ISSN 3027-6357 (Print)
ISSN 3027-6365 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : *http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj*
ปีที่ 32 ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2567) หน้า [12-24]

ผลของแสงจากหลอดไฟแอลอีดีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสลัดเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คในระบบไฮโดรโปนิกส์

Effects of Light from LED Bulb on Growth and Yield of Red Oak and Green Oak Lettuce in Hydroponics

เพ็ญแข รุ่งเรือง, น้ำฝน สุวรรณ, สุนทรียา กาละวงศ์, ชุติมา กาบแก้ว*
สาขาวิชาเกษตรและเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600
Penkhae Rungrueng, Namfon Suwan, Soontreeya Kalawong, Chutima Kapkaeo*
Program in Agriculture and Agricultural Technology, Faculty of Science of Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600
Received 8 July 2023; Received in revised 4 October 2023; Accepted 10 October 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีขายในตลาดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดสลัดเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ในห้องควบคุมอุณภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เปิดไฟนาน 16 ชั่วโมงต่อวัน เปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง วางแผนการทดลองแบบ 5x2 Factorial in CRD ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ A ชนิดของแสง LED 5 แบบ ได้แก่ หลอด LED สีขาว หลอด LED Grow Light (4000 K) หลอด Grow Light (Warm White) หลอด Grow Light (Pink) และแสงธรรมชาติ (ควบคุม) ปัจจัยที่ B ชนิดผักสลัด ได้แก่ เรดโอ๊ค และกรีนโอ๊ค เก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 35 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า แสง LED และชนิดของผักสลัดมีอิทธิพลร่วมกันต่อความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ ความสว่างสี (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และน้ำหนักสดต้น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) แสง LED ให้จำนวนใบ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวใบ และความกว้างใบ ดีกว่าการปลูกในแสงธรรมชาติ ในด้านผลผลิต พบว่า การปลูกโดยใช้แสงธรรมชาติ ให้น้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก มากกว่าการปลูกภายใต้แสง LED อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) สำหรับชนิดของผักสลัด พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติว่าผักสลัดกรีนโอ๊ตมีการเจริญเติบโตกว่าผักสลัดเรดโอ๊ต และหลอด LED สีขาว (ทั่วไป) ไม่สามารถนำมาใช้ในการปลูกผักสลัดเรดโอ๊ค และกรีนโอ๊คได้

คำสำคัญ: LEDสำหรับปลูกพืช; ผักสลัดเรดโอ๊ค; ผักสลัดกรีนโอ๊ค; ไฮโดรโปนิกส์

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** chutee_ae@hotmail.com **doi:**

Abstract

The effects of a light-emitting diode (LED) on the growth and yield of red oak and green oak lettuce in hydroponics systems were investigated in a temperature-controlled room at 25±2 oC for 16 hours a day, and the results were compared with outdoor cultivation. The experiment was organized in 5x2 factorial design in a completely randomized design (CRD), with factor A consisting of five types of LED lights: white LEDs, LED grow light (4000 K), grow light (warm white), grow light (pink), and sunlight (control). Factor B included lettuce types: red oak and green oak. The plants were harvested 35 days after planting the seeds. The results revealed that both the LED light and lettuce type significantly influenced plant height, leaf length, leaf width, color (L*, b*), and shoot fresh weight ($P \leq 0.01$). The LED grow light provided the number of leaves, the height of the plant, the width bush, the length leaf, and the width of the leaf better than sunlight. However, concerning yield, plants grown under the sunlight exhibited significantly higher fresh leaf and root weight, as well as dry leaf and root weights, compared to those grown under LED light. Regarding lettuce types, there were significant differences, with green oak exhibiting higher growth than red oak. It was observed that general white LED bulbs were not favorable to the growth of both red oak and green oak lettuce.

Keywords: Light Eemitting Diode (LED); Red oak lettuce; Green oak lettuce; Hydroponics

1. บทนำ

แสงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างอาหารหรือการสังเคราะห์แสงของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งแสงที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะประกอบด้วยโปรตอนที่มีพลังงานต่างกัน เรียกแสงส่วนนี้ว่า photosynthetic photon flux (PPF) ซึ่งพืชที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์จะมี PPF สูงกว่าพืชที่ได้รับแสงจากแสงเทียม [1] ทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงแตกต่างกัน ดังนั้น PPF ย่อมมีผลต่อการสร้างผลผลิตและน้ำหนักแห้งของพืช แต่ในปัจจุบันนั้นเริ่มมีข้อจำกัดในด้านทรัพยากร เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความแปรปรวน ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและความหลากหลายทางชีวภาพ [2] จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตพืชจากเดิมที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ ไปสู่การผลิตที่ควบคุมได้เพื่อเพิ่มผลผลิตใหม่ที่มีคุณภาพและปลอดภัย ซึ่งเทคโนโลยีการปลูกพืชแนวใหม่นี้คือ Plant factory (PF) คือ การปลูกพืชด้วยการใช้แสงเทียมหรือการใช้หลอดไฟ LED (Light Emitting Diode) สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารละลายธาตุอาหาร และสามารถปลูกสร้างที่ใดก็ได้โดยไม่ต้องพึ่งพาธรรมชาติ เช่น สภาพภูมิอากาศ ความสมบูรณ์ของดิน และแสง เป็นต้น ช่วยให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ได้ผลผลิตสม่ำเสมอ นอกจากนี้ในระบบการปลูกพืชแบบ Plant factory มีการใช้เทคนิค Soilless culture ในการปลูกพืชร่วมด้วย เช่น ระบบไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งความแตกต่างระหว่าง Plant factory กับ ระบบไฮโดรโพนิกส์ คือ ระบบ Plant factory สามารถปลูกพืชในแนวตั้งได้หลายชั้น อาจมากถึง 10 ชั้น ซึ่งเป็นการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เหมาะกับสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด ชนิดพืชที่เหมาะสมในการปลูกด้วยระบบ Plant factory ได้แก่ กลุ่มพืชอาหารหลัก เช่น ข้าว ข้าวสาลี มันฝรั่ง และอ้อย กลุ่มพืชเพื่อสุขภาพ เช่น พืชผัก และพืชสมุนไพร รวมถึงไม้ดอก [3] ในระบบการปลูกพืชแบบ Plant factory แสงเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งในระยะแรกของการปลูกพืชในระบบนี้มีการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) เป็นแหล่งให้แสง จนเมื่อมีการค้นพบหลอดไฟชนิด LED ที่ประหยัดพลังงานมากกว่า การปลูกพืชใน Plant factory จึงเริ่มหันมาใช้หลอดแอลอีดีมากขึ้น [4] LED เป็นหลอดไฟที่ประหยัดพลังงาน มีอายุการใช้งานยาวนาน และมีความหลากหลายสเปกตรัมแสง [5] และสามารถออกแบบความยาวคลื่นให้มีผลต่อกระบวนการ metabolism และสัณฐานวิทยาของพืชที่ดีขึ้น [6] โดยความยาวของคลื่นแสงที่เรานำมาใช้คือประมาณ 430-460 nm (แสงสีน้ำเงิน) และ 630-660 nm (แสงสีแดง) เพราะความยาวของคลื่นแสงในช่วงนี้เหมาะสำหรับการสังเคราะห์แสงของพืชมากที่สุด และยังช่วยในการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด [7] การให้แสงเพียงสีใดสีหนึ่งแก่พืชสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ แต่อาจทำให้รูปแบบการเจริญเติบโตแตกต่างไปจากต้นที่เจริญในแสงตามธรรมชาติ เช่น ต้นมะเขือเทศที่ได้รับแสงสีส้ม สีแดง หรือสีเขียว จะมีลักษณะต้นยืดยาว และอ่อนแอ ในขณะที่ต้นมะเขือเทศที่ได้รับแสงผสมระหว่างสีน้ำเงินกับสีแดง หรือแสงสีขาวที่มีส่วนผสมของแสงทุกช่วงความยาวคลื่น มีลักษณะต้นใกล้เคียงกับการปลูกในแสงธรรมชาติ [8] Kuan-Hung Lin และคณะ พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกภายใต้แสงแอลอีดีสีแดง-น้ำเงิน ให้แสงวันละ 16 ชั่วโมงต่อวัน ให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง รูปร่าง สีของใบ และความกรอบดีที่สุด [9] จูนลิฎา และคณะ พบว่า กะเพรา โหระพา และแมงลัก ที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่ใช้หลอดไฟแอลอีดีมีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโต (ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบ) ได้ดีกว่าพืชที่ปลูกภายในกล่องทดลองที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ การให้แสงแอลอีดีเป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน มีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโตดีกว่าการให้แสง 8 และ 4 ชั่วโมงต่อวัน และการให้ความเข้มแสง 1,100 ลูเมน มีชีวิตรอด และมีการเจริญเติบโตดีกว่าการให้ความเข้มแสงที่ 900 700 และ 500 ลูเมน [10] Kook et al. รายงานว่าการปลูกผักกาดหอมโดยใช้แสงไฟจากหลอดแอลอีดี

สีน้ำเงินความเข้มแสง 200 µmol $m^{-2}s^{-1}$ ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าแสงไฟจากหลอดแอลอีดีสีขาวและสีแดง [11] ในขณะที่ Lee et al. พบว่า แสงสีน้ำเงินเพียงอย่างเดียวให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าบาร์เลย์น้อยกว่าแสงสีอื่นและแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ [12] เป็นต้น

ปัจจุบันมีการผลิตหลอดไฟ LED สำเร็จรูปเพื่อการปลูกพืชหลากหลายรูปแบบ สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถหาซื้อได้ผ่านระบบออนไลน์ ซึ่งระบุคุณสมบัติเป็น full spectrum ระบุค่า PPFD ค่าความเข้มแสงบางชนิดระบุสัดส่วนสีของแสง และสามารถใช้ในการปลูกพืชในที่ร่มได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแสงหลอดไฟ LED สำเร็จรูปที่มีขายในตลาดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดที่มีสีแตกต่างกัน 2 พันธุ์ คือ เรดโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. crispa L) ซึ่งเป็นผักใบแดง และกรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. crispa) ซึ่งเป็นผักใบเขียว โดยเปรียบเทียบกับการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

1. เพาะเมล็ดผักสลัด (เรดโอ๊ค และกรีนโอ๊ค) ในฟองน้ำเพาะเมล็ด 1 เมล็ดต่อช่อง นำไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 วัน เมื่อเมล็ดงอกนำไปในที่มีแสงแดดรำไร เมื่อต้นกล้ามีอายุ 2 สัปดาห์ ย้ายต้นกล้าลงในถ้วยปลูกและลงปลูกรางไฮโดรโปนิกส์ โดยใช้ระยะระหว่างต้น 10 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 20 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ (strock A และ B ความเข้มข้น 100 เท่าของบริษัทเวสโก้ เคมี ประเทศไทย จำกัด) โดยควบคุมค่า EC เท่ากับ 1.8 $mscm^{-1}$ ค่า pH 6-6.5 อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 70-75 เปอร์เซ็นต์ เปิดให้แสงตามวิธีการข้อ 3 เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน สำหรับการปลูกในสภาพธรรมชาติ อุณหภูมิกลางวันเฉลี่ย 32-34 องศาเซลเซียส กลางคืนเฉลี่ย 22-24 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 65-75 เปอร์เซ็นต์

2. การติดตั้งหลอดไฟ ใช้หลอดไฟ LED ยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 2 หลอดต่อรางไฮโดรโปรนิกส์ ขนาด 1.20 เมตร ในแต่ละชั้นติดตั้งหลอดที่ความสูง 25 เซนติเมตรดังภาพ (Figure 1) โดยมีการปิดกั้นแสงของแต่ละทรีทเมนต์

Figure 1 Installation of LED bulbs

3. วางแผนการทดลองแบบ 5x2 Factorial in CRD ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ A แสงจากหลอด LED 5 แบบ (Figure 1)

1) แสงจากหลอด LED สีขาว (LED ทั่วไป) ขนาด 18 วัตต์ มีค่าความเข้มแสง 1,035 ลักซ์

2) แสงจากหลอด LED Grow Light (4000 K, สีขาว 144 ชิ้น) ค่า PPFD 511.123 $\mu mol/m^2/s$ ค่าความเข้มแสงที่ระบุ 29,518.3 ลักซ์ วัดได้จริง 6,240 ลักซ์

3) แสงจากหลอด LED Grow Light (Warm White, สีขาว 109 สีแดง 18 สีน้ำเงิน 12 UV 3 IR 3 ชิ้น) ค่า PPFD 500.891 $\mu mol/m^2/s$ ค่าความเข้มแสงที่ระบุ 24,469.6 ลักซ์ วัดได้จริง 6,337 ลักซ์

4) แสงจากหลอด Grow Light (Pink, สีชมพู 144 ชิ้น) ค่า PPFD 521.342 $\mu mol/m^2/s$ ค่าความเข้มแสงที่ระบุ 8,975.2 ลักซ์ วัดได้จริง 2,698 ลักซ์

5) แสงธรรมชาติ (ควบคุม) มีค่าความเข้มแสง 35,710 ลักซ์

ปัจจัยที่ B ชนิดผักสลัด ได้แก่ สลัดกรีนโอ๊ค และสลัดเรดโอ๊ค

ทำการทดลองทรีทเมนต์ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 6 ต้น

4. การบันทึกข้อมูล ดังนี้ ความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวใบ ความกว้างใบ ค่าสีใบ โดยใช้เครื่องวัดสี รุ่น CR-400/CR-410 ค่าความเขียวของใบ โดยใช้เครื่องวัดรุ่น Chlorophyll meter SPAD 502 plus น้ำหนักสดต้นและราก ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้นและราก ที่อายุ 35 วันหลังเพาะเมล็ด

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

3. ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของแสงหลอดไฟ LED สำหรับปลูกพืชชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดเรดโอ๊ค และกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่าผักสลัดทั้ง 2 ชนิดที่ปลูกภายใต้แสงในทรีทเมนต์ที่ 1 (LED ทั่วไป) ให้จำนวนใบน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกภายใต้แสง LED อีก 3 ชนิด (ทรีทเมนต์ที่ 2-4) และภายใต้แสงธรรมชาติ (ทรีทเมนต์ 5) โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ 4.88±0.84 ใบ และผักสลัดที่ปลูกภายใต้แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 2-4 LED Grow Light (4000 K), LED Grow Light (Warm White) และ LED Grow Light (pink) ให้จำนวนใบไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบกับการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ (Table 1) ในด้านความสูงต้น พบว่า ชนิดของผักสลัดและชนิดของแสง LED มีอิทธิพลร่วมกันต่อความสูงต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) โดยสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในแสง LED ทรีทเมนต์ที่ 4 ให้ความสูงต้นมากที่สุดเท่ากับ 33.28±2.26 เซนติเมตร (Table 2) เมื่อพิจารณาเฉพาะแสงของหลอดไฟ LED พบว่า แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 ให้ความสูงต้นของผักสลัดมากที่สุดเท่ากับ 26.58±7.33 เซนติเมตร และชนิดผักสลัดกรีนโอ๊คให้ความสูงต้นมากกว่าสลัดเรดโอ๊คอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในด้านความกว้างทรงพุ่ม พบว่า ชนิดของผักสลัดและชนิดของแสง LED ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อความกว้างทรงพุ่ม แต่เมื่อพิจารณาชนิดของแสง LED ในแต่ละทรีทเมนต์ พบว่า แสง LED มีอิทธิพลต่อความกว้างทรงพุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 ให้ความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 35.50±2.65 เซนติเมตร และสลัดกรีนโอ๊คให้ความกว้างทรงพุ่มมากกว่าสลัดเรดโอ๊คอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) สำหรับความยาวใบ และความกว้างใบ พบว่า ชนิดผักสลัดและชนิดแสง LED มีอิทธิพลร่วมกันต่อความยาวใบและความกว้างใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 3 ให้ความยาวใบมากที่สุดเท่ากับ 19.73±0.33 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสลัดเรดโอ๊คและกรีนโอ๊คที่ปลูกในแสง LED ทรีทเมนต์ที่ 4 โดยมีความยาวใบเท่ากับ 18.15±0.50 และ19.13±0.76 เซนติเมตร ตามลำดับ ด้านความกว้างใบ พบว่า สลัดเรดโอ๊คที่ปลูกใน

แสง LED ทรีทเมนต์ที่ 4 ให้ความกว้างใบมากที่สุดเท่ากับ 14.43±2.46 เซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักสลัดเรดโอ๊ค และกรีนโอ๊คที่ปลูกในแสง LED ทรีทเมนต์ที่ 2-3 และสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในแสงธรรมชาติ (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบชนิดของแสง LED ต่อความยาวใบและความกว้างใบ พบว่า แสง LED มีอิทธิพลต่อความยาวใบและความกว้างใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยทรีทเมนต์ที่ 3 และ 4 ให้ความยาวใบมากที่สุดเท่ากับ 18.49±1.75 และ 18.64±0.79 เซนติเมตร ทรีทเมนต์ที่ 2-5 ให้ความกว้างใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยความยาวใบอยู่ในช่วง 11.96±1.77-12.63±2.17 เซนติเมตร และชนิดของผัดสลัดมีอิทธิพลต่อความยาวใบแต่ไม่มีอิทธิพลต่อความกว้างใบ (Table 1) จะเห็นได้ว่าในด้านการเจริญเติบโตแสงจากหลอด LED ทรีทเมนต์ที่ 4 (LED Grow Light (Pink) ให้การเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวใบและความกว้างใบดีที่สุด ซึ่งแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 มีค่า Photosytheticcally Active Radiation (PAR) หรือช่วงแสงที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับ 102.093 wm-2 ค่าปริมาณของแสง (PPFD) เท่ากับ 521.342 µmol s-1 และค่าความเข้มแสง (Lux) เท่ากับ 8975.2 ลักซ์ ความเข้มแสงที่วัดได้จริง 2,698 ลักซ์ แม้ว่าแสงในทรีทเมนต์ที่ 2-4 จะอยู่ในช่วงแสงเดียวกัน มีค่า PAR, PPFD และค่า LUX ใกล้เคียงกัน แต่สีของแสงและองค์ประกอบของหลอดต่างกันดังที่ระบุในวิธีการ จึงทำให้การเจริญเติบโตของผักสลัดไม่เท่ากัน และแม้ว่าแสงในทรีทเมนต์ที่ 4 จะให้การเจริญเติบโตที่มากกว่าแต่ลักษณะลำต้นของผักสลัดกรีนโอ๊คมีลักษณะยืดยาว (Figure 2) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากปริมาณความเข้มแสงไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยผักสลัดต้องการความเข้มแสงปริมาณมากประมาณ 50,000-70,000 ลักซ์ [13] ในขณะที่ความเข้มของแสงในทรีทเมนต์ที่มีค่ามากสุดคือทรีทเมนต์ที่ 2 มีความเข้มแสง 29,518.3 ลักซ์ วัดได้จริงจากการทดลองเท่ากับ 6,240 ลักซ์ ซึ่งปริมาณความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับระยะความสูงของหลอดไฟ และจำนวนหลอดไฟที่ใช้ในการทดลอง โดยในการทดลองใช้หลอดไฟยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 2 หลอดต่อรางไฮโดรโปรนิกขนาด 1.20 เมตร ติดตั้งที่ความสูง 25 เซนติเมตร [14] ทำให้ค่าความสว่างของหลอดไฟลดลงจากที่ผู้ขายระบุไว้ ส่งผลทำให้ผักสลัดมีการยืดยาว สอดคล้องกับงานทดลองของ อาคม และอภิรัญธ์ ที่พบว่าการใช้หลอด LED แบบ Full spectrum (18 Blue 42 Red 6 White 6 IR 6 UV) ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ ให้ผลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน กวางตุ้ง และผักกาด ไม่เป็นไปตามคาดหวังเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกด้วยแสงอาทิตย์ [15]

ในด้านความยาวราก พบว่าชนิดของผักสลัดและชนิดของแสง LED ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แต่ชนิดของผักสลัดที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อความยาวรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยผักสลัดเรดโอ๊คให้ความยาวรากมากกว่ากรีนโอ๊ค (Table 3) ส่วนการปลูกภายใต้แสง LED เปรียบเทียบกับการปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ พบว่าให้ความยาวรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยการปลูกภายใต้แสงอาทิตย์ให้ความยาวรากมากที่สุดเท่ากับ 25.88±2.03 เซนติเมตร

Table 1 Number of leaves, Plant height, canopy width, leaf long and leaf width of red oak and green oak lettuce grown in different LED at 35 days after sowing.

Factors	Treatments	Number of leaves	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	Leaf long (cm)	Leaf width (cm)
LED (A)	1) White LED (LED general)	4.88 ± 0.84[b]	12.13 ± 2.95[d]	14.74 ± 2.94[d]	8.24 ± 1.33[d]	2.80 ± 0.38[b]
	2) LED (4000 K)	10.50 ± 2.07[a]	19.75 ± 4.55[b]	28.54 ± 6.13[b]	16.76 ± 1.60[b]	12.63 ± 2.17[a]
	3) LED (Warm White)	11.00 ± 1.77[a]	20.94 ± 4.39[b]	29.81 ± 5.55[b]	18.49 ± 1.75[a]	12.43 ± 2.33[a]
	4) LED (pink)	11.13 ± 2.36[a]	26.58 ± 7.33[a]	35.50 ± 2.65[a]	18.64 ± 0.79[a]	12.33 ± 2.89[a]
	5) Sun light (control)	11.37 ± 3.20[a]	16.88 ± 4.05[c]	22.31 ± 5.32[c]	14.76 ± 2.65[c]	11.96 ± 1.77[a]
Lettuce (B)	Red oak	8.70 ± 2.58[b]	15.21 ± 3.62[b]	24.56 ± 7.59[b]	14.53 ± 3.72[b]	10.69 ± 4.60
	Green oak	10.85 ± 3.54[a]	23.30 ± 6.62[a]	27.80 ± 9.18[a]	16.23 ± 4.60[a]	10.17 ± 4.18
F-test (A)		**	**	**	**	**
F-test (B)		**	**	*	**	ns
F-test A*B		ns	**	ns	**	*
%CV		33.19	34.66	32.36	27.43	41.66

ns = not significant difference, * = significant difference at P ≤ 0.05, ** = significant difference at P ≤ 0.01

Table 2 Effect of LED light intensity and lettuce types on plant height, leaf length and leaf width Leaf width at 35 days after sowing.

LED	Plant height (cm)		Leaf length (cm)		Leaf width (cm)	
	Red oak	Green oak	Red oak	Green oak	Red oak	Green oak
1) White LED (LED general)	9.73±0.60f	14.53±2.15de	8.83±0.36f	7.65±1.76f	2.80±0.29c	2.80±0.50c
2) LED (4000 K)	15.88±1.43de	23.63±2.49b	15.63±1.56d	17.90±0.24bc	12.85±2.78ab	12.40±1.78ab
3) LED (Warm White)	17.20±0.71d	24.68±2.67b	17.25±1.73cd	19.73±0.33a	12.40±2.79ab	12.45±2.19ab
4) LED (pink)	19.88±0.62c	33.28±2.26a	18.15±0.50abc	19.13±0.76ab	14.43±2.46a	10.23±1.27b
5) Sun light (control)	13.36±0.66e	20.38±2.26c	13.80±1.49e	16.73±0.79cd	10.95±0.49b	12.98±2.09ab
F-test A*B	**		**		*	

* = significant difference at P ≤ 0.05, ** = significant difference at P ≤ 0.01

สำหรับค่าความเขียวใบ (SPAD-unit) พบว่า แสง LED และชนิดของผักสลัดไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แต่ชนิดของแสง LED ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความเขียวใบ โดยแสงในทรีทเมนต์ที่ 5 (แสงธรรมชาติ) ให้ค่าความเขียวใบมากที่สุดเท่ากับ 21.64±7.36 SPAD-unit รองลงมา คือ การปลูกภายใต้แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 3 มีค่าความเขียวใบเท่ากับ 15.20±7.54 SPAD-unit (Table 3) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ จริญญา และอารักษ์ ที่พบว่า การปลูกผักสลัดภายใต้แสงอาทิตย์ มีค่าความเขียวใบสูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (23.78 SPAD-unit) รองลงมา คือ การปลูกภายใต้แอลอีดีสีขาว แดง น้ำเงิน ความเข้มแสง 120 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (20.55 SPAD-unit) และ แอลอีดีสีขาว ความเข้มแสง 140 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (19.60 SPAD-unit) และการปลูกภายใต้แอลอีดีสีขาว แดง น้ำเงิน ความเข้มแสง 110 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (18.22 SPAD-unit) และแอลอีดีสีขาว ความเข้มแสง 120 µmol m-2s-1 (17.58 SPAD-unit) ให้ค่า SPAD chlorophyll น้อยที่สุด [14] แต่แตกต่างจากงานทดลองของ เทพสุดา และณัฐชัย ที่พบว่า การใช้แสง LED (850-1,000 µmol $m^{-2}s^{-1}$) ในการปลูกข้าวให้ค่าความเขียวใบมากกว่าการปลูกข้าวภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติ (700-950 µmol $m^{-2}s^{-1}$) [16] ผลการทดลองที่แตกต่างกันอาจเป็นผลจากปริมาณความเข้มแสงจากหลอด LED ที่แตกต่างกันโดยแสง LED ที่ใช้ในการทดลองมีค่าความเข้มแสงในช่วง 500-521 µmol $m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งน้อยกว่าแสงในธรรมชาติ และน้อยกว่าการทดลองเทพสุดาและณัฐชัย และ Kobayashi et al. พบว่าการปลูกผักสลัดในระบบไฮโดรโปรนิค ภายใต้สภาพหลอด LEDs สีแดงและสีน้ำเงิน ส่งผลให้ผักสลัดมีค่าความเขียวใบสูงกว่าผักสลัดที่ปลูกภายใต้สภาพหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสม่ำเสมอของแสงที่พืชได้รับในแต่ละวันจากหลอด LED ทำให้พืชมีค่าความเขียวใบที่เพิ่มขึ้น และอาจเป็นไปได้ว่าในสภาพธรรมชาติซึ่งสภาพอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ย 38°-41 °C ในตอนกลางวัน ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายในตู้ปลูกพืชแบบกึ่งปิดที่มีการให้แสง LED ซึ่งมีอุณหภูมิช่วงกลางวันเท่ากับ 35 °C จึงเป็นผลให้ค่าความเขียวใบของต้นข้าวที่ปลูกในสภาพธรรมชาติน้อยกว่าการปลูกภายใต้แสง LED [17] สำหรับชนิดของผักสลัดที่แตกต่างให้ค่าความเขียวใบต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยสลัดเรดโอ๊คให้ค่าความเขียวใบมากกว่ากรีนโอ๊ค สำหรับค่าความสว่างสี (L*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่า แสง LED และชนิดของผักสลัดมีอิทธิพลร่วมกัน โดยสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายใต้แสง LED ทรีทเมนต์ที่ 1-4 และภายใต้แสงธรรมชาติ (ทรีทเมนต์ 5) ให้ค่าความสว่างสีมากที่สุด สลัดเรดโอ๊คที่ปลูกภายใต้แสง LED ทรีทเมนต์ที่ 1-4 และกรีนโอ๊คที่ปลูกภายใต้แสง LED ทรีทเมนต์ที่ 2-4 และภายใต้แสงธรรมชาติ ให้ค่าสีเหลืองมากที่สุด (Table 4) ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) แสง LED และชนิดผักสลัดไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แต่แสง LED ที่ต่างกันให้ค่าสีแดงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยการปลูกในแสงธรรมชาติ (ทรีทเมนต์ที่ 5) ให้ค่าสีแดงมากที่สุดเท่ากับ -8.78±7.88 (Table 3) ในขณะที่ชนิดผักสลัดที่ต่างกันให้ค่าสีแดงไม่ต่างกันทางสถิติ ซึ่งค่าสีแดงเป็นค่าที่ใช้กำหนดค่าสีแดงหรือสีเขียว หากค่า a เป็นบวก จะให้วัตถุออกสีแดง และหากค่า a เป็นลบ จะให้วัตถุออกสีเขียว แต่จากการทดลองพบว่า ผักสลัดเรดโอ๊คให้ค่าสีแดงเป็นลบ และใบของเรดโอ๊คมีสีเขียวไม่เป็นสีแดง ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ตรงตามสายพันธุ์ (Figure 1) และในสลัดกรีนโอ๊คใบมีสีเขียวอ่อนซีด สอดคล้องกับงานทดลองของ พิชญ์สินี และธรรมศักดิ์ [18] จริญญาและอารักษ์ [6] ที่พบว่าการปลูกผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คภายใต้แสง LED ให้สีใบจางกว่าปกติอาจเกิดจากความเข้มแสง และระยะเวลาการรับแสงไม่เพียงพอ จึงทำให้พลังงานน้อยเกินไปสำหรับการสร้างรงควัตถุ เมื่อแสงลดต่ำลงเกิดการยับยั้งกระบวนการถอดรหัสของยีนในวิถีการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน [19] ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในพืชที่ให้สีแดง

Table 3 Root length, leaf greenness (SPAD-unit), L*, a* and b* of red oak and green oak lettuce grown in different LED at 35 days after sowing.

Factors	Treatments	Root length (cm)	Leaf greenness (SPAD- unit)	L*	a*	b*
LED (A)	1) White LED (LED general)	5.18 ± 1.48^{d}	9.65 ± 5.96^{c}	56.81 ± 5.75^{a}	-13.42 ± 3.57^{b}	28.31 ± 5.86^{a}
	2) LED (4000 K)	20.58 ± 3.82^{bc}	13.96 ± 8.36^{b}	53.63 ± 7.04^{b}	-15.47 ± 2.67^{c}	30.53 ± 2.36^{a}
	3) LED (Warm White)	22.13 ± 4.57^{b}	15.20 ± 7.54^{b}	53.50 ± 6.58^{b}	-15.92 ± 1.61^{c}	30.52 ± 2.34^{a}
	4) LED (pink)	18.68 ± 4.22^{c}	13.50 ± 6.87^{b}	$54.64 \pm 8.48a^{b}$	-15.12 ± 2.29^{c}	30.72 ± 1.67^{a}
	5) Sun light (control)	25.88 ± 2.03^{a}	21.64 ± 7.36^{a}	48.41 ± 13.02^{c}	-8.78 ± 7.88^{a}	25.22 ± 9.74^{b}
Lettuce (B)	Red oak	19.64 ± 7.72^{a}	21.00 ± 4.43^{a}	46.46 ± 6.06^{b}	-13.93 ± 6.47	27.95 ± 6.31^{b}
	Green oak	17.34 ± 8.03^{b}	8.58 ± 5.31^{b}	60.64 ± 2.07^{a}	-13.55 ± 2.37	30.17 ± 4.44^{a}
F-test (A)		**	**	**	**	**
F-test (B)		*	**	**	ns	*
F-test A*B		ns	ns	**	ns	**
%CV		42.55	53.61	16.08	32.36	18.93

ns = not significant difference, * = significant difference at P ≤ 0.05, ** = significant difference at P ≤ 0.01

ในด้านผลผลิต พบว่า แสง LED และชนิดผักสลัดมีอิทธิพลร่วมกันต่อน้ำหนักสดต้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) โดยสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ (ทรีทเมนต์ที่ 5) ให้น้ำหนักสดต้นมากที่สุดคือ 60.63±9.45 กรัม (Table 4) และการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติให้น้ำหนักสดต้นมากกว่าการปลูกภายใต้แสง LED อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติทั้งในสลัดเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค Brougham กล่าวว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ส่งผลให้การปลูกผักกาดหอมภายใต้แสงอาทิตย์ให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งสูงที่สุด [20] ซึ่งจากการทดลองพบว่าการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติให้ค่าความเขียวใบมากกว่าการปลูกภายใต้แสง LED เมื่อเปรียบเทียบชนิดของแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 1-4 พบว่าแสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 2-4 ให้น้ำหนักสดต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเป็นเพราะแสง LED ใน 3 ทรีทเมนต์ดังกล่าวมีช่วงความยาวคลื่นแบบ full spectrum เหมือนกัน ต่างกันที่ความเข้มแสงและสีของแสง โดยทรีทเมนต์ที่ 2 แสงสีขาว ทรีทเมนต์ที่ 3 แสงสีเหลือง และทรีทเมนต์ที่ 4 แสงสีชมพู แม้ว่าหลอด LED ทั้ง 3 ทรีทเมนต์จะเป็นแบบ full spectrum แต่ความเข้มแสงของหลอดยังไม่เพียงกับความต้องการของพืช จึงทำให้น้ำหนักสดต้นน้อยกว่าการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ สำหรับการให้แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 1 เป็นแสงจากหลอด LED ทั่วไป ขนาด 18 วัตต์ มีความเข้มแสง 1,035 ลักซ์ พบว่า ผักสลัดทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตในทุกด้านน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้หลอด LED ในทรีทเมนต์ที่ 2-4 และการปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ แสง LED จากหลอดไฟส่องสว่างทั่วไปเป็นแสงสีขาวที่ไม่มีความยาวคลื่นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ [15] ซึ่งแตกต่างจากงานทดลองของ กรวิทย์ และคณะ ที่พบว่า การใช้หลอดแอลอีดีส่องสว่างทั่วไปขนาด 2x9 W แสงผสมชนิดแสงขาว (Day Light) และชนิดแสงเหลือง (Warm White) ที่ความสูง 15 cm

ทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยวิธีการปลูกแบบรากแช่เติมอากาศ (Deep Water Culture, DWC) โดยควบคุมค่า EC 1,500 µS cm^{-1} และค่า pH 6.5 ควบคุมปริมาณแสงไม่เกิน 15 mol m^{-2} day 18 hr day หรือใช้หลอดแสงขาวและหลอดแสงเหลือง ขนาด 2x15 W ที่ระยะความสูง 25 เซนติเมตร ในพืชเรดโบล์ ควบคุมปริมาณแสงที่ไม่เกิน 17 mol m^{-2} day 16 hr day ที่ค่า EC 1,600 µS cm^{-1} และ pH 6.0 พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ [14] ในด้านน้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักราก พบว่า แสง LED และชนิดผักสลัดไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (Table 5) แต่ชนิดแสง LED ที่ต่างกันให้น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรากต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01)

Table 4 Effect of LED light intensity and lettuce types on L* b* and shoot fresh weight at 35 days after sowing.

LED	L*		b*		Shoot fresh weight (g)	
	Red oak	Green oak	Red oak	Green oak	Red oak	Green oak
1) White LED (LED general)	51.88 ± 2.55b	61.73 ± 2.45a	31.87 ± 1.78a	24.75 ± 6.56b	0.75 ± 0.12d	0.72 ± 0.24d
2) LED (4000 K)	47.39 ± 1.88c	59.88 ± 2.82a	31.18 ± 1.90a	29.87 ± 2.87a	25.32 ± 8.18bc	21.90 ± 8.29c
3) LED (Warm White)	47.57 ± 2.53c	59.44 ± 0.80a	29.68 ± 2.78a	31.36 ± 1.79a	25.75 ± 10.12bc	23.78 ± 13.97bc
4) LED (pink)	47.54 ± 5.50c	61.73 ± 1.82a	30.70 ± 0.88a	30.74 ± 2.39a	23.71 ± 7.31bc	18.90 ± 8.86c
5) Sun light (control)	36.43 ± 3.03d	60.40 ± 1.85a	16.32 ± 2.78c	34.12 ± 1.52a	36.38 ± 4.32b	60.63 ± 9.45a
F-test A*B	**		**		**	

** = significant difference at P ≤ 0.01

Table 5 Fresh weight and dry weight of red oak and green oak lettuce grown in different LED at 35 days after sowing

Factors	Treatments	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
		Shoot	Root	Shoot	Root
LED (A)	White LED (LED general)	0.74±0.18c	0.80±1.50c	0.03±0.01c	0.01±0.00c
	LED (4000 K)	23.61±7.84b	4.74±0.76b	1.02±0.54b	0.16±0.11ab
	LED (Warm White)	24.76±11.34b	5.05±1.08b	1.00±0.48b	0.19±0.16a
	LED (pink)	21.30±7.95b	4.16±1.14b	0.96±0.45b	0.12±0.08b
	Sun light (control)	48.50±14.64a	9.62±2.63a	1.54±0.35a	0.21±0.06a
Lettuce (B)	Red oak	22.38±13.51	5.81±2.12b	0.94±0.57	0.17±0.11a
	Green oak	25.19±21.67	6.80±2.98a	0.88±0.70	0.01±0.08b
F-test (A)		**	**	**	**
F-test (B)		ns	ns	ns	**
F-test A*B		**	ns	ns	ns
%CV		75.18	41.30	69.49	74.04

ns = not significant difference, ** = significant difference at P ≤ 0.01

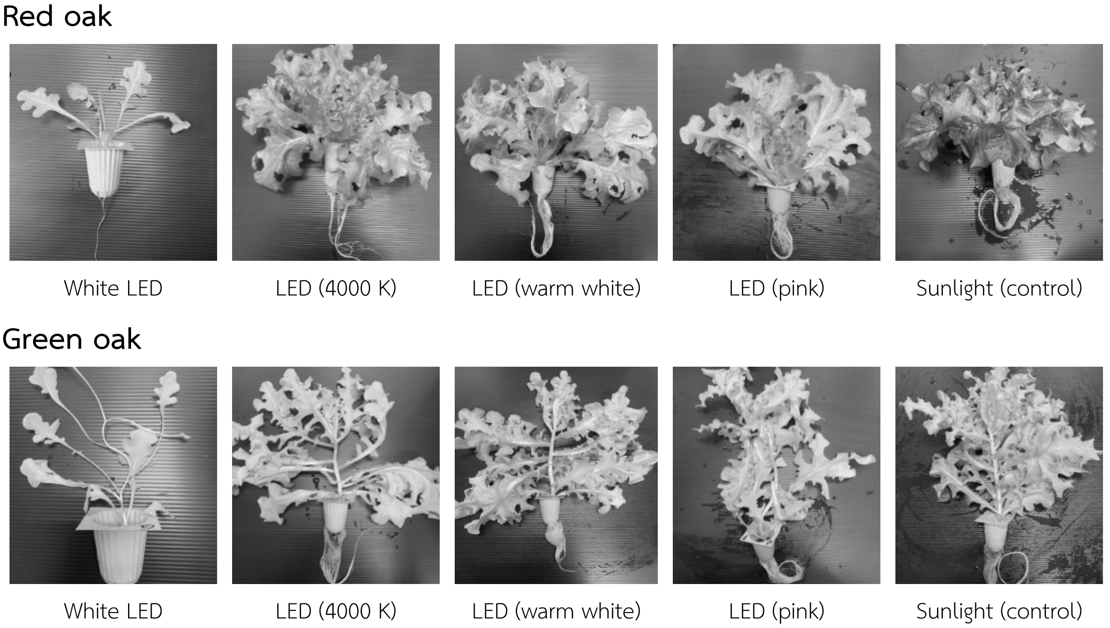

Figure 2 Effects of light type on growth of lettuce at 35 days after sowing.

4. สรุป

จากการศึกษาผลของแสงหลอดไฟ LED ที่มีขายตามท้องตลาดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค และกรีนโอ๊ค ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า แสง LED และชนิดของผักสลัดมีอิทธิพลร่วมกันต่อความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ ความสว่างสี (L*) ค่าสีเหลือง (b*) และน้ำหนักสดต้น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) แสง LED ในทรีทเมนต์ที่ 4 ให้จำนวนใบ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวใบ และความกว้างใบ ดีกว่าการปลูกในแสงธรรมชาติ (ทรีทเมนต์ที่ 5) และพบว่า หลอดไฟ LED ทั้ง 3 แบบ (ทรีทเมนต์ที่ 2-4) มีแนวโน้มนำมาใช้ในการปลูกผักสลัดเรดโอ๊คและ

กรีนโอ๊คได้ เนื่องจากให้การเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ดีกว่าการปลูกในแสงธรรมชาติ แต่ด้วยลักษณะลำต้นที่ยืดยาว และสีใบไม่ตรงตามสายพันธุ์ ในการนำหลอดไฟ LED ทั้ง 3 แบบมาใช้ในการปลูกผักสลัดจึงควรเพิ่มความเข้มของแสงให้มากขึ้น ในด้านผลผลิต พบว่า การปลูกโดยใช้แสงธรรมชาติ ให้น้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก มากกว่าการปลูกภายใต้แสง LED อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) สำหรับชนิดของผักสลัด พบว่า ผักสลัดกรีนโอ๊คให้จำนวนใบ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความกว้างใบ ความยาวใบ มากกว่าสลัดเรดโอ๊คอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และหลอด LED ทั่วไป (ทรีทเมนต์ที่ 1) ไม่สามารถนำมาใช้ในการปลูกผักสลัดเรดโอ๊ค และกรีนโอ๊คได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

[1] Gacomelli, 1998, Greenhouse Glazing and Solar Radiation Transmission Workshop, October 1998 @CCEA, Center for Controlled Environment Agriculture, Rutgers University, Cook College, AZ, 85721, USA.

[2] FAO, 2012. Food and Agriculture. Organization of the United Nations (FAO). “Global food security index 2012”. Economist Intelligence Unit, p 10.

[3] Thammawimol, K., 2020. Plant Factory. Avaliable Source: http://www.wangreefresh.com/ www.technologychaoban.com, November 7, 2021. (in Thai)

[4] Kozai, T., Niu, G. and Takagaki, M., 2016, Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press., California, U.S.A.

[5] Kim, H-H, Goins, G., Wheeler, R. and Sager, J., 2004, Green light supplementation for enhanced lettuce growth under red and blue light-emitting diodes, HortSci. 39: 1617-1622.

[6] Rittiram, J. and Tira-umphon, T., 2019, Effects of light intensity on growth and yield of lettuce in plant factory system, Khon Kaen AGR. J., 47(6): 1243-1250. (in Thai)

[7] Watjanatepin, N. and Boonmee, C., 2018, Which Color of Light from the Light Emitting Diodes is Optimal for Plant Cultivation, J. Science and Technology, 25(1): 158-176. (in Thai)

[8] Xiaoying, L., Shirong, G., Taotao, C., Zhigang, X. and Tezuka, T., 2012, “Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED)”. African journal of biotechnology, 11 (Suppl. 22), 6169-6177.

[9] Lina, K.H., Huangb, M.Y., Huangc, W.D., Hsuc, M.H., Yang, Z.W. and Yang. C.M., 2013, Effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce *(Lactuca sativa* L. var. capitata). HortSci 150: 86-91

[10] Yothatip, J., 2010, Study of Growth Indoor Plants using Artificial Light, Master Thesis, Kasetsart university, Bangkok, 198 p. (in Thai)

[11] kook, 2013, Blue LED (Light emitting diodes)- mediated growth promotion and control of Botrytis disease in lettuce, Acta Agr. Scand. Sect. B-Soil and Plant Sci., 63: 271-277.

[12] Lee, J.S., Lee, C.A., Kim, Y.H. and Yun, S.J., 2013, Shorter wavelength blue light promotes growth of green perilla (*Perilla frutescens*). International Journal of Agriculture and Biology, 16: 1177-1182

[13] Chowwalittrakul, S., 2017, Automatic hydroponic vegetables growing system, Master Thesis, Kasetsart university, Bangkok, 54 p. (in Thai)

[14] Krajangpan, K., Suebtaanaawong, T., and Wangsathiswong, S., 2018, lED Lighting Design for Indoor Planting Based on Daily Light Interal, 49(1 Suppl): 498-501. (in Thai)

[15] Luksanasakul, A., and Chanthing, A., 2017, Vegetable indoor Plants under Light

Emitting Diodes, Rajamangala University of Technology Srivijaya, 45 p. (in Thai)

[16] Rungrat, T., and Thaw-U-Thum, N., 2021, Effects of natural light and light-emitting diode (LED)light onphotosynthetic efficiency and other related parameters in rice, Khon Kean AGR., 49(5): 1279-1287. (in Thai)

[17] Kobayashi, N.I., Saito, T., Iwata, N., Ohmae, Y., Iwata, R., Tanoi, K. and Nakanishi, T.M. 2013. Leaf senescence in rice due to magnesium deficiency mediated defect intranspirationrate before sugar accumulationand chlorosis. Physiologia Plantarum doi : 10.1111/ppl.12003 : 490 - 501.

[18] Petchthai, P., and Thonket, T., 2017, Effects of light intensity and exposure time on growth and quality of lettuce, Songklanakarin Journal of Plant Science, 4(3): 54-59. (in Thai)

[19] Fujita, A., Soma, N., Goto-Yamamoto, N., Mizuno, A., Kiso, K. and Hashizume, K., 2007, Effect of shading on proanthocyanidin biosynthesis in the grape berry, Journal of the Japanese Society for HortSci, 76(2): 112-119.

[20] Brougham, R.K., 1960, The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content, and maximum growthrate of some pasture and crop plants, Annals of Botany, 24: 463-474.