ผลกระทบของแสงเทียมต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการเจริญเติบโตในพืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย

Effect of artificial light on antioxidants and growth on *Ocimum* genus of Thailand

วิจิตรา จันอุทัย (Vijittar Jan-uthai)* ดร.พันธนา ตอเงิน (Dr.Pantana Tor-ngern)**
ดร.จุฑามาศ ชัยวนนท์ (Dr.Juthamas Chaiwanon)***

บทคัดย่อ

ประชากรในเขตเมืองบริโภคผักในปริมาณน้อยส่งผลให้ได้รับคุณค่าทางโภชนาการต่ำกว่าเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากการขาดแคลนพื้นที่เกษตรกรรมในเขตเมือง รวมถึงปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก จึงเกิดแนวคิดในการปลูกพืชผักในอาคาร แต่ปัญหาสำคัญของแนวคิดนี้คือแสงในอาคารที่มีจำกัด งานวิจัยนี้จึงศึกษาการประยุกต์ใช้แสงเทียมจากไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นจำเพาะ เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพืชสวนครัว ได้แก่ โหระพา กะเพรา และแมงลัก โดยวิเคราะห์ผลกระทบของแสงเทียมสีแดง น้ำเงิน และสีผสมระหว่างแดงและน้ำเงินด้วยอัตราส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของพืชสวนครัวดังกล่าว พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแมงลักและสารประกอบฟีนอลของกะเพราภายใต้แสงผสมระหว่างแสงแดงต่อน้ำเงิน 2:1 มากกว่าแสงควบคุม (แสงขาว) แสงสีน้ำเงินส่งผลเชิงบวกต่อความสูงของโหระพาและแมงลัก ในขณะที่แสงสีแดงส่งผลให้ใบกะเพราและใบแมงลักมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การตอบสนองภายใต้เงื่อนไขทางแสงในแต่ละชนิดพันธุ์แตกต่างกันอย่างเฉพาะเจาะจง

ABSTRACT

According to World Health Organization (WHO), the vegetable consumption of urban population is quite low resulting in low nutrition. One of the reasons is limit of agricultural area. Furthermore, environmental factor is not suitable for cultivation. The method that use to solve the problem is indoor farming but, light in the building will be limiting factor of the method. This study aims to the used of artificial light from Light Emitting Diode (LED) which releases specific wavelength to increase quantity and nutrition in crop which includes sweet basil, holy basil, and lemon basil. By analysis of the artificial lights including red, blue and mix light of red and blue in ratio of 1:1, 1:2 and 2:1 on the antioxidants capacity, phenolic compounds and growth of the crops. The result showed an antioxidants capacity in lemon basil and amount of phenolic compound in holy basil under the ratio of 2:1 of mix light is higher than the light control (white light). Blue light has positive effect on the height of sweet basil and lemon basil whereas, red light has effect on the weight of holy basil and lemon basil. However, responses under different light conditions of each species are specifically different.

คำสำคัญ: ไดโอดเปล่งแสง สารต้านอนุมูลอิสระ การเจริญเติบโต

Keywords: Light emitting diode, Antioxidants, Growth

*นิสิต หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
**อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
***อาจารย์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

จำนวนประชากรที่สูงขึ้น (Internet World Stats, 2017) เป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การขยายตัวของเขตเมือง และเกิดการบุกรุกพื้นที่เกษตรกรรมของชุมชนรอบนอก ส่งผลให้พื้นที่และผลผลิตทางการเกษตรลดลงตามไปด้วย ทั้งในด้านผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการ ประเทศที่กำลังพัฒนามีการบริโภคผักและผลไม้ต่ำกว่าข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก โดยมักบริโภคอาหารที่เน้นแต่พลังงาน และยังขาดคุณค่าทางโภชนาการอื่นที่จำเป็น อาทิ สารต้านอนุมูลอิสระ (WHO, 2003; สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2546) ที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ โรคหลอดเลือด และโรคมะเร็ง (Jin, Russell, 2010) อีกทั้ง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นเหตุให้เพิ่มความรุนแรงในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมืองที่มีพื้นที่สีเขียวต่ำและมีปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban heat island) ซึ่งกระบวนการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหา โดยการปลูกพืชได้ปริมาณมากจะเป็นการจัดการพื้นที่สีเขียวในเมืองได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้ การศึกษาการปลูกพืชภายในอาคารหลากชนิดที่จะนำมาปลูกในเมืองและการหาแนวทางเพิ่มปริมาณและคุณค่าทางโภชนาการของผลผลิตทางการเกษตรจึงเป็นหัวข้อวิจัยสำคัญและควรได้รับการศึกษาอย่างเร่งด่วน หนึ่งในแนวทางสำคัญที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คือ เกษตรในเมือง (Urban Agriculture) ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ มลภาวะ และคุณภาพของดิน ส่งผลให้นิยมปลูกพืชในอาคารแต่ก็มีข้อจำกัดในด้านการขาดแสง ดังนั้นจึงมีการใช้แสงจากหลอดไฟในการแก้ไขปัญหาความไม่เหมาะสมด้านแสง

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงประสงค์ที่จะศึกษาแนวทางในการปลูกผักสวนครัวในเขตเมือง เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพืช โดยศึกษาการตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของพืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย ได้แก่ กะเพรา โหระพา และแมงลัก ต่อแสงจากไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode: LED) เนื่องจากหลอด LED สามารถเป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะได้ ด้วยวิธีการเพาะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ (Hydroponics) เนื่องจากการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์สามารถควบคุมสภาพการเพาะปลูกและแก้ปัญหาพื้นที่จำกัดต่อการเพาะปลูกได้ (ดิเรก, 2550) พืชสกุล *Ocimum* เป็นพืชในสกุลผักสวนครัวที่มีกลิ่นเป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นไทยและมีความต้องการสูงจากภาคเภสัชกรรม เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงและสารประกอบฟีนอลที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ยาและเครื่องสำอาง (Dou et al., 2017; Teofilovic et al., 2017) ในการศึกษานี้ เลือกใช้ LED ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ประหยัดพลังงานกว่าแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น และเลือกศึกษาแสงสีแดง และน้ำเงิน เนื่องจากมีงานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงินจาก LED สามารถกระตุ้นสารต้านอนุมูลอิสระในพืชได้ (Shiga et al., 2009; Shao et al., 2015) โดยทำการศึกษาเงื่อนไขชนิดแสง LED ที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย แสงสีขาว ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (1:2 1:1 และ 2:1) ด้วยระยะเวลาที่อยู่ภายใต้แสงแตกต่างกัน (7 และ 14 วัน) เพื่อศึกษาปัจจัยทางชนิดของแสง LED ต่อการเพาะปลูกพืชสกุล *Ocimum* ในพื้นที่ในอาคาร (Indoor) โดยวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) และการเจริญเติบโต (ความสูง พื้นที่ใบ และน้ำหนักใบ) ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้เกษตรในเมืองและเป็นแนวทางในการเพิ่มพื้นที่สีเขียว เพื่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของพืชจากการใช้แสง LED

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของกะเพรา โหระพา และแมงลัก ต่อเงื่อนไขชนิดแสง LED ที่แตกต่างกัน

วิธีการวิจัย

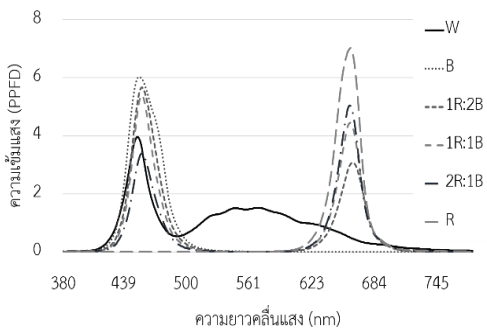
ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาการตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว (W) แดง (R) น้ำเงิน (B) และสัดส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) โดยมีวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

1) การเตรียมเมล็ดและเตรียมการปลูก

ทำการเพาะกล้าเป็นเวลา 5 วัน ก่อนลงปลูกในภาชนะปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ด้วยระบบรากแช่ แบบเติมอากาศ ด้วยสารละลายธาตุอาหารปุ๋ยเอและปุ๋ยบีที่ความเข้มข้นของสารอาหาร 700 - 1,120 ppm อีกทั้ง ปรับสารละลายให้มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 และค่านำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1.8 – 2.2 mS/cm ตามวิธีการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ของ ดิเรก (2550) จากนั้น ทำการติดตั้งระบบไฟ LED ให้เป็นไปตามเงื่อนไขกรณีศึกษา โดยควบคุมให้มีความเข้มแสง 200 – 300 μmol/m^2/s ที่ระยะห่างจากหลอดไฟ 25 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกโหระพาภายในห้องควบคุม (Costa et al., 2013) ความเข้มแสงของแผงไฟที่วัดได้ แสดงดังตารางที่ 1 และความยาวคลื่นแสงของแผงไฟดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มแสงของแผงไฟ (หน่วย μmol/m^2/s)

แสงสี	รวมทุกแสง (400-700 nm)	เฉพาะแดง (600-700 nm)	เฉพาะน้ำเงิน (400-499 nm)
ขาว (W)	231.59±6.64	47.45±1.41	90.56±2.17
น้ำเงิน (B)	209.24±0.72	0.45±0.05	204.19±0.76
แดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 2 (1R:2B)	211.98±5.17	72.70±2.91	135.92±6.89
แดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B)	216.69±7.92	97.73±3.38	116.39±4.50
แดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 (2R:1B)	205.32±2.02	116.22±1.79	86.83±2.24
แดง (R)	200.63±0.38	199.60±0.31	0.25±0.01



รูปที่ 1 ความยาวคลื่นแสงของแผงไฟ

2) ทดลอง

ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณประกอบสารฟีนอล และการเจริญเติบโตของพืชสกุล *Ocimum* ภายใต้เงื่อนไขชนิดแสง LED ที่แตกต่างกัน โดยทำการเพาะกล้าเป็นเวลา 5 วัน และนำไปปลูกต่อภายในโรงเรือนเป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้น ย้ายต้นกล้าไปไว้ภายใต้เงื่อนไขทางแสงตามที่กำหนดชนิดละ 6 ต้นต่อเงื่อนไขต่อการทดลองซ้ำ จนครบ 7 วัน และทำเก็บตัวอย่างที่อยู่ภายใต้ทดลองเงื่อนไขแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน จำนวนชนิดพันธุ์ละ 3 ต้นต่อเงื่อนไขแสง ส่วนต้นที่เหลือปลูกต่ออีก 7 วัน และทำการเก็บตัวอย่างที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 14 วัน

3) วิเคราะห์การเจริญเติบโต

ทำการวัดพื้นที่ใบที่ขยายเต็มที่ (fully expanded leaves) จำนวน 3 ใบต่อต้น โดยถ่ายรูปที่มีสเกลพื้นหลัง จากนั้น วิเคราะห์พื้นที่ใบด้วยโปรแกรม ImageJ (Schneider et al., 2012) วัดความสูงด้วยไม้บรรทัดโดยตัดบริเวณโคนต้นตัวอย่างใกล้ผิวของวัสดุปลูก และวัดน้ำหนักใบสดด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ของบริษัท Sartorius รุ่น A4100 S

4) วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล

วิธีการสกัดสารละลายตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลด้วยการนำตัวอย่างใบทั้งหมดที่เก็บเกี่ยวได้ใส่ในสารละลายเมทานอลที่ความเข้มข้น ร้อยละ 80 ด้วยปริมาณ 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำหลอดทดลองมาป้องกันแสง โดยการห่อด้วยแผ่นอะลูมิเนียมและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยชุดกรองสาร และทำการเก็บสารสกัดตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลายโดยเก็บรักษาสภาพสารละลายตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ กระบวนการวิเคราะห์ทั้งหมดจะอยู่ภายใต้สภาวะที่มีแสงน้อยหรือในที่มืดด้วยการป้องกันแสงจากแผ่นอะลูมิเนียมดังจะกล่าวรายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณสารดังต่อไปนี้

4.1) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จะใช้วิธีการของ Sharma, Bhat (2009) เริ่มต้นจากเตรียมสารละลาย DPPH ให้มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ในเมทานอล จากนั้น นำสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.8 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร โดยใช้เมทานอลแทนสารละลายตัวอย่างเพื่อแก้ไขความแปรปรวนของสีสารละลายตัวอย่าง และใช้เมทานอล ร้อยละ 95 4 มิลลิลิตร และสารละลาย DPPH 4 มิลลิลิตร เป็นสารควบคุมการดูดกลืนแสงคลาดเคลื่อน จากนั้น นำไปไว้ในความมืดเป็นเวลา 30 นาที ก่อนวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เพื่อทดสอบหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะเทียบค่า DPPH radical กับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0 – 50 ไมโครโมล ในหน่วยมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแอสคอร์บิกต่อกรัมของตัวอย่าง (mg AA g extract^{-1}) โดยคำนวณค่า DPPH radical ได้จากสมการที่ 1.1

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = \frac{(A0 - A1) - (B - C)}{(A0 - A1)} \times 100 \qquad (1.1)$$

โดย

A1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ ร้อยละ 95 เมทานอล 4 มิลลิลิตร

A0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH 4 มิลลิลิตร

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับ 3.8 มิลลิลิตร ของสารละลาย DPPH

C คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับ 3.8 มิลลิลิตร ของเมทานอล

4.2) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ตามวิธีการของ Chen et al., (2002) ดำเนินการโดยนำสารละลายตัวอย่างมา 0.4 มิลลิลิตร ผสมกับ 2.8 มิลลิลิตรของร้อยละ 2 โซเดียมคาร์บอเนต

เป็นเวลา 2 นาที จากนั้น ใส่ 0.8 มิลลิลิตรของ 1 นอร์มอล สารละลาย Folin-Ciocalteu (FCR) แล้วนำไปไว้ในความมืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 นาที ก่อนวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เพื่อทดสอบหาปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ ในหน่วยมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่าง (mg GAE g extract^{-1})

5) การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากข้างต้นมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 23.0 ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) และทำการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (post hoc test) โดยใช้วิธี Turkey เป็นการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลและอภิปรายการทดลอง

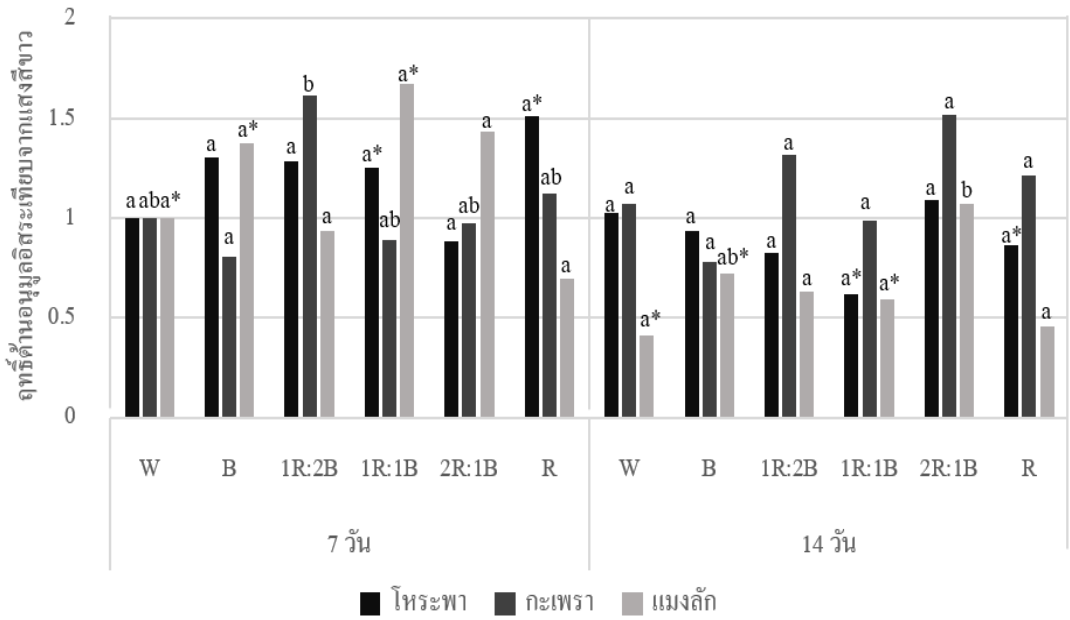
1) ผลการทดลองการตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล

จากการศึกษานี้พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลของทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงเกือบทุกกรณีไม่มีความแตกต่างจากแสงสีควบคุม (แสงสีขาว) ยกเว้น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแมงลักและปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มากกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.001 และ p=0.000) โดยแสดงค่าปรับเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานดังรูปที่ 2 อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาข้อมูลเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนไขแต่ละชนิดแสงพบว่า กะเพราที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 2 เป็นระยะเวลา 7 วัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแสงสีน้ำเงินเพียงอย่างเดียวถึง 2 เท่า (p=0.035) (รูป 2ก) และกะเพราที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าปลูกกะเพราภายใต้แสงสีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ อย่างน้อย 1.7 เท่า หรือ ร้อยละ 41.5 (p=0.001) (รูป 2ข) โหระพาที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงินเป็นระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่า 1.7 เท่า เมื่อเทียบกับปลูกภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญ (p=0.036) (รูป 2ข) และแมงลักที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าประมาณ 1.7 – 2.6 เท่า เมื่อเทียบกับปลูกภายใต้แสงสีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p=0.0001) ยกเว้น ภายใต้แสงสีน้ำเงินล้วน (รูป 2ก) ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโหระพา (p=0.397; 7 วัน, p=0.414; 14 วัน) และปริมาณสารประกอบฟีนอลของแมงลัก (p= 0.075; 7 วัน, p=0.055; 14 วัน) ภายใต้ทุกเงื่อนไขชนิดแสงไม่มีความแตกต่างกัน (รูป 2ก และ 2ข ตามลำดับ) การตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนแสงที่ระยะเวลาการให้แสงแตกต่างกันพบได้ว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโหระพาภายใต้แสงสีแดงและแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ที่ระยะเวลา 7 วัน มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 41 และ 51 (p=0.008 และ 0.007) และในแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว น้ำเงิน และแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ที่ระยะเวลา 7 วัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นอย่างน้อยร้อยละ 48 ($p \leq 0.015$) (รูปที่ 2ก) สารประกอบฟีนอลของโหระพาภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 7 วัน มากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 52 (p=0.021) และในกะเพราภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 51 (p=0.024) (รูปที่ 2ข) ซึ่งเป็นเพียงการตอบสนองชนิดเดียวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มมากขึ้นภายใต้เงื่อนแสงที่ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น กล่าวโดยสรุปคือ โหระพาและแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่

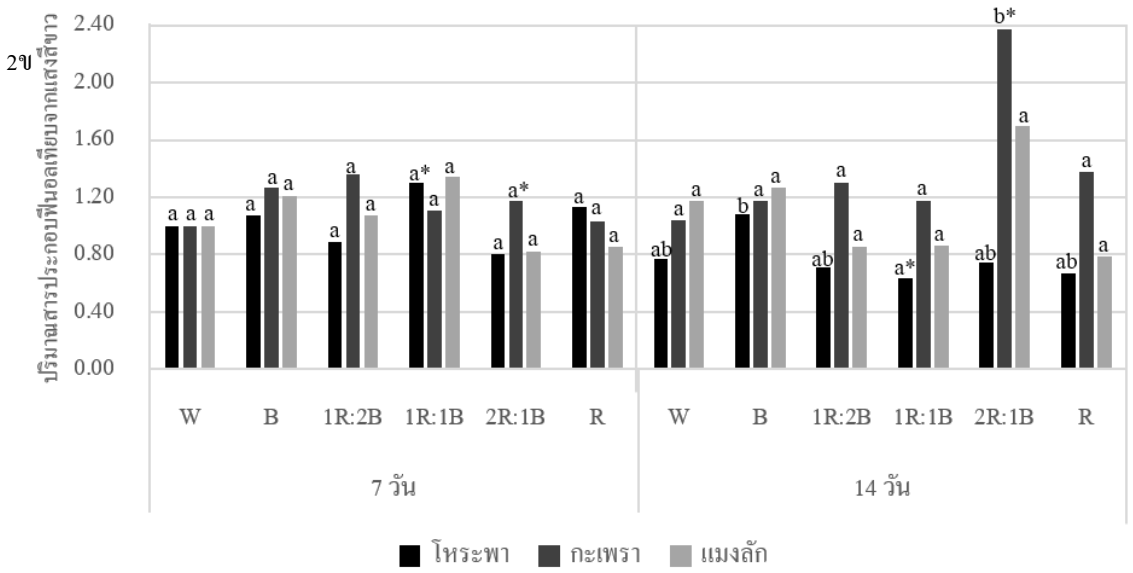
ระยะเวลามากขึ้นจะทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลง ส่วนกะเพราพบความแตกต่างของเงื่อนไขระยะเวลาภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงินสัดส่วน 2 ต่อ 1 มากขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลมากขึ้น

พืชมีการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลต่อปัจจัยทางแสง ไม่ว่าจะเป็น ความเข้มแสง ชนิดของแสง คุณภาพของแสง และช่วงเวลาในการให้แสง และเซลล์รับแสง (photoreceptors) มีการตอบสนองต่อกระบวนการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลที่ช่วงความยาวคลื่นแสงที่เจาะจง ดังนั้น แสงจึงเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในการกระบวนการสร้างและสลายสารของพืช ทั้งนี้ พืชสามารถสร้างสารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) จากสารปฐมภูมิ (Primary metabolites) เช่น คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน ในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม (Carvalho et al., 2016; Bantis et al., 2016) โดยสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระเป็นหนึ่งในสารทุติยภูมิที่มีแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต กล่าวคือ แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงมีผลต่อการผลิตสารประกอบฟีนอล ส่วนความยาวคลื่นแสงที่ใกล้เคียงกับแสงสีน้ำเงินอย่างเช่นรังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) ก็มีผลต่อการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกัน (Lattanzio et al., 2006) นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลยังเป็นหนึ่งในสารต้านอนุมูลอิสระ โดยผู้ศึกษาคาดว่าผลของการทดลองฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลเป็นไปใน

2ก



รูปที่ 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน (2ก) และปริมาณสารประกอบฟีนอลเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน (2ข) ของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว น้ำเงิน แดง และแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a, b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างเงื่อนไขทางแสง สัญลักษณ์ * ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสง)



รูปที่ 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน (2ก) และปริมาณสารประกอบฟีนอลเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน (2ข) ของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว น้ำเงิน แดง และแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a, b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างเงื่อนไขทางแสง สัญลักษณ์ * ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสง) (ต่อ)

ทิศทางเดียวกัน แต่ผลที่ออกมานั้นไม่มีแนวโน้มว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนไขทางแสงจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับรายงานของ Huang, Ou, Prior (2005) กล่าวว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่มีความสัมพันธ์ต่อความสามารถต้านออกซิเดชันรวม แต่ว่ารายงานของ Kwee, Niemyer (2011) ที่ระบุว่า โหระพา 15 ชนิดพันธุ์ ที่ปลูกในสภาวะแสงธรรมชาติ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เป็นปริมาณสารสำคัญในการตรวจวัดคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

งานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขแสงต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลของโหระพาเพียงเล็กน้อย ส่วนการศึกษาในกะเพราและแมงลักยังไม่พบข้อมูลการศึกษามาก่อนโดยโหระพาภายใต้เงื่อนไขแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการสะสมการผลิต phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการผลิตสารประกอบฟีนอล อาทิ phenylpropanoid จึงทำให้มีสารประกอบฟีนอลสูงกว่าแสงสีแดงและขาวล้วน (Nadeem et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ (รูป 2ข) แต่ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Shiga et al. (2009) ที่ระบุว่า โหระพาที่เพาะปลูกภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลสูงกว่าภายใต้แสงสีน้ำเงิน

นอกจากนี้ ข้อมูลของ Piovene et al. (2015) พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอล และฟลาโวนอยด์ในโหระพาภายใต้แสง LED ด้วยสัดส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินแต่ละสัดส่วนไม่มีความแตกต่างกัน แต่ทุกสัดส่วนแสงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากแสงควบคุม (หลอดฟลูออเรสเซนต์) เช่นเดียวกับการศึกษานี้ที่ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากแสงควบคุม (แสงสีขาว) อาจมาจากชนิดของหลอดไฟที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ LED ทั้งหมด (รูป 2ก และ 2ข) แม้ว่า Taulavuori et al. (2018) จะระบุว่า

โหระพาและArugula ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงินที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและพฤกษเคมี (phytochemical) มากกว่าสีแดงเพียงอย่างเดียว จึงสามารถกล่าวสรุปโดยรวมได้ว่า การใช้แสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงินดีกว่าใช้แสงสีเดียว แต่ผลผลิตทางกายภาพจะลดลงเมื่อสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินถึงค่าจำกัดค่าหนึ่ง เนื่องจากแสงสีน้ำเงินเกินขีดจำกัดจะเป็นการลดความจุในการรับแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้งนี้การตอบสนองขึ้นกับชนิดพันธุ์ (Hernandez, Kubota, 2016; Dou et al., 2017) โดยการศึกษาครั้งนี้พบว่า กะเพรามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระภายใต้เงื่อนไขทางแสงด้วยสัดส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 2 เป็นระยะเวลา 7 วัน มากกว่าแสงสีน้ำเงินล้วน และกะเพรามีปริมาณสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนไขทางแสงด้วยสัดส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มากกว่าแสงสีอื่นๆ เนื่องจากแสงสีน้ำเงิน (ในช่วงความยาวคลื่นแสง 400 - 500 นาโนเมตร) มีการดูดกลืนแสงโดย Photoreceptor proteins ที่จะตอบสนองจำเพาะช่วงคลื่นแสงที่ชัดเจน ทั้งนี้ ศักยภาพในการผลิตขึ้นกับความทดทานต่อความเครียดแสงของแต่ละชนิดพันธุ์พืช (Gitelson et al., 2017; Bantis et al., 2016) ยิ่งกว่านั้น โหระพาภายใต้เงื่อนไขชนิดแสงสีน้ำเงินจากหลอด LED ยังส่งผลให้ความหนาแน่นของปากใบเพิ่มขึ้น ส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการผลิตภายในของพืช (Jensen et al., 2018) ในด้านของระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่มากขึ้นอาจไม่เป็นผลเชิงบวกเสมอไป เช่นเดียวกับงานศึกษานี้ ที่พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลของโหระพาและแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน มีมากกว่าระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.021$) แต่กะเพราภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.024$) เพียงชนิดพันธุ์เดียวที่มีการสะสมเมื่อระยะเวลามาขึ้น (รูป 2ก) ซึ่งเป็นไปตามการศึกษาของ Taulavuori et al. (2016) กล่าวว่า โหระพาภายใต้สัดส่วนแสงผสมระหว่างแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินไม่มีการส่งเสริมการสะสมสารประกอบฟีนอลในระยะเวลาที่มากขึ้น แต่ในผักกาดแดง (red leaf lettuce) มีการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลเมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่เพิ่มมากขึ้น โดยระบุได้ว่าการปรับตัวของพืชจากการตอบสนองฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลต่อเงื่อนไขทางแสงแตกต่างกันขึ้นกับแต่ละชนิดพันธุ์

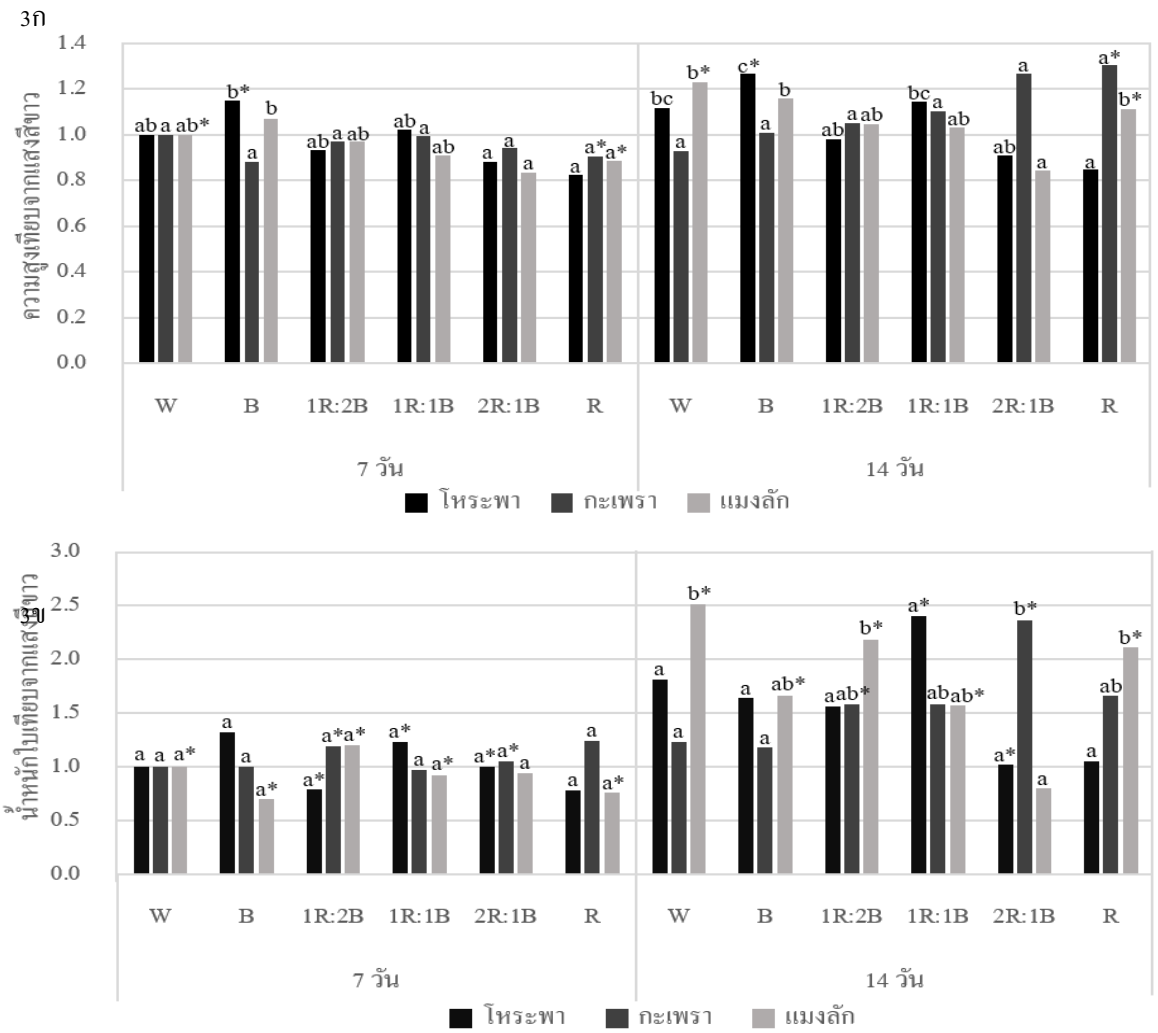
2) ผลการทดลองการตอบสนองของการเจริญเติบโต

จากการศึกษานี้พบว่าการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขทางแสงเกือบทุกกรณีไม่มีความแตกต่างจากแสงสีควบคุม (แสงสีขาว) โดยเฉพาะพื้นที่ใบภายใต้ทุกเงื่อนไขทางแสงให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.272$) ดังแสดงข้อมูลค่าปรับเทียบความสูงและน้ำหนักใบของโหระพา กะเพราและแมงลัก ซึ่งเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานดังรูปที่ 3 หากนำข้อมูลความสูงและน้ำหนักของใบเปรียบเทียบระหว่างภายใต้เงื่อนไขแต่ละชนิดแสงกับแสงควบคุม (แสงขาว) จะพบว่าโหระพาภายใต้แสงสีแดงเป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงน้อยกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 24 ($p=0.0001$) ส่วนแมงลักภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงน้อยกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 31 ($p=0.0001$) (รูปที่ 3ก) และแมงลักภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบน้อยกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็น 3.12 เท่า หรือร้อยละ 68 ($p=0.007$) (รูปที่ 3ข) และกะเพรามีเพียงน้ำหนักใบเท่านั้นที่แตกต่างจากแสงควบคุม โดยกะเพราภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบมากกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็น 1.92 เท่า หรือร้อยละ 48 ($p=0.050$) (รูปที่ 3ข) ส่วนการตอบสนองของการเจริญเติบโตภายใต้เงื่อนแสงที่ระยะเวลาการให้แสงแตกต่างกันพบได้ว่า น้ำหนักใบของโหระพาภายใต้แสงผสมระหว่างแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินในทุกสัดส่วนของการทดลองในระยะเวลา 14 วัน มากกว่าภายใต้แสงในระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ อย่างน้อยร้อยละ 2.3 ($p \leq 0.021$) กะเพราภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 2 และ

2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบมากกว่าระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ร้อยละ 25 และ 56 ตามลำดับ (p= 0.000 และ p=0.001) และแมงลักภายใต้แสงทุกการทดลอง ยกเว้น แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ อย่างน้อยร้อยละ 41 ($p \leq 0.001$) (รูป 3ข) ส่วนความสูงของโหระพาภายใต้แสงสีน้ำเงินเป็นระยะเวลา 14 วัน มากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ร้อยละ 9 (p=0.000) กะเพราภายใต้แสงสีแดงเป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงมากกว่า 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ร้อยละ 31 (p= 0.000) และแมงลักภายใต้แสงสีแดงและขาวเป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงมากกว่า 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ร้อยละ 21 และ 19 (p=0.000) (รูป 3ก) กล่าวโดยสรุปคือ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นส่งผลเชิงบวกให้มีการเจริญเติบโตของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ทางด้านความสูงและน้ำหนักใบเพิ่มมากขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า แสงสีน้ำเงินมีผลเชิงบวกต่อความสูงในโหระพาและแมงลัก โดยโหระพาภายใต้แสงสีน้ำเงินเป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน มีความสูงมากกว่าแสงสีแดง และแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 2 และ 2 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นอย่างน้อยร้อยละ 23 ($p \leq 0.003$) และแมงลักภายใต้แสงสีน้ำเงินมีความสูงมากกว่าแสงสีแดง (ระยะเวลา 7 วัน) และแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 (ระยะเวลา 7 และ 14 วัน) อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นอย่างน้อยร้อยละ 17 ($p \leq 0.004$) (รูปที่ 3ก) ส่วนน้ำหนักใบของกะเพราและแมงลักมีทิศทางตรงกันข้าม โดยแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว แสงสีแดง และแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 2 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบมากกว่าแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นอย่างน้อยร้อยละ 62 (p=0.007) (รูปที่ 3ข) และกะเพราภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักมากกว่าแสงสีขาวและแสงสีน้ำเงินอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 48 และ 50 ตามลำดับ (p=0.050) (รูปที่ 3ข)

การเจริญเติบโตของพืชมาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ทำให้พืชเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นน้ำตาลแล้วสะสมในรูปคงตัวก่อนนำไปเปลี่ยนเป็น ATP ใช้เป็นพลังงานในกระบวนการเจริญเติบโต ซึ่งรวมกับกลไกต่างๆภายในจะมีบทบาทให้พืชดำรงชีพต่อไปได้ โดยทั่วไปพืชจะนำแสงธรรมชาติที่มาใช้ประโยชน์ คือ แสงจากดวงอาทิตย์



รูปที่ 3 ความสูงเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน และ น้ำหนักใบเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน (3ข) ของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว น้ำเงิน แดง และแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 ในระยะเวลา 7 และ 14 วัน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a, b, c ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างเงื่อนไขทางแสง สัญลักษณ์ * ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสง)

แต่จะมีช่วงความยาวคลื่นแสงที่เฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือเรียกว่า photo synthetically active radiation (PAR) ซึ่งจะพบว่า พืชมีการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวแสงสีน้ำเงิน (400-500 นาโนเมตร) และแสงสีแดง (600-700 นาโนเมตร) ทั้งนี้ ยังมีปัจจัยทางแสง อาทิ ความเข้มแสง ช่วงเวลาให้แสง และชนิดของแสง ที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Bantis et al., 2018) ใบจะเป็นตำแหน่งหลักที่จะดูดกลืนแสง เพื่อนำพลังงานไปยังกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้ผลิตเป็นอาหารต่อไป ดังนั้นใบจึงสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก แต่ในการศึกษานี้พบว่าพื้นที่ใบพืชทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงทั้ง 6 ชนิดแสง ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามุ่งเน้นไปแนวโน้มของแสงสีแดงที่มีผลต่อพื้นที่ใบมากกว่าแสงสีน้ำเงิน โดยแสงสีแดงมีผลต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จึงเป็นการส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเพิ่มการแบ่งเซลล์ แต่ไม่มีการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบไปสะสม ส่วนแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์ด้วยแสง มวลใบต่อพื้นที่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอนไซม์รูบิสโก การ

ชักนำปากใบ และความหนาแน่นของปากใบ (Loughrin, Kasperbauer, 2001; Hernandez, Kubota, 2016; Dou et al., 2017) การศึกษาในอนาคตควรมีการศึกษาสัณฐานของใบเพื่อสนับสนุนผลการทดลอง แต่หากมองการเจริญเติบโตในด้านความสูงและน้ำหนักใบจากงานวิจัยที่ผ่านมาของพืชภายใต้เงื่อนไขทางแสงเทียม อาทิ งานวิจัยของ Hernandez, Kubota (2016) ที่ได้ทำการศึกษาต้นกล้าแตงกวาพบว่าแสงสีน้ำเงินมีผลเชิงบวกต่อความยาวลำต้น แต่มีผลให้มวลรากทั้งสดและแห้งลดลง ส่วน Roni et al. (2017) ได้รายงานว่าแสงสีน้ำเงินมีศักยภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าสีขาวและสีแดง จึงทำให้มีการเจริญเติบโตในทางที่ดี อีกทั้ง Jensen et al. (2018) ได้ระบุว่าแสงสีน้ำเงินผสมแสงสีแดงมีผลให้การเจริญเติบโตในเชิงบวกมากกว่าแสงสีแดงผสมแสงสีเขียว เนื่องจากโหระพาภายใต้แสงสีน้ำเงินจากหลอด LED มีผลต่อความหนาแน่นของปากใบที่จะส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการผลิตภายในของพืช เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ พบว่าโหระพาและแมงลักภายใต้แสงสีน้ำเงินมีการตอบสนองในเชิงบวกของการเจริญเติบโตด้านความสูง (รูปที่ 3ก) ในส่วนของการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักพบว่าโหระพาภายใต้แสง LED ด้วยสัดส่วนของแสงสีแดงต่อน้ำเงินต่ำมีน้ำหนักสดมากกว่าสัดส่วนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากแสงควบคุม (Piovene et al., 2015) และผักสลัดแดงและเขียวภายใต้แสงสีแดงมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่า 4 เท่า เมื่อเทียบกับภายใต้แสงสีแดงผสมน้ำเงิน (59:41) (Son, Oh, 2013) ในทางตรงกันข้ามกับการศึกษานี้ นั่นคือ กะเพราภายใต้สัดส่วนแสงสีแดงมากมีน้ำหนักมากกว่าแสงสีขาวและน้ำเงิน และแมงลักภายใต้แสงสีขาว แสงสีแดง และแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 2 มีน้ำหนักมากกว่าแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 (รูปที่ 3ข) รวมถึงผลการศึกษาของ Loughrin, Kasperbauer (2001) ที่ได้ทำการศึกษาแสงสะท้อนจากวัสดุคลุมพบว่าวัสดุคลุมสีขาวมีความเข้มแสงมากที่สุดและมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ใบสูงสุด ส่วนวัสดุคลุมสีแดงมีการตอบสนองเชิงบวกต่อน้ำหนักสดและร้อยละของน้ำในใบ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขทางแสงต่อการตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของโหระพา กะเพรา และแมงลัก เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน เพื่อเป็นแนวทางในการปลูกพืชสกุล *Ocimum* ในอาคารเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณค่าทางโภชนาการแก่ประชากรในเขตเมือง จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า การตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระภายใต้เกือบทุกเงื่อนไขทางแสงไม่แตกต่างจากแสงควบคุม (แสงสีขาว) แต่กะเพราที่ระยะเวลา 7 วัน และแมงลักที่ระยะเวลา 14 วัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระภายใต้แสงสีแดงผสมน้ำเงินมากกว่าแสงสีเดียว ส่วนการตอบสนองของปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราภายใต้แสงสีแดงต่อน้ำเงิน 2 ต่อ 1 ที่ระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าแสงสีขาว และโหระพาภายใต้แสงสีน้ำเงินมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ส่วนในด้านการเจริญเติบโต ความสูงของโหระพาและแมงลักมีการตอบสนองเชิงบวกต่อแสงสีน้ำเงิน ส่วนใบกะเพราและใบแมงลักมีแสงสีแดงเป็นปัจจัยเชิงบวกต่อน้ำหนักใบ นอกจากนี้ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นทำให้มีแนวโน้มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลลดลง แต่การเจริญเติบโตด้านความสูงและน้ำหนักใบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาภายใต้แสงเพิ่มขึ้น

การตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตภายใต้เงื่อนไขชนิดแสงของพืชแต่ละชนิดพันธุ์แตกต่างกันอย่างเฉพาะเจาะจง ซึ่งการศึกษาในปัจจุบันมีไม่มากพอที่จะระบุกระบวนการภายในของพืชได้ชัดเจน นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความทนแล้ง โรค ที่อาจจะมีผลต่อการตอบสนองของพืชอีกด้วย ดังนั้น ควรได้รับการศึกษาการตอบสนองภายใต้เงื่อนไขทางแสงอื่นๆ เพิ่มเติม รวมถึงเงื่อนไขทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ในขั้นตอนการผลิตทางชีวเคมีให้ชัดเจนและเจาะจงของแต่ละชนิดพันธุ์เพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัย รวมถึงภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

ดิเรก ทองอร่าม. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน: หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดีการพิมพ์; 2550.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, สำนักอาหาร. ตารางปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546. พิมพ์ครั้งที่ 3. นนทบุรี: กรมอนามัย; 2546: 341-347.

Bantis F, Ouzounis T, Radoglou K. Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. Scientia Horticulturae 2016; 198: 277-283

Bantis F, Smirnakou S, Ouzounis T, Koukounaras A, Ntagkas N, Radoglou K. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). Scientia Horticulturae 2018; 235: 437-451

Carvalho S D, Schwieterman M L, Abrahan C E, Colquhoun T A, Folta K M. Light Quality Dependent Changes in Morphology, Antioxidant Capacity, and Volatile Production in Sweet Basil (*Ocimum basilicum*). Frontiers in Plant Science 2016; 7: 1-12

Chen L, Cheng C, Liang J. Effect of esterificaltion on the Folin-Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. Food chemistry 2002; 170: 10-15

Costa L, Montano Y M, Carrión C, Rolny N, Guiamet J J. Application of low intensity light pulses to delay postharvestsenescence of *Ocimum basilicum* leaves. Postharvest Biology and Technology 2013; 86: 181–191

Dou H, Niu G, Gu M, Masabni J G. Effects of Light Quality on Growth and Phytonutrient Accumulation of Herbs under Controlled Environments. Horticulturae 2017; 3: 1-11

Gitelson A, Chivkunova O, Zhigalova T, Solovchenko A. In situ optical properties of foliar flavonoids: Implication for non-destructive estimation of flavonoid content. Journal of Plant Physiology. 2017; 218: 258-264

Hernandez R, Kubota C. Physiological responses of cucumber seedling under different blue and red photon flux ratios using LED. Environmental and experimental Botany 2016; 121: 66-74

Huang D, Boxin O B, Prior R L. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. Journal of Agricultural and Food chemistr. 2005; 53: 1841-1856

Internet World Stats. The world population [online]. 2017 [cited 2017 Nov 15] Available from: http://www.internetworldstats.com/stats8.htm

Jensen N B, Clausen M R, Kjaer K H. Spectral quality of supplemental LED grow light permanently alters stomatal functioning and chilling tolerance in basil (*Ocimum basilicum* L.). Scientia Horticulturae 2018; 22: 38-47

Jin D, Russell J M, Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. Molecules. 2010; 15: 7313-7352

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

Lattanzio V, Lattanzio V M T, Cardinali A. Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. Phytochemistry 2006; 23-67

Loughrin J H, Kasperbauer M J. Light Reflected from Colored Mulches Affects Aroma and Phenol Content of Sweet Basil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2001; 49: 1331-1335

Nadeem M, Abbasi B H, Younas M, Ahmad W, Zahir A, Hano C. LED-enhanced biosynthesis of biologically active ingredients in callus cultures of *Ocimum basilicums*. Journal of Photochemistry and Photobiology. 2019; 190: 172-178

Piovene C, Orsini F, Bosi S, Sanoubar R, Bregola V, Dinelli G, Gianquinto G. Optimal red:blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. Scientia Horticulturae 2015; 193: 202-208

Roni M Z K, Islam M S, Shimasaki K. Response of Eustoma Leaf Phenotype and Photosynthetic Performance to LED Light Quality. Horticulturae 2017; 3: 50

Schneider C A, Rasband W S, Eliceiri K W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature methods 2012; 9(7): 671-675

Shao L, Fu Y, Liu H, Liu H. Changes of the antioxidant capacity in Gynura bicolor DC under different light sources. Scientia Horticulturae 2015; 184: 40-45

Sharma O P, Bhat T K. DPPH antioxidant assay revisited. Food chemistry 2009; 113: 1202-1205

Shiga T, Shoji K, Shimada H, Hashida S, Goto F, Yoshihara T. Effect of light quality on rosmarinic acid content and antioxidant activity of sweet basil, *Ocimum basilicum* L. Plant Biotechnology 2009; 26: 255-259

Son K, Oh M. Leaf shape, Growth, and Antioxidant Phenolic Compounds of Two Lettuce Cultivars Grown under Various Combinations of Blue and Red Light-emitting Diodes. HORTSCIENCE 2013; 48: 988-995

Taulavuori K, Hyoky V, Oksanen J, Taulavuori E, Julkunen-Tiitto R. Responses of phenolic acid and flavonoid synthesis to blue and blue-violet light depends on plant species. Environmental and Experimental Botany 2016; 121: 145-150

Taulavuori K, Pyysalo A, Taulavuori E, Julkunen-Tiitto R Species-specific differences in synthesis of flavonoids and phenolic acids under increasing periods of enhanced blue light. Environmental and Experimental Botany 2018; 150: 183-187

Teofilovic B, Grujic-L N, Golocorbin-Kon S, Stojanovic S, Vastag G, Gadzuric S. Experimental and chemometric study of antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum*) extracts. Industrial Crops and Products 2017; 100: 176-182

World Health Organization (WHO). Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Joint WHO/FAO Expert Consultation 2013; 916 (28 January--1 February 2002)