ผลของหลอดไฟLED ทางการค้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮด

ชุติมา กาบแก้ว, อดิสร ฤทธิ์ราญรอน, สุนทรียา กาละวงศ์, เพ็ญแข รุ่งเรือง*

สาขาวิชาเกษตรและเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร
*Corresponding author email: Penkhae.ru@bsru.ac.th

ได้รับบทความ: 19 กันยายน 2566
ได้รับบทความแก้ไข: 16 มกราคม 2567
ยอมรับตีพิมพ์: 1 กุมภาพันธ์ 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของหลอดไฟLED สำหรับปลูกพืชที่มีขายตามท้องตลาดต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ในห้องควบคุมอุณภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เปิดไฟเป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน เปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง วางแผนการทดลองแบบ 5x2 Factorial in CRD ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 ชนิดของแสง 5 แบบ ได้แก่ 1) แสงธรรมชาติ (ควบคุม) 2) หลอด LED grow light (4000 K) 3) หลอด LED grow light (warm white) 4) หลอด LED grow light (pink) และ 5) หลอด Light Emitting Diode (LED) สีขาว ปัจจัยที่ 2 ชนิดผักสลัด ได้แก่ 1) สลัดแก้วญี่ปุ่น และ 2) สลัดบัตเตอร์เฮด เก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 42 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า แสงจากหลอด LED ในทรีทเมนต์ที่ 3 LED grow light warm white (สีขาว 109 สีแดง18 สีน้ำเงิน 12 UV 3 IR 3 ชิ้น) มีค่า PAR 105.257 w m^{-2} ค่า PPFD 500.891 μmol m^{-2} s^{-1} และค่าความเข้มแสง 24,469.6 ลักซ์ สามารถนำมาใช้ปลูกผักสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮดได้ โดยให้ ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความกว้างใบ ค่าสีใบ น้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) กับการปลูกโดยใช้แสงธรรมชาติ

คำสำคัญ : แสง LED/ ผักสลัด/ ไฮโดรโปรนิกส์

Effect of Commercial LED Light on Growth and Yield of Salinas Lettuce and Butterhead Lettuce

Chutima Kapkaew, Adisorn Rithranron, Soontreeya Kalawong, Penkhae Rungrueng *

Agriculture and Technology Agricultural program, Faculty of Science of Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok
*Corresponding author email: Penkhae.ru@bsru.ac.th

Received: 19 September 2023
Revised: 16 January 2024
Accepted: 1 February 2024

Abstract

The objective was to investigate the different effects of Grow Light emitting diode (LED) on growth and yield of Salinas lettuce and Butterhead Lettuce in hydroponic systems in a temperature-controlled room at 25±2°C with a 16-h photoperiod compared with outdoor cultivation. The experiment was arranged in a 5x2 factorial design in CRD. Factor 1 was type of light with 5 types: 1) Sunlight (control), 2) LED grow light (4000 K), 3) LED grow light (warm white), 4) LED grow light (pink), and 5) White LEDs. Factor 2 was lettuce type: 1) Salinas lettuce and 2) Butterhead lettuce. Harvesting was done at 42 days after sowing. The results showed that LED light in treatment 3, LED grow Light warm white (White 109, Red 18, Blue 12, UV 3 IR), had a PAR value of 105.257 W m-2, a PPFD value of 500.891 µmol m-2 s-1, and an intensity of 24,469.6 lux. This light can be used to grow Salinas lettuce and Butterhead lettuce. Yield components such as canopy width, number of leaves, leaf width, leaf color, plant fresh weight, plant dry weight, root length, root fresh weight, and root dry weight were not significantly different (P>0.05) from sunlight (control).

Keyword: LED Light/ Lettuce/ Hydroponic

บทนำ

Plant Factory (PF) คือ การปลูกพืชด้วยการใช้แสงเทียมหรือการใช้หลอดไฟ LED (Light emitting dioses) สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารละลายธาตุอาหาร และสามารถปลูกสร้างที่ใดก็ได้ โดยไม่ต้องพึ่งพาธรรมชาติ เช่น สภาพภูมิอากาศ ความสมบูรณ์ของดิน และแสง เป็นต้น ช่วยให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ได้ผลผลิตสม่ำเสมอ มีการใช้เทคนิค soilless culture ในการปลูกพืชร่วมด้วย เช่น ระบบไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งระบบ Plant factory สามารถปลูกพืชในแนวตั้งได้หลายชั้น อาจมากถึง 10 ชั้น เป็นการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เหมาะกับสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด [1] การปลูกพืชในระบบปิดจำเป็นต้องให้แสงเพื่อให้พืชมีการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ โดยแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ และมีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้ดี คือการใช้หลอดกำเนิดแสงแบบ LED เพื่อใช้ทดแทนแหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ [2] จากการศึกษาการใช้แสง LED เพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตในผักสลัด โดยใช้แสงสีแดง สีน้ำเงิน และสีขาว พบว่า การใช้แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินในสัดส่วน 90R/10B สามารถเพิ่มผลผลิตได้มากที่สุด [3] จูนลิฎา และคณะ [4] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแสงกับการเจริญเติบโตของพืช 3 ชนิด คือ กะเพรา โหระพา และแมงลัก พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิด ที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่ใช้หลอดไฟ LED มีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโตด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบ ได้ดีกว่าพืชที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการให้แสงสว่างกับการเจริญเติบโต พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิด ที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่ให้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน มีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่มีระยะเวลาการให้แสง 4 และ 8 ชั่วโมงต่อวัน และการหาความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่ต่างกันกับการเจริญเติบโต พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิด ที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่มีความเข้มแสง 1,100 ลูเมน มีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่มีความเข้มแสง 500 700 และ 900 ลูเมน Kook *et al*. [5] รายงานว่าการปลูกผักกาดหอมโดยใช้แสงไฟจากหลอด LED สีน้ำเงินความเข้มแสง 200 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าแสงไฟจากหลอดLED สีขาวและสีแดง จริญญา และอารักษ์ [6] ศึกษาความเข้มแสงของหลอดไฟชนิด LEDs 5 แบบ ได้แก่ 1) แอลอีดีสีขาวความเข้มแสง 120 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ 2) แอลอีดีสีขาวความเข้มแสง 140 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ 3) แอลอีดีสีขาว แดง น้ำเงิน ความเข้มแสง 110 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ 4) แอลอีดีสีขาว แดง น้ำเงิน ความเข้มแสง 120 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ และ 5) การปลูกกลางแจ้งภายใต้แสงอาทิตย์ ความเข้มแสง 1,200 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คในระบบแพลนท์แฟคทอรี่ โดยปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์น้ำลึกแบบแนวตั้ง เปิดไฟ

นาน 16 ชั่วโมงต่อวัน ควบคุมอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 45 วัน หลังเพาะเมล็ด พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกภายใต้ระบบแพลนท์แฟคทอรี่ ให้ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมสูงที่สุดแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง แต่หลังจากเก็บเกี่ยว พบว่าการปลูกกลางแจ้งให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผักกาดหอมทั้ง 2 พันธุ์ มีการเจริญเติบโตทางลำต้นที่ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คการตอบสนองมากที่สุด โดยให้ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงที่สุด แต่มีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยกว่าผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊ค เป็นต้น

ปัจจุบันมีการผลิตหลอดไฟ LED สำเร็จรูปเพื่อการปลูกพืชหลากหลายรูปแบบสามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถหาซื้อได้ผ่านระบบออนไลน์ มีทั้งหลอด LED, LED strip หรือหลอด LED แบบโคมไฟ เป็นต้น ซึ่งระบุช่วงคลื่นระบุความเข้มแสง ระบุสีของแสง ที่สำคัญคือระบุคุณสมบัติในการปลูกพืชในที่ร่มได้ เช่น กรวิทย์ และคณะ [7] พบว่า การใช้หลอด LED ส่องสว่างทั่วไปขนาด 2x9 W แสงผสมชนิดแสงขาว (Day light) และชนิดแสงเหลือง (Warm white) ที่ความสูง 15 ซม. ทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธีการปลูกแบบรากแช่เติมอากาศ (Deep Water Culture, DWC) โดยควบคุมค่า EC 1,500 μS cm^{-1} และค่า pH 6.5 ควบคุมปริมาณแสงไม่เกิน 15 mol m^{-2} day^{-1} 18 h day^{-1} หรือ ใช้หลอดแสงขาวและหลอดแสงเหลือง ขนาด 2x15 W ที่ระยะความสูง 25 ซม. ในพืชเรดโบล์ ควบคุมปริมาณแสงที่ไม่เกิน 17 mol m^{-2} day^{-1} 16 h day^{-1} ที่ค่า EC 1,600 μS cm^{-1} และ pH 6.0 พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของแสงหลอดไฟ LED สำเร็จรูปที่มีขายในตลาดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดแก้วญี่ปุ่นและสลัดบัตเตอร์เฮด โดยใช้หลอดไฟ LED ที่มีองค์ประกอบของหลอดแตกต่างกัน 4 แบบ เปรียบเทียบกับการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ

วัสดุและวิธีการ

1. เพาะเมล็ดผักสลัด (สลัดแก้วญี่ปุ่น และบัตเตอร์เฮด) ในฟองน้ำเพาะเมล็ด 1 เมล็ดต่อช่อง นำไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 คืน เมื่อเมล็ดงอกนำไปในที่มีแสงแดดรำไร เมื่อต้นกล้ามีอายุ 2 สัปดาห์ หรือมีใบจริง 2 ใบ ย้ายต้นกล้าลงในถ้วยปลูกและปลูกรางไฮโดรโปนิกส์ โดยใช้ระยะระหว่างต้น 10 ซม. ระยะระหว่างแถว 20 ซม. ใส่ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ (strock A และ B ความเข้มข้น 100 เท่า ของบริษัทเวสโก้ เคมี ประเทศไทย จำกัด) โดยควบคุมค่า EC เท่ากับ 1.8 ms^{-1} cm^{-1} อุณภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส pH 6-6.5 เปิดให้แสงตามข้อ 3 เป็นเวลา 16 h day^{-1}

2. การติดตั้งหลอดไฟ ใช้หลอดไฟ LED ยาว 50 ซม. จำนวน 2 หลอดต่อรางไฮโดรโปรนิกส์ขนาด 1.20 ม. ติดตั้งที่ความสูง 25 ซม.

3. วางแผนการทดลองแบบ 5x2 Factorial in CRD ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 ชนิดของแสง 5 แบบ 1) แสงธรรมชาติ (ควบคุม) 2) แสงจากหลอด LED 4000 K (สีขาว 144 ชิ้น) 3) แสงจากหลอด LED warm light (สีขาว 109 สีแดง 18 สีน้ำเงิน 12 UV 3 IR 3 ชิ้น) 4) แสงจากหลอด LED pink (สีชมพู 144 ชิ้น) และ 5) แสงจากหลอด LED สีขาว (white LED) ค่าความส่องสว่างในแต่ละทรีทเมนต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟ LED ในแต่ละทรีทเมนต์

ทรีทเมนต์	Photosynthetically Active Radiation (PAR: w m^{-2})	Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD: μmol m^{-2} s^{-1})	ค่าความส่องสว่างที่ระบุ (lux)	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่วัดได้จริง (lux)
1 แสงธรรมชาติ	-	-	-	35,710
2 LED 4000K (สีขาว 144 ชิ้น)	107.032	511.123	29,518.3	6,240
3 LED warm light (สีขาว 109 สีแดง18 สีน้ำเงิน 12 UV 3 IR 3 ชิ้น)	105.257	500.891	24,469.6	6,337
4 LED pink (สีชมพ 144 ชิ้น)	102.093	521.342	8,975.2	2,698
5 หลอด LED สีขาว	-	-	-	1,035

ปัจจัยที่ 2 ชนิดผักสลัด ได้แก่ สลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮด

4. การบันทึกข้อมูล ดังนี้ ความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวใบ ความกว้างใบ ค่าสีใบ โดยใช้เครื่องวัดสี รุ่น CR-400/CR-410 และใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์

รุ่น Chlorophyll meter SPAD 502 plus น้ำหนักสดต้นและราก ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้นและราก ที่อายุ 42 วันหลังเพาะเมล็ด

5. วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษา

จากการทดลองศึกษาผลของแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีขายทั่วไป ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดแก้วญี่ปุ่นและสลัดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า แสง LED ในแต่ละทรีทเมนต์และชนิดของผักสลัดมีอิทธิพลต่อจำนวนใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการปลูกสลัดบัตเตอร์เฮดในสภาพแสงธรรมชาติให้ค่าเฉลี่ยจำนวนใบมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะแสง LED พบว่า แสง LED ที่แตกต่างกันให้จำนวนใบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 1 (แสงธรรมชาติ) ให้จำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 16.33±2.94 ใบ แต่ให้จำนวนใบไม่แตกต่างทางสถิติกับแสงในทรีทเมนต์ที่ 3 (ตารางที่ 2) และพบว่าชนิดของผักสลัดที่ต่างกันให้จำนวนใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสลัดบัตเตอร์เฮดให้จำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 14.63±5.32 ใบ (ตารางที่ 2) สำหรับการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่ม พบว่า แสง LED ในแต่ละทรีทเมนต์และชนิดของผักสลัดมีอิทธิพลต่อความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยผักสลัดแก้วญี่ปุ่นที่ปลูกโดยใช้แสงในทรีทเมนต์ที่ 4 ให้ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวใบมากที่สุด เท่ากับ 28.37±0.95 33.82±1.23 และ 22.15±1.39 ซม. ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) เมื่อเปรียบเทียบแสงในแต่ละทรีทเมนต์ พบว่า แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 และ 3 ให้ความสูงต้น และความยาวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้ค่าเฉลี่ยความสูงต้นเท่ากับ 22.22±6.72 และ 18.67±3.61 ซม. ให้ความยาวใบ เท่ากับ 18.85±3.89 และ 18.20±2.8 ซม. ในด้านความกว้างทรงพุ่ม พบว่า แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 1-4 ให้ความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.60±4.74 ถึง 30.38±4.13 ซม. และสลัดแก้วญี่ปุ่นให้ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวใบมากกว่าสลัดบัตเตอร์เฮด อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 2 ภาพที่ 1 และ 2) ด้านความกว้างใบ พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างชนิดของผักสลัดและแสง LED แต่ชนิดของผักสลัดที่ต่างกันมีผลต่อความกว้างใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยผักสลัดแก้วญี่ปุ่นให้ความกว้างใบมากกว่าสลัดบัตเตอร์เฮด ส่วนแสง LED ที่ต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ พบว่า แสง LED ใน

ทรีทเมนต์ที่ 1-4 ให้ความกว้างใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ให้ความกว้างใบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับทรีทเมนต์ที่ 5 (ตารางที่ 3) ซึ่งแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 5 เป็นแสง LED จากหลอดไฟส่องสว่างทั่วไปมีค่าความเข้มแสงน้อยกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ (ตารางที่ 1) สำหรับค่าความสว่างสีใบ (L*) และ ค่าสีเหลือง (b*) พบว่า ชนิดของผักสลัดและแสง LED ที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าความสว่างสีใบ และค่าสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในแสง LED ทรีทเมนต์ที่ 5 ให้ค่าความสว่างสีใบมากที่สุดเท่ากับ 57.05±1.75 และให้ค่าสีเหลืองเท่ากับ 34.35±3.07 (ไม่แสดงข้อมูล) ส่วนค่าสีแดง (a*) พบว่า ชนิดของผักสลัดและแสง LED ที่ต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อค่าสีแดง และของชนิดผักที่ต่างกันมีผลต่อค่าสีแดง และค่าสีเหลือง โดยสลัดบัตเตอร์เฮดให้ค่าสีแดงน้อยกว่าสลัดแก้วญี่ปุ่น และให้ค่าสีเหลืองที่มากกว่า แต่การใช้แสง LED ที่ต่างกันในทุกทรีทเมนต์ให้ค่า L* a* และ b* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) จากค่าความสว่างสีใบในทรีทเมนต์ที่ 5 ที่มีค่ามากที่สุดส่งผลให้ค่าคลอโรฟิลล์ในทรีทเมนต์ที่ 5 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 9.36±2.07 SPAD unit ในขณะที่ทรีทเมนต์ที่ 1-4 ให้ค่าคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติให้ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์มากที่สุด เท่ากับ 27.68±4.84 SPAD unit (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 2 ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ และความยาวใบ ของผักสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกโดยให้แสง LED ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 42 วัน

ปัจจัย	ทรีทเมนต์	ความสูงต้น (ซม.)[1/]	ความกว้างทรงพุ่ม (ซม.)[1/]	จำนวนใบ[1/]	ความยาวใบ (ซม.)[1/]
LED (A)	Sun light (control)	17.78±5.45[b]	29.60±4.74[a]	16.33±2.94[a]	14.50±2.97[c]
	LED (4000 K)	16.90±6.66[b]	30.33±3.90[a]	14.12±2.79[b]	17.01±2.77[b]
	LED (Warm white)	18.67±3.61[ab]	30.38±4.13[a]	15.62±3.92[ab]	18.20±2.87[ab]
	LED (pink)	22.22±6.72[a]	30.32±4.17[a]	11.87±3.44[c]	18.85±3.89[a]
	White LED (LED general)	10.17±1.26[c]	6.72±0.32[b]	5.75±0.70[d]	8.63±0.98[d]
พันธุ์ (B)[1/]	สลัดแก้วญี่ปุ่น	20.06±7.51[a]	27.95±11.31[a]	10.47±3.09[b]	17.55±5.14[a]
	บัตเตอร์เฮด	14.16±2.88[b]	22.55±8.70[b]	14.63±5.32[a]	13.42±3.15[b]
F-test A		**	**	**	**
F-test B		**	**	**	**
A*B		**	**	*	**
%CV		37.11	40.87	38.08	30.36

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P≤0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (P≤0.01)

[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 ความกว้างใบ ค่าสีใบ (L* a* b*) ของผักสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกโดยให้แสง LED ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 42 วัน

ปัจจัย	ทรีทเมนต์	ความกว้างใบ (ซม.)[1/]	ค่าสีใบ		
			L*	a*[1/]	b*
LED (A)	Sun light (control)	9.80±1.39[a]	48.55±5.66	-15.83±1.91	29.71±2.26
	LED (4000 K)	9.33±2.02[a]	47.83±5.83	-14.27±2.53	28.96±4.69
	LED (Warm white)	9.65±2.21[a]	50.31±6.54	-15.33±3.11	31.86±1.58
	LED (pink)	8.50±2.02[a]	50.58±6.89	-15.28±1.38	31.85±2.58
	White LED (LED general)	2.03±0.44[b]	53.59±4.10	-13.77±3.32	29.45±6.97
พันธุ์ (B)[1/]	สลัดแก้วญี่ปุ่น	8.89±3.84[a]	50.72±5.04	-13.87±3.02[b]	28.96±5.07[b]
	บัตเตอร์เฮด	6.63±2.67[b]	49.80±6.82	-15.82±1.53[a]	31.84±2.38[a]
F-test A		**	ns	ns	ns
F-test B		**	ns	*	*
A*B		ns	**	ns	**
%CV		44.45	11.79	17.25	13.71

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P≤0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (P≤0.01)

[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ในด้านผลผลิต พบว่า ชนิดของผักสลัดและแสง LED ที่ต่างกันมีผลต่อน้ำหนักสดต้น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) และน้ำหนักสดรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยสลัดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในทรีทเมนต์ที่ 3 ให้น้ำหนักสดต้นมากที่สุดเท่ากับ 60.15±5.44 กรัม และสลัดแก้วญี่ปุ่นที่ปลูกในทรีทเมนต์ที่ 1 ให้น้ำหนักสดรากมากที่สุดเท่ากับ 6.75±2.06 กรัม เมื่อพิจารณาแสง LED ที่แตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ พบว่าแสง LED ที่ต่างกันมีผลต่อน้ำหนักสดต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) และแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 1 และทรีทเมนต์ที่ 3 ให้น้ำหนักสดต้นและน้ำหนักแห้งต้นไม่แตกต่าง

กันทางสถิติ ในด้านน้ำหนักสดรากและน้ำหนักแห้งราก พบว่า แสง LED ที่ต่างกันไม่มีผลต่อน้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก (P>0.05) (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักสดรากของผักสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกโดยให้แสง LED ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 42 วัน

ปัจจัย	ทรีทเมนต์	คลอโรฟิลล์ (SPAD unit)[1/]	นน.สดต้น (ก.)[1/]	นน. สดราก (ก.)
LED (A)	Sun light (control)	27.68±4.84[a]	50.80±8.51[a]	4.98±2.64
	LED (4000 K)	19.87±2.40[b]	36.28±5.29[b]	4.26±1.18
	LED (Warm white)	16.60±4.60[bc]	52.61±9.60[a]	5.94±1.64
	LED (pink)	14.21±2.28[c]	36.87±2.69[b]	4.51±2.19
	White LED (LED general)	9.36±2.07[d]	0.62±0.23[c]	5.80±1.86
พันธุ์ (B)[1/]	สลัดแก้วญี่ปุ่น	16.71±6.50	34.51±19.68	4.83±1.84
	บัตเตอร์เฮด	17.31±7.02	36.34±20.48	5.36±2.13
F-test A		**	**	ns
F-test B		ns	ns	ns
A*B		ns	**	*
%CV		39.27	56.04	38.82

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)
* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P≤0.05)
** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (P≤0.01)
[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรากของผักสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกโดยให้แสง LED ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 42 วัน

ปัจจัย	ทรีทเมนต์	ความยาวราก (ซม.)[1/]	นน. แห้งต้น (ซม.)[1/]	นน. แห้งราก (ซม.)
LED (A)	Sun light (control)	25.73±3.78[a]	1.78±0.41[a]	0.041±0.010
	LED (4000 K)	20.53±4.43[b]	1.19±0.08[b]	0.023±0.021
	LED (Warm white)	21.18±5.66[ab]	1.75±0.45[a]	0.032±0.218
	LED (pink)	21.37±6.34[ab]	1.27±0.12[b]	0.035±0.018
	White LED (LED general)	6.68±1.45[c]	0.016±0.0007[c]	0.031±0.014
พันธุ์ (B)	สลัดแก้วญี่ปุ่น	20.67±8.64[a]	1.18±0.71	0.032±0.019
	บัตเตอร์เฮด	17.54±6.95[b]	1.21±0.72	0.032±0.016
F-test A		**	**	ns
F-test B		*	ns	ns
A*B		ns	**	ns
%CV		41.36	59.16	56.25

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)
* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P≤0.05)
** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (P≤0.01)
[1/] ตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สลัดแก้วญี่ปุ่น

ทรีทเมนต์ที่ 1 ทรีทเมนต์ที่ 2 ทรีทเมนต์ที่ 3 ทรีทเมนต์ที่ 4 ทรีทเมนต์ที่ 5

ภาพที่ 1 ลักษณะผักสลัดแก้วญี่ปุ่นที่ปลูกโดยใช้แสง LED ชนิดต่างๆ ที่อายุ 42 วัน

สลัดบัตเตอร์เฮด

ทรีทเมนต์ที่ 1 ทรีทเมนต์ที่ 2 ทรีทเมนต์ที่ 3 ทรีทเมนต์ที่ 4 ทรีทเมนต์ที่ 5

ภาพที่ 2 ลักษณะผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกโดยใช้แสง LED ชนิดต่างๆ ที่อายุ 42 วัน

วิจารณ์

จากการทดลองศึกษาผลของแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีขายทั่วไปต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดแก้วญี่ปุ่นและสลัดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 ให้การเจริญเติบโตด้านความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวใบ และความกว้างใบ ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.22±6.72, 30.32±4.17, 18.85±3.89 และ 8.50±2.02 ซม. ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติกับแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 3 โดยแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 เป็นแสงที่มาจากหลอด LED Grow light pink (สีชมพู 144 ชิ้น) ซึ่งระบุค่าความเข้มแสง 8,975.2 ลักซ์ (วัดได้จริงเฉลี่ย 2,698 ลักซ์) ค่า PAR 102.09 w m^{-2} และค่า PPFD 521.34 μmol $m^{-2}s^{-1}$) ส่วนแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 3 เป็นแสงที่มาจากหลอด LED light grow warm white (สีขาว 109 สีแดง18 สีน้ำเงิน 12 UV 3 IR 3 ชิ้น) ซึ่งระบุค่าความเข้มแสง 24,469.6 ลักซ์ (วัดได้จริงเฉลี่ย 6,337) ค่า PAR 105.25 w m^{-2} และค่า PPFD 500.89 μmol $m^{-2}s^{-1}$) จะเห็นได้ว่าค่า PAR และค่า PPFD มีค่าไม่ต่างกัน ค่าที่ต่างคือค่าความเข้มแสง เนื่องจากหลอด LED ทั้งสองทรีทเมนต์มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันทำให้สีของแสงและความเข้มแสงที่ได้ต่างกัน (ตารางที่ 1) แม้ว่าแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 จะให้ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม มากที่สุด แต่ลักษณะผักสลัดที่ได้มีลักษณะยืดยาว ไม่แข็งแรง เนื่องจากสีของแสงในทรีทเมนต์ที่ 4 มีสีชมพู ซึ่งแสงสีชมพู-แดงจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตได้ดี เป็นแสงที่ให้พลังงานต่ำ และมีความเข้มแสงน้อย ซึ่งค่อนข้างจะไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต พืชจึงมีการยืดตัวเข้าหาแสงเพื่อให้ได้แสงและพลังงานที่มากขึ้น ดังนั้นเมื่อพืชได้รับแสงสีชมพู-สีแดง พืชจะถูกกระตุ้นให้ IAA สั่งการให้พืชมีกลไกในการยืดตัวเพื่อเข้าหาแสง เพื่อให้ได้รับแสงอย่างเต็มที่ [8] การยืดตัวเข้าหาแสงส่งผลให้ต้นผักสลัดยืดยาว ไม่แข็งแรง ในขณะที่แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 3 เป็นแสงสีขาวมีสัดส่วนของสีขาว:สีน้ำเงิน:สีแดง (3:0.6:1) และมีความเข้มแสงที่สูง ส่งผลให้ผักสลัดมีการเจริญด้านความสูงและความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ 4 และไม่มีลักษณะยืด

ยาว สอดคล้องกับการทดลองของ กษิดิ์เดช และคณะ [8] ที่พบว่า การให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ แก่กระชายดำที่ปลูกในกระถางภายใต้สภาพโรงเรือนพบว่า การให้แสงสีขาวและแสงแบบผสมสีแดงและน้ำเงินอัตราส่วน 5:1 ให้ความกว้างและความสูงทรงพุ่มสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากงานทดลองของ อาคม และอภิรัญธ์ [9] ที่พบว่าการใช้หลอด LED แบบ Full spectrum (18 Blue 42 Red 6 White 6 IR 6 UV) ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ ให้ผลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน กวางตุ้ง และผักกาด ไม่เป็นไปตามคาดหวังเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า แสงในทรีทเมนต์ที่ 1 (แสงธรรมชาติ) ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด เท่ากับ 27.68±4.84 SPAD-unit สอดคล้องกับงานทดลองของ จริญญา และอารักษ์ [6] พบว่าการปลูกผักสลัดภายใต้แสงอาทิตย์ มีค่า SPAD chlorophyll สูงที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (23.78 SPAD-unit) รองลงมา คือ การปลูกภายใต้LED สีขาว แดง น้ำเงิน ความเข้มแสง 120 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (20.55 SPAD-unit) และ LED สีขาว ความเข้มแสง 140 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (19.60 SPAD-unit) และการปลูกภายใต้LED สีขาว แดง น้ำเงิน ความเข้มแสง 110 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (18.22 SPAD-unit) และLED สีขาว ความเข้มแสง 120 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (17.58 SPAD-unit) ให้ค่า SPAD chlorophyll น้อยที่สุด

ในด้านผลผลิต พบว่า การปลูกผักสลัดโดยใช้แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 1 และ 3 ให้น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุด เท่ากับ 50.80±8.51, 52.11±3.60, 1.78±0.41 และ 1.75±0.45 กรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Brougham [10] ที่กล่าวว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ส่งผลให้การปลูกผักกาดหอมภายใต้แสงอาทิตย์ให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง สูงที่สุด

สำหรับการให้แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 5 เป็นแสงจากหลอด LED ทั่วไป พบว่า ผักสลัดทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตในทุกด้านน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้หลอด LED ในทรีทเมนต์ที่ 2-4 และการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างจากงานทดลองของ กรวิทย์ กระจ่างพันธ์ และคณะ [7] ที่พบว่า การใช้หลอด LED ส่องสว่างทั่วไปขนาด 2x9 W แสงผสมชนิดแสงขาว (Day light) และชนิดแสงเหลือง (Warm white) ที่ความสูง 15 ซม. ทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธีการปลูกแบบรากแช่เติมอากาศ (Deep Water Culture, DWC) โดยควบคุมค่า EC 1,500 µS cm^{-1} และค่า pH 6.5 ควบคุมปริมาณแสงไม่เกิน 15 mol m^{-2} day^{-1} 18 h day^{-1} หรือ ใช้หลอดแสงขาวและหลอดแสงเหลือง ขนาด 2x15 W ที่ระยะความสูง 25 ซม. ในพืชเรดโบล์ ควบคุมปริมาณแสงที่ไม่เกิน 17 mol m^{-2} day^{-1} 16 h day^{-1} ที่ค่า EC 1,600 µS cm^{-1} และ pH 6.0 พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ นอกจากนี้แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 5 มีความเข้มของแสงน้อยส่งผลให้ใบมีสีซีดจาง สอดคล้องกับงานทดลองของ พิชญ์สินี และธรรมศักดิ์ [11] ; จริญญา

และอารักษ์ [9] ที่พบว่าการปลูกผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คภายใต้แสง LED ให้สีใบจางกว่าปกติอาจเกิดจากความเข้มแสง และระยะเวลาการรับแสงไม่เพียงพอ จึงทำให้พลังงานน้อยเกินไปสำหรับการสร้างรงควัตถุ เมื่อแสงลดต่ำลงเกิดการยับยั้งกระบวนการถอดรหัสของยีนในวิถีการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน [12] ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในพืชที่ให้สีแดง

สรุป

จากการทดลองศึกษาผลของหลอดไฟ LED ทางการค้าต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดแก้วญี่ปุ่น และผักสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า แสงจากหลอด LED ในทรีทเมนต์ที่ 3 LED Grow light sunshine (สีขาว 109 สีแดง18 สีน้ำเงิน 12 UV 3 IR 3 ชิ้น) มีค่า PAR 105.257 w m^{-2} ค่า PPFD 500.891 μmol m^{-2} s^{-1} และค่าความเข้มแสง 24,469.6 ลักซ์ สามารถนำมาใช้ปลูกผักสลัดแก้วญี่ปุ่น และสลัดบัตเตอร์เฮดได้ โดยให้ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความกว้างใบ ค่าสีใบ น้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น ความยาวราก น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก ไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกโดยใช้แสงธรรมชาติ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มปริมาณของหลอดไฟ LED เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงที่วัดได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ระบุ และความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตที่ดีกว่าที่ได้รับความเข้มแสงที่ต่ำ

2. ควรปรับระยะความสูงของหลอดไฟ LED ให้น้อยลง เนื่องจากการติดตั้งหลอด LED ที่สูงมีผลต่อค่าความสว่างและการกระจายตัวของแสง ระยะหลอดไฟที่สูงส่งผลให้ค่าความสว่างของหลอดไฟน้อยลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษณะ ธรรมวิมล. Plant Factory โรงเรือนปลูกผัก ในอาคาร. [อินเตอร์เน็ต] 2563. [เข้าถึงเมื่อ 7 พฤศจิกายน 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://www.wangreefresh.com/Wangree_Fresh/Wangree_Fresh.html

2. Kozai T. Plant factory in Japan - current situation and perspectives. Chronica Horticulture 2013;53(2): 8-11.
3. Wojciechowska R, Dtugosz-Grochowska O, Kotton A, Zupnik M. Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles. Scientia Horticulturae 2015; 187:80-6.
4. จูนลิฏา โยธาทิพย์, พาสินี สุนากร, พัชรียา บุญกอแก้ว. การศึกษาการปลูกพืชภายในอาคารโดยใช้แสงประดิษฐ์. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.
5. Kook H.E, Park S.H, Jang Y.J and Lee G.W. Blue LED (Light emitting diodes) mediated growth promotion and control of Botrytis disease in lettuce. Acta Agr. Scand. Sect. B-Soil and Plant Sci. 2013;63:271-7.
6. จริญญา ฤทธิรัมย์, อารักษ์ ธีรอำพน. การศึกษาความเข้มแสงของหลอดไฟชนิด Light Emitting Diodes (LEDs หรือ LED) ในระบบแพลนท์แฟคทอรี่. วารสารแก่นเกษตร 2562;47(6):1243-50.
7. กรวิทย์ กระจ่างพันธ์, ถิระวรรธน์ สืบธนะวงษ์, สุขสันติ์ หวังสถิตวงษ์. การออกแบบแสงด้วยหลอด LED ส่งสว่างสำหรับปลูกพืชในอาคารโดยอ้างอิงปริมาณแสงรวมต่อวัน. 2561; วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 49 (1พิเศษ), 498-501.
8. กษิดิ์เดช อ่อนศรี, ณัฐพงศ์ จันจุฬา,จิรภัทร ลดาวัลย์. ศึกษาอิทธิพลของแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด 4 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2563;9(4):529-38.
9. อาคม ลักษณะสกุล, อภิรัญธ์ จันทร์ทอง. แปลงผักในร่มภายใต้การให้แสงสว่างด้วยไดโอดเปล่งแสง [วิทยานิพนธ์]. นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย; 2560.
10. Brougham R.K. The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content, and maximum growth-rate of some pasture and crop plants. Annals of Botany 1960;24:463–74.
11. พิชญ์สินี เพชรไทย และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. ผลของความเข้มแสงและระยะเวลารับแสงต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอม. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 2560;4(3): 54-9.

12. Fujita A, Soma N, Goto-Yamamoto N, Mizuno A, Kiso K, Hashizume K. Effect of shading on proanthocyanidin biosynthesis in the grape berry. Journal of the Japanese Society for HortSci 2007;76:112-9.