อิทธิพลของแสงและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม

นางสาวจริญญา ฤทธิรัมย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

EFFECTS OF LIGHT AND TEMPERATURE ON GROWTH AND YIELD OF LETTUCE IN PLANT FACTORY WITH ARTIFICIAL LIGHT

Jarinya Rittiram

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

อิทธิพลของแสงและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต
ของผักกาดหอมในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.อารักษ์ ธีรอำพน)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย)
กรรมการ

(อ. ดร. แหวนพลอย จินากูล)
กรรมการ

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

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จริญญา ฤทธิรัมย์ : อิทธิพลของแสงและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม (EFFECTS OF LIGHT AND TEMPERATURE ON GROWTH AND YIELD OF LETTUCE IN PLANT FACTORY WITH ARTIFICIAL LIGHT) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารักษ์ ธีรอำพน, 85 หน้า.

การปลูกพืชในโรงงานด้วยแสงเทียมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตพืช โดยการนำเทคโนโลยีมาพัฒนาการปลูกพืชที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ ธาตุอาหารที่ใช้ในระบบ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ 1) การศึกษาปัจจัยเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วย การเพาะกล้าที่ความเข้มข้นของสารละลายที่แตกต่างกัน (5 ระดับ) ระบบปลูก (ระบบไฮโดรโปนิกส์ และวัสดุปลูก) ความเข้มแสง (PPFD 100 และ 150 $\mu mol/m^2/s$) ระยะเวลาการให้แสงต่อวัน (16 และ 20 ชม./วัน) และการให้สีของแสง (แสงจากหลอด LED-W (LED สีขาว) และ LED-WRB (LED สีขาว แดง น้ำเงิน)) โดยเลือกผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค เป็นตัวแทนชนิดไม่ห่อหัว และผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮด เป็นตัวแทนชนิดที่ห่อหัว ผลการทดลอง พบว่าวิธีการเพาะกล้า โดยการเพาะกล้าที่ความเข้มข้น EC 0.8 mS/cm นาน 14 วัน ทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และสีแสงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตต่อต้นกล้า ผลของระบบการปลูก พบว่าการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการปลูกพืชวัสดุปลูก ผลของความเข้มแสง พบว่าค่า PPFD 150 $\mu mol/m^2/s$ มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงกว่าค่า PPFD 100 $\mu mol/m^2/s$ ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อวัน พบว่าการให้แสง 20 ชม./วัน มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตและน้ำหนักผลผลิตสูงแต่พบว่าไม่แตกต่างจากการปลูกด้วยแสง 16 ชม./วัน และพบว่าการปลูกภายใต้แสง LED-WRB มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดีกว่าการปลูกด้วยแสง LED-W และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแสดงออกของสีใบในผักกาดหอมเรดโอ๊คในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม ซึ่งประกอบด้วย 1) ผลของอุณหภูมิร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง 5 กรรมวิธี คือ อุณหภูมิ 23°ซ ร่วมกับ แสง LED-W และแสง LED-WRB และอุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W และแสง LED-WRB และอุณหภูมิ 35°ซ ร่วมกับแสงอาทิตย์ 2) ผลของความเข้มแสงร่วมกับคุณภาพของแสง 6 กรรมวิธี คือ แสง LED-W ที่ PPFD 100 และ 200 $\mu mol/m^2/s$ และแสง LED-W+UV และแสงหลอด FL (Fluorescence) ที่ PPFD 200 $\mu mol/m^2/s$ แสงอาทิตย์ที่พรางแสง 50% ที่ PPFD 500 $\mu mol/m^2/s$ และแสงอาทิตย์ 100% PPFD 1,300 $\mu mol/m^2/s$ พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลให้เกิดใบแดงในผักกาดหอมเรดโอ๊ค แต่พบว่าการเพิ่มความเข้มแสง เป็น 200 $\mu mol/m^2/s$ และปลูก

ภายใต้แสง LED-W+UV และ FL ทำให้มีสีใบใกล้เคียงกับการปลูกด้วยแสงอาทิตย์มากที่สุด การทดลองที่ 2 ศึกษาแสงและอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม โดยตัวแทนผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว คือ เรดโอ๊คเป็นตัวแทนผักใบสีแดง และกรีนโอ๊คเป็นตัวแทนผักใบสีเขียว ตัวแทนผักกาดหอมชนิดห่อหัว คือ บัตเตอร์เฮดเป็นตัวแทนชนิดที่ห่อหัวไม่แน่น และผักกาดแก้วหอมห่อเป็นตัวแทนชนิดที่ห่อหัวแน่น การทดลองประกอบด้วย อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 20 23 และ 25°ซ และแหล่งกำเนิดแสง 4 แบบ คือ LED-WRB, LED-RB (LED สีแดง น้ำเงิน), LED-W และแสง FL ควบคุมความชื้นสัมพันธ์ที่ 60-70% และค่า PPFD ที่ 200 $\mu mol/m^2/s$ ให้แสง 16 ชม./วัน พบว่าผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ควรเลือกปลูกที่อุณหภูมิ 25°ซ ทำให้แนวโน้มการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงที่สุด และผักกาดหอมชนิดห่อหัว ควรเลือกปลูกที่อุณหภูมิ 20°ซ เพื่อให้เหมาะต่อการห่อหัว และพบว่าแสง LED-WRB มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าแหล่งกำเนิดแสงอื่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ลายมือชื่อนักศึกษา จริญญา ฤทธิมงษ์

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

JARINYA RIRTIRAM : EFFECTS OF LIGHT AND TEMPERATURE ON GROWTH AND YIELD OF LETTUCES IN PLANT FACTORY WITH ARTIFICIAL LIGHT. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ARAK TIRA-UMPHON, Ph.D., 85 PP.

FACTORY WITH ARTIFICIAL LIGHT CALLUS/ LIGHT-EMITTING DIODE

The concept of the plant factory with artificial light is an alternative way to produce crops by adopting technology to develop crop production that can control the environment such as light, temperature, humidity, air, and nutrients used in the culture system. The objective of this study was to investigate some factors suitable for growth and yield of lettuce in a plant factory with artificial light. For the methodology, this research was divided into two experiments. The first experiment studied the primary factors which consists of planting at different solution concentrations (5 levels); Planting system (hydroponics system and substrate culture), light intensity (PPFD 100 and 150 $\mu mol/m^2/s$), light duration exposure times per day (16 and 20 h/day), and light sources (LED-W (white) and LED-WRB (white-red-blue)) by choosing lettuce, leaf lettuces (rad oak-green oak) and head lettuces (cos-butter head). The result showed cultivating at a concentration of EC 0.8 mS/cm for 14 days, the seedlings had the highest growth and light sources had no effect on the growth of seedlings. The effect of the planting system found that plants grown in the hydroponic system tend to give higher growth and yield than those of substrate culture. The effect of light intensity, PPFD 150 $\mu mol/m^2/s$ tended to increase lettuce growth. The yield was 100 $\mu mol/m^2/s$ higher than the PPFD value. The experimental results indicated that 20 h/day light tended to increase growth and yield weight, but was found not to be different from cultivation under 16 h/day light, and it was found that growing under LED-WRB light tended to increase

lettuce growth and yield was better than the LED-W cultivation, and the factors affecting the expression of leaf color in red oak lettuce in the plant with artificial light were investigated. It consists of 1) temperature effect in combination with 5 light sources: 23°C with LED-W and LED-WRB and 25°C with LED-W and LED-WRB and 35°C with sunlight and 2) the effect of light intensity in combination with light quality of the 6 processes: LED-W at PPFD 100 and 200 μmol/m^2/s and LED-W+UV and FL (fluorescence lamp) at PPFD 200 μmol/m^2/s, 50% sunlight at PPFD 500 μmol/m^2/s and 100% sunlight PPFD 1,500 μmol/m^2/s. The results found that temperature did not produce red leaves in red oak lettuce. But it was found that increasing the light intensity to 200 μmol/m^2/s and growing under LED-W+UV light and FL, the leaf color was closest to that of the solar plant. The second experiment studied the temperature that affects growth and the yield of different types of lettuce grown in plant production with artificial light. The representative of leaf lettuce was red oak, representing red leafy vegetables. And Green Oak represented green leafy vegetables. The representative of head lettuce is butterhead, which is the less tightly wrapped head and wrapped lettuce represented the kind that wraps the head tightly. The experiment consisted of three temperature levels 20, 23 and 25°C and four light sources: LED-WRB, LED-RB (red-blue), LED-W and FL, controlling relative humidity at 60-70% and PPFD at 200 μmol/m^2/s for 16 h/ day light. The result showed the plant should be leaf lettuce at a temperature of 25°C, resulting in the highest tendency for growth and productivity and head lettuce planting should be selected at 20°C to be suitable for head lettuce, and LED-WRB light tends to increase growth and yield than other light sources.

School of Crop Production Technology Student's Signature Jarinya Rittiram

Academic Year 2020 Advisor's Signature Asst. Prof. Dr. Thanaporn

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัยจากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารักษ์ ธีรอำพน อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ทุนสำหรับบัณฑิต ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่อย่างดียิ่งทั้งด้านการเรียน งานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คณาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้ความเมตตา และกำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ คุณวันดี ภควัตมงคล และคุณนัฏฐา นิตย์วัฒนกุล ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง และพี่น้องบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับปริญญาโท แก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

จริญญา ฤทธิรัมย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ความสำคัญของการปลูกพืชในระบบปิด 5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช 6
2.3 ระบบโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกพืช 7
2.4 องค์ประกอบของระบบการปลูกพืชในระบบปิด 9
2.5 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิจัยการปลูกพืชในระบบปิด (ผักกาดหอม) 10
2.6 อุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและการห่อหัวของผักกาดหอม 12
2.7 แสงเทียมในระบบการปลูกพืชในระบบปิด 13

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย 23
3.1 การทดลองที่ 1: การศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ของผักกาดหอมในระบบปลูกแบบปิด 23
3.2 การทดลองที่ 2: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพผลผลิต ของผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 สเปกตรัมแสงที่ใช้ในการทดลอง 29

4. ผลการทดลอง 31

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในระบบปลูกแบบปิด 31

4.1.1 ผลของของระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารและแสงที่เหมาะสมต่อการเพาะต้นกล้าผักกาดหอม 31

4.1.2 ผลของระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอม 33

4.1.3 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอม 33

4.1.4 อิทธิพลของความระยะเวลาการให้แสงต่อวันและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอม 43

4.1.5 อิทธิพลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกสีใบของผักกาดหอมใบแดง 49

4.1.6 อิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกสีใบของผักกาดหอมใบแดง 52

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในโรงงานปลูกพืชด้วยแสงเทียม 56

4.2.1 ปัจจัยที่มีผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว 55

4.2.2 ปัจจัยที่มีผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมชนิดห่อหัว 61

5. วิจารณ์ผลการทดลอง 67

6. สรุป และข้อเสนอแนะ 67

รายการอ้างอิง 76

ภาคผนวก 83

ประวัติผู้เขียน 85

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ปริมาณสารอาหารบางชนิดของผักกาดหอมในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม 11
2 ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแสง ความยาวคลื่น และบทบาทที่สำคัญ
ต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช 15
3 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารและแสงต่อการเจริญเติบโต
และค่าความเขียวใบ ของกล้าผักกาดหอมกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค 32
4 ผลของระบบปลูก และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ
และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด 36
5 ผลของระบบปลูก และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ
และผลผลิตของผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบปิด 37
6 ผลของระบบปลูกร่วมกับแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต และค่าความเขียวใบ
ของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค และคอส 38
7 ผลของความเข้มแสง และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ
และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด 41
8 ผลของความเข้มแสง และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ
และผลผลิตของผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบปิด 42
9 ผลของความเข้มแสงร่วมกับแหล่งกำเนิดแสงต่อความสูงต้นของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด
และน้ำหนักสดต่อต้นของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค 43
10 ผลของระยะเวลาการให้แสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ
และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด 46
11 ผลของระยะเวลาการให้แสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ
และผลผลิตของผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบปิด 47
12 ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อวันร่วมกับแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความเขียวใบ จำนวนใบ
และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมเรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค คอส และบัตเตอร์เฮด 48
13 ผลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง 51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

14 ผลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงต่อการแสดงออกของสีใบ
ของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง 51
15 ผลของแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ
และผลผลิตผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง 54
16 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการแสดงออกของสีใบ
และผลผลิตผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง 54
17 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊ค 57
18 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์
และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดหอมเรดโอ๊ค 58
19 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค 59
20 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์
และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค 60
21 ผลผลิตผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด 63
22 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์
และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด 64
23 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของผักกาดแก้วหอมห่อ 65
24 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์
และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดแก้วหอมห่อ 66

ภาคผนวก

1 ส่วนประกอบของสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร SUT NS-6 (อารักษ์ ธีรอำพน, 2554) 84

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 การจำแนกรูปแบบโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อมพืช 8
2 องค์ประกอบภายในระบบปลูกแบบ plant pactory 9
3 ความยาวคลื่นในช่วงที่มนุษย์มองเห็น และกราฟการดูดซึมแสง
ของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี และการดูดซึมแสงของแคโรทีนอยด์ 15
4 เส้นเวลาแสดงการพัฒนาหลอดไดโอดเปล่งแสง หรือหลอดแอลอีดี 17
5 ก. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-W ข. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-WRB 29
6 ก. สเปกตรัมแสงจากหลอด Fluorescence ข. สเปกตรัมแสงจากหลอด UV 29
7 ก. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-WRB ข. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-RB
ค. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-W และ ง. สเปกตรัมแสงจากหลอด Fluorescence 30
8 ผลของระบบปลูก และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม
ที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด 35
9 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต
ของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด 40
10 ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อวันและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต
ของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด 45
11 ลักษณะประจำพันธุ์ของผักกาดหอมเรดโอ๊ค 49
12 ผลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงผักกาดหอมเรดโอ๊ค
ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง 50
13 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงของผักกาดหอมเรดโอ๊ค
ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง 54
14 ผลอุณหภูมิที่ 25°ซ และแสงต่อการเจริญเติบโตและสีใบ
ของผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว 56
15 ผลอุณหภูมิต่อเจริญเติบโตและลักษณะการห่อหัว ของผักกาดหอมชนิดห่อหัว 62

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

DLI	=	Daily light integral
EC	=	Electrical conductivity
FAO	=	Food and agriculture organization of the united nations
FL	=	Fluorescent
HID	=	High-intensity discharge
IPCC	=	Intergovernmental panel on climate change
IR	=	Infrared radiation
LED	=	Light-emitting diode
LED-B	=	Light-emitting diode สีแดง
LED-R	=	Light-emitting diode สีน้ำเงิน
LED-RB	=	Light-emitting diode สีแดง น้ำเงิน
LED-W	=	Light-emitting diode สีขาว
LED-WRB	=	Light-emitting diode สีขาว แดง น้ำเงิน
mS/cm	=	มิลลิซีเมนต์/เซนติเมตร
PAR	=	Photosynthetically active radiation
PFAL	=	Plant factory with artificial light
PPFD	=	Photosynthetic photon flux density
SCMP	=	ค่าความเขียวใบ (SPAD chlorophyll meter reading)
USDA	=	United states department of agriculture
UV	=	Ultraviolet radiation

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาหารนับเป็น 1 ในปัจจัย 4 ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ซึ่งองค์การเกษตรและอาหารแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้คาดการณ์ว่าความต้องการอาหารในระยะ 50 ปีข้างหน้า จะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 50 จากปัจจุบัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก จากเดิม 7 พันล้านคน เป็น 9 พันล้านคน ภายใน 38 ปี ในขณะที่ปัจจุบัน พบปัญหาการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก/ภูมิอากาศที่ผันผวน (climate change) จากสภาวะโลกร้อน คณะกรรมการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกระหว่างประเทศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ได้คาดการณ์ว่า ในปี พ.ศ. 2643 อุณหภูมิโลกจะสูงขึ้น 1.4 - 5.8 องศาเซลเซียส (°ซ) ส่งผลให้น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ปริมาณน้ำทะเลสูงขึ้นประมาณ 0.9 เมตร ทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมในบางประเทศ และบางประเทศเกิดภาวะฝนแล้ง และขาดแคลนน้ำ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อการทำการเกษตร ทำให้การเจริญเติบโตของพืชและความหลากหลายทางชีวภาพลดลง (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2012) มีการรายงานว่า หากโลกร้อนขึ้น 2 - 3°ซ จะทำให้เกิดความสูญเสียของผลผลิตถึงร้อยละ 3 กลุ่มนักเศรษฐศาสตร์ชั้นนำของโลกมีความเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมจะเป็นความล้มเหลวของกลไกตลาดที่ใหญ่ที่สุดและกว้างขวางที่สุด นอกจากสภาพอากาศที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรแล้ว พื้นที่เพาะปลูกยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการพัฒนาเข้าสู่ความเป็นเมืองอย่างรวดเร็ว ตลอดจนเกิดการแย่งยึดที่ดินของกลุ่มประเทศผู้นำเข้าอาหารที่ไม่ต้องการเป็นเพียงผู้ซื้อ การมุ่งไปใช้ที่ดินในประเทศอื่น ๆ เพื่อผลิตอาหารกลับประเทศตนหรือส่งออกไปยังประเทศอื่น ๆ เพื่อต้องการสร้างหลักประกันความมั่นคงทางอาหาร (food security) จึงเป็นปัญหาความมั่นคงรูปแบบใหม่ที่หลายประเทศทั่วโลกกำลังเผชิญและสร้างมาตรการรับมือความท้าทายดังกล่าว เพื่อความอยู่รอดของประชากรในประเทศและประชากรโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศกำลังพัฒนา จากข้อมูลของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture-USDA) ประเมินว่า เกือบร้อยละ 50 ของอาหารที่ผลิตได้ ไม่สามารถใช้ประโยชน์และไม่เหมาะสมสำหรับการบริโภค (อภิชาติ พงษ์ศรีหดุลชัย และคณะ, 2554) และจากบทวิเคราะห์ “Food Security Risk Index” ของสหประชาชาติในปี 2554 ได้รายงานว่าประเทศไทยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีความเสี่ยงด้านความมั่นคงทางอาหารในระดับกลาง คือ “ความไม่ยั่งยืนของ

การผลิตอาหารจากข้อจำกัดในด้านทรัพยากร" (คณะอนุกรรมการจัดทำแผนเพื่อการบริหารความมั่นคงทางด้านอาหาร, 2555) แม้ประเทศไทยจะมีภูมิประเทศที่อุดมสมบูรณ์ เป็นแหล่งเพาะปลูกพืชที่สำคัญ และสามารถผลิตอาหารและส่งออกอาหารได้ในหลายประเภท แต่ฐานทรัพยากรธรรมชาติของไทยมีแนวโน้มเสื่อมโทรมรุนแรง แรงงานภาคเกษตรมีแนวโน้มลดลง ระบบการผลิตยังต้องพึ่งปัจจัยการผลิตจากต่างประเทศ ทำให้มีต้นทุนการผลิตสูง พื้นที่การเกษตรจำกัด เกิดการครอบครองที่ดินของประเทศไทยโดยชาวต่างชาติ การเชื่อมโยงผลผลิตเกษตรกับภาคอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่ายังอยู่ในวงจำกัดและล่าช้า เนื่องจากการพัฒนาเป็นแบบแยกส่วน ส่งผลกระทบต่อการผลิตภาคเกษตรและความมั่นคงทางอาหาร เห็นได้จากภาคอุตสาหกรรมการผลิตพืชมีข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่ปลูกทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพของพื้นที่ ภูมิอากาศหรือสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกพืช เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสง ธาตุอาหาร ศัตรูพืช ฯลฯ พยากรณ์และควบคุมได้ยากขึ้น อันเนื่องมาจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การเกิดโรคระบาดและพาหะของโรคจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิโลกสูงขึ้น ซึ่งจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยพบว่า อุณหภูมิของประเทศไทยโดยรวมอาจสูงขึ้น 0.6-2°ซ มีจำนวนวันที่อากาศร้อนเกิน 35°ซ เพิ่มขึ้น และจำนวนวันที่อากาศเย็นลดลง และฤดูฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกอาจยาวขึ้น 1-3 สัปดาห์ และปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มลดลง แต่มีความผันแปรเชิงพื้นที่ค่อนข้างสูง ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงในฤดูแล้งของปีถัดมา ที่อาจทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำรุนแรงในภาคอุตสาหกรรมการเกษตรและการอุปโภคบริโภค เพื่อเป็นการเตรียมรับมือกับข้อจำกัดต่าง ๆ ในการผลิตพืชที่เกิดขึ้นแล้วหรือคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตพืชจากเดิมที่พึ่งพาธรรมชาติอย่างเดียวไปสู่การผลิตแบบสั่งได้ จึงได้รับความสนใจและเริ่มเข้ามามีบทบาทในวงการเกษตรของไทยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา และได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หนึ่งในเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ตอบโจทย์ความมั่นคงของอาหาร คือ โรงงานผลิตพืช (plant factory) ซึ่งเป็นคำที่นิยมใช้เรียก เทคโนโลยีการปลูกพืชแบบระบบปิดที่มีการควบคุมปัจจัยการผลิต เช่น แสง ความชื้น อุณหภูมิ แร่ธาตุ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ ทำให้พืชโตเร็ว ผลผลิตสะอาด ปลอดจากสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช สามารถผลิตพืชได้ต่อเนื่องและตลอดปีไม่ขึ้นกับฤดูกาล เพื่อเป็นการประสิทธิภาพด้านปริมาณของผลผลิต เทคโนโลยีนี้มักจะเน้นการใช้ประโยชน์พื้นที่ในแนวดิ่ง (vertical farming) อันจะทำให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าการผลิตพืชในระบบเดิม ปัจจุบันมีจำนวนโรงงานผลิตพืชทั่วโลกราว 400 แห่ง ตั้งอยู่ในประเทศญี่ปุ่นประมาณ 200 แห่ง ไต้หวันประมาณ 100 แห่ง จีนประมาณ 50 แห่ง สหรัฐอเมริกาประมาณ 25 แห่ง เกาหลีประมาณ 10 แห่ง และสิงคโปร์ประมาณ 2 แห่ง ในปี พ.ศ. 2561 มูลค่ายอดขายของตลาดโรงงานผลิตพืชของโลกอยู่ที่ราว 3.4 พันล้านดอลลาร์สหรัฐฯ คาดว่าจะเพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ 5.1 พันล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ในปี 2565 หรือมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ร้อยละ 11 โดยมีประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้ครองตลาดในสัดส่วนเป็น

อันดับ 1 กว่าร้อยละ 20 ของมูลค่าตลาดโรงงานผลิตพืชทั่วโลก อย่างไรก็ตาม แม้โรงงานผลิตพืชจะมีแนวโน้มการเติบโตที่ดี แต่การปลูกพืชด้วยเทคโนโลยีนี้ สำหรับประเทศไทยยังอยู่ในระยะเริ่มต้น เนื่องจากองค์ความรู้ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว ซึ่งมีความพร้อมในเทคโนโลยีหลากหลายด้าน การนำเข้าระบบปลูกพืชเหล่านี้จึงมีราคาค่อนข้างสูงถึงสูงมาก ทำให้ต้นทุนในการลงทุนครั้งแรกสูง (กมล เลิศรัตน์, 2555) องค์ความรู้และระบบบริหารจัดการการปลูกพืชในระบบปิดและหรือการปลูกพืชในระบบปิดแบบแนวตั้งยังมีความจำกัดเฉพาะกลุ่ม ส่วนใหญ่ยังเป็นงานวิจัยอยู่ในสถาบันการศึกษาและหน่วยงานภาครัฐ แม้เริ่มมีภาคเอกชนอยู่บ้างแต่ถือว่าการดำเนินการในลักษณะการค้าเชิงพาณิชย์ยังมีน้อยมาก หนึ่งในข้อจำกัดหลักของระบบการปลูกพืชภายใต้สภาพการควบคุมสภาพแวดล้อม คือ แหล่งกำเนิดแสงเทียมเพื่อทดแทนแสงอาทิตย์ ซึ่งยังเป็นเทคโนโลยีที่ต้องนำเข้าจากกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วเพื่อการปลูกพืชแบบสั่งได้ให้ได้คุณภาพผลผลิตตามเกณฑ์ที่กำหนด วงการเกษตรสมัยใหม่ มักเรียกเทคโนโลยีการผลิตพืชด้วยแสงเทียมว่า (plant factory with artificial light โดยใช้ตัวย่อว่า PFAL) มีรายงานว่า แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบ plant factory ที่ประสบความสำเร็จ มักใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) สำหรับการเพาะปลูกพืช ซึ่งมีข้อเสีย คือ เป็นหลอดไฟมีความยาวคลื่นเกินความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง ผลิตความร้อนสูง และมีอายุการใช้งานต่ำ (Kim *et al*., 2004) แต่เมื่อไม่นานมานี้มีการค้นพบแหล่งกำเนิดแสงใหม่ที่สามารถใช้ในการปลูกพืชได้ คือ หลอดแอลอีดี light-emitting diode (LED) ซึ่งมีข้อดีหลายประการ คือ สามารถควบคุมองค์ประกอบของสเปกตรัมและความยาวคลื่นให้เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของพืช มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ผลิตความร้อนต่ำ และประหยัดพลังงาน แหล่งกำเนิดแสงชนิดใหม่นี้จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบความยาวคลื่นที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาและทำให้พืชมีการผลิตกระบวนการภายใน metabolism ของพืชที่ดีขึ้น (Bourget, 2008; Massa *et al*., 2008; Morrow, 2008) การเปลี่ยนแปลงของแสงสเปกตรัมทำให้เกิดการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและการสังเคราะห์แสงของพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์พืช ด้วยคุณสมบัติของหลอด LED ดังได้กล่าวข้างต้น จึงมีความเป็นไปได้มากที่จะนำหลอด LED มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการเพาะปลูกพืช เพราะการใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอด LED ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นอย่างมาก ข้อได้เปรียบที่สำคัญ คือ หลอด LED ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าหลอด fluorescent ร้อยละ 81-90 และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 50,000 - 100,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอด fluorescent มีอายุการใช้งานเพียง 2,000 - 3,000 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี LED ในระดับอุตสาหกรรม นักวิจัยไม่สามารถปรับและวัดค่าพลังงานสเปกตรัมได้อย่างแม่นยำ (Liu *et al*., 2011) นอกจากนี้ผลการทดลองได้รับผลกระทบบางส่วนจากความแตกต่างของความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอและมักเป็นปัญหาในการเปรียบเทียบผลจากการทดลองที่ทดลองภายใต้การทดลองเดียวกัน (Kubota, 2009; Fu *et al*., 2012) เนื่องจากผลของคุณภาพแสงมีความซับซ้อน กอรปกับเทคโนโลยี PFAL ในประเทศไทย ยังขาดงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กับระดับแสงสเปกตรัม ความยาวคลื่น และความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อหน่วยพื้นที่สำหรับการปลูกพืชรายชนิด ดังนั้น จึงเป็นที่มาของโจทย์การทดลองในการใช้แสงจากหลอด LED เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ภายใต้แสง LED สีขาว แดง และน้ำเงิน โดยสร้างความเข้มแสงให้สม่ำเสมอเมื่อเทียบหลอด fluorescent เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสม นอกจากแสงที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการปลูกพืชในระบบปิดแล้ว อุณหภูมินับเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม เนื่องจากผักกาดหอมแต่ละชนิด ต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องมีการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละชนิดของผักกาดหอม เพื่อเป้าหมายสุดท้ายของการทดลอง คือ พัฒนาระบบการผลิตผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ให้มีคุณภาพสูง และมีผลเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ในโรงงานการผลิตพืชด้วยแสงเทียม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบปัจจัยที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอมพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในระบบปิด ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยเพื่อพัฒนาโรงงานการผลิตพืชด้วยแสงเทียมต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของการปลูกพืชในระบบปิด

ในปัจจุบันจำนวนประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 9 พันล้านคน ในปี 2050 โดยประชากรส่วนใหญ่ร้อยละ 70 อาศัยอยู่ในเขตเมือง เมื่อประชากร ทำให้มีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น คาดว่าจำนวนประชากรในปี 2050 จะมีความต้องการอาหารมากกว่าจำนวนประชากรในปัจจุบันถึง 70% (UN, 2009, 2011) แต่พบว่า ปัจจุบันการทำเกษตรทำได้ยากขึ้น เนื่องจากสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จากปัญหาสภาวะโลกร้อน และการขาดแคลนน้ำในการทำการเกษตร อีกทั้งพื้นที่ในการทำการเกษตรลดลง เนื่องจากพื้นที่กลายสภาพเป็นเมือง และบางพื้นที่กลายเป็นทะเลทราย พื้นดินมีการสะสมเกลือและการปนเปื้อนสารพิษ โดยพบว่าทั่วโลกเหลือพื้นที่ทำการเกษตรเพียง 10% (FAO, 2009) ทำให้มีความมั่นคงทางอาหารลดลง เพื่อตอบสนองความต้องการอาหารจำเป็นต้องมีการทำการเกษตรแบบใหม่ ในปัจจุบันได้มีการทำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการทำการเกษตร เรียกว่าระบบการปลูกพืชในอาคาร หรือ Plant factory หรือ เป็นการทำเกษตรในร่ม ปลูกพืชแนวตั้ง หลายๆ ชั้น สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกพืช (Kozai, 2013) โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น ใช้แสงเทียมแทนแสงแดด ใช้เครื่องปรับอากาศ พัดลม ควบคุมน้ำ แร่ธาตุอาหาร อากาศ ซึ่งการปลูกพืชในระบบนี้มีการวิจัยและพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง โดยประเทศที่ใช้การปลูกพืชระบบนี้ประเทศแรก ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น และขยายไปในหลายประเทศ เช่น ไต้หวัน จีน เกาหลี อเมริกาเหนือ และยุโรป ซึ่งนับเป็นแนวทาง การสร้างโอกาสให้ธุรกิจใหม่ที่มีมูลค่าสูง ให้ความสนใจเป็นที่น่าจับตามองของนักธุรกิจทั่วโลก และในประเทศไทยเอง พบว่าหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน เริ่มมีการสนับสนุนในการวิจัยและพัฒนาระบบการปลูกพืชในโรงงานด้วยแสงเทียมมากขึ้น

ข้อดีของการปลูกพืชในในระบบ Plant Factory

- สามารถปลูกพืชได้ทุกที่ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้แสงจากดวงอาทิตย์หรือดินในการปลูก
- ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศภายนอก เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้
- สามารถผลิตพืชได้ตลอดทั้งปี และให้ผลผลิตมากกว่าปกติถึง 100 เท่า

- ผลผลิตที่ปลูกในระบบนี้ มีคุณภาพสูง ปลอดสารพิษตกค้าง จากสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช และไม่จำเป็นต้องล้างก่อนรับประทาน และสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารบางประการในพืชได้ เนื่องจากมีการจัดการธาตุอาหารภายในระบบ
- ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น เนื่องจากการปนเปื้อนจากแบคทีเรียน้อยกว่าการปลูกในแปลงถึง 300 CFU g^{-1}
- ลดพลังงานในการขนส่งผลผลิต เนื่องจากระบบ Plant Factory สามารถปลูกได้ใกล้หรืออยู่เขตเมือง
- ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (น้ำ ปุ๋ย ฯลฯ) และลดมลพิษเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อจำกัดของการปลูกพืชในระบบ Plant Factory

- พืชที่ปลูกควรมีความสูงไม่เกิน 30 เซนติเมตร เพื่อให้เหมาะสำหรับการปลูกหลาย ๆ ชั้น ซึ่งควรมีระยะห่างระหว่างชั้นประมาณ 40-50 เซนติเมตร
- ควรเลือกปลูกพืชที่มีมูลค่าสูง เก็บเกี่ยวผลผลิตเร็ว เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่แสงน้อง และสามารถปลูกได้จำนวนมาก ๆ ในพื้นที่จำกัด
- ผู้ปลูกต้องมีความรู้ ทักษะ กระบวนการผลิต และบำรุงรักษา เนื่องจากมีเทคโนโลยีหลากหลายในระบบปลูก และต้องมีทุนสูง
- ต้นทุนในระบบ จะประกอบด้วย ค่าไฟ 25-30%, ค่าแรงงาน 25-30%, ค่าเสื่อม 25-35% และค่าอื่น ๆ 20% ซึ่งพบว่าต้นทุนในการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นค่าพลังงาน หากต้องการถึงจุดคุ้มทุนนั้น ต้องขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่และการเลือกผลิตพืชที่มีมูลค่า (Ohyama, 2015)
- เป็นเทคโนโลยีใหม่ในการปลูกพืช และในปัจจุบันเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องมีการพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่อง

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

การปลูกพืชในระบบ Plant Factory จำเป็นต้องทราบปัจจัยการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช โดยแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก

2.2.1 ปัจจัยภายในหรือปัจจัยด้านพันธุกรรม (internal or genetic factor) เป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดการแสดงออกของสิ่งมีชีวิต ลักษณะที่แสดงออกถูกควบคุมด้วยพันธุกรรมที่เรียกว่ายีนส์ (genes) ซึ่งประกอบด้วย RNA และ DNA โดยยีนจะเป็นตัวกระตุ้นให้มีการสร้างสารที่จำเป็นหรือที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ลักษณะทางพันธุกรรมเป็นลักษณะที่สามารถ

ถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลานได้และปัจจัยทางพันธุกรรมจะแสดงออกมากหรือน้อยเพียงใด จะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยสภาพแวดล้อมประกอบด้วย

2.2.2 ปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (external environmental factor) นับเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเป็นอย่างมาก สิ่งแวดล้อมอาจส่งเสริมหรือขัดขวางการแสดงออกทางด้านพันธุกรรมของพืช ลักษณะของพืชที่จะปรากฏ จะมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ดีหรือเร็วนั้น ขึ้นอยู่กับการผสมผสานกันของยีนและสภาพแวดล้อม โดยยีนจะมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของฮอร์โมนภายในพืช หากสภาพแวดล้อมผสมผสานกันได้ดี ต้นพืชจะงอกงาม แต่ถ้าหากสภาพแวดล้อมขัดขวางหรือขัดแย้งกับยีนส์แล้ว ต้นพืชจะมีการเจริญเติบโตไม่งอกงามหรือมีพัฒนาการไม่ดีเพียงพอ ส่งผลให้ผลผลิตต่ำ

ปัจจัยสภาพแวดล้อม หรือปัจจัยภายนอก อาจแบ่งตามบทบาทที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ออกได้เป็น 2 พวก คือ

2.2.2.1 ปัจจัยที่จำเป็นต้องมี (Positive factors) เป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้ ได้แก่ **1) แสงสว่าง** เพื่อใช้ในขบวนการการสังเคราะห์แสง สร้างอาหาร เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนาการ **2) สิ่งยึดเหนี่ยว**ที่แข็งแรง เพื่อให้ลำต้นทรงอยู่ได้ในลักษณะที่เหมาะสมที่สุด **3) อุณหภูมิและสภาพอากาศ** ที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตและ พัฒนาการที่ดีของพืช พืชต้องการพลังงานที่ได้มาจากการหายใจ จึงต้องมีอากาศอย่างเพียงพอ เพื่อให้การหายใจเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ พืชยังต้องการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงด้วย **4) น้ำ** เป็นส่วนที่สำคัญในการช่วยดูด แร่ธาตุอาหาร (nutrients) ลำเลียงอาหาร (photosynthates) ไปยังส่วนต่าง ๆ และช่วยในการลด อุณหภูมิภายในต้นพืช **5) แร่ธาตุอาหาร** พืชต้องการแร่ธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนาการ โดยแร่ธาตุอาหารเหล่านั้น จะไปเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืช และจะไปกระตุ้นขบวนการต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต

2.2.2.2 ปัจจัยที่ไม่จำเป็นต้องมี (negative factors) เป็นปัจจัยที่ไม่ควรมี ได้แก่ 1)โรค (diseases) 2) แมลงศัตรูพืช (insects pest) 3) วัชพืช (weeds) 4) สารที่เป็นพิษ (toxic substances)

2.3 ระบบโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกพืช

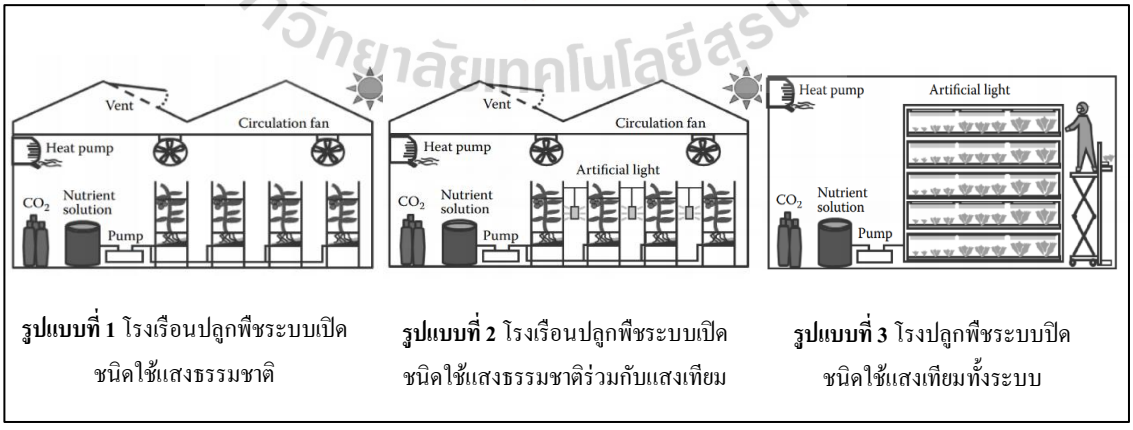
การสร้างระบบปลูกพืชที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในควบคุม เช่น สภาพอากาศ สารละลายธาตุอาหาร และปริมาณแสง เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง (Kim *et al*., 2000) ในปัจจุบันสามารถแบ่งประเภทของโรงเรือนปลูกพืชออกเป็น 3 รูปแบบ ตามระบบปลูก (ภาพที่ 1) ได้แก่

รูปแบบที่ 1 โรงเรือนปลูกพืชระบบเปิด ชนิดใช้แสงธรรมชาติ (plant Factory with sunlight) เหมาะกับเกษตรกรที่เพิ่งเริ่มต้น แต่อยากได้ผลผลิตที่สม่ำเสมอ ลดต้นทุนค่าแรงงาน ข้อดี

คือ ไม่ต้องมีเงินทุนมาก เพราะใช้แสงแดดในเป็นพลังงาน สำหรับการเจริญเติบโตของพืช และเหมาะกับประเทศไทยที่มีต้นทุนแสงแดดที่ดีอยู่แล้ว สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยใช้พัดลมระบายอากาศ และการนำความร้อนลอยขึ้นด้านบน (Hanan, 1998) แต่ข้อเสีย คือ ไม่สามารถป้องกันโรคหรือแมลงศัตรูพืชได้

รูปแบบที่ 2 โรงปลูกพืชระบบเปิด ชนิดใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงเทียม (plant factory with sunlight and supplemental light) ระบบนี้จะมีต้นทุนเพิ่มเข้ามาในเรื่องของการติดหลอดไฟ แต่ผลผลิตที่ได้คุ้มค่ากับการลงทุน ซึ่งนิยมใช้ในประเทศที่มีแสงแดดน้อย ต้องการเพิ่มแสงให้พืชเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง หากมีแสงไม่เพียงพอ อาจทำให้ผลผลิตตกต่ำลง (Heuvelink, 2005) หรือใช้กับพืชที่ต้องการแสงในการกระตุ้นการออกดอก ในประเทศไทยนิยมในการปลูกเบญจมาศ โดยเพิ่มระยะเวลาการให้แสงในเวลากลางคืน 2-4 ชั่วโมง เพื่อลดช่วงเวลากลางคืนให้สั้นลง ทำให้ต้นเบญจมาศชะลอการออกดอก เมื่อต้นเบญจมาศเจริญเติบโตเต็มที่ จึงงดการให้แสงในเวลากลางคืน และปล่อยให้เบญจมาศผลิตตาดอก ให้พร้อมออกดอก เพื่อได้ดอกเบญจมาศที่มีขนาดใหญ่ สมบูรณ์ และมีคุณภาพ การใช้เทคนิคนี้ทำให้เกษตรสามารถปลูกเบญจมาศได้ตลอดทั้งปี (ถกลวรรณ ศิริสวัสดิ์ และคณะ, 2561)

รูปแบบที่ 3 โรงปลูกพืชระบบปิด ชนิดใช้แสงเทียมทั้งระบบ (plant factory with fully artificial light) ระบบนี้ใช้แสงเทียม และควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ดีที่สุด เหมาะสำหรับการปลูกเพื่อทำการวิจัย หรือต้องการนำสารจากพืชไปสกัดเป็นยาและเวชสำอาง โดยมีข้อดีคือสามารถควบคุมและจัดการสภาพแวดล้อมได้ทั้งหมด เหมาะกับผู้ลงทุนที่มีจุดมุ่งหมายที่ชัดเจน ทำไปเพื่ออะไร และต้องการได้ผลผลิตและคุณภาพที่สม่ำเสมอ เนื่องจากค่อนข้างมีต้นทุนที่สูง



รูปแบบที่ 1 โรงเรือนปลูกพืชระบบเปิด ชนิดใช้แสงธรรมชาติ

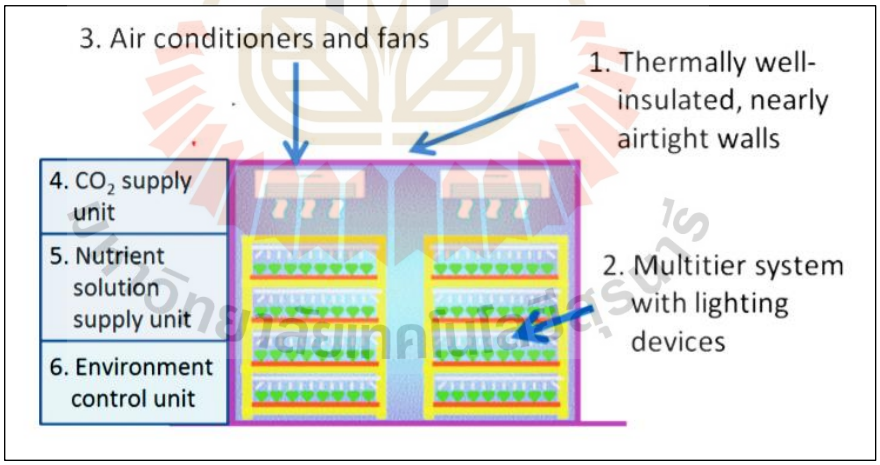
รูปแบบที่ 2 โรงเรือนปลูกพืชระบบเปิด ชนิดใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงเทียม

รูปแบบที่ 3 โรงปลูกพืชระบบปิด ชนิดใช้แสงเทียมทั้งระบบ

ภาพที่ 1 การจำแนกรูปแบบโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อมพืช (Merrill F. Brandon *et al.*, 2016)

2.4 องค์ประกอบของระบบการปลูกพืชในระบบปิดด้วยแสงเทียม

การปลูกพืชในระบบปิดด้วยแสงเทียม หรือ plant factory with artificial lighting (PFAL) สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในระบบได้ เช่น แสง น้ำ อากาศ ความชื้น แร่ธาตุอาหาร ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมภายนอก มีการออกแบบโครงสร้างการปลูกพืชให้เหมือนคลังสินค้า เพื่อป้องกันสภาพแวดล้อมที่มาจากภายนอก (Kozai *et al.*, 2000) และภายในระบบจะประกอบด้วย 6 องค์ประกอบหลัก ดังแสดงในภาพที่ 2 คือ 1) ผนังทึบแสง ที่มีฉนวนกันความร้อนจากภายนอก 2) ระบบปลูกพืชแนวตั้ง (ประกอบด้วยชั้นปลูกพืชสูง 4 - 16 ชั้น ภายในชั้นจะใช้หลอดไฟ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดแอลอีดี ในการให้แสงแทนแสงอาทิตย์) 3) เครื่องปรับอากาศและพัดลมระบายอากาศ ใช้สำหรับระบายอากาศ ให้เกิดอากาศหมุนเวียนในระบบ เพื่อเพิ่มการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การดูดน้ำของพืช และช่วยลดความร้อนและลดความชื้นภายในระบบ 4) ระบบควบคุมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งต้องควรควบคุมให้เพียงพอต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (ปริมาณ 1,000 ppm) 5) ระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหาร และ 6) ชุดเครื่องมือการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สำหรับควบคุมธาตุอาหารในระบบ



ภาพที่ 2 องค์ประกอบภายในระบบปลูกแบบ plant factory (Kozai, 2007)

การควบคุมปัจจัยการปลูกพืชให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และยังต้องศึกษาข้อมูลเชิงลึกอีกมาก เนื่องจากปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด มีความต้องการที่แตกต่างกัน พร้อมกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษายังมีต้นทุนที่สูงอยู่ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลผลิตและความคุ้มค่าในการปลูกระบบนี้ (Kozai, 2013) จำเป็นต้องเลือกศึกษาปัจจัย

ที่สำคัญ ในเบื้องต้นพบว่าแสงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการปลูกพืชระบบปิด เนื่องการเลือกแหล่งกำเนิดแสงในระบบนี้มีผลต่อต้นทุนการผลิต ถึง 28% (Ohyama, 2015) แต่นักวิจัยยังไม่สามารถปรับและวัดค่าพลังงานสเปกตรัมที่พืชต้องการได้อย่างแม่นยำ (Liu *et al*., 2011) ทำให้การทดลองในทำนองเดียวกัน มักพบปัญหาความไม่สม่ำเสมอในการทดลอง แม้เป็นการทดลองเดียวกัน (Kubota, 2009; Fu *et al*., 2012) เนื่องจากผลของคุณภาพแสงมีความซับซ้อน กอรปกับเทคโนโลยี PFAL ในประเทศไทย ยังขาดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับแสงสเปกตรัม ความยาวคลื่น และความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อหน่วยพื้นที่สำหรับการปลูกพืชรายชนิด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาการใช้แสงจากหลอด LED ในระบบปลูกพืชแบบปิด เพื่อให้ได้แสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิต โดยเลือกตัวอย่างในการศึกษา คือ ผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสม ในการพัฒนาระบบการผลิตผักกาดหอมในระบบปิดให้มีคุณภาพสูง และมีผลเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ

2.5 ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลองการปลูกพืชในระบบปิดด้วยแสงเทียม (ผักกาดหอม)

2.5.1 ข้อมูลทั่วไปของผักกาดหอม

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) จัดอยู่ใน วงศ์ Asteraceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป แถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและเอเชีย เป็นพืชฤดูเดียว เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ผู้คนนิยมบริโภคมากที่สุดในโลก ปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมที่ผลิตได้ทั่วโลกในปี ค.ศ. 2011 ประมาณ 24 ล้านตัน (FAOSTAT, 2011) ในทวีปยุโรปมีปริมาณการบริโภคผักกาดหอมเฉลี่ยวันละ 22.5 กรัมต่อคน คิดเป็น 6.5 เปอร์เซ็นต์ของผักที่บริโภคในแต่ละวัน (WHO, 2003) นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ทำให้ต้องมีการพัฒนาระบบการปลูกที่ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและมีมูลค่าทางการเศรษฐกิจสูง

2.5.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดหอม

ผักกาดหอม มีระบบรากแก้วที่สามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้ถึง 5 ฟุต มีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อเป็นที่เกิดของใบ เห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในระยะแทงช่อดอก ใบมีสีเขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือสีน้ำตาล ผักกาดหอมมีทั้งพันธุ์ที่ห่อหัว และไม่ห่อหัว ปัจจุบันสามารถแบ่งผักกาดหอมออกตามลักษณะของต้นและใบได้ 5 กลุ่ม คือ (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2543)

1) Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) บางครั้งเรียกว่า bunching lettuce หรือ loose-leaf (สลัดใบหรือผักกาดหอม) สายพันธุ์นี้จะมีลำต้นสั้น และใบเจริญเป็นกระจุก มีใบจำนวนมาก ลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในประเทศไทยนิยมปลูกพันธุ์นี้มากกว่าพันธุ์อื่น ๆ เนื่องจากทนความร้อนสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีใบสีเขียวอ่อน เช่น พันธุ์กรีนโอ๊ค Blackseeded Simpson และ Grand Rapid และพันธุ์ที่มีใบสีแดง เช่น พันธุ์เรดโอ๊ค เป็นต้น

2) Crisp-head (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) บางครั้งเรียกว่า head lettuce หรือ iceberg type (สลัดปลี ผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว หรือสลัดแก้ว) มีใบขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ใบจะม้วนและซ้อนกันคล้ายกะหล่ำปลี หัวแน่น ใบแข็ง และกรอบกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ นอกจากมีใบสีเขียวเข้ม ใบในมีสีเหลืองปนขาว ทนทานต่อการขนส่ง แต่จะเจริญเติบโตได้ดีในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °

3) Butterhead (*Lactuca sativa* var. *capitata Lam*.) บางครั้งเรียก Bibb หรือ Boston lettuce คือ สลัดกึ่งห่อ ซึ่งผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด จะมีใบอ่อนและนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบด้านในมีลักษณะคลายมีน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวใบ การปลูกในฤดูหนาวให้หัวขนาดใหญ่และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน การปลูกในฤดูร้อน ฤดูฝน ควรปลูกในโรงเรือนที่สามารถลดอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และป้องกันฝน บางสายพันธุ์ในกลุ่มนี้มีความต้านทานต่อ โรคใบด่างของสลัด (Lettuce Mosaic Virus : LMV) รสชาติดีแต่ไม่ทนทานต่อการขนส่ง

4) Cos หรือ Romain (*Lactuca sativa* var. *longefolia Bailey*) สลัดคอส สลัดโรเมน หรือผักกาดหวาน ใบมีลักษณะตั้งตรงยาวและห่อ สีเขียวเข้ม เนื้อใบหนามีเส้นใบนูนเด่นออกมาด้านหลัง ใบในจะมีปลายโค้งเข้าข้างในหัวกลมยาว

5) Stem (*Lactuca sativa* var. *asparagina*) ในบางครั้งเรียก Asparagus หรือ Celtuce (Celery-Lettuce) มีลักษณะลำต้นสูง ใบจะเรียวยาว เจริญติดๆ กันขึ้นไปจนถึงช่อดอกออก อาจจะทยอยเก็บเกี่ยวโดยเริ่มจากใบล่าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพืชผักสวนครัว ลำต้นสามารถนำไปประกอบอาหารและแปรรูปได้ เป็นพันธุ์ที่ไม่นิยมปลูกในประเทศไทย

จากผักกาดหอมทั้ง 5 กลุ่ม พบว่ากลุ่มที่นิยมปลูกเป็นการค้าในเมืองไทย ได้แก่ เรดคอรัล เรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค ปัตตาเวีย บัตเตอร์เฮด และ กรีนคอส เป็นต้น

2.5.4 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอม

ผักกาดหอม เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหาร โดยเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ และมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ซึ่งมีการวิเคราะห์ปริมาณสารบางชนิดดังแสดงในตารางที่ 1 (Ryder, 1998)

ตารางที่ 1 ปริมาณสารอาหารบางชนิดของผักกาดหอมในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

ชนิดของ	แร่ธาตุ					วิตามิน		น้ำ	เส้นใย
ผักกาดหอม	Ca	P	Fe	Na	K	เอ (IU)	ซี (กรัม)	เปอร์เซ็นต์	กรัม
Crisp	22	26	1.5	7	166	470	7	95.5	0.5
Butter	35	35	1.8	7	260	1,065	8	95.1	0.5
Cos	44	25	1.3	9	277	1,925	22	94.9	0.7
Leaf	68	11	1.4	9	264	1,900	18	94	0.7

ปริมาณสารสำคัญของผักกาดหอมจะผันแปรขึ้นอยู่กับ ชนิด พันธุ์ โครงสร้างและสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสารสำคัญที่พบ เช่น วิตามินซี วิตามินอี แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอล (Serafini *et al*., 2002; Nicolle *et al*., 2004; Llorach *et al*., 2008) สารแอนโทไซยานินและคลอโรฟิลล์ (Li *et al*., 2010) โดยเฉพาะแอนโทไซยานินนั้น มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าวิตามินซีและวิตามินอี (Rice-Evans *et al*., 1997) ซึ่งในผักกาดหอมเรดโอ๊ค พบว่ามีแอนโทไซยานินมากกว่าผักกาดหอมชนิดอื่นๆ อื่นประมาณ 25.9 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (Llorach *et al*., 2008)

2.5.5 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ผักกาดหอมนับเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ทำให้ต้องมีการพัฒนาระบบการปลูกที่ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและมีมูลค่าทางการเศรษฐกิจ ในประเทศไทยมีการนำระบบไฮโดรโพนิกส์ (hydroponics) มาใช้ในการปลูกผักกาดหอม ซึ่งข้อดีของระบบนี้ คือ สามารถให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชไปพร้อมกับน้ำ (อภิรักษ์ หลักชัยกุล, 2539) และสามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารและปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ตลอดระยะเวลาการปลูกพืช รวมทั้งสามารถควบคุมผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตได้แม่นยำ ทำให้สามารถทำรอบการปลูกพืชได้ดีกว่าการปลูกในดิน (ดิเรก ทองอร่าม, 2546)

เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ต้องมีการศึกษาสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ซึ่งผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีแสงแดดตลอดทั้งวัน และต้องการสภาพอากาศค่อนข้างเย็น เพื่อให้ได้ผักกาดหอมที่มีคุณภาพ นอกจากอุณหภูมิและแสง ต้องมีการควบคุมปัจจัยให้เหมาะสม เช่น ระบบปลูกที่เลือกใช้ การควบคุมระดับความเข้มข้นของสารละลาย EC (Electrical Conductivity) ควรอยู่ที่ 0.8 - 1.8 มิลลิซีเมนต์/เซนติเมตร (mS/cm) และระดับ pH อยู่ที่ 6.0 – 6.5 (อารักษ์ ธีรอำพน, 2544)

2.6 อุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและการห่อหัวของผักกาดหอม

จากสภาวะโลกร้อนที่เป็นปัญหาใหญ่ในปัจจุบัน ทำให้อุณภูมิสูงขึ้นส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยพบว่าในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย มีอุณหภูมิสะสมสูงถึง 46°ซ ทำให้การปลูกพืชในฤดูร้อนมักประสบปัญหาและส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิตที่ตกต่ำมากกว่าการปลูกในฤดูหนาว หรือฤดูฝน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกผักกาดหอม อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเจริญเติบโต ตั้งแต่การงอกจนถึงการเก็บเกี่ยว ในการงอกของเมล็ดผักกาดหอม ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 24-25°ซ ในขณะที่ช่วงการเจริญเติบโตต้องการอุณหภูมิที่ 24-29°ซ และขึ้นอยู่กับชนิดของผักกาดหอมด้วย (Rubatzky and Yamaguchi, 1997) สำหรับชนิดที่ไม่ห่อหัว ต้องการอุณหภูมิอยู่ที่ 21-26°ซ ในขณะที่ชนิดห่อหัวต้องการอุณหภูมิสำหรับการห่อหัวอยู่ระหว่าง 15-20°ซ (Knott, 1950) ด้วยเหตุนี้ผักกาดหอมจึงนิยมปลูกในภาคเหนือ

ของประเทศไทย ซึ่งมีอากาศเย็นกว่าภาคอื่นๆ หากต้องการปลูกผักกาดหอมในภูมิภาคอื่น อาจต้องคัดเลือกชนิดผักกาดหอมให้เหมาะสมหรือเลือกชนิดพันธุ์ทนอุณหภูมิสูงได้

ผักกาดหอมจึงจัดเป็นพืชที่อ่อนไหวต่อความร้อน (Kuo *et al.,* 1992) การปลูกผักกาดหอมในช่วงฤดูร้อนที่อุณหภูมิในแปลงมักขึ้นสูงเกินกว่า 30°ซ จึงประสบปัญหา เช่น ผักกาดหอมไม่เข้าหัวหรือไม่ห่อหัว ต้นมีขนาดเล็ก ใบไหม้ (tip burn) เส้นใบสีน้ำตาล (rib discoloration) มีรสขม และการแทงช่อดอกก่อนเวลาอันควร ส่งผลให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตไม่ดีเท่ากับการปลูกในฤดูหนาว (Nonnecke, 1989; Wurr et al., 1992; Jenni, 2005; wien, 1997) ขณะที่การปลูกในสภาพอุณหภูมิต่ำ จะทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจะช้าลงกว่าในช่วงที่อุณหภูมิสูง (Bakker, 1980) และในระยะการออกดอกออกของผักกาดหอมต้องการอุณภูมิต่ำร่วมกับช่วงแสงที่เหมะสม เนื่องจากช่วงแสงจะมีสำคัญอย่างยิ่งในการเปลี่ยนแปลงของตาดอก (Iwana and Motai, 1954) นอกจากแสงและอุณหภูมิ พบว่า หากปลูกผักกาดหอมในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงตั้งแต่ร้อยละ 85 ขึ้นไป จะทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกในช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ หากได้รับอุณหภูมิเพียง 20°ซ และได้รับช่วงแสง 14-16 ชม./วัน แล้ว ผักกาดหอมจะมีจำนวนใบเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15 (Tibbitts and Bottenberg, 1976)

2.7 แสงเทียมต่อการปลูกพืชในระบบปิดด้วยแสงเทียม

2.7.1 แสงต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช

แสงจะมีผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงแล้ว ยังสามารถควบคุมกระบวนต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพืช เช่น การงอก การพักตัวของเมล็ด การออกดอกของพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อแสงที่แตกต่างกัน โดยสามารถอธิบายเรื่องแสงได้ในเชิงปริมาณ (ความเข้มแสง) และในเชิงคุณภาพ (ความยาวคลื่น) ได้ดังนี้

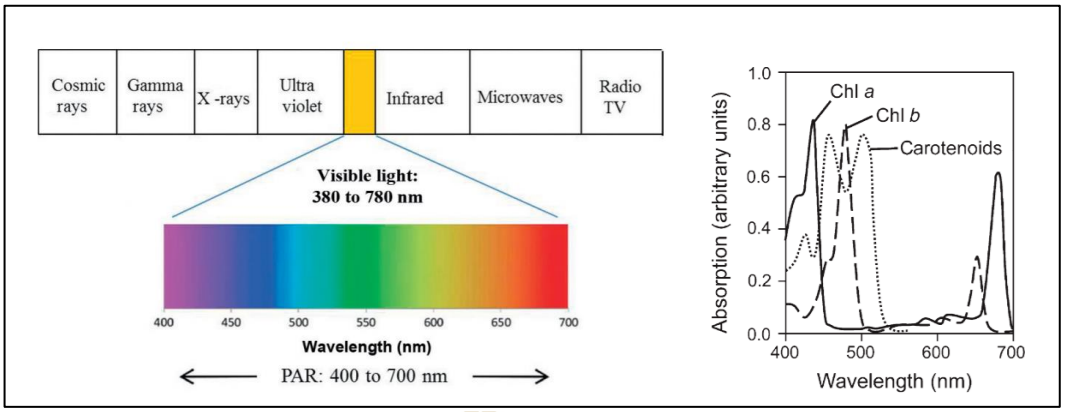
2.7.1.1 ความเข้มแสง (light intensity) คือ ปริมาณแสงของหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มแสงจะต่างกันไป ตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างระหว่างเส้นศูนย์สูตรของโลก ซึ่งบริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะมีความเข้มของแสงสูงที่สุด และค่อยๆ ลดลงตามเส้นรุ้งที่มุ่งไปหาขั้วโลกในช่วงเวลาเดียวกัน พืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการระดับความเข้มแสงที่แตกต่างกันออกไป เช่น พืชในร่ม ต้องการความเข้มแสงน้อยจึงจะเจริญเติบโตได้ดี ส่วนพืชกลางแจ้งต้องการความเข้มแสงสูงจึงจะเจริญเติบโตได้ดี ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่ต้องการแสงเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา หากพืชได้รับความเข้มแสงต่ำเกินไป การรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำจะมีน้อย ส่งผลให้อาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงน้อย เมื่อพืชมีสารอาหารน้อย ทำให้สร้างสารประกอบตั้งต้นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตเกิดได้น้อย พืชจึงมีอัตราการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตน้อย หรือ

ผลผลิตมีคุณภาพต่ำไปด้วย แต่หากพืชได้รับความเข้มแสงสูงเกินไป จะส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยจะทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และการสังเคราะห์แสงจะต่ำไปด้วย ทำให้อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นอย่างมาก พืชจึงมีอัตราการคายน้ำสูง หากอัตราการดูดน้ำของรากพืชไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำ พืชจะแสดงอาการขาดน้ำและทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้น เป็นผลให้ระบบเอนไซม์ลดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง นอกจากนี้เอนไซม์ที่มีส่วนในการสังเคราะห์แสงจะลดกิจกรรมลงด้วย ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

2.7.1.2 ช่วงแสง (light duration or photoperiod) คือ ระยะเวลาของแสงในแต่ละช่วงของวัน ซึ่งจะแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชบางชนิดเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืช จากระยะการเจริญเติบโต ทางกิ่งใบ (vegetative growth) ไปเป็นระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (reproductive growth) นั่นคือ ช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกและการลงหัวของพืชบางชนิด

2.7.1.3 คุณภาพของแสง (light quality) หรือความยาวคลื่นแสง (wavelength) แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นหลายระดับ โดยแสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 280 - 2,800 นาโนเมตร (nm) สำหรับแสงที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อการเจริญเติบโต สร้างต้น ใบ ดอก และผล คือ แสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (visible light) ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ที่ 380 - 770 nm คิดเป็นสัดส่วนที่พืชนำไปใช้ประโยชน์อยู่เพียง 43% อีก 4 % เป็นคลื่นแสงที่มองไม่เห็น (invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง หรือรังสีอัตราไวโอเลต (ultraviolet radiation : UV) มีความยาวคลื่นในช่วง 100 - 400 nm ซึ่งเป็นแสงที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้ในชั้นโอโซน (ozone) ในบรรยากาศ และอีก 53% เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง เรียกว่า รังสีอินฟาเรด (infrared radiation : IR) มีความยาวคลื่นที่ 770-2,800 nm มีผลจะทำให้ปล้องของพืชยาวออก

ช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียกว่า photo synthetically active radiation (PAR) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm โดยช่วงแสงที่มีการดูดซึมแสงเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์ ชนิด เอ และ บี (chlorophyll molecules type a & b) ได้ดีที่สุด ระหว่างความยาวคลื่น 400-480 nm (แสงสีน้ำเงิน) และระหว่าง 630-680 nm (แสงสีแดง) และช่วงแสงที่ดูดซึมสำหรับการสร้างแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ในพืช มีความยาวคลื่น 2 ช่วง คือ ช่วงความยาวคลื่น 455 และ 485 nm โดยการสร้างแคโรทีนอยด์ จะไม่ดูดซึมแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 530 nm



ภาพที่ 3 ความยาวคลื่นในช่วงที่มนุษย์มองเห็น และกราฟการดูดซึมแสงของคลอโรฟิลล์เอ และบี และการดูดซึมแสงของแคโรทีนอยด์ (Moss and Loomis, 1952 & Govindjee, 2004)

2.7.2 ความสัมพันธ์ของสีของแสง ความยาวคลื่น และบทบาทต่อพืช

การวัดปริมาณแสงที่พืชต้องการ หรือจำนวนพลังงานรวมที่แสงผลิตออกมาใช้ในการปลูกพืชนั้น ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิด เนื่องจาก พืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อช่วงแสงและความยาวคลื่นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเพาะเมล็ด การสร้างต้น ใบ ดอก และผลที่แตกต่างกัน แสงที่พืชใช้จะอยู่ในรูปพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หรือเทอมของจำนวนโฟตอน (photosynthetic photon flux density : PPFD) มีหน่วยเป็นไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu mol/m^2/s$) ซึ่งแสงธรรมชาติที่มาจากดวงอาทิตย์ จะประกอบด้วยสเปกตรัมแสง (light spectrum) หลายระดับ (250-3,000 nm) การที่แสงมีความยาวคลื่นแตกต่างกันส่งผลให้เกิดสีที่แตกต่างกันไปด้วย เพื่อให้ได้ผลดีที่สุดในการเลือกใช้แสงที่เหมาะสมในระบบการปลูกพืชแบบปิด สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสีของแสง ความยาวคลื่น และบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (อ้างอิงจาก Watjanatepin & Boonmee, 2017 ; Kozai, Niu & Takagaki, 2016)

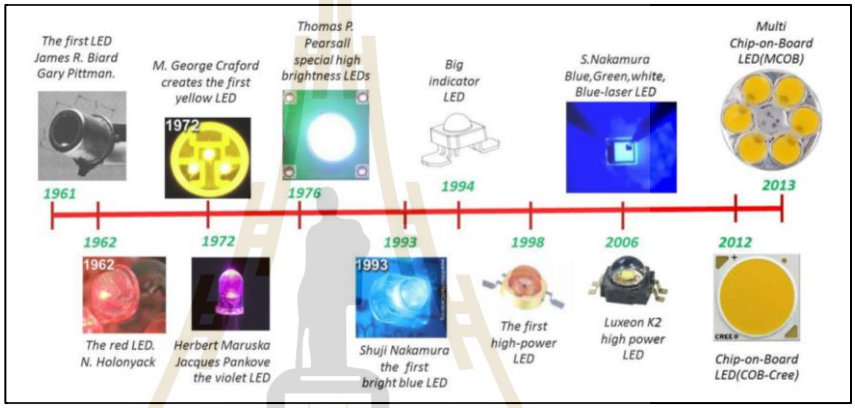
ช่วงคลื่น (nm)	สีของแสง	บทบาทต่อพืช
100-300	เหนือม่วง	-
100-280	ยูวี-ซี	การฆ่าเชื้อ
280-320	ยูวี-บี	ถูกเผาด้วยแดด
320-380	ยูวี-เอ	-
380-436	ม่วง	ไม่แน่นอน อาจมีผลจากแสงใกล้สีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับ 436 nm

ช่วงคลื่น (nm)	สีของแสง	บทบาทต่อพืช
436-495	น้ำเงิน	ความเข้มแสงในระดับต่าง ๆ มีความจำเป็นในการเพาะเมล็ดและอนุบาทพืช
495-566	เขียว	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสง
566-589	เหลือง	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสง
589-627	ส้ม	ดีที่สดสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสง
627-780	แดง	ดีที่สุด ทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง ช่วยเร่งการสร้างดอก เร่งการเจริญเติบโตของลำต้น (อัตราส่วนของแสงสีแดงไกลมีความสำคัญมาก)
800-2500	ใต้แดงช่วงคลื่นสั้น	ความร้อน
2500 ขึ้นไป	ใต้แดง	ความร้อน

2.7.3 ประโยชน์ของแสงเทียมต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบปิด

Shoji *et al*., 2013 พบว่าโรงงานปลูกพืชในประเทศญี่ปุ่น มีอัตราการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent : FL) อยู่ที่ 60% เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อและติดตั้งง่าย การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก และพบว่าโรงงานที่ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง หรือหลอดแอลอีดี (light-emitting diodes : LED) อยู่ที่ 27% และใช้หลอดความดันไอสูง (high pressure หรือ high-intensity discharge : HID) อยู่ที่ 13% แต่ในทศวรรษที่ผ่านมาพบว่าเกือบทุกโรงงานปลูกพืชเปลี่ยนจากการใช้หลอด FL เป็นหลอด LED เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดแสงใหม่ที่ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดไฟชนิดอื่น ๆ คือ ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าหลอด FL ถึงร้อยละ 90 ปล่อยความร้อนจากระบบน้อย มีอายุการใช้งานนานกว่าถึง 50,000-100,000 ชั่วโมง ในขณะที่หลอด FL มีอายุการใช้งานเพียง 2,000-3,000 ชั่วโมง (อภิชาติ พงษ์ศรีหดุลชัย และคณะ, 2557) จุดเด่นที่สำคัญอีกประการของหลอด LED คือ สามารถกำหนดสเปกตรัม และความเข้มแสง ให้แสงมีความใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์มากที่สุด (Yeh and Chung, 2009) เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชได้ (Watjanatepin and Boonmee, 2017) อย่างไรก็ตาม การใช้แสง LED ในโรงงานปลูกพืช ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นการศึกษา และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 4) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1961 ที่ค้นพบเพียง LED สีแดง (LED-R) จนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาจนสามารถเลือกใช้แสง LED ได้ทุกสี ซึ่งการกำหนดสีของแสง LED ขึ้นอยู่กับชนิดของ

วัสดุสารกึ่งตัวที่นำมาใช้สร้างหลอด LED (Gupta *et al.*, 2013) ดังนั้นการเลือกใช้แสง LED ในระบบการปลูกพืชแบบปิด ต้องเลือกให้เหมาะสมต้องการของพืช ซึ่งพืชต้องการแสงเหล่านั้นในช่วงความยาวคลื่นใด และต้องการแสงสีอะไร เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเพาะเมล็ด และการสร้างดอก ใบและผล พิจารณาได้จากตารางที่ 2 ทำให้ต้องมีการค้นคว้าวิจัยอีกมากถึงความต้องการแสงของพืชแต่ละชนิด เนื่องจากผลของแสงมีความซับ ซ้อนทั้งในเรื่องปริมาณแสง (light intensity) คุณภาพของแสง (light wavelength) และระยะเวลาให้แสง (photoperiod) ที่ให้ความคุ้มค่าในเชิงการค้า (พิชญ์สินี เพชรไทย และ ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2560)



ภาพที่ 4 เส้นเวลาแสดงการพัฒนาหลอดไดโอดเปล่งแสง หรือหลอดแอลอีดี

2.7.3 การใช้เลือกแสงเทียมในระบบการปลูกพืชแบบปิด

พืชมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงที่หลากหลายตั้งแต่ช่วงแสง UV จนถึงช่วงแสง Far-Red และคุณภาพแสงหรือความยาวคลื่นสเปกตรัมของแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตการพัฒนาสัณฐานวิทยาและการสร้างสารทุติยภูมิของพืช ซึ่งด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีแสงเทียมสำหรับปลูกพืช มีการพัฒนาหลอด LED ที่สามารถปรับเปลี่ยนสเปกตรัมของแสง เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการของพืชได้ ทำให้มีการศึกษาและวิจัยในเรื่องนี้มากขึ้นทั่วโลก (Bantis *et al.*, 2018) การตอบสนองต่อคุณภาพแสงของพืช มีความเฉพาะของพืชแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์พืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแสงที่พืชได้รับ เช่น ความเข้มแสง ระยะเวลาที่ได้รับแสง หรือคุณภาพแสง ตัวอย่างเช่น การตอบสนองของพืชต่อคุณภาพแสงบางอย่างที่นำไปใช้เป็นแสงเสริมในโรงเรือนปลูกพืช เมื่อเทียบกับไม่เสริมแสง หรือปลูกนอกสภาพโรงเรือน ทำให้พืชที่ได้รับแสงเสริมมีการเจริญเติบโตและสัณฐานวิทยาของพืชดีกว่าการไม่เสริมแสง แสดงให้เห็นว่า ว่าคุณภาพแสงนั้นมีผลต่อการสะสมเมตาโบไลต์ทุติยภูมิภายในของพืช แม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกัน

โดยปกติความเข้มแสงที่ใช้ในโรงงานปลูกพืช จะอยู่ในช่วง 150-250 μmol/m^2/s และให้แสงเฉลี่ย 16 ชม./วัน ซึ่งสอดคล้องกับค่า DLI (Daily Light Integral) หรือค่าที่พืชต้องการแสงในธรรมชาติ ซึ่งอยู่ที่ 8.6 - 14.4 μmol/m^2/d ในพืชจำพวกพืชสวน หากได้รับค่า DLI สูง จะช่วยส่งเสริมผลผลิตและการสะสมสารทุติยภูมิ (Schnitzler and Habegger, 2004; Chang *et al*., 2008) ซึ่งในระบบการปลูกพืชแบบปิด หากให้ค่า DLI ที่สูง จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย ในการลงทุนเรื่องหลอดไฟ และค่าพลังงาน ดังนั้นควรศึกษาช่วงการให้ค่า DLI ต่ำลง แต่ยังให้ผลผลิตที่สูงอยู่ เพื่อลดต้นทุนภายในระบบ

จากการศึกษาของ นภัทร และไชยยันต์ (2560) พบว่า มีการใช้แสงเทียมจากหลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทั้งที่ใช้ในห้องปลอดเชื้อเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และใช้ในการเพาะปลูกพืชภายใต้โรงเรือนแบบปิดและแบบเปิด โดยมีการทดลองใช้กับพืชหลายชนิด เช่น เบญจมาศ กล้วยไม้ ผักกาดหอม มะเขือเทศ สตรอเบอรี วานิลา ยูคาลิปตัส และโหระพา ฯลฯ พบว่า สีของแสงและช่วงความยาวคลื่นแสงที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด คือ แสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นแสงที่ 400-500 nm แสงสีเหลือง-ส้มที่มีความยาวคลื่นแสง 589-627 nm แสงสีแดงที่ความยาวคลื่นแสง 600-700 nm และแสงแดงไกลที่มีความยาวคลื่นแสง 700-800 nm โดยการปลูกพืชในแต่ละช่วงระยะเวลาตั้งแต่เพาะเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้น พืชมีความต้องการแสงที่มีความยาวคลื่นและสัดส่วนของแสงที่มีสีแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา คือ

1) ช่วงการเพาะกล้า เป็นช่วงเริ่มต้นปลูกจากการเพาะเมล็ดจนเป็นต้นกล้า ควรให้แสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 450 nm และแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นแสง 660 nm ในสัดส่วนแสงสีน้ำเงิน: สีแดง ประมาณ 75 : 25

2) ช่วงการเจริญเติบโต เป็นช่วงที่พืชมีใบและลำต้นสมบูรณ์ ควรเร่งการเจริญเติบโตด้วยการให้แสงที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์แสง เช่น การให้แสงสีน้ำเงิน (450 nm): แสงสีแดง (660 nm) ผสมกับแสงสีแดงไกล (790 nm) ที่สัดส่วน 50 : 50

3) ช่วงการออกดอกและแพร่พันธุ์ ควรให้แสงสีน้ำเงิน (450 nm) : แสงสีแดง (660 nm) ผสมกับแสงสีแดงไกล (790 nm) ในสัดส่วน 25 : 75 และทุกช่วงเวลาของการเพาะปลูกควรให้แสงสีขาวผสมเข้าไปด้วยประมาณร้อยละ 1

Kuan-Hung Lin (2013) ทำการทดลองแหล่งกำเนิดแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) เพื่อศึกษาอิทธิพลของแสงที่มีผลต่อคุณภาพ และการสะสมของคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ปริมาณโปรตีน ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ และปริมาณไนเตรท พร้อมทั้งศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสทางตลาด (ความกรอบ ความหวาน รูปร่าง และสี) ในระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ที่มีการให้แสง 16 ชม./วัน ที่อุณหภูมิ 24°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ค่า PPFD ที่ 210 μmol/m^2/s ภายใต้แสง LED-RB (LED สีแดงและสีน้ำเงิน)

และ LED-WRB (LED สีขาว สีแดงและสีน้ำเงิน) เปรียบเทียบกับการปลูกภายใต้หลอด FL พบว่า น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นผักกาดหอม รวมทั้งความกรอบ ความหวาน และรูปร่างของพืชที่ปลูกภายใต้แสง LED-WRB และหลอด FL มีค่าสูงกว่าการปลูกภายใต้แสง LED-RB สำหรับปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้และปริมาณไนเตรท พบว่า พืชที่ปลูกภายใต้แสง LED-WRB มีค่าสูงที่สุด ซึ่งจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า เราสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้เมื่อใช้แสงดังกล่าว ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกภายใต้แสง LED-WRB ให้ผลดีที่สุด จากการทดลองนี้สามารถจัดการกับปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ ทำให้สามารถช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจของการผลิตพืชคุณภาพและศักยภาพทางโภชนาการของผักที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ นอกจากนี้พบว่า การปลูกพืชด้วยแสงจากหลอดไฟ LED มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญเติบโต ได้ดีกว่าการปลูกด้วยแสงจากดวงอาทิตย์ (Barta *et al*., 1992; Yorio, 2001; Massa *et al.*, 2008) และมีการทดลองในการนำหลอดไฟ LED มาพัฒนาเพื่อใช้กระตุ้นการพัฒนาสรีรวิทยาของพืช (Tennessen *et al.*, 1994; Morrow, 2008) จากรายงานพบว่า มีการควบคุมแสงที่ใช้แทนแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยใช้หลอด LED ในการควบคุมสเปกตรัมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งได้มีงานวิจัยการทดสอบเกี่ยวกับความเหมาะสมของหลอดไฟ LED ที่มีแสงต่างกันและแสงที่รวมเข้าด้วยกันในลักษณะต่าง ๆ เพื่อการผลิตพืช เมื่อใช้ระบบไฟ LED เพื่อเร่งการเจริญเติบโตร่วมกับแสงอาทิตย์ พบว่าผักกาดหอมมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่า เมื่อเทียบกับพืชที่ปลูกในสภาพปกติที่อาศัยแสงอาทิตย์ (Chin and Chong, 2012)

การศึกษาแสงสีแดงจากหลอดไฟ LED ที่มีความยาวคลื่น 660 nm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่คลอโรฟิลล์ใช้ในการดูดซึม phytochrome ในผักกาดหอม (Yorio *et al.*, 2001) พบว่าแสง LED-R ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันที่ 660, 670, 680 และ 690 nm มีผลทำให้การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ของผักกาดหอมแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ความยาวคลื่นจากหลอดไฟ LED-R ในช่วง 640 nm ทำให้มีผลผลิตและการเจริญเติบโตสูงสุด (Lefsrud *et al.*, 2008; Samuoliene *et al.*, 2012; Zukauskas *et al.*, 2011; Samuoliene *et al.*, 2012) หรือประมาณ 660 nm (Brazaityte *et al.*, 2006; Mizuno *et al.*, 2011; Liand, 2009; Tarakanov *et al.*, 2011) พบว่า การให้แสง LED-R ทำให้พื้นที่ใบผักกาดหอมเพิ่มขึ้นถึง 33% เมื่อเทียบกับหลอดนีออนธรรมดา (Johkan *et al.*, 2010)

ในการทดลองของ สุทธิดา มณีเมือง และคณะ (2558) มีการศึกษาผลของความเข้มแสงจากชุดหลอด LED ที่ช่วงความยาวคลื่นแสงสีขาว สีแดง และสีน้ำเงิน (LED-W, LED-R และ LED-B) ที่มีความส่องสว่างเท่ากับ 327, 1,078 และ 4,338 ลักซ์ ตามลำดับ ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ซึ่งปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ภายในโรงเรือน เปรียบเทียบกับหลอด FL ที่มีความส่องสว่างเท่ากับ 2,028 ลักซ์ เมื่อสิ้นสุดช่วงการทดสอบ (21 วัน นับจากการย้ายพืชเข้าสู่โรงเรือน) พบว่าค่าเฉลี่ยของความสูงต้นและความยาวรากสูงสุดของผักกาดหอมที่ได้รับแสงจากชุดหลอด LED-B มี

ความสูงต้นและความยาวรากสูงสุดที่ 28.7 และ 23.1 เซนติเมตร น้ำหนักสดเท่ากับ 11.82 และ 1.12 กรัม/ต้น น้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.42 และ 0.06 กรัม/ต้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับแสงจากหลอด FL พบว่าความสูงต้นที่ปลูกด้วยชุดหลอด LED-B มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 3.7 และความยาวรากของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยชุดหลอด LED-B มีค่ามากกว่าร้อยละ 9.5 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยชุดหลอด LED-B และหลอด FL มีค่าไม่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มค่าความเข้มแสงหรือความส่องสว่าง (จาก 327 เป็น 4,338 ลักซ์) ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ในทางตรงกันข้าม ในกรณีของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยชุดหลอด LED-W ที่ความสว่าง 1,078 ลักซ์ มีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่าผักกาดหอมที่ปลูกด้วยชุดหลอด LED-R และ LED-B นอกจากนี้มีการทดลองของ Ki-Ho Son (2016) ได้ศึกษาผลของการเสริมแสงและไฟ LED เสริมที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช การผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในผักกาดหอมที่อุณหภูมิ 20 °ซ ความชื้นสัมพันธ์ 60 % ระยะเวลาแสง 12 ชม./วัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า การใช้แสงสีแดงและสีน้ำเงินช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต และทำให้พืชมีการสะสมของสารประกอบฟีนอลออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้แสงสีเขียวสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชรวมทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดและรากตลอดจนพื้นที่ใบ อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเปลี่ยนจาก LED จากสีเขียวที่เป็นสีขาวก่อให้เกิดความสว่างและประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นประมาณ 3.4 เท่า ซึ่งแสดงลักษณะการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของผักกาดหอมได้รับผลจากการผสมแสงอัตราส่วนต่างๆ จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นสีแดง สีน้ำเงินและสีเขียวของหลอด LED เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักกาดหอมและการเสริมสีขาว (ขึ้นอยู่กับชุดหลอด LED สีแดงและน้ำเงิน) อาจเหมาะเป็นแหล่งกำเนิดแสงเชิงพาณิชย์มากกว่าไฟ LED สีเขียว

จากการรายงานของ Le-Yan Chin *et al.* (2012) เรื่องเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกภายในอาคารโดยใช้แสงจากหลอด LED-R ที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 620-645 nm ร่วมกับหลอด LED-B ที่มีความยาวคลื่นแสงระหว่าง 440-460 nm โดยใช้หลอด LED รุ่น Luxeon Rebel ให้สัดส่วนระหว่างสีแดงต่อสีน้ำเงิน เท่ากับ 1:1 โดยใช้หลอด LED-R และ LED-B อย่างละ 8 หลอด แต่ละหลอดมีกำลัง ไฟฟ้า 2.457 วัตต์ การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบระหว่างการใช้แสงอาทิตย์ธรรมชาติกับแสงประดิษฐ์จากหลอด LED โดยทดลองในระยะ 8 และ 11 วัน ผลการศึกษาพบว่า แสงหลอด LED ทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดีกว่าทั้ง 2 ระยะเวลา โดยการเปรียบเทียบ พื้นที่ของใบ ความกว้างของใบ และน้ำหนักต้นสด พบว่ามีการเจริญเติบโตได้ผลดีกว่าแสงธรรมชาติอย่างชัดเจน นอกจากนี้การปลูกผักกาดหอมโดยใช้แสงสีแดงร่วมกับกับหลอดสีขาวสว่าง ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผักกาดหอม และพบว่าที่ความยาวคลื่น 660 nm เมื่อใช้หลอด LED เป็นตัวให้กำเนิด

แสงและควบคุมสภาพแวดล้อมจะช่วยในการกระตุ้นการสะสมแอนโทไซยานิน ในพืชใบสีแดง เมื่อเทียบกับการใช้หลอด LED ที่มีความยาวคลื่นสีฟ้าหรือสีเขียว (Mizuno *et al.*, 2011)

นอกจากการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น เมื่อควบคุมช่วงแสงจากหลอด LED แล้ว ยังพบว่ามีการควบคุมแสงเพื่อให้สารบางอย่างในพืชมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เช่น การใช้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 658 nm เสริมด้วยหลอดไฟสีขาวและในสภาพอากาศที่เย็น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของสารฟีนอลเพิ่มขึ้นถึง 6% ในผักกาดหอมระยะกล้า (Li and Kubota, 2009) ในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวเมื่อให้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 640 nm และมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมจะส่งผลให้ลูทีนเพิ่มขึ้นและมีการสะสม glucosinolate sinigrin ในกะหล่ำปลีใบสีแดง (Lefsrud *et al.*, 2008)

ในการศึกษาความเข้มแสงและระยะเวลาที่ได้รับ มีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดและเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด โดยปลูกในห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 °ซ ความชื้นสัมพันธ์ 80 % และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 0.058 % พบว่า ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดภายใต้แสงหลอด FL 8 หลอด เปิดนาน 16 ชั่วโมง ให้น้ำหนัก และวิตามินซีสูงที่สุด และพบว่าการปลูกผักกาดหอมเรดโอ๊คใต้แสงจากหลอด LED ให้ค่าน้ำหนักสูงที่สุด แต่ให้ปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกัน จากการปลูกใต้แสงจากหลอด FL 8 หลอด เปิดนาน 12 และ 16 ชั่วโมง และผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกใต้แสงไฟทั้งหมดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างทางสถิติ

นอกจากการศึกษาแสงที่เหมาะสมในพวกตระกูลผักกาดหอมแล้ว ยังมีการศึกษาแสงจากหลอด LED สีต่าง ๆ กับพืชชนิดอื่น เช่น การปลูกพืชสวนครัวภายในอาคารที่ไม่ได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติ โดยการนำหลอด LED และหลอด FL มาใช้ทดลองปลูกกับพืชสวนครัวประเภทกะเพรา โหระพาและแมงลัก เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ต่อ ชนิดของแสง ระยะเวลาการให้แสง และปริมาณความเข้มแสงที่ให้ต่างกัน ผลพบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด ที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่ใช้หลอด LED มีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพืชที่ปลูกภายในหลอด FL สำหรับผลการศึกษาระยะเวลาการให้แสงสว่าง พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่ให้แสงเป็นเวลา 12 ชม./วัน มีการเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่มีระยะเวลาการให้แสง 8 และ 4 ชม./วัน ขณะที่ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่ต่างกัน พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด ที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่มีความเข้มแสง 1100 ลูเมน มีการเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่มีความเข้มแสง 900 700 และ 500 ลูเมน ตามลำดับ นอกจากนี้ Xiao-Xue Fan *et al.* (2013) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนมะเขือเทศที่ปลูกภายใต้แสงเทียมจากหลอด LED ผสมกันระหว่างสีแดงและสีน้ำเงิน โดยการควบคุมความเข้มแสงที่แตกต่างกันระหว่าง 50-550 $\mu mol/m^2/s$ ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มแสงระหว่าง 300-550 $\mu mol/m^2/s$ มีผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมะเขือเทศและ health index มีอัตราการเติบโตที่ดีกว่า และที่ความเข้มแสงระหว่าง 300-450

$\mu mol/m^2/s$ พืชจะมีขนาดความหนาของใบสูงที่สุด และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงดีที่สุดที่ความเข้มแสง 300 $\mu mol/m^2/s$

จากตัวอย่างการทดลองดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคัดเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปิด เพื่อนำเทคโนโลยีดังกล่าวมา ต่อยอดให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศ หรือพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มโอกาสให้ประเทศไทยก้าวสู่การใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมมายกระดับความสามารถทางการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมเกษตรได้ในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

งานทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

การทดลองที่ 1 การศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในการปลูกแบบระบบปิด เพื่อให้ทราบผลในการเตรียมระบบปลูกที่เหมาะสมต่อการพัฒนาวิธีการปลูกผักกาดหอมในโรงงานการผลิตพืชด้วยแสงเทียม ได้แก่ การเตรียมต้นกล้า การเตรียมระบบปลูก และการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปิดเบื้องต้น

การทดลองที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดต่างๆ ที่ปลูกในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม ให้ทราบถึงผลของการแสดงออกของพันธุ์ เมื่อได้รับอุณหภูมิ และแสงที่แตกต่างกัน เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ในแต่ละสายพันธุ์ที่ปลูกในระบบแพลนต์แฟกตอรี

3.1 การทดลองที่ 1: การศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในระบบปลูกแบบปิด

3.1.1 เปรียบเทียบผลของระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารและสีแสง LED ที่เหมาะสมต่อรูปแบบการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมในระบบปลูกพืชแบบปิด ซึ่งพันธุ์ผักกาดหอมที่เลือกใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

1) ความเข้มข้นของสารละลาย A B สูตร SUT NS-6 ดังตารางภาคผนวกที่ 1 (อารักษ์ ธีรอำพน, 2544) ให้ค่าความเข้มข้นของ ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 1) น้ำเปล่า 14 วัน 2) ค่า EC 0.8 mS/cm 14 วัน 3) ค่า EC 1.8 mS/cm 14 วัน 4) น้ำเปล่า 7 วัน ร่วมกับค่า EC 1.8 mS/cm 7 วัน และ 5) น้ำเปล่า 7 วัน ร่วมกับ ค่า EC 0.8 mS/cm 7 วัน โดยทุกทรีตเมนต์ควบคุมค่า pH = 5.5-6.5

2) การให้แสง 2 แบบ คือ แสงจากหลอด LED-W และแสงจากหลอด LED-WRB

โดยเพาะเมล็ดผักกาดหอมลงในฟองน้ำตามกรรมวิธีที่กำหนด ควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25°ซ และให้แสง 16 ชม./วัน ค่า PPFD 100 $\mu mol/m^2/s$ หลังจากต้นกล้าอายุครบ 14 วัน ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้าโดยมีรายละเอียด ดังนี้ ความสูงต้นกล้า ความกว้างทรงพุ่มต้นกล้า

วัดจาก ความยาวราก (เซนติเมตร; ซม.) จำนวนใบจริง (ใบ) และบันทึกวัดค่าความเขียวใบ SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) โดยวัดใบจริงของต้นกล้า ตรงกลางใบที่มีการแผ่ขยายเต็มที่จากเครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD-502 ทำการสุ่มวัด 3 ต้นต่อซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย

จากผลการทดลองที่ 3.1.1 เลือกวิธีการเพาะกล้าที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะกล้าในระบบปิด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานการเพาะกล้าในการทดลองต่อไป

3.1.2 เปรียบเทียบอิทธิพลของระบบปลูกและสีแสง LED ที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมในระบบปลูกแบบปิด ซึ่งผักกาดหอมที่เลือกใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาจำนวน 2 ชนิด 1) ผักกาดหอมชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมคอส และบัตเตอร์เฮด 2) ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

1) ระบบปลูก 2 ระบบ คือ การปลูกในวัสดุปลูก ประกอบด้วย ขุยมะพร้าว ทราย และแกลบ อัตราส่วน 2:1:1 และการปลูกในสารละลายไฮโดรโปนิกส์

2) การให้แสง 2 แบบ คือ แสงจากหลอด LED-W และ LED-WRB (PPFD 100 $\mu mol/m^2/s$)

เพาะกล้าผักกาดหอมตามผลการทดลองของกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.1 เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 14 วัน ย้ายกล้าปลูกตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25°ซ และให้แสง 16 ชม./วัน หลังจากย้ายกล้าให้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็น EC 1.5-1.8 mS/cm และควบคุม pH ที่ 5.5-6.5 เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วันเก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกข้อมูล

จากผลการทดลองที่ 3.1.2 เลือกระบบปลูกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลองที่ 3.1.3 ในการศึกษาความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ในการใช้พื้นที่ให้คุ่มค่ามากที่สุดและได้จำนวนผลผลิตมากที่สุด

3.1.3 เปรียบเทียบอิทธิพลของความเข้มแสงและสีแสง LED ที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมในระบบปลูกแบบปิด ซึ่งผักกาดหอมที่เลือกใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาจำนวน 2 ชนิด 1) ผักกาดหอมชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมคอส และบัตเตอร์เฮด 2) ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

1) ความเข้มแสงจำนวน 2 ระดับ คือ 100 และ 150 $\mu mol/m^2/s$

2) การให้แสง 2 แบบ คือ แสงจากหลอด LED-W และ LED-WRB

เพาะกล้าผักกาดหอมตามผลการทดลองของกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.1 เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 14 วัน ย้ายกล้าปลูกตามระบบปลูกที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.2 ตามกรรมวิธีที่

กำหนด โดยควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25°ซ และให้แสง 16 ชม./วัน หลังจากย้ายกล้าให้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็น EC 1.5-1.8 mS/cm และควบคุม pH ที่ 5.5-6.5 เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกข้อมูล

จากผลการทดลองที่ 3.1.3 เลือกความเข้มแสงที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลองที่ 3.1.4 ในการศึกษาระยะเวลาการให้แสงต่อวันที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอม เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของผักกาดหอม และเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อเวลาในการเพิ่มหรือลดชั่วโมงการให้แสงต่อวัน เพื่อให้คุ่มค่ามากที่สุดและได้จำนวนผลผลิตมากที่สุด

3.1.4 เปรียบเทียบอิทธิพลของระยะเวลาการให้แสงต่อวันและสีแสง LED ที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมในระบบปลูกแบบปิด ซึ่งผักกาดหอมที่เลือกใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาจำนวน 2 ชนิด 1) ผักกาดหอมชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมคอส และบัตเตอร์เฮด 2) ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

1) ระยะเวลาการให้แสง 2 ระดับ คือ 16 และ 20 ชม./วัน

2) การให้แสง 2 แบบ คือ แสงจากหลอด LED-W และ LED-WRB

เพาะกล้าผักกาดหอมตามผลการทดลองของกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.1 เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 14 วัน ย้ายกล้าปลูกตามระบบปลูกที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.2 ตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25°ซ ความเข้มแสงที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.3 หลังจากย้ายกล้าให้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็น EC 1.5-1.8 mS/cm และควบคุม pH ที่ 5.5-6.5 เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วันเก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกข้อมูล

จากผลการทดลองที่ 3.1.4 เลือกระยะเวลาการให้แสงต่อวันที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลองที่ 2 ในการศึกษาอุณหภูมิ แสงที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม เมื่อได้รับอุณหภูมิ และแสงที่แตกต่างกัน เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ในแต่ละสายชนิด

3.1.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิร่วมกับแสงต่อการเจริญเติบโต และการเกิดสีใบของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ

1) อุณหภูมิ 23°ซ ร่วมกับ แสง LED-W

2) อุณหภูมิ 23°ซ ร่วมกับ แสง LED-WRB

3) อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับ แสง LED-W

4) อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับ แสง LED-WRB

5) อุณหภูมิ 35°ซ ร่วมกับ แสงอาทิตย์ (Control)

เพาะกล้าผักกาดหอมตามผลการทดลองของกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.1 เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 14 วัน ย้ายกล้าปลูกตามกรรมวิธีที่กำหนด และหลังจากย้ายกล้าให้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็น EC 1.5-1.8 mS/cm และควบคุม pH ที่ 5.5-6.5 เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกข้อมูล โดยการปลูกในระบบปิดค่า PPFD: 150 µmol/m^2/s ให้แสง 16 ชม./วัน การปลูกกลางแจ้ง ค่า PPFD 1,300±300 µmol/m^2/s

3.1.6 ศึกษาผลของความเข้มแสง คุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต และการเกิดสีใบของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 6 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ

1) แสง LED-W ค่า PPFD 100±50 µmol/m^2/s

2) แสง LED-W+ ค่า PPFD 200±50 µmol/m^2/s

3) แสง LED-W ร่วมกับแสง UV ค่า PPFD 200±50 µmol/m^2/s

4) แสง FL ค่า PPFD 200±50 µmol/m^2/s

5) แสงอาทิตย์ที่พรางแสง 50% ค่า PPFD 500±100 µmol/m^2/s

6) แสงอาทิตย์ 100% ค่า PPFD 1,300±300 µmol/m^2/s

เพาะกล้าผักกาดหอมตามผลการทดลองของกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3.1.1 เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 14 วัน ย้ายกล้าปลูกตามกรรมวิธีที่กำหนด และหลังจากย้ายกล้าให้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็น EC 1.5-1.8 mS/cm และควบคุม pH ที่ 5.5-6.5 เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกข้อมูล โดยการปลูกในระบบปิด ควบคุมการให้แสง 16 ชม./วัน

3.1.7 บันทึกผลการทดลอง เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วัน บันทึกข้อมูลความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ พื้นที่ใบ ค่าความเขียวใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งผลผลิต และในการทดลองที่ 3.1.5 และการทดลองที่ 3.1.6 บันทึกข้อมูลเพิ่มเติม คือ การวัดสีใบ ทำการสุ่มวัดจำนวน 3 ต้นต่อซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

(1) ความสูงต้น โดยวัดจากพื้นฟองน้ำถึงปลายยอด (ซม.)

(2) ความกว้างทรงพุ่ม โดยวัดความกว้างจากของทั้งสองด้านแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (ซม.)

(3) จำนวนใบ โดยนับจำนวนใบที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ (ใบ)

(4) พื้นที่ใบ โดยนำใบทั้งหมดของต้นมาวัดพื้นที่ใบทั้งหมดด้วยเครื่อง AREA METER (ตร.เซนติเมตร)

(5) ผลผลิต บันทึกลักษณะผลผลิต ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำหนักสด โดยการนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และน้ำหนักแห้งผลผลิต นำผลผลิตสดอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบันทึกผลด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (กรัม/ต้น)

(6) ค่าความเขียวใบ SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) โดยใช้เครื่อง SPAD chlorophyll meter รุ่น SPAD 502 plus เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 09.00 - 12.00 น. วัดจากใบที่ 4 นับจากยอดของต้นผักกาดหอมจำนวน 3 ใบ และหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

(7) ค่าของการเกิดสีใบ ในรูปของค่า L*a*b เก็บข้อมูลบริเวณกลางใบและปลายใบ โดยใช้เครื่อง spectrophotometer Hunter lab

L* = เป็นค่าแสดงค่าความสว่าง ซึ่งมีค่า 0-100 (0 เท่ากับสีดำ และ 100 เท่ากับสีขาว)

a* = เป็นค่าแสดงสีแดงและสีเขียว a* เป็น (+) วัตถุเป็นสีแดง a* (-) วัตถุเป็นสีเขียว

b* = เป็นค่าแสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน b* (+) วัตถุเป็นสีเหลือง b* (-) วัตถุเป็นสีน้ำเงิน

3.1.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความปรวนแปรทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS version 14.0 (Levesque and SPSS Inc., 2006)

3.2 การทดลองที่ 2 : การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดต่างๆ ที่ปลูกในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม

วิธีการทดลอง ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แสงและอุณหภูมิ เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่นิยมบริโภคในประเทศไทย เลือกชนิดผักกาดหอม ดังนี้

1) ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค (ชนิดใบเขียว)
ผักกาดหอมเรดโอ๊ค (ชนิดใบแดง)

2) ผักกาดหอมชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด (ชนิดห่อหัวไม่แน่น)
ผักกาดหอมแก้วหอมห่อ (ชนิดห่อหัวแน่น)

โดยเพาะกล้าด้วยวิธีที่ดีที่สุดของผลการทดลองที่ 3.1.1 เมื่อครบ 14 วัน ย้ายกล้าลงระบบปลูก ด้วยวิธีของผลการทดลองที่ 3.1.2 จากนั้นให้สารละลายธาตุอาหารตามสูตร SUT NS-5 ค่า EC อยู่ระหว่าง 1.5-1.8 mS/cm ค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5-6.5 ระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถว เท่ากับ 30 x 30 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิที่ใช้ปลูก 3 ระดับ คือที่ 20 23 และ 25°ซ

ปัจจัยที่ 2 สัดส่วนของช่วงแสง LED จำนวน 4 แบบ (PPFD: 200±50 μmol/m^2/s)

1) แสง LED-W

2) แสง LED-WRB

3) แสง LED-RB

4) แสง FL

โดยมีระยะเวลาการให้แสงต่อวัน เลือกจากผลจากการทดลองที่ 3.1.4 เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วัน ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกข้อมูล ทำการทดลอง ณ ห้องควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกพืช (Phytotron) ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60-70% อาคารเกษตรภิวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บันทึกผลการทดลอง

เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วัน บันทึกข้อมูลความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งผลผลิต ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี ปริมาณแคโรทีนอยด์บันทึกปริมาณธาตุอาหาร และบันทึกลักษณะประจำพันธุ์ที่พบด้วยการประเมิน รูปร่าง และสี ทำการสุ่มวัดจำนวน 3 ต้นต่อซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

(1) ความสูงต้น โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายยอด (ซม.)

(2) ความกว้างทรงพุ่ม โดยวัดความกว้างจากของทั้งสองด้านแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (ซม.)

(3) จำนวนใบ โดยนับจำนวนใบที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ (ใบ)

(4) ความยาวราก โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายราก (ซม.)

(5) ผลผลิต บันทึกลักษณะผลผลิต ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำหนักสด โดยการนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และน้ำหนักแห้งผลผลิต นำผลผลิตสดอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบันทึกผลด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (กรัมต่อต้น)

(6) บันทึกปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยนำใบผักกาดหอมใบที่ 3 ถัดลงมาจากส่วนยอดที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่มาชั่งน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม บดใบพืชให้ละเอียด ใส่ขวดแก้วและเติมสารละลายอะซิโตนความเข้มข้น 95.5 % ปริมาตร 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่ควบคุมอุณหภูมิ 4 °ซ ในสภาพมืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 662 644 และ 470 nm โดยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV-vis spectrophotometer หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ตามวิธีของ Shabala et al. (1998) และ Lichtenthaler (1987)

(7) บันทึกปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้น ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และไนเตรท โดยนำใบผักกาดหอมใบที่ 3-5 ถัดลงมาจากส่วนยอดที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่มาบดใบพืชให้ละเอียดจนได้น้ำคั้นพร้อมสำหรับการวัดค่า แล้วนำน้ำคั้นจากใบผักกาดหอมไปวัดค่าโพแทสเซียม ด้วยเครื่องวัดค่าโพแทสเซียมไอออน (Potassium Ion) แบบปากกากันน้ำ HORIBA รุ่น LAQUAtwin K-11 ค่า

แคลเซียม ด้วยเครื่องวัดค่าแคลเซียมไอออน (Calcium Ion) แบบปากกากันน้ำ HORIBA รุ่น LAQUAtwin Ca-11 และค่าไนเตรท ด้วยเครื่องวัดค่าไนเตรทไอออน (Nitrate Ion) แบบปากกากันน้ำ HORIBA รุ่น LAQUAtwin NO3 -11

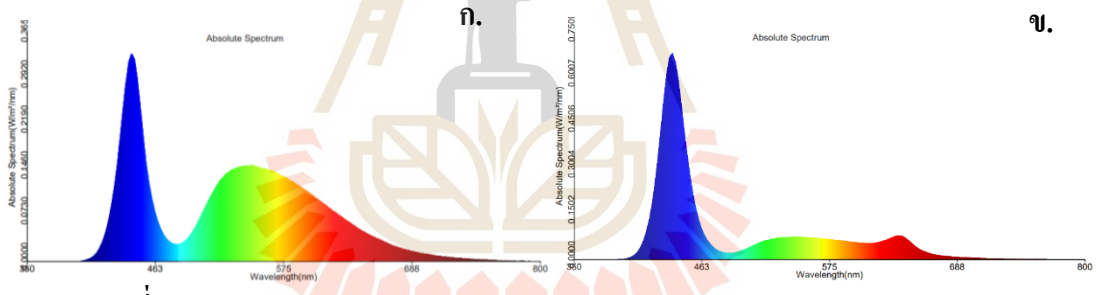
(8) บันทึกลักษณะประจำพันธุ์ ด้วยการประเมิน รูปร่าง และสี ด้วยสายตา

วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความปรวนแปรทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS version 14.0 (Levesque and SPSS Inc., 2006)

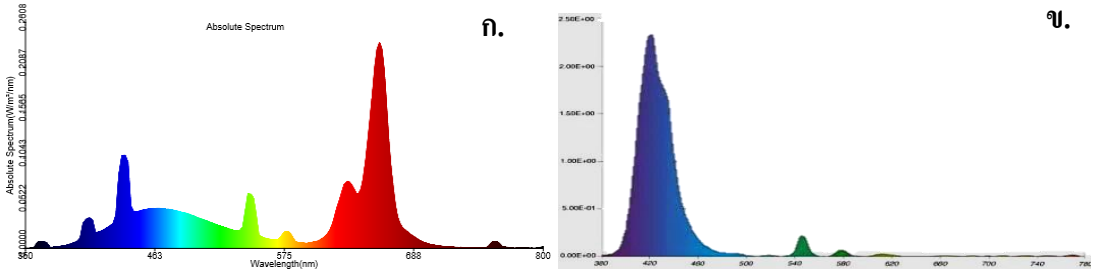
3.3 สเปกตรัมแสงที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ภาพแสดงสเปกตรัมแสงที่ใช้ในการทดลองที่ 1 การศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในการปลูกแบบระบบปิด



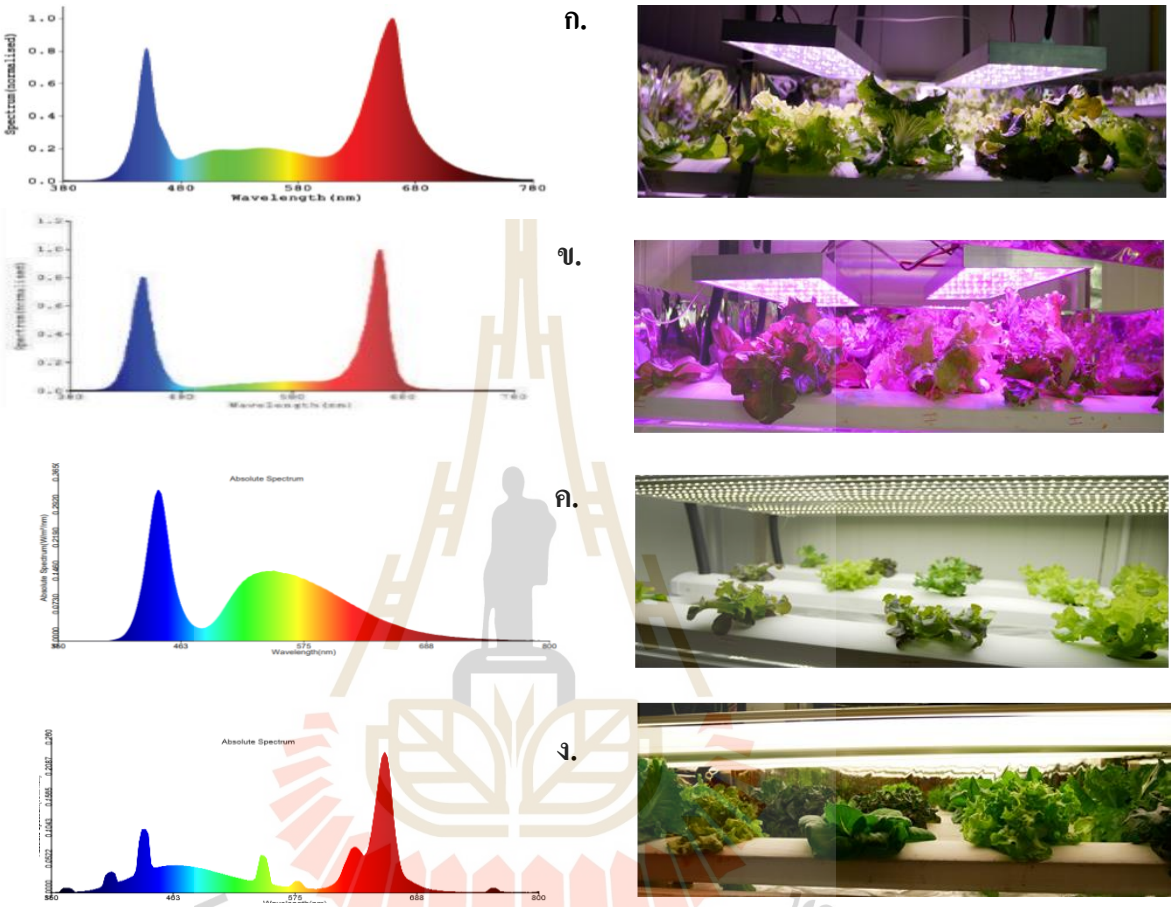
ภาพที่ 5 ก. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-W ข. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-WRB

3.3.2 ภาพแสดงสเปกตรัมแสงที่ใช้ในการทดลองที่ 1 (เพิ่มเติม) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกของสีใบ ในผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คในการปลูกแบบระบบปิด



ภาพที่ 6 ก. สเปกตรัมแสงจากหลอด Fluorescence ข. สเปกตรัมแสงจากหลอด UV

3.3.3 ภาพแสดงสเปกตรัมแสงที่ใช้ในการทดลองที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในระบบแพลนต์แฟกตอรี



ภาพที่ 7 ก. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-WRB ข. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-RB ค. สเปกตรัมแสงจากหลอด LED-W และ ง. สเปกตรัมแสงจากหลอด FL

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในการปลูกแบบระบบปิด

4.1.1 ผลของของระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารและแสงที่เหมาะสมต่อการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด

ศึกษาอิทธิพลของ 2 ปัจจัย ได้แก่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และแหล่งกำเนิดแสง ต่อการเจริญเติบโต และค่าความเขียวใบของต้นกล้า โดยใช้ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค เป็นตัวแทน ควบคุมอุณหภูมิที่ 25°ซ ค่า PPFD 100 μmol/m^2/s และให้แสง 16 ชม./วัน

(ก) ต้นกล้าผักกาดหอมเรดโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 ระดับความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ พบว่ากล้าพี่เพาะด้วยค่า EC 0.8 mS/cm เป็นเวลา 14 วัน (T2) และการเพาะกล้าด้วยน้ำเปล่า 7 วัน ร่วมกับ ค่า EC 1.8 mS/cm 7 วัน (T4) ให้ความสูง ความกว้าง และความยาวรากของต้นกล้าเฉลี่ยสูงสุด และพบว่าการไม่ให้ธาตุอาหารแก่ต้นกล้า (เพาะกล้าด้วยน้ำเปล่า 14 วัน ; T1) ทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตต่ำที่สุด ปัจจัยที่ 2 แหล่งกำเนิดแสง พบว่าสีของแสง LED ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและค่าความเขียวใบของต้นกล้า (ตารางที่ 3) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และแหล่งกำเนิดแสง

(ข) ต้นกล้าผักกาดหอมกรีนโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 ระดับความเข้มข้นของสารลายธาตุอาหารทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ พบว่าต้นกล้าที่เพาะด้วยระดับความเข้มข้นสารละลาย T2 ให้ความสูง และความกว้างของต้นกล้าเฉลี่ยสูงสุด แต่ไม่ต่างจากการเพาะกล้าด้วยระดับความเข้มข้นสารละลาย T4 และ T5 และพบว่าการไม่ให้ธาตุอาหารแก่ต้นกล้า ทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตต่ำที่สุด ปัจจัยที่ 2 แหล่งกำเนิดแสง พบว่าแสง LED ทั้ง 2 แบบ ทำให้การเจริญเติบโตของกล้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และแหล่งกำเนิดแสง

สรุปการทดลอง จากผลการทดลองรูปแบบการเพาะกล้าในระบบปิดที่เหมาะสมที่สุด คือ การเพาะกล้าด้วยสารละลายเข้มข้น EC 0.8 mS/cm 14 วัน ตั้งแต่วันเพาะวันแรก จะทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าดีที่สุด ซึ่งเลือกใช้ข้อมูลชุดนี้ เป็นพื้นฐานการเพาะกล้าในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารและแสงต่อการเจริญเติบโต และค่าความเขียวใบ ของกล้าผักกาดหอมกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค

ปัจจัยการทดลอง	กล้าผักกาดหอมกรีนโอ๊ค					กล้าผักกาดหอมเรดโอ๊ค				
	การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)				ค่าความเขียวใบ (SCMR)	การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)				ค่าความเขียวใบ (SCMR)
	ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	ความยาวราก		ความสูง	ความกว้าง	ความยาวราก	จำนวนใบ (ใบ)	
ระดับธาตุอาหาร (A) [3/]										
T1	0.90±0.04c[1/]	1.55±0.14b	1.17±0.17d	4.10±0.51b	8.35±0.40c	0.45±0.07d	0.72±0.10d	4.37±0.16c	1.17±0.17b	13.47±0.47b
T2	3.45±0.28a	5.53±0.41a	4.00±0.00a	5.28±0.60ab	13.40±0.38a	3.25±0.44a	4.97±0.36a	9.55±0.58a	3.17±0.17a	27.62±2.88a
T3	1.80±0.67bc	2.58±0.87b	2.00±0.45c	6.42±0.37a	14.08±0.36a	1.58±0.44c	2.58±0.58c	7.08±1.09b	1.67±0.33b	24.27±0.35a
T4	2.78±0.14ab	4.80±0.21a	3.17±0.17b	5.00±0.48ab	13.73±0.31a	2.72±0.23ab	5.08±0.23a	9.53±0.5.00a	3.0±0.00a	24.52±0.41a
T5	3.42±0.29a	4.53±0.2a	3.00±0.00b	6.13±0.93a	12.53±0.3b	2.15±0.08bc	3.85±0.23b	8.02±0.79ab	3.00±0.00a	25.13±0.66a
แสง LED (B)										
LED-WRB	2.50±0.34	4.02±0.55	2.73±0.31	5.84±0.42	12.44±0.46	1.99±0.29	3.41±0.50	7.22±0.53	2.40±0.20	23.36±2.47
LED-W	2.44±0.34	3.58±0.39	2.60±0.27	4.93±0.34	12.40±0.68	2.07±0.35	3.47±0.45	8.20±0.70	2.40±0.27	22.64±1.21
F-test										
A	**[2/]	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A x B	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
% CV	21.64	27.93	5.71	0.84	0.92	20.11	22.17	14.54	0.84	0.78

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

[3/] ความเข้มข้นของสารละลาย T1 คือ น้ำเปล่า 14 วัน, T2 คือ EC 0.8 mS/cm 14 วัน , T3 คือ EC 1.8 mS/cm 14 วัน, T4 คือ น้ำเปล่า 7 วัน + EC 1.8 mS/cm 7 วัน,T5 คือ น้ำเปล่า 7 วัน + EC 0.8 mS/cm 7 วัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.2 ผลของระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด

จากการศึกษาอิทธิพลของ 2 ปัจจัย ได้แก่ ระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสง ต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอม 2 ชนิด 1) ชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค 2) ชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมคอส และบัตเตอร์เฮด โดยปลูกในระบบปิด ควบคุมอุณหภูมิที่ 25°ซ ความเข้มแสง 100 $\mu mol/m^2/s$ และให้แสง 16 ชม./วัน

4.1.2.1 ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 ระบบปลูก มีผลทำให้ความสูงต้น ค่าความเขียวใบ และผลผลิตสดเฉลี่ยต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ทำให้มีความสูงต้น ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักสดต่อต้นเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยวัสดุปลูก แต่พบว่าความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของทั้ง 2 ระบบปลูกให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4) ปัจจัยที่ 2 พบว่าแหล่งกำเนิดแสงสีจากหลอด LED ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้าง พื้นที่ใบ และผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าเมื่อปลูกด้วยแสง LED-WRB มีผลทำให้จำนวนใบและค่าความเขียวใบเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยแสง LED-W เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่พบอิทธิพลร่วมกันระหว่างระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสง

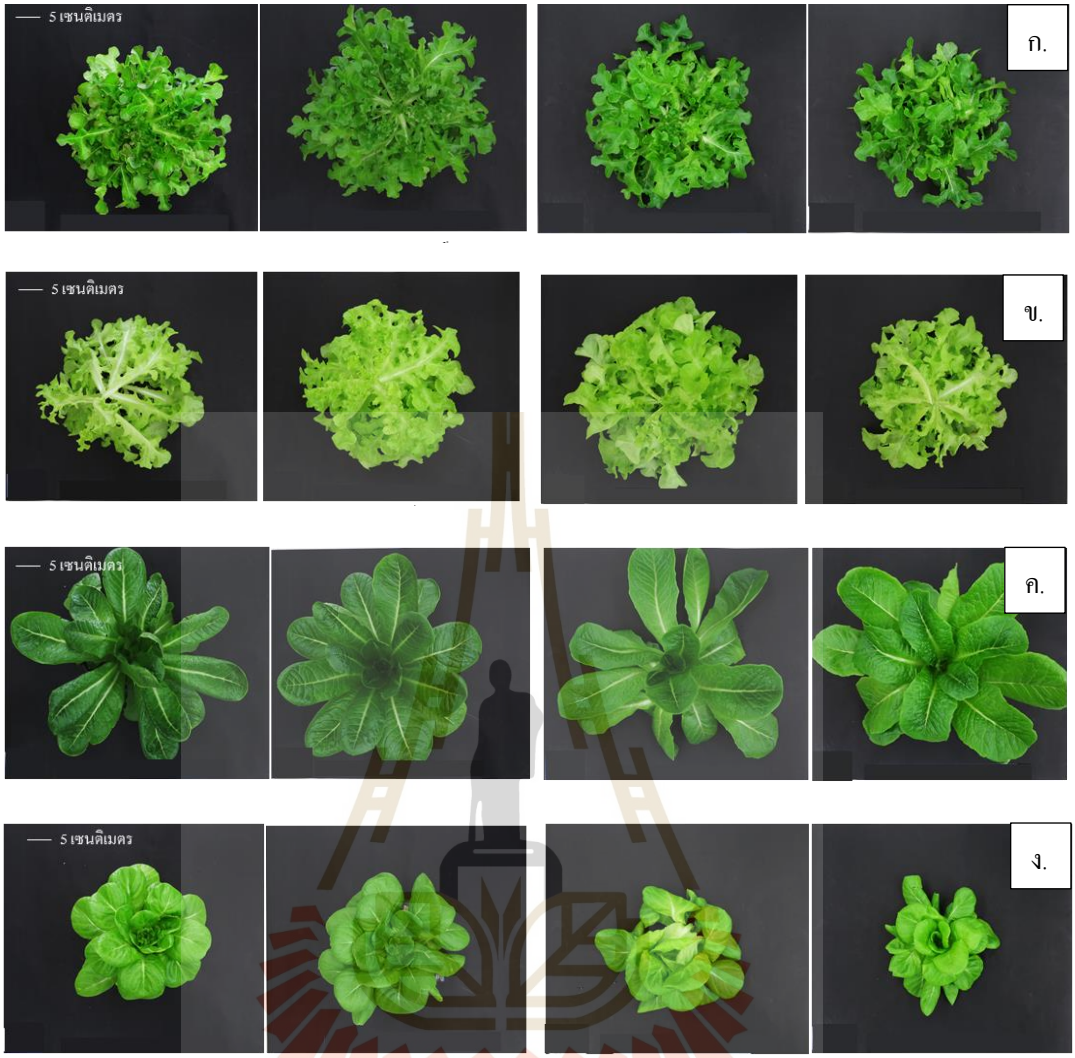
(ข) ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 ระบบปลูกทั้ง 2 ระบบให้การเจริญเติบโตและผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ทำให้มีความสูง ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้นเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยวัสดุปลูก แต่พบว่าระบบปลูกทั้ง 2 ระบบ ให้ค่าความเขียวใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปัจจัยที่ 2 แหล่งกำเนิดแสง พบว่าสีของแสงหลอด LED มีผลทำให้ความกว้างทรงพุ่มและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผลผลิตต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการปลูกด้วยแสง LED-W จะให้ความกว้างทรงพุ่มและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยแสง LED-WRB แต่พบว่าความสูงต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และน้ำหนักสดเฉลี่ยของแสง LED ทั้ง 2 สี ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และความกว้างทรงพุ่มของต้นผักกาดหอม โดยการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ร่วมกับแสง LED-WRB ทำให้มีความสูงต้นสูงสุด 34 ซม. และการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ร่วมกับแสง LED-W ทำให้มีความกว้างทรงพุ่มสูงสุดที่ 40 ซม. ดังแสดงในตารางที่ 8

4.1.2.2 ผักกาดหอมชนิดห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมคอส ปัจจัยที่ 1 ระบบปลูกทั้ง 2 ระบบให้การเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบ พื้นที่ใบ และน้ำหนักสดของผลผลิตต่อต้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ทำให้มีจำนวนใบ พื้นที่ใบ และน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยวัสดุปลูก และพบว่าการปลูกในระบบไฮโดรโปนิสส์ส่งผลให้มีค่าความเขียวใบเฉลี่ยสูงสุด แต่ทั้ง 2 ระบบทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปัจจัยที่ 2 พบว่าแหล่งกำเนิดแสงจากหลอด LED ทั้ง 2 แบบ ทำให้การเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักของผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 6) สำหรับการพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความเขียวใบ โดยการปลูกด้วยวัสดุปลูก ร่วมกับแสง LED-WRB ทำให้มีค่าความเขียวใบสูงสุดที่ 39.28 ดังแสดงในตารางที่ 5

(ข) ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด พบว่าปัจจัยที่ 1 ระบบปลูกทั้ง 2 ระบบ ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสดต่อต้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ทำให้ความสูงต้น จำนวนใบ และน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยวัสดุปลูก แต่พบว่าระบบปลูกไม่ทำให้พื้นที่ใบ ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ ปัจจัยที่ 2 พบว่าแหล่งกำเนิดแสง LED ทั้ง 2 แบบ ทำให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และค่าความเขียวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การปลูกภายใต้แสง LED-W มีผลทำให้จำนวนใบ พื้นที่ใบ และปริมาณผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสง

สรุปผลการทดลอง จากการศึกษาระบบปลูกสำหรับการปลูกพืชในระบบปิด พบว่าผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ **ผักกาดหอมเรดโอ๊ค**เหมาะสมต่อการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ด้วยแสง LED-WRB **ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค**เหมาะสมต่อการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ด้วยแสง LED-W และผักกาดหอมชนิดห่อหัว ได้แก่ **ผักกาดหอมคอส**เหมาะสมต่อการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ด้วยแสง LED-WRB หรือ LED-W และ**ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด**เหมาะสมต่อการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ด้วยแสง LED-W กล่าวโดยสรุปพบว่าระบบไฮโดรโปนิกส์ มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด จึงเลือกใช้ระบบไฮโดรโปนิกส์ เป็นระบบปลูกพื้นฐานในการศึกษาความเข้มแสงที่เหมาะสมในการทดลองชุดต่อไป พบข้อสังเกต คือแสงมีผลต่อชนิดของผักกาดหอม และพบว่าผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบนี้รูปทรงอาจยังไม่ได้คุณภาพตามความต้องการของตลาด กล่าวคือ รูปทรงที่พบมีอาการยืดเข้าหาแสง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลของระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด ก. ผักกาดหอมเรดโอ๊ค และ ข. ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค เป็นตัวแทนชนิดไม่ห่อหัว ค. ผักกาดหอมคอส และ ง. ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด เป็นตัวแทนชนิดห่อหัว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4 ผลของระบบปลูก และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด

ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อ	ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			พื้นที่ใบ	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
			ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	(ตร.เซนติเมตร/ต้น)		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
เรดโอ๊ค	ระบบปลูก	ไฮโดรโปนิกส์	17.42±0.23a[1/]	36.42±1.43	24.08±0.72	1947.00±118.32	26.45±0.35a	78.61±6.22a	5.96±0.36
	(A)	วัสดุปลูก	11.58±0.42b	35.92±0.42	24.17±0.81	1911.00±111.95	23.11±0.46b	62.96±3.83b	5.21±0.25
	แสง LED	LED-W	14.42±0.87	35.75±0.63	22.67±0.69b	1794.00±79.76	24.05±0.57b	64.05±5.03	5.36±0.32
	(B)	LED-WRB	14.58±1.01	36.58±1.35	25.58±0.57a	2064.00±130.02	25.50±0.64a	77.52±5.57	5.82±0.32
	F-test	A	**[2/]	ns	ns	ns	**	*	ns
		B	ns	ns	**	ns	**	ns	ns
		A x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	% CV		4.01	5.24	4.48	10.04	2.51	12.19	1.78
กรีนโอ๊ค	ระบบปลูก	ไฮโดรโปนิกส์	30.83±2.25a	36.50±1.43a	28.92±1.73a	2638.00±217.07a	10.99±0.28	115.21±11.28a	6.42±0.6a
	(A)	วัสดุปลูก	22.92±1.10b	32.17±0.55b	21.42±0.68b	1616.00±75.57b	10.93±0.24	59.94±2.93b	5.12±0.22b
	แสง LED	LED-W	26.25±1.78	35.50±1.64a	25.67±1.83	2174.00±209.54	11.00±0.21	95.01±12.18	6.53±0.4a
	(B)	LED-WRB	27.50±2.42	33.17±0.51b	24.67±1.62	2080.00±236.62	10.92±0.31	80.14±10.79	5.02±0.47b
	T-test	A	**	**	**	**	ns	**	*
		B	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
		A x B	*	**	ns	ns	ns	ns	ns
	% CV		10.69	3.95	8.62	13.5	3.88	15.43	11.47

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5 ผลของระบบปลูก และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบปิด

ผักกาดหอมชนิดห่อ	ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			พื้นที่ใบ (ตร.เซนติเมตร/ต้น)	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
			ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)			น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
คอส	ระบบปลูก	ไฮโดรโปนิกส์	30.33±1.78[1/]	39.25±1.73	25.58±0.66a	2584.00±111.53a	36.49±0.28a	147.86±8.27a	8.22±0.55
	(A)	วัสดุปลูก	26.17±1.38	37.33±0.96	22.50±0.62b	1576.00±54.06b	38.15±0.60b	92.18±3.27b	7.30±0.19
	แสง LED	LED-W	28.08±1.94	38.33±1.43	24.00±0.52	2023.00±147.93	36.84±0.28	118.88±8.79	7.63±0.44
	(B)	LED-WRB	28.42±1.45	38.25±1.43	24.08±0.99	2137.00±197.67	37.81±0.66	121.16±11.93	7.89±0.43
	F-test	A	ns[2/]	ns	**	**	*	**	ns
		B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		A x B	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	% CV		9.99	6.56	4.67	6.98	1.94	8.62	9.57
บัตเตอร์เฮด	ระบบปลูก	ไฮโดรโปนิกส์	15.25±0.52a	30.75±1.62	27.75±1.16a	1238.00±125.93	24.07±0.70	60.89±5.94a	4.27±0.48
	(A)	วัสดุปลูก	12.92±0.61b	30.00±0.59	25.00±0.7b	1108.00±57.97	22.90±0.50	45.75±3.53b	3.50±0.37
	แสง LED	LED-W	14.00±0.83	30.25±1.51	28.33±0.84a	1327±101.07a	23.83±0.7	62.83±5.48a	4.62±0.45a
	(B)	LED-WRB	14.17±0.44	30.5±0.86	24.42±0.87b	1018±73.77b	23.14±0.54	43.82±3.42b	3.16±0.3b
	T-test	A	**	ns	*	ns	ns	*	ns
		B	ns	ns	**	*	ns	**	*
		A x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	% CV		6.84	7.27	5.12	13.05	4.64	13.31	17.00

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 6 ผลของระบบปลูกร่วมกับแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต และค่าความเขียวใบ ของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค และคอส

ปัจจัยการทดลอง		กรีนโอ๊ค		คอส
		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)		ค่าความเขียวใบ
แสง	ระบบปลูก	ความสูง	ความกว้าง	(SCMR)
LED-WRB	ไฮโดรโปนิกส์	34.00±2.88a[1/]	33.00±0.89b	36.33±0.29b
	วัสดุปลูก	21.00±0.77b	33.33±0.56b	39.28±0.99a
LED-W	ไฮโดรโปนิกส์	27.67±3.15ab	40.00±1.83a	36.66±0.50b
	วัสดุปลูก	24.83±1.80b	31.00±0.68b	37.02±0.30b
F-test		*[2/]	**	*

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.1.3 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด

จากการศึกษาอิทธิพลของ 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มแสง (ค่า PPFD) และแหล่งกำเนิดแสง ต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอม 2 ชนิด 1) ชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค 2) ชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมคอส และบัตเตอร์เฮดโดยปลูกในระบบปิด ด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 25°ซ และให้แสง 16 ชม./วัน

4.1.3.1 ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 ค่า PPFD ทั้ง 2 ระดับ ทำให้ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นไม่ต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าค่า PPFD ที่ 150 µmol/m^2/s ทำให้ค่าความเขียวใบสูงกว่าการปลูกด้วยค่า PPFD 100 µmol/m^2/s อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (26.49 และ 24.45 ตามลำดับ) และค่า PPFD 150 µmol/m^2/s ทำให้พื้นที่ใบ และปริมาณผลผลิตต่อต้นสูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ปัจจัยที่ 2 พบว่าแสง LED ไม่ส่งผลต่อความสูง ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ค่าความเขียวใบ และผลผลิตต่อต้น แต่พบว่าแสง LED-WRB มีผลทำให้พื้นที่ใบเฉลี่ยสูงสุดแตกต่างจากแสง LED-W อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 7) และเมื่อการพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างค่า PPFD และแหล่งกำเนิดแสง

(ข) ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 พบว่าค่า PPFD ทั้ง 2 ระดับ ให้ความกว้างทรงพุ่ม ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้ค่า

PPFD 100 μmol/m^2/s ทำให้ความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าที่ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s แต่การปลูกที่ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ให้ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นสูงกว่าการปลูกด้วยค่า PPFD 100 μmol/m^2/s^1 ปัจจัยที่ 2 พบว่าการปลูกด้วยแสง LED-WRB ทำให้ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบต่อต้นสูงกว่าการปลูกด้วยแสง LED-W แต่แสงทั้ง 2 แบบไม่ทำให้ค่าความเขียวใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งต่อต้นแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 7) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบอิทธิพลระหว่างค่า PPFD และแหล่งกำเนิดแสง โดยพบว่าการปลูกที่ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ร่วมกับแสง LED-W ทำให้มีน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อต้นสูงถึง 107.87 กรัม/ต้น ดังแสดงในตารางที่ 13

4.1.3.2 ผักกาดหอมชนิดห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมคอส ปัจจัยที่ 1 พบว่าค่า PPFD ทั้ง 2 ระดับ ให้ค่าเฉลี่ยความสูง ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และน้ำหนักสดต่อต้นไม่ต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าการปลูกด้วยค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ทำให้จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งต่อต้นสูงกว่าการการปลูกที่ค่า PPFD 100 μmol/m^2/s อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยที่ 2 พบว่าแสง LED-WRB ให้ความสูงทรงพุ่มเฉลี่ยต่อต้นสูงสุด แต่แสงทั้ง 2 แบบไม่มีผลต่อความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ พื้นที่ใบ ค่าความเขียวใบ และผลผลิต (ตารางที่ 8) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างค่า PPFD และแหล่งกำเนิดแสง

(ข) ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด ปัจจัยที่ 1 พบว่าการปลูกด้วยค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ทำให้ความสูงทรงพุ่ม จำนวนใบ พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักสดน้ำหนักแห้งต่อต้นเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยค่า PPFD 100 μmol/m^2/s แต่พบว่าค่า PPFD ทั้ง 2 ระดับ ให้ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปัจจัยที่ 2 พบว่าแสง LED-WRB ทำให้ความสูงต้น พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งต่อต้นเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วยแสง LED-W (ตารางที่ 8) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบอิทธิพลระหว่างค่า PPFD และแหล่งกำเนิดแสง โดยการปลูกที่ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ร่วมกับ แสง LED-WRB ทำให้มีความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุดที่ 9.17 ซม. ดังแสดงตารางที่ 9

สรุปผลการทดลอง จากการศึกษาความเข้มแสงสำหรับการปลูกพืชในระบบปิด พบว่าผักกาดหอมทั้ง 2 ชนิด 1) ชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค 2) ชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮด เหมาะสมต่อการปลูกที่ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s และแสง LED-WRB จะช่วยทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด จึงเลือกใช้ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s เป็นความเข้มแสงพื้นฐานในการศึกษาระยะเวลาการให้แสงต่อวันที่เหมาะสมในการทดลองชุดต่อไป พบข้อสังเกต คือยิ่งค่าความเข้มแสงสูงยิ่งทำให้ผักกาดหอมให้ผลผลิตดีขึ้น และรูปทรงมีคุณภาพมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 9

ภาพที่ 9 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด ก. ผักกาดหอมเรดโอ๊ค และ ข.ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค เป็นตัวแทนชนิดไม่ห่อหัว ค.ผักกาดหอมคอส และ ง.ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด เป็นตัวแทนชนิดห่อหัว

ตารางที่ 7 ผลของความเข้มแสง และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด

ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อ	ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			พื้นที่ใบ	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
			ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	(ตร.เซนติเมตร/ต้น)		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
เรดโอ๊ค	**ความเข้มแสง**	100	28.50±0.59[1/]	9.25±0.76	23.42±0.99	1556.00±54.05b	24.45±0.46b	62.44±3.28b	2.52±0.14b
	(A) µmol/m^2/s	150	29.29±0.27	10.25±0.54	22.67±0.58	1764.00±54.62a	26.49±0.61a	84.74±3.10a	3.49±0.19a
	แสง LED	LED-W	29.04±0.61	9.83±0.81	23.25±1.04	1559.00±59.84b	26.04±0.53	76.15±5.78	3.02±0.26
	(B)	LED-WRB	28.75±0.28	9.67±0.51	22.83±0.51	1761.00±49.26a	24.90±0.65	71.03±2.90	2.99±0.18
	F-test	A	ns[2/]	ns	ns	**	*	**	**
		B	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
		A x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	% CV		2.86	11.94	6.15	4.84	3.61	7.34	9.73
กรีนโอ๊ค	**ความเข้มแสง**	100	33.13±0.48a	13.75±1.35	20.50±0.82	1823.00±82.67	11.62±0.55b	90.83±4.36	2.63±0.28b
	(A) µmol/m^2/s	150	31.92±0.51b	12.42±0.42	22.17±0.78	1900.00±78.41	13.66±0.55a	100.00±4.97	3.49±0.28a
	แสง LED	LED-W	31.46±0.44b	13.92±1.22	20.08±0.74b	1795.00±67.27	12.36±0.75	96.07±5.43	3.08±0.31
	(B)	LED-WRB	33.58±0.39a	12.25±0.68	22.58±0.75a	1928.00±88.99	12.92±0.45	94.76±4.23	3.04±0.30
	T-test	A	*	ns	ns	ns	*	ns	*
		B	**	ns	*	ns	ns	ns	ns
		A x B	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
	% CV		2.09	13.3	5.91	7.33	7.43	7.87	16.35

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 8 ผลของความเข้มแสง และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบปิด

ผักกาดหอมชนิดห่อ	ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			พื้นที่ใบ (ตร.เซนติเมตร/ต้น)	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
			ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)			น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
คอส	**ความเข้มแสง**	100	31.00±0.98[1/]	18.08±0.71	22.42±0.75b	1679.00±104.55	36.57±1.41	106.02±6.19b	3.29±0.18
	(A) µmol/m^2/s	150	32.88±1.27	17.00±0.43	24.67±0.63a	2023.00±158.49	39.74±0.66	134.46±8.53a	4.32±0.44
	แสง LED	LED-W	32.79±0.68	16.58±0.48b	23.33±0.67	1835.00±129.47	39.25±0.92	122.09±8.51	3.78±0.26
	(B)	LED-WRB	31.08±1.46	18.50±0.58a	23.75±0.86	1866.00±156.91	37.06±1.35	118.4±8.66	3.84±0.45
	F-test	A	ns[2/]	ns	*	ns	ns	*	ns
		B	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
		A x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	% CV		6.20	5.29	5.14	12.96	5.01	11.03	16.02
บัตเตอร์เฮด	**ความเข้มแสง**	100	20.33±1.20	5.00±0.41b	19.42±0.90b	536.63±56.68b	23.49±0.49b	28.94±1.60b	1.00±0.09b
	(A) µmol/m^2/s	150	19.96±1.05	7.00±0.77a	22.75±0.99a	885.36±70.98a	26.40±0.96a	45.57±2.60a	1.69±0.18a
	แสง LED	LED-W	18.63±0.96	4.67±0.31b	20.75±1.12	598.21±73.86b	24.76±0.77	35.32±2.75	1.08±0.16b
	(B)	LED-WRB	21.67±1.10	7.33±0.72a	21.42±1.01	823.79±77.53a	25.13±0.97	39.19±3.70	1.61±0.16a
	T-test	A	ns	**	*	**	*	**	**
		B	ns	**	ns	*	ns	ns	**
		A x B	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
	% CV		8.91	11.88	7.44	13.70	5.48	9.97	15.69

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 9 ผลของความเข้มแสงร่วมกับแหล่งกำเนิดแสงต่อความสูงต้นของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดและน้ำหนักสดต่อต้นของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค

ปัจจัยการทดลอง		พันธุ์กรีนโอ๊ค	พันธุ์บัตเตอร์เฮด
แสง	ความเข้มแสง	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)
LED-WRB	150±20 µmol/m^2/s	9.17±0.60a[1/]	92.14±6.88ab
	100±20 µmol/m^2/s	5.50±0.76b	97.38±5.37ab
LED-W	150±20 µmol/m^2/s	4.83±0.60b	107.87±6.04a
	100±20 µmol/m^2/s	4.50±0.22b	84.27±6.14b
	F-test	*	**

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05

4.1.4 อิทธิพลของความระยะเวลาการให้แสงต่อวันและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด

จากการศึกษาอิทธิพลของ 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาการให้แสงต่อวันและแหล่งกำเนิดแสง ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอม 2 ชนิด 1) ชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค 2) ชนิดห่อหัว ได้แก่ ผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮด โดยปลูกในระบบปิด ระบบไฮโดรโปนิกส์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 25°ซ และค่า PPFD 150 µmol/m^2/s

4.1.4.1 ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 พบว่าการให้แสง 16 และ 20 ชม./วัน และปัจจัยที่ 2 แหล่งกำเนิดแสง LED ทั้ง 2 แบบ ทำให้การเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตต่อต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 10) แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบว่าการปลูกผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊ค โดยให้แสง 20 ชม./วัน ร่วมกับแสง LED-WRB ทำให้ค่าความเขียวใบสูงสุดที่ 28.32 แต่ไม่ต่าง จากการปลูกด้วยระยะเวลาการให้แสง 16 ชม./วัน ร่วมกับแสง LED-W ที่ให้ค่าความเขียวใบ 28.24 ดังแสดงในตารางที่ 12

(ข) ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค ปัจจัยที่ 1 พบว่าการให้แสง 20 ชม./วัน ทำให้จำนวนใบและน้ำหนักแห้งต่อต้นเฉลี่ยสูงสุด แต่การให้แสงทั้ง 16 และ 20 ชม./วัน ไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยความความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบ ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักสดต่อต้นแตกต่างกันทางสถิติ ปัจจัยที่ 2 พบว่าแสง LED-W ทำให้จำนวนใบต่อต้นเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่แหล่งกำเนิดแสง LED ทั้ง 2 แบบ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบ ค่าความเขียวใบ และผลผลิต แต่แสง LED-WRB มีผลทำให้ความสูงต้นเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกด้วย LED-W (ตารางที่ 10) และเมื่อ

พิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบว่ามีผลต่อค่าความเขียวใบ โดยพบว่าการปลูกภายใต้การให้แสง 20 ชม./วัน ร่วมกับแสง LED-WRB และ LED-W และการให้แสง 16 ชม./วัน ร่วมกับแสง LED-W ทำให้ค่าความเขียวใบสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 12

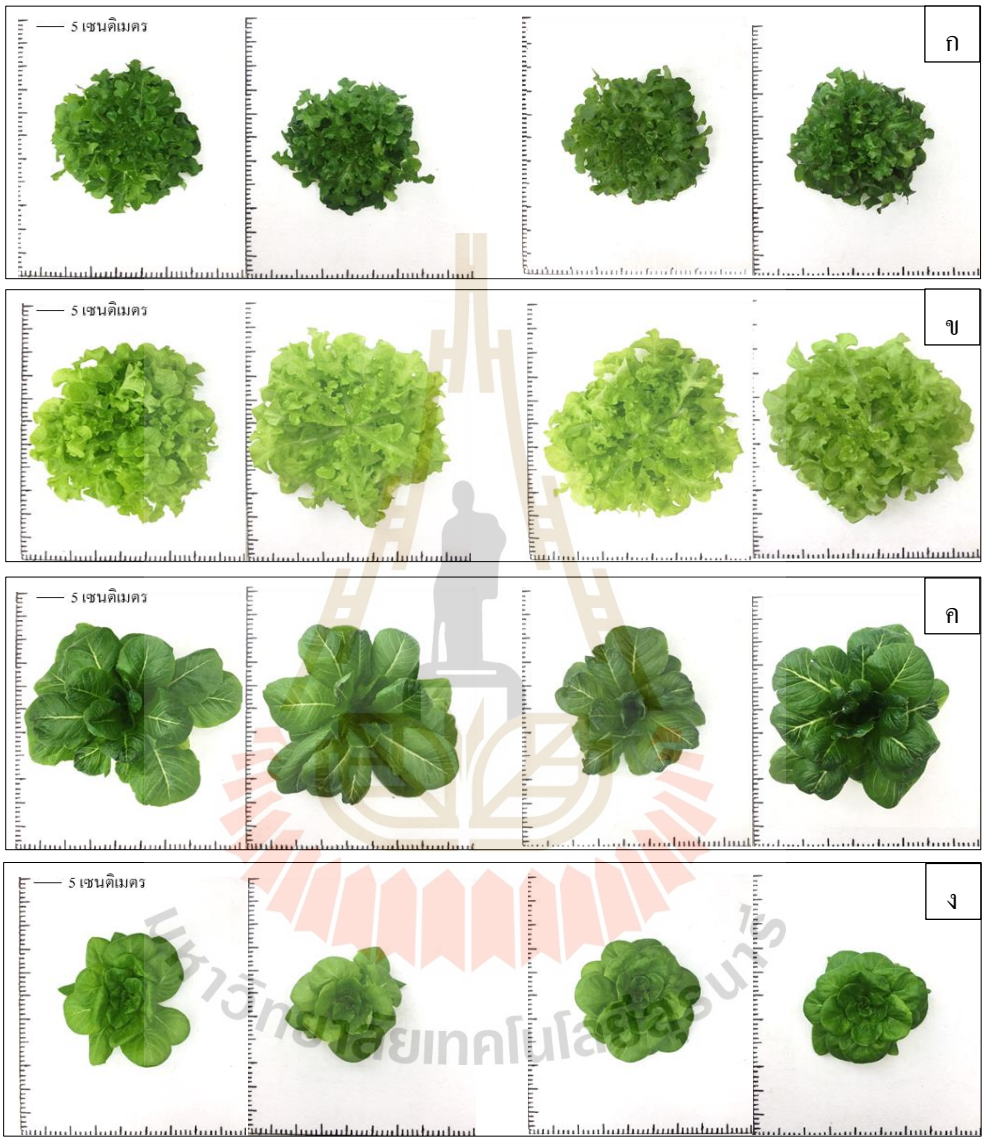
4.1.4.2 ผักกาดหอมชนิดห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมคอส ปัจจัยที่ 1 พบว่าการให้แสง 16 และ 20 ชม./วัน ทำให้ความสูงต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักผลผลิตต่อต้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าการให้แสง 16 ชม./วัน มีผลทำให้ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยสูงกว่าแสง 20 ชม./วัน ปัจจัยที่ 2 พบว่าแสง LED-WRB ทำให้มีความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แหล่งกำเนิดแสง LED ทั้ง 2 แบบ ให้ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ พื้นที่ใบ ค่าความเขียวใบ และผลผลิตต่อต้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 11) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบอิทธิพลร่วมระหว่างการให้แสงระยะเวลา 16 ชม./วัน ร่วมกับแสง LED-W ทำให้มีจำนวนใบ และค่าความเขียวใบสูงสุด (23.71 ใบ และ 41.31 ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสง 20 ชม./วัน ร่วมกับแสง LED-WRB ดังแสดงในตารางที่ 12

(ข) ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด ปัจจัยที่ 1 พบว่าระยะเวลาการให้แสง 16 และ 20 ชม./วัน ทำให้ความสูงต้น พื้นที่ใบ และค่าความเขียวใบเฉลี่ยต่อต้นไม่มีความต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าแสง 20 ชม./วัน ทำให้ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ และน้ำหนักผลผลิตต่อต้นเฉลี่ยสูงกว่าการให้แสง 16 ชม./วัน ปัจจัยที่ 2 พบว่าแสง LED-WRB มีผลทำให้น้ำหนักสดต่อต้นเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่พบว่าแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 2 แบบ ไม่มีผลต่อความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักแห้งต่อต้น (ตารางที่ 11) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย พบอิทธิพลร่วมระหว่างการให้แสง 20 ชม./วัน ร่วมกับแสง LED-WRB ทำให้จำนวนใบ ค่าความเขียวใบ และน้ำหนักแห้งต่อต้นสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกับการปลูกด้วยแสง LED-W ที่ให้แสง 16 และ 20 ชม./วัน (ตารางที่ 12)

สรุปผลการทดลอง จากการศึกษาระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชในระบบปิด ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ได้แก่ **ผักกาดหอมเรดโอ๊ค**ระยะเวลาการให้แสงและแหล่งกำเนิดแสงทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างกัน **ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค**เหมาะสมต่อการให้แสง 16 ชม./วัน กับแสง LED-W ทำให้จำนวนใบเพิ่มขึ้น แต่ในแสง LED-WRB ทำให้ความสูงต้นเพิ่มขึ้น และผักกาดหอมชนิดห่อหัว ได้แก่ **ผักกาดหอมคอส**เหมาะสมต่อการให้แสง 16 ชม./วัน ด้วยแสง LED-WRB ทำให้การเจริญเติบโตดี และพบข้อสังเกตการให้แสง 20 ชม./วัน ในผักกาดหอมคอสพบลักษณะอาการใบไหม้ (ภาพที่ 10) แต่**ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด**เหมาะสมต่อการให้แสง 20 ชม./วัน ด้วยแสง LED-WRB ให้น้ำหนักสดเพิ่มขึ้น และการให้แสง LED-W ทำให้ความ

สูงและจำนวนใบเพิ่มขึ้น เมื่อสรุปแล้ว ควรเลือกใช้ระยะเวลาการให้แสง 16 ชม./วัน เพราะผักกกาดหอมส่วนใหญ่ให้การเจริญเติบโตดีกว่าและช่วยลดพลังงานได้ดีกว่าการให้แสง 20 ชม./วัน



LED-W LED-WRB LED-W LED-WRB

ระยะเวลาการให้แสง 16 ชม./วัน ระยะเวลาการให้แสง 20 ชม./วัน

ภาพที่ 10 ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อวันและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด ก. ผักกาดหอมเรดโอ๊ค และ ข. ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค เป็นตัวแทนชนิดไม่ห่อหัว ค. ผักกาดหอมคอส และ ง. ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด เป็นตัวแทนชนิดห่อหัว

ตารางที่ 10 ผลของระยะเวลาการให้แสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด

ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อ	ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			พื้นที่ใบ	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
			ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	(ตร.เซนติเมตร/ต้น)		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
เรดโอ๊ค	ระยะเวลา	16	11.22±0.42[1/]	30.76±0.40	19.87±1.10	1525.00±65.23	26.91±0.77	64.47±3.99	2.88±0.16
	(A) ชั่วโมง/วัน	20	11.85±0.54	30.21±0.54	22.3±0.71	1539.00±50.67	27.79±0.50	72.14±4.01	3.25±0.18
	แสง LED	LED-W	11.68±0.66	30.22±0.33	22.08±0.77	1506.00±55.35	27.75±0.53	70.19±4.21	3.17±0.13
	(B)	LED-WRB	11.39±0.20	30.75±0.59	20.09±1.10	1558.00±60.37	26.95±0.75	66.42±4.04	2.95±0.21
	F-test	A	ns[2/]	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		A x B	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	% CV		7.36	2.72	7.53	6.85	3.81	10.320	9.68
กรีนโอ๊ค	ระยะเวลา	16	13.54±0.46	33.75±0.64	20.47±0.92b	1996.00±144.7	12.72±0.67	93.08±7.99	3.38±0.30b
	(A) ชั่วโมง/วัน	20	14.61±0.39	32.97±0.87	24.00±1.00a	2204.00±176.97	14.10±0.45	108.17±8.46	4.57±0.48a
	แสง LED	LED-W	13.37±0.34b	33.77±0.58	24.10±0.99a	2097.00±164.32	13.72±0.56	98.41±9.02	3.84±0.30
	(B)	LED-WRB	14.78±0.46a	32.94±0.91	20.37±0.9b	2102.00±164.97	13.10±0.64	102.85±7.97	4.11±0.54
	T-test	A	ns	ns	**	ns	ns	ns	*
		B	*	ns	**	ns	ns	ns	ns
		A x B	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
	% CV		4.75	4.1	6.38	13.96	6.12	14.21	17.49

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 11 ผลของระยะเวลาการให้แสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตของผักกาดหอมคอสและบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบปิด

ผักกาดหอมชนิดห่อ	ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			พื้นที่ใบ (ตร.เซนติเมตร/ต้น)	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
			ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)			น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
คอส	**ระยะเวลา**	16	17.33±0.50[1/]	35.46±1.01a	21.38±1.06	2280.00±80.63	39.04±1.00	129.23±5.10	4.73±0.27
	(A) ชั่วโมง/วัน	20	16.71±0.59	32.18±1.22b	22.72±0.72	2128.00±107.09	38.13±0.61	140.06±8.55	5.12±0.48
	แสง LED	LED-W	16.11±0.54b[2/]	34.81±1.15	22.83±0.63	2084.00±104.44	39.27±0.88	126.71±6.93	4.84±0.31
	(B)	LED-WRB	17.94±0.41a	32.82±1.22	21.27±1.11	2325.00±73.94	37.90±0.74	142.59±6.70	5.00±0.46
	F-test	A	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
		B	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		A x B	ns	ns	*	ns	**	ns	ns
	% CV		4.9	5.64	6.13	6.89	3.03	8.470	13.93
บัตเตอร์เฮด	**ระยะเวลา**	16	9.57±0.37	25.76±0.45b	19.99±0.85b	1040±80.29	24.21±0.87	48.34±4.09b	2.04±0.21b
	(A) ชั่วโมง/วัน	20	10.24±0.37	22.53±0.85a	22.94±0.5a	1225±72.05	24.93±0.48	58.67±3.72a	2.90±0.26a
	แสง LED	LED-W	10.53±0.39a	24.58±0.55	22.05±0.54	1257±49.08a	25.03±0.60	46.16±4.32b	2.31±0.36
	(B)	LED-WRB	9.28±0.27b	23.71±1.03	20.87±1.00	1008±89.19b	24.11±0.78	60.85±2.63a	2.63±0.10
	T-test	A	ns	**	**	ns	ns	*	**
		B	*	ns	ns	*	ns	**	ns
		A x B	ns	ns	**	ns	**	ns	*
	% CV		5.76	4.82	4.13	10.44	4.16	10.23	14.5

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 12 ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อวันร่วมกับแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าความเขียวใบ จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมเรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค คอส และบัตเตอร์เฮด

การปลูกพืชด้วยระบบปิด		เรดโอ๊ค	กรีนโอ๊ค	พันธุ์คอส		บัตเตอร์เฮด		
แสง	ระยะเวลาการให้แสง	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	จำนวนใบ (ใบ)	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	จำนวนใบ (ใบ)	ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)
LED-WRB	16 ชั่วโมง/วัน	25.58±1.09b[1/]	11.31±0.31b	19.04±1.49b	36.77±1.20b	17.86±0.5b	22.46±1.06b	1.50±0.21b
	20 ชั่วโมง/วัน	28.32±0.75a	14.89±0.63a	23.50±1.09a	39.03±0.68ab	23.88±0.74a	25.77±0.68a	3.13±0.5a
LED-W	16 ชั่วโมง/วัน	28.24±0.84a	14.13±1.03a	23.71±0.76a	41.31±0.94a	22.11±1.05a	25.97±0.97a	2.59±0.16a
	20 ชั่วโมง/วัน	27.26±0.66ab	13.30±0.50a	21.94±0.93ab	37.23±0.93b	21.99±0.46a	24.09±0.51ab	2.67±0.14a
	F-test	*[2/]	**	*	**	**	**	*

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากผลการทดลองระบบปลูก แสง ค่า PPFD และระยะเวลาการให้แสงในเบื้องต้น ผักกาดหอมเรดโอ๊คสามารถเจริญเติบโตได้ดีในการปลูกพืชระบบปิด แต่พบปัญหาการแสดงออกของสีใบของผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกมีสีใบไม่เป็นไปตามลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งลักษณะโดยทั่วไป ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ใบจะมีแดงเข้ม ขอบใบกลมมน ก้านใบด้านในเป็นสีเขียวอ่อน จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า ใบสีของผักกาดหอมเรดโอ๊คเมื่อปลูกในระบบปิด มีลักษณะเป็นสีเขียวเข้มปนสีแดงเล็กน้อย ดังภาพที่ 20 ซึ่งเป็นผลจากการปลูกผักกาดหอมเรดโอ๊คในระบบปิดเทียบกับการปลูกด้วยแสงจากดวงอาทิตย์

ภาพที่ 11 ลักษณะประจำพันธุ์ของผักกาดหอมเรดโอ๊ค

จากผลการทดลองดังกล่าว จึงทำให้มีการศึกษาเพิ่มเติม ในการปลูกผักกาดหอมพันธุ์ใบแดงในระบบปิด เพื่อศึกษาผลของแสงและอุณหภูมิต่อการแสดงออกของสีใบของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดควบคุมอุณหภูมิที่ 23 และ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W และ แสง LED-WRB ค่า PPFD 150 $\mu mol/m^2/s$ และให้แสง 16 ชม./วัน เปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 35±5°ซ

4.1.5 อิทธิพลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกของสีใบของผักกาดหอมใบแดง เรดโอ๊คที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด

จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงมีผลทำให้การเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และค่าความเขียวใบแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W และ แสง LED-WRB ทำให้มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาน้ำหนักผลผลิตสดต่อต้น พบว่าการปลูกที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W และ แสง LED-WRB ให้น้ำหนักสดเฉลี่ยไม่แตกต่างจากการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 35°ซ และพบว่าในการปลูกผักกาดหอมด้วยแสงอาทิตย์ ทำให้มีการสะสมน้ำหนักแห้งและค่าความเขียวใบสูงกว่าการปลูกในระบบปิด ดังที่แสดงในตารางที่ 13 และพบว่าผักกาดหอมที่

ปลูกในระบบปิด ควบคุมอุณหภูมิ 23°ซ ทำให้การเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งต่อต้นเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกด้วยกรรมวิธีอื่น ๆ

การศึกษาลักษณะการแสดงออกของสีใบ ด้วยการวัดค่าสี L* a* b* พบว่าการปลูกพืชในระบบปิด ด้วยอุณหภูมิ 23 และ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W และ แสง LED-WRB ให้ค่าสี L* a* b* ที่ปลายใบไม่แตกต่างกัน เมื่อสังเกตภาพที่ 12 ลักษณะสีใบ พบว่าสีใบของผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบปิดจะมีสีเขียว ต่างจากการปลูกกลางแจ้งที่อุณหภูมิ 35°ซ สังเกตได้จากค่าสี L* a* b* ในตารางที่ 15 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งสีใบผักกาดหอมเรดโอ๊คสามารถแสดงลักษณะสีแดงออกตามลักษณะประจำพันธุ์ โดยให้ค่า L* ต่ำสุดที่ 24.70 ค่า a* สูงสุดที่ 2.16 และค่า b* ต่ำที่สุดที่ 4.01 การเกิดสีแดงในใบผักกาดหอมเรดโอ๊ค จะพิจารณาจากค่า a* เป็นหลัก หากค่า a* เป็น (+) แสดงว่าใบมีสีแดง จากผลการทดลองการปลูกพืชในระบบปิดที่อุณหภูมิ 23 และ 25°ซ ค่า a* เป็น (-) แสดงว่าใบมีสีเขียว (ตารางที่ 14) ทำให้เห็นว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเกิดสีใบ แต่พบว่าแหล่งกำเนิดแสงที่พืชได้รับมีผลอย่างยิ่งต่อการแสดงออกของสีใบ จากผลการทดลองดังกล่าว จึงจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเรื่องแสงที่มีผลต่อการแสดงออกของสีใบ ในการเพิ่มสีแดงในผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบปิด

ภาพที่ 12 ผลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง ก. การเจริญเติบโต และ ข. สีใบ

ตารางที่ 13 ผลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต ของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง

ปัจจัยการทดลอง	การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			ค่าความเขียวใบ (SCMR)	น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
	ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
23°ซ + LED-W	8.89±1.60b[1/]	28.39±0.97bc	23.11±1.93	24.77±0.61b	58.30±6.08b	2.49±0.17c
23°ซ + LED-WRB	7.67±0.19b	29.17±0.33b	22.33±0.51	24.17±1.23c	59.38±3.29b	2.40±0.11c
25°ซ + LED-W	17.67±0.33a	38.33±4.98a	25.33±1.45	27.27±0.51bc	93.88±8.12a	3.44±0.33b
25°ซ + LED-WRB	17.00±0.58a	36.33±1.86ab	24.00±2.00	25.91±0.77bc	74.06±12.48ab	2.83±0.47bc
35°ซ +แสงอาทิตย์	8.33±0.33b	21.07±0.37c	19.34±0.33	30.65±0.33a	90.83±0.44a	6.38±0.11a
F-test	**[2/]	**	ns	**	*	**
% CV	11.55	13.70	10.83	5.01	16.89	13.59

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05

ตารางที่ 14 ผลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงต่อการแสดงออกของสีใบ ของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง

ปัจจัยการทดลอง	กลางใบ			ปลายใบ		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
23°ซ + LED-W	45.56±1.93a[1/]	-9.26±0.19b	18.99±1.23a	35.42±1.79a	-8.46±0.66b	14.21±0.62a
23°ซ + LED-WRB	37.98±1.56b	-9.2±0.34b	16.14±0.49b	33.94±2.02a	-8.33±0.63b	13.56±1.11a
25°ซ + LED-W	42.90±0.72a	-11.46±0.33c	17.76±0.31ab	34.92±1.48a	-8.66±0.75b	12.57±1.35a
25°ซ + LED-WRB	42.76±1.20a	-11.04±0.46c	16.81±0.53b	34.92±0.79a	-8.85±0.37b	12.34±0.95a
35°ซ +แสงอาทิตย์	27.35±0.17c	3.73±0.32a	5.35±0.03c	24.7±0.15b	2.16±0.12a	4.01±0.34b
F-test	**[2/]	**	**	**	**	**
% CV	5.62	-7.83	7.52	7.52	-14.99	14.42

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01

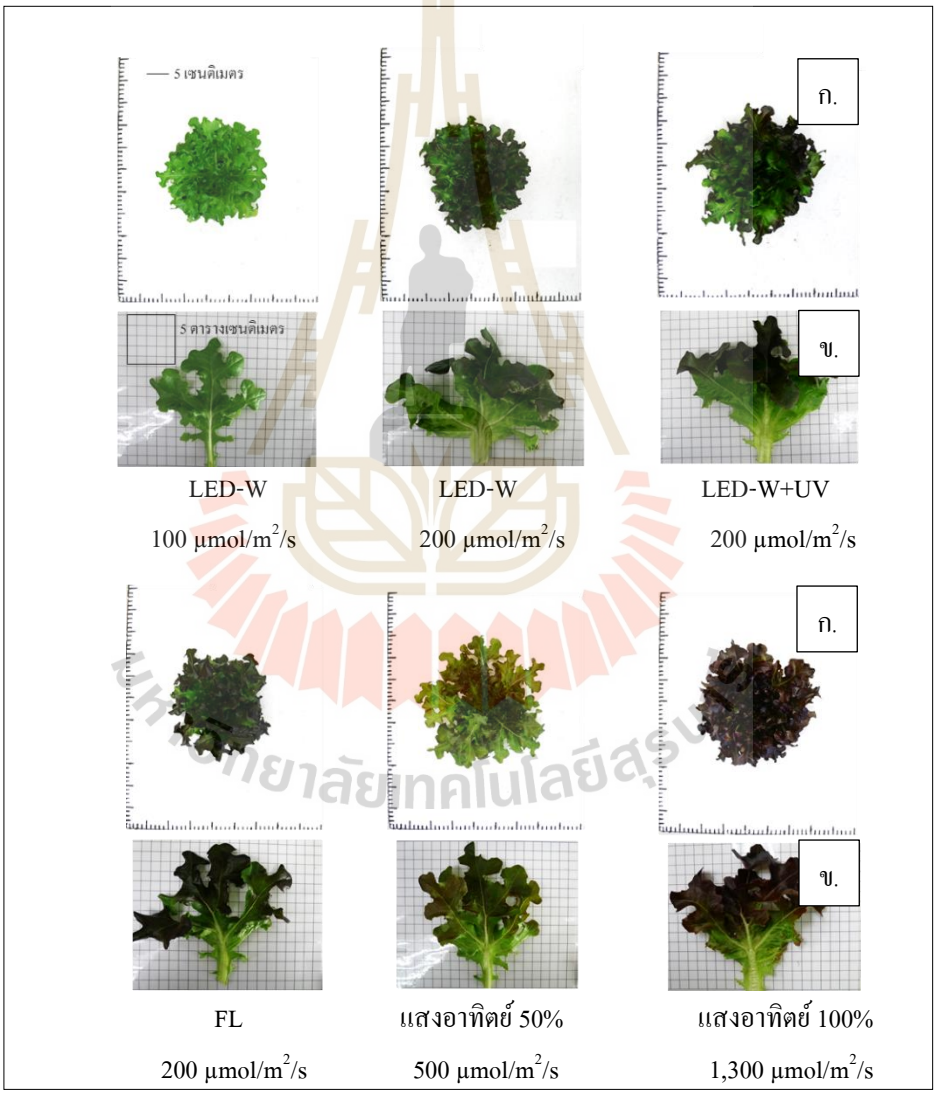
4.1.6 อิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกของสีใบของผักกาดหอมใบแดงเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด

จากผลการทดลองที่ 4.1.5 พบว่าอุณภูมิไม่มีผลต่อการเกิดสีแดงในผักกาดหอมเรด-โอ๊ค แม้ปลูกในอุณหภูมิสูงถึง 35°ซ หากได้รับแสงที่เหมาะสมใบสีแดงจะปรากฏตามลักษณะพันธุ์ ในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาผลของแหล่งกำเนิดแสง และค่า PPFD ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกของสีใบของผักกาดหอมใบแดงเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด ควบคุมอุณหภูมิที่ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W ค่า PPFD 100 µmol/m^2/s (ชุดควบคุม) และแสง LED-W+ แสง UV และแสงจากหลอด Fluorescence (การเลือกแสงจากหลอด UV และ Fluorescence เนื่องจาก มีรังสีอัลตราไวโอเลตเช่นกับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์) ค่า PPFD 200 µmol/m^2/s และให้แสง 16 ชม./วัน เปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ 100% ค่า PPFD 1,300 µmol/m^2/s และพรางแสง 50% ค่า PPFD 500 µmol/m^2/s

จากศึกษาพบว่า การเพิ่มค่า PPFD จาก 100 เป็น 200 µmol/m^2/s ทำให้ผักกาดหอมเรดโอ๊ค มีความสูงต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าค่า PPFD 200 µmol/m^2/s ในแสงจาก LED-W, LED-W+ แสง UV และ Fluorescence ให้ความสูงไม่ต่างจากการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ 100% และพรางแสง 50% และพบว่าแสงและค่า PPFD มีผลทำให้น้ำหนักสดและแห้งต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยแสง LED-W และแสง LED-W+UV ค่า PPFD 200 µmol/m^2/s ให้น้ำหนักสดต้นสูงสุดที่ 85.36 และ 83.67 กรัม/ต้น ไม่ต่างจากการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ 100 % ที่ให้น้ำหนักสดเฉลี่ย 81.35 กรัม/ต้น เมื่อพิจารณาการสะสมน้ำหนักแห้ง พบว่าการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ 100% ทำให้มีน้ำหนักแห้งสะสมเฉลี่ยสูงสุด แต่ไม่ต่างจากการปลูกด้วยแสง LED-W และแสง LED-W+UV ที่ค่า PPFD 200 µmol/m^2/s สำหรับค่าความเขียวใบทุกแหล่งกำเนิดแสงให้ค่าความเขียวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 15

จากการศึกษาลักษณะการแสดงออกของสีใบด้วยการวัดค่าสี L* a* b* ในตารางที่ 16 พบว่าทุกแหล่งกำเนิดแสงให้ค่าสีใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยที่ปลายใบ ค่า L* สูงสุด เมื่อปลูกด้วยแสง LED-W ค่า PPFD 100 µmol/m^2/s รองลงมาคือ พรางแสงอาทิตย์ 50 % แสง LED-W, LED-W+UV, Fluorescence และแสงอาทิตย์ 100% ตามลำดับ การวัดค่าสีใบ a* สูงที่สุดเมื่อปลูกด้วยแสงอาทิตย์ 100% รองลงมาคือแสงจากหลอด Fluorescence, LED-W+UV, การพรางแสงอาทิตย์ 50%, แสง LED-W และค่า PPFD 200 µmol/m^2/s และการปลูกด้วยแสง LED-W ค่า PPFD 100 µmol/m^2/s ให้ค่า a* ต่ำที่สุด และให้ค่า b* สูงที่สุด รองลงมาคือ แสง LED-W ค่า PPFD 200 µmol/m^2/s, พรางแสงอาทิตย์ 50 %, แสง LED-W+UV, แสงอาทิตย์ 100 % และแสงจากหลอด Fluorescence ให้ค่าสี b* ต่ำที่สุด เมื่อสังเกตจากภาพที่ 13 พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อสีใบ แต่มีข้อสังเกตเล็กน้อยในด้านเฉดสีที่พบในผักกาดหอมเรดโอ๊ค โดยพบว่าการปลูกในระบบการปลูกพืช

แบบปิดจะให้สีแดงเข้มอมดำมากกว่าการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ แต่ปัจจัยที่สำคัญ ที่ทำให้การเกิดสีแดงมากที่สุดคือแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสง โดยพบว่าการเพิ่มค่า PPFD 200 µmol/m^2/s จะทำให้สีใบของผักกาดหอมเรดโอ๊คแดงเข้มขึ้นมากกว่าค่า PPFD 100 µmol/m^2/s^1 และแสงที่มีรังสีอัลตราไวโอเลตเช่นกับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ในหลอด UV และแสงจากหลอด Fluorescence ทำให้เกิดสีได้เทียบเท่ากับการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ 100% (ค่า a* ที่ปลายใบเป็น (+) แสดงการเกิดใบสีแดง ดังแสดงค่า a* ในตารางที่ 16) และพบว่าการพรางแสงอาทิตย์ 50 % ทำให้การเกิดสีแดงในใบผักกาดหอมเรดโอ๊คลดลง



ภาพที่ 13 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงของผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง ก. การเจริญเติบโต และ ข. สีใบ

ตารางที่ 15 ผลของแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโต ค่าความเขียวใบ และผลผลิตผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง

ปัจจัยการทดลอง	การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)			ค่าความเขียวใบ	น้ำหนักผลผลิต (กรัม/ต้น)	
($\mu mol/m^2/s$)	ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	(SCMR)	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
LED-W 100	7.70±1.05b[1/]	25.33±1.41b	23.00±1.53a	28.50±4.46	48.06±3.59b	2.47±0.15d
LED-W+200	11.43±0.47a	22.33±0.68b	21.00±1.00a	33.50±0.86	85.36±6.96a	5.42±0.46ab
LED-W+ UV 200	11.50±1.07a	23.93±1.50b	20.00±1.73ab	32.90±2.40	83.67±8.81a	4.71±0.73ab
Fluorescence 200	10.93±0.78a	24.43±0.21b	16.67±0.88bc	33.67±2.26	61.89±4.17b	4.09±0.32bc
แสงอาทิตย์ 50% 500	10.97±0.15a	31.40±1.16a	15.33±0.67c	29.77±0.78	55.64±3.41b	3.01±0.23cd
แสงอาทิตย์ 100% 1,300	10.00±0.29a	25.00±0.76b	19.67±0.88ab	33.80±1.21	81.35±7.33a	6.06±0.35a
F-test	*[2/]	**	**	ns	**	**
% CV	10.1	6	8.82	10.67	12.65	14.07

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 16 ผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงต่อการแสดงออกของสีใบ ของผักกาดหอมเรดโอ๊ค ที่ปลูกในระบบปิดเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง

ปัจจัยการทดลอง	กลางใบ			ปลายใบ		
($\mu mol/m^2/s$)	L*	a*	b*	L*	a*	b*
LED-W 100	42.97±2.58b[1/]	-12.44±0.25c	27.24±1.61a	39.21±0.80a	-13.32±0.43d	25.17±1.16a
LED-W 200	51.01±2.71a	-10.82±1.51c	28.54±3.77a	28.97±1.06bc	-4.28±0.34c	10.31±1.16c
LED-W+ UV 200	42.59±1.00ab	-10.14±0.17c	24.43±0.29a	25.85±1.01c	0.09±0.48b	4.97±1.15d
Fluorescence 200	41.32±4.74b	-6.11±1.49b	20.09±3.76a	25.04±2.32c	0.46±0.23b	2.50±.046d
แสงอาทิตย์ 50% 500	36.35±0.92b	-5.94±0.99b	22.05±0.95a	30.02±0.4b	-2.64±0.72c	14.9±2.23b
แสงอาทิตย์ 100% 1,300	27.47±3.22c	3.87±0.86a	7.82±2.74b	18.4±1.12d	4.42±1.02a	4.59±1.19d
F-test	**[2/]	**	**	**	**	**
% CV	10.21	-21.34	17.08	6.53	-34.03	18.45

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01

4.2 ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในโรงงานปลูกพืชด้วยแสงเทียม

จากการศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในการปลูกแบบระบบปิด พบว่าการเพาะกล้าด้วยสารละลาย ค่า EC 0.8 mS/cm ตั้งแต่วันเพาะวันแรก จะทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าดีที่สุด เมื่อกล้าอายุ 14 วัน ย้ายลงระบบไฮโดรโปนิกส์ ให้แสง 16 ชม./วัน ที่ความเข้มแสง 200 $\mu mol/m^2/s$ จะทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตได้เทียบเท่ากับการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ แต่พบว่าผักกาดหอมแต่ละชนิด มีการแสดงออกที่แตกต่างกันเมื่อได้รับแหล่งกำเนิดแสงและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงศึกษาผลของแสง และอุณหภูมิที่เหมะสมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอม 2 ชนิด ได้แก่ 1) ผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ใช้ผักกาดหอมเรดโอ๊คเป็นตัวแทนผักกาดหอมใบสีแดง และผักกาดหอมกรีนโอ๊คเป็นตัวแทนผักกาดหอมใบสีเขียว 2) ผักกาดหอมชนิดห่อหัว ใช้ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดเป็นตัวแทนชนิดห่อหัวไม่แน่น และผักกาดแก้วหอมห่อเป็นตัวแทนผักกาดหอมชนิดห่อหัวแน่น โดยจะปลูกในห้องควบคุมสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิ 20 23 และ 25°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 60-70% และเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุ 45 วัน

4.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมเรดโอ๊ค พบอิทธิร่วมระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหาร โดยพบว่าการปลูกผักกาดหอมเรดโอ๊คที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-RB ทำให้มีความสูงต้นสูงสุดที่ 13 เซนติเมตร และการปลูกที่อุณหภูมิ 23°ซ ร่วมกับแสง LED-WRB มีผลต่อความกว้างทรงพุ่มสูงสุดที่ 31 เซนติเมตร แต่การปลูกที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับ LED-WRB ทำให้มีจำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุด (จำนวนใบ 28 ใบ, น้ำหนักสด 133.45 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้ง 3.54 กรัม/ต้น ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 17 และพบว่าการปลูกที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับ LED-WRB ทำให้มีการสะสมปริมาณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์สูงกว่าการปลูกภายใต้แสงอื่น ๆ ที่ 2.10, 0.75 และ 157.54 มิลลิกรัม/กรัม และพบว่าอุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W ทำให้มีการสะสมโพแทสเซียม และแคลเซียมสูงสุดที่ 2,633 และ 100.33 มิลลิกรัม/ลิตร และการปลูกด้วยแสง LED-WRB ที่อุณหภูมิ 25°ซ ทำให้มีไนเตรทสะสมสูงสุดที่ 4,533 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 18 ข้อสังเกตที่พบในผักกาดหอมเรดโอ๊คทุกอุณหภูมิสีใบมีแนวโน้มการเกิดสีแดงตามลักษณะประจำพันธุ์ แต่แสงที่พบว่ามีแนวโน้มทำให้ใบเกิดสีแดงมากที่สุด คือ การปลูกด้วยแสงจากหลอดแสง Fluorescence แต่การปลูกด้วยแสง Fluorescence ทำให้มีการเจริญเติบโตน้อยกว่าการปลูกด้วยแสงอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 14 ก.

(ข) ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค พบอิทธิร่วมระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณธาตุอาหาร โดยพบว่าการปลูกผักกาดหอมกรีนโอ๊คที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-RB ทำให้ความสูงต้น และน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 15.67 เซนติเมตร และมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 80.19 กรัม/ต้น ตามลำดับ และพบว่าการปลูกภายใต้อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-W ทำให้ความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุดที่ 32 เซนติเมตร และพบว่าการปลูกภายใต้อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-WRB ทำให้ความยาวรากสูงที่สุดที่ 28 เซนติเมตร และพบว่าแสง LED-WRB เมื่อปลูกที่อุณหภูมิ 20°ซ ส่งผลต่อจำนวนใบและการสะสมน้ำหนักแห้งต้นสูงสดที่ 25 ใบ และน้ำหนักแห้ง 2.78 กรัม/ต้น (ตารางที่ 19) และพบว่าเมื่อปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คด้วยแสง Fluorescence ที่อุณหภูมิ 20°ซ ทำให้มีการสะสมปริมาณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์สูงกว่าการปลูกภายใต้แสงอื่น ๆ ที่ 1.22, 0.35 และ 84.27 มิลลิกรัมต่อกรัม และพบว่าการปลูกด้วยแสง LED-WRB ที่อุณหภูมิ 23°ซ ทำให้มีการสะสมโพแทสเซียม และแคลเซียมสูงถึง 2,933 และ 273 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และแสง LED-WRB ที่ปลูกในอุณหภูมิ 25°ซ ทำให้มีปริมาณไนเตรทสะสมที่ 3,833 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 20) ข้อสังเกตที่พบ พบว่าการปลูกด้วยแสงจากหลอด Fluorescence ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูง แต่เมื่อสังเกตการเจริญเติบโตและรูปทรงจะมีรูปทรงหัวเล็กกว่าการปลูกด้วยแสงอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 14 ข.

ภาพที่ 14 ผลอุณหภูมิที่ 25°ซ และแสงต่อการเจริญเติบโตและสีใบ ของผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว
ก. ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ข. ผักกาดหอมกรีนโอ๊ค

ตารางที่ 17 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊ค

ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)				น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
		ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	ความยาวราก	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	11.17±0.34a[1/]	27.83±0.81a	18.08±0.85c	26.08±0.78b	70.44±1.51b	1.78±0.14c
	23 °ซ	9.68±0.25b	29.00±0.67a	21.67±0.66b	30.08±1.22a	76.90±5.00a	2.62±0.21b
	25 °ซ	10.83±0.56a	25.42±1.28b	24.50±0.86a	26.5±1.09b	79.35±6.91a	3.26±0.09a
แสง (B)							
	Fluorescence	9.22±0.43c	26.44±1.13bc	20.33±1.03bc	26.22±1.53b	57.68±2.47d	1.91±0.25c
	LED-WRB	11.44±0.47a	30.44±0.71a	21.89±1.57b	30.00±1.15a	92.33±5.70a	2.93±0.21a
	LED-RB	11.01±0.57ab	27.44±0.60b	19.56±1.13c	25.78±1.09b	71.99±2.69c	2.45±0.28b
	LED-W	10.56±0.18b	25.33±1.49c	23.89±0.86a	28.22±1.18ab	80.26±4.38b	2.92±0.21a
A x B							
20 °ซ	Fluorescence	10.67 ±0.67cd	29.33±0.88a-c	17.33 ±1.2cdf	23.00 ±1.00	64.34 ±2.48ef	1.28 ±0.11fg
	LED-WRB	12.67 ±0.67ab	30.67 ±1.20ab	16.67 ±0.33ef	28.33 ±1.45	75.80 ±1.12d	1.57 ±0.20e-g
	LED-RB	10.67 ±0.33cd	26.33 ±0.88cd	16.00 ±0.58f	27.00 ±1.53	70.28 ±1.81de	1.42 ±0.05g
	LED-W	10.67 ±0.33cd	25.00 ±1.15de	22.33 ±1.20bc	26.00 ±0.58	71.36 ±2.44de	2.12 ±0.11d
23 °ซ	Fluorescence	9.00 ±0.33de	27.67 ±0.67a-d	22.33 ±1.86bc	30.33 ±1.33	56.43 ±2.77fg	2.01 ±0.10d
	LED-WRB	10.33 ±0.33cd	31.00 ±1.00a	22.00 ±0.58b-d	33.67 ±1.20	87.74 ±2.59c	2.90 ±0.04b
	LED-RB	8.33 ±0.33e	27.00 ±1.15b-d	19.33 ±0.88b-f	24.33 ±0.88	46.17 ±0.74h	1.55 ±0.06fg
	LED-W	10.33 ±0.33cd	30.33 ±1.2ab	23.00 ±1.00ab	32.00 ±2.00	100.59 ±2.25b	3.48 ±0.14a
25 °ซ	Fluorescence	8.33 ±0.33e	22.33 ±0.88ef	21.00 ±1.15b-f	11.67 ±0.33	52.28 ±4.7gh	1.87 ±0.06de
	LED-WRB	11.33 ±0.88bc	29.67 ±1.76a-c	28.00 ±2.31a	14.67 ±2.6	113.45 ±3.33a	3.54 ±0.11a
	LED-RB	13.00 ±0.58a	28.00 ±1.15a-d	23.33 ±0.88ab	11.67 ±1.2	79.50 ±6.01cd	1.64 ±0.02ef
	LED-W	10.67 ±0.33bc	20.00 ±1.15f	23.00 ±4.16ab	13.33 ±2.19	72.17 ±2.53de	2.16 ±0.09d
	F-test						
	A	**[2/]	**	**	**	**	**
	B	**	**	**	*	**	**
	A x B	**	**	*	ns	**	**
	% CV	7.95	6.63	8.91	11.19	6.89	7.53

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 18 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดหอมเรดโอ๊ค

ปัจจัยการทดลอง		ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัม)			ปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้น (มิลลิกรัม/ลิตร (ppm))		
		คลอโรฟิลล์ เอ	คลอโรฟิลล์ บี	แคโรทีนอยด์	โพแทสเซียม	แคลเซียม	ไนเตรท
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	0.89±0.05b[1/]	0.29±0.02b	69.59±3.09b	2417±88.62a	47.58±2.40b	2908±175.14b
	23 °ซ	0.71±0.04c	0.23±0.01c	64.70±5.28b	2042±71.20b	36.75±3.91c	2783±184.16b
	25 °ซ	1.82±0.06a	0.64±0.02a	142.42±6.39a	2508±57.02a	83.92±4.54a	3667±170.26a
แสง (B)							
	Fluorescence	1.21±0.16a	0.41±0.06	98.68±12.38a	2422±70.27a	58.78±9.23a	3211±181.39b
	LED-WRB	1.19±0.24a	0.40±0.09	92.27±17.01a	2378±66.20a	61.00±3.71a	3044±382.65b
	LED-RB	1.14±0.15a	0.38±0.05	98.10±15.12a	2322±117.59ab	53.67±3.14b	3422±122.22a
	LED-W	1.03±0.16b	0.36±0.07	79.91±8.68b	2167±149.07b	50.89±12.76b	2800±165.83a
A x B							
20 °ซ	Fluorescence	0.98±0.03d	0.33±0.01c	73.90 ±2.13c	2633 ±33.33a	46.00 ±0.58ef	3800 ±57.74b
	LED-WRB	0.94±0.07d	0.30±0.03c-e	74.29 ±4.59c	2300 ±100.00a-c	57.00 ±0.58de	2433 ±33.33fg
	LED-RB	0.95±0.10d	0.31±0.04cd	72.27 ±6.31c	2633 ±240.37a	51.67 ±0.88d	3033 ±66.67e
	LED-W	0.70 ±0.08ef	0.22±0.03df	57.92 ±7.28cd	2100 ±0.00bc	35.67 ±0.67g	2367 ±33.33fg
23°ซ	Fluorescence	0.81±0.04de	0.27±0.01c-e	75.94±10.86c	2233 ±120.19bc	35.33 ±0.33g	2567 ±33.33f
	LED-WRB	0.54±0.02f	0.16±0.01f	44.97 ±1.59d	2233 ±33.33bc	50.67 ±0.67de	2167 ±33.33g
	LED-RB	0.76±0.06e	0.24±0.01d-f	64.74 ±7.54cd	2000 ±0.00cd	44.33 ±2.60f	3767 ±185.59bc
	LED-W	0.75±0.03e	0.24±0.01d-f	73.15 ±11.91c	1700 ±0.00d	16.67 ±0.33h	2633 ±33.33f
25°ซ	Fluorescence	1.84±0.06b	0.63±0.04b	146.19 ±4.64a	2400 ±57.74ab	95.00 ±3.21a	3267 ±88.19de
	LED-WRB	2.10±0.07a	0.74±0.03a	157.54 ±6.06a	2600 ±57.74a	75.33 ±0.33b	4533 ±272.85a
	LED-RB	1.70±0.03bc	0.58±0.04b	157.29 ±2.14a	2333 ±88.19a-c	65.00 ±1.15c	3467 ±66.67b-d
	LED-W	1.65±0.03c	0.62±0.04b	108.66 ±5.69b	2633 ±176.38a	100.33 ±5.49a	3400 ±200.00c-e
	F-test						
	A	**[2/]	**	**	**	**	**
	B	**	ns	**	*	**	**
	A x B	**	**	**	**	**	**
	% CV	8.76	11.59	12.51	7.21	6.38	6.69

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 19 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค

ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)				น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
		ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	ความยาวราก	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	10.17±0.81b[1/]	22.25±1.14b	17.75±1.95	11.25±1.24b	54.80±5.14c	2.33±0.17b
	23 °ซ	11.00±0.35b	27.67±0.41a	18.42±0.86	24.75±0.55a	75.98±2.89b	2.46±0.10b
	25 °ซ	13.00±0.70a	28.50±1.29a	18.00±0.62	22.58±1.7a	82.19±4.5a	3.30±0.08a
แสง (B)							
	Fluorescence	10.11±0.77b	25.00±1.61c	17.67±0.65ab	17.89±2.71	53.49±4.6d	2.31±0.20c
	LED-WRB	12.44±0.58a	29.33±0.82a	19.33±1.49a	20.22±2.89	86.07±3.64a	3.20±0.13a
	LED-RB	13.22±0.89a	27.33±1.43b	18.67±1.05b	19.56±2.84	75.78±4.32b	2.75±0.14b
	LED-W	9.78±0.43b	22.89±1.17d	16.56±2.17b	20.44±1.42	68.63±6.81c	2.51±0.22c
A x B							
20°ซ	Fluorescence	7.67 ±0.88e	19.00 ±1.53g	16.00 ±1.53d	9.33 ±2.33e	34.22 ±3.96c	1.63 ±0.15c-f
	LED-WRB	11.00 ±0.58c	27.67 ±1.45bc	25.00 ±0.58a	9.67 ±1.20e	76.49 ±2.21a	2.78 ±0.23a
	LED-RB	13.67 ±1.20ab	22.67 ±0.33d-f	21.67 ±0.88bc	8.67 ±1.45e	64.84 ±5.04ab	2.25 ±0.21a
	LED-W	8.33 ±0.67de	19.67 ±0.88fg	8.33 ±0.33e	17.33 ±0.33d	36.24 ±5.42c	1.77 ±0.2a-d
23°ซ	Fluorescence	10.33 ±0.33cd	28.00 ±0.58bc	18.00 ±0.58d	24.00 ±0.58a-c	64.36 ±2.46ab	1.36 ±0.05def
	LED-WRB	12.67 ±0.67bc	27.00 ±1.53bc	16.67 ±0.33d	23.00 ±1.53a-d	70.89 ±1.91ab	1.65 ±0.24c-f
	LED-RB	10.33 ±0.33cd	26.00 ±1.00cd	16.00 ±0.58d	26.00 ±0.58ab	71.97 ±0.15ab	1.38 ±0.03d-f
	LED-W	10.67 ±0.33cd	25.00 ±1.15c-e	23.00 ±0.58ab	26.00 ±0.58ab	63.38 ±3.60ab	2.00 ±0.05ab
25°ซ	Fluorescence	10.33 ±0.33cd	22.00 ±0.58d-g	18.33 ±0.33d	18.00 ±0.58cd	57.01 ±0.31ab	2.08 ±0.24ab
	LED-WRB	13.67 ±1.20ab	25.33 ±0.33c-e	16.33 ±1.45d	28.00 ±2.52a	77.51 ±9.47a	1.83 ±0.20a-c
	LED-RB	15.67 ±0.88a	29.67 ±1.20ab	18.33 ±2.03d	24.00 ±2.08a-c	80.19 ±9.13a	1.25 ±0.00ef
	LED-W	12.33 ±0.88bc	32.00 ±1.15a	19.00 ±0.00cd	20.33 ±4.91b-d	80.06 ±6.68a	1.22 ±0.06f
	F-test						
	A	**[2/]	**	ns	**	**	**
	B	**	**	**	ns	**	**
	A x B	**	**	**	**	**	*
	% CV	11.52	6.6	9.18	17.66	8.12	8.62

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 20 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดหอมกรีนโอ๊ค

ปัจจัยการทดลอง		ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัม)			ปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้น (มิลลิกรัม/ลิตร (ppm))		
		คลอโรฟิลล์ เอ	คลอโรฟิลล์ บี	แคโรทีนอยด์	โพแทสเซียม	แคลเซียม	ไนเตรท
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	0.83±0.09a[1/]	0.24±0.03a	59.44±5.75a	2142±64.50ab	37.92±1.35c	2842±60.88a
	23 °ซ	0.38±0.03b	0.11±0.01b	31.23±2.46b	2358±221.72a	117.25±27.84a	2250±229.79b
	25 °ซ	0.28±0.03b	0.08±0.01b	26.34±2.42b	2042±66.81b	67.92±15.72b	2333±345.57b
แสง (B)							
	Fluorescence	0.66±0.16a	0.20±0.05a	49.25±10.34a	2367±200.00a	62.44±8.73c	2411±135.86b
	LED-WRB	0.42±0.05b	0.12±0.02b	34.59±3.24b	2478±127.78a	118.67±38.68a	3400±124.72a
	LED-RB	0.44±0.07b	0.13±0.02b	35.22±4.25b	2222±27.78a	83.00±18.65b	1632±339.58c
	LED-W	0.47±0.10b	0.13±0.03b	36.95±5.95b	1656±86.78b	33.33±2.90d	2456±105.56b
A x B							
20°ซ	Fluorescence	1.22 ±0.22a	0.35 ±0.06	84.27 ±14.10	2200 ±57.74b	40.00 ±2.52de	2867 ±88.19bcd
	LED-WRB	0.59 ±0.07b-d	0.18 ±0.03	44.39 ±4.81	2300 ±57.74b	43.00 ±0.58d	3033 ±66.67bc
	LED-RB	0.70 ±0.05bc	0.20 ±0.02	50.98 ±2.93	2267 ±33.33b	36.67 ±0.33fg	2667 ±185.59b-e
	LED-W	0.82 ±0.09b	0.22 ±0.02	58.11 ±6.18	1800 ±57.74bc	32.00 ±0.00g	2800 ±0.00bcd
23°ซ	Fluorescence	0.44 ±0.11c-f	0.13 ±0.05	34.97 ±10.07	2900 ±503.32a	96.67 ±1.45c	1967 ±33.33e
	LED-WRB	0.40 ±0.03df	0.11 ±0.01	33.03 ±2.45	2933 ±145.30a	273.33 ±3.33a	3333 ±66.67ab
	LED-RB	0.35 ±0.02df	0.10 ±0.00	30.13 ±1.32	2167 ±33.33b	55.67 ±1.20d	1267 ±88.19f
	LED-W	0.32 ±0.03df	0.10 ±0.01	26.80 ±2.13	1433 ±218.58c	43.33 ±3.28e	2433 ±145.3c-e
25°ซ	Fluorescence	0.32 ±0.09df	0.10 ±0.04	28.51 ±7.33	2000 ±0.00b	50.67 ±0.33d	2400 ±100cde
	LED-WRB	0.26 ±0.02f	0.07 ±0.01	26.34 ±3.71	2200 ±115.47b	39.67 ±0.33de	3833 ±120.19a
	LED-RB	0.28 ±0.06f	0.09 ±0.02	24.55 ±3.51	2233 ±66.67b	156.67 ±3.33b	963 ±718.34f
	LED-W	0.26 ±0.07f	0.06 ±0.01	25.95 ±6.74	1733 ±33.33bc	24.67 ±1.20h	2133 ±33.33de
	F-test						
	A	**[2/]	**	**	*	**	**
	B	*	*	*	**	**	**
	A x B	*	ns	ns	*	**	**
	% CV	31.17	31.32	28.88	13.63	4.51	15.94

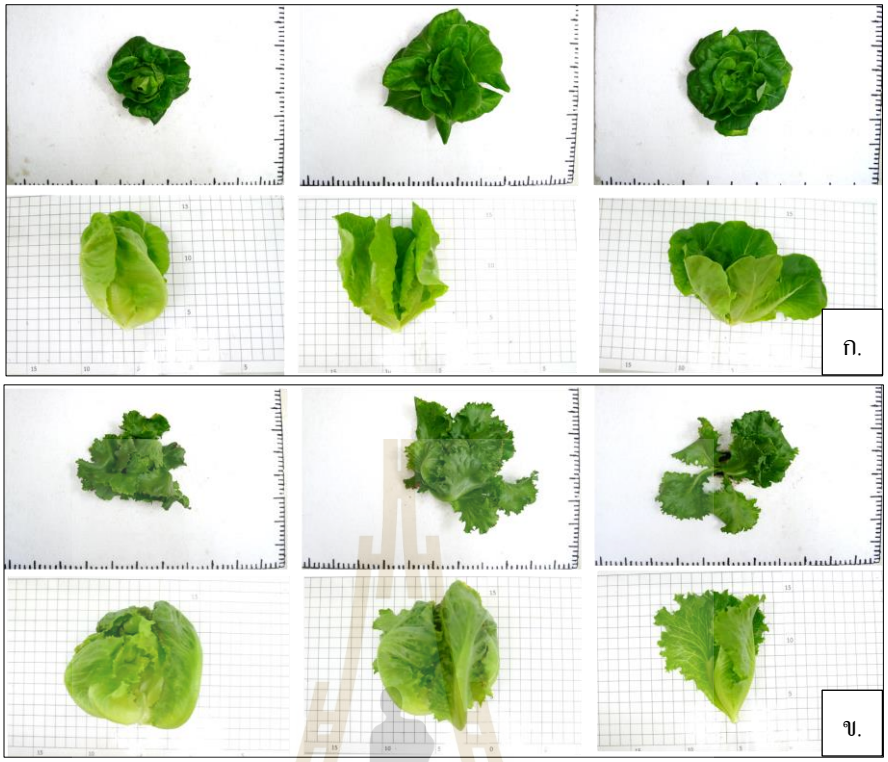
[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดห่อหัว

(ก) ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด พบอิทธิร่วมระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุณหภูมิที่ปลูก โดยพบว่าการปลูกผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-RB ทำให้ความสูงต้นสูงที่สุด ที่ 10.33 เซนติเมตร และพบว่าที่อุณหภูมิ 25°ซ ร่วมกับแสง LED-WRB ทำให้มีจำนวนใบและการสะสมน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยสูงสุดที่ 28 ใบ และน้ำหนักสดสะสม 80.64 กรัม/ต้น แต่การปลูกที่อุณหภูมิ 23°ซ ด้วยแสง Fluorescence ทำให้มีความกว้างทรงพุ่มสูงสุดที่ 26.33 เซนติเมตร และพบว่าพบว่าการปลูกที่อุณหภูมิ 20°ซ ร่วมกับแสง LED-W ทำให้มีการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 2 กรัม/ต้น (ตารางที่ 21) และพบว่าเมื่อปลูกผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดด้วยแสง Fluorescence ที่อุณหภูมิ 25°ซ ทำให้มีการสะสมปริมาณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์สูงกว่าการปลูกภายใต้แสงอื่น ๆ ที่ 1.19, 0.35 และ 83.10 มิลลิกรัม/กรัม และยังพบว่าแสง Fluorescence ที่ปลูกร่วมกับอุณหภูมิ 23°ซ ทำให้มีการสะสมโพแทสเซียมและไนเตรทสูงที่สุด ที่ 2,867 และ 5,500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และการปลูกด้วยแสง Fluorescence ที่อุณหภูมิ 20°ซ มีผลทำให้มีปริมาณแคลเซียมจะสะสูงสุดที่ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 22 จากการสังเกตพบว่าผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25°ซ แต่พบว่าการห่อหัวห่อไม่แน่นเท่ากับการปลูกที่อุณหภูมิ 20 °ซ ดังแสดงในภาพที่ 15 ก.

(ข) ผักกาดแก้วหอมห่อ พบอิทธิร่วมระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุณหภูมิที่ปลูก ต่อจำนวนใบ และน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยสูงสุด โดยการปลูกผักกาดแก้วหอมห่อที่อุณหภูมิ 20°ซ ร่วมกับแสง LED-W ทำให้มีจำนวนใบที่ 21.33 ใบ และการสะสมน้ำหนักสดที่ 148.26 กรัม/ต้น และการปลูกที่ 20°ซ ร่วมกับแสง Fluorescence ทำให้มีความยาวรากสูงสุดที่ 40.76 เซนติเมตร (ตารางที่ 23) และพบว่าเมื่อปลูกผักกาดแก้วหอมห่อด้วยแสง LED-WRB ที่อุณหภูมิ 25 °ซ ทำให้มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และแคโรทีนอยด์สูงสุดที่ 1.66 และ 119.72 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ และพบว่ามีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมสูงถึง 3,367 มิลลิกรัม/ลิตร และพบว่าเมื่อปลูกภายใต้แสง Fluorescence ที่อุณหภูมิ 25°ซ จะทำให้ปริมาณแคลเซียมสะสมสูงสุดถึง 82.33 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณไนเตรทสะสมสูงที่ 4,100 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในที่ 24 และจากภาพที่ 15 ข. พบข้อสังเกต คือ การปลูกที่อุณหภูมิ 20°ซ มีผลต่อการห่อหัวของผักกาดแก้วหอมห่อที่แน่นกว่าปลูกที่อุณหภูมิ 23 และ 25°ซ



อุณหภูมิ 20°ซ อุณหภูมิ 23°ซ อุณหภูมิ 25°ซ

ภาพที่ 15 ผลอุณหภูมิต่อเจริญเติบโตและลักษณะการห่อหัว ของผักกาดหอมชนิดห่อหัว ก. ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด ข. ผักกาดแก้วหอมห่อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 21 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด

ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)				น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
		ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	ความยาวราก	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	7.92±0.51b[1/]	22.75±0.54	20.42±1.36b	28.92±1.49a	68.78±4.95	2.46±0.17a
	23 °ซ	8.58±0.38b	23.00±0.74	19.83±1.10b	23.83±2.04b	68.30±3.04	2.01±0.09b
	25 °ซ	9.58±0.42a	22.25±0.59	25.75±0.97a	10.83±1.11c	62.49±3.00	1.50±0.17c
แสง (B)							
	Fluorescence	7.00±0.53b	23.22±0.89	22.44±1.53a	19.11±3.48b	50.93±3.9c	1.75±0.23b
	LED-WRB	9.56±0.41a	22.89±0.82	23.33±2.07a	25.44±3.94a	75.64±2.33a	2.37±0.11a
	LED-RB	9.00±0.58a	22.22±0.57	19.56±1.71b	2.00±2.67b	67.04±3.35b	1.76±0.21b
	LED-W	9.22±0.15a	22.33±0.58	22.67±0.53a	19.22±2.2b	72.47±2.3ab	2.08±0.23ab
A x B							
20 °ซ	Fluorescence	5.67 ±0.33b	22.33 ±0.33bc	18.33 ±1.33cde	25.33 ±2.96bc	38.04 ±3.71c	1.47±0.23a-d
	LED-WRB	9.67 ±0.33a	24.67 ±0.33ab	25.33 ±2.73ab	34.33 ±2.40a	64.87 ±9.94ab	1.61 ±0.21ab
	LED-RB	7.00 ±0.00b	21.00 ±0.58c	15.33 ±0.33e	29.00±1.73a-c	42.64 ±2.11bc	1.06±0.03b-e
	LED-W	9.33 ±0.33a	23.00 ±1.53bc	22.67 ±1.20abc	27.00 ±2.89bc	62.92±8.72a-c	2.00 ±0.12a
23 °ซ	Fluorescence	6.67 ±0.33b	26.33 ±0.88a	22.00 ±1.00b-d	25.67 ±3.67bc	41.61 ±4.78bc	0.90 ±0.04e
	LED-WRB	9.00 ±0.58a	21.00 ±1.53c	16.67 ±2.91de	31.67 ±2.19ab	48.09±10.32bc	1.04 ±0.11c-e
	LED-RB	9.67 ±0.33a	22.00 ±0.58bc	17.67 ±1.45c-e	22.67 ±1.33c	54.69±10.36bc	0.97 ±0.25de
	LED-W	9.00 ±0.00a	22.67 ±0.67bc	23.00 ±0.58a-c	15.33 ±1.45d	53.53 ±0.97bc	1.65 ±0.03a
25 °ซ	Fluorescence	8.67 ±0.88a	21.00 ±1.00c	27.00 ±2.52ab	6.33 ±0.88e	56.48±6.86a-c	1.89 ±0.36a
	LED-WRB	10.00 ±1.15a	23.00 ±1.53bc	28.00 ±0.58a	10.33 ±1.67de	80.64 ±11.36a	1.76 ±0.18a
	LED-RB	10.33 ±0.88a	23.67 ±1.2abc	25.67 ±1.86bc	11.33 ±0.88de	58.53±8.54a-c	1.56 ±0.10a-c
	LED-W	9.33 ±0.33a	21.33 ±0.67bc	22.33 ±1.20bc	15.33 ±1.45d	47.64 ±3.16bc	1.58±0.06a-c
	F-test						
	A	**[2/]	ns	**	**	ns	**
	B	**	ns	ns	**	**	**
	A x B	*	**	**	**	*	**
	% CV	11.34	7.64	13.3	17.41	11.41	18.11

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 22 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด

ปัจจัยการทดลอง		ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัม)			ปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้น (มิลลิกรัม/ลิตร (ppm))		
		คลอโรฟิลล์ เอ	คลอโรฟิลล์ บี	แคโรทีนอยด์	โพแทสเซียม	แคลเซียม	ไนเตรท
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	0.57±0.04b[1/]	0.15±0.01b	41.93±2.54b	2292±82.99b	65.33±6.58a	3508±147.94b
	23 °ซ	0.45±0.04c	0.13±0.01b	34.36±2.57b	2033±147.88c	43.92±9.10b	3175±440.23c
	25 °ซ	0.94±0.07a	0.29±0.02a	67.95±4.61a	2400±84.39a	67.42±4.35a	4008±160.24a
แสง (B)							
	Fluorescence	0.71±0.12	0.20±0.04	51.04±8.24	2656±70.93a	95.78±1.96a	4033±374.17a
	LED-WRB	0.60±0.07	0.18±0.02	44.36±4.92	1900±64.55d	52.00±5.10b	3011±358.02d
	LED-RB	0.63±0.07	0.19±0.02	47.34±5.00	2100±120.19c	41.44±6.11d	3378±341.88c
	LED-W	0.68±0.10	0.19±0.03	49.58±6.79	2311±121.84b	46.33±4.62c	3833±192.21b
A x B							
20°ซ	Fluorescence	0.54 ±0.01de	0.14 ±0.00de	39.38 ±0.59de	2567±120.19b	100.00 ±5.13a	3133 ±88.19fg
	LED-WRB	0.70 ±0.11cd	0.19 ±0.04cd	51.57 ±7.52cd	2033 ±33.33c	62.67 ±0.88c	3900 ±57.74d
	LED-RB	0.55 ±0.01de	0.15 ±0.01de	40.24 ±1.11de	2033 ±33.33c	41.67 ±2.33e	3000 ±57.74g
	LED-W	0.51 ±0.07de	0.13 ±0.01de	36.54 ±4.32de	2533 ±33.33b	57.00 ±1.15cd	4000 ±264.58d
23°ซ	Fluorescence	0.39 ±0.06e	0.10 ±0.01e	30.66 ±4.97e	2867 ±66.67a	95.67 ±0.88ab	5500 ±173.21a
	LED-WRB	0.37 ±0.04e	0.11 ±0.01de	29.90 ±2.92e	1700 ±0.00d	31.67 ±0.33f	1600 ±57.74i
	LED-RB	0.50 ±0.06de	0.16 ±0.02c-e	37.97 ±4.6de	1733 ±88.19d	20.33 ±0.67g	2433 ±66.67h
	LED-W	0.52 ±0.11de	0.13 ±0.03de	38.91 ±7.55de	1833±33.33cd	28.00 ±0.00g	3167 ±88.19fg
25°ซ	Fluorescence	1.19 ±0.00a	0.35 ±0.00a	83.10 ±0.37a	2533 ±88.19b	91.67 ±1.20b	3467 ±33.33ef
	LED-WRB	0.72 ±0.11cd	0.22 ±0.03bc	51.61 ±8.27cd	1967±133.33c	61.67 ±0.88c	3533 ±66.67e
	LED-RB	0.84 ±0.12bc	0.28 ±0.04ab	63.82 ±8.55bc	2533 ±33.33b	62.33 ±1.20c	4700 ±57.74b
	LED-W	1.02 ±0.11ab	0.30 ±0.03a	73.28 ±7.36ab	2567 ±66.67b	54.00 ±0.00d	4333 ±66.67c
	F-test						
	A	**[2/]	**	**	**	**	**
	B	ns	ns	ns	**	**	**
	A x B	*	*	*	**	**	**
	% CV	21.66	23.81	20.37	5.56	5.29	5.31

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 23 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดแก้วหอมห่อ

ปัจจัยการทดลอง		การเจริญเติบโต (เซนติเมตร)				น้ำหนักผลผลิตรวม (กรัม/ต้น)	
		ความสูง	ความกว้าง	จำนวนใบ (ใบ)	ความยาวราก	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	16.42±0.65a[1/]	24.92±0.66b	18.08±0.85a	32.17±2.35a	109.43±8.49a	3.26±0.19a
	23 °ซ	15.67±0.58a	28.17±1.06a	12.5±0.84c	24.33±1.2b	81.44±4.37b	2.85±0.19b
	25 °ซ	12.92±0.51b	28.08±1.00a	15.5±0.78b	19.5±0.79c	70.64±4.63b	2.84±0.17b
แสง (B)							
	Fluorescence	13.11±0.77b	28.44±0.58	13.33±0.85b	24.22±4.6ab	72.01±5.04b	2.47±0.11c
	LED-WRB	15.67±1.07a	26.67±1.20	16.56±1.36a	17.89±2.71c	94.10±7.84a	2.98±0.13b
	LED-RB	15.89±0.42a	27.33±1.52	13.56±0.9b	24.89±4.34a	76.47±5.60b	2.68±0.15c
	LED-W	15.33±0.69a	25.78±1.13	18.00±1.00a	21.00±2.61b	106.09±11.31a	3.82±0.13a
A x B							
20 °ซ	Fluorescence	14.00 ±1.53	27.00 ±0.58	16.00 ±1.00b-d	40.67 ±2.85a	89.17 ±4.82c	2.98 ±0.45
	LED-WRB	18.33 ±0.88	26.00 ±0.58	19.00 ±1.73ab	23.67 ±1.33cd	119.50±10.84b	2.91 ±0.15
	LED-RB	15.67 ±0.33	24.67 ±1.20	16.00 ±1.00b-d	36.00 ±3.51ab	80.75 ±3.54cd	1.35 ±0.01
	LED-W	17.67 ±0.33	22.00 ±0.58	21.33 ±0.88a	28.33 ±3.53cd	148.26 ±3.18a	3.80 ±0.31
23 °ซ	Fluorescence	14.00 ±1.53	30.00 ±1.15	10.67 ±0.67f	22.33 ±1.76d	70.90 ±1.39cd	1.04 ±0.15
	LED-WRB	16.67 ±0.88	29.00 ±0.58	11.67 ±0.33ef	22.67 ±0.67d	74.17 ±2.54cd	1.52 ±0.01
	LED-RB	17.33 ±0.33	27.33 ±4.33	10.67 ±0.33f	30.00 ±2.08bc	82.43 ±16.19c	1.43 ±0.27
	LED-W	14.67 ±0.67	26.33 ±0.33	17.00 ±1.00bc	22.33 ±1.45d	74.92 ±9.17cd	2.80 ±0.10
25 °ซ	Fluorescence	11.33 ±0.33	28.33 ±0.33	13.33 ±0.33d-f	9.67 ±0.33e	55.95 ±1.83d	2.75 ±0.11
	LED-WRB	12.00 ±1.15	25.00 ±3.51	19.00 ±1.00ab	7.33 ±1.33e	78.59 ±16.6cd	2.58 ±0.98
	LED-RB	14.67 ±0.33	30.00 ±0.58	14.00 ±1.15c-e	8.67 ±1.76e	66.24 ±4.76cd	2.31 ±0.04
	LED-W	13.67 ±0.88	29.00 ±1.53	15.67 ±1.2cd	12.33 ±1.45e	75.09 ±9.58cd	3.06 ±0.50
	F-test						
	A	**[2/]	*	**	**	**	**
	B	**	ns	**	**	**	**
	A x B	ns	ns	*	**	**	ns
	% CV	10.18	11.41	10.96	16.35	14.81	10.32

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01, * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.05, ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 24 ผลของอุณหภูมิ และแหล่งกำเนิดแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นของผักกาดแก้วหอมห่อ

ปัจจัยการทดลอง		ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัม)			ปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้น (มิลลิกรัม/ลิตร (ppm))		
		คลอโรฟิลล์ เอ	คลอโรฟิลล์บี	แคโรทีนอยด์	โพแทสเซียม	แคลเซียม	ไนเตรท
อุณหภูมิ (A)							
	20 °ซ	0.63±0.07b[1/]	0.33±0.13	52.85±6.49b	1733±41.44b	39.42±4.82b	2282±276.80b
	23 °ซ	0.49±0.05b	0.17±0.02	42.97±4.00b	1608±84.80c	26.17±3.42c	1685±204.53c
	25 °ซ	1.14±0.13a	0.38±0.04	83.25±9.41a	2267±228.08a	53.33±7.40a	2725±307.27a
แสง (B)							
	Fluorescence	0.72±0.15ab	0.22±0.04	54.07±9.66	1856±171.68b	47.11±9.05b	2878±383.62a
	LED-WRB	0.92±0.20a	0.30±0.07	70.78±13.22	2211±302.97a	49.22±5.24a	2422±246.52c
	LED-RB	0.73±0.11ab	0.40±0.17	59.49±9.32	1778±54.72b	23.56±5.30d	2511±171.95b
	LED-W	0.65±0.08b	0.24±0.03	54.42±6.15	1633±74.54c	38.67±6.14c	1111±141.75d
A x B							
20 °ซ	Fluorescence	0.41 ±0.06de	0.15 ±0.02	33.50 ±4.48d	1733±33.33de	36.67 ±0.33d	3067 ±33.33c
	LED-WRB	0.79 ±0.06cd	0.26 ±0.02	61.63±4.57b-d	1933 ±66.67c	60.33 ±0.88b	2367 ±33.33f
	LED-RB	0.65 ±0.26c-e	0.67 ±0.53	57.92±24.92b-d	1600 ±0.00e	44.67 ±0.67c	2933 ±33.33d
	LED-W	0.67 ±0.05cde	0.23 ±0.01	58.37±3.21bcd	1667 ±33.33e	16.00 ±0.58g	760 ±20.82k
23 °ซ	Fluorescence	0.45 ±0.03de	0.15 ±0.03	37.18 ±3.70d	1333 ±33.33f	22.33 ±0.33f	1467 ±33.33i
	LED-WRB	0.30 ±0.03e	0.10 ±0.01	30.98 ±2.57d	1333 ±33.33f	28.33 ±0.33e	1600 ±0.00h
	LED-RB	0.54 ±0.04de	0.19 ±0.02	44.16 ±2.90cd	1900 ±57.74c	11.33 ±0.33h	2767 ±33.33e
	LED-W	0.68 ±0.12cde	0.23 ±0.04	59.57±9.83bcd	1867±33.33cd	42.67 ±1.33c	906.67±52.07j
25 °ซ	Fluorescence	1.30 ±0.08ab	0.36 ±0.02	91.54 ±5.55ab	2500 ±0.00b	82.33 ±0.33a	4100 ±57.74a
	LED-WRB	1.66 ±0.09a	0.54 ±0.02	119.72 ±6.19a	3367 ±66.67a	59.00 ±0.58b	3300 ±57.74b
	LED-RB	0.98 ±0.14bc	0.35 ±0.06	76.40 ±12.32bc	1833±88.19cd	14.67±0.33gh	1833 ±33.33g
	LED-W	0.61 ±0.23cde	0.25 ±0.11	45.33 ±16.86cd	1367 ±33.33f	57.33 ±3.38b	1667 ±33.33h
	F-test						
	A	**[2/]	ns	**	**	**	**
	B	ns	ns	ns	**	**	**
	A x B	**	ns	**	**	**	**
	% CV	28.13	93.79	30.23	4.37	5.01	2.97

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± SE ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

[2/] ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในระดับ 0.01 และ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ในการปลูกแบบระบบปิด

ปัจจัยเบื้องต้น ตั้งแต่การเลือกวิธีการเพาะกล้า ระบบการปลูก แหล่งกำเนิดแสง ความเข้มแสง ระยะเวลาการให้แสง สามารถสรุป และวิจารณ์ผลที่เกิดได้ดังนี้

การเตรียมต้นกล้ามีความสำคัญต่อการปลูกพืชในระบบปิด ช่วยวางแผนในการกำหนดระยะเวลาการผลิตและหากต้นกล้าที่มีความแข็งแรงจะส่งผลดีในระยะการเจริญเติบโตหลังย้ายกล้าและมีผลทำให้ผลผลิตดีด้วย (Oda, 2007) จากการทดลองพบว่าสีของหลอด LED ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า แต่พบว่าการเพาะกล้าด้วยแสง LED-WRB มีแนวโน้มทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตดีกว่าการเพาะกล้าด้วยแสง LED-W ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Masahumi Johkan *et al.* (2010) ที่เพาะกล้าด้วยแสงสีน้ำเงิน มีผลช่วยในส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าให้ต้นกล้ามีความแข็งแรงมากกว่าการเพาะกล้าด้วยแสงสีขาวจากหลอด FL หรือแสงสีแดง ดังนั้นจึงเลือกการเพาะกล้าด้วยแสง LED-WRB สำหรับค่า EC พบว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าทั้ง 2 ชนิด เมื่อเพาะกล้าด้วย EC 0.8 mS/cm ตั้งแต่แรกจนถึงวันย้ายกล้า (14 วัน) ทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตแข็งแรงที่สุดและมีข้อดีที่พบ คือ ไม่ต้องเปลี่ยนสารละลายระหว่างช่วงเวลาการการเพาะกล้า ในขณะที่การเพาะกล้าด้วยระดับ EC 1.8 mS/cm (14 วัน) ทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตน้อยที่สุดและมีลักษณะผิดปกติ เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายสูงเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับ Tsukagoshi and Shinohara (2015) ที่กล่าวว่า EC ที่เหมาะสมต่อการเพาะกล้าไม่ควรอยู่ระหว่าง 0.8-1.5 mS/cm ซึ่งนอกจากค่า EC แล้วพบว่าควรศึกษาความจำเพาะเจาะจงต่อความต้องการธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิดพืช ซึ่งจะมีความต้องการธาตุอาหารต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ซึ่งมีความสำคัญเช่นเดียวกับค่า EC (Maneejantra *et al.*, 2016) หากได้ระดับที่เหมาะสมอาจทำช่วยลดระยะเวลาการเพาะกล้าได้ ในการทดลอง**ระบบปลูก**พืชแนวตั้ง พบว่าการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีกว่าการปลูกด้วยวัสดุปลูก ซึ่งสอดคล้องกับ Puerta *et al.* (2007) ที่กล่าวว่าการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์มีผลทำให้พืชได้รับความเข้มข้นของสารละลายที่สม่ำเสมอกว่า จึงทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตและมีความสม่ำเสมอกว่า ซึ่งการเลือกระบบปลูกมีความสำคัญอย่างมากทั้งการปลูกแบบโรงงานหรือการ

ปลูกในสภาพแปลง จำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนและต้องง่ายต่อการจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสมต่อความต้องการของพืช แต่พบข้อสังเกตในการทดลองระบบปลูก พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกรูปทรงอาจยังไม่ได้คุณภาพ มีอาการยืดเข้าหาแสง อาจเกิดจาก**ความเข้มแสง**ที่น้อยเกินไป (การทดลองระบบปลูก ค่า PPFD = 100 µmol/m^2/s) ซึ่ง Kubota (2015) กล่าวว่า การปลูกผักกาดหอมในโรงงานปลูกพืชด้วยแสงเทียมที่เหมาสมควรควบคุมค่า PPFD ให้อยู่ระหว่าง 100-300 µmol/m^2/s ซึ่งการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาค่า PPFD 100 และ 150 µmol/m^2/s จากผลการศึกษาพบว่าค่า PPFD 150 µmol/m^2/s มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงกว่า 100 µmol/m^2/s ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นรายงานว่าการเพิ่มความเข้มแสง มีส่วนช่วยในการส่งเสริมอัตราการเจริญเติบโตของผักกาดหอม (Tibbits *et al.,* 1983) และในการทดลองพบว่าการเพิ่ม PPFD เป็น 150 µmol/m^2/s มีผลให้ค่าความเขียวใบเพิ่มขึ้น ค่าความเขียวใบที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีผลในการส่งเสริมการสะสมชีวมวลในพืช (Adams and Langton, 2005) จึงเป็นผลทำให้ที่ค่า PPFD 150 µmol/m^2/s มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่า 100 µmol/m^2/s นอกจากนี้ Park *et al.* (1999) ได้ศึกษาค่า PPFD ที่ 100, 150, 200 และ 250 µmol/m^2/s ในผักกาดหอม 'Grand Rapids' ที่ปลูกในระบบปิด พบว่าความเข้มแสงมีสัมพัทธ์กับปริมาณคลอฟิลล์ โดยยิ่งเพิ่มความเข้มแสง ยิ่งทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าความเข้มแสงที่มากเกินไป มีผลต่อต้นทุนการผลิต Ohyama (2015) ได้กล่าวว่าต้นทุนแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบนี้คิดเป็น 28% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ยิ่งให้ความเข้มแสงสูงยิ่งต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ความเข้มแสงยังมีความสัมพันธ์ต่อ**ระยะเวลาการให้แสงต่อวัน** นับเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้วัดความคุ้มค่าต่อผลผลิตในระบบเช่นกัน จากการทดลองให้แสงผักกาดหอม 16 และ 20 ชม./วัน พบว่าการให้แสง 20 ชม./วัน มีแนวโน้วทำให้การเจริญเติบโตและน้ำหนักผลผลิตสูงแต่ไม่แตกต่างจากการปลูกด้วยการให้แสง 16 ชม./วัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Takahiro Oshio (2015) พบว่าการลดระยะเวลาการให้แสงต่อวันเป็นจาก 16 ชม./วัน และเพิ่มความเข้มแสงจาก 100 µmol/m^2/s เป็น 200 µmol/m^2/s ทำให้ลดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ถึง 50% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการเพิ่มความเข้มแสงจาก 100 µmol/m^2/s เป็น 150 µmol/m^2/s ทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงขึ้นในทุกสายพันธุ์ สอดคล้องกับ Tet *et al.* (1996) กล่าวว่า พืชควรได้รับแสงไม่ควรเกิน 18 ชม./วัน จะทำให้ผลผลิตสูงและมีประสิทธิภาพในใช้การใช้พลังงานสูงสุด และจากข้อสังเกตในผักกาดหอมคอสพบว่าการให้แสง 20 ชม./วัน มีผลทำให้เกิดอาการใบไหม้ (tipburn) เนื่องจากการได้รับแสงที่ยาวนานเกินไป จึงแสดงอาการ tipburn อาจมีผลเชื่อมโยงกับการขาดแคลเซียมเฉพาะที่ ซึ่งเกิดจากการขนส่งแคลเซียมไปไม่เพียงพอต่อเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโต (Both *et al.,* 1997; Sago, 2016) อย่างไรก็ตามพบอาการ tipburn เฉพาะผักกาดหอมคอสเท่านั้น ในผักกาดหอมอื่นไม่พบอาการ และการทดลองที่ผ่านมาทั้ง 3 ทดลอง พบปัญหาการไม่เกิดสีแดงใน

ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ซึ่งสีแดงในใบผักกาดหอมคือสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) จัดเป็นสารประกอบฟีนอลชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Bridle and Timberlake, 1996) Loreti et al. (2008) รายงานว่าการสะสมแอนโทไซยานินในพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกของพืชหลายประการ ในกรณีนี้ได้**ศึกษาอุณหภูมิต่อการเกิดสีแดง** เนื่องจากการสังเคราะห์ flavonoids จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ลดลง (Neugart *et al.,* 2012) จากการทดลอง พบว่าการปลูกที่อุณหภูมิที่ 23 และ 25 ^{o}ซ ด้วยแสง LED-W และแสง LED-WRB ค่า PPFD 150 μmol/m^2/s ไม่ส่งผลให้เกิดใบแดงในผักกาดหอมเรดโอ๊ค เมื่อเทียบกับการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิที่ 35^{o}ซ จากรายงานของ Romani *et al.* (2002) ใบแดงสำหรับการสังเคราะห์ flavonoids ขึ้นกับความเข้มแสงและ UV ที่พืชได้รับ พบว่าผักกาดหอมที่ได้รับแสง UV จากดวงอาทิตย์โดยตรงมี flavonoids สูงกว่าการปลูกพืชในโรงเรือน แสดงให้เห็นว่าแสง LED ที่ใช้ในการทดลองอาจไม่มีแสง UV หรืออาจมีความเข้มแสงไม่เพียงพอ (ค่า PPFD ที่ใช้ในการทดลอง 150 μmol/m^2/s) ซึ่งจากการสังเกต พบว่าใบแดงจะปรากฏสีใบเป็นสีแดงตามลักษณะประจำพันธุ์เมื่อได้รับรังสี UV ความยาวคลื่น 280-400 nm จึงได้ผลการ**ศึกษาแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงต่อการเกิดสีแดง** พบว่าการเพิ่มค่า PPFD 200 μmol/m^2/s ในทุกแหล่งกำเนิดแสงที่ปลูกในระบบปิด ผักกาดหอมเรดโอ๊ค มีแนวโน้มการเกิดสีแดงมากกว่าค่า PPFD 100 μmol/m^2/s (Control) โดยเฉพาะการปลูกด้วยแสง LED-W+UV และการปลูกด้วยแสงจากหลอด Fluorescence มีสีใบใกล้เคียงกับการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ 100% ซึ่งในปัจจัยการทดลองที่ใช้แสงจากหลอดFluorescence และหลอด UV ที่มีช่วงแสง 280-400 nm พบว่าใบผักกาดหอมเรดโอ๊คขึ้นสีแดง คล้ายกับการปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ เนื่องจากแสง UV มีผลต่อการสะสมสารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่สามารถควบคุมการแสดงออกของลักษณะ (characteristics) หรือมีบทบาทจำเพาะ เช่น ควบคุม photomorphogenesis, pigment biosynthesis และ pathogen resistance induction (Tilbrook *et al*., 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยรัตน์ บูรณะ และ วาริช ศรีละออง (2552) ที่พบว่าการได้รับแสง UV ส่งผลให้ใบคะน้ามีปริมาณแคโรทีนอยด์สูง และสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระให้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มค่า PPFD 200 μmol/m^2/s ในแสง LED-W และ LED-W+UV ทำให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักผลผลิตสดต่อต้นไม่แตกต่างจากการปลูกกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ 100 % แสดงให้เห็นว่า ค่า PPFD ที่เหมาะต่อการปลูกผักกาดหอมในระบบปิดควรปลูกที่ ค่า PPFD 200 μmol/m^2/s ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Fu W *et al*. (2012) ที่พบว่าการปลูกผักกาดหอม romaine ด้วยค่า PPFD 400 และ 200 μmol/m^2/s ให้ผลผลิตสดไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบกว่าการปลูกผักกาดหอมเรดโอ๊คในระบบปิด แสง UV มีผลอย่างมากต่อการเกิดสีใบ ดังนั้น หากต้องปลูกผักกาดหอมใบแดงในระบบปิด ควรเพิ่มการให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่น 280 nm ร่วมด้วย ซึ่งพบว่าในปัจจุบันหลอดไฟสำหรับปลูกพืช ส่วน

ใหญ่เป็นหลอด LED ที่ถูกพัฒนาให้ใช้เฉพาะ LED แสงสีแดง และสีน้ำเงิน ที่มีความยาวคลื่น 400-700 nm เมื่อนำไปวัดสเปกตรัมแสง พบว่าไม่มีช่วงคลื่นของแสง UV ดังนั้นหากมีการพัฒนาหลอด LED ให้มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 280-800 nm จะเป็นแนวทางในการศึกษาการเกิดสีแดงหรือการเพิ่มสารสำคัญในพืชบางชนิดได้ และสำหรับผักกาดหอมชนิดอื่นๆ แหล่งกำเนิดแสงมีผลต่อการเจริญเช่นกัน และพบว่าผักกาดหอมชนิดห่อหัวที่ปลูกในการทดลองเบื้องต้นยังมีรูปทรงที่ไม่มีคุณภาพ อาจเกิดจากอุณหภูมิไม่เหมาะสม ซึ่ง Rubatzky and Yamaguchi (1997) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมขึ้นอยู่กับชนิดของผักกาดหอมด้วย

5.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม

การศึกษา**อุณหภูมิ 20 23 และ 25°ซ และแหล่งกำเนิดแสง 4 แหล่ง** ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอม 2 ชนิด 1) ชนิดไม่ห่อหัว คือ เรดโอ๊คเป็นตัวแทนผักใบสีแดง และกรีนโอ๊คเป็นตัวแทนผักใบสีเขียว 2) ชนิดห่อหัว คือ บัตเตอร์เฮดเป็นตัวแทนชนิดที่ห่อหัวไม่แน่น และผักกาดแก้วหอมห่อเป็นตัวแทนชนิดที่ห่อหัวแน่น โดยควบคุมความชื้นสัมพันธ์ที่ 60-70 % ความเข้มแสง 200 $\mu mol/m^2/s$ ระยะเวลาการให้แสง 16 ชม./วัน เมื่อผักกาดหอมอายุ 45 วัน ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต สามารถสรุป และวิจารณ์ผลที่เกิดได้ดังนี้

จากผลการทดลองการปลูกผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว ควรเลือกปลูกที่อุณหภูมิ 25°ซ และผักกาดหอมชนิดห่อหัวควรเลือกปลูกที่อุณหภูมิ 20°ซ นับเป็นผลตามลักษณะประจำพันธุ์ที่พืชแสดงออกเมื่อได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่ง Knott (1950) ได้รายงานว่าผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัวต้องการอุณหภูมิอยู่ที่ 21-26°ซ ในขณะที่ชนิดห่อหัวต้องการอุณหภูมิสำหรับการห่อหัวอยู่ระหว่าง 15-20°ซ แสดงให้เห็นว่าผักกาดหอมชนิดห่อหัว ควรปลูกในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°ซ เพื่อจำลองสภาพให้เหมาะแก่การห่อหัว ในประเทศไทยมักพบมีปัญหาในการปลูกผักกาดหอมชนิดห่อหัว เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม อาจปลูกได้บ้างในบางช่วงฤดูกาลที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ต้องนำเข้าผลผลิตของผักกาดหอมชนิดห่อหัวจากต่างประเทศ เช่น ผักกาดแก้วหอมห่อ มีมูลค่าการนำเข้าสูงถึง 3.06 ตัน มูลค่า 2.30 ล้านบาท/ปี และมีการส่งออกน้อยมาก เนื่องจากเป็นพืชที่บอบช้ำง่าย อายุการเก็บรักษาสั้น โดยในปี พ.ศ. 2540 มีการส่งออกเพียง 3 เมตริกตัน มูลค่า 0.1 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2543 มีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ 8.62 ตัน (กมล และคณะ, 2544) ดังนั้นการปลูกผักกาดหอมห่อในโรงงานปลูกพืชด้วยแสงเทียม จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถผลิตผักกาดแก้วหอมห่อได้ตลอดทั้งปี และสามารถจัดการผลผลิตให้มีเพียงพอต่อความต้องการและมีโอกาสทางการตลาดสูงกว่าการปลูกผักกาดหอมชนิดอื่น เนื่องในปัจจุบันราคาผักกาดแก้วหอมห่อมีราคาขีดละ 30-50 บาท ที่ปลูกในระบบปลูกปกติ แต่ถ้าหานำมาปลูกด้วยระบบนี้ที่สามารถควบคุม

สภาพแวดล้อมได้ และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ อาจทำให้ผักกาดแก้วหอมห่อที่ปลูกในระบบนี้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

แสงนับเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบ เช่น functional compounds (phytochemicals) (Goto *et al.,* 2016) และสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารในผักกาดหอมได้ จากการทดลอง พบว่าผักกาดหอมเรดโอ๊คและผักกาดแก้วหอมห่อ มีแนวโน้มการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์สูงเมื่อปลูกปลูกภายใต้แสง LED-WRB แต่ผักกาดหอมกรีนโอ๊คและผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มของการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์สูงเมื่อปลูกปลูกภายใต้แสง FL และผักกาดหอมทุกชนิด มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นสูงเมื่อปลูกภายใต้แสง LED-WRB ซึ่งมีหลายการรายงาน พบว่าแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงที่สูง มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ functional compounds สารอาหารที่จำเป็นในการต้านอนุมูลอิสระ (Li *et al.,* 2011) ซึ่งพบมากในแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น เช่น แสงสีน้ำเงิน (Johkan *et al.,* 2010; Son and Oh 2013), แสง UV (Lee *et al.,* 2014; Goto 2012, Goto *et al.,* 2016) หรือการรวมของแสงสีน้ำเงินและแสง UV (Ebisawa *et al.,* 2008) ดังนั้นจึงพบว่าในแสง LED-W และแสงจากหลอด FL จึงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์สูง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารสำคัญของผักกาดหอมจะผันแปรขึ้นอยู่กับ ชนิด พันธุ์ โครงสร้างและสารประกอบอินทรีย์ (Llorach *et al*., 2008) สารแอนโทไซยานินและคลอโรฟิลล์ (Li *et al*., 2010) แต่สำหรับการเจริญเติบโต Holopainen *et al.* (2017) พบว่าการให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่นที่ยาว แสงที่มีแสงสีแดงและแสงสีแดงไกล มีแนวโน้มในการเพิ่มมวลชีวภาพและพื้นที่ใบ ทำให้การปลูกพืชที่มีแสง LED-WRB และ LED-RB มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิตดีกว่าแสงจากแหล่งอื่น ดังนั้นการผสมผสานระหว่างคุณภาพแสงจึงมีความสำคัญในการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการเพิ่มสารประกอบอินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตาม การปลูกพืชโรงงานที่ใช้แสงเทียมในการเจริญเติบโต ต้องคำนึงถึงความเข้มแสง และระยะเวลาการให้แสงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีผลสอดคล้องกับการศึกษาการรวมแสง LED (Sun *et al*.,1998; Terashima *et al*., 2009; Broadersen and Volgelmann, 2010) ที่พบว่า เมื่อนำแสง LED สีขาวร่วมกับสีแดงและสีน้ำเงิน ทำให้สเปกตรัมความยาวคลื่นกว้างครอบคลุมพื้นที่แสงที่มองเห็นได้ (380-780 nm) มากกว่าแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอื่น ส่งผลให้ผักกาดหอมภายใต้ร่วมแสง LED-WRB มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตในทุกพันธุ์ ซึ่งตั้งแต่มีการค้นพบหลอด LED ที่สามารถปรับเปลี่ยนสเปกตรัมแสงได้ จาก Dr. Keith McCree (McCree, 1971) ทำให้นักวิจัยมีความสนใจ ในการศึกษาการตอบสนองของพืชต่อแสงที่ได้รับ เพื่อหาอัตราการใช้ที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิด เนื่องจากปัจจุบันพบว่านิยมใช้อยู่ 2 สเปกตรัม คือ สเปกตรัมแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงิน แต่ยังไม่มีสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชในระบบปิด ดังนั้นในการเลือกแสงที่เหมาะสมต้องผ่านการทดลองกับพืชเท่านั้น จึงจะได้สัดส่วนแสงที่ต้องการได้ ทำให้ยังต้องมีการศึกษาและวิจัยอย่าง

ต่อเนื่อง และเมื่อไม่นานมานี้ มีกลุ่มนักวิจัยจาก Utah State University (Snowden *et al.*, 2016) พบว่า การเสริมสเปกตรัมของแสงสีเขียว 30% ทำให้พืชมีน้ำหนักใกล้เคียงกับ แสงจาก LED สีแดงและสีน้ำเงิน และพบว่ามีพืชมีการดูดแสงสีเขียวดีกว่า แสงสีแดงและน้ำเงิน ดังนั้น จะเห็นได้ว่ามีการพัฒนาเกี่ยวกับหลอด LED สำหรับใช้ในการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้แสงที่ดีสุดในการปลูกพืชโดยไม่ต้องพึ่งแสงจากด้วยอาทิตย์ เพื่อรับมือกับความต้องการอาหารมากขึ้นตามจำนวนประชากรโลก และปัญหาสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 6
สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 ปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ในการปลูกแบบระบบปิด

สรุปการผลการทดลอง

5.1.1 จากการศึกษาผลของของระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารและแสงที่เหมาะสมต่อการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด พบว่าการเพาะกล้าด้วยสารละลายเข้มข้น EC 0.8 mS/cm 14 วัน ต้นกล้าเจริญเติบโตและแข็งแรงที่สุด

5.1.2 จากการศึกษาผลของระบบปลูกและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด พบว่าระบบไฮโดรโปนิกส์ มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีกว่าการปลูกในวัสดุปลูก

5.1.3 จากการศึกษาผลของความเข้มแสงและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด พบว่ากการปลูกที่ค่า PPFD 150 µmol/m^2/s มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีกว่าการปลูกที่ค่า PPFD 150 µmol/m^2/s

5.1.4 จากการศึกษาอิทธิพลของความระยะเวลาการให้แสงต่อวันและแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด พบว่าการให้แสง 16 ชม./วัน มีแนวโน้มการเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีกว่าการให้แสง 20 ชม./วัน แต่น้ำหนักผลผลิตทั้ง 2 ระยะเวลาการให้แสงไม่แตกต่างกั

5.1.5 จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและแหล่งกำเนิดแสงต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกของสีใบของผักกาดหอมใบแดง เรดโอ๊คที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเกิดสีใบ แต่พบว่าแหล่งกำเนิดแสงที่ให้พืชได้รับมีต่อการเกิดสีใบมีต่อการแสดงออกของสีใบ

5.1.6 จากการศึกษาอิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการแสดงออกของสีใบของผักกาดหอมใบแดงเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบปิด พบว่าการเพิ่มค่า PPFD 200 µmol/m^2/s สีใบของผักกาดหอมเรดโอ๊คแดงเข้มขึ้นมากกว่าค่า PPFD 100 µmol/m^2/s^1 และแสงที่มีรังสีอัลตราไวโอเลต (หลอด UV และหลอด Fluorescence) ทำให้เกิดสีได้เทียบเท่ากับการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ 100%

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในโรงงานผลิตพืชด้วยแสงเทียม

สรุปการผลการทดลอง

5.2.1 จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดไม่ห่อหัว พบว่าทั้งผักกาดหอมเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค มีแนวโน้มการเจริญเติบโตและผลผลิตดีที่อุณหภูมิ 25°ซ และในผักกาดหอมเรดโอ๊ค มีแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นสูงเมื่อปลูกภายใต้แสง LED-WRB แต่ในผักกาดหอมกรีนโอ๊ค มีแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี และแคโรทีนอยด์สูงเมื่อปลูกภายใต้แสง FL และมีปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นสูงเมื่อปลูกภายใต้แสง LED-WRB

5.2.2 จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหอมชนิดห่อหัว พบว่าทั้งผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดและผักกาดแก้วหอมห่อ มีแนวโน้มการเจริญเติบโต และห่อหัวดีที่อุณหภูมิ 20°ซ และในผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นสูงเมื่อปลูกภายใต้แสง FL แต่ในผักกาดแก้วหอมห่อ มีแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ-บี แคโรทีนอยด์ และปริมาณธาตุอาหารเบื้องต้นสูงเมื่อปลูกภายใต้แสง LED-WRB

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การเลือกแหล่งกำเนิดแสงควรเลือกให้เหมาะสมต่อชนิดพืชที่ปลูก ซึ่งมีความสำคัญมาก หากเลือกหลอดไฟที่มากจากบริษัทที่ไม่มีความน่าเชื่อถือ ไม่บอกคุณลักษณะของหลอดให้ชัดเจน เช่น อุณหภูมิของหลอด Kelvin (K) ควรเลือกไม่เกิน 5000 K หากมีค่า K สูงเกินไปจะมีผลต่อพืช เช่น ใบม้วนงอ หรือเกิดใบไหม้ที่ปลายใบ (Pattison *et al*., 2016; Han *et al.,* 2017; Carney *et al.,* 2016)

5.3.2 การปลูกพืชในระบบปิด ควรคำนึงถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่า PPFD ต้องควบคุมให้มีความเหมาะสมต่อชนิดพืช และจำนวนพืชที่ปลูกในระบบ หากมีน้อยเกินไปจะมีผลต่อการเปิดปิดปากใบ และการสังเคราะห์แสงของพืช (Kinoshita *et a*l., 2001) โดยทั้ง 2 ค่า จะส่งผลให้พืชมีน้ำหนักแห้งสะสมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการปลูกภายนอกอาคาร หากมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช และพบว่าหากทำให้ค่า PPFD น้อยลงแต่ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น จะส่งผลดีต่อการปลูกพืชในระบบ PFAL ในเรื่องลดค่าใช้พลังงาน (CO_2 ที่เหมาะสมประมาณ 1000 ppm : Cerón-Palma *et al.,* 2012)

5.3.2 จากการทดลองพบว่าการในการปลูกพืชในโรงงานที่ใช้แสงเทียม มีปริมาณไนเตรทตกค้าง ค่าตั้งแต่ 760 – 5,500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งบางการทดลองอาจมีปริมาณไนเตรทตกค้างตกค้างสูงเกินไป ซึ่งผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารระดับนานาชาติ (Joint FAO/WHO Expert Committer On Food Additives; JECFA) ได้กำหนดค่าที่ประเมินความปลอดภัยในการบริโภคผักที่มีไนเตรทตกค้างไม่เกิน 2.5 กรัม/กิโลกรัม ดังนั้นควรจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ในเรื่องการหาวิธีในการลดปริมาณการสะสมเตรทในโรงงานปลูกพืชด้วยแสงเทียมให้อยู่ในระดับที่ไม่เกินมาตรฐานก่อน การเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผักกาดหอมที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2556). สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กรอบยุทธศาสตร์ความมั่นคงด้านอาหารกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2556-2559 [ออนไลน์]. สืบค้นจาก :http://www.oae.go.th/download/journal/foodSecurityMOAC56-59.pdf.

กมล เลิศรัตน์. (2555). เทคโนโลยีการผลิตพืชแห่งศตวรรษที่ 21. ว. แก่นเกษตร, 40 (ฉบับพิเศษ 4), 1-8.

คณะทำงานพัฒนาการพัฒนาคุณภาพชีวิต สาธารณสุข และคุ้มครองผู้บริโภค. (2556). มูลนิธิชีววิถี. ความเห็นและข้อเสนอแนะการคุ้มครองผู้บริโภคจากอันตรายของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.noasbestos.org/hcp/images/mydata/freedoc/book/Book_event01/4-insecticide.pdf.

คณะอนุกรรมการจัดทำแผนเพื่อการบริหารความมั่นคงทางด้านอาหาร. (2556). “กรอบยุทธศาสตร์ความมั่นคงด้านอาหาร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (พ.ศ.2556-2559)”. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. (2556). การกำหนดปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRLs) [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.thaipan.org/sites/default/files/conference2555//conference2555_0_07.pdf.

จูนลิฎา โยธาทิพย์, พาสินี สุนากร และพัชรียา บุญกอแก้ว. (2553). การศึกษาการปลูกพืชภายในอาคาร โดยใช้แสงประดิษฐ์, การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขต กำแพงแสน, นครปฐม.

ชัยรัตน์ บูรณะ, และ วาริช ศรีละออง. (2552). ผลของรังสี UV-C ต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในคะน้า. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร, 40(ฉบับพิเศษ 3), 137-140.

ดิเรก ทองอร่าม. (2546). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ธรรมรักษ์การพิมพ์. ราชบุรี. 640 น.

ถกลวรรณ ศิริสวัสดิ์, ปริญญา จันทรศรี, บาจรีย์ ฉัตรทอง, ชัชวาลย์ ชัยชนะ, และสุวิทย์ วงศ์ศิลา. (2561). การให้แสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสงคั่นในเวลากลางคืนเพื่อควบคุมการออกดอกของเบญจมาศ. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร, 49(ฉบับพิเศษ), 302-305.

นนทกานต์ จันทร์อ่อน. (2557). กลุ่มงานติดตามและประมวลผลงานของวุฒิสภา สำนักวิชาการ. สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา, 4(2).

นิพนธ์ ไชยมงคล. (2543). เอกสารประกอบการสอนวิชาการผลิตผัก. สาขาวิชาพืชผัก ภาควิชาพืช-สวน. คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวทิยาลยัแม่โจ้เชียงใหม่.

นภัทร วัจนเทพินทร์, และไชยยันต์ บุญมี. (2560). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สืบค้นจาก: http://tujournals.th.ac.th/tstj/detailart.aspx?ArticleID=5841.

มนูญ ศิรินุพงศ์. (2544). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: เจริญรัฐการพิมพ์.

สาคร ศรีมุข. (2556). ผลกระทบจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทย. สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา, 3(17)

สุทธิดา มณีเมือง, เนตรนภา อินสลุ, นิติ คำเมืองลือ, ประดิษฐ์ เทอดทูล, และพฤทธ์ สกุลช่างสัจจะทัย. (2558). ผลของความเข้มแสงจากชุดหลอดแอลอีดีสำหรับการเพาะปลูกที่มีต่อผักสลัดเรดโอ๊คในระบบโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์. ว. วิจัย มทร อีสาน, 8(1), 63-72.

อภิชาติ พงษ์ศรีหดุลชัย, รศ.ดร.ศรัณย์วรรธนัจฉริยา, นายเดชา ศุภวันต์ และผศ.สุภาวดี โพธิยะราช. (2557). ความมั่นคงทางอาหารและพลังงานของไทย [Online]. สืบค้นจาก: http://www.itd.or.th/research-report/238-2012-02-09-16-48-03.

อภิรักษ์ หลักชัยกุล. (2539). การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกพืชไม่ใช้ดินในผักกาดหอม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 117 น.

อารักษ์ ธีรอำพน. (2554). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. เอกสารวิชาการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุร-นารี นครราชสีมา.

อารักษ์ ธีรอำพน. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ฝ่ายปรับแปลงและถ่ายทอดเทคโนโลยี เทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. 128 น.

Adams SR, Langton FA. (2005). Photoperiod and plant growth: a review. J Hortic Sci Biotechnol 80, 2-10. doi:10.1080/14620316.2005.11 511882.

Bakker, J.P. (1980). Planting density for lettuce. Hort. Abstracts, 51:301.

Both, A.J., Albright, L.D., Langhans, R.W., Reiser, R.A. and Vinzant, B.G. (1997). Hydroponic lettuce production influenced by integrated supplemental light levels in a controlled environment agriculture facility: Experimental results. Acta Hort, (418), 45-52.

Bourget, C.M., (2008). An introduction to light-emitting diodes. Hort. Sci, (43), 1944-1946.

Bridle, P.and C. F. Timberlake. (1996). Anthocyanins as natural food colors selected aspects. Food chem, (58), 103-109.

Chin, L.Y. and Chong, K.K., (2012). Study of high power light emitting diode (LED) lighting system in accelerating the growth rate of *Lactuca sativa* for indoor cultivation, Int. J. Phys. Sci, (7), 1773-1781.

Ebisawa M, Shoji K, and Kato M et al., (2008). Effect of supplementary lighting of UV-B, UV-A, and blue light during the night on growth and coloring in red-leaf lettuce. Shokubutu Kankyo Kogaku, (20), 158-164.

FAO. (2009). Agriculture and Horticulture Seed: Their Production. Rome, Italy.

FAOSTAT. (2011). The FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Statistical Database. Retrieved from http://faostat.fao.org.

Food and Agriculture. (2012). Organization of the United Nations (FAO). "Global food security index 2012". Economist Intelligence Unit, 10.

Fu, W., Li, PP, Wu, and Y (2012). Effects of different light intensities on chlorophyll Fluorescence characteristics and yield in lettuce. Sci. Hortic, (135), 45-51.

Fu W, Li PP, Wu Y, and Tang J. (2012). Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. Hort. Sci, (39), 129-134.

Gacomelli, G.A. (1998). Greenhouse Glazing and Solar Radiation Transmission Workshop. October @CCEA. Center for Controlled Environment Agriculture, Rutgers University, Cook College, AZ. 85721, USA.

Govindjee. (2004). Chlorophyll a fluorescence: a bit of basics and history. In: Papageorgiou, G.C., Govindjee, (Eds.). Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands, 1-42.

Hanan, J. (1998). Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture. Boca Raton. FL: CRC Press.

Heuvelink, E. and M. Dorais. (2005). Crop growth and yield. In Tomatoes, ed. E. Heuvelink. Wallingford: CABI Publishing, 85-144.

Holopainen JK, Kivimäenpää M, and Julkunen-Tiitto R. (2017). New light for phytochemicals. Trends Biotechnol. from https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.08.009.

Iwana, S. and Motai. (1954). Ecological studies of vegetable in region of difference altitude. 7 Ecological behavior of lettuce in hot season. Hort, Abstract (24), 394.

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

Ki-Ho Son and Myung-Min Oh. (2013). Leaf Shape, Growth, and Antioxidant Phenolic Compounds of Two Lettuce Cultivars Grown under Various Combinations of Blue and Red Light-emitting Diodes, Sci. Hort, 48(8), 988-995.

Ki-Ho Son, Yu-Min Jeon and Myung-Min Oh. (2016). Application of Supplementary White and Pulsed Light-emitting Diodes to Lettuce Grown in a Plant Factory with Artificial Lighting. Hortic. Environ. Biotechnol, 57(6), 560-572.

Kim, H., C. Chun and T. Kozai et al. (2000). The potential use of photoperiod during transplant production under artificial lighting conditions on floral development and bolting, using spinach as a model. Sci. Hort, (35), 43-45.

Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., and Paek, K.Y. (2004). Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. Sci. Hortic. (101), 143-151.

Knight, S.L. and C.A. Mitchell. (1983). Stimulation of lettuce productivity by manipulation of diurnal temperature and light. Sci. Hort, (18), 462-463.

Knott, J.E. (1950). Vegetable Growing. Lea & Febiger, Philadelphia.

Knott, J.E. and R. Deanon. (1970). Vegetable Production in South East Asia. Los Bonos: College of Agriculture, Univ. Philippines.

Kozai, T., Kubota, C., Chun, C., Afreen, F., and Ohyama, K. (2000). Necessity and concept of the closed transplant production system. In: Kubota, C., Chun, C. (Eds.), Transplant Production in the 21st Century. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Kozai, T. (2007). Propagation, grafting, and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialization in Japan. J. Ornam. Plants, 7 (3), 145-149.

Kozai, T. (2013). Plant factory in Japan : current situation and perspectives. Chron. Horticult, 53 (2), 8-11.

Krizek, D.T. and D.P. Ormond. (1980). Growth response of Grand Rapid lettuce and First Lady Marigold to increase far-red and infared radiation under controlled environment. J. Amer. Soc. Sci. Hort, (68), 261-270.

Kuan-Hung Lin*a,* Meng-Yuan Huangb,, Wen-Dar Huangc, Ming-Huang Hsuc, Zhi-Wei Yang, and Chi-Ming Yang. (2013). ffects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). Sci. Hort, (150), 86-91.

Lee MJ, Son JE, and Oh MM. (2014). Growth and phenolic compounds of Lactuca sativa L. grown in a closed-type plant production system with UV-A, -B, or -C lamp. J Sci Food Agric, (94), 197-204.

Lefsrud, M.G., and Kopsell, D.A., Sams, C.E. (2008). Wavelengths from adjustable light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. Sci. Hort, (43), 2243-2244.

Li, Q. and Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environmental and Experiment Botany, (67), 59-64.

Li, Z., X. Zhao, A. K. Sandhu, and L. Gu. (2010). Effects of exogenous abscisic acid on yield, antioxidant ca- pacities, and phytochemical contents of greenhouse grown lettuces. J. Agric. Food Chem, (58), 6503-6509.

Li J, Hikosaka S and Goto E (2011) Effects of light quality and photosynthetic photon flux on growth and carotenoid pigments in spinach (Spinacia oleracea L.), Acta Hortic (907), 105-110.

Lin, K.H., Huang, M.Y., Huang, W.D., Hsu, M.H.,Yang, Z.W.and Yang, C.M. (2013) The effects of red, blue, and white light emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically growth Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata), Sci. Hort, (105), 86-91.

Liu, M., Xu, Z., and Yang, Y. (2011). Effects of different spectral lights on Oncidium PLBs induction, proliferation, and plant regeneration. Plant Cell Tissue Organ Cult. (106), 1-10.

Llorach, R., A. Martínez-Sánchez, F. A. Tomás-Barberán, M. I. Gil, and F. Ferreres. (2008). Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. Food Chem, (108), 1028 - 1038.

Loreti, E., G. Povero, G. Novi, C. Solfanelli, A. Alpi, and P. Perata. (2008). Gibberellins, jasmonate and abscisic acid modulate the sucrose-induced expression of anthocyanin biosynthetic genes in Arabidopsis. New Phytol, (179), 1004-1016.

Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M., and Mitchell, C.A. (2008) . Plant productivity inresponse to LED lighting. Sci. Hort, (43), 1951-1956.

Merrill F. Brandon, Na Lu, Toshitaka Yamaguchi, Michiko Takagaki, Toru Maruo, Toyoki Kozai, and Wataru Yamori. (2016). Next evolution of agriculture: A review of innovations in plant factories. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/301341115_Next_ revolution_of_Agriculture_A_review_of_innovations_in_plant_factories

Mitchell, C.A., T. Leakakos, and T.L. Ford. (1991). Modification of yield and chlorophyll content in leaf lettuce by HPS radiation and nitrogen treatments. Sci. Hort, (26), 1371-1374.

Mizuno, T., Amaki, W. and Watanabe, H. (2011). Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and athocyanin contents in laves of cabbage seedlings. Acta Hort, (907), 179-184.

Morrow, R.C. (2008). LED lighting in horticulture. Sci. Hort, (43), 1947-1950.

Moss RA, and Loomis WE. (1952). Absorption spectra of leaves. 1. The visible spectrum. Plant Physiol, (27), 370-391.

Neugart, S., H.-P. Klaering, et al. (2012). "The effect of temperature and radiation on flavonol aglycones and flavonol glycosides of kale (Brassica oleracea var. sabellica).". Food Chemistry, 133(4), 1456-1465.

Nicolle, C., N. Cardinault, E. Gueux, L. Jaffrelo, E. Rock, A. Mazur, P. Amouroux, and C. Rémésy. (2004). Health effect of vegetable-based diet: lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant status in the rat. Clin. Nutr, (23), 605-614.

Ohyama, K. (2015). Actual management conditions on a large-scale plant factory with artificial lighting (written in Japanese: Dai-kibo keiei de no keiei jittai). JGHA Prot. Hortic, (JGHA Shisetsu to Engei) (168), 30-33.

Park MH, and Lee YB. (1999). Effect of light intensity and nutrient level on growth and quality of leaf lettuce in a plant factory. J Bio-Environ Control, (8), 108-114.

Puerta, A. R., S. Sato, Y. Shinohara, and T. Maruo. (2007). A modied nutrient film technique system offers a more uniform nutrient supply to plants. Hort technology, (17), 227-23.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., and Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends Plant Sci, 2 (4), 152-15.

Romani, A., P. Pinelli, et al. (2002). "Polyphenols in greenhouse and open-air grown lettuce." Food Chemistry, (79), 337-342.

Ryder E.J. (1998). Lettuce, endive and cichory. CABI Publ., Wallingford, UK.

Sago, Y. (2016). Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. Sci. Hort, (51), 1087-1091.

Serafini, M., R. Bugianesi, M. Salucci, E. Azzini, A. Ra- guzzini, and G. Maiani. (2002). Effect of acute inges- tion of fresh and stored lettuce (Lactuca sativa) on plasma total antioxidant capacity and antioxidant levels in human subjects. Br. J. Nutr, (88), 615-623.

Son KH and Oh MM. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. Sci. Hort, (48), 988-995.

Sun HJ, Kataoka H, Yano M, and Ezura H. (2007). Genetically stable expression of functional miraculin, a new type of alternative sweetener, in transgenic tomato plants. J. Plant Biotechnol, 5(6), 768-777.

Tibbitts, T.W. and G. Bottenberg. (1976). Growth of lettuce under controlled humidity levels. J. Amer. Soc. Sci. Hort, 101(1), 70-73.

Tibbits, T.W., D.C. Morgan, and I.J. Warrington. (1983). Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPFD. J. Amer. Soc. Sci. Hort, (108), 622-630.

Tsukagoshi S, and Shinohara Y. (2015). Nutrition and nutrient uptake in soilless culture systems. Chapter 11. In: Kozai T, Niu G, Takagaki M (eds) Plant factory. Academic, London, pp 171-172.

UN. (2009). Planning Sustainable Cities: Glob Report on Human Settlements. UN-Habitat, United Nations, Nairobi.

UN. (2011). World Popuiation Prospects. The 2-10 Revision. Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York.

WHO. (2003). GEMS/Food regional diets: regional per capita consumption of raw and semi processed agricultural commodities. Geneva.

Xiao-li Chen, Wen-zhong Guo, Xu zhang Xue, Li-chun Wang, and Xiao-jun Qiao. (2014). Growth And quality responses of 'Green Oak Leaf' Lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) And light-emitting diode (LED). Sci. Hort, (172), 168-175.

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 light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. Sci. Hort, (36), 380-383.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ส่วนประกอบของสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร SUT NS-6 (ดัดแปลงจาก SUT NS-5 อารักษ์ ธีรอำพน, 2554)

ธาตุอาหารพืช	(มก./ล.)
NO^{3-}	213.5
$H_2PO_4^-$	60.3
K^+	304.3
Ca^{2+}	188.5
Mg^{2+}	59.8
SO_4^{2-}	76.4
Fe	5.87
Mn	0.48
Cu	0.52
Zn	0.47
B	0.54
Mo	0.006
Ni	0.0125

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจริญญา ฤทธิรัมย์ เกิดเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 ที่อำเภอกระสัง จังหวัดบุรีรัมย์ ในปี 2547-2554 ได้เข้าศึกษาและสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนกระสังพิทยาคม อำเภอกระสัง จังหวัดบุรัมย์ ในปีพ.ศ. 2555 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) เมื่อปี พ.ศ. 2558 โดยได้ผ่านการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท สันติภาพ ฮั่วเพ้ง 1958 จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ ในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย และปี พ.ศ. 2558 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พร้อมทั้งเป็นผู้ช่วยสอน และผู้ช่วยวิจัยในสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี