพืชตระกูลหญ้า แต่ในพืชใบเลี้ยงคู่ ใบและต้นได้รับแสงเต็มที่โดยไม่มีกาบใบหุ้มเหมือนกับพืชตระกูลหญ้า ดังนั้นการยืดตัวของปล้องจึงได้รับอิทธิพลจากคุณภาพของแสง ปริมาณแสงที่พืชได้รับขึ้นกับระยะปลูก ซึ่งการปลูกชิดทำให้พืชได้รับแสงน้อยลงและสร้างกอลดลง การเพิ่มแสงให้กับหญ้าทำให้จำนวนกอเพิ่มขึ้น ในธัญพืชที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจำนวนกอต่อพื้นที่ของแปลงที่ปลูกที่ความหนาแน่นต่างกันค่อนข้างคงที่ ข้าวโพดที่ปลูกแน่นเกินไปไม่สร้างกิ่งข้างและฝัก ซึ่งเป็นผลจากปริมาณอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงมีจำกัดหรือจากการข่มของตายอดเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ถูกสร้างมากขึ้นในต้นที่ถูกบังแสง ขณะที่ความยาววันมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของลำต้นน้อยกว่ากระบวนการออกดอก

2.6 อิทธิพลของแสงต่อกระบวนการออกดอกของพืช

การออกดอกเป็นสัญญาณว่าพืชนั้นเข้าสู่ระยะชราภาพ (senescence) พืชบางชนิดเมื่อออกดอกติดผลแล้วตายเนื่องจากครบวงจรชีวิตแล้ว เช่น พืชล้มลุก ได้แก่ กล้วย ไผ่ สับปะรด แต่พืชบางชนิดเมื่อออกดอกติดผลแล้วมีการเจริญทางกิ่งใบใหม่ จนกระทั่งกิ่งใบเหล่านี้แก่พอที่สามารถออกดอกติดผลอีกเป็นหลายครั้งก่อนที่ต้นตาย ได้แก่พวกไม้ผลยืนต้น เช่น มะม่วง ลิ้นจี่ เงาะ ทุเรียน โดยพืชทั่วไปออกดอกเมื่อมีความพร้อม คืออายุ อาหารสะสม และมีสภาพแวดล้อมพอเหมาะ ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยร่วมกัน อย่างไรก็ตามพืชบางชนิด เช่น ต้นกล้ามะม่วง ที่เกิดจากการทาบกิ่งอาจออกดอกได้ภายในกระถาง หลังจากย้ายปลูกใหม่ๆ เมื่อได้รับอากาศเย็นพอ แสดงว่าสภาพแวดล้อมมีผลอย่างมากในการบังคับให้เกิดดอก แต่ในขณะเดียวกันไม้ผลอีกหลายชนิด เช่น ลำไย ลิ้นจี่ รวมทั้งมะม่วง ไม่สามารถออกดอกได้ในบางปี ทั้งๆ ที่มีสภาพอากาศพอเหมาะ อาจเกิดจากอาหารสะสมภายในต้นไม่เพียงพอ หรืออายุของกิ่งและใบยังไม่พร้อมเช่นใบยังไม่แก่จัดขณะได้รับอากาศเย็น ไม้ผลบางชนิด เช่น มะม่วงทะวาย สามารถออกดอกได้ทั้งปีโดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม แต่ขึ้นอยู่กับอาหารสะสมเป็นสำคัญ การเกิดดอกถูกควบคุมโดยปัจจัยต่างๆ โดยแสงมีความสำคัญต่อการออกดอกของพืชหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชล้มลุก ซึ่งคุณภาพของแสง ความเข้มของแสง และความยาวของช่วงวัน เป็นสิ่งกำหนดการออกดอก โดยที่ความเข้มของแสงยิ่งมากทำให้การสังเคราะห์แสงดีขึ้น จึงมีอาหารมากพอในการออกดอก ส่วนความยาวของวันนั้นสำคัญมาก ในพืชทั่วไป สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท โดยอาศัยการตอบสนองต่อความยาวของช่วงวัน คือพืชวันสั้น (short day plant) พืชวันยาว (long day plant) และพืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงวัน (neutral plant) พืชวันสั้นออกดอกได้เมื่ออยู่ในสภาพที่มีช่วงแสงต่ำกว่าช่วงวิกฤติ (critical period) ช่วงวิกฤตินี้คือ ช่วงความยาวของวันที่กำหนดให้ของพืชแต่ละชนิดเปลี่ยนการเติบโตทางด้านกิ่งใบไปเป็นการออกดอก ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีช่วงวิกฤติที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น เบญจมาศ ซึ่งเป็นพืชวันสั้น มีช่วงวิกฤติ 13.5 ชั่วโมง หมายความว่าเบญจมาศออกดอกได้เมื่ออยู่ในสภาพที่มีแสงน้อยกว่า 13.5 ชั่วโมงต่อวัน ถ้าความยาวช่วงวันมากกว่านี้ทำให้เกิดการเติบโตทางด้านกิ่งใบ แทนการออกดอก ดังนั้นจึงสามารถบังคับการเติบโตของเบญจมาศได้ โดยในช่วงแรกของการปลูกมีการเปิดไฟในเวลากลางคืนเพื่อทดแทนแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้มีแต่การเติบโตทางกิ่งใบ เมื่อต้นโตได้ขนาดดีแล้ว จึงใช้ผ้าดำคลุมโรงเรือนในเวลาใกล้เย็นเพื่อไม่ให้ได้รับแสง ทำให้ช่วงที่ต้นเบญจมาศได้รับแสงน้อยกว่าช่วงวิกฤติจึงเกิดการออกดอกได้ พืชชนิดอื่นที่จัดเป็นพืชวันสั้น ได้แก่ ถั่วเหลือง คริสต์มาส กุหลาบหิน สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น พืชวันยาว สามารถออกดอกได้เมื่ออยู่ในสภาพที่มีช่วงวันยาวกว่าช่วงวิกฤติ เช่น คาร์เนชัน มันฝรั่ง ผักกาดหอม ส่วนพืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงวัน เช่น มะเขือเทศ ทานตะวัน ข้าว พืชเหล่านี้สามารถออกดอกได้เมื่อถึงอายุโดยไม่เกี่ยวข้องกับความยาวช่วงวัน พืชบางชนิดที่ออกดอกได้ไม่ว่าช่วงวันเป็นเท่าใด แต่ออกดอกได้เร็วขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพช่วงวันสั้น

หรือยาว เช่น ดาวกระจาย ฝ้าย และข้าวบางพันธุ์ ซึ่งออกดอกได้เร็วขึ้นเมื่ออยู่ในช่วงวันสั้น ส่วนถั่วลันเตา และพิทูเนีย ออกดอกได้เร็วขึ้นเมื่ออยู่ในช่วงวันยาว นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยที่สำคัญมากอันหนึ่ง ในไม้ผลหลายชนิดต้องการอากาศเย็นช่วงหนึ่งก่อนการออกดอก เช่น มะม่วง ลิ้นจี่ ลำไย เงาะ ความต้องการอากาศเย็นของแต่ละพืชหรือแต่ละพันธุ์แตกต่างกันไป เช่นมะม่วงต้องการช่วงอากาศเย็นน้อยกว่าลิ้นจี่ก็ออกดอกได้ และลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยซึ่งปลูกมากทางภาคเหนือต้องการอากาศเย็นยาวนานกว่าลิ้นจี่พันธุ์ค่อมที่ปลูกแถบภาคกลาง อุณหภูมิต่ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนภายในพืช และทำให้พืชชะงักการเติบโตทางกิ่งใบ จึงมีผลกระตุ้นการออกดอกได้ถ้าสภาพอื่นๆ พร้อม เช่น อาหารสมบูรณ์ เละไม่อยู่ในช่วงใบอ่อน ไม้ดอกเขตหนาวหลายชนิดต้องการอากาศเย็นก่อนการออกดอกเช่นกัน ได้แก่ เบญจมาศบางพันธุ์ กุหลาบหิน คาร์เนชัน มีพืชอีกหลายชนิดที่สามารถออกดอกได้ทุกฤดูกาลไม่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิหรือเกี่ยวข้องน้อยมาก ได้แก่ มะละกอ มะม่วงทะวาย มะพร้าว เป็นต้น

2.7 ผลของแสงต่อการสร้างสารสำคัญในพืช

2.7.1 การสร้างสารสำคัญในพืช สารประกอบทางเคมีในพืชเป็นสารประกอบที่พืชสร้างขึ้นด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึม รวมถึงสารอนุพันธ์ต่างๆ ของสารเหล่านี้ที่ถูกสร้างขึ้น แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารเมแทบอไลท์ปฐมภูมิ (primary metabolite) และสารเมแทบอไลท์ทุติยภูมิ โดยสารเมแทบอไลท์ปฐมภูมิเป็นสารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) รวมทั้งสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีการหายใจ (respiration) ที่มีสารประกอบต่างๆ เกิดขึ้น และมีการสร้างพลังงานด้วย ได้แก่ สารพวก คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดอะมิโน โปรตีน เพียวรีน และไพริมิดีน ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช รวมถึงเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารเมแทบอไลท์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) โดยสารสารเมแทบอไลท์ทุติยภูมิไม่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช แต่มีบทบาทสำคัญต่อการอยู่รอดของพืช เช่น พืชสร้างเพื่อป้องกันอันตรายจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น หรือสร้างเพื่อลดความเครียดจากการถูกกระตุ้นด้วยสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น สารพวกอัลคาลอยด์ (alkaloids) ฟีนอลิก (phenolics) อะซีโทจีนิน (acetogenins) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) และน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น (จิตรดา เหมรา, 2558) ซึ่งนอกจากสามารถปกป้องและทำให้พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ สารเมแทบอไลท์ทุติยภูมิยังให้ผลทางเภสัชวิทยากับมนุษย์และสัตว์ โดยนำพืชมาสกัดเพื่อนำสารดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ การที่พืชสร้างสารเหล่านี้ขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ ดิน แสง และสภาวะของพืช (ความเครียด) โดยทั่วไปความเครียดส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยมีผลกระทบต่อสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในพืช เช่น ส่งผลต่อโครงสร้างและสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้สูญเสียสมบัติความเป็นเยื่อเลือกผ่าน และทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพ สาย DNA เกิดการแตกหัก เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการแมแทบอลิซึมต่างๆ

ภายในเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตลดลง หรือหยุดชะงักลง จนอาจทำให้พืชตายในที่สุด พืชที่เติบโตในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ สารเคมี แมลงศัตรูพืช และการได้รับแสงไม่เหมาะสม สามารถผลิตสารต้านอนุมูลอิสระได้ในปริมาณที่มากกว่าพืชที่ปลูกในสภาวะปกติ (ทศพร นามโฮง, 2008) ซึ่งการตอบสนองของพืชภายใต้สภาวะเครียด สามารถจำแนกพืชออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไม่สามารถปรับตัวได้เมื่อได้รับความเครียด (susceptibility) แล้วตายในที่สุด และกลุ่มที่มีการปรับตัวเมื่อได้รับความเครียด (adaptation) สามารถมีชีวิตรอดได้ การปรับตัวของพืชเพื่อการอยู่รอด (survival) เมื่อได้รับสภาวะเครียด ในพืชหลายชนิดที่ได้รับความเครียด มีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เช่น ascorbic acid และ glutathione เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความเครียดมีการชักนำให้มีการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นในพืช (อินทิรา ขุดแก้ว, 2017)

2.7.2 สารอนุมูลอิสระ (Free radicals) คือสารที่ขาดคู่ของอิเล็กตรอนในวงจรรอบ ทำให้เกิดความไม่เสถียรและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้ต้องไปแย่งอิเล็กตรอนจากสารอื่นมาทดแทน ทำให้สารที่ถูกแย่งอิเล็กตรอนไปเกิดการไม่เสถียรทำให้ต้องไปแย่งอิเล็กตรอนจากสารอื่นอีก ทำให้เกิดการแย่งไปเป็นทอดๆ จนครบวงจรและเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระในพืชเกิดขึ้นเป็นประจำในการเผาผลาญพลังงาน นอกจากนั้นเมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาพแวดล้อมทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระมากขึ้น เมื่ออนุมูลอิสระเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อให้เกิดสารพิษต่อเซลล์จนทำให้พืชตายได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระจึงเข้ามามีส่วนช่วยในการป้องกัน

2.7.3 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือโมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ โดยสารต้านอนุมูลอิสระเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการถูกออกซิไดซ์ ซึ่งระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากเกินไป ทำให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (oxidative stress) นำมาซึ่งการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่เซลล์ได้ สารต้านอนุมูลอิสระที่สร้างขึ้นมาเพื่อจับกับอนุมูลอิสระ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ สารจำพวกเอนไซม์ และสารที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น กลูตาไธโอน วิตามินซี และวิตามินอี เช่นเดียวกับเอนไซม์อย่างตัวเร่งปฏิกิริยาและเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ รวมถึงเพอรอกซิเดสต่างๆ โดยพืชทั่วไปมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระมากหรือน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์พืช โดยสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงคือสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และโพลีฟีนอล สำหรับฟลาโวนอยด์ คือสารที่จัดอยู่ในกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งทำหน้าที่ให้สีแก่พืช สามารถดูดซับรังสีอัลตร้าไวโอเลตได้ดี พบได้ทั้งที่ใบ ลำต้น ดอก และผล

เป็นต้น ฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมีหลายประเภทแตกต่างกันออกไปตั้งแต่เหลือง ส้ม แดง ไปจนถึงม่วงดำ พบในพืชกลุ่มเบอร์รี่ ดอกอัญชัน รวมไปถึงผักผลไม้ที่มีสีน้ำเงินไปจนถึงม่วงดำ เป็นต้น

2.7.4 ผลของแสงต่อการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในพืช แสง (light) เมื่อพืชได้รับแสงมากมีการสร้างรงควัตถุสีมากขึ้นตามไปด้วย โดยพบว่าสีของผลแอปเปิ้ลเมื่อเปรียบเทียบลูกที่ได้รับแสงเต็มที่กับลูกที่อยู่บริเวณใต้ร่มของต้น ลูกที่ไม่ได้รับแสงมีสีน้อยกว่าผลที่ได้รับแสงเต็มที่ นอกจากนี้พืชที่ได้รับแสงเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการกระตุ้นยีนที่ทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพื่อสร้างและสะสมแอนโทไซยานินมากขึ้น (เจษฎากร หลวงมณี, 2555) สำหรับผลของแสงในการกระตุ้นการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์ในพืชสวนใหญ่สามารถสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ชนิดอื่นได้ในส่วนต่างๆ และกระบวนการดังกล่าวถูกกระตุ้นโดยแสงสีแดง แสง far red และแสงสีน้ำเงิน ซึ่งช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวขึ้นกับชนิดของพืช เช่น แสงสีแดงและ far red ไม่มีผลในการกระตุ้นให้เกิดแอนโทไซยานินในข้าวฟ่าง แต่แสงสีน้ำเงินกระตุ้นให้เกิดแอนโทไซยานินได้ดีในข้าวฟ่าง ซึ่งการกระตุ้นให้เกิดแอนโทไซยานินเกี่ยวข้องกับการทำงานของไฟโตโครมในรูปของ Pfr โดยการเกิดฟลาโวนอยด์ในใบพืชระหว่างฤดูใบไม้ร่วงที่เป็นกระบวนการเสื่อมสภาพของใบ เกิดจากการไฮโดรไลซ์โปรตีน และการใช้ phenylalanine ในกระบวนการเมตาบอไลท์เป็นจำนวนมาก ทำให้ใบเกิดการเสื่อมสภาพและเกิดการหลุดร่วง นอกจากนี้เอนไซม์ชนิดอื่นๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับฟลาโวนอยด์ถูกกระตุ้นโดยแสง เช่น ลิกนิน ที่สังเคราะห์โดย shikimic pathway เช่นเดียวกับฟลาโวนอยด์มีความเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase บางส่วนในต้นอ่อนของพืช เช่น การเกิดท่อน้ำที่เป็นผลจากการสังเคราะห์ลิกนินก็ถูกกระตุ้นโดยแสงซึ่งก่อให้เกิดลำต้นที่แข็งแรงของพืชที่เจริญในที่ที่มีแสง

มีงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้แสงจากหลอดไฟ LED ให้มีคุณภาพแสง ความเข้มแสง และช่วงเวลาที่ให้แสง ในพืชหลายชนิด เช่น การประยุกต์ใช้แสงเทียมจากไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่นจำเพาะเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพืชสวนครัว ได้แก่ โหระพา กะเพรา และแมงลัก โดยวิเคราะห์ผลกระทบของแสงเทียมสีแดง น้ำเงิน และสีผสมระหว่างแดงและน้ำเงินด้วยอัตราส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของพืชสวนครัวดังกล่าว พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแมงลักและสารประกอบฟีนอลของกะเพราภายใต้แสงผสมระหว่างสีแดงต่อน้ำเงิน 2:1 มากกว่าแสงสีขาวที่เป็นตัวควบคุม (วิจิตรา จันอุทัย และคณะ, 2562) ส่วนกัญตนา หลอดทองหลาง และคณะ (2562) ทำการศึกษาการให้แสงเสริมจากหลอด LED แก่กระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพโรงเรือน พบว่า

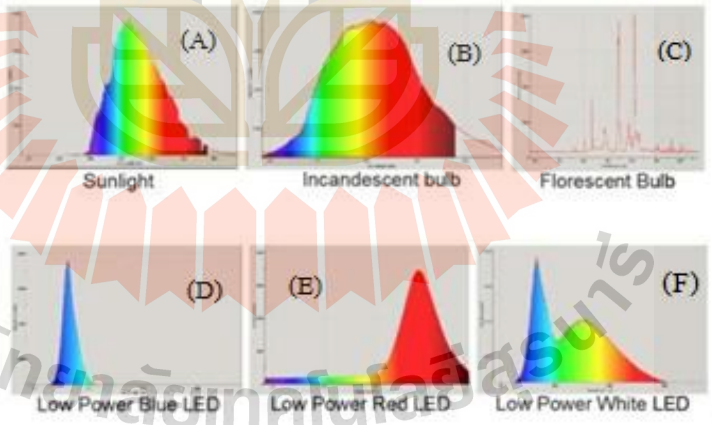
ทำให้มีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการให้แสงสีแดงและแสงสีเขียว (สุภา พ่วงนิ่ม และคณะ 2561; Giedre et al., 2012; Kim et al., 2013) แต่ยังมีรายงานว่าแสงไฟสีแดง (625–700 nm) สามารถเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานิน นกะหล่ำใบแดง เพิ่มสารลูทีนในผักเคล และยังช่วยลดปริมาณไนเตรทในผักสลัด ส่วนแสงไฟสีเขียว (490–550 nm) สามารถลดปริมาณไนเตรทในผักสลัดได้เช่นกัน นอกจากนี้แสงไฟสีเขียวช่วยเพิ่มปริมาณวิตามินซีในผักกาดแก้ว สำหรับแสงไฟสีน้ำเงิน (425–490) เพิ่มเบต้าแคโรทีนในผักเคล และเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดใบแดง (เกษตรพลัส, 2562) นอกจากแสงแล้วอุณหภูมิยังมีผลต่อสารสำคัญในพืช โดยอุณหภูมิที่สูงเกินไปสามารถยับยั้งการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน แต่อุณหภูมิต่ำที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ดังนั้นการเพิ่มความเข้มแสงร่วมกับการให้อุณหภูมิที่ต่ำชักนำให้เอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (CHS) ทำงานได้ดีมากขึ้น ทำให้การสะสมแอนโทไซยานินสูงขึ้นตามไปด้วย (เจษฎากร หลวงมณี, 2555)

นอกจากแสงและอุณหภูมิแล้ว เมื่อปลูกพืชในที่แห้งแล้งหรือในฤดูแล้งความชื้นในดินที่ลดลงทำให้การสังเคราะห์แอนโทไซยานินลดลงด้วย นอกจากนี้ธาตุอาหารในดินมีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน โดยเมื่อพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปทำให้การสร้างแอนโทไซยานินลดลง ในขณะเดียวกันการให้แมกนีเซียมในช่วงที่ดอกกำลังพัฒนาทำให้เกิดการสะสมแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น และยังทำให้เกิดความเสถียร หรือ metal complexes ซึ่งเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงทำให้แอนโทไซยานินไม่เสียสภาพ (เจษฎากร หลวงมณี, 2555)

2.8 ชนิดของหลอดไฟ และการประยุกต์ใช้หลอดไฟ LED ในการผลิตพืช

เนื่องจากมีการปลูกพืชในโรงเรือนมากขึ้น โดยสภาพปกติในโรงเรือนมักมีแสงไม่เพียงพอจึงต้องมีการประยุกต์ใช้หลอดไฟเพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ให้กับพืช หลอดไฟที่ใช้มีหลายชนิดดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้แก่ 1) หลอดไส้ ที่ตัวไส้ทำด้วยทังสเตนหาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก แต่คุณภาพของแสงที่ได้ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช และพลังงานที่ปล่อยออกมาอยู่ในรูปความร้อน 2) หลอด Halogen เป็นประเภทเดียวกับหลอดไส้ แต่ส่งพลังงานความร้อนออกมามากกว่า และเปล่งแสงในช่วงสีแดง ถึงแม้ว่าแสงสีแดงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พลังงานความร้อนที่ปริมาณมากไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช 3) หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นชนิดที่หาซื้อง่าย ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดไฟทั่วไป 4 เท่า ส่วนใหญ่ใช้สำหรับให้ความสว่างในบ้าน ผู้ผลิตจึงให้เปล่งแสงในช่วงสีเขียว เพราะดวงตาของมนุษย์ไวต่อแสงดังกล่าว และยังสามารถใช้หลอดนิออนเพื่อให้แสงกับพืชได้ เนื่องจากหาซื้อง่าย ราคาถูก แต่แสงสีเขียวไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช 4) หลอดไฟ plant growth lights ผลิตเพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ในพืช มีการเปล่งแสงสีแดง และสีน้ำเงิน เมื่อนำมารวมกันทำให้เกิดแสงช่วงสีม่วง ซึ่งไม่

เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช 5) หลอดไดโอดเปล่งแสง (light–emitting diode) เรียกย่อๆ ว่า LED สามารถเปล่งแสงออกมาเป็นคลื่นความถี่เดียวและมีเฟสต่อเนื่อง ต่างจากแสงทั่วไปที่ตาคนมองเห็น โดยหลอด LED สามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเล็กน้อย และมีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างดีกว่าหลอดไฟทั่วไป รูปที่ 2.5 แสดงแถบ color spectrum ของหลอดไฟแต่ละชนิด โดยแสงอาทิตย์ให้ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400–700 นาโนเมตร ส่วนแสงจากหลอด Incandescent ให้ความยาวคลื่นใกล้เคียงกับแสงจากดวงอาทิตย์ แต่ให้ความร้อนสูง หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ไม่มีแสงสีใดๆ ปรากฏจึงไม่เหมาะต่อการปลูกพืช ส่วน spectrum แถวล่างเป็นหลอดไฟ LED สีน้ำเงิน สีแดง และสีขาว ซึ่งเมื่อนำมารวมกันสามรถให้แสงเหมือนกับแสงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีการพัฒนามาใช้หลอด LED เนื่องจากคุณสมบัติที่กล่าวมา หลอดไฟ LED จึงถูกนำมาใช้งานด้านการปลูกพืช เมื่อต้องการให้พืชมีการเจริญเติบโตปกติในสภาพที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ เช่น การปลูกพืชในหน้าหนาว หรือสามารถใช้เพิ่มช่วงเวลาให้กับพืชที่ต้องการแสงเป็นเวลานานกว่าปกติ เพื่อกระตุ้นการออกดอก เช่น การปลูกเบญจมาศ นอกจากนี้หลอด LED ยังมีข้อดีกว่าหลอดไฟชนิดอื่นๆ คือใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย ปล่อยความร้อนน้อย ส่งผลให้สามารถเปิดได้ตลอด 24 ชั่วโมง ช่วยลดมลพิษเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดชนิดอื่น เนื่องจากไม่มีรังสี UV ไม่มีก๊าซพิษ หรือโลหะหนักในการบรรจุ (ดนัย บุณยเกียรติ, 2554)



รูปที่ 2.5 แสดง color spectrum ของแสงจากดวงอาทิตย์ (A) หลอดไฟ Incandescent (B) หลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ (C) หลอดไฟ LED สีน้ำเงิน (D) หลอดไฟ LED สีแดง (E) และหลอดไฟ LED สีขาว (F)
ที่มา: ออนไลน์ (2017), https://physics.stackexchange.com

ดังนั้นการปลูกพืชในสภาพโรงเรือนหรือมีแสงไม่เพียงพอ สามารถใช้หลอดประดิษฐ์เพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ได้ แต่การให้แสงต้องมีทั้งความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในพืชแต่ละชนิด มีงานวิจัยในพืชสวนครัว (กะเพรา โหระพา และ

แมงลัก) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแสงกับการเจริญเติบโต พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิดที่ให้หลอดไฟ LED มีการเจริญเติบโต ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบ สูงกว่าแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำหรับความสัมพันธ์ผลของระยะเวลาให้แสงต่อการเจริญเติบโต พบว่าหลอดไฟ LED สีขาวให้แสงนาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ทำให้พืชทั้ง 3 ชนิด มีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโตดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาวที่ให้แสงนาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนความเข้มแสงที่ต่างกัน ทำให้พืช 3 ชนิด มีชีวิตรอดและเจริญเติบโตได้ดีที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระยะห่างระหว่างทรงพุ่มของพืชกับหลอดไฟ เพื่อให้พืชได้รับแสงเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งผลการทดลองพบว่าควรติดหลอดไฟให้ห่างจากปลายทรงพุ่มที่ระยะ 10 เซนติเมตร (จูนลิฎา โยธาทิพย์ และคณะ, 2553)

ผลของแสงต่อการงอกของเมล็ดมีรายงานว่าการให้แสง LED สีแดงอย่างเดียว ที่ให้ระยะเวลาในการงอกของมะละกอสั้นกว่าการให้แสงอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าการให้แสง LED สีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน (25:75 %) มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด (รำไพ นามพิลา และคณะ, 2559) นอกจากนี้แสง LED สีแดงและสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 6:4 ทำให้ความงอกและการสะสมสารแอนโทไซยานินของต้นแคนดิไลออนสูงกว่าแสงชนิดอื่น (Jai et al., 2012) และยังมีรายงานว่าแสงสีน้ำเงินทำให้การเจริญเติบโตของต้นอ่อนบล็อคโคลีสูงที่สุด (Cho et al., 2008) นอกจากนี้แสง LED สีน้ำเงิน ยังทำให้ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนของกรีนโอ๊คเพิ่มสูงขึ้น (Masahumi et al., 2010)

การทดสอบเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการพัฒนาของไหลสตรอเบอรี่ โดยให้แสงสีแดง และสีแดงร่วมกับน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 200 $\mu mol/m^2/s$ นาน 16 ชั่วโมง/วัน พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับน้ำเงิน ทำให้สตรอเบอรี่เจริญเติบโตและพัฒนาดีกว่าการให้แสงสีแดงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าแสงสีแดงอย่างเดียวส่งผลให้สตรอเบอรี่ยืดยาวมากกว่าปกติ หากต้องการให้พืชหยุดยืดยาวควรใช้แสงสีน้ำเงิน โดยแสงสุดท้ายที่ให้กับพืชมีผลต่อการแสดงออกทางลักษณะของพืช (Giedre et al., 2010) การให้แสงจากหลอดไฟ LED และหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดขาวปลี พบว่าแสงจากหลอดไฟ LED ให้ผลผลิตสูงกว่าแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าหลอดไฟ LED มีการใช้ไฟน้อย ประหยัดค่าไฟ และให้แสงในช่วงที่พืชต้องการได้มากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Jane and Neil, 2011)

ในพืชไร่มีการทดสอบการตอบสนองต่อแสง การสังเคราะห์แสง และผลผลิต ของข้าว-สาลี โดยให้แสงสีแดงจากหลอดไฟ LED สีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และสีแดงจากหลอดไฟ LED ร่วมกับแสงน้ำเงินจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสง 350 $\mu mol/m^2/s$ ให้แสงนาน 24 ชั่วโมง/วัน พบว่าข้าวสาลีที่ให้แสงสีแดงจากหลอดไฟ LED ร่วมกับสีน้ำเงินจากฟลูออเรสเซนต์ (10 เปอร์เซ็นต์) มีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น การสังเคราะห์แสง และน้ำหนักแห้งดีที่สุด ในขณะที่

แสงสีแดงมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบด้วย (Goins et al., 1997) นอกจากนี้มีการศึกษาผลของอัตราส่วนของหลอดไฟ LED สีน้ำเงิน แดง และขาว ต่อการเจริญเติบโตของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยูคาลิปตัส ผลการทดลองพบว่าแสงสีน้ำเงิน สีแดง และสีขาว อัตราส่วน 7:88:5 (เปอร์เซ็นต์) ให้แสงนาน 16 ชั่วโมง/วัน ทำให้เนื้อเยื่อยูคาลิปตัสมีการเจริญเติบโตดีที่สุด (อภิชาต ชิดบุรี และคณะ, 2557)

หลอดไฟ LED นอกจากมีผลกับพืชในด้านการเจริญเติบโตทางลำต้น และการสืบพันธุ์แล้ว แสงยังมีผลกระตุ้นการสร้างสารสำคัญที่มีประโยชน์ในพืช เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะในพืชสมุนไพร ที่สามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ นำมาใช้เป็นอาหารเสริม และใช้ในทางเวชภัณฑ์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารที่สกัดมาจากธรรมชาติจึงปลอดภัยต่อผู้บริโภคสูง มีการวิจัยโดยประยุกต์ใช้หลอดไฟประดิษฐ์กับพืชหลายชนิด เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระกับหลอดไฟประดิษฐ์ โดยให้แสงจากหลอดไฟ LED แก่ผักชี ได้แก่ แสงสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์ และแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:1, 10:1 และ 19:1 ให้แสงนาน 16 ชั่วโมง/วัน ใช้ความเข้มแสง 120 $\mu mol/m^2/s$ เมื่อวัดลักษณะทางสรีรวิทยา และวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับแสงสีน้ำเงินอัตราส่วน 10:1 ส่งผลทำให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารออกฤทธิ์มากที่สุดเมื่อปลูกภายใต้แสงสีแดงร่วมกับแสงสีน้ำเงินอัตราส่วน 5:1 (Naznin et al., 2006) และมีการทดลองในถั่วลันเตา โดยให้แสงจากหลอดไฟ LED 3 ทรีทเมนต์ ได้แก่ สีขาว สีแดง และสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 1.5, 1.7 และ 1.8 $\mu mol/m^2/s$ ตามลำดับ ให้แสงนาน 96 ชั่วโมง แล้วทำการวัดลักษณะการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วลันเตา พบว่าแสงสีแดงทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (Ming et al., 2007) จากข้อมูลดังกล่าวมา ชี้ให้เห็นว่าการใช้หลอดไฟ LED ที่ช่วงความยาวคลื่น และความเข้มแสง ที่เหมาะสมกับช่วงการเจริญเติบโตของพืช สามารถเพิ่มผลผลิตและปริมาณการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มมูลค่าเพิ่มจากการใช้สารต้านอนุมูลอิสระในทางเวชภัณฑ์ได้ อย่างไรก็ตามพืชแต่ละชนิดมีความต้องการความยาวคลื่นและความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ดังนั้นการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์จากหลอด LED จำเป็นต้องหาช่วงความยาวคลื่น และความเข้มแสง ที่เหมาะสมสำหรับการงอก การเจริญเติบโต และการสร้างสารสำคัญในพืชแต่ละชนิด เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ที่รักสุขภาพที่สนใจ โดยเฉพาะผู้ที่อาศัยในสังคมเมืองและมีพื้นที่ใช้สอยจำกัด ให้สามารถปลูกพืชผักปลอดภัยที่ให้คุณค่าทางอาหารสูงไว้รับประทานในครัวเรือน

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เป็นการทดสอบผลของความยาวคลื่นแสงและความเข้มแสง โดยแสงที่ใช้ทดสอบเป็นแสงจากหลอดไฟ Light Emitting Diode (LED) โดยการทดลองที่ 1 ทดสอบผลของความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่อความงอก และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช และการทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบผลของคุณภาพแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผักกินใบ โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

3.1 การทดลองที่ 1 ผลของแสงต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase การงอกของเมล็ด ผลผลิต และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

3.1.1 การทดลองที่ 1.1 ผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ α-amylase การงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

1) พืชที่ใช้ทดสอบ

- พืชที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วเขียว (พันธุ์ มทส 4) ถั่วเหลือง (พันธุ์เชียงใหม่ 60) ข้าว (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) ทานตะวัน (พันธุ์อะควาร่า 6) และงา (พันธุ์อุบล 6)

2) วิธีการทดลอง

- นำเมล็ดพืชทั้ง 5 ชนิด มาทดสอบโดยวิธี TP (top of paper) คือการเพาะเมล็ดโดยการจัดวางเมล็ดอยู่บนกระดาษเพาะ ทำพืชละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด
- นำเมล็ดที่เพาะเสร็จแล้วไปวางในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 25–30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 80–90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปัจจัยของแสงที่แตกต่างกัน ดังนี้
- จัดทรีตเมนต์แบบ factorial in CRD โดยมีปัจจัยแสงที่ให้กับพืช ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 คุณภาพแสง (ความยาวคลื่นแสง) โดยใช้หลอด LED ที่มีความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ ปัจจัยที่ 2 ความเข้มแสง 2 ระดับ

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยของแสงที่ให้กับเมล็ดพืช

ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)	ชนิดของ LED	ความยาวคลื่นแสง (nm)	อัตราส่วน
Control	ไม่ให้แสง	–	–
50	สีขาว	400-800	-
	สีแดง	630	-
	สีแดง: น้ำเงิน	630:470	7:3
100	สีขาว	400–800	-
	สีแดง	630	-
	สีแดง: น้ำเงิน	630:470	7:3

ทำการฉีดพ่นด้วยน้ำปราศจากไอออนเพื่อให้ความชื้นแก่เมล็ด วันละ 1 ครั้ง

3) การบันทึกข้อมูล หลังจากเพาะเมล็ดทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

- **เปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีการงอกของเมล็ด เอนไซม์ α–amylase และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช**

1. เปอร์เซ็นต์ความงอก วัดโดยทำการนับต้นกล้าปกติ (normal seedling) ของเมล็ดพืชแต่ละชนิดที่อายุ 7–12 วันหลังเพาะ

2. ดัชนีการงอกของเมล็ด วัดโดยนับเมล็ดที่งอกในแต่ละวันจนครบ 7–12 วัน แล้วนำมาคำนวณหาดัชนีการงอกตามวิธีของ Blackman (1919) จากสูตร

ดัชนีการงอกของเมล็ด = $\sum[\frac{x}{y}]$

เมื่อ X = จำนวนเมล็ดที่งอกแต่ละวัน

Y = จำนวนวันหลังเพาะ

3. กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ α–amylase ของเมล็ดพืช Kato and Macias (2005)

- **การเตรียมสารละลาย** เพื่อทดสอบผลของสารสกัดจากพืชต่อกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ α–amylase ของเมล็ดพืชที่มีการสะสมแป้งดังนี้
  - Extraction Buffer โดยชั่ง HEPES 7.149 กรัม EDTA 0.111 กรัม $MgCl_2$ 0.301 กรัม DTT 0.231 กรัม $NaHSO_3$ 0.312 กรัม และ BSA 0.996 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 7.5 ด้วย KOH
  - สารละลาย A โดยชั่ง $CaCl_2$ 0.044 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
  - สารละลาย B โดยชั่ง Na–acetate 1.360 กรัม และ $CaCl_2$ 0.147 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 6.0 ด้วย KOH

- **การเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช**
  - สุ่มเมล็ดพืชที่กำลังงอกที่ให้แสงนาน 1 วัน จำนวน 1 กรัม จากนั้นนำมาบดในความเย็นด้วย Extraction Buffer 1.5 มิลลิลิตร
  - นำตัวอย่างพืชที่ได้ใส่หลอด Eppendorf แล้วนำไป Centrifuged ที่ 12,000 รอบ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสมา 0.5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย A ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 75 ºC นาน 15 นาที
  - ดูดสารสกัดที่ได้มา 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย B ลงไป 250 ไมโครลิตร และเติมน้ำแป้ง ความเข้มข้น 2 % ปริมาณ 250 ไมโครลิตร แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 37 ºC เป็นเวลา 15 นาที
  - เมื่อครบเวลาแล้วดูดสารที่ได้ 20 ไมโครลิตร มาเติมน้ำกลั่น 80 ไมโครลิตร และเติม Antrone 1.4 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 ºC นาน 17 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
- **การวิเคราะห์หากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ α–amylase**
  - นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH–5000) ที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน D–glucose
- **การทำกราฟมาตรฐานจาก D–glucose**
  - ชั่ง D–glucose จำนวน 10 มิลลิกรัม แล้วเติมน้ำ 2 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางเป็น 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625 และ 0.312 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
  - ดูด D–glucose ที่เจือจางแล้วมา 20 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 80 ไมโครลิตร และ เติม Antrone 1.4 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 ºC นาน 17 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น
  - สารละลายที่ได้นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank
  - นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นไปเขียนกราฟมาตรฐานต่อไป
- **การคำนวณหากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ α–amylase**
  - นำค่าดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้ไปแทนค่า Y ในสมการจากกราฟ มาตรฐานเพื่อหาค่า X แล้วนำค่า X คูณด้วยค่า dilution factor ก็จะได้กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ α–amylase ในตัวอย่าง มีหน่วยไมโครกรัมต่อนาทีต่อมิลลิกรัม (as D–glucose)

4. ปริมาณสารฟีนอลในต้นอ่อนพืช ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010)

- **การเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช**
  - ใช้ต้นอ่อนของพืชทั้งต้นที่อายุ 7–12 วันหลังเพาะ นำไปชั่งน้ำหนักสด 3 กรัม
  - นำต้นพืชที่ได้ไปสกัดด้วยวิธี acidified method ซึ่งมีตัวทำละลายประกอบด้วย acetone : Deionized water : acetic acid อัตราส่วน 70 : 29.5 : 0.5 ปริมาณ 40 มิลลิลิตร นาน 1 ชั่วโมง
  - นำสารสกัดที่ได้มากรองเอากากออก จากนั้นนำไประเหยได้ความเข้มข้นสูงด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จากนั้นนำมาปรับปริมาตรให้ได้ 40 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน
- **การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด**
  - นำสารสกัดที่ได้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร มาเติมสาร Folin–Ciocalture's phenol : Deionized water อัตราส่วน 1 : 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 8 นาที
  - สารละลายที่ได้นำมาเติมด้วย Na_2CO_3 7% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 2 ชั่วโมง
  - นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH-5000) ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Gallic acid
- **การทำกราฟมาตรฐานจาก Gallic acid**
  - เตรียมสารละลาย Gallic acid ความเข้มข้น 1,000 ppm โดยชั่ง Gallic acid 100 มิลลิกรัม ละลายใน ethanol 95 % ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
  - ทำการ dilution สารละลายที่ได้ โดยการปิเปตมา 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 8 มิลลิลิตร ได้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 50, 100, 150, 200, 400, 600 และ 800 ppm ตามลำดับ
  - ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เติมสาร Folin–Ciocalteu' s phenol 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Na_2CO_3 7 % อีก 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixture ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
  - นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอล 95 % เป็น blank
  - นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นไปเขียนกราฟมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- **การคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด**
  - นำค่าดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้ไปแทนค่า Y ในสมการจากกราฟ มาตรฐานเพื่อหาค่า X แล้วนำค่า X คูณด้วยค่า dilution factor จะได้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ppm หรือไมโครกรัมต่อกรัม (as Gallic acid)

4) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) เปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีการงอกของเมล็ด กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ α–amylase และปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ด้วยโปรแกรม SPSS v.14 for window (Norman et al., 1970) หากมีความแตกต่างเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range, Test)

3.1.2 การทดลองที่ 1.2 ผลของความเข้มแสง ต่อผลผลิต และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

1) พืชที่ใช้ทดสอบ

- เมล็ดพืชที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ถั่วเขียว (พันธุ์ มทส 4) ข้าว (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) ทานตะวัน (พันธุ์อะควาร่า 6) และงา (พันธุ์อุบล 6)

2) วิธีการทดลอง

- นำเมล็ดพืชทั้ง 4 ชนิด มาทดสอบโดยวิธี TP (top of paper) คือการเพาะเมล็ดโดยการจัดวางเมล็ดอยู่บนกระดาษเพาะ ทำพืชละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด
- นำเมล็ดที่เพาะเสร็จแล้วไปวางในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 25–30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 80–90 เปอร์เซ็นต์
- แต่ละพืชวางแผนการทดลองแบบ CRD โดยมีปัจจัยของแสงที่ให้กับเมล็ดพืช ดังนี้

ใช้หลอด LED ที่มีความยาวคลื่นแสงสีแดงต่อสีน้ำเงิน (630 และ 470 นาโนเมตร ตามลำดับ) อัตราส่วน 7:3 โดยมีความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 400, 200 และ 145 $\mu mol/m^2/s$ ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน โดยเปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง

3) การบันทึกข้อมูล หลังจากเพาะเมล็ดทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์ความงอก ทดสอบความงอกดังรายละเอียดตามวิธีการทดลองที่ 1.1
2. ดัชนีการงอกของเมล็ด วิธีของ Blackman (1919) รายละเอียดดังการทดลองที่ 1.1
3. น้ำหนักสดของต้นอ่อน โดยสุ่มวัดน้ำหนักสดของต้นพืชที่อายุ 7–12 วันหลังเพาะขึ้นกับชนิดพืช

4. ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010) วิธีการเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอล การทำกราฟมาตรฐานจาก Gallic acid และการคำนวณหาปริมาณสารฟีนอล ดังรายละเอียดในการทดลองที่ 1.1

4) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) ของลักษณะต่างๆ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความงอก น้ำหนักสด ดัชนีความงอกของเมล็ด และปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด ด้วยโปรแกรม SPSS v.14 for window (Norman et al., 1970) หากมีความแตกต่างเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range, Test)

3.2 การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผัก

1) พืชที่ใช้ทดสอบ

- พืชที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ผักแพว สะระแหน่ และกรีนโอ๊ค

2) วิธีการทดลอง ทำการทดลองในสภาพปิด โดยการปลูกผักกาดหอมใช้การเพาะเมล็ดแล้วย้ายต้นกล้าไปให้แสง ส่วนผักแพวและสะระแหน่ ใช้วิธีการปักชำแล้วย้ายไปให้แสง ดังมีรายละเอียดดังนี้

- วิธีเตรียมต้นกล้า

1. วิธีการเพาะเมล็ดกรีนโอ๊ค

- นำฟองน้ำเพาะเมล็ดใส่ในถาดอลูมิเนียมแล้วใส่น้ำลงไป จากนั้นใช้ฝ่ามือนวดฟองน้ำเพื่อไล่อากาศออก เมื่อฟองน้ำซับน้ำดีแล้วให้นำขึ้นมาไว้ในถาดเพาะ
- นำเมล็ดผักกาดหอมวางใส่ไว้ตรงกลางของฟองน้ำแต่ละช่อง ช่องละ 1 เมล็ด โดยให้มีความลึกประมาณ 3-6 มิลลิเมตร
- หลังจากที่ใส่เมล็ดครบแล้ว ให้ใช้สเปรย์ฉีดฝอยฉีดน้ำใส่ด้านบนของฟองน้ำให้ทั่ว แล้ววัสดุมาปิดด้านบนของถาดเพาะเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกไปจากผิวหน้าของฟองน้ำ จากนั้นนำไปวางในรางอนุบาลและตรวจดูระดับน้ำในรางอนุบาลให้มีน้ำหล่ออยู่ด้านล่างของฟองน้ำประมาณครึ่งเซนติเมตร
- ตรวจดูผิวหน้าของฟองน้ำให้มีความชื้นอยู่เสมอ ถ้าแห้งให้ใช้สเปรย์ฉีดฝอยฉีดให้ทั่ว
- เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน หลังงอก ให้สารละลายธาตุอาหาร Hoagland (Hoagland and Arnon, 1950)

2. วิธีการปักชำผักแพวและสะระแหน่

- นำฟองน้ำเพาะเมล็ดใส่ในถาดอลูมิเนียมแล้วใส่น้ำลงไป จากนั้นใช้ฝ่ามือนวดฟองน้ำเพื่อไล่อากาศออก เมื่อฟองน้ำซับน้ำดีแล้วให้นำขึ้นมาไว้ในถาดเพาะ
- เลือกยอดผักแพวและยอดสะระแหน่ที่สมบูรณ์หรือมีตาที่สมบูรณ์ เลือกส่วนที่ไม่แก่หรืออ่อนเกินไป
- พืชทั้งสองชนิดตัดให้ได้ความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร หรือมี 3–5 ข้อ เด็ดใบออกบางส่วนเพื่อลดการคายน้ำของพืช แล้วนำไปปักชำลงในฟองน้ำที่อยู่ในถาดเพาะ เมื่อปักชำพืชทั้งสองชนิดแล้ว นำไปวางในรางอนุบาลและตรวจดูระดับน้ำในรางอนุบาลให้มีน้ำหล่ออยู่ด้านล่างของฟองน้ำประมาณครึ่งเซนติเมตร
- หลังปักชำ 3 วัน กิ่งชำเริ่มมีรากงอก และหลังจากปักชำ 7 วัน ให้สารละลายธาตุอาหาร Hoagland (Hoagland and Arnon, 1950)

3. วิธีการดูแลต้นพืช

- เมื่อต้นกล้ากรีนโอ๊คหลังเพาะ และกล้าชำหลังชำ อายุครบ 2 สัปดาห์ ย้ายไปขึ้นชั้นปลูกที่มีแสงจากหลอดไฟ LED ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 25–30 องศาเซลเซียส ความชื้น 70–80 เปอร์เซ็นต์ แล้วให้สารละลายธาตุอาหารอีกครั้ง (ให้ธาตุอาหารตามการวัดค่า EC=1.5–1.8 และ ค่า pH=5.5–6.5 โดยเปลี่ยนสารละลายทุกๆ 7 วัน) ทำการวางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ๆ ละ 20 ต้น โดยมีปัจจัยของแสงต่างกันดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มแสง 2 ระดับ คือ 120 และ160 $\mu mol/m^2/s$ ให้แสง 14 ชั่วโมงต่อวัน

ปัจจัยที่ 2 คุณภาพแสง (ความยาวคลื่นแสง) แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนต่างๆ ของคุณภาพแสงที่ให้กับพืช

ทรีทเมนต์	ชนิดของ LED	ความยาวคลื่นแสง (nm)	อัตราส่วน
A1 (control)	White	400-800	-
A2	Red	630	-
A3	Blue	470	-
A4	R : B	630 : 470	9:1
A5	R : B	630 : 470	7:3
A6	R : B	630 : 470	5:5
A7	R : W	630 : (400-800)	9:1
A8	R : W	470 : (400-800)	5:5
A9	B : W	630 : (400-800)	9:1
A10	B : W	470 : (400-800)	5:5
A11	R : B : W	630 : 470 : (400-800)	4:4:2
A12	R : B : W	630 : 470 : (400-800)	4:3:3

3) **การบันทึกข้อมูล** หลังจากให้แสงครบ 4 สัปดาห์ ทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

- **การเจริญเติบโตของพืชทั้งสามชนิด**

1. **ความสูงต้น** โดยวัดจากส่วนของต้นจนถึงปลายยอด
2. **พื้นที่ใบ** วัดพื้นที่ใบทั้งต้น

- **ลักษณะทางสรีรวิทยา**

1. **ความเขียวใบ** (SPAD chlorophyll meter reading; SCMR) วัดความเขียวของใบจำนวน 3 ใบ/ต้น นับจากใบที่เจริญเต็มที่ลงมา (ใบที่ 2, 3, 4 นับจากยอด)
2. **อัตราการสังเคราะห์แสง** ด้วยเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง รุ่น LCI 400 จำนวน 3 ใบ/ต้น นับจากใบที่เจริญเต็มที่ลงมา (ใบที่ 2, 3, 4 นับจากยอด)

- **ผลผลิต**

1. **น้ำหนักสด** สุ่มตัวอย่างพืชอายุ 4 สัปดาห์ จำนวน 5 ต้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสด
2. **น้ำหนักแห้ง** หลังจากชั่งน้ำหนักสดแล้วนำต้นพืชไปอบที่อุณหภูมิ 120 ◦C นาน 72 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักแห้ง

- **การสะสมสารสำคัญในพืช** เมื่อพืชทั้ง 3 ชนิดอายุครบ 4 สัปดาห์ (ที่อายุเก็บเกี่ยว 40–45 วันหลังปลูก) วัดการสะสมสารสำคัญ ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณคลอโรฟิลล์

- **การเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช**
  - ทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช (ใช้ใบที่ 3 นับจากใบที่เจริญเต็มที่) โดยการชั่งน้ำหนักใบจำนวน 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง
  - นำตัวอย่างพืชมาเติมสารสกัด N,N-dimethylformide ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (เมื่อสกัดคลอโรฟิลล์ออกจากตัวอย่างหมดแล้วใบจะซีดขาว)
  - นำสารสกัดที่ได้มากรองแยกส่วนของกากออก แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วย N,N-dimethylformide
- **การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์**
  - นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH–5000) ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด จากสูตรดังนี้ (สุมาลี คงสอดทรัพย์ และวัฒนา พัฒนากูล, 2548)

สูตรคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ} = [12.7\,(OD663) - 2.69(OD645)] \times \frac{v}{1{,}000 \times m}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี} = [22.9\,(OD645) - 4.68(OD663)] \times \frac{v}{1{,}000 \times m}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์รวมทั้งหมด} = [20.02\,(OD645) - 8.02(OD663)] \times \frac{v}{1{,}000 \times m}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายที่ตรวจวัดคลอโรฟิลล์ (ml)

m คือ น้ำหนักตัวอย่าง (mg)

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

2. ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010)

- **การเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช**
  - ทำการวัดปริมาณแอนโทไซยานินในใบพืช วัดเฉพาะผักแพวและสะระแหน่ (ใช้ใบที่ 3 นับจากใบที่เจริญเต็มที่) โดยการชั่งน้ำหนักใบจำนวน 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง
  - นำใบพืชที่ได้ไปสกัดด้วยวิธี acidified method ซึ่งมีตัวทำละลายประกอบด้วย

Acetone : Deionized water : Acetic acid อัตราส่วน 70 : 29.5 : 0.5 ปริมาณ 40 มิลลิลิตร นาน 1 ชั่วโมง

- กรองเอากากออก แล้วระเหยได้ความเข้มข้นสูงด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ แล้วนำมาปรับปริมาตรให้ได้ 40 มิลลิลิตร

• การวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานิน

- นำสารสกัดปริมาณ 1 มล. มาเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 2 ชนิด คือ KCl Buffer 0.025 M และ $C_2H_3NaO_2$ Buffer 0.4 M อัตราส่วน 1 : 20 จากนั้นปรับค่า pH เป็น 1.0 และ pH 4.5 ทิ้งไว้ 15 นาที
- นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH–5000) ที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานิน ตามสูตรดังนี้

Total anthocyanin content = (Acorrection × MW × DF × 100) / (£ × L)

เมื่อ Acorrection = $[(A_{520} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH\ 4.5}]$ โดย A_{520} และ A_{700} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (449.2 กรัมต่อโมล)

DF คือ สัดส่วนที่ทำการเจือจาง

£ คือ molar extinction coefficient ซึ่งมีค่า 26,900

L คือ ช่วงความยาวที่แสงผ่านสารละลายที่ทำการวัด

3. ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH° scavenging assay (Mustafa et al., 2010)

• การเตรียมสารละลาย

- เตรียมสารละลาย DPPH° ให้มีความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ โดยชั่งน้ำหนัก DPPH° 2.4 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร แล้วเก็บในขวดสีชา

• การเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช

- นำใบพืช 1 กรัม บดด้วยไนโตรเจนเหลว ใช้เอทานอล 2 มล. เป็นตัวทำละลาย

• การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

- ใช้สารสกัด 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH° 100 ไมโครลิตร
- นำไปเขย่าให้สารละลายผสมกันดี แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH–5000) ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (สารละลาย 100 ไมโครลิตร ผสมเอทานอล 100 ไมโครลิตร

- คำนวณหา % inhibition จากสูตรดังนี้

$$\%\ \text{inhibition} = \frac{[\text{OD.Control} - \text{OD.Sample}]}{\text{OD.Control}} \times 100$$

เมื่อ OD control คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH˚

OD sample คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง

- นำ % inhibition ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox

- **การทำกราฟมาตรฐาน Trolox**

- เตรียมสารมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้น 10, 20, 50, 70 และ 100 ไมโครโมลต่อลิตร
- สารมาตรฐาน 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH˚ ที่เตรียมไว้ 100 ไมโครลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกันดี แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH–5000) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้สารมาตรฐาน 100 ไมโครลิตร ผสมกับ เอทานอล 100 ไมโครลิตร เป็น blank ค่าที่ได้นำมาคำนวณหา % inhibition จากสูตรดังนี้

$$\%\ \text{inhibition} = \frac{[\text{OD.Control} - \text{OD.Sample}]}{\text{OD.Control}} \times 100$$

เมื่อ OD control คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH˚

OD sample คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารมาตรฐาน

- นำ % inhibition ที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นไปเขียนกราฟมาตรฐานต่อไป

- **การคำนวณหาการยับยั้งสารอนุมูลอิสระเทียบกับสารมาตรฐาน**

- นำ % inhibition ของตัวอย่างพืชที่ได้ไปแทนค่า Y ในสมการจากกราฟมาตรฐานเพื่อหาค่า X ก็จะได้ค่าการยับยั้งสารอนุมูลอิสระในตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของ Trolox ต่อน้ำหนักแห้งของพืช (กรัม)

4. ปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด (Mustafa et al., 2010) ตามการทดลองที่ 1.1

4) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์วาเรียนซ์ (ANOVA) การเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญด้วยโปรแกรม SPSS v.14 for window หากมีความแตกต่างเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range, Test) (Norman et al., 1970)

บทที่ 4
ผลการทดลอง และอภิปรายผล

ผลการทดสอบครั้งนี้เป็นผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง โดยแสงที่ใช้ทดสอบเป็นแสงจากหลอดไฟ Light Emitting Diode (LED) โดยการทดลองที่ 1 ทดสอบผลของแสงต่อความงอก และปริมาณในต้นอ่อนพืช และการทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผักกินใบ โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1 การทดลองที่ 1 ผลของแสงต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

4.1.1 การทดลองที่ 1.1 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

จากการให้คุณภาพแสง ได้แก่ สีขาว สีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน โดยใช้ความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 50 และ 100 µmol/m^2/s กับเมล็ดพืชทั้ง 5 ชนิด คือ งา ทานตะวัน ข้าว ถั่วเขียว และถั่วเหลือง เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง ทำการเก็บข้อมูลหลังจากเพาะเมล็ดที่อายุต่างกันตามชนิดพืช ดังนี้

1) งา เมื่อเพาะเมล็ดงาที่ความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่างกัน ส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ดัชนีความงอก (speed of germination) และปริมาณฟีนอล แตกต่างกัน ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความงอกของงาที่ให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่ต่างกันไม่พบความแตกต่าง (ตารางที่ 4.1) สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงมีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase โดยพบว่าเมล็ดงามีค่าสูงที่สุด ภายใต้แสงสีแดง และแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s (1.963 และ 1.936 µg/min ตามลำดับ) และการให้คุณภาพแสงทุกความยาวคลื่นที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s สำหรับความงอกมีแนวโน้มสูงที่สุด (98 %) ภายใต้แสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s ในขณะที่แสงสีขาว และสีแดง ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s ส่งผลให้ดัชนีความงอกสูงที่สุด (91.80 และ 94.51 ต้น/วัน ตามลำดับ) ส่วนปริมาณฟีนอลให้ค่าสูงที่สุด (12.93 µg/g) ภายใต้แสงผสมระหว่างแสงสีแดงและสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในงา

ทรีทเมนต์	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)				
0	0.91 c	86.00	48.59 b	1.76 b
50	1.64 b	95.33	49.83 b	10.07 a
100	1.94 a	96.00	87.28 a	8.60 a
p–value	0.00	0.31	0.00	0.00
คุณภาพแสง				
Dark	0.91 c	86.00	48.59 b	1.76 b
White	1.48 b	97.00	74.65 a	9.15 a
Red	1.94 a	96.00	64.03 a	9.39 a
Red:Blue	1.95 a	94.00	66.99 a	10.49 a
p–value	0.00	0.08	0.00	0.01
A*B	0.00	0.08	0.08	0.38
CV (%)	1.89	1.12	2.26	18.71

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในงา

ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)	คุณภาพแสง	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ไม่ให้แสง	–	0.91 c	86.00 c	48.59 cd	1.76 c
50	White	1.02 b	98.00 a	42.19 d	9.63 b
	Red	1.96 a	96.00 ab	54.80 c	10.03 b
	Red:Blue	1.93 a	92.00 b	52.51 cd	12.93 a
100	White	1.94 a	96.00 ab	91.80 a	8.99 b
	Red	1.93 a	96.00 ab	94.51 a	8.76 b
	Red:Blue	1.97 a	96.00 ab	75.54 b	8.06 b
	p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
	CV (%)	1.89	2.12	8.47	16.53

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) ทานตะวัน เมื่อเพาะเมล็ดทานตะวันที่ความเข้มแสงต่างกันส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase เปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีความงอก และปริมาณฟีนอล แตกต่างกัน ในขณะที่การให้คุณภาพแสงที่ต่างกันส่งผลให้ทุกลักษณะแตกต่างกัน ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ความงอก (ตารางที่ 4.3) สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสง จากตารางที่ 4.4 พบว่าการให้แสงสีแดงและสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสงทั้ง 2 ระดับ ส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase มีแนวโน้มสูงที่สุด (2.06, 2.11, 2.05 และ 2.12 µg/min ตามลำดับ) สำหรับเปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีความงอก มีแนวโน้มสูงที่สุดภายใต้แสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s (100 % และ 21.92 ต้น/วัน ตามลำดับ) ส่วนปริมาณฟีนอลสูงที่สุดภายใต้แสงสีขาว ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s (62.06 µg/g)

3) ข้าว เมื่อเพาะเมล็ดข้าวที่ความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่างกัน พบว่ากิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ดัชนีความงอก และปริมาณฟีนอล มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงในตารางที่ 4.6 พบว่ากิจกรรมเอนไซม์ α–amylase และดัชนีความงอกมีแนวโน้มสูงที่สุด ภายใต้แสงสีแดงที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s (0.769 µg/min และ 34.40 ต้น/วัน ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์ความงอกมีค่าสูงที่สุดในทุกคุณภาพแสง ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s ในขณะที่แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s ส่งผลให้ต้นอ่อนมีปริมาณฟีนอลสูงที่สุด (20.32 µg/g)

4) ถั่วเขียว จากการเพาะเมล็ดถั่วเขียวที่ความเข้มแสงต่างกัน ส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase เปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีความงอก และปริมาณฟีนอลแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่การให้คุณภาพแสงที่ต่างกันส่งผลให้ทุกลักษณะแตกต่างกัน ยกเว้นกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase (ตารางที่ 4.7) สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสง พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกให้ค่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกมีค่าสูงในทุกคุณภาพแสง ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s แต่ไม่แตกต่างกับการไม่ให้แสง ในขณะที่ดัชนีความงอกสูงภายใต้ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s ทุกคุณภาพแสง ทั้งแสงสีขาว สีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน (100, 98.30 และ 100 ต้น/วัน ตามลำดับ) สำหรับปริมาณฟีนอลพบว่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s (11.48 µg/g) อย่างไรก็ตามการให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่างกัน ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ α–amylase โดยมีค่าระหว่าง 1.20–1.48 µg/min (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.3 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในทานตะวัน

ทรีทเมนต์	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)				
0	1.11 b	80.00 a	10.55 b	20.66 c
50	2.04 a	85.00 a	14.94 a	30.23 b
100	2.07 a	54.44 b	7.73 b	43.00 a
p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
คุณภาพแสง				
Dark	1.11 c	80.00	10.55 b	20.66 c
White	2.05 ab	68.75	14.19 a	51.68 a
Red	1.99 b	71.66	10.36 b	27.48 bc
Red:Blue	2.11 a	68.75	9.47 b	30.68 b
p–value	0.00	0.90	0.00	0.00
A*B	0.30	0.00	0.00	0.09
CV (%)	2.32	18.68	19.91	16.70

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในทานตะวัน

ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)	คุณภาพแสง	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ไม่ให้แสง	–	1.11 c	80.00 ab	10.55 bc	20.06 d
50	White	2.06 a	100.00 a	21.92 a	41.30 b
	Red	1.95 b	90.00 ab	12.58 b	24.93 d
	Red:Blue	2.11 a	65.00 bc	10.34 bc	24.46 d
100	White	2.05 a	37.50 d	6.46 c	62.06 a
	Red	2.03 ab	53.33 cd	8.14 c	30.03 cd
	Red:Blue	2.12 a	72.50 bc	8.61 bc	36.90 bc
	p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
	CV (%)	4.02	18.68	19.91	16.73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในข้าว

ทรีทเมนต์	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germinatio (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)				
0	0.34 b	83.33 c	21.00 b	5.42 c
50	0.39 b	98.66 a	20.60 b	14.88 b
100	0.59 a	87.66 b	33.18 a	16.91 a
p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
คุณภาพแสง				
Dark	0.34 c	83.33 c	21.00 c	5.42 d
White	0.57 a	90.50 b	25.90 b	18.02 a
Red	0.45 b	95.00 a	27.90 a	14.46 c
Red:Blue	0.45 b	94.00 a	26.86 ab	15.22 b
p–value	0.00	0.01	0.03	0.00
A*B	0.00	0.78	0.00	0.00
CV (%)	11.57	2.68	4.54	0.00

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในข้าว

ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)	คุณภาพแสง	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ไม่ให้แสง	–	0.34 d	83.00 d	21.00 c	5.40 g
50	White	0.47 c	96.00 a	18.40 d	17.72 c
	Red	0.38 cd	100.00 a	21.40 c	16.82 d
	Red:Blue	0.33 d	100.00 a	22.00 c	10.12 f
100	White	0.44 c	85.00 cd	33.40 ab	18.32 b
	Red	0.76 a	90.00 b	34.40 a	12.10 e
	Red:Blue	0.57 b	88.00 bc	31.73 b	20.32 a
	p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
	CV (%)	11.57	2.54	4.61	0.00

ตารางที่ 4.7 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเขียว

ทรีทเมนต์	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)				
0	1.33 b	100.00 a	48.08 b	6.66 b
50	1.25 c	96.66 b	40.26 b	5.23 b
100	1.42 a	100.00 a	99.43 a	10.26 a
p–value	0.01	0.00	0.00	0.00
คุณภาพแสง				
Dark	1.33	100.00 a	48.03 c	6.66 c
White	1.31	95.00 b	62.81 b	8.21 a
Red	1.30	100.00 a	73.19 a	7.86 ab
Red:Blue	1.40	100.00 a	73.54 a	7.17 bc
p–value	0.39	0.00	0.00	0.01
A*B	0.94	0.00	0.00	0.00
CV (%)	9.73	2.26	3.35	7.29

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเขียว

ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)	คุณภาพแสง	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ไม่ให้แสง	–	1.33	100.00 a	48.03 b	6.66 d
50	White	1.23	90.00 b	25.62 c	7.28 d
	Red	1.20	100.00 a	48.08 b	5.57 e
	Red:Blue	1.31	100.00 a	47.08 b	2.86 f
100	White	1.38	100.00 a	100.00 a	9.15 c
	Red	1.41	100.00 a	98.30 a	10.15 b
	Red:Blue	1.48	100.00 a	100.00 a	11.48 a
	p–value	0.19	0.00	0.00	0.00
	CV (%)	9.73	2.26	3.64	13.16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5) ถั่วเหลือง การเพาะเมล็ดถั่วเหลืองที่ความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ ร่วมกับการให้แสงคุณภาพต่างกันส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase เปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีความงอก และปริมาณฟีนอลมีความแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 4.9) นอกจากนี้พบอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงมีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase โดยเมื่อเพาะเมล็ดถั่วเหลืองในที่มืดพบกิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าการได้รับแสง ส่วนเปอร์เซ็นต์ความงอกให้ค่าสูงสุดภายใต้แสงสีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s (97 และ 100 % ตามลำดับ) ส่วนดัชนีความงอกมีค่าสูงสุดภายใต้แสงสีแดงที่ความเข้มแสงทั้ง 2 ระดับ (44.58 และ 46.50 ต้น/วัน ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างกับการไม่ให้แสง (47.10 ต้น/วัน) สำหรับปริมาณฟีนอลมีค่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s (7.28 μg/g) นอกจากนี้ทุกคุณภาพแสงที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s มีปริมาณฟีนอลสูงด้วย (7.55, 7.30 และ 8.18 μg/g ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.10)

ผลการทดลองที่ 1.1 สรุปได้ว่าเมล็ดของพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อความเข้มแสงและคุณภาพแสงแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.11 โดยเมล็ดงา และข้าว ภายใต้แสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s มีกิจกรรมเอนไซม์และเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงที่สุด ในขณะที่เมล็ดทานตะวันมีความงอกสูงภายใต้แสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s แต่เมล็ดพืชขนาดใหญ่ ได้แก่ ถั่วเขียว และถั่วเหลืองไม่ตอบสนองต่อความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามต้นอ่อนของพืชหลายชนิด มีแนวโน้มสะสมปริมาณฟีนอลสูงขึ้น เมื่อมีการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน แต่ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่พบว่าแสงผสมระหว่างสีแดงและสีน้ำเงินส่งผลให้พืชมีค่าพฤกษเคมีสูงกว่าการใช้แสงสีเดียว (Hernandez and Kobota, 2016; Dou et al., 2017) ดังนั้นจึงมีการศึกษาผลของการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่มีผลต่อปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืชเพิ่มเติมดังการทดลองที่ 1.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.9 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเหลือง

ทรีทเมนต์	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)				
0	1.31 a	85.33 b	47.10 a	3.29 c
50	0.98 b	93.66 a	32.91 b	5.23 b
100	0.87 c	75.11 c	42.45 a	7.67 a
p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
คุณภาพแสง				
Dark	1.31 a	85.33 a	47.10 a	3.29 b
White	0.93 b	76.33 b	30.13 b	7.41 a
Red	0.96 b	87.83 a	40.09 a	6.43 a
Red:Blue	0.89 b	89.00 a	42.82 a	5.52 a
p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
A*B	0.23	0.00	0.00	0.07
CV (%)	7.17	4.42	13.79	22.33

ตารางที่ 4.10 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลในถั่วเหลือง

ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)	คุณภาพแสง	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
ไม่ให้แสง	–	1.31 a	85.33 b	47.10 a	3.29 c
50	White	1.02 b	84.00 bc	20.48 d	7.28 a
	Red	0.97 b	97.00 a	33.69 c	5.57 b
	Red:Blue	0.95 bc	100.00 a	44.58 a	2.86 c
100	White	0.85 cd	68.66 d	39.79 b	7.55 a
	Red	0.94 bc	78.66 bc	46.50 a	7.30 a
	Red:Blue	0.82 d	78.00 c	41.06 b	8.18 a
	p–value	0.00	0.00	0.00	0.00
	CV (%)	6.41	4.26	4.92	13.08

ตารางที่ 4.11 สรุปผลของความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่ส่งผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase ความงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

ชนิดพืช	α–amylase (µg/min)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol (µg/g)
งา	สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s, สีขาว/สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	สีขาว/สีแดง ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s, สีขาว/สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	สีขาว/สีแดง ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s
ทานตะวัน	สีขาว/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s, สีขาว/สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	ไม่ให้แสง, สีขาว/สีแดง ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s	สีขาว ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s	สีขาว ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s
ข้าว	สีแดง ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	สีขาว/สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s	สีขาว/สีแดง ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s
ถั่วเขียว	ไม่แตกต่างกันเมื่อใช้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่างกัน	ไม่ให้แสง, สีขาว/สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 และ 100 µmol/m^2/s ยกเว้นแสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s	สีขาว/สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s
ถั่วเหลือง	ไม่ให้แสง	สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s	ไม่ให้แสง, สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50 µmol/m^2/s, สีแดง ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s	สีขาว/สีแดง/สีแดง:น้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100 µmol/m^2/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.2 การทดลองที่ 1.2 ผลของความเข้มแสง ต่อการงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

จากการเพาะเมล็ดโดยให้แสง LED สีแดงและสีน้ำเงินในอัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสงต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 400, 200 และ 145 $\mu mol/m^2/s$ กับเมล็ดพืช 4 ชนิด คือ ข้าว ทานตะวัน งา และถั่วเขียว เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง เมื่อบันทึกข้อมูลหลังจากเพาะเมล็ด 5 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 4.12)

1) ข้าว เมื่อเพาะเมล็ดภายใต้ความเข้มแสงต่างกัน 3 ระดับ พบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอก น้ำหนักสด และปริมาณฟีนอล โดยการให้ความเข้มแสง 145 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ความงอก (94 %) น้ำหนักสด (4.14 กรัม/ต้น) และปริมาณฟีนอล (19.00 µg/g) สูงที่สุด ในขณะที่การไม่ให้แสงมีแนวโน้มให้ลักษณะดังกล่าวมาแล้วน้อยที่สุด (82 %, 3.04 กรัม/ต้น และ 5.99 µg/g ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามการให้ความเข้มแสงต่างกันไม่ทำให้ดัชนีความงอกแตกต่างกัน โดยมีค่าระหว่าง 22.54–27.71 ต้น/วัน

2) ทานตะวัน การให้ความเข้มแสงต่างกันกับเมล็ดทานตะวัน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงที่สุด (100 %) เมื่อให้ความเข้มแสง 145 และ 200 $\mu mol/m^2/s$ แต่การให้ความเข้มแสง 400 $\mu mol/m^2/s$ มีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำที่สุด (95 %) การสะสมปริมาณฟีนอลในเมล็ดทานตะวันที่ความเข้มแสงทั้ง 3 ระดับ มีค่าระหว่าง 15.42–15.97 µg/g ซึ่งสูงกว่าการไม่ให้แสง สำหรับดัชนีความงอก (1.85–3.78 ต้น/วัน) และน้ำหนักสด (0.45–0.68 กรัม/ต้น) ของทานตะวันที่ให้ความเข้มแสงระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการไม่ให้แสง อย่างไรก็ตามความเข้มแสง 145 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มให้ดัชนีความงอกของเมล็ดทานตะวันสูงกว่าการให้ความเข้มแสงอื่น และการไม่ให้แสง

3) งา พบว่ามีผลต่อดัชนีความงอก โดยความเข้มแสง 200 $\mu mol/m^2/s$, 400 $\mu mol/m^2/s$ และไม่ให้แสง เมล็ดงามีดัชนีความงอก (38.41, 38.33 และ 40.71 ต้น/วัน ตามลำดับ) สูงกว่าความเข้มแสง 145 $\mu mol/m^2/s$ อย่างไรก็ตามการให้ความเข้มแสงต่างกันไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอก น้ำหนักสด และปริมาณฟีนอล แตกต่างกันในทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 100 % น้ำหนักสดมีค่าระหว่าง 0.56–0.65 กรัม/ต้น และปริมาณฟีนอล 10.57–15.02 µg/g

4) ถั่วเขียว เมื่อให้ความเข้มแสงต่างกัน 3 ระดับ ส่งผลให้ต้นอ่อนถั่วเขียวมีปริมาณฟีนอล (16.11–17.94 µg/g) สูงกว่าการไม่ให้แสง (6.47 µg/g) ในขณะที่ความเข้มแสงทุกระดับส่งผลให้น้ำหนักสดอยู่ระหว่าง 1.89–2.09 กรัม/ต้น แต่น้อยกว่าการไม่ให้แสง (4.50 กรัม/ต้น) สำหรับเปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีความงอกของเมล็ดถั่วเขียว พบว่าความเข้มแสงระดับต่างๆ ไม่ส่งผลให้ค่าดังกล่าวแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง

ตารางที่ 4.12 ผลของความเข้มแสงต่อเปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีความงอก น้ำหนักสด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

ชนิดพืช	ความเข้มแสง[1] ($\mu mol/m^2/s$)	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Fresh weight (g/plant)	Total phenol ($\mu g/g$)
ข้าว	ไม่ให้แสง	82 b	27.71	3.04 b	5.99 b
	400	83 ab	23.08	3.64 ab	13.26 ab
	200	92 ab	23.41	3.77 ab	13.63 ab
	145	94 a	22.54	4.14 a	19.00 a
	F–test	*	ns	*	*
ทานตะวัน	ไม่ให้แสง	99 a	1.85	0.68	7.68 b
	400	95 b	2.76	0.45	15.61 a
	200	100 a	2.97	0.54	15.42 a
	145	100 a	3.78	0.47	15.97 a
	F–test	*	ns	ns	*
งา	ไม่ให้แสง	100	40.71 a	0.59	10.57
	400	100	38.33 a	0.62	14.32
	200	100	38.41 a	0.56	15.02
	145	100	34.75 b	0.65	14.09
	F–test	ns	*	ns	ns
ถั่วเขียว	ไม่ให้แสง	96	46.50	4.50 a	6.47 b
	400	99	41.25	2.09 b	16.11 a
	200	96	46.91	1.89 b	17.94 a
	145	99	46.50	2.02 b	16.62 a
	F–test	ns	ns	*	*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อทดสอบความเข้มแสง และคุณภาพแสงต่อการงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนในพืช พบว่าความเข้มแสงที่ 50 μmol/m^2/s ส่งผลให้พืชทุกชนิดมีความงอกสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมล็ดพืชบางชนิด ได้แก่ งา และถั่วเขียว การใช้ความเข้มแสงที่ 100 μmol/m^2/s พบเช่นกันว่ามีความงอกสูง ซึ่งเมล็ดพืชเหล่านี้เมื่อให้แสงทำให้มีความงอกสูงกว่าการเพาะในที่มืด เนื่องจากกระบวนการงอกของเมล็ดเกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำงานของเอนไซม์ amylase ที่มีผลจากการทำงานของฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ในเมล็ด ได้แก่ amylase, protease, ribonuclease) โดยแสงทำให้ปริมาณจิบเบอเรลลินเพิ่มขึ้น ซึ่งจิบเบอเรลลินควบคุมการทำงานของเอนไซม์ amylase ผ่านการสังเคราะห์ RNA การสังเคราะห์เริ่มต้นที่กรดเมวาโลนิกแล้วเปลี่ยนไปเป็นจิบเบอเรลลินจึงส่งผลให้ปริมาณ amylase เพิ่มขึ้น ซึ่งเอนไซม์ amylase ส่งผลโดยตรงกับการงอกของเมล็ดพืช (Mitsuhashi et al., 2003) อย่างไรก็ตามการให้ความเข้มแสงต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด จากผลการวิจัยในครั้งนี้ความเข้มแสงมีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase และความงอกของ ทานตะวัน และข้าว แต่ไม่ส่งผลต่อกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase และความงอกของถั่วเขียว และถั่วเหลือง

นอกจากความเข้มแสงแล้ว ยังพบว่าความงอกของเมล็ดขึ้นกับคุณภาพแสงด้วย โดยการวิจัยครั้งนี้พบว่าเมล็ดงา ข้าว ถั่วเขียว และถั่วเหลือง ที่เพาะภายใต้แสงสีแดงมีความงอกสูงกว่าแสงอื่นๆ จากรายงานการให้คุณภาพแสงที่ต่างกันกับเมล็ดถั่วฝักยาวและผักกาดหอม พบว่าแสงสีแดงมีผลให้เปอร์เซ็นต์ความงอกสูงกว่าการให้แสงสีอื่นๆ (ดนัย บุณยเกียรติ, 2563; Nand and Priti, 2017) ซึ่งเป็นผลจากการทำงานของไฟโตโครมที่พืชสร้างขึ้นในรูปของ Pr ซึ่งเมื่อ Pr ได้รับแสงสีแดงจะถูกเปลี่ยนเป็น Pfr ซึ่งเป็นรูปที่ส่งผลให้พืชมีการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน โดยมีการศึกษากลไกการงอกของเมล็ดที่ถูกควบคุมด้วยไฟโตโครม พบว่าส่งเสริมการสร้างจิบเบอเรลลินที่กระตุ้นให้เมล็ดงอกได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นผลจากแสงสีแดงและแสง far red ที่กระตุ้นและยับยั้งกิจกรรมต่างๆ ในเมล็ด (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี 2560) อย่างไรก็ตามผลการทดลองครั้งนี้พบว่าพืชที่เมล็ดขนาดใหญ่ เช่น ถั่วเขียว และถั่วเหลือง ไม่ต้องการแสงในการงอก อาจเป็นผลจากการที่เมล็ดขนาดใหญ่สามารถสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตในความมืด แสงจึงไม่จำเป็นสำหรับการงอกของเมล็ด (ดนัย บุณยเกียรติ, 2563)

สำหรับน้ำหนักสดในต้นอ่อนพืชของการวิจัยครั้งนี้ พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 145 μmol/m^2/s ส่งผลให้น้ำหนักสดมีแนวโน้มสูงที่สุดในข้าว ในขณะที่ความเข้มแสงที่ 200 และ 400 μmol/m^2/s ส่งผลให้มีน้ำหนักสดต้นอ่อนข้าวมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้ต้นอ่อนพืชมีสีเขียวเข้ม ลำต้นสั้น ใบใหญ่และมีกลิ่นเหม็นเขียว ทำให้ไม่เหมาะสำหรับการ

นำไปบริโภค (เอสพีที เทรดดิ้ง 2015 จำกัด, 2563) ส่วนคุณภาพแสงสีแดงและสีน้ำเงินมีผลต่อต้นอ่อนพืชเช่นกัน โดยมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืช เช่น อัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปิดปากใบ รวมไปถึงการสร้างผลผลิตของต้นอ่อนพืช (Taiz and Zeiger, 2010) โดยการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณผลผลิตของต้นอ่อนพืชได้ เช่นทดลองให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 4:1 ที่ความเข้มแสง 380 μmol/m^2/s ส่งผลให้น้ำสดของต้นอ่อนข้าวสูงกว่าการให้แสงสีแดงเพียงอย่างเดียว (Ohashi–Kaneko et al., 2006) นอกจากนี้พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 4:6 ที่ความเข้มแสง 38 μmol/m^2/s ส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นอ่อน *Taraxacum officinale* สูงกว่าการให้แสงฟลูออเรสเซนต์สีขาว (Ryu et al., 2012) สำหรับในต้นอ่อนงา และทานตะวัน พบว่าการให้ความเข้มแสงที่ต่างกันส่งผลให้น้ำหนักสดไม่แตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามน้ำหนักสดของต้นอ่อนถั่วเขียวพบว่าสูงที่สุดเมื่อไม่ให้แสง เช่นเดียวกับการทดสอบการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในสภาพที่มีแสงน้อย พบว่าต้นอ่อนพืชมีลักษณะอวบน้ำมากกว่าการเจริญเติบโตในสภาพที่มีแสง (สกุลกานต์ และคณะ, 2559) ทั้งนี้เป็นผลจากการที่เมล็ดงอกและมีการพัฒนาเป็นต้นอ่อนในที่มืด มีการสะสมน้ำในต้นอ่อนมากกว่าต้นอ่อนที่ได้รับแสง ทำให้ขนาดและน้ำหนักสดเพิ่มสูงขึ้น (ดนัย บุณยเกียรติ, 2563)

ปริมาณฟีนอลในการทดลองครั้งนี้พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 100 μmol/m^2/s ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวัน ข้าว และถั่วเขียวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลเป็นหนึ่งในสารทุติยภูมิที่มีสารตั้งต้นจากสารปฐมภูมิ (คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน) และมีแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสร้าง ซึ่งแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการผลิตสารประกอบฟีนอล (วิจิตร จันอุทัย และคณะ 2561) โดยงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาผลของแสงต่อปริมาณฟีนอล โดยการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 4:6 ที่ความเข้มแสง 38 μmol/m^2/s ส่งผลให้สารในกลุ่มฟีนอลของต้นอ่อน *Taraxacum officinale* สูงกว่าการให้แสงสีขาว (Ryu et al., 2012) นอกจากนี้พบว่าการให้ความเข้มแสง 145 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนข้าว และทานตะวัน สูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มแสงสูงขึ้นที่ 400 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนข้าว ทานตะวัน และถั่วเขียวลดลง โดยมีการศึกษาผลของความเข้มแสงต่อปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนเรดิช ที่ให้ความเข้มแสงจาก 1.25 เป็น 100 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้การสะสมปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนลดลงเช่นกัน (Kwack et al., 2015)

4.2 การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผัก

จากการปลูกพืช 3 ชนิด ได้แก่ ผักแพว สะระแหน่ และกรีนโอ๊ค ภายใต้คุณภาพแสงต่างกัน 12 อัตราส่วน และความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ (140 และ 160 µmol/m^2/s) โดยมีแสงสีขาวเป็นตัวเปรียบเทียบ (Control) หลังจากให้แสงครบ 4 สัปดาห์ ทำการเก็บข้อมูลพืชแต่ละชนิด ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ผลของความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่อผักแพว การให้คุณภาพแสงและความเข้มแสงต่างกัน มีผลต่อลักษณะต่างๆ ดังนี้

1) การเจริญเติบโต เมื่อให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่าส่งผลให้ความสูงต้นและพื้นที่ใบแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 4.13) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงในตารางที่ 4.13 พบว่าการให้แสงสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s ทำให้ความสูงต้นมีแนวโน้มสูงที่สุด (36.60 ซม.) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s (35.80 ซม.) ในขณะที่การให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s และแสงสีแดงที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s มีแนวโน้มให้ความสูงต้นต่ำที่สุด (17.60 และ 18.60 ซม. ตามลำดับ) สำหรับพื้นที่ใบพบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s ส่งผลให้พื้นที่ใบมีแนวโน้มสูงที่สุด (391.12 ตร.ซม.) ซึ่งสูงกว่าการให้แสงสีขาว (Control) มากกว่า 2 เท่า (194.30 ตร.ซม.) ในขณะที่การให้ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s ในทุกคุณภาพแสงมีแนวโน้มให้ค่าพื้นที่ใบต่ำที่สุดโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 39.29–66.62 ตร.ซม. แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีแดง และการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s

2) ลักษณะทางสรีรวิทยา ผลการทดลองพบว่าความเข้มแสงและคุณภาพแสงส่งผลให้ผักแพวมีความเขียวใบและอัตราการสังเคราะห์แสงแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.13) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง (ตารางที่ 4.14) พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:3:3 ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s ผักแพวมีแนวโน้มให้ความเขียวใบสูงที่สุด (59.83 SCMR) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีขาว (53.38 SCMR) แต่การให้แสงสีแดงอย่างเดียว และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s ส่งผลให้ค่าความเขียวใบต่ำที่สุด (33.44 และ 28.52 SCMR ตามลำดับ) สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s (4.62 µmol CO_2/m^2/s) ซึ่งให้ค่าสูงกว่า 2 เท่าของการให้แสงสีขาว (2.10 SCMR)ในขณะที่ทุกคุณภาพแสงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงมีแนวโน้มต่ำที่สุดเมื่อให้ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10–1.35 µmol CO_2/m^2/s

3) ผลผลิต น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแพว (ตารางที่ 4.13) พบว่าการให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่างกัน มีผลทำให้ผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงจากตารางที่ 4.14 พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 และการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:4:2 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดของผักแพวสูงที่สุด (18.93 และ17.75 กรัม/ต้น) แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสงสีขาว (14.95 กรัม/ต้น) ในขณะที่น้ำหนักแห้งให้ค่าสูงสุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ (5.86 กรัม/ต้น) นอกจากนี้ผักแพวภายใต้ทุกคุณภาพแสงที่ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.24–2.12 กรัม/ต้น

4) ปริมาณสารสำคัญ การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตผักแพว ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่อัตราส่วนต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอล และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ แตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงจากตารางที่ 4.14 ปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:4:2 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ (0.039 $\mu g/g$) ในขณะที่การให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มให้ค่าคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด (0.014 $\mu g/g$) ส่วนปริมาณฟีนอลมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5, แสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 และแสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 รวมไปถึงแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:3:3 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ (2.10, 2.09, 2.07 และ2.11 $\mu g/g$ ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ (2.34 $\mu g/g$) ในขณะที่ปริมาณฟีนอลมีแนวโน้มให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อให้แสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ ในทางตรงกันข้าม กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีขาว และแสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ (44.61 และ 44.61 % ตามลำดับ) แต่พบว่าการให้แสงสีน้ำเงินอย่างเดียว ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ มีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด (15.33 %)

จากผลการทดลองพบว่าผักแพวตอบสนองต่อคุณภาพแสงและความเข้มแสง โดยการปลูกแพวผักเพื่อให้ได้น้ำหนักสดและมีปริมาณฟีนอลสูง ต้องปลูกผักแพวภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ ซึ่งคุณภาพแสงและความเข้มแสงดังกล่าวมีแนวโน้มให้ผักแพวมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และการสะสมปริมาณฟีนอลสูงที่สุด

5) วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่อน้ำหนักสด พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3, 5:5 และการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:4:2

ที่ความเข้มแสง 160 μmol/m^2/s ส่งผลให้น้ำหนักสดมีแนวโน้มสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินช่วยเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบของพืชได้ (Heo et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินส่งผลให้โหระพามีน้ำหนักสดสูงกว่าการให้แสงสีอื่นๆ (วิจิตรา จันอุทัย และคณะ, 2562) เนื่องจากรงควัตถุคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์บี สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่นแสง 430 และ 662 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน และสีแดง (Hopkin and Huner, 2004) โดยแสงสีแดงมีส่วนช่วยในการเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น และพื้นที่ใบ ส่วนแสงสีน้ำเงินมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การสร้างปริมาณคลอโรฟิลล์ รวมไปถึงมีส่วนในการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ ซึ่งมีผลโดยตรงกับการสร้างผลผลิตของพืช (Johken et al., 2010) นอกจากนี้ความเข้มแสงที่สูงมีผลต่อลักษณะดังกล่าวเช่นกัน โดยเมื่อพืชได้รับความเข้มแสงที่สูงขึ้นทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงในพืชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืช และทำให้พืชมีการสะสมน้ำหนักผลผลิตสูงขึ้นเช่นกัน (พิญช์สินีย์ เพรชไทย และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2560) นอกจากนี้พบว่าการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 140 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดของผักแพวสูงที่สุด ทั้งนี้เป็นผลจากการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาวมีอัตราส่วนเหมาะสมสำหรับการเพิ่มน้ำหนักสดในผักแพว โดยมีงานทดลองพบว่าพืชสร้างคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์บี เพื่อให้สามารถสังเคราะห์แสงได้ดีในแสงสีน้ำเงิน ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนแสงสีขาวมีผลต่อการเพิ่มน้ำหนัก โดยพบว่าแสงสีขาวทำให้ความสูงของผักแพวสูงขึ้น

นอกจากการให้แสงที่ต่างกันสามารถเพิ่มน้ำหนักสดของผักแพว ในงานทดลองครั้งนี้ต้องการให้ผักแพวมีปริมาณฟีนอลและกิจกรรมสารต้านอนุมูลที่สูงด้วย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลและกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang et al. (2005) ที่พบว่าการสะสมปริมาณฟีนอลไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้หากต้องการปลูกผักแพวให้ได้น้ำหนักสดและมีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระสูงสำหรับรับประทานเป็นผักสด ต้องปลูกผักแพวภายใต้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 140 μmol/m^2/s เนื่องจากแสงสีน้ำเงินมีการดูดกลืนแสงโดย photoreceptor proteins ที่ตอบสนองจำเพาะกับช่วงความยาวคลื่นแสงที่ชัดเจน ส่งผลต่อกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการรับช่วงแสงดังกล่าวแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของพืช (Bantis et al., 2016) สำหรับอัตราส่วนสีขาวที่ให้ร่วมกันมีผลในการส่งเสริมให้ปริมาณฟีนอลสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัณตนา หลอดทองหลาง และคณะ (2562) พบว่าการให้แสงผสมระหว่างสีน้ำเงินร่วมกับสีขาวส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกในกระชายดำสูงกว่าการให้แสงสีขาวอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ผักแพวมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟีนอล สำหรับนำไปบดเป็นตัวอย่างแห้งเพื่อใช้ทางเวชภัณฑ์ ต้องใช้แสงที่มีความจำเพาะ โดยการปลูกผักแพวภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน

อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 μmol/m^2/s ส่งผลให้ผักแพวมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟีนอลมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีงานวิจัยในอดีตพบว่าการให้แสงร่วมกันระหว่างสีแดงและสีน้ำเงินส่งผลให้สารประกอบฟีนอลในกะเพรา และโหระพาสูงกว่าการให้แสงสีขาว (วิจิตรา จันอุทัย และคณะ, 2562; Piovene et al., 2015) ทั้งนี้เป็นผลมาจากแสงสีแดงและสีน้ำเงิน มีอิทธิพลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญเพื่อสร้างสารปฐมภูมิ (คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน) ที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบฟีนอลที่เป็นหนึ่งในสารทุติยภูมิ (Lattanzio et al., 2006)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.13 ผลของความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในผักแพว

ทรีทเมนต์	Height (cm)	Leaf area (cm^2)	SPAD (SCMR)	Photosynthesis (µmol $CO_2/m^2/s$)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Anthocyanin (µg/g)	Chlorophyll (mg/g)	DPPH activity (%)	Total phenol (µg/g)
ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)										
140	28.79 a	53.51 b	43.44 b	0.44 b	7.61 b	1.08 b	0.13	0.026 b	43.81 a	1.30 b
160	24.87 b	203.54 a	53.58 a	2.34 a	11.09 a	3.85 a	0.25	0.035 a	17.89 b	1.88 a
p–value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
คุณภาพแสง										
White (W)	30.25 a	127.15 c	51.38 abc	1.65 ab	10.80 c	3.36 b	0.11	0.028 cd	30.08 d–g	1.81 a
Red (R)	19.40 d	64.68 d	43.77 e	0.99 de	3.04 f	1.71 e	0.11	0.029 bcd	30.35 def	1.44 c
Blue (B)	30.05 ab	136.52 c	45.17 de	1.74 ab	9.96 cd	2.49 cde	0.16	0.030 bcd	29.67 g	1.41 c
R : B (9:1)	23.10 c	108.61 cc	50.04 abc	1.56 bc	6.29 e	3.21 bc	0.05	0.027 d	32.63 a	1.49 bc
R : B (7:3)	20.90 cd	136.73 c	38.85 f	2.00 a	9.27 cde	2.67 bcd	0.14	0.027 d	32.36 a	1.40 c
R : B (5:5)	28.85 ab	239.54 a	47.55 cd	1.55 bc	14.85 a	4.25 a	0.10	0.035 a	31.60 b	1.71 ab
R : W (9:1)	29.25 ab	126.59 c	49.77 abc	0.79 de	7.18 de	3.10 bc	1.04	0.033 abc	31.19 bc	1.51 bc
R : W (5:5)	28.00 ab	133.94 c	52.68 ab	0.63 e	11.04 bc	2.62 bcd	0.14	0.036 a	30.65 cd	1.72 ab
B : W (9:1)	26.70 b	53.69 d	48.89 bc	1.04 de	10.04 cd	2.24 de	0.10	0.032 a–d	31.30 b	1.55 bc
B : W (5:5)	29.65 ab	140.27 c	51.34 abc	1.06 de	11.82 bc	3.20 bc	0.14	0.022 e	30.51 de	1.73 ab
R : B : W (4:4:2)	28.95 ab	209.02 ab	52.16 ab	1.19 cd	14.03 ab	3.18 bc	0.09	0.036 a	30.03 efg	1.62 abc
R : B : W (4:3:3)	26.90 ab	160.03 bc	53.70 a	0.83 de	9.38 cde	3.09 bc	0.06	0.033 ab	29.86 fg	1.70 ab
p–value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00
A*B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.07
CV (%)	17.33	21.98	11.26	19.97	19.73	27.02	10.21	12.93	1.51	12.42

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.14 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในผักแพว

ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)	ความยาวคลื่นแสง	Height (cm)	Leaf area (cm^2)	SPAD (SCMR)	Net photosynthesis ($\mu mol\ CO_2/m^2/s$)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Total chlorophyll (mg/g)	DPPH activity (%)	Total phenol (µg/g)
140	White (W)	35.80 ab	46.56 d	43.62 hi	1.35 fg	6.65 e–h	0.86 gh	0.026 efg	44.61 a	1.27 ghi
	Red (R)	20.20 jkl	48.52 d	33.44 j	0.21 i	2.17 h	0.24 h	0.021 gh	44.61 a	1.17 i
	Blue (B)	36.60 a	48.34 d	40.71 i	0.93 gh	9.03 defg	2.03 efg	0.024 fgh	44.11 abc	1.24 hi
	R : B (9:1)	20.80 i–l	42.34 d	46.56 gh	0.26 i	2.98 h	0.39 h	0.018 hi	43.89 a–d	1.25 ghi
	R : B (7:3)	17.60 l	39.29 d	28.52 j	0.25 i	2.10 h	0.28 h	0.018 hi	44.21 ab	1.24 hi
	R : B (5:5)	28.00 d–h	57.64 d	47.44 fgh	0.16 i	9.40 def	1.03 gh	0.035 a–d	43.49 bcd	1.33 f–i
	R : W (9:1)	30.80 cde	57.43 d	47.74 fgh	0.26 i	2.01 h	0.40 h	0.028 d–g	43.39 bcd	1.35 f–i
	R : W (5:5)	29.20 d–g	73.03 d	49.98 c–g	0.10 i	11.57 cd	1.74 fg	0.035 a–d	43.64 bcd	1.38 e–i
	B : W (9:1)	34.10 abc	44.30 d	43.57 hi	0.61 h	14.63 abc	2.12 efg	0.028 d–g	43.82 a–d	1.25 ghi
	B : W (5:5)	34.00 abc	54.70 d	43.57 hi	0.23 i	16.43 ab	2.06 efg	0.014 i	43.68 bcd	1.43 d–i
	R : B : W (4:4:2)	31.40 bcd	66.37 d	49.24 d–h	0.60 h	9.07 d–g	0.96 gh	0.033 a–e	43.06 d	1.40 d–i
	R : B : W (4:3:3)	27.00 d–h	63.62 d	46.88 gh	0.11 i	5.25 fgh	0.89 gh	0.035 a–d	43.28 cd	1.30 ghi
160	White (W)	24.70 g–j	194.30 bc	58.38 ab	2.10 def	14.95 abc	4.62 b	0.030 b–f	15.55 lm	2.34 a
	Red (R)	18.60 l	76.22 d	53.08 b–f	1.65 c–f	4.50 gh	2.45 ef	0.037 abc	16.09 kl	1.71 cde
	Blue (B)	23.50 h–k	209.99 bc	49.20 d–h	2.95 bc	10.89 cde	2.72 def	0.035 a–d	15.23 m	1.59 c–g
	R : B (9:1)	25.40 f–i	163.84 c	53.17 b–f	2.21 cde	9.60 def	4.62 b	0.037 abc	21.37 e	1.73 cd
	R : B (7:3)	24.20 hij	217.93 bc	48.15 e–h	4.62 a	16.44 ab	3.86 bcd	0.037 abc	20.51 f	1.57 c–h
	R : B (5:5)	29.70 c–f	391.12 a	47.66 fgh	3.63 b	18.93 a	5.86 a	0.035 a–d	19.72 g	2.10 ab
	R : W (9:1)	27.70 d–h	195.16 bc	51.61 c–g	1.58 def	11.06 cde	4.46 b	0.037 abc	19.00 gh	2.09 ab
	R : W (5:5)	26.80 d–h	197.68 bc	55.11 abc	1.44 ef	10.72 cde	3.06 cde	0.038 ab	17.67 i	2.07 ab
	B : W (9:1)	19.30 kl	52.86 d	53.68 b–e	1.67 c–f	5.48 fgh	2.30 ef	0.036 a–d	18.78 h	1.77 bc
	B : W (5:5)	25.30 f–i	196.30 bc	58.33 ab	2.30 cde	9.51 def	3.77 bcd	0.030 b–f	17.34 i	1.67 c–f
	R : B : W (4:4:2)	26.50 e–h	327.90 ab	54.80 a–d	2.07 c–f	17.75 a	4.29 bc	0.039 a	16.99 ij	1.84 bc
	R : B : W (4:3:3)	26.80 d–h	240.37 bc	59.83 a	1.91 def	12.49 bcd	4.19 bc	0.031 a–f	16.45 jk	2.11 ab
CV (%)		24.50	31.17	11.17	19.51	18.65	22.52	12.78	1.50	33.95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.2 ผลของความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่อสะระแหน่ การให้คุณภาพของแสงและความเข้มแสงต่างกันส่งผลต่อลักษณะต่างๆ ดังนี้

1) การเจริญเติบโต พบว่าการปลูกภายใต้ความเข้มแสงที่ต่างกัน 2 ระดับ ร่วมกับคุณภาพแสงต่างกัน 12 อัตราส่วน ส่งผลให้สะระแหน่มีความสูงต้นและพื้นที่ใบแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.15) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงในตารางที่ 4.16 พบว่าความสูงต้นมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มและคุณภาพแสง โดยแสงสีขาว ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ ต้นสะระแหน่สูงที่สุด (136.90 ซม.) ในขณะที่การให้แสงสีแดงร่วมกับน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ สะระแหน่มีแนวโน้มให้ความสูงต้นต่ำที่สุด (45.60 ซม.) สำหรับพื้นที่ใบพบว่าการให้ความเข้มแสงที่ 140 $\mu mol/m^2/s$ และการให้แสงสีขาว มีแนวโน้มให้พื้นที่ใบของสะระแหน่สูงที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่าปัจจัยทางแสงทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกับพื้นที่ใบ

2) ลักษณะทางสรีรวิทยา ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่ต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะทางสรีรวิทยาของสะระแหน่แตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงจากตารางที่ 4.16 พบว่าแสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มให้ค่าความเขียวใบสูงที่สุด (35.24 SCMR) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการให้แสงสีขาว (34.49 SCMR) ในขณะที่แสงสีน้ำเงินทำให้สะระแหน่มีความเขียวใบต่ำสุด ที่ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ (22.76 SCMR) สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 และแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:3:3 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ (2.38 และ 2.44 $\mu mol\ CO_2/m^2/s$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการให้แสงสีขาว (Control) ที่ความเข้มแสงเดียวกันพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (2.20 $\mu mol\ CO_2/m^2/s$) อย่างไรก็ตามแสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 ที่ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ สะระแหน่มีแนวโน้มอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำที่สุด (0.41 $\mu mol\ CO_2/m^2/s$)

3) ผลผลิต น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่าความเข้มแสงและคุณภาพของแสงที่ต่างกันส่งผลให้ปริมาณผลผลิตแตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสง พบว่าการให้แสงสีขาวความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ (Control) ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (131.38 และ 25.49 กรัม/ต้น ตามลำดับ) ในขณะที่แสงสีแดง และสีน้ำเงินอย่างเดียว รวมไปถึงแสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 ที่ความเข้มแสง 160 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดของสะระแหน่ต่ำที่สุด (9.54, 9.01 และ 9.37 กรัม/ต้น ตามลำดับ) ส่วนน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มต่ำที่สุดภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่อัตราส่วน 7:3 ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ (2.28 กรัม/ต้น) (ตารางที่ 4.16)

4) ปริมาณสารสำคัญ การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญหลังการเก็บเกี่ยว โดยวัดการสะสมปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอล รวมถึงการหากิจกรรมสารต้าน

อนุมูลอิสระในสะระแหน่ ผลการทดลองพบว่าความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่ต่างกันส่งผลให้ปริมาณสารสำคัญแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.15) เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงในตารางที่ 4.16 พบว่าปริมาณฟีนอลมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีแดง:ขาว และการแสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 รวมไปถึงการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:3:3 ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s (1.21, 1.29 และ 1.19 µg/g ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับแสงสีขาว (Control) ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s (1.36 µg/g) ในขณะที่การให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s มีแนวโน้มให้ปริมาณฟีนอลต่ำที่สุด (0.28 µg/g) สำหรับกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับแสงสีขาว (75.68 %) ส่วนที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s ทำให้กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงในทุกๆ คุณภาพแสง สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณคลอโรฟิลล์ ในสะระแหน่พบว่าให้ค่าสูงที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s ในขณะที่คุณภาพแสงไม่ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน แตกต่างกัน ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่าแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 9:1 มีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุด ซึ่งพบว่าแสงทั้ง 2 ปัจจัย ไม่มีอิทธิพลร่วมกับการสะสมสารสำคัญดังกล่าวผลการทดสอบในสะระแหน่

จากผลการทดลองให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่แตกต่างกันในสะระแหน่ สรุปได้ว่าการให้แสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s มีแนวโน้มส่งผลให้การเจริญเติบโต น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณฟีนอล และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่าสูงกว่าการให้แสงแบบอื่น

5) วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่อการเจริญเติบโต และสารสำคัญ ของผักสะระแหน่ พบว่าต้องใช้แสงที่มีความจำเพาะซึ่งแตกต่างจากผักแพวและกรีนโอ๊ค โดยการให้แสงเพื่อให้สะระแหน่มีการเจริญเติบโต และผลผลิตสูง ควรให้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s โดยสะระแหน่มีแนวโน้มให้ความสูงต้น ความเขียวใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณฟีนอล และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการให้แสงแบบอื่นๆ เนื่องจากสะระแหน่ต้องการแสงแดดรำไร จึงไม่ต้องการความเข้มแสงสูงสำหรับการเจริญเติบโต และความเข้มแสงต่ำหรือการลดความเข้มแสงลงช่วยส่งเสริมการทำงานของฮอร์โมนออกซินและจิบเบอเรลลิน โดยออกซินทำให้ลำต้นมีการขยายขนาด ส่วนจิบเบอเรลลินทำให้ข้อยืดยาวขึ้น ส่งผลให้ความสูงต้นเพิ่มขึ้น เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นและลำต้นมีขนาดใหญ่จึงทำให้น้ำหนักสดเพิ่มขึ้น (สิริรักษ์ ภู่ทอง, 2540) แต่หากสะระแหน่ได้รับอากาศร้อนหรือได้รับความเข้มแสงสูงเกินไป จะส่งผลให้ใบเล็ก ก้านใบแข็งและใบมีสีน้ำตาลหรือสีม่วง (อดุลย์ศักดิ์ ไชยราช, 2561) นอกจากความเข้มแสงแล้วแสงสีขาวยังส่งผลให้ลักษณะต่างๆ ในสะระแหน่ดีกว่าการให้แสงอื่นๆ โดยมีงานวิจัยในอดีตพบว่าการให้แสงสีขาวในแมงลักมีแนวโน้ม

ให้การเจริญเติบโต (ความสูงและน้ำหนักใบ) สูงกว่าแสงแบอื่น อาจเป็นเพราะแสงสีขาวมีช่วงความยาวคลื่น (380–770 นาโนเมตร) ใกล้เคียงกับแสงจากดวงอาทิตย์ (400–700 นาโนเมตร) ซึ่งพืชใช้ช่วงความยาวคลื่นที่เรียกว่า photo synthetic active radiation (PAR) โดยพืชสามารถดูดกลืนแสงเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 400–480 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) และ 630–680 นาโนเมตร (สีแดง) สำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต (Gacomelli, 1998) นอกจากนี้พบว่าแสงสีขาวมีความยาวคลื่นที่ประกอบด้วยแสงสีอื่นๆ เช่น แสงสีเขียว สีเหลือง และสีส้ม ที่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสง โดยแสงสีเขียวมีส่วนช่วยให้แสงส่องทะลุลงใต้เรือนยอดได้มากกว่าแสงสีอื่น ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตใต้ทรงพุ่มได้มากกว่า ส่วนสีเหลืองและสีส้มมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์สารสีเพื่อส่งต่อให้คลอโรฟิลล์เอและ คลอโรฟิลล์บีสังเคราะห์แสง (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี, 2560; Grow Light Info, 2020) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแสงสีขาวมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงของสะระแหน่ ซึ่งทำให้สะระแหน่มีการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตสูง

อย่างไรก็ตามสะระแหน่มีการตอบสนองต่อกระบวนการสังเคราะห์สารฟีนอลและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่เฉพาะต่อแสงสีขาวที่ความเข้มแสง 140 $\mu mol/m^2/s$ ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลและกิจกรรมสานต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีงานวิจัยพบว่าการให้แสงสีขาวกับกระชายดำมีแนวโน้มให้สารประกอบฟีนอลสูงที่สุด (กัญตนา หลอดทองหลาง และคณะ, 2019) นอกจากนี้ปริมาณฟีนอลยังเป็นสารสำคัญที่ใช้ตรวจวัดคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในโหระพา 15 พันธุ์ (Kwee and Niemyer, 2011) เนื่องจากพืชสร้างสารประกอบฟีนอล (สารทุติยภูมิ) ที่เป็นหนึ่งในสารต้านอนุมูลอิสระจากสารปฐมภูมิ เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตและสะสมอาหารสูง (คาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโน) จึงส่งผลให้มีการสะสมปริมาณฟีนอลที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย (วิจิตรา จันอุทัย และคณะ, 2562; Bantis et al., 2016; Cavalho et al., 2016; Jones and Kok, 1966; Critchley, 1981; Huner et al., 1998; Steyn et al., 2002)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.16 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในสะระแหน่

ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)	ความยาวคลื่นแสง	Height (cm)	SPAD (SCMR)	Photosynthesis ($\mu mol\ CO_2/m^2/s$)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	DPPH activity (%)	Total phenol ($\mu g/g$)
140	White (W)	136.90 a	34.92 ab	0.63 efg	131.38 a	25.49 a	75.68 ab	1.36 a
	Red (R)	82.00 de	31.53 a–f	0.71 efg	30.64 d–g	3.66 h–l	68.24 ab	0.99 cde
	Blue (B)	82.60 d	22.76 h	0.68 efg	50.40 cd	6.46 e–h	46.01 d	0.89 de
	R : B (9:1)	110.40 b	30.70 c–f	1.00 c–g	32.27 d–g	3.21 i–l	52.19 cd	0.87 de
	R : B (7:3)	76.40 d–g	30.60 c–f	0.63 efg	26.79 f–i	2.28 l	76.25 a	1.09 bcd
	R : B (5:5)	65.20 f–i	29.30 efg	0.93 d–g	33.97 def	2.99 jkl	68.32 ab	1.03 bcd
	R : W (9:1)	88.70 cd	31.04 b–f	0.41 g	34.68 def	3.14 i–l	72.09 ab	1.09 bcd
	R : W (5:5)	86.40 d	30.06 def	0.72 efg	65.04 bc	9.96 b–e	75.82 ab	1.21 abc
	B : W (9:1)	77.70 def	25.78 gh	0.50 fg	44.91 cde	4.75 g–k	62.75 bc	1.05 bcd
	B : W (5:5)	82.00 de	29.38 efg	1.82 abc	57.71 bc	11.76 bc	75.93 ab	1.29 ab
	R : B : W (4:4:2)	81.40 de	32.56 a–e	1.03 d–g	65.04 bc	9.96 b–e	75.68 ab	1.04 bcd
	R : B : W (4:3:3)	98.70 c	29.64 efg	1.69 a–d	80.17 b	11.06 bc	75.82 ab	1.19 abc
160	White (W)	62.60 ghi	34.49 abc	2.20 ab	32.81 d–g	12.74 b	8.15 ef	0.35 hij
	Red (R)	65.60 f–i	31.02 b–f	1.31 b–e	9.54 j	3.44 i–l	14.47 ef	0.54 fg
	Blue (B)	56.60 hij	25.64 gh	1.14 c–f	9.01 j	2.48 kl	7.68 ef	0.29 ij
	R : B (9:1)	66.80 f–i	28.42 efg	1.17 cde	12.31 ij	3.80 h–l	12.14 ef	0.46 fgh
	R : B (7:3)	64.00 ghi	29.67 efg	1.23 cde	20.20 f–j	5.23 g–j	20.22 e	0.80 e
	R : B (5:5)	45.60 j	29.50 efg	1.54 a–d	15.35 hij	5.86 f–i	5.82 f	0.28 j
	R : W (9:1)	65.50 f–i	29.13 efg	1.27 cde	13.24 ij	3.88 h–l	8.47 ef	0.42 ghi
	R : W (5:5)	68.90 e–h	34.11 a–d	2.16 ab	25.49 f–i	7.82 c–g	4.88 f	0.39 g–j
	B : W (9:1)	54.00 ij	27.33 fg	2.38 a	9.37 j	3.13 i–l	6.10 f	0.33 hij
	B : W (5:5)	63.70 ghi	35.24 a	1.86 abc	19.98 g–j	7.00 d–g	13.11 ef	0.55 fg
	R : B : W (4:4:2)	64.40 f–i	31.78 a–e	1.72 a–d	28.40 e–h	10.51 bcd	11.02 ef	0.54 fg
	R : B : W (4:3:3)	56.50 hij	30.18 def	2.44 a	29.12 e–h	8.43 c–f	13.50 ef	0.59 f
CV (%)		18.16	10.58	25.04	22.39	31.10	18.66	15.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.16 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในสะระแหน่

ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)	ความยาวคลื่นแสง	Height (cm)	SPAD (SCMR)	Photosynthesis ($\mu mol\ CO_2/m^2/s$)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	DPPH activity (%)	Total phenol ($\mu g/g$)
140	White (W)	136.90 a	34.92 ab	0.63 efg	131.38 a	25.49 a	75.68 ab	1.36 a
	Red (R)	82.00 de	31.53 a–f	0.71 efg	30.64 d–g	3.66 h–l	68.24 ab	0.99 cde
	Blue (B)	82.60 d	22.76 h	0.68 efg	50.40 cd	6.46 e–h	46.01 d	0.89 de
	R : B (9:1)	110.40 b	30.70 c–f	1.00 c–g	32.27 d–g	3.21 i–l	52.19 cd	0.87 de
	R : B (7:3)	76.40 d–g	30.60 c–f	0.63 efg	26.79 f–i	2.28 l	76.25 a	1.09 bcd
	R : B (5:5)	65.20 f–i	29.30 efg	0.93 d–g	33.97 def	2.99 jkl	68.32 ab	1.03 bcd
	R : W (9:1)	88.70 cd	31.04 b–f	0.41 g	34.68 def	3.14 i–l	72.09 ab	1.09 bcd
	R : W (5:5)	86.40 d	30.06 def	0.72 efg	65.04 bc	9.96 b–e	75.82 ab	1.21 abc
	B : W (9:1)	77.70 def	25.78 gh	0.50 fg	44.91 cde	4.75 g–k	62.75 bc	1.05 bcd
	B : W (5:5)	82.00 de	29.38 efg	1.82 abc	57.71 bc	11.76 bc	75.93 ab	1.29 ab
	R : B : W (4:4:2)	81.40 de	32.56 a–e	1.03 d–g	65.04 bc	9.96 b–e	75.68 ab	1.04 bcd
	R : B : W (4:3:3)	98.70 c	29.64 efg	1.69 a–d	80.17 b	11.06 bc	75.82 ab	1.19 abc
160	White (W)	62.60 ghi	34.49 abc	2.20 ab	32.81 d–g	12.74 b	8.15 ef	0.35 hij
	Red (R)	65.60 f–i	31.02 b–f	1.31 b–e	9.54 j	3.44 i–l	14.47 ef	0.54 fg
	Blue (B)	56.60 hij	25.64 gh	1.14 c–f	9.01 j	2.48 kl	7.68 ef	0.29 ij
	R : B (9:1)	66.80 f–i	28.42 efg	1.17 cde	12.31 ij	3.80 h–l	12.14 ef	0.46 fgh
	R : B (7:3)	64.00 ghi	29.67 efg	1.23 cde	20.20 f–j	5.23 g–j	20.22 e	0.80 e
	R : B (5:5)	45.60 j	29.50 efg	1.54 a–d	15.35 hij	5.86 f–i	5.82 f	0.28 j
	R : W (9:1)	65.50 f–i	29.13 efg	1.27 cde	13.24 ij	3.88 h–l	8.47 ef	0.42 ghi
	R : W (5:5)	68.90 e–h	34.11 a–d	2.16 ab	25.49 f–i	7.82 c–g	4.88 f	0.39 g–j
	B : W (9:1)	54.00 ij	27.33 fg	2.38 a	9.37 j	3.13 i–l	6.10 f	0.33 hij
	B : W (5:5)	63.70 ghi	35.24 a	1.86 abc	19.98 g–j	7.00 d–g	13.11 ef	0.55 fg
	R : B : W (4:4:2)	64.40 f–i	31.78 a–e	1.72 a–d	28.40 e–h	10.51 bcd	11.02 ef	0.54 fg
	R : B : W (4:3:3)	56.50 hij	30.18 def	2.44 a	29.12 e–h	8.43 c–f	13.50 ef	0.59 f
CV (%)		18.16	10.58	25.04	22.39	31.10	18.66	15.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.3 กรีนโอ๊ค การให้คุณภาพของแสงและความเข้มแสงที่ต่างกัน มีผลต่อลักษณะต่างๆ ดังนี้

1) การเจริญเติบโต ผลการทดลองพบว่าการให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่ต่างกันส่งผลให้ลักษณะต่างๆ แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.17 เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างคุณภาพแสงและความเข้มแสงพบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโต โดยความสูงต้นสูงสุดพบในกรีนโอ๊คที่ปลูกภายใต้แสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s (31.20 ซม.) ส่วนการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s มีแนวโน้มให้ค่าต่ำที่สุด (14.80 ซม.) พื้นที่ใบมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s (1016.30 ตร.ซม.) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับแสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s (1019.20 ตร.ซม.) ส่วนพื้นที่ใบมีแนวโน้มให้ค่าต่ำสุดภายใต้แสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s (ตารางที่ 4.18)

2) ลักษณะทางสรีรวิทยา พบว่าการให้ความเข้มแสงที่ต่างกัน 2 ระดับ และการให้คุณภาพแสงต่างกัน 12 อัตราส่วน ส่งผลให้ลักษณะดังกล่าวมีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.17) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสง มีผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยา โดยการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 140 µmol /m^2/s มีแนวโน้มให้ค่าความเขียวใบสูงที่สุด (21.35 SCMR) ในขณะที่แสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s มีแนวโน้มให้ค่าความเขียวใบต่ำสุด (9.06 SCMR) สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:3:3 มีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุด (3.43 µmol CO_2/m^2/s) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับแสงสีขาว ทั้ง 2 ความเข้มแสง (2.07 และ2.55 µmol CO_2/m^2/s ที่ความเข้มแสง 140 และ 160 µmol /m^2/s ตามลำดับ) ส่วนแนวโน้มอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิให้ค่าต่ำที่สุดภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 (ตารางที่ 4.18)

3) ปริมาณผลผลิต ผลการทดลองพบว่าความเข้มแสงที่ต่างกัน 2 ระดับ และการให้คุณภาพแสงต่างกัน 12 อัตราส่วน ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงในตารางที่ 4.18 พบว่าแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 และแสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 รวมไปถึงแสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดสูงที่สุด (29.32, 29.03 และ 29.39 กรัม/ต้น ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับแสงสีขาว (29.61 กรัม/ต้น) ในขณะที่การให้แสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 140 µmol /m^2/s มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดต่ำที่สุด (10.16 กรัม/ต้น) สำหรับน้ำหนักแห้งพบว่าแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 และอัตราส่วน 5:5 รวมถึงการให้แสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 (1.40, 1.48 และ1.32 กรัม/ต้น ตามลำดับ) มีแนวโน้มให้ค่าสูงสุด แต่ไม่แตกต่างทาสถิติกับแสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s (1.63 กรัม/ต้น) ส่วนความเข้มแสงที่ 140 µmol /m^2/s

มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งลดลงโดยเฉพาะแสงสีแดง อัตราส่วน100 และแสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งต่ำที่สุด (0.41 และ 0.44 กรัม/ต้น ตามลำดับ)

4) ปริมาณสารสำคัญ วิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณฟีนอล และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของกรีนโอ๊ค ผลการทดลองพบว่าความเข้มแสงที่ต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณสารสำคัญและกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และเมื่อพิจารณาตารางที่ 4.18 แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสง พบว่ากิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 140 µmol /m^2/s และการให้แสงสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s (12.57 และ 12.46 % ตามลำดับ) ในขณะที่การให้แสงสีแดงร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s ส่งผลให้กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มต่ำที่สุด (5.31 %) สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณฟีนอล พบว่าการสะสมปริมาณสารดังกล่าวในกรีนโอ๊คตอบสนองต่อความเข้มแสงต่างกัน โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ให้ค่าสูงภายใต้ความเข้มแสง 140 µmol /m^2/s ในขณะที่การให้ความเข้มแสง 160 µmol /m^2 ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลสูงขึ้น สำหรับคุณภาพแสงที่ต่างกัน พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว ทั้ง 2 อัตราส่วน มีแนวโน้มให้ปริมาณฟีนอลสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการให้แสงทั้ง 2 ปัจจัย ไม่มีอิทธิพลร่วมกับทั้ง 2 ลักษณะ

จากผลการทดลองให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่แตกต่างกันในกรีนโอ๊ค สรุปได้ว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.17 ผลของความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในกรีนโอ๊ค

ทรีทเมนต์	Height (cm)	Leaf area (cm^2)	SPAD (SCMR)	Photosynthesis (µmol $CO_2/m^2/s$)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Chlorophyll (mg/g)	DPPH activity (%)	Total phenol (µg/g)
ความเข้มแสง (µmol/m^2/s)									
140	21.66	522.53 b	15.10 b	1.45 b	14.50 b	0.69 b	0.055 a	9.61 a	0.15 b
160	21.28	768.42 a	15.97 a	2.20 a	23.08 a	1.14 a	0.031 b	7.44 b	0.23 a
p–value	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
คุณภาพแสง									
White (W)	19.75 ef	819.86 a	16.99 c	2.31 ab	22.66 a	1.22 a	0.022	5.75 d	0.24 ab
Red (R)	29.00 a	413.35 d	10.61 g	0.87 de	14.19 c	0.57 f	0.058	7.34 cd	0.10 d
Blue (B)	24.60 b	557.43 c	14.43 de	0.94 de	16.15 bc	0.70 ef	0.046	11.97 a	0.22 ab
R : B (9:1)	22.35 cd	551.19 c	13.13 ef	1.73 bc	15.88 bc	0.70 ef	0.047	8.54 c	0.17 abc
R : B (7:3)	20.25 de	669.57 bc	15.12 d	2.10 abc	14.10 c	0.96 bcd	0.027	8.09 c	0.16 abc
R : B (5:5)	20.44 de	646.51 bc	14.82 de	1.97 bc	20.55 a	0.96 bcd	0.059	11.27 ab	0.26 ab
R : W (9:1)	25.30 b	648.57 bc	12.38 f	0.73 e	20.60 a	0.87 cde	0.044	7.75 c	0.12 d
R : W (5:5)	24.10 bc	800.64 a	13.57 def	1.79 bc	20.84 a	1.02 a–d	0.049	7.90 c	0.15 cd
B : W (9:1)	18.90 ef	542.99 c	17.46 bc	1.29 cd	20.08 ab	0.84 de	0.062	9.50 bc	0.24 ab
B : W (5:5)	15.60 g	710.17 ab	20.14 a	2.65 ab	19.28 ab	1.08 abc	0.026	7.83 c	0.17 abc
R : B : W (4:4:2)	17.55 fg	593.03 bc	18.87 ab	2.53 ab	18.39 abc	0.91 cde	0.051	8.22 c	0.27 a
R : B : W (4:3:3)	19.12 ef	792.38 a	18.89 ab	3.01 a	22.73 a	1.17 ab	0.030	8.13 c	0.25 a
p–value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00
A*B	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.22	0.04	0.21
CV (%)	10.54	15.15	16.19	29.61	17.96	19.13	47.93	9.48	23.29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.18 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในกรีนโอ๊ค

ความเข้มแสง ($\mu mol/m^2/s$)	คุณภาพแสง	Height (cm)	Leaf area (cm^2)	SPAD (SCMR)	Net photosynthesis ($\mu mol\ CO_2/m^2/s$)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	DPPH activity (%)	Total phenol (µg/g)
140	White (W)	19.80 f–i	620.55 d–i	16.76 c–f	2.07 a–g	15.71 e–h	0.80 def	6.21 e–h	0.19
	Red (R)	26.80 b	308.23 l	12.17 hi	0.49 ij	10.16 h	0.41 g	8.40 b–g	0.04
	Blue (B)	25.40 bcd	612.49 e–j	13.17 h	0.70 hij	16.90 c–g	0.67 fg	11.49 ab	0.20
	R : B (9:1)	21.80 e–h	578.30 f–k	13.35 gh	1.79 a–g	15.49 e–h	0.73 d–g	10.23 abc	0.14
	R : B (7:3)	22.00 d–g	430.35 jkl	13.77 gh	1.35 c–i	12.23 fgh	0.51 fg	9.23 b–e	0.06
	R : B (5:5)	23.80 b–e	391.24 kl	9.89 ij	0.45 ij	11.79 fgh	0.44 g	12.57 a	0.15
	R : W (9:1)	24.80 b–e	440.82 i–l	12.14 hi	0.24 j	12.17 fgh	0.54 fg	10.38 abc	0.11
	R : W (5:5)	24.80 b–e	585.02 f–j	12.69 h	1.35 c–i	15.75 e–h	0.71 efg	9.91 a–d	0.15
	B : W (9:1)	18.20 ij	391.46 kl	18.34 bcd	0.96 g–j	10.78 gh	0.63 fg	11.13 ab	0.23
	B : W (5:5)	14.80 k	671.08 d–h	21.35 a	3.31 abc	17.70 c–f	1.01 cde	9.01 b–f	0.12
	R : B : W (4:4:2)	18.70 g–j	437.15 i–l	19.07 a–d	2.10 a–g	12.27 fgh	0.60 fg	9.09 b–e	0.26
	R : B : W (4:3:3)	19.20 g–j	803.62 bcd	18.52 bcd	2.60 a–e	23.01 bc	1.19 bc	7.68 c–h	0.22
160	White (W)	19.70 f–j	1019.20 a	17.23 b–e	2.55 a–e	29.61 a	1.63 a	5.28 gh	0.27
	Red (R)	31.20 a	518.48 g–k	9.06 j	1.26 e–i	18.22 c–f	0.73 d–g	6.28 e–h	0.15
	Blue (B)	23.80 b–e	502.37 h–k	15.69 efg	1.18 f–j	15.41 e–h	0.73 d–g	12.46 a	0.24
	R : B (9:1)	22.90 c–f	524.08 g–k	12.92 h	1.66 c–i	16.27 d–h	0.68 fg	6.86 d–h	0.19
	R : B (7:3)	18.50 hij	908.79 ab	16.48 def	2.85 a–e	15.97 e–h	1.40 ab	6.96 d–h	0.27
	R : B (5:5)	16.25 jk	901.78 ab	19.75 ab	3.49 ab	29.32 a	1.48 ab	9.98 a–d	0.37
	R : W (9:1)	25.80 bc	856.32 abc	12.63 h	1.22 f–j	29.03 a	1.20 bc	5.13 h	0.13
	R : W (5:5)	23.40 b–e	1016.30 a	14.46 fgh	2.23 a–f	25.92 ab	1.32 abc	5.89 fgh	0.14
	B : W (9:1)	19.60 f–j	694.53 c–g	16.59 def	1.62 b–h	29.39 a	1.05 cd	7.86 c–h	0.26
	B : W (5:5)	16.40 ijk	749.26 b–f	18.94 a–d	1.99 a–g	20.86 b–e	1.15 bc	6.64 e–h	0.22
	R : B : W (4:4:2)	16.40 ijk	748.91 b–f	18.67 bcd	2.96 a–d	24.52 ab	1.22 bc	7.36 c–h	0.28
	R : B : W (4:3:3)	19.00 g–j	781.14 b–e	19.26 abc	3.43 a	22.45 bcd	1.15 bc	8.58 b–f	0.29
CV (%)		10.63	15.01	16.12	28.28	17.39	20.33	18.51	6.08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5) วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบความเข้มแสงกับคุณภาพแสงต่อการเจริญเติบโตการสร้างผลผลิต และการสะสมสารสำคัญในกรีนโอ๊ค พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินอัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s ส่งผลให้การเจริญเติบโต ลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระในกรีนโอ๊คมีแนวโน้มสูงที่สุดเช่นเดียวกับผักแพว โดยมีงานวิจัยในอดีตพบว่าการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีแดงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมสูงกว่าการให้แสงสีอื่นๆ (Stutte et al., 2009; Wang et al., 2016; Yorio et al., 2001) เนื่องจากแสงสีแดงและสีน้ำเงินมีช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊ค โดยพืชสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุด 2 ช่วงความยาวคลื่น ได้แก่ 400–480 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) และ 630–680 นาโนเมตร (สีแดง) โดยแสงสีแดงมีส่วนช่วยเพิ่มน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง รวมถึงพื้นที่ใบ ส่วนแสงสีน้ำเงินสามารถส่งเสริมการสังเคราะห์แสง การสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ และการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ ที่มีผลโดยตรงกับการสร้างผลผลิตพืช (Gacomelli, 1998; Heo et al., 2012; Johkan et al., 2010) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับแสงสีน้ำเงินส่งผลให้กรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงขึ้น นอกจากคุณภาพแสงแล้วความเข้มแสงที่สูงขึ้น (160 µmol /m^2/s) ยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตในกรีนโอ๊คให้สูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากความเข้มของแสงที่สูง ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มของแสงสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งจะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุด (บรรจบ ธุปพงษ์, 2564) โดยมีงานทดลองในผักกาดหอมพบว่าการให้ความเข้มแสงสูงขึ้นส่งผลให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมสูงขึ้น (พิญช์สินี เพรชไทย และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2560; สุทธิดา มณีเมืองและคณะ, 2558)

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ในกรีโอ๊คพบว่าให้ค่าสูงเมื่อให้ความเข้มแสงต่ำ (140 µmol /m^2/s) อาจเป็นผลจากการที่พืชได้รับความเข้มแสงน้อยลง พืชจะมีการปรับตัวโดยการเพิ่มรงควัตถุเพื่อให้รับแสงได้มากขึ้น สำหรับการสังเคราะห์แสงและสร้างอาหาร ส่งผลให้พืชมีการเจริยเติบโตได้ปกติ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นหนึ่งในกลไกการปรับตัวของพืช (Fitter and Hey, 1987)

สำหรับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระพบเช่นกับว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s มีแนวโน้มให้ค่าสูง ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อพืชมีกระบวนการสังเคราะห์แสงสูงขึ้น จะส่งผลให้มีการสะสมปริมาณสารปฐมภูมิสูงขึ้น (คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน) ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Bantis et al., 2016; Cavalho et al., 2016) ซึ่งพบว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงินมีผลต่อการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (Lattanzio et al., 2006)

แต่อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้พบว่ากรีนโอ๊คที่ให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:4:2 และ 4:3:3 ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s (ไม่มีอิทธิพลร่วม) มีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุด ซึ่งปริมาณฟีนอลและกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระในครั้งนี้พบว่าไม่ไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับงานทดลองในอดีตพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่มีความสัมพันธ์ต่อกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (Huang et al., 2005)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 ผลของคุณภาพแสงและความเข้มแสง ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ α–amylase การงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

จากการทดสอบความงอกเมล็ดพืช 5 ชนิด คือ งา ทานตะวัน ข้าว ถั่วเขียว และถั่วเหลือง โดยให้คุณภาพแสง ได้แก่ สีขาว สีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ใช้ความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 50 และ 100 μmol/m^2/s เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง พบว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการความเข้มแสงและความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอล ดังนี้

1) งา เมื่อใช้ความเข้มแสงร่วมกับคุณภาพแสงที่ต่างกัน พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับ สีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s ส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase และเปอร์เซ็นต์ ความงอกของเมล็ดมีแนวโน้มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลสูงที่สุด

2) ทานตะวัน เมื่อให้แสงแก่เมล็ด พบว่าการให้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s ส่งผลให้ต้นอ่อนมีปริมาณฟีนอลสูงที่สุด แต่เมื่อให้แสงสีขาวความเข้มแสงต่ำลงที่ 50 μmol/m^2/s พบว่าทำให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase เปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีความงอกสูงที่สุด

3) ข้าว การเพาะเมล็ดที่ความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s พบว่าส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความงอกสูงที่สุดในทุกความยาวคลื่นแสง สำหรับกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase และดัชนีความงอกมีค่าสูงภายใต้แสงสีแดงที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s นอกจากนี้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลสูงที่สุด

4) ถั่วเขียว เมื่อใช้ความเข้มแสงร่วมกับคุณภาพแสงต่างกัน พบว่าการใช้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase เปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีความงอก และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนถั่วเขียวสูงที่สุด

ถั่วเหลือง ความเข้มแสงและคุณภาพแสงที่ต่างกัน ทำให้กิจกรรมเอนไซม์ α–amylase และดัชนีความงอก ต่ำกว่าการไม่ให้แสง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความงอกให้ค่าสูงที่สุด ภายใต้แสงสีแดง และแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 50 μmol/m^2/s สำหรับปริมาณฟีนอลมีแนวโน้มให้ค่าสูงภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s

จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่าเมล็ดพืชแต่ละชนิดตอบสนองต่อคุณภาพแสง โดยมีผลต่อกระบวนการงอก และกิจกรรมเอนไซม์ α–amylase แตกต่างกัน และพบว่ามีระดับความเข้มแสงที่

ส่งผลจำเพาะกับชนิดของพืช สำหรับต้นอ่อนพืชพบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้การสะสมปริมาณฟีนอลสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีการทดสอบผลของแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้น เพื่อวัดผลผลิต และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืชต่อไป

5.2 ผลของความเข้มแสง ต่อน้ำหนักสด และปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนพืช

จากการเพาะเมล็ดและให้ความเข้มแสงที่ต่างกัน โดยให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินในอัตราส่วน 7:3 และใช้ความเข้มแสงต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 400, 200 และ 145 μmol/m^2/s กับเมล็ดพืช 4 ชนิด คือ ข้าว ทานตะวัน งา และถั่วเขียว เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง พบว่าพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อความเข้มแสงแตกต่างกันดังนี้

1) ข้าว เมื่อให้ความเข้มแสงต่างกัน พบว่าที่ความเข้มแสง 145 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์ความงอก น้ำหนักสด และปริมาณฟีนอลสูงที่สุด ในขณะที่ดัชนีความงอกไม่แตกต่างกันในทุกความเข้มแสง

2) ทานตะวัน ความเข้มแสงที่ต่างกันส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความงอก และปริมาณฟีนอล มีแนวโน้มให้ค่าสูงที่ความเข้มแสง 145 μmol/m^2/s ในขณะที่ความเข้มแสงไม่ทำให้ดัชนีความงอกและน้ำหนักสดมีความแตกต่างกันในทางสถิติ

3) งา เมื่อเพาะเมล็ดที่ความเข้มแสงที่ต่างกัน พบว่าความเข้มแสงต่างกันไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอก น้ำหนักสด และปริมาณฟีนอล แตกต่างกันในทางสถิติ อย่างไรก็ตามความเข้มแสงที่ระดับ 145 μmol/m^2/s ส่งผลให้มีดัชนีความงอกต่ำที่สุด

4) ถั่วเขียว พบว่าความเข้มแสงที่ต่างกัน ไม่ทำให้น้ำหนักสดต้นอ่อนถั่วเขียวแตกต่างกันในทางสถิติ แต่การให้แสงทุกความเข้มแสงมีผลให้น้ำหนักสดต่ำกว่าการเพาะในที่มืด อย่างไรก็ตามทุกความเข้มแสงส่งผลให้ปริมาณฟีนอลสูงกว่าการไม่ให้แสง

จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 145 μmol/m^2/s มีแนวโน้มให้ความงอก ผลผลิต และการสะสมปริมาณฟีนอลในข้าว ทานตะวัน และงาสูงขึ้น ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับการผลิตต้นอ่อนพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตและปริมาณฟีนอลสูง ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคได้

5.3 ผลของคุณภาพแสง และความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในผัก

จากการปลูกพืช 3 ชนิด ได้แก่ ผักแพว สะระแหน่ และกรีนโอ๊ค ภายใต้คุณภาพแสงต่างกัน 12 อัตราส่วน ร่วมกับความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ (140 และ 160 μmol/m^2/s) โดยมีแสงสีขาว

เป็นตัวเปรียบเทียบ (Control) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างคุณภาพแสงและความเข้มแสง พบว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการแสงเพื่อการเจริญเติบโต และสะสมสารสำคัญแตกต่างกันอย่างเฉพาะเจาะจง ดังนี้

1) ผักแพว พบว่าการปลูกภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol/m^2/s มีแนวโน้มให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟีนอลสูง

2) สะระแหน่ การปลูกภายใต้แสงสีขาว ที่ความเข้มแสง 140 µmol/m^2/s มีแนวโน้มให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณฟีนอล และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่าสูงกว่าการให้แสงแบบอื่น

3) กรีนโอ๊ค การให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160 µmol /m^2/s มีแนวโน้มให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระสูง

ผลการทดลองในครั้งนี้บ่งชี้ว่าความต้องการแสงของพืชแต่ละชนิดสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต มีความจำเพาะเจาะจงทั้งในเรื่องคุณภาพแสงและความเข้มแสง ซึ่งผลจากการวิจัยพืชทั้งสามชนิดมีความต้องการความเข้มแสงและคุณภาพแสงแตกต่างกัน ดังนั้นสามารถนำผลการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตผักเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต และมีปริมาณสารสำคัญที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กัญตนา หลอดทองหลาง, เบญญา มะโนชัย และปริยานุช จุลกะ. (2562). การให้แสงเสริมจากหลอด LED แก่กระชายดำที่ปลูกในโรงเรือน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 9(1): 105–117.

จูนลิฎา โยธาทิพย์, พาสินี สุนากร และพัชรียา บุญกอแก้ว. (2553). การศึกษาการปลูกพืชภายในอาคารโดยใช้แสงประดิษฐ์. ใน **รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน** (หน้า 2007–2014)**.** นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจษฎากร หลวงมณี และปรเมศ บรรเทิง. (2555). ประโยชน์ของแอนโทไซยานินที่มีต่อข้าว ในสภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อม. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 14 หน้า

ชัชรินทร์ เลิศยศบดินทร์. (2561). **แถบสีและแถบสเปกตรัมของแสงอาทิตย์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://thn244288chemistry.blogspot.com/2016/08/blog–post_70.html

ฐิติมา บุษบาศรี. (2552). **การเพิ่มของประชากร.** [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.gotoknow.org/posts/418083

ดนัย บุณยเกียรติ. (2554). **สรีรวิทยาของพืช**. [ออนไลน์]. ได้จาก: www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_classroom/...Doc/10_Plant%20and%20Solar.pdf

เทอดชัย นบธีราสุภาพ. (2550). **หลอดฟลูออเรสเซนต์**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.dss.go.th/images/st–article/pep_3_2550_Flores.pdf

นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี. (2560). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะกับการปลูกพืช ?. **ว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 25(1): 158–176.

บรรจบ ธุปพงษ์. (2564). **การสังเคราะห์แสง**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://manage.brr.ac.th/biology/photosynthesis/photosynthesis6.pdf

พิญช์สินี เพรชไทย และ ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2560). ผลของความเข้มแสงและระยะเวลารับแสงต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอม. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**. 4(3): 54–59.

รำไพ นามพิลา, สุภัทร์ อิศรางกูล ณ อยุธยา และสังคม เตชะวงศ์เสถียร. (2559). อิทธิพลของไดโอดเปล่งแสง (LEDs) ต่อการงอกและการเจริญของเมล็ดมะละกอ (*Carica papaya* L.). **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์.** 3(1): 13–17.

วิจิตรา จันอุทัย, พันธนา ตอเงิน และ จุฑามาศ ชัยวนนท์. (2562). ผลกระทบของแสงเทียมต่อฤทธิ์

ต้านอนุมูลอิสระและการเจริญเติบโตในพืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย. ใน **รายงานการประชุมวิชาการของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น** (หน้า 492–504)**.** ขอนแก่น: มหาวิทยาขอนแก่น.

วิชาการ.คอม. (2561). **แถบสเปกตรัมของหลอดไฟแต่ละชนิด** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.vcharkarn.com/vblog/35279/1/30

สกุลกานต์ สิมลา, พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ และ สรพงค์ เบญจศรี. (2559). การพัฒนาชุดเพาะสำเร็จสำหรับถั่วเขียวงอก. **วารสารแก่นเกษตร**. 44(1): 820–825.

สยามเคมี. (2562). **หลอดฟลูออเรสเซนต์/หลอดนีออน ข้อดี และอันตรายจากหลอดฟลูออเรสเซนต์**. [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.siamchemi.com

สิริรักษ์ ภู่ทอง. (2540). อิทธิพลของการพรางแสงและระยะปลูกที่มีผลต่อการผลิตและคุณภาพของเมล็ดพริก TABASCO. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** 22 หน้า

สุทธิดา มณีเมือง, เนตรนภา อินสลุด, นิติ คำเมืองลือ, ประดิษฐ์ เทอดทูล, พฤทธ์ สกุลช่างสัจจะทัย. (2558). ผลของความเข้มแสงจากชุดหลอดแอลอีดีสำหรับการเพาะปลูกที่มีต่อผักสลัดเรดโอ๊คในระบบไฮโดรโปนิกส์. **วารสาร มทร.อีสาน.** 8(1): 63–72.

สุภา พ่วงนิ่ม, อภิชัย เจนจบ, สุนทร โมลา, ชลิดา ชลไมตรี, ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์ และอภิรดี อุทัยรัตนกิจ. (2561). ผลของแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินต่ออัตรำกำรเจริญเติบโตและคุณภำพของต้นอ่อนหัวไช้เท้ำอินทรีย์. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 49(2): 669–672.

สุมาลี คงสอดทรัพย์ และวัฒนา พัฒนากูล. (2548). ผลของการแช่เมล็ดในกรดแอบซิสิกและพาโคลบิวทราโซลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในสภาวะแล้ง. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 9 หน้า

อภิชาต ชิดบุรี, อนนท์ นำอิน, กริช แสนสุภา และธีรวัฒน์ กลายเพศ. (2557). ผลของหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกันสีน้ำเงิน/สีแดง/สีขาวที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อยูคาลิปตัสในสภาพปลอดเชื้อ. **วารสารแก่นเกษตร.** 42(3): 409–414.

อินทิรา ขูดแก้ว. (2017). **ความเครียดของพืช (plant stress)**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://biology.ipst.ac.th/?p=3361

อดุลย์ศักดิ์ ไชยราช. (2561). **เทคโนโลยีชาวบ้าน.** [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_80858

เอสพีที เทรดดิ้ง 2015 จำกัด. (2563). **การให้แสงมีผลอย่างไรกับต้นอ่อนพืช.** [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.railungtop.com

American society for microbiology. (1969). **Applied and environmental microbiology** [Online]. Retrieved from: https://aem.asm.org/content/74/24/7790/F1

Bantis, F., Ouzounis, T. and Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. **Sci. Hortic.** 198: 277–283.

Blackman, V.H. (1919). The compound interest law and plant growth. **Ann Bot**. 33(3): 353–360.

Critchley, C. (1981). Studies on the mechanism of photoinhibition in higher plants. **Plant Physiol**. 67: 1161–1165.

Dou, H., Niu, G., Gu, M. and Masabni, J.G. (2017). Effect of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. **Horticulturae.** 3: 1–11.

Fitter, A.H. and Hay, R.K.M. (1987). **Environmental physiology of plants**. Kolkata, West Bengal: Elsevier Science.

Gacomelli, G.A. (1998). Greenhouse grazing and solar radiation transmission workshop. Paper presented at **CCEA Center for controlled environment agriculture**, Cook College, Rutger University, USA.

Giedre, S., Ausra, B., Akvile, U., Gintara S. and Pavelas, D. (2010). The effect of red and blue light component on growth and development of frigo strawberries. **Zemdirbyste–Agriculture.** 97 (2): 99–104.

Goins, G. D., Yorio, N. C., Sanwo, M. M. and Brown, C. S. (1997). Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light–emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. **J. Exp. Bot.** 48(312): 1407–1413.

Grow Light Info. (2020). **Best led grow lights: reviews by an actual grower** [Online]. Retrieved from: https://growlightinfo.com

Heo, J.W., Kang, D.H., Bang, H.S., Hong, S.G., Chun, C. and Kang, K.K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia–liase activity of red colored lettuces grown under different lighting condition. **Korean J. Hort. Sci. Technol.** 30: 6–12.

Heo, J., Lee, C. and Paek, K. (2002). Characteristics of growth and flowering on some budding plants grown in mixing fluorescent tube and light–emitting diode. **Acta Hort.** 508: 77–82.

Hernandez, R. and Kubota, C. (2016). Physiological responses of cucumber seedling under different blue and red photon flux ratios using LED. **Environ. Exp. Bot.** 121: 1841–1856.

Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. (1950). The water–culture method for growing plants without Soil. **Am. J. Plant Sci.** 6(2): 29–31.

Home sun led lighting. (2017). **Light and plant** [Online]. Retrieved from: http://th.hs-ledlampara.com/news/about-plant-lighting-5-species-of monochromat10940219.html

Hopkin, W.G. and Huner, N.P.A. (2004). **Introduction to plant physiology**. Thrid edition. John Wiley and Sons, NJ: Hoboken, USA.

Huang, D., Boxin, O.B. and Prior, R.L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. **J. Agric. Food Chem**. 53(6): 1841–1856.

Huner, N.P.A., Oquist, G. and Sarhan, F. (1998). Energy balance and acculimation to light and cold. **Trends Plant Sci**. 3: 224–230.

Jai, H.R., Kyoung, S.S., Gab, L.C., Eui, S.R., Sheong, C.K., Seong, K.C., Si–yong, K. and Chang–Hyu, B. (2012). **Korean J**. 25(6): 731–738.

Jane, B. and Neil, A. (2011). Plant growth as a function of LED light. **Nat. Photonics**. 3: 835.

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hasida, S. and Yoshihsra, T. (2010). Blue light emitting diode irradiation of seedling improves seedling quality of growth after transplanting in red leaf lettuce. **Hort. Sci.** 45: 1809–1814.

Jones, L.W. and Kok, B. (1966). Photoinhibition of chloroplast reactions. I. kinetics and action spectra. **Plant Physiol**. 41: 1037–1043.

Kato, N.H. and Macias, F.A. (2005). Effects of 6–methoxy–2–benzoxazolinone on the germination and α–amylase activity in lettuce seeds. **J. Plant Physiol**. 162(12): 1304–1307.

Kwack, Y., Kyoung, K.K., Hwang, H. and Chun, C. (2015). Growth and quality of sprout of six vegetables cultivated under diferent light intensity and quality. **Hortic. Environ. Biotechnol.** 56(4): 437–443.

Kwee, E.M. and Niemyer, E.D. (2011). Variation in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. **Food Chem.** 128: 1044–1050.

Lattanzio, V., Lantanzio, V.M.T. and Cardinali, A. (2006). Role of phenolic in the resistance mechanisms of plant against fungal pathogens and insects. **Phytochemistry.** 37(2): 23–67.

Masahumi, J., Kazuhiro, S., Fumiyuki, G., Shin–nosuke, H. and Toshihiro, Y. (2010). **Hortscience**. 45(12): 1809–1814.

Ming, C.W., Chi, Y.H., Chii, M.J., Yuh, T.W., Chih, Y.W., Ho, H.C. and Hung, M.C. (2007). A

novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. **Food Chem.** 101(10): 1753–1758.

Mustafa, R.A., Hamid, A.A., Mohamed, S. and Bakar, F.A. (2010). Total phenolic compounds, flavonoids, and radical scavenging activity of 21 selected tropical plants. **J Food Sci**. 75(1): 28–35.

Nand, L. and Priti, S. (2017). Effect of different visible light wavelengths on seed germination and photosynthetic pigment contents in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Indian Journal of Biology.** 4(2): 132–136**.**

Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V. and Hao, X. (2006). Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. **Acta Hort.** 1134(10): 223–229.

Norman, H.N., Dak, H.B. and C, H.H. (1970). SPSS: **Statistical package for the social sciences**. McGraw–Hill: United stated.

Ohashi–Kaneko, K., Matsuda, R., Goto, E., Fujiwara, K. and Kurata, K. (2006). Growth of rice plants under red light with or without supplemental blue light. **Soil Sci. Plant Nutr**. 52: 444–452.

Phisics. (2017). **How could I measure the colour spectrum of a light bulb and investigate how closely it matches a black body radiation curve?** [Online]. Retrieved from: https://physics.stackexchange.com

Piovene, C., Orsini, F., Bosi, S., Sanoubar, R., Bregola, V., Dinelli, G., Gianquinto, G. (2015). Optimal red: blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor hoticuture. **Sci. Hort.** 193: 202–208.

Plant hormones. (2017). **Seed germination and and dormancy are regulated by light, temperature and plant hormones** [Online]. Retrieved from: http://www.seedbiology.de/hormones.asp

Ryu, J.H. (2012). Growth and development characteristics and genetic diversity analysis of genus Taracacum ascessions collected in Korea. **PH.D. Thesis**. **Sunchon National University**. 61 pp.

Steyn, W.J., Wand, S.J.E., Holcroft, D.M. and Jacobs, G. (2002). Anthocyanin in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. **New Phytologist**. 155: 349–361.

Stutte, G.W., Edney, S. and Skerritt, T. (2009). Photoreguation of bioprotectant content of red leaf

lettuce with light–emitting diodes. **Hortscience.** 44(1): 79–82.

Taiz, L. and Zeiger, E. (2010). **Plant physiology**. Thrid edition. Sinaure Associates, MA: Sunderland, USA.

Wang, J., Lu, W., Tong, Y. and Yang, Q. (2016). Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatol development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. **Front. Recent Dev. Plant Sci.** 7(250): 1–10.

Yorio, N.C., Goins, G.D., Kagie, H.R., Wheeler, R.M. and Sager, J.C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red lightemitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. **Hortscience**. 36: 380–383

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุธิดา รอกกระโทก เกิดเมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2537 ณ จังหวัดนครราชสีมา เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1–6 ที่โรงเรียนบ้านท่าอ่าง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1–6 ที่โรงเรียนบุญวัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในปีพ.ศ. 2555 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเมื่อปี พ.ศ. 2558 ได้สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช)

ในปี พ.ศ. 2559 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในขณะศึกษาได้รับทุนกิติบัณฑิตจากทางมหาวิทยาลัย พร้อมทั้งเป็นผู้ช่วยสอน และผู้ช่วยวิจัยในสาขาวิชาฯ โดยระหว่างศึกษาได้เข้าร่วมประชุมเสนอผลงาน เรื่อง Effects of Light–Emitting Diodes on Seed Germination and the Accumulation of Phenolic Content in Sprouts ในการประชุมวิชาการนานาชาติ The SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020) ในวันที่ 28 สิงหาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี