

อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง แผ่นสะท้อนแสง และพลังงานทดแทน ต่อลักษณะการสร้างมวล *Tagetes erecta* L. (ดาวเรือง) ในระยะทำใบและทำดอก

The Effect of Light Wavelength, Light Reflector, and Renewable Energy on *Tagetes erecta* L. Mass Growth Characteristics in Vegetative and Reproductive Stages

รับบทความ	10/03/2021
แก้ไขบทความ	02/04/2021
ยอมรับบทความ	08/04/2021

จุลพัฒน์ ไหมแก้วธนวัฒน์ วรสันต์ บูรณากาญจน์
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chullapatch Maikaewthanahwattana, Vorasun Buranakarn

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

chullapatchm@gmail.com, vorasun.b@chula.ac.th

บทคัดย่อ

เทคโนโลยี Light Emitting Diodes (LEDs) หรือหลอดแอลอีดี เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงทดแทนแสงอาทิตย์ในโรงงานผลิตพืชมากที่สุด จากการทดสอบตัวอย่างหลอดแอลอีดีชนิด full spectrum พบว่า ในช่วงความยาวคลื่นแสง Photosynthetically Active Radiation (PAR) เป็นแบบ full spectrum เช่นเดียวกับแสงอาทิตย์ แต่มีความสม่ำเสมอของปริมาณโฟตอนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงที่น้อยกว่า ลักษณะการกระจายตัวของแสงสู่พื้นที่ปลูกเป็นแบบกระจุกตัวบริเวณศูนย์กลางแต่ฟุ้งกระจายบริเวณชายขอบ และหลอดแอลอีดีแบบ full spectrum ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง แผ่นสะท้อนแสง และพลังงานทดแทน ต่อลักษณะการสร้างมวลของพืช โดยใช้หลอดแอลอีดีสัดส่วน R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00, R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00, R:G:B = 1.47 : 1.83 : 1.00 และ R:G:B = 2.53 : 2.67 : 1.00 ร่วมกับแผ่นสะท้อนแสงเอียง 60 และ 90 องศาจากระนาบพื้น และระบบไฟฟ้าแบบโซล่าเซลล์ DC เปรียบเทียบกับไฟบ้าน AC เป็นอุปกรณ์ในการศึกษา โดยเลือก *Tagetes erecta* L. (ดาวเรือง) เป็นพืชตัวอย่างเนื่องจากมีความต้องการปริมาณความเข้มแสงที่สูง

ผลการศึกษาพบว่า 1) ในระยะทำใบ การปลูกด้วยแสงที่มีสัดส่วน R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00 ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลราก ลำต้น ใบ และ ดอก ในระยะทำดอก การปลูกด้วยแสงที่มีสัดส่วน R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00 ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลรากและใบ และการปลูกด้วยแสงที่มีสัดส่วน R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00 ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลลำต้นและดอก 2) ในระยะทำใบ การปลูกด้วยแผ่นสะท้อนแสงเอียง 60 องศา ส่งผลดีต่อการสร้างมวลใบมากกว่า ในระยะทำดอก การปลูกด้วยแผ่นสะท้อนแสงเอียง 60 องศา ส่งผลดีต่อการสร้างมวลราก ลำต้น ใบ และ ดอก มากกว่า 3) ในระยะทำใบ การปลูกด้วยแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ DC ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวลรากและดอก ในระยะทำดอก การปลูกด้วยแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ DC ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวลลำต้น

คำสำคัญ: ช่วงความยาวคลื่นแสง แผ่นสะท้อนแสง พลังงานทดแทน การสร้างมวล ดาวเรือง

Abstract

Light Emitting Diodes (LEDs) are the most suitable device for use as a light source to replace sunlight in Plant Factory. From testing samples of Full Spectrum LED lamps, it was found that in the Photosynthetically Active Radiation (PAR), LEDs lamps had the same full spectrum as sunlight but the consistency of the light photons in each wavelength is less, The distribution of light into the planting area is centralized and can't control light scatter at the edge, And most of the full spectra LEDs are devices that require AC power. So, The objective of this research is to study the effect of light wavelength, light reflector, and renewable energy on the plant's mass growth characteristics by using the LEDs lamps with R: G: B = 1.11: 1.20: 1.00, R: G: B = 2.04: 2.12: 1.00, R: G: B = 1.47: 1.83: 1.00 and R: G: B = 2.53: 2.67: 1.00 combination with light reflectors tilted 60 and 90 degrees from the ground plane. And compared a power system between solar cell DC power and main AC power. *Tagetes erecta* L. (Marigold) was selected as a specimen plant due to the high-intensity light requirement.

The results of this research shown that 1) In the vegetative stage, LEDs with R: G: B = 1.11: 1.20: 1.00 had the best effect on a root, shoot, leaf, and flower mass, In the reproductive stage LEDs with R: G: B = 2.04: 2.12: 1.00 had the best effect on root and leaf mass, And LEDs with R: G: B = 1.11: 1.20: 1.00 had the best effect on shoot and flower mass. 2) In the vegetative stage, planting with a 60-degree light reflector producing more leaf mass, In the reproductive stage, planting with a 60-degree light reflector producing more root, shoot, leaf and flower mass 3) In the vegetative stage, planting with a solar DC power was no significant difference in root and flower mass, In the reproductive stage, planting with solar DC power was no significant difference in shoot mass.

keywords: *Light wavelength, Light reflector, Renewable energy, Mass growth, Marigold*

บทนำ

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืช (plant factory) เป็นการนำเทคโนโลยีทางด้านสรีรวิทยาพืช วิศวกรรม สถาปัตยกรรม และวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ภายในพื้นที่ที่เป็นระบบปิดหรือกึ่งปิด เช่น ภายในโรงเรือน หรือภายในอาคาร โดยมีการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย แสง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิอากาศ และ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เป็นต้น

การใช้แสงประดิษฐ์ (artificial light) เป็นแหล่งกำเนิดแสงทดแทนแสงอาทิตย์ (sunlight) เป็นหนึ่งในการควบคุมปัจจัยแสงในเทคโนโลยีโรงงานผลิตพืช เพื่อแก้ไขข้อจำกัดทางสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศที่ส่งผลเสียต่อคุณลักษณะของแสงภายในพื้นที่ปลูก การนำแสงประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ทดแทนแสงอาทิตย์จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของแสงที่พืชได้รับจากแสงอาทิตย์ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1.ช่วงความยาวคลื่นแสง (light wavelength) 2.ความเข้มแสง (light intensity) และ 3.ความยาวของช่วงที่ได้รับแสง (light duration) จากการศึกษาวิจัยพบว่า เทคโนโลยี Light Emitting Diodes (LEDs) หรือหลอดแอลอีดี เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงประดิษฐ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทนแสงอาทิตย์มากที่สุด เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการกำหนดช่วงความยาวคลื่นแสง (Gupta & Agarwal, 2017) ให้ความเข้มแสงต่อหน่วยพลังงานมากที่สุด (Watts per $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) รวมถึงมีค่าสัมประสิทธิ์การแปลงหน่วยจาก Lux เป็น $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์กำเนิดแสงประดิษฐ์ชนิดอื่น ๆ ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดเมทัลฮาไลด์ และหลอดโซเดียมความดันสูง (กรวิทย์ กระจำวงศ์, ถิระวรรณ สืบธนวงษ์ และ สุขสันต์ หวังสถิตย์, 2561)

จากการนำตัวอย่างหลอดแอลอีดีชนิด full spectrum ไปทดสอบเปรียบเทียบกับแสงอาทิตย์ พบว่า ประการที่หนึ่ง คุณลักษณะของแสงที่วัดค่าได้จากหลอดแอลอีดีในช่วงความยาวคลื่นแสง Photosynthetically Active Radiation (PAR) เป็นแบบ full spectrum เช่นเดียวกับแสงอาทิตย์ แต่มีความสม่ำเสมอของปริมาณโฟตอนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงที่น้อยกว่า ส่งผลให้ในหนึ่งหน่วยพลังงานแสงของหลอดแอลอีดีอาจมีส่วนช่วงความยาวคลื่นแสงที่ดีกว่าหรือแย่กว่าแสงจากแสงอาทิตย์ ประการที่สอง ลักษณะการกระจายตัวของแสงสู่พื้นที่ปลูกของหลอดแอลอีดีเป็นแบบกระจุกตัวบริเวณศูนย์กลาง แต่กระจายตัวบริเวณชายขอบ แตกต่างจากแสงอาทิตย์ที่มีการกระจายตัวของแสงที่สม่ำเสมอทั่วทุกบริเวณ ส่งผลให้พลังงานแสงที่ผลิตได้จากหลอดแอลอีดีบริเวณชายขอบอาจสูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์หรือรบกวนพื้นที่การใช้งานอื่นที่ไม่ต้องการแสง และ ประการที่สาม หลอดแอลอีดีแบบ full spectrum ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ส่งผลให้การปลูกพืชที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณสูงมีข้อจำกัดทางด้านการนำพลังงานทดแทนมาใช้

จากที่กล่าวมาทั้งหมด นำไปสู่ที่มาและความสำคัญของการศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสงที่ส่งผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช การศึกษาแนวทางการออกแบบแผ่นสะท้อนแสงและอิทธิพลของแผ่นสะท้อนแสงที่ส่งผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืช ร่วมกับการศึกษาวิธีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ลดต้นทุนทางด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบแสงที่เหมาะสมต่อลักษณะการเจริญเติบโตของพืชที่ต้องการ โดยในการศึกษารั้วนี้ได้เลือกดาวเรืองในระยะทำใบและทำดอกเป็นพืชตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากมีความต้องการปริมาณความเข้มแสงที่สูง และเป็นระยะการเจริญเติบโตของพืชที่สามารถบันทึกผลการทดลองส่วนประกอบของพืชได้ทุกส่วนประกอบด้วย ส่วนราก ลำต้น ใบ และดอก

วัตถุประสงค์ในงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสงต่อลักษณะการสร้างมวลของดาวเรืองในระยะทำใบและทำดอก
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมมองแผ่นสะท้อนแสงต่อลักษณะการสร้างมวลของดาวเรืองในระยะทำใบและทำดอก
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี

การทบทวนวรรณกรรม

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง การออกแบบมุมมองสาของแผ่นสะท้อนแสงสำหรับหลอดแอลอีดี และการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช การทบทวนวรรณกรรมจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสงที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช

1.1. การดูดซับแสงของพืช ที่เซลล์ของใบพืชมีรงควัตถุดูดซับแสง (photosynthetic pigment) ทำหน้าที่ดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ต่างกัน โดยมีคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophylls a) เป็น primary pigment ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยตรงและมีรงควัตถุชนิดอื่นทำหน้าที่ดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงอื่น ๆ ที่ คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดซับได้ แล้วส่งต่อไป เรียกว่า accessory pigment ด้วยความแตกต่างของประสิทธิภาพในการส่งต่อของ accessory pigment ส่งผลให้พืชสามารถตอบสนองต่อแสงที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน (ดนัย บุญเกียรติ, [ม.ป.ป.])

1.2. ช่วงความยาวคลื่นแสงที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ช่วงความยาวคลื่นแสง (light wavelength) ที่พืชสามารถดูดซับมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ อยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็น (visible light) โดยช่วงความยาวคลื่นแสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงโดยเฉพาะ อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร เรียกว่าช่วง Photosynthetically Active Radiation หรือ PAR (นักธร วัจนเทพินทร์ และ ไชยยันต์ บุญมี, 2560)

1.3. ช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดค่าได้จากแสงอาทิตย์ ช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดค่าได้จากแสงอาทิตย์(sunlight) ในช่วง PAR มีลักษณะแสงเป็นแบบ full spectrum ทุกช่วงความยาวคลื่นแสงมีปริมาณโฟตอน(photon) แสงที่สม่ำเสมอทั้งในช่วงเวลากลางวัน (08.00 น. - 16.00 น.) และมีปริมาณโฟตอนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกันในช่วงเวลาเช้าและเย็น (06.00 น. - 08.00 น. และ 16.00 น. - 18.00 น.)

1.4. ช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดค่าได้จากหลอดแอลอีดี ช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดค่าได้จากเทคโนโลยีLight Emitting Diodes (LEDs) หรือหลอดแอลอีดี ในช่วง PAR มีลักษณะแสงเป็นแบบ full spectrum แต่มีความสม่ำเสมอของปริมาณโฟตอนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงน้อยกว่าแสงอาทิตย์

1.5. ช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดค่าได้จากแสงประดิษฐ์ชนิดอื่น ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์, หลอดเมทัลฮาไลด์ และหลอดโซเดียมความดันสูง ในช่วง PAR มีลักษณะแสงเป็นแบบ full spectrum กึ่ง narrow band กล่าวคือ มีปริมาณโฟตอนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ใบพืชสามารถดูดซับได้สูงที่สุด (absorption peak) ที่แตกต่างจากช่วงความยาวคลื่นแสงช่วงอื่นชัดเจนและแตกต่างจากช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดค่าได้จากแสงอาทิตย์

1.6. ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างของช่วงความยาวคลื่นแสง

- ชานนท์ ลากิจิตร (2560) พบว่า การปลูกผักบั้งจีนด้วยหลอดแอลอีดีที่มีช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น ความกว้างลำต้น จำนวนใบต่อต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการเลือกใช้สัดส่วนของช่วงความยาวคลื่นแสงแต่ละแบบอาจส่งผลต่อลักษณะบางลักษณะของผักบั้งจีน

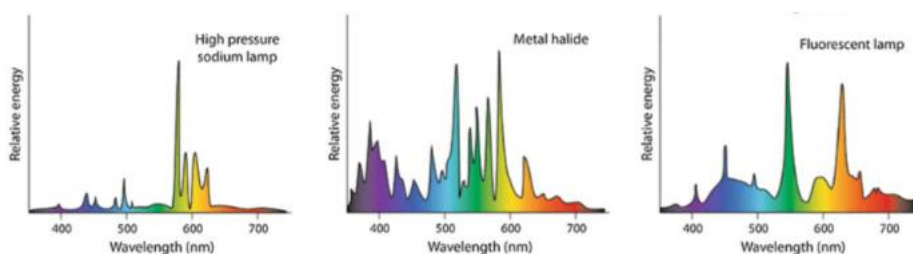
- นักธร วัจนเทพินทร์ และ ไชยยันต์ บุญมี (2560) กล่าวว่า การเลี้ยงต้นกล้วยไม้ด้วยแสงประดิษฐ์ที่มีช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน ประกอบด้วย หลอดแอลอีดีและหลอดฟลูออเรสเซนต์ ส่งผลให้ความสูงต้นและน้ำหนักสดรวมทั้งต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการปลูกกล้วยไม้พันธุ์ช้างแดงด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย หลอดแอลอีดีที่มีช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน และแสงอาทิตย์จากธรรมชาติ ส่งผลให้ขนาดใบ จำนวนใบ ความยาวราก และจำนวนราก มีความแตกต่างกัน

- Kim et al. (2004) พบว่า การปลูกเบญจมาศด้วยหลอดแอลอีดีที่มีลักษณะแสงแบบ narrow band และ full spectrum กึ่ง narrow band ที่ช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

น้ำหนักสด-น้ำหนักแห้งและขนาดของใบ ความยาวก้านดอก และลำต้น มีประสิทธิภาพดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน จึงควรมีการพัฒนาการผสมช่วงความยาวคลื่นแสงให้มีความเหมาะสมแบบ full spectrum

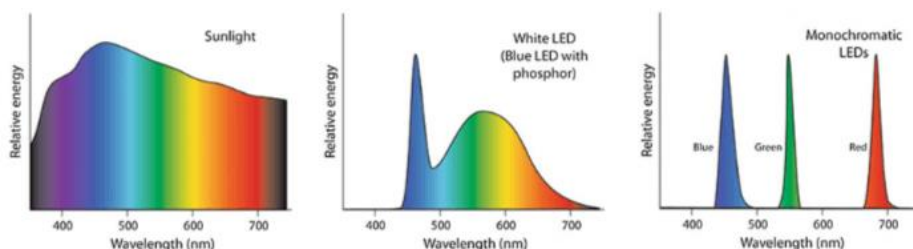
- Chin และ Chong (2012) พบว่า การปลูกผักกาดหอมด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน ประกอบด้วย หลอดแอลอีดีและแสงอาทิตย์จากธรรมชาติ ส่งผลให้ผักกาดหอมมีลักษณะการเจริญเติบโตที่ต่างกัน การปลูกผักกาดหอมด้วยหลอดแอลอีดีส่งผลต่ออัตราส่วนพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก ความกว้างของใบ และน้ำหนักสดรวมทั้งต้น มากกว่าการปลูกด้วยแสงอาทิตย์

- Choi, Moon และ Kang (2015) พบว่า การปลูกสตรอว์เบอร์รี่ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน ประกอบด้วย หลอดแอลอีดีและหลอดแอลอีดีผสมแสงอาทิตย์ ส่งผลให้สตรอว์เบอร์รี่มีปริมาณผลผลิตที่ต่างกัน การปลูกด้วยหลอดแอลอีดีแสงสีแดง+น้ำเงินได้ผลผลิตมากกว่าการปลูกด้วยแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน และการปลูกด้วยแสงธรรมชาติร่วมกับแสงสีแดง+น้ำเงิน และแสงธรรมชาติร่วมกับแสงสีน้ำเงินได้ผลผลิตมากกว่าการปลูกด้วยแสงธรรมชาติร่วมกับแสงสีแดง



ภาพ 1 ช่วงความยาวคลื่นแสงของหลอดโซเดียมความดันสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ และ หลอดฟลูออเรสเซนต์

ที่มา Gupta และ Agarwal (2017)



ภาพ 2 ช่วงความยาวคลื่นแสงของแสงอาทิตย์ หลอดแอลอีดีแบบ full spectrum และ หลอดแอลอีดีแบบ narrow band

ที่มา Gupta และ Agarwal (2017)

2. อิทธิพลของแผ่นสะท้อนแสงที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช

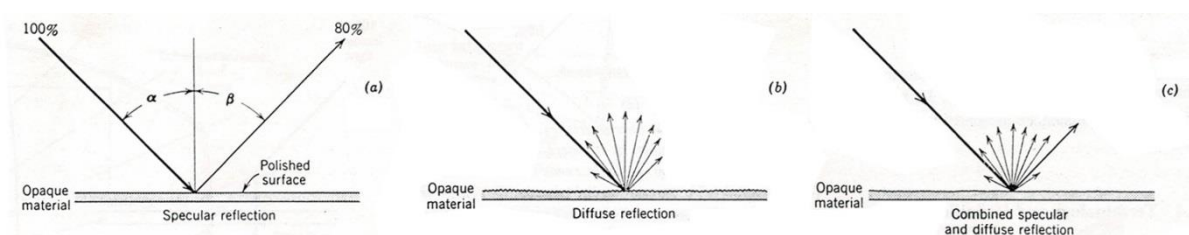
2.1. ค่าการสะท้อนแสง สัดส่วนของการสะท้อนกลับของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า ค่า Reflectance หรือ Reflectance Factor (RF) เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวแล้วถูกสะท้อนกลับครึ่งหนึ่ง จะมีค่า Reflectance = 50% หรือ 0.50 โดยแสงอีกครั้งหนึ่งจะถูกดูดซับไว้หรือทะลุผ่านไปหรือเกิดขึ้นทั้งคู่ ค่าการดูดซับแสง (absorption) และค่าการสะท้อนแสง (reflection) จะแปรผันตามชนิดของวัสดุและองศาที่แสงตกกระทบบ ตัวอย่างเช่น กระจกเงาเป็นวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงเกือบสมบูรณ์ (almost perfect reflection) และ สีดำด้านเป็นวัสดุที่มีค่าการดูดซับแสงเกือบสมบูรณ์ (almost complete absorption)

2.2. ประเภทการสะท้อนแสง ประเภทการสะท้อนแสงของวัสดุแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ specular reflection, diffuse reflection และ combined specular and diffuse reflection

Specular reflection เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน วัสดุที่มีการสะท้อนแสงประเภทนี้เป็นวัสดุที่มีผิวเรียบ ตัวอย่างเช่น กระจกขัดเงา (polished glass) และ หินขัดเงา (polished stone)

Diffuse reflection เป็นการสะท้อนแสงที่แตกรังสีสะท้อนออกเป็นรังสีเล็ก ๆ สะท้อนออกไปทั่วทิศทาง เมื่อมองแสงที่สะท้อนจากวัสดุประเภทนี้จะมองเห็นความสว่างเท่ากันจากทุกมุมมอง วัสดุที่มีการสะท้อนประเภทนี้เป็นวัสดุที่มีผิวขรุขระหรือวัสดุที่ไม่ผ่านการขัดเงา

Combined specular and Diffuse reflection เป็นการสะท้อนแสงที่ผสมระหว่างการสะท้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางตรงกันข้ามและการสะท้อนแสงแบบกระจายทั่วทุกทิศทาง เป็นประเภทการสะท้อนแสงของวัสดุส่วนใหญ่ (Stein, Reynolds & McGuinness, 1986)



ภาพ 3 ประเภทการสะท้อนแสง Specular reflection, Diffuse reflection และ Combined specular and Diffuse reflection
ที่มา Stein, Reynolds และ McGuinness (1986)

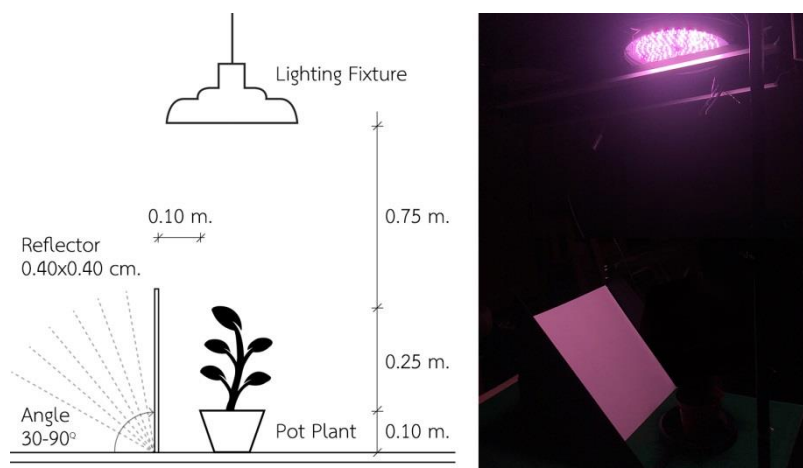
2.3. ตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ การเลือกชนิดของวัสดุที่เหมาะสมต่อการนำมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์สะท้อนแสงสามารถพิจารณาจากค่า Reflectance ได้ดังตัวอย่างจากตารางที่ 1 โดยเลือกใช้วัสดุกระดาษสีขาวด้านเป็นวัสดุปิดผิวของหุ่นจำลองเพราะต้องการอัตราการสะท้อนแสงที่สูง (reflectance สูง) และสะท้อนทั่วทุกทิศทาง (diffuse สูง)

ตาราง 1 ตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ

Material	Reflectance	
	Specular	Diffuse
Matte black paper	0.0005	0.040
Matte white paper	0.0030	0.770
Metallic paper-copper	0.1100	0.280
Super gloss black ink	0.0390	0.016
Newspaper	0.0065	0.680

ที่มา Stein, Reynolds และ McGuinness (1986)

2.4. การทดสอบนาร่ององศาการเอียงแผ่นสะท้อนแสง ทำการทดสอบโดยใช้หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงติดตั้งโคมแอลอีดีสูงจากเรือนยอดพีชตัวอย่าง 75 ซม. พีชตัวอย่างมีความสูงต้นวัดตั้งแต่โคนต้นถึงเรือนยอด 25 ซม. ปลุกในกระถางสูง 10 ซม. แผ่นสะท้อนแสงทำจากกระดาษชานอ้อยสีขาวด้านขนาด 40 x 40 ซม. วางเอียงสะท้อนแสงเข้าสู่ต้นพีชทำมุมองศา 30 – 90 องศากระนาบพื้น โดยทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงเพียงหนึ่งด้านจากทั้งหมดสี่ด้านเท่านั้น ทำการวัดความเข้มแสงที่สะท้อนเข้าสู่ต้นพีชแสงด้วยแอปพลิเคชัน Lux Meter จาก Smart Phone โดยวัดความเข้มแสงที่บริเวณฐานต้น กลางลำต้น และเรือนยอด พบว่า สำหรับการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงหนึ่งด้านส่งผลให้การเอียงทำมุม 60 องศากระนาบสามารถสะท้อนแสงเข้าสู่ต้นพีชได้ดีที่สุด



ภาพ 4 กรรมวิธีการทดสอบนำร่ององศาการเอียงแผ่นสะท้อนแสง

3. พลังงานทดแทน

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า มีรูปแบบการติดตั้งระบบที่แตกต่างกันหลากหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบการติดตั้งที่แตกต่างกันจะส่งผลต่ออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการติดตั้งโดยมีอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย แผงโซลาร์เซลล์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ เครื่องปรับระบบไฟฟ้า และแบตเตอรี่

วิธีการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์แบบ DC ต่อใช้งานเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่ผ่านแบตเตอรี่ เป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้ (loss in the system) โดยเป็นการหลีกเลี่ยงรูปแบบการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ที่มีเครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ เครื่องปรับระบบไฟฟ้า และแบตเตอรี่ เป็นส่วนประกอบ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ในระบบดังกล่าวตั้งแต่ 15% ขึ้นไป (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553)

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

ปลุกดาวเรืองพันธุ์เหว F1 ในถุงปลูกขนาด 5 นิ้ว ด้วยวัสดุปลูกดิน แกลบเผา และแกลบดิบ สัดส่วน 1:1:1 ผสมกับขุยมะพร้าวและกาบมะพร้าวสับละเอียด รดน้ำวันละหนึ่งครั้งปริมาณน้ำ 200 มิลลิลิตร ปลูกโดยใช้แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นระดับสภาพแวดล้อม แบ่งออกเป็นการเตรียมพืชตัวอย่างสำหรับงานวิจัย 2 ชุด ชุดที่ 1 เตรียมพืชตัวอย่างตั้งแต่ระยะเพาะเมล็ดจนถึงย้ายต้นกล้าลงปลูก อายุ 25 วัน (เตรียมทำใบ) และ ชุดที่ 2 เตรียมพืชตัวอย่างตั้งแต่ระยะเพาะเมล็ดจนถึงระยะทำใบคาบเกี่ยวติดตุ่มดอก อายุ 45 วัน (เตรียมทำดอก)

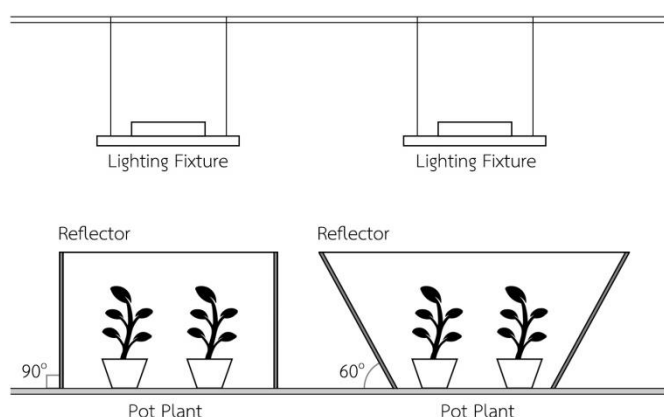
หลังจากขั้นตอนเตรียมพืชตัวอย่าง นำตัวอย่างพืชจากทั้ง 2 ชุด ได้แก่ ชุดเตรียมทำใบและชุดเตรียมทำดอก มาทำการทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างของระบบแสงจำนวน 4 กรรมวิธี ประกอบด้วย

- กรรมวิธีที่ 1 : ปลูกด้วยแสงอาทิตย์ในโรงเรือน สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดได้ R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00
- กรรมวิธีที่ 2 : ปลูกด้วยหลอดแอลอีดีกำลังไฟฟ้า 36W แรงดันไฟฟ้า 12-85V จำนวน 6 หลอด เชื่อมต่อแผงโซลาร์เซลล์กำลังไฟฟ้า 240W แรงดันไฟฟ้า 36V ด้วยสายไฟแบบ DC โดยไม่ผ่านเครื่องปรับระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่ สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดได้ R:G:B = 2.53 : 2.67 : 1.00 (เตรียมทำใบ) และ R:G:B = 1.47 : 1.83 : 1.00 (เตรียมทำดอก)
- กรรมวิธีที่ 3 : ปลูกด้วยหลอดแอลอีดีกำลังไฟฟ้า 240W แรงดันไฟฟ้า 220-240V เชื่อมต่อไฟบ้าน AC พร้อมอุปกรณ์แผ่นสะท้อนแสงทำจากกระดาษลูกฟูกปิดทับด้วยกระดาษวาดเขียนสีขาวด้าน เอียงทำมุม 60 องศาจากระนาบพื้น สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดได้ R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00 รับแสง 8 ชั่วโมงต่อวัน (08.00 – 16.00 น.)
- กรรมวิธีที่ 4 : ปลูกด้วยหลอดแอลอีดีกำลังไฟฟ้า 240W แรงดันไฟฟ้า 220-240V เชื่อมต่อไฟบ้าน AC พร้อม

อุปกรณ์แผ่นสะท้อนแสงทำจากกระดาษลูกฟูกปิดทับด้วยกระดาษวาดเขียนสีขาวด้าน เอียงทำมุม 90 องศาจากระนาบพื้น สัดส่วนช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัดได้ R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00 รับแสง 8 ชั่วโมงต่อวัน (08.00 – 16.00 น.)

ทำการควบคุมปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ปริมาณแสงรวมต่อวัน Daily light integral (DLI) โดยควบคุมให้ DLI = 10.8 และ 15.8 mol/m²/d (moles per day) ในระยะทำใบและระยะทำดอก ตามลำดับ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยตามสภาพแวดล้อม โดยกรรมวิธีที่ 1 เป็นการปลูกในโรงเรือนแบบไม่เสริมอุปกรณ์ควบคุม และกรรมวิธีที่ 2 - 4 เป็นการปลูกภายในอาคารระบบกึ่งปิดโดยไม่เสริมอุปกรณ์ควบคุม

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แต่ละกรรมวิธีการทดลองใช้พืชตัวอย่างจำนวน 4 ต้น บันทึกผลลักษณะการเจริญเติบโตของดาวเรืองในระยะทำใบและระยะทำดอก ได้แก่ น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งดอก แล้วนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสง อิทธิพลของมุมมองฉากแผ่นสะท้อนแสง และอิทธิพลของการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า ต่อลักษณะการสร้างมวลของดาวเรือง



ภาพ 5 ภาพแสดงมุมมองฉากของแผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 4 (ซ้าย) และกรรมวิธีที่ 3 (ขวา)



ภาพ 6 ภาพแสดงกรรมวิธีการทดลอง กรรมวิธีที่ 1 (ซ้าย) กรรมวิธีที่ 2 (ขวาล่าง) และกรรมวิธีที่ 3 และ 4 (ขวามือ)

ผลการศึกษา

เมื่อดาวเรืองในระยะทำใบอายุ 50 วัน ดาวเรืองทุกต้นในทุกกรรมวิธีอยู่ในช่วงเริ่มติดตุ่มดอก และเมื่อดาวเรืองในระยะทำดอกอายุ 80 วัน ดาวเรืองทุกต้นในทุกกรรมวิธีอยู่ในช่วงมีดอกบานเต็มที่ จึงทำการบันทึกผลลักษณะการสร้างมวล

ของดาวเรียงในระยะทำใบและระยะทำดอกที่ช่วงอายุดังกล่าว ดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักแห้งรวมทุกต้นในระยะทำใบ (ตาราง 2)

- น้ำหนักแห้งราก การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 1.95 กรัม รองลงมาคือการปลูกในกรรมวิธีที่ 4, 3 และ 2 ซึ่งน้ำหนักได้ 0.74, 0.68 และ 0.61 กรัม คิดเป็น -62.05%, -65.13% และ -68.72% จากกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ

- น้ำหนักแห้งลำต้น การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 6.89 กรัม รองลงมาคือการปลูกในกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 2 ซึ่งน้ำหนักได้ 4.42, 3.88 และ 3.08 กรัม คิดเป็น -35.85%, -43.69% และ -55.30% จากกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ

- น้ำหนักแห้งใบ การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 8.85 กรัม รองลงมาคือการปลูกในกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 2 ซึ่งน้ำหนักได้ 8.11, 7.28 และ 6.54 กรัม คิดเป็น -8.36%, -17.74% และ -26.10% จากกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ

- น้ำหนักแห้งดอก การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 0.78 กรัม ส่วนการปลูกในกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้

2. น้ำหนักแห้งรวมทุกต้นในระยะทำดอก (ตาราง 2)

- น้ำหนักแห้งราก การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 2.09 กรัม รองลงมาคือการปลูกในกรรมวิธีที่ 4, 1 และ 2 ซึ่งน้ำหนักได้ 1.82, 1.80 และ 1.46 กรัม คิดเป็น -12.92%, -13.88% และ -30.14% จากกรรมวิธีที่ 3 ตามลำดับ

- น้ำหนักแห้งลำต้น การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 11.05 กรัม รองลงมาคือการปลูกในกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 2 ซึ่งน้ำหนักได้ 10.66, 10.49 และ 9.25 กรัม คิดเป็น -3.53%, -5.07% และ -16.29% จากกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ

- น้ำหนักแห้งใบ การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 9.39 กรัม รองลงมาคือการปลูกในกรรมวิธีที่ 4, 1 และ 2 ซึ่งน้ำหนักได้ 7.78, 7.58 และ 6.30 กรัม คิดเป็น -17.15%, -19.28% และ -32.91% จากกรรมวิธีที่ 3 ตามลำดับ

- น้ำหนักแห้งดอก การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ได้น้ำหนักรวมสูงที่สุด 9.77 กรัม รองลงมาคือการปลูกในกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 2 ซึ่งน้ำหนักได้ 7.07, 6.25 และ 5.28 กรัม คิดเป็น -27.64%, -36.03% และ -45.96% จากกรรมวิธีที่ 1 ตามลำดับ

3. น้ำหนักแห้งรากรายต้น (ตารางที่ 3 กำหนดให้ ปริมาณการสร้างมวล = X และ กลุ่มประชากรส่วนใหญ่ = P)

- ระยะทำใบ การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรียงทุกต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 (สูงกว่า P) ซึ่ง น้ำหนักได้ 0.50, 0.44, 0.53 และ 0.48 กรัม การปลูกในกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 ดาวเรียงทุกต้น มีค่า X ช่วงที่ 3-4 (P) ซึ่งน้ำหนักได้ 0.15, 0.15, 0.16, 0.14 กรัม, 0.21, 0.15, 0.20, 0.12 กรัม และ 0.20, 0.25, 0.16, 0.13 กรัม ตามลำดับ

- ระยะทำดอก การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 ดาวเรียง 3 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P) และดาวเรียง 1 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 0.41, 0.54, 0.47 กรัม และ 0.67 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรียงทุกต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P) ซึ่งน้ำหนักได้ 0.52, 0.34, 0.54 และ 0.40 กรัม การปลูกในกรรมวิธีที่ 4 ดาวเรียง 3 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 4 (P) และดาวเรียง 1 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 0.53, 0.50, 0.50 กรัม และ 0.29 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 2 ดาวเรียง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P) และดาวเรียง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 0.40, 0.51 กรัม และ 0.27, 0.28 กรัม ตามลำดับ

4. น้ำหนักแห้งลำต้นรายต้น (ตาราง 3 กำหนดให้ ปริมาณการสร้างมวล = X และ กลุ่มประชากรส่วนใหญ่ = P)

- ระยะทำใบ การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรียงทุกต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.83, 1.69, 1.79 และ 1.58 กรัม การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ดาวเรียงทุกต้น มีค่า X ช่วงที่ 3-4 (P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.39, 0.99, 1.15, 0.89 กรัม และ 0.78, 1.22, 1.08, 0.80 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 2 ดาวเรียง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 (P) และดาวเรียง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 0.89, 0.82 กรัม และ 0.71, 0.61 กรัม ตามลำดับ

- ระยะทำดอก การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรียง 3 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P) และดาวเรียง 1 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 2.14, 3.01, 2.56 กรัม และ 3.34 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 ดาวเรียง 2 ต้น 1 ต้น และ 1 ต้น มีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P), 5 (สูงกว่า P) และ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 2.95, 2.54 กรัม, 3.22 กรัม

และ 1.95 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 4 และ 2 ดาวเรือง 3 ต้น มีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P) และดาวเรือง 1 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 3.05, 2.66, 2.93 กรัม, 2.68, 2.41, 2.18 กรัม และ 1.85, 1.98 กรัม ตามลำดับ 5. น้ำหนักแห้งใบรายต้น (ตารางที่ 3 กำหนดให้ ปริมาณการสร้างมวล = X และ กลุ่มประชากรส่วนใหญ่ = P)

- ระยะทำใบ การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P) และดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 - 6 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.83, 1.98 กรัม และ 2.33, 2.71 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 ดาวเรือง 3 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 - 4 (P) และดาวเรือง 1 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.68, 2.15, 1.69 กรัม และ 2.59 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 4 ดาวเรืองทุกต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3-4 (P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.60, 2.17, 1.93 และ 1.58 กรัม การปลูกในกรรมวิธีที่ 2 ดาวเรือง 3 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 (P) และดาวเรือง 1 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.73, 1.73, 1.62 กรัม และ 1.46 กรัม ตามลำดับ

- ระยะทำดอก การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 ดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 - 4 (P) และดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 2.24, 1.75 กรัม และ 2.78, 2.62 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 4 ดาวเรืองทุกต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 - 4 (P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.84, 2.11, 1.57 และ 2.26 กรัม การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรือง 2 ต้น, 1 ต้น และ 1 ต้น มีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 - 4 (P), 5 (สูงกว่า P) และ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 2.07, 1.68 กรัม, 2.43 กรัมและ 1.40 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 2 ดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 - 4 (P) และดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.69, 1.96 กรัม และ 1.29, 1.36 กรัม ตามลำดับ

6. น้ำหนักแห้งดอกรายต้น (ตาราง 3, กำหนดให้ ปริมาณการสร้างมวล = X, และ กลุ่มประชากรส่วนใหญ่ = P)

- ระยะทำใบ การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรืองทุกต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 - 6 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 0.15, 0.17, 0.22 และ 0.24 กรัม การปลูกในกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้

- ระยะทำดอก การปลูกในกรรมวิธีที่ 1 ดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 4 (P) และดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 5 - 6 (สูงกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.97, 2.18 กรัม และ 3.01, 2.61 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 3 ดาวเรืองทุกต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 - 4 (P) ซึ่งน้ำหนักได้ 2.00, 1.75, 1.34 และ 1.98 กรัม การปลูกในกรรมวิธีที่ 4 ดาวเรือง 3 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 - 4 (P) และดาวเรือง 1 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.58, 1.61, 2.07 กรัม และ 0.99 กรัม ตามลำดับ การปลูกในกรรมวิธีที่ 2 ดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 3 (P) และดาวเรือง 2 ต้นมีค่า X อยู่ในช่วงที่ 2 (ต่ำกว่า P) ซึ่งน้ำหนักได้ 1.55, 1.57 กรัม และ 1.19, 0.97 กรัม ตามลำดับ

ตาราง 2 น้ำหนักแห้งราก ลำต้น ใบ และ ดอก รวมทุกต้น ในระยะทำใบและระยะทำดอก

	น้ำหนักแห้งรวมทุกต้น (กรัม) ระยะทำใบ				น้ำหนักรวมแห้งทุกต้น (กรัม) ระยะทำดอก			
	ราก	ลำต้น	ใบ	ดอก	ราก	ลำต้น	ใบ	ดอก
กรรมวิธีที่1	1.95	6.89	8.85	0.78	1.80	11.05	7.58	9.77
กรรมวิธีที่2	0.61	3.08	6.54	0.00	1.46	9.25	6.30	5.28
กรรมวิธีที่3	0.68	4.42	8.11	0.00	2.09	10.66	9.39	7.07
กรรมวิธีที่4	0.74	3.88	7.28	0.00	1.82	10.49	7.78	6.25

ตาราง 3 น้ำหนักแห้งราก ลำต้น ใบ และ ดอก รวบรวมในระหว่างทำใบและระยะทำดอก

กรรมวิธีที่	น้ำหนักแห้งรายต้น (กรัม) ระยะทำใบ				น้ำหนักแห้งรายต้น (กรัม) ระยะทำดอก			
	ราก	ลำต้น	ใบ	ดอก	ราก	ลำต้น	ใบ	ดอก
1-1	0.50 ⁵	1.83 ⁵	2.33 ⁵	0.15 ⁵	0.52 ⁴	3.34 ⁵	2.43 ⁵	3.01 ⁶
1-2	0.44 ⁵	1.69 ⁵	1.83 ³	0.17 ⁵	0.34 ³	2.14 ³	1.40 ²	1.97 ⁴
1-3	0.53 ⁵	1.79 ⁵	2.71 ⁶	0.22 ⁵	0.54 ⁴	3.01 ⁴	2.07 ⁴	2.61 ⁵
1-4	0.48 ⁵	1.58 ⁵	1.98 ⁴	0.24 ⁶	0.40 ³	2.56 ³	1.68 ³	2.18 ⁴
2-1	0.15 ³	0.71 ²	1.73 ³	0.00	0.40 ³	1.98 ²	1.69 ³	1.55 ³
2-2	0.16 ³	0.66 ²	1.46 ²	0.00	0.51 ⁴	2.68 ⁴	1.96 ⁴	1.19 ²
2-3	0.16 ³	0.89 ³	1.73 ³	0.00	0.27 ²	2.41 ³	1.29 ²	1.57 ³
2-4	0.14 ³	0.82 ³	1.62 ³	0.00	0.28 ²	2.18 ³	1.36 ²	0.97 ²
3-1	0.21 ³	1.39 ⁴	2.59 ⁵	0.00	0.41 ³	2.95 ⁴	2.78 ⁵	2.00 ⁴
3-2	0.15 ³	0.99 ³	1.68 ³	0.00	0.67 ⁵	2.54 ³	2.24 ⁴	1.75 ³
3-3	0.20 ³	1.15 ⁴	2.15 ⁴	0.00	0.54 ⁴	1.95 ²	1.75 ³	1.34 ³
3-4	0.12 ³	0.89 ³	1.69 ³	0.00	0.47 ⁴	3.22 ⁵	2.62 ⁵	1.98 ⁴
4-1	0.20 ³	0.78 ³	1.60 ³	0.00	0.53 ⁴	3.05 ⁴	1.84 ³	1.58 ³
4-2	0.25 ⁴	1.22 ⁴	2.17 ⁴	0.00	0.50 ⁴	2.66 ⁴	2.11 ⁴	1.61 ³
4-3	0.16 ³	1.08 ³	1.93 ⁴	0.00	0.29 ²	1.85 ²	1.57 ³	0.99 ²
4-4	0.13 ³	0.80 ³	1.58 ³	0.00	0.50 ⁴	2.93 ⁴	2.26 ⁴	2.07 ⁴
เฉลี่ย	0.25	1.14	1.92	0.05	0.45	2.59	1.94	1.77
N ^{SD} ; N = น้ำหนัก, SD = ค่าในช่วง 3 Standard Deviations โดยกำหนดแทนค่าตัวเลขดังนี้*								
* -3SD > 1 > -2SD, -2SD > 2 > -1SD, -1SD > 3-4 > +1SD, +1SD > 5 > +2SD และ +2SD > 6 > +3SD								

อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองที่บันทึกได้ สามารถอภิปรายและสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ในงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสงต่อลักษณะการสร้างมวลของดาวเรืองในระยะทำใบและทำดอก

- ในระยะทำใบ มีแนวโน้มว่า การปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 1 (R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลราก ลำต้น ใบ และดอกมากที่สุด รองลงมาคือการปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 3 (R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลลำต้นและใบมากกว่าการปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 2 (R:G:B = 2.53 : 2.67 : 1.00) แต่ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวลรากและดอกในการปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 2

- ในระยะทำดอก มีแนวโน้มว่า การปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 3 (R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลรากและใบมากที่สุด การปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 1 (R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลลำต้นและดอกมากที่สุด รองลงมาคือการปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 1 (R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลรากและใบมากกว่าการปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 2 (R:G:B = 1.47 : 1.83 : 1.00) และการปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 3 (R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลต้นและดอกมากกว่าการปลูกด้วยแสงในกรรมวิธีที่ 2 (R:G:B = 1.47 : 1.83 : 1.00)

2. อิทธิพลของแผ่นสะท้อนแสงต่อลักษณะการสร้างมวลของดาวเรืองในระยะทำใบและทำดอก

- ในระยะทำใบ มีแนวโน้มว่า แผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 3 (เอียง 60 องศา) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลใบมากกว่าแผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 4 (เอียง 90 องศา) แต่ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวล ราก ลำต้น และดอก

- ในระยะทำดอก มีแนวโน้มว่า แผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 3 (เอียง 60 องศา) ส่งผลดีต่อการสร้างมวลราก ลำต้น ใบ และ ดอก มากกว่าแผ่นสะท้อนแสงในกรรมวิธีที่ 4 (เอียง 90 องศา)

3. อิทธิพลของการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี

- ในระยะทำใบ มีแนวโน้มว่า แหล่งพลังงานไฟฟ้าในกรรมวิธีที่ 2 (โซล่าเซลล์ DC) ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวลรากและดอก จากแหล่งพลังงานไฟฟ้าในกรรมวิธีที่ 4 (ไฟบ้าน AC)

- ในระยะทำดอก มีแนวโน้มว่า แหล่งพลังงานไฟฟ้าในกรรมวิธีที่ 2 (โซล่าเซลล์ DC) ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวลลำต้น จากแหล่งพลังงานไฟฟ้าในกรรมวิธีที่ 4 (ไฟบ้าน AC)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสรุปได้ว่า อิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นแสงส่งผลให้ลักษณะการสร้างมวลของดาวเรืองมีความแตกต่างกัน ในระยะทำใบ การปลูกด้วยแสงที่มีสัดส่วน R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00 ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลราก ลำต้น ใบ และ ดอก ในระยะทำดอก การปลูกด้วยแสงที่มีสัดส่วน R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00 ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลรากและใบ และการปลูกด้วยแสงที่มีสัดส่วน R:G:B = 1.11 : 1.20 : 1.00 ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลลำต้นและดอก

อิทธิพลของแผ่นสะท้อนแสงส่งผลให้ลักษณะการสร้างมวลของดาวเรืองมีความแตกต่างกัน ในระยะทำใบ การปลูกด้วยแผ่นสะท้อนแสงเอียง 60 องศา ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลใบมากกว่า ในระยะทำดอก การปลูกด้วยแผ่นสะท้อนแสงเอียง 60 องศา ส่งผลดีที่สุดต่อการสร้างมวลราก ลำต้น ใบ และ ดอก มากกว่า

อิทธิพลของการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดี ในระยะทำใบ การปลูกด้วยแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ DC ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวลรากและดอก ในระยะทำดอก การปลูกด้วยแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ DC ไม่ส่งผลแตกต่างต่อการสร้างมวลลำต้น

โดยมีข้อสังเกตเฉพาะคือ ช่วงระยะในการย้ายพืชตัวอย่างเข้ากรรมวิธีในการทดลอง (ระยะทำใบและระยะทำดอก) ส่งผลให้การสร้างมวลของดาวเรืองมีการตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นแสงและแผ่นสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน และการใช้โซล่าเซลล์ DC เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดแอลอีดีมีแนวโน้มความเป็นไปได้สูง

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้มีข้อจำกัดในการจัดหาหลอดแอลอีดีแบบ full spectrum ที่สามารถติดตั้งในระบบโซล่าเซลล์แบบ DC ได้ ดังนั้น หากมีการต่อยอดงานวิจัยที่สามารถจัดหาหลอดแอลอีดีดังกล่าวได้หลากหลายมากขึ้น จะสามารถศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โซล่าเซลล์เป็นแหล่งกำเนิดแสงได้ชัดเจนมากขึ้น และควรนำช่วงความยาวคลื่นแสงในกรรมวิธีที่ 1 และ 3 มาเป็นแบบแผนในการเลือกใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงประดิษฐ์สำหรับการทดลองในอนาคต

คำขอบคุณ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนโคมแอลอีดี 240 วัตต์ สัดส่วน R:G:B = 2.04 : 2.12 : 1.00 จากบริษัท ไท่ตั้ง แอนด์ อีควิปเมนต์ จำกัด (มหาชน) ได้รับการสนับสนุนแผงโซล่าเซลล์ 240 วัตต์จากบริษัท กันกุลเอ็นจิเนียริง จำกัด (มหาชน) และได้รับการอนุเคราะห์สถานที่ทำการวิจัยจากบริษัท มิ่งพวง นิตติ้ง กรุ๊ป 1985 จำกัด ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนดังกล่าว ที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมา ณ ที่นี้

บรรณานุกรม

- กรวิทย์ กระจำพันธ์, ธีระวรรณ สืบชนะวงษ์ และ สุขสันต์ หวังสถิตย์. (2561, มกราคม-เมษายน). การออกแบบแสงด้วยหลอดแอลอีดีส่องสว่างสำหรับปลูกพืชในอาคารโดยอ้างอิงปริมาณแสงรวมต่อวัน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 49, 498-501.
- กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). *คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน*. สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2562, จาก <https://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2016/02/2-solar.pdf>
- ชานนท์ ลาภจิตร. (2560, เมษายน-มิถุนายน). ผลของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แดง และน้ำเงิน ต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบบะควาโพนิค. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 4, 26-32.
- ดนัย บุญเกียรติ. [ม.ป.ป.]. *การสังเคราะห์แสง*. สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2562, จาก https://web.agri.cmu.ac.th/hort/course/359311/PPHY4_photosyn.htm
- นภัทร วัจนเทพินทร์ และ ไชยยันต์ บุญมี. (2560, มกราคม-กุมภาพันธ์). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25, 158-176.
- Chin, L.Y. & Chong, K.K. (2012, March). Study of high power light emitting diode (LED) lighting system in accelerating the growth rate of *Lactuca sativa* for indoor cultivation. *International Journal of Physical Sciences*, 7, 1773-1781. doi:10.5897/IJPS11.1568
- Choi, H.G., Moon, B.Y. & Kang, N.J. (2015, June). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae*, 189, 22-31. doi:10.1016/j.scienta.2015.03.022
- Gupta, D. S., & Agarwal, A. (2017). Artificial lighting system for plant growth and development: Chronological advancement, working principles, and comparative Assessment. In *Light Emitting Diodes for Agriculture*, 1-25. Cham: Springer Nature.
- Kim, S.J., Hahn, E.J., H., Heo, J.W., & Paek K.Y. (2004, May). Effect of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of *Chrysanthemum* plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, 101, 143-151. doi:10.1016/j.scienta.2003.10.003
- Stein, B., Reynolds, J. S., & McGuinness, W. J. (1986). *Mechanical and electrical equipment for buildings* (7thed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.