

ผลกระทบของแสงเทียมต่ออัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืช  
สกุล *Ocimum* ที่พบในไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2561  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of artificial lighting on carbon dioxide absorption and antioxidants in *Ocimum*  
plants in Thailand



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science  
Inter-Department of Environmental Science  
Graduate School  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2018  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของแสงเทียมต่ออัตราการดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืช สกุล <i>Ocimum</i> ที่พบในไทย
โดย	น.ส.วิจิตรา จันอุทัย
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธนา ต่อเงิน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ชัยวนนท์

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนุญ หนูจักร)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิมล จุฬาลักษณ์นกุล)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธนา ต่อเงิน)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ชัยวนนท์)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สีหนาท ประสงค์สุข)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิสา เหล็กสูงเนิน)	

วิจิตรา จันอุทัย : ผลกระทบของแสงเทียมต่ออัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และ  
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย. (

Effects of artificial lighting on carbon dioxide absorption and  
antioxidants in *Ocimum* plants in Thailand) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.พินธนา  
ตอเงิน, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.จุฑามาศ ชัยวนนท์

ประชากรในเขตเมืองบริโภคผักในปริมาณน้อยส่งผลให้ได้รับคุณค่าทางโภชนาการต่ำกว่า  
เกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากการขาดแคลนพื้นที่เกษตรกรรมในเขต  
เมือง จึงเกิดแนวคิดในการปลูกพืชผักในอาคาร แต่ปัญหาสำคัญของแนวคิดนี้คือแสงในอาคารที่มี  
จำกัด งานวิจัยนี้จึงศึกษาการประยุกต์ใช้แสงเทียมจากไดโอดเปล่งแสง ซึ่งปล่อยแสงในช่วงความ  
ยาวคลื่นจำเพาะ เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพืชสวนครัวที่ปลูกในอาคาร ได้แก่  
โหระพา กะเพรา และแมงลัก โดยวิเคราะห์ผลกระทบของแสงเทียมสีแดง น้ำเงิน และสีผสม  
ระหว่างแดงและน้ำเงินด้วยอัตราส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 ต่อค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด  
( $A_{max}$ ) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของพืชสวนครัวดังกล่าว  
พบว่า  $A_{max}$  ของแมงลักภายใต้แสงสีแดงน้อยกว่าแสงควบคุม (แสงขาว) โดยภายใต้เงื่อนไขทางแสง  
สีขาวหรือแสงสีผสมแสงสีน้ำเงินมี  $A_{max}$  ต่ำกว่าภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงล้วนและแสงสีน้ำ  
เงินล้วน นอกจากนี้ ผลการทำนาย  $A_{max}$  จากการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการ  
ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์ในใบของพืชแต่ละชนิดในแต่ละเงื่อนไขทางชนิด  
แสงที่คาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศสูงขึ้นตามภาพการณ์จำลองของ IPCC พบว่า  $A_{max}$  ใน  
กรณีศึกษาส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามการทำนายความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่ม  
มากขึ้นตามภาพการณ์จำลอง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแมงลักและสารประกอบฟีนอลของกะเพรา  
ภายใต้แสงผสมระหว่างแสงแดงต่อน้ำเงิน 2:1 มากกว่าแสงควบคุม แสงสีน้ำเงินส่งผลเชิงบวกต่อ  
ความสูงของโหระพาและแมงลัก ในขณะที่แสงสีแดงส่งผลให้ใบกะเพราและใบแมงลักมีน้ำหนักสด  
เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การตอบสนองภายใต้เงื่อนไขทางแสงในแต่ละชนิดพันธุ์แตกต่างกันอย่าง  
เฉพาะเจาะจง และควรมีการศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขทางแสงชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม รวมถึงปัจจัยทาง  
สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อตัวแปรศึกษาเหล่านี้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5987257620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: Antioxidants, Light Emitting Diode (LED), carbon dioxide absorption

Vijittar Jan-uthai : Effects of artificial lighting on carbon dioxide absorption and antioxidants in *Ocimum* plants in Thailand. Advisor: Asst. Prof. Pantana Tor-ngern, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. Juthamas Chaiwanon, Ph.D.

According to World Health Organization, vegetable consumption of urban population is quite low resulting in low nutrition. One of the reasons is limit of agricultural area. Indoor farming may solve this issue but plant growth may be limited. This study aims to use artificial light from LED which releases specific wavelength to increase quantity and nutrition of crop including sweet basil (SB), holy basil (HB), and lemon basil (LB). We analyzed the effects of artificial lightings included red (RL), blue (BL) and mixed red and blue (ML) in ratio of 1:1, 1:2 and 2:1 on the maximum CO<sub>2</sub> absorption ( $A_{max}$ ), antioxidants capacity (AC), phenolic compounds (PC) and crop growth. Results showed that  $A_{max}$  in LB under RL was lower than light control (white light: WL). Besides, under the condition of WL or ML had better  $A_{max}$  compared to only RL and BL lighting. Also, the result of predict  $A_{max}$  from analyzed the relationships between CO<sub>2</sub> absorption rates and leaf intercellular CO<sub>2</sub> for each species and lighting condition under high atmospheric CO<sub>2</sub> according to the IPCC scenarios. We found that most of  $A_{max}$  in this study didn't change with high CO<sub>2</sub> environments. AC in LB and PC in HB under the ratio of 2:1 was higher than the WL. BL has positive effect on the height of SB and LB whereas, RL affected the weight of HB and LB. However, responses under different lighting conditions were species-specific. Further studies on effects of other lightings and environmental factors may be conducted to confirm these results.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธนา ตอเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑามาศ ชัยวนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ มาโดยตลอด จึงกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ได้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. วร วุฒิ จุฬาลักษณ์นากุล ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร. สีหนาท ประสงค์สุข และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิสา เหล็กสูงเนิน ที่กรุณาสละเวลา เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ตลอดจนรายละเอียดต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์ สำหรับทุนอุดหนุนการศึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการศึกษาและงานวิจัยในครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงเจ้าหน้าที่ในหลักสูตรทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีในการทำการทดลอง และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่คอยจัดสรรเครื่องมือ ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ อีกทั้ง ให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดการทำการวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาวที่คอยให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างเสมอมา และขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ จากโรงเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษา ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

วิจิตรา จันอุทัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4.1 กรณีกการศึกษา.....	5
1.4.2 พี่งที่ใช้ศึกษาและรูปแบบการทดลอง.....	5
1.4.3 ตัวแปรศึกษา.....	6
1.4.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1.1 หลักการและแนวคิดเกี่ยวกับเกษตรในเมือง.....	8
2.1.1.1 นิยามของเกษตรในเมือง.....	8
2.1.1.2 ประวัติความเป็นมาของเกษตรในเมือง.....	8

2.1.1.3	สถานการณ์ของเกษตรในเมืองของไทยในปัจจุบัน .....	9
2.1.1.4	ผลกระทบจากเกษตรในเมือง .....	10
2.1.2	ไฮโดรพอนิกส์ (Hydroponics).....	10
2.1.2.1	ความหมายของไฮโดรพอนิกส์ (Hydroponics).....	10
2.1.2.2	กระบวนการ.....	10
2.1.2.3	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกแบบไฮโดรพอนิกส์ .....	14
2.1.2.4	ข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ .....	14
2.1.3	พืชสกุล <i>Ocimum</i> ที่พบในไทย.....	15
2.1.3.1	พืชสกุล <i>Ocimum</i> .....	15
2.1.3.2	ชนิดพันธุ์.....	15
2.1.3.3	คุณค่าทางโภชนาการของพืชในสกุล <i>Ocimum</i> .....	17
2.1.3.4	ความสำคัญทางเศรษฐกิจและสุขภาพ .....	18
2.1.3.5	วิธีการเพาะปลูก.....	20
2.1.4	การตอบสนองของอัตราการดูดซึบคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม.....	20
2.1.4.1	แสง .....	22
2.1.4.2	อุณหภูมิ .....	26
2.1.4.3	ก๊าซในชั้นบรรยากาศ.....	27
2.1.5	สารต้านอนุมูลอิสระ .....	30
2.1.5.1	สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant).....	30
2.1.5.2	สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) .....	33
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย .....	47
3.1	พื้นที่ศึกษาวิจัย.....	47
3.2	วัสดุและอุปกรณ์.....	47



3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.2.2 อุปกรณ์.....	48
3.2.3 วัสดุเพาะปลูก.....	48
3.3 ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย.....	48
3.3.1 เตรียมเมล็ดและเตรียมการปลูก.....	49
3.3.2 ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัด.....	50
3.3.3 ทดลอง.....	50
3.3.4 วิเคราะห์อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์.....	51
3.3.4.1 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด.....	51
3.3.4.2 การทำนายการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคต.....	52
3.3.5 วัดการเจริญเติบโต.....	53
3.3.6 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	53
3.3.6.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH.....	53
3.3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu... ..	54
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
บทที่ 4 ผลและอภิปรายการทดลอง.....	55
4.1 ผลการทดลองการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์.....	55
4.1.1 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์.....	55
4.1.2 การทำนายการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคต.....	65
4.2 ผลการทดลองการตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล.....	71
4.3 ผลการทดลองการตอบสนองของการเจริญเติบโต.....	76
บรรณานุกรม.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	94

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ขั้นตอนวิธีการและระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	6
ตารางที่ 2.1	สารอาหารที่สำคัญในใบกะเพราขาว ใบกะเพราแดง ใบโหระพา และใบแมงลัก 100 กรัม (น้ำหนักสด).....	18
ตารางที่ 2.2	รายงานการเพาะปลูกกะเพรา โหระพา และแมงลักของประเทศไทยในปี 2559 .....	19
ตารางที่ 2.3	สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในพืช .....	33
ตารางที่ 2.4	สรุปรายละเอียดงานวิจัยที่รายงานฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ .....	42
ตารางที่ 4.1	สมการอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันของโหระพา กะเพรา และแมงลักที่ปลูกภายใต้แสงสีแดง (R) น้ำเงิน (B) ขาว (W) และอัตราส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:B) ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ .....	62
ตารางที่ 4.2	การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ( $A_{max}$ ) ของโหระพา กะเพรา และแมงลักที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดง (R) น้ำเงิน (B) ขาว (W) และอัตราส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:B) ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล.....	63
ตารางที่ 4.3	ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโหระพา กะเพรา และแมงลักภายใต้แสงสีแดง (R) น้ำเงิน (B) ขาว (W) และอัตราส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:B) ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามภาพการณ์จำลอง (RCPs) ได้แก่ RCP2.6 RCP4.5 RCP6.0 และ RCP8.5 ตามค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 475 650 850 และ 1,370 ppm ตามลำดับ โดยแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล .....	69
ตารางที่ 4.4	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดง (R) น้ำเงิน (B) ขาว (W) และอัตราส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล.....	75
ตารางที่ 4.5	การเจริญเติบโต (ความสูง พื้นที่ใบ และ น้ำหนักใบ) ของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขแสงสีขาว (W) แดง (R) น้ำเงิน (B) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่อัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล .....	81

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 ระบบให้สารละลายไหลแบบแผ่นฟิล์ม (NFT).....	12
รูปที่ 2.2 ระบบรากแช่ แบบหมุนเวียนสาร.....	13
รูปที่ 2.3 ระบบรากแช่ แบบเติมอากาศ.....	13
รูปที่ 2. 4 ก) กะเพราขาว ข) กะเพราแดง.....	16
รูปที่ 2.5 โหระพา.....	16
รูปที่ 2.6 แมงลัก.....	17
รูปที่ 2.7 การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี.....	22
รูปที่ 2.8 ผลของการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้แสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง และแสงสีขาวต่อการ ตอบสนองของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในใบต่อความเข้มแสงที่ระดับต่าง ๆ ของใบ Eustoma (ที่มา: Roni et al., 2017).....	23
รูปที่ 2.9 การตอบสนองของการสังเคราะห์ด้วยแสงของโหระพาจากค่าเฉลี่ยระหว่างจำนวนโฟตอน ของแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic photon flux density: PPDF) กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis: PN; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).....	24
รูปที่ 2.10 การตอบสนองของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ assimilation) ต่อแสงที่ถูกดูด ซับในพืช $\text{C}_3$ (ที่มา: Taiz and Zeiger, 2002).....	25
รูปที่ 2.11 การตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระต่อภาวะเครียดแสง.....	26
รูปที่ 2.12 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของ Scotch pine ( <i>Pinus sylvestris</i> ) Noble fir ( <i>Abies procera</i> ) และ Grand fir ( <i>Abies grandis</i> ) ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งของฤดูร้อน (ที่มา: Hodges (1967) ปรากฏใน ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ (2545)).....	27
รูปที่ 2.13 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากร้อยละความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ แตกต่างกันในใบข้าว ( <i>Oryza sativa</i> L.) ภายใต้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ร้อยละ 3 (เส้นทึบ) และ 21 (เส้นประ).....	28
รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของฟีนอล (ที่มา: Taiz and Zeiger, 2002).....	34
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งสำหรับปลูกพืชสกุล <i>Ocimum</i> ในภาชนะปลูกด้วยวิธีไฮโดรพอนิกส์.....	50
รูปที่ 3.2 สรุปขั้นตอนการศึกษา.....	51
รูปที่ 4.1 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืชของ โหระพา กะเพรา และแมงลัก ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (เส้นกราฟสีดำ) กับแสงสีอื่น ๆ ได้แก่ แสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) และสัดส่วนแสงสี	

- แดงต่อแสงสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 7 วัน.....60
- รูปที่ 4.2 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืชของ โหระพา กะเพรา และแมงลัก ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (เส้นกราฟสีดำ) กับแสงสีอื่น ๆ ได้แก่ แสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) และสัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 14 วัน.....61
- รูปที่ 4.3 จำนวนเท่าของค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ( $A_{max}$ ) ที่ได้จากแสงสีขาวของ โหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงิน (B) แสงสีแดง (R) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน รายงานข้อมูลค่าปรับเทียบให้แสงควบคุมหรือแสงสีขาว (W) ที่ระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีเงื่อนไขทางชนิดแสงเป็นตัวแปรต้น).....64
- รูปที่ 4.4 ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ที่ระยะเวลา 7 วัน (ก ข และ ค ตามลำดับ) และที่ระยะเวลา 14 วัน (ง จ และ ฉ ตามลำดับ) ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) แสงสีขาว (W) และสัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ตามภาพการณ์จำลอง (RCPs) ได้แก่ RCP2.6 RCP4.5 RCP6.0 และ RCP8.5 ที่ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศ 475 650 850 และ 1,370 ppm ตามลำดับ .....68
- รูปที่ 4.5 จำนวนเท่าของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากแสงสีขาว (4.5ก) และจำนวนเท่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ได้จากแสงสีขาว (4.5ข) ของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (W) แสงสีน้ำเงิน (B) แสงสีแดง (R) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน รายงานข้อมูลค่าปรับเทียบให้แสงสีขาวที่ระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีเงื่อนไขทางแสงเป็นตัวแปรต้น สัญลักษณ์ \* ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นตัวแปรต้น).....74
- รูปที่ 4.6 ความสูงเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน (4.6ก) และ น้ำหนักใบเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน (4.6ข) ของ

โหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (W) น้ำเงิน (B) แดง (R) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ในระยะเวลา 7 และ 14 วัน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a b และ c ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีเงื่อนไขทางแสงเป็นตัวแปรต้น สัญลักษณ์ \* ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นตัวแปรต้น) ..... 79

รูปที่ 4.7 การเจริญเติบโตของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (W) แสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยมีสัญลักษณ์ระบุความยาวที่ 5 เซนติเมตร..... 80



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประชากรโลกมีจำนวน 7.5 พันล้านคน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 23.6 ต่อปี (Internet World Stats, 2017) ในประเทศไทยเองก็มีประชากรมากถึง 65.9 ล้านคน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.31 ต่อปี (กรมการปกครอง, 2559) จำนวนประชากรที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้ เป็นปัจจัยหลักที่ส่งเสริมการขยายตัวของเขตเมือง และเกิดการบุกรุกพื้นที่เกษตรกรรมของชุมชนรอบนอก ส่งผลให้พื้นที่และผลผลิตทางการเกษตรลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้มนุษย์ยังก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมหลายประเภทที่ล้วนส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ เกษตรกรรม และสุขภาพของมนุษย์เอง หนึ่งในปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญระดับโลก คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ที่ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีมากมาย อาทิ อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น อันเนื่องมาจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น ปริมาณน้ำฝนที่ลดลงก่อให้เกิดสภาวะแล้งในบางพื้นที่ จำนวนพายุที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในบางแห่งของโลก และระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจากการละลายของน้ำแข็งขั้วโลก (IPCC, 2013) การเปลี่ยนแปลงข้างต้นล้วนส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม ประกอบกับมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนในทรัพยากรธรรมชาติ ส่งผลให้ทรัพยากรเสื่อมโทรม และไม่เหมาะสมต่อการนำมาบริโภคและอุปโภคโดยมนุษย์

กิจกรรมของมนุษย์มีผลอย่างมากต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่ว่าจะเป็นการคมนาคม การผลิตพลังงานเชื้อเพลิง หรือการผลิตอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ซึ่งเป็นสาเหตุในการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ อีกทั้ง ยังเพิ่มความรุนแรงในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ภาวะโลกร้อน โดยมีรายงานปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ณ วันที่ 18 มีนาคม 2561 มากถึง 409.30 ส่วนในล้านส่วน (NOAA, 2018) และมีการจำลองความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคตแตกต่างกันไปตามแบบจำลองต่าง ๆ โดยมีการคาดการณ์ว่า ปี พ.ศ. 2643 อาจมีค่าความเข้มข้นของก๊าซในบรรยากาศอยู่ในช่วง 475 - 1,370 ส่วนในล้านส่วน คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรการในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2559) ทั้งนี้ ในปี พ.ศ. 2548 กรุงเทพมหานครมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 43 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อปี (โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ, 2552) การร่วมมือกันของสหประชาชาติในการตอบสนองต่อปัญหาดังกล่าวในระดับนานาชาติเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการลดปริมาณการ

ปลดปล่อยในด้านคมนาคมและขนส่ง การใช้เทคโนโลยีคาร์บอนต่ำ การเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทน และพลังงานหมุนเวียน เป็นต้น (รัตนสุตา ชลธาดุ, 2558) อย่างไรก็ตาม วิธีการแก้ไขที่อาจง่ายที่สุด นั่นก็คือ การปลูกพืช เนื่องจากพืชมีกระบวนการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่ในบางกรณี เช่น ในพื้นที่เขตเมือง ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านพื้นที่เพาะปลูกและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ในกรุงเทพมหานครที่มีพื้นที่ทางการเกษตรเพียงร้อยละ 18 ของพื้นที่ทั้งหมด (สำนักผังเมือง, 2555 ก) อีกทั้ง กรุงเทพมหานครมีพื้นที่สีเขียวต่อจำนวนประชากร (ปี พ.ศ. 2554) เพียง 4.4 ตารางเมตรต่อคน ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานพื้นที่สีเขียวขององค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้อย่างน้อย 9 ตารางเมตรต่อคน (สำนักผังเมือง, 2555 ข) หากเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกพืชและพื้นที่สีเขียวภายในอาคารก็จะสามารถเพิ่มศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในเขตเมืองและการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น นอกจากนี้ พื้นที่สีเขียวยังเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขและลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban heat island) ในเขตเมืองที่มีอุณหภูมิสูงกว่าชนบท (Dwivedi and Mohan, 2018) อย่างไรก็ตาม พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยอัตราที่แตกต่างกัน การประเมินอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชจะช่วยให้การจัดการพื้นที่สีเขียวในเมือง กล่าวคือ สามารถเลือกชนิดพันธุ์ที่มีความสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ปริมาณมาก เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ดังนั้น การศึกษาเปรียบเทียบอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชหลากหลายชนิดที่จะนำมาปลูกในเมืองจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ผลกระทบที่เกิดจากการขยายตัวของเขตเมืองและปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศดังกล่าวยังก่อให้เกิดข้อจำกัดของผลผลิตทางการเกษตร ทั้งในด้านผลผลิต (crop yield) และคุณภาพ (crop quality) ซึ่งประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการ (nutritional value) ยกตัวอย่างเช่น ประชากรที่อาศัยในเขตเมืองอาจประสบปัญหาการขาดแคลนผักและผลไม้สด อันอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากต้องขนส่งมาจากพื้นที่เกษตรกรรมนอกเมือง ซึ่งอาจใช้เวลานานทำให้คุณภาพของผักและผลไม้ลดลง จนเกิดปัญหาการขาดแคลนสารอาหารของประชากรในพื้นที่เขตเมือง (ปังปอนด์ รักอำนายกิจ และพิริยะ ผลพิรุฬห์, 2550) นอกจากนี้ ยังพบว่า ประชากรที่อาศัยในเขตเมืองของประเทศที่กำลังพัฒนามักขาดสารอาหาร เนื่องมาจากการบริโภคผักและผลไม้ไม่น้อยกว่า 400 กรัมต่อคนต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณขั้นต่ำตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกและองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ โดยทั่วไปแล้วประชากรในเขตเมืองมักมีพฤติกรรมการบริโภคที่เน้นแต่พลังงานที่ได้จากอาหารเท่านั้น แต่ยังคงขาดคุณค่าทางโภชนาการอื่นที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย อาทิ วิตามินและธาตุอาหารต่าง ๆ โยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (WHO, 2003; สำนักอาหาร, 2546) ที่ช่วยชะลอความเสื่อมโทรมภายในร่างกายที่ก่อให้เกิดความชรา ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ โรคเกี่ยวกับหลอดเลือด และโรคมะเร็ง (Jin

and Russell, 2010) ด้วยเหตุนี้ การหาแนวทางในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดในผักและผลไม้ จึงเป็นอีกหัวข้อวิจัยสำคัญและควรได้รับการศึกษาอย่างเร่งด่วน

นานาชาติกว่า 189 ประเทศทั่วโลก ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม และร่วมกันตั้งเป้าหมายต่อเนื่องเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน หรือ Sustainable Development Goals (SDGs) ทั้งหมด 17 ประการ ซึ่งครอบคลุมทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมให้มีความเชื่อมโยงกัน ในบรรดาเป้าหมายดังกล่าวมีเป้าหมายที่มุ่งเน้นให้แก้ไขปัญหาการขาดแคลนอาหารและสารอาหารจากการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การขจัดความยากจนและขจัดความหิวโหยเพื่อลดความเหลื่อมล้ำทางสังคมด้วยการส่งเสริมการบริโภคและการผลิตอย่างยั่งยืน โดยหากประเทศต่าง ๆ สามารถบรรลุเป้าหมายดังกล่าวจึงจะถือว่าเป็นการจัดการและพัฒนาเมืองและชุมชนอย่างยั่งยืน (United Nations Thailand, 2015) ไม่ใช่เพียงแต่ต่างประเทศเท่านั้นที่ตื่นตัว ประเทศไทยก็ให้ความสำคัญของ SDGs และกำหนดแผนยุทธศาสตร์ในปี พ.ศ. 2560 – 2563 ว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อมและพื้นที่สีเขียวในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 โดยมุ่งเน้นการเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยธรรมชาติที่มีความผันผวนและรุนแรงมากขึ้น ซึ่งได้ส่งผลต่อการผลิตในภาคเกษตรกรรม จึงออกนโยบายบริหารจัดการสร้างความเข้มแข็งของฐานการผลิต บริการเดิม และขยายฐานใหม่โดยการใช้การวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมให้มีการเติบโตของการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2560)

สำหรับการแก้ปัญหาเกี่ยวกับผลผลิตและคุณภาพทางการเกษตรในพื้นที่เขตเมืองนั้น ควรประยุกต์ใช้เกษตรในเมือง (Urban Agriculture) อันเป็นแนวทางหนึ่งในการขจัดปัญหาการขาดแคลนและคุณภาพของผักผลไม้ของประชากรในเขตเมือง โดยเป็นการจัดการพื้นที่ขนาดเล็กเพื่อปลูกพืชผักหรือเลี้ยงสัตว์ที่ให้ผลผลิตที่เป็นอาหารแก่ผู้ที่อาศัยในเขตเมืองและปริมณฑล ซึ่งจะให้ประโยชน์โดยตรง คือ เป็นแหล่งอาหารและคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนแก่สังคมเมืองจากการลดระยะเวลาการขนส่งและการกักเก็บผลผลิตของผักผลไม้ และลดความเหลื่อมล้ำทางสังคมด้วยการลดรายจ่ายและเพิ่มรายได้ของผู้มีรายได้น้อยให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีและยั่งยืนยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น เกษตรในเมืองยังเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมโดยเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนจากการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของพื้นที่เขตเมือง และเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวภายในอาคารที่อาจช่วยลดอุณหภูมิของอาคาร เช่น ปลูกพืชบนดาดฟ้า เป็นต้น (FAO, 2017; สวนผักคนเมือง, 2556) อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้เกษตรในเมืองยังมีข้อจำกัดอีก เช่น พื้นที่เพาะปลูกที่จำกัดภายในอาคาร สภาพอากาศที่แปรปรวนจากผลกระทบของปรากฏการณ์เกาะความร้อน พื้นที่ส่วนมากเป็นพื้นที่คอนกรีต หรือดินมี



สภาพไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก และอาจได้รับการปนเปื้อนจากมลพิษในเขตเมือง เป็นต้น ข้อจำกัดเหล่านี้ อาจทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากขาดดินที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหาร และขาดแสงที่พอเหมาะหากต้องปลูกในอาคารอันจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช หนึ่งในวิธีลดข้อจำกัดของแสงในการปลูกพืชในอาคาร คือ การเพิ่มแสงให้กับพืชโดยใช้หลอดไฟ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไส้ หลอดเมทัลฮาไลด์ เป็นต้น ซึ่งให้แสงสีขาวที่มีความยาวคลื่นแสงครอบคลุมทุกช่วงความยาวคลื่นแสง แต่พืชมีการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีซึ่งเป็นรงควัตถุที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง มีความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 450 และ 660 นาโนเมตร ดังนั้นการเลือกให้แสงในช่วงความยาวคลื่นแสงดังกล่าวน่าจะเหมาะสมต่อการเพาะปลูกมากกว่าการให้ทุกคลื่นแสง โดยปัจจุบันมีการศึกษาการใช้แหล่งกำเนิดจากหลอด LED ในการเพาะปลูกในอาคาร พบว่ามีประสิทธิภาพให้ผลผลิตที่ดีกว่าการใช้หลอดอื่น ๆ อีกทั้ง อาจทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า ลดผลกระทบจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงประสงค์ที่จะศึกษาแนวทางในการปลูกผักสวนครัวในเขตเมือง เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวที่จะช่วยลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศจากการศึกษาการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้ง คุณค่าทางโภชนาการจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเพิ่มผลผลิตจากการเจริญเติบโตของพืชและของพืช ในสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย ได้แก่ กะเพรา โหระพา และแมงลัก ต่อแสงจากไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode: LED) เนื่องจากหลอด LED สามารถเป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะได้ ด้วยวิธีการเพาะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ (Hydroponics) เนื่องจากการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์สามารถควบคุมสภาพการเพาะปลูกให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและแก้ปัญหาพื้นที่จำกัดต่อการเพาะปลูก เช่น ภายในอาคาร ได้อย่างดี โดยการเรียงภาชนะเพาะปลูกซ้อนกัน (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) พืชสกุล *Ocimum* เป็นพืชในสกุลผักสวนครัวที่มีกลิ่นเป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นไทยและมีความต้องการสูงจากภาคเกษตรกรรมเนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงและสารประกอบฟีนอลที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ยาและเครื่องสำอาง (Teofilovic et al., 2017; Liu et al., 2017) ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ LED ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ประหยัดพลังงานกว่าแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น และเลือกแสงสีขาว แสงสีแดง และแสงสีน้ำเงิน เนื่องจากมีงานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินจาก LED สามารถกระตุ้นสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดในพืชได้ (Shao et al., 2015; Shiga et al., 2009) โดยผู้วิจัยทำการศึกษาเงื่อนไขชนิดแสง LED ที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย แสงสีขาว แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (1 ต่อ 1 2 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2) ด้วยระยะเวลาที่อยู่ภายใต้แสงแตกต่างกัน (7 และ 14 วัน) เพื่อศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขของแสง LED ต่ออัตราการการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ (สารต้านอนุมูล

อิสระ) พืชสกุล *Ocimum* ในพื้นที่ในอาคาร โดยผู้วิจัยจะวิเคราะห์อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide assimilation) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Total antioxidant capacity) สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) และการเจริญเติบโต ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้เกษตรกรในเมืองและเป็นแนวทางในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทยจากการใช้แสง LED

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของกะเพรา โหระพา และแมงลัก ต่อเงื่อนไขชนิดแสง LED ที่แตกต่างกัน

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

ชนิดแสง LED มีผลต่ออัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตในรูปแบบที่แตกต่างกันในกะเพรา โหระพา และแมงลัก

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

### 1.4.1 กรณิศึกษา

การศึกษากการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตของกะเพรา โหระพา และแมงลัก ต่อเงื่อนไขชนิดแสง LED ที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย แสงสีขาว แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 1 2 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2

### 1.4.2 พืชที่ใช้ศึกษาและรูปแบบการทดลอง

ทำการศึกษากับต้นกะเพรา (*Ocimum sanctum* L.) โหระพา (*Ocimum basilicum* L.) และแมงลัก (*Ocimum americanum* L.) ที่ปลูกด้วยวิธีไฮโดรพอนิกส์ ภายใต้เงื่อนไขแสงเป็นเวลา 7 และ 14 วัน จำนวน 3 ต้นต่อชนิดพันธุ์ต่อเงื่อนไข โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 9 ต้นต่อเงื่อนไข

### 1.4.3 ตัวแปรศึกษา

1.4.3.1 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือ Portable photosynthesis measurement system (รุ่น Li-6400XT บริษัท LI-COR ประเทศสหรัฐอเมริกา)

1.4.3.2 ฤทธิ์อนุมูลอิสระ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

1.4.3.3 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent (FCR)

1.4.3.4 การเจริญเติบโต ซึ่งวัดน้ำหนักใบสด ความสูง และพื้นที่ใบ

### 1.4.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ

งานวิจัยได้เริ่มดำเนินการศึกษาในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 โดยใช้เวลาในการดำเนินการตั้งแต่ต้นจนถึงการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์เป็นระยะเวลา ประมาณ 14 เดือน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนวิธีการและระยะเวลาในการดำเนินงาน

แผนการดำเนินการ	เดือนที่													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. กำหนดขอบเขตงาน	_____													
2. ทบทวนวรรณกรรม	_____													
3. เตรียมการศึกษา	_____													
4. ดำเนินการวิจัย	_____													
5. เก็บและวิเคราะห์ข้อมูล	_____													
6. สรุปผลการทดลอง	_____													
7. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์	_____													

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้เกษตรในเมือง เพื่อเพิ่มอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ คุณค่าทางโภชนาการ และการเจริญเติบโตของกะเพรา โหระพา และแมงลักจากการใช้แสง LED



## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 หลักการและแนวคิดเกี่ยวกับเกษตรในเมือง

###### 2.1.1.1 นิยามของเกษตรในเมือง

เกษตรในเมือง (Urban Agriculture) หมายถึง การจัดการพื้นที่ขนาดเล็กในเขตที่มีความหนาแน่นของประชากร สิ่งก่อสร้าง และเศรษฐกิจสูง เพื่อสร้างผลผลิตจากพืชอาหารหลากหลายชนิด เช่น ัญพืช ผัก สมุนไพร ผลไม้ เป็นต้น รวมถึงการเลี้ยงสัตว์ เช่น ไก่ เป็ด ปลา เป็นต้น ด้วยวิธีเกษตรยั่งยืนและเข้มข้น (FAO, 2017) ในหนังสือ Urban Agriculture ของ Mougeot (2000) ให้คำจำกัดความของเกษตรในเมือง คือ ขั้นตอนและวิธีการเพาะปลูกและเลี้ยงดูผลผลิตทางการเกษตรให้มีการเพิ่มผลผลิตเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยใช้การบูรณาการด้านเศรษฐศาสตร์ ตำแหน่ง พื้นที่ ขนาด ผลผลิต และผู้บริโภค ในพื้นที่เขตเมืองที่มีการแข่งขันทางความต้องการพื้นที่สูง

###### 2.1.1.2 ประวัติความเป็นมาของเกษตรในเมือง

ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศแรกที่เริ่มต้นเกษตรในเมือง เมื่อศตวรรษที่ 19 ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยมีเป้าหมายให้พลเมืองผลิตอาหารเลี้ยงตนเองและให้มีส่วนร่วมในสงครามผ่านการส่งผลผลิตไปยังกองกำลังทหารในนาม The Victory Garden Campaign จึงมีการให้การศึกษาแก่คนในเมือง การพัฒนาสังคม และการสร้างชุมชนผ่านการทำเกษตรกรรม หลังจากสงครามโลกจบลง เกษตรในเมืองถูกปรับเปลี่ยนเป็นกิจกรรมเพื่อการพักผ่อนของชุมชนในเมือง (Urban community gardens) และรัฐบาลได้ออกนโยบายเกษตรกรรมในพื้นที่ว่างเปล่าของ 6 เมืองหลัก ได้แก่ นิวยอร์ก ชิคาโก ลอสแอนเจลิส ฟิลาเดลเฟีย ดิทรอย และฮุสตัน เพื่อช่วยเหลือผู้มีรายได้น้อยในเขตเมืองให้มีอาหารบริโภค ต่อมา มีกลุ่มประชาชนให้ความสนใจเกษตรในเมืองภายใต้การดูแลของชุมชนในการทำการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นมิตรต่อระบบตลาด เพื่อให้เข้าถึงผู้บริโภคในเขตเมือง ในปัจจุบัน รูปแบบของเกษตรในเมืองของสหรัฐอเมริกามีความหลากหลายมากขึ้น ได้แก่ สวนชุมชน สวนหลังบ้าน โครงการเครือข่ายผู้บริโภคอันเป็นการเชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภคโดยไม่ผ่านพ่อค้าคนกลาง เป็นต้น โดยที่เกษตรในเมืองมุ่งเน้นให้ความรู้และสร้างเครือข่ายกันเองในชุมชน เพื่อการเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจ การศึกษา การเข้าถึงอาหารที่สดและสะอาด และรายได้แก่ผู้มีรายได้น้อย (นาถศิริ โกมลพันธุ์, 2557)

ปัจจุบัน นานาประเทศได้ให้ความสำคัญทางอาหารและการเกษตรอย่างหลากหลาย ดังแสดงในการประชุมนานาชาติว่าด้วยอาหารและการเกษตร (Global Forum for Food and Agriculture: GFFA) เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติและข้อตกลงปารีสเพื่อต่อสู้โลกร้อน (2015 Paris Agreement) เป็นต้น (สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป, 2559) เกษตรในเมืองเป็นการประยุกต์ใช้แนวทางการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตทางอาหารแก่ผู้บริโภคในพื้นที่เขตเมือง จึงมีการมุ่งเน้นและส่งเสริมความร่วมมือด้านเกษตรในเมืองจากหลายหน่วยงานและหลายเครือข่ายในการพัฒนาเมืองและชุมชนอย่างยั่งยืน เพื่อขจัดความยากจนและความหิวโหยของผู้มีรายได้น้อย (United Nations Thailand, 2015)

ในประเทศไทยมีการส่งเสริมให้มีการจัดตั้งโครงการสวนผักคนเมือง (Thai city farm) ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2553 จนถึงปัจจุบัน ดำเนินงานโดยมูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน (ประเทศไทย) ร่วมกับภาคีเครือข่าย อาทิ มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา และศูนย์อบรมเกษตรในเมือง ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) โดยมีเป้าหมายของโครงการเพื่อแก้ไขปัญหาด้านอาหาร ด้านสุขภาพ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อมของคนในเขตเมือง มุ่งเน้นการพึ่งพาตนเองในการปลูกผักแบบไม่ใช้สารเคมี ทั้งนี้ ประชาชนผู้สนใจเข้าร่วมโครงการจะมีงบประมาณสนับสนุนโครงการขนาดเล็ก วงเงินไม่เกิน 40,000 บาท เพื่อสร้างพื้นที่รูปธรรมและพื้นที่ต้นแบบในการทำเกษตรในเมือง โดยในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑลมีศูนย์อบรมจำนวน 6 ศูนย์ และหน่วยอบรมเคลื่อนที่ 2 หน่วย เพื่อให้ความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติจากการพัฒนาข้อมูลงานวิชาการเกษตรในเมือง และสร้างเครือข่ายความร่วมมือ (สวนผักคนเมือง, มปก; นาสศิริ โกลัมพันธุ์, 2557)

### 2.1.1.3 สถานการณ์ของเกษตรในเมืองของไทยในปัจจุบัน

รัฐบาลของประเทศไทยมีการส่งเสริมโครงการสวนผักคนเมืองอย่างต่อเนื่อง ภายใต้การดูแลของมูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน มีศูนย์อบรมและศูนย์เรียนรู้ ได้แก่ ศูนย์อบรมบ้านสวนเรียนรู้ Organic Way ศูนย์อบรมสวนผักบ้านคุณตา (สุขุมวิท 62) ศูนย์เรียนรู้เกษตรในเมือง สาขาเจ้าชายผัก (ลาดพร้าว 71) ศูนย์เรียนรู้เกษตรในเมือง สุวรรณภูมิ ศูนย์อบรมสวนเกษตรดาดฟ้า หลักสี่ เป็นต้น โดยมีผู้ผ่านการอบรมและได้รับทุนสนับสนุนพื้นที่เกษตรในเมืองที่เป็นที่ประจักษ์ถึง 30 รายในปี พ.ศ. 2560 และมีผู้เข้าร่วมโครงการอีกมากมายที่สานต่อโครงการจากการมุ่งเน้นสร้างอาหารและกิจกรรมในครัวเรือน ในอนาคต แนวโน้มของเกษตรในเมืองจะเติบโตและมีการขยายเครือข่ายสู่ชุมชนเพิ่มมากขึ้น (สวนผักคนเมือง, มปก)

#### 2.1.1.4 ผลกระทบจากเกษตรในเมือง

ผลกระทบของเกษตรในเมืองมีทั้งเชิงบวกและเชิงลบ ประโยชน์จากเกษตรในเมืองไม่เพียงแต่ให้ผลผลิตอาหารที่มีความสดใหม่และมีคุณค่าทางโภชนาการที่เพิ่มขึ้นแก่คนเมืองเท่านั้น แต่ยังช่วยลดการใช้ยาฆ่าแมลงและปุ๋ยเคมีจากการซื้อวัตถุดิบในการประกอบอาหาร มีการสร้างงานและจ้างงานเพิ่มมากขึ้น ลดขยะจากบรรจุภัณฑ์ ลดการขนส่งผลผลิตจากเกษตรกรไปยังผู้บริโภคและลดการใช้เครื่องทำความเย็นสำหรับการถนอมอาหาร ซึ่งส่งผลให้ลดการปลดปล่อยมลพิษ และอาจบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ นอกจากนี้ ยังช่วยให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการเข้าถึงอาหารเพิ่มมากขึ้นและช่วยลดโอกาสการขาดธาตุอาหารอีกด้วย (FAO, 2017; สวนผักคนเมือง, 2556)

ทั้งนี้ เกษตรในเมืองอาจมีผลกระทบเชิงลบผ่านการส่งเสริมการย้ายถิ่นฐานเข้าสู่สังคมเมือง เนื่องจากขีดความสามารถในการดำรงชีพในเขตเมืองที่เพิ่มมากขึ้น อาจเกิดความขัดแย้งกับการวางผังเมืองในการจัดการสาธารณสุขและการจัดการสิ่งแวดล้อม รวมถึงลดโอกาสที่จะส่งเสริมพื้นที่ทางเศรษฐกิจในด้านอื่น ๆ เช่น ในกรณีที่เกษตรในเมืองเป็นแนวกันชนเมือง อาจเป็นอุปสรรคต่อการขยายเมือง การสร้างสนามบินที่ไกลออกไปก่อให้เกิดการเชื่อมโยงในพื้นที่เมืองลำบากมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่ทางการเกษตร เป็นต้น (Mougeot, 2000)

### 2.1.2 ไฮโดรπονิกส์ (Hydroponics)

#### 2.1.2.1 ความหมายของไฮโดรπονิกส์ (Hydroponics)

ไฮโดรπονิกส์ (Hydroponics) คือ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แต่ใช้น้ำและวัสดุปลูกอื่นแทน พืชเจริญเติบโตจากการดูดซึมสารละลายธาตุอาหารโดยตรงผ่านรากที่สัมผัสกับน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารอยู่ แม้ว่าพืชที่ปลูกแบบไฮโดรπονิกส์จะขาดที่เกาะยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง เช่น ในดิน แต่การปลูกแบบไฮโดรπονิกส์นั้นสามารถปรับปริมาณธาตุอาหาร น้ำ อากาศที่รากสัมผัส เพื่อให้เหมาะสมต่อการดูดซึมน้ำและธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืชได้ดี (ดิเรก ทองอร่าม, 2550; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

#### 2.1.2.2 กระบวนการ

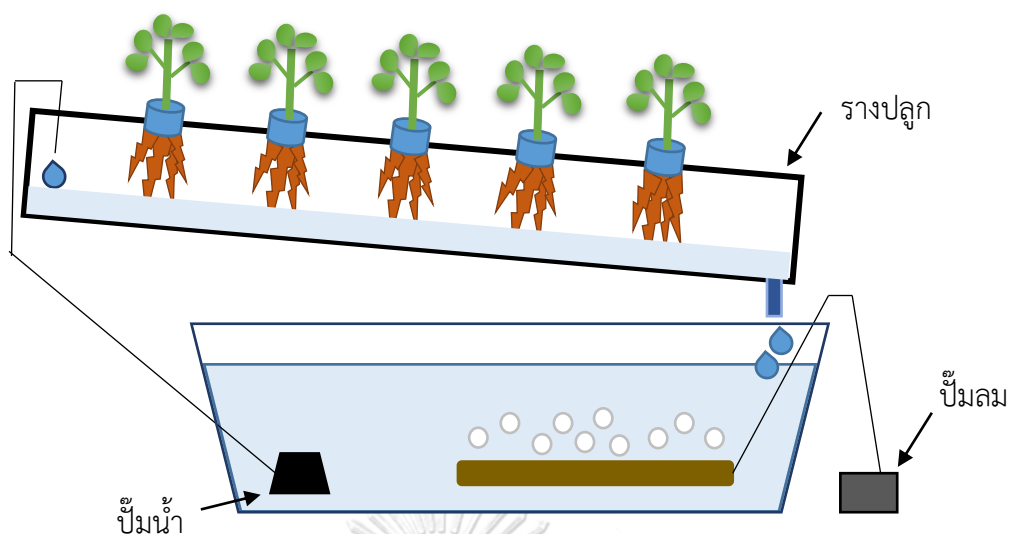
วิธีการปลูกโดยทั่วไปเริ่มจากการเพาะเมล็ดในแผ่นฟองน้ำที่ถูกกรีดตรงกลาง ฟองน้ำเป็นรูปกากบาทลึก 1 เซนติเมตร นำไปวางในถาดเพาะที่มีปริมาณสารละลายธาตุอาหารเจือจางเล็กน้อย หลังจากนั้นประมาณ 2 – 3 สัปดาห์ ให้ย้ายไปปลูกในแปลงที่จัดเตรียมไว้ โดยนำฟองน้ำที่มีต้นกล้าไปใส่ในรูแผ่นโฟมที่มีขนาดเท่ากับถ้วยฐานสูง ควรให้โคนรากพืชสูงกว่าระดับผิวของสารละลายธาตุอาหารเล็กน้อย ทั้งนี้ สารละลายธาตุอาหารควรมีความเข้มข้นตามกำหนดของการ

เพาะปลูกพืชแต่ละชนิดและเติมอากาศตลอดเวลาจนครบระยะเวลาเก็บเกี่ยว โดยจำเป็นต้องตรวจและปรับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) และความเป็นกรด - ด่าง (pH) ทุกวัน เพื่อควบคุมระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารให้คงที่และเพื่อให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ส่วนวิธีการหรือแปลงในการเพาะปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์มีหลายระบบ โดยแบ่งออกตามวิธีการปลูกและวิธีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชด้วยกระบวนการของพืชที่มีรากพืชอยู่ในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง ซึ่งแบ่งกระบวนการเพาะปลูกที่เป็นที่นิยมมากที่สุดออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ระบบน้ำตื้น หรือ Nutrient Film Technique (NFT) มีหลักการให้สารละลายธาตุอาหารไหลไปอย่างช้า ๆ แบบแผ่นฟิล์มหนา 1 - 3 มิลลิเมตร ผ่านรากพืช โดยอาศัยความลาดชันของรางปลูกให้สารละลายธาตุอาหารไหลไปตามรางและมีปั้มน้ำ เป็นต้น กำลังให้เกิดการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหารกลับไปยังรางปลูกอีกครั้ง องค์ประกอบของระบบประกอบด้วย รางปลูกพืช (Grow tray) ซึ่งเป็นที่ตั้งของพืชและรองรับสารอาหารพืช อัตราการไหลของสารละลายจะต้องไหลอย่างต่อเนื่อง 1 - 2 ลิตรต่อนาทีต่อราง ปั้มน้ำเป็นต้นกำลังในการส่งสารละลายจากถังไปยังส่วนหัวแปลงปลูก และการเตรียมต้นกล้าจะปลูกในวัสดุปลูก โดยให้ปลายรากสัมผัสกับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

ข้อดีของระบบนี้ คือ สามารถใช้น้ำและสารละลายธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ มีการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหาร เพื่อให้พืชนำไปใช้ได้อีกครั้ง ดังนั้นจึงมีการจัดการวัสดุเพาะปลูกและสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ใช้แล้วจากการปลูกน้อยกว่าระบบอื่น และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีโอกาสที่ระบบจะเกิดปัญหาจากการขัดข้องของระบบไฟและระบบน้ำ รวมถึงอาจเกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในสารละลายทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ซึ่งจะส่งผลให้พืชชะงักการเติบโต (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)



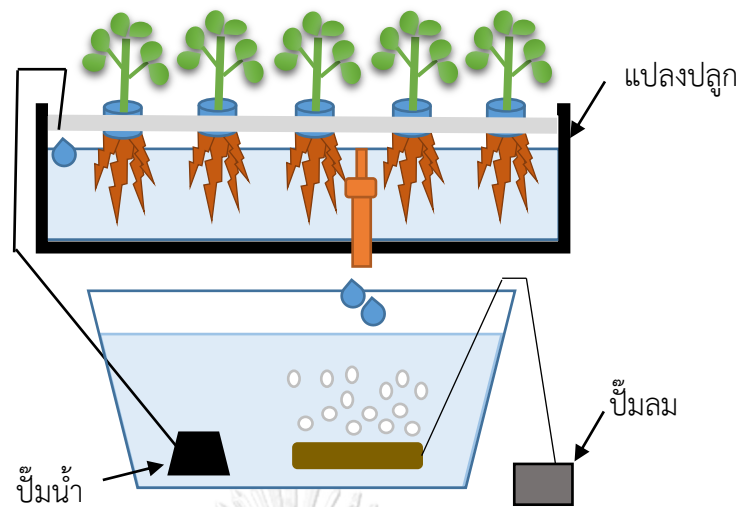


รูปที่ 2.1 ระบบให้สารละลายไหลแบบแผ่นฟิล์ม (NFT)

(ดัดแปลงจาก: ดิเรก ทองอร่าม (2550))

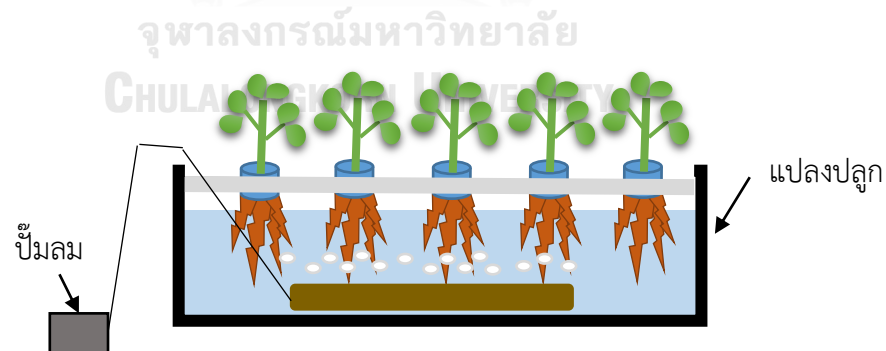
2) ระบบรากแช่ หรือ Deep Flow Technique (DFT) มีหลักการให้สารละลายธาตุอาหารในภาชนะปลูกในปริมาณที่มากกว่าระบบ NFT โดยสภาพปลูกจะมีปริมาณสารละลายธาตุอาหารในปริมาณมากและมีธาตุฟอสฟอรัสที่ผิวของสารละลาย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบย่อย ได้แก่

2.1) แบบหมุนเวียนสาร อันจะมีปั๊มน้ำเพื่อให้สารอาหารไหลวนระหว่างถังกักเก็บกับแปลงปลูก องค์ประกอบของระบบประกอบไปด้วย แปลงปลูกเป็นที่ลอยพืชและรองรับสารละลายธาตุอาหาร ปั๊มน้ำเพื่อให้สารละลายหมุนเวียนจากถังกักเก็บและสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ควบคุมระดับของสารละลายให้สอดคล้องกับความยาวของรากพืช โดยการเตรียมต้นกล้าจะเพาะกล้าทุกต้นในธาตุฟอสเฟตเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ดิเรก ทองอร่าม, 2550; Walters, 2015)



รูปที่ 2.2 ระบบรากแช่ แบบหมุนเวียนสาร  
(ดัดแปลงจาก: ดิเรก ทองอร่าม (2550))

2.2) แบบเติมอากาศ ซึ่งจะไม่มี การวนของสารละลายไปยังแปลงปลูก แต่มีระบบเติมอากาศด้วยปั๊มลมและหัวทราย เป็นระบบที่เหมาะสมแก่การเริ่มต้นเพาะปลูกภายในครัวเรือน เนื่องจากมีต้นทุนต่ำที่สุดและง่ายต่อการจัดการสารละลายธาตุอาหาร องค์ประกอบของระบบประกอบไปด้วย แปลงปลูกซึ่งเป็นที่ลอยของพืชและรองรับสารละลายธาตุอาหาร ปั๊มลมเพื่อเติมอากาศในสารละลายที่ตำแหน่งต่ำสุดของแปลงปลูก โดยการเตรียมต้นกล้าจะเพาะกล้าทุกต้นในถาดโฟมเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ดิเรก ทองอร่าม, 2550; Walters, 2015)



รูปที่ 2.3 ระบบรากแช่ แบบเติมอากาศ  
(ดัดแปลงจาก: ดิเรก ทองอร่าม (2550))

ข้อดีของระบบรากแช่ คือ สามารถย้ายต้นกล้าและเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ง่ายจากถาดโฟมที่สามารถยกและเคลื่อนย้ายได้ทั้งแผ่น จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานและยังมีต้นทุนในการเพาะปลูกต่ำ แต่ก็มีประสิทธิภาพการใช้งานของสารละลายธาตุอาหารต่ำ ก่อให้เกิด

ปัญหาการจัดการสารละลายธาตุอาหารมากกว่าระบบรากต้น (ดิเรก ทองอร่าม, 2550; Walters, 2015)

### 2.1.2.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกแบบไฮโดรพอนิกส์

พืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกแตกต่างกัน หากพืชได้รับการดูแลและจัดการปัจจัยเหล่านี้ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต การงอก การโค้งงอ การสังเคราะห์ด้วยแสง และการเปิดปากใบของพืช ปัจจัยดังกล่าวสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางการจัดการดูแลในการเพาะปลูก

#### 1) ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

แสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการสร้างอาหารและมีผลต่อกระบวนการของพืช เช่น กระบวนการงอกของเมล็ด การแบ่งและขยายขนาดของเซลล์ รวมถึงความชื้นในอากาศที่ควบคุมการคายน้ำและการเปิดปากใบของพืช ทั้งนี้ หากควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมแก่การเพาะปลูกก็จะสามารถกำหนดคุณภาพผลผลิตและระยะเวลาเก็บเกี่ยวได้ (Walters, 2015) ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.1.4 เรื่องการตอบสนองของการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

#### 2) ปัจจัยทางการจัดการดูแลในการเพาะปลูก

การจัดการดูแลในการเพาะปลูกต้องเป็นไปอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ทั้งนี้ ปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึง นั่นก็คือ ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารและปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช โดยมีความเป็นกรดต่างและค่านำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารควบคุมความสามารถของพืชที่จะนำธาตุอาหารในสารละลายเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ หากมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ก็จะก่อให้เกิดความผิดปกติและลดคุณภาพผลผลิตของพืชนั้นได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อแต่ละชนิดพันธุ์พืชและความสามารถของพืชที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (ผ่านการควบคุมความเป็นกรดต่างและค่านำไฟฟ้าของสารละลาย) อีกทั้งความหนาแน่นในการเพาะปลูกก็เป็นตัวกำหนดปริมาณของผลผลิตได้อีกด้วย (Walters, 2015)

### 2.1.2.4 ข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์

ข้อดีของการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ คือ สามารถปลูกให้ได้ผลผลิตในปริมาณมากและรวดเร็วกว่ารูปแบบธรรมดาในพื้นที่จำกัดและไม่มีดิน หรือมีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมได้ ดังนั้น จึงสามารถปลูกพืชได้ทุกฤดูกาล กำหนดระยะเวลาการเพาะปลูก และกำหนดพื้นที่ชุมชนที่เป็นแหล่งรับซื้อได้ จึงลดค่าขนส่งและบรรจุภัณฑ์ อีกทั้ง การปลูกแบบไม่ใช้ดินจะลดการใช้น้ำและธาตุอาหารมากกว่าการปลูกแบบใช้ดิน และไม่มีปัญหาศัตรูพืช โดยเฉพาะโรคทางดินและวัชพืช

ทำให้ผลผลิตสะอาด สด และมีคุณภาพในการผลิตสูง (ดิเรก ทองอร่าม, 2550; ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย, มปก; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

ข้อเสียของการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ที่เห็นได้ชัดเจน คือ ในเรื่องของต้นทุนการผลิตเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากวัสดุและอุปกรณ์ในการเพาะปลูกที่จำเป็นต้องมีการควบคุมและดูแลจากผู้ปลูกที่มีความชำนาญและประสบการณ์ อีกทั้ง ปัญหาการจัดการน้ำที่ไม่เหมาะสมจากธาตุอาหารที่ใช้แล้วอาจก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำหรือดินได้ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการที่เหมาะสมอย่างสม่ำเสมอ (ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย, มปก; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

### 2.1.3 พืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย

#### 2.1.3.1 พืชสกุล *Ocimum*

สกุล *Ocimum* L. เป็นสมุนไพรที่มีการเพาะปลูกอย่างกว้างขวางและแพร่หลายทั่วโลก โดยมีต้นกำเนิดจากประเทศอินเดียและแพร่กระจายไปยังเขตพื้นที่อบอุ่นและเขตร้อน เช่น แอฟริกา อเมริกา และเอเชีย ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายโดยเฉพาะในการประกอบอาหารและเครื่องดื่มที่มีกลิ่นลักษณะเฉพาะและมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคจากสารพฤกษเคมี (Phytochemical) ที่ช่วยในการลดไข้ ขับเหงื่อ ลดการเกร็งในช่องท้อง แก้อาการปวดข้อรูมาตอยด์ มีฤทธิ์ต้านไวรัส เป็นต้น พืชในสกุลนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งลำต้น กิ่ง ใบ และดอก ทำให้มีการเพาะปลูกตลอดทั้งปี ในปัจจุบัน มีการค้นพบ *Ocimum* L. ประมาณ 64 ชนิดพันธุ์ และมีการค้นพบชนิดพันธุ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงถูกนำมาใช้เป็นสมุนไพรและประกอบอาหารมากที่สุด พืชสกุลนี้ที่พบในไทย ประกอบด้วย โหระพา (*O. basilicum*) แมงลัก (*O. americanum*) และกะเพรา (*O. sanctum*) โดยกลิ่นเฉพาะของพืชสกุล *Ocimum* L. ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยสาร linalool แต่ในกะเพรานั้น มีสารพฤกษเคมีที่แตกต่างออกไป นั่นก็คือ มี  $\beta$ -caryophyllene และไม่มีสาร linalool จึงทำให้กะเพรมีกลิ่นเป็นเอกลักษณ์เฉพาะแตกต่างไปจากชนิดพันธุ์อื่นในสกุลนี้ (พรพรนิภา ชุมศรี, 2544, 2545; Walters, 2015)

#### 2.1.3.2 ชนิดพันธุ์

1) กะเพรา (Holy basil) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ocimum sanctum* Linn. มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร เพื่อดับกลิ่นคาวและทำให้อาหารมีกลิ่นหอม รสชาติดี เช่น ผัดกะเพรา แกงแค แกงเห็ด เป็นต้น และนิยมใช้เพื่อเป็นประโยชน์ทางการแพทย์ในการแก้ไขอาการจุกเสียด แน่นท้อง โรคกระเพาะอาหาร และลดน้ำตาลในเลือด (นนทชาติ ปราชญ์รักษา, 2553) กะเพรามีลักษณะเป็นพืชล้มลุก ลำต้นสูงประมาณ 30 – 60 เซนติเมตร ทรงพุ่ม รากค่อนข้างยาว ใบค่อนข้างรี ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร มีขอบ

ใบหยักเล็กน้อย มีขนอ่อนปกคลุมบริเวณใบ ยอดอ่อน และลำต้น ใบมีน้ำมันหอมระเหยเฉพาะตัว โดยใบอ่อนหรือส่วนยอดมีกลิ่นหอมกว่าส่วนอื่น กะเพราออกดอกเป็นช่อสูงขึ้นไปเป็นชั้น ๆ ที่ปลายยอด และมีความยาวของดอกประมาณ 8 – 14 เซนติเมตร กะเพราที่นิยมในท้องตลาดไทยมี 2 ชนิด ได้แก่ กะเพราขาวมีลักษณะใบใหญ่ สีเขียวอ่อน ออกดอกเป็นสีขาว และกะเพราแดงมีสีของลำต้นและกิ่งก้านเป็นสีแดงอมแดง มีกลิ่นฉุน ออกดอกเป็นสีแดง (รูปที่ 2.4) (นนทชาติ ปราชญ์รักษา, 2553)



รูปที่ 2.4 ก) กะเพราขาว ข) กะเพราแดง

2) โหระพา (Sweet basil) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ocimum basilicum* Linn. สามารถพบได้ทั่วไปในประเทศที่มีอากาศร้อนและอากาศอบอุ่น โดยโหระพาที่ปลูกในทวีปยุโรปและอเมริกามีกลิ่นและส่วนประกอบทางเคมีต่างจากโหระพาที่ปลูกในอินเดียและเกาะชวา ใบนำมาประกอบอาหาร เช่น แกงเขียวหวาน แกงเผ็ด เป็นต้น โหระพามีสรรพคุณเป็นยาขับลม ยาแก้ไข้ ซึ่งอาจจะรับประทานเป็นผักจิ้มสด ๆ หรือทำยาชงก็ได้ โดยยาชงใช้สำหรับเป็นยาอมกลั้วคอ เพื่อลดกลิ่นเหม็นจากลมหายใจ มีฤทธิ์ไประงับอาการระคายเคืองในลำคอ สกัดน้ำมันหอมระเหยจากใบและต้นโหระพานำมาใช้ในการแต่งกลิ่นอาหารและผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ซอสปรุงรสอาหาร เครื่องดื่ม ยาสีฟัน เป็นต้น ส่วนเมล็ดประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) และสามารถเป็นยาระบายเนื่องจากไปทำให้ลำไส้สั้นเพิ่มมากขึ้นจากการพองตัวเป็นเมือก โหระพาเป็นพืชล้มลุก มีใบ ลำต้น และกิ่งก้านมีสีม่วงแดง ใบ ลำต้น และดอกมีกลิ่นหอม ออกดอกเป็นช่อ กลีบดอกมีสีขาวแซมม่วงและร่วงง่าย (รูปที่ 2.5) (พะยอม ต้นติวัฒน์, 2521)



รูปที่ 2.5 โหระพา

3) แมงลัก (Lemon basil) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ocimum americanum* Linn. สามารถขึ้นได้ทั่วไปในที่โล่งแจ้งและทนแสงแดดได้ดีพบได้ทั่วไปในเขตร้อน นิยมนำใบไปประกอบอาหาร เพื่อการแต่งกลิ่น เช่น ขนมจีนน้ำยา แกงเลียง เป็นต้น และเมล็ดนำไปใช้ประกอบเป็นของหวาน ใบมีสรรพคุณเป็นยาขับลม ขับเหงื่อ แก้ไอ และระบบทางเดินอาหาร เมล็ดแช่น้ำจะมีลักษณะพอง ซึ่งสามารถรับประทานเพื่อเป็นยาระบาย ทำให้ถ่ายอุจจาระสะดวก ช่วยดูดซึมน้ำตาลในเส้นเลือด และเป็นยาลดความอ้วน หากเมล็ดพองตัวไม่เต็มที่จะทำให้ท้องอืดและอุจจาระแข็งได้ แมงลักเป็นพืชล้มลุก ต้นสูงประมาณ 65 เซนติเมตร โคนลำต้นแข็ง แตกกิ่งก้านสาขามาก ใบเดี่ยวมีขนอ่อนและมีลักษณะรูปไข่ ดอกลักษณะเป็นช่อฉัตรที่ปลายกิ่งหรือยอด โดยรอบก้านช่อเป็นชั้นชั้นละ 2 ช่อย่อย ช่อย่อยละ 3 ดอก กลีบดอกมีสีขาว ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ดและเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนทั่วไป (รูปที่ 2.6) (พะยอม ต้นติ้วฉิม, 2521; โชติอนันต์ และคณะ, 2551)



รูปที่ 2.6 แมงลัก

### 2.1.3.3 คุณค่าทางโภชนาการของพืชในสกุล *Ocimum*

1) กะเพรา มีน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด เช่น เมทิลควิคอล โอวิมอล คาลิโอฟิลลิน ยูจีนอล บอร์มีออล และแคมฟิน เป็นต้น ในใบกะเพราที่มีน้ำหนักสด 100 กรัม ประกอบไปด้วยสารอาหารที่สำคัญมากมาย (นนทชาติ ประชาญ์รักษา, 2553; วิเชษฐ คำสุวรรณ, 2551) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2) โหระพา มีน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด เช่น เมทิลควิคอล โฟนิน ลินาลูล เนโรลี ยูคาลิปทอล และซาบินิน เป็นต้น ในใบโหระพาที่มีน้ำหนักสด 100 กรัม ประกอบไปด้วยสารอาหารที่สำคัญมากมาย (กรมวิชาการเกษตร, 2556) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

3) แมงลัก มีน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด เช่น เมทิล-ซินนามต d-camphor ชิทราล เบอร์นีอัล ซีนีออล และยูจีนอล เป็นต้น ในใบแมงลักที่มีน้ำหนักสด 100 กรัม ประกอบไปด้วยสารอาหารที่สำคัญมากมาย (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** สารอาหารที่สำคัญในใบกะเพราขาว ใบกะเพราแดง ใบโหระพา และใบแมงลัก 100 กรัม (น้ำหนักสด)

ชนิด	หน่วย	กะเพราขาว	กะเพราแดง	โหระพา	แมงลัก
เบต้าแคโรทีน	ไมโครกรัม	724	1,134	452.2	-
แคลเซียม	มิลลิกรัม	310	25	165	350
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	51	287	46	86
คาร์โบไฮเดรต	มิลลิกรัม	8	4.8	5.5	11.1
ไขมัน	กรัม	0.3	0.5	1	0.8
เส้นใย	กรัม	4.3	4.3	2.5	2.6
โปรตีน	กรัม	2.7	4.2	3.3	2.9
เหล็ก	มิลลิกรัม	2.2	1.9	3.9	4.9
วิตามินเอ	มิลลิกรัม	3,100	-	2,815	10,666
วิตามินบีหนึ่ง	มิลลิกรัม	-	0.04	0.1	-
วิตามินบีสอง	มิลลิกรัม	-	0.34	0.2	-
วิตามินซี	มิลลิกรัม	22	22	19	78
พลังงาน	กิโลแคลอรี	46	41	44	32

#### 2.1.3.4 ความสำคัญทางเศรษฐกิจและสุขภาพ

##### 1) จำนวนการผลิต

ในปี พ.ศ. 2558 มีรายงานการเพาะปลูกกะเพรา โหระพา และแมงลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

กะเพรามีการเพาะปลูกในพื้นที่ต่าง ๆ ถึง 43 จังหวัด รวมผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้เป็นจำนวนประมาณ 12.4 พันตัน จากเกษตรกร 4,568 ครัวเรือน และราคาที่เกษตรกรขายได้โดยเฉลี่ย 13.40 บาทต่อกิโลกรัม จังหวัดนครปฐมมีการผลิตกะเพรามากที่สุดในประเทศ รวม 4.5 พันตันต่อปี โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 จากผลผลิตในปี พ.ศ. 2557 (สำนักงานเขตจังหวัดนครปฐม, 2559; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559ก; กมล เลิศรัตน์ และคณะ, 2544) ดังตารางที่ 2.2

โหระพามีการเพาะปลูกในพื้นที่ต่าง ๆ ถึง 49 จังหวัด รวมผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้เป็นจำนวน 12.3 พันตัน จากเกษตรกร 4,122 ครัวเรือน และราคาที่เกษตรกรขายได้โดย

เฉลี่ย 15.97 บาทต่อกิโลกรัม จังหวัดนครปฐมมีการผลิตโหระพามากที่สุดในประเทศ รวม 5.2 พันตัน ต่อปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559ข) ดังตารางที่ 2.2

แมงลักมีการเพาะปลูกในพื้นที่ต่าง ๆ ถึง 24 จังหวัด รวมผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้เป็นจำนวน 1.4 พันตัน จากเกษตรกร 1,154 ครัวเรือน และราคาที่เกษตรกรขายได้โดยเฉลี่ย 59.76 บาทต่อกิโลกรัม จังหวัดสุโขทัยมีการผลิตแมงลักมากที่สุดในประเทศ รวม 700 ตันต่อปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559ค) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายงานการเพาะปลูกกะเพรา โหระพา และแมงลักของประเทศไทยในปี 2559

ชนิด	หน่วย	กะเพรา	โหระพา	แมงลัก
พื้นที่เพาะปลูก	จังหวัด	49	49	24
ปริมาณผลผลิต	พันตัน	12.4	12.3	1.4
จำนวนเกษตรกร	ครัวเรือน	4,568	4,122	1,154
ราคาที่เกษตรกรขาย	บาทต่อกิโลกรัม	13.40	15.97	59.76
จังหวัดที่มีการผลิตมากที่สุด	-	นครปฐม	นครปฐม	สุโขทัย

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559

## 2) ความต้องการของผู้บริโภค

ประเทศไทยมีการส่งออกพืชผลการเกษตรแช่เย็นและแช่แข็งไปยังต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น สหภาพยุโรป มาเลเซีย ใต้หวัน เป็นต้น โดยที่พืชผักสวนครัวกลุ่มกะเพรา โหระพา แมงลัก และยี่หระ เป็นหนึ่งในผักสดที่มีการส่งออกมากถึงวันละ 2,000 กิโลกรัม (พีรเดช ทองอำไพ, 2556) ทั้งนี้ ประเทศไทยเคยได้รับการแจ้งเตือนจากสหภาพยุโรปเกี่ยวกับผักและผลไม้ที่พบสารตกค้างจากยาปราบศัตรูพืช จนสหภาพยุโรปออกมาตรการห้ามนำเข้าผักสด 5 กลุ่ม 16 ชนิด จากไทย ซึ่งในกลุ่มแรกที่ถูกห้ามนำเข้าก็คือ กลุ่มพืช *Ocimum* คือ กะเพรา โหระพา แมงลัก และยี่หระ ทำให้เกิดความต้องการพืชสกุล *Ocimum* ที่ปลอดภัยเพื่อการส่งออกเป็นจำนวนมาก (สิรินาฏ พรศิริประทาน, มปก) อีกทั้ง ปริมาณความต้องการบริโภคผักของประชากรไทยก็เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องมาจากอัตราการเพิ่มของจำนวนประชากร โดยความต้องการบริโภคผักต่อปีมีค่าประมาณ 40 กิโลกรัมต่อคน ส่งผลให้ความต้องการกะเพรามิแนวโน้มเพิ่มขึ้น (กมล เลิศรัตน์ และคณะ, 2544)



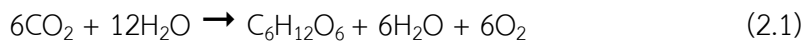
### 2.1.3.5 วิธีการเพาะปลูก

สามารถเพาะปลูกได้ทุกฤดูกาลและปลูกได้ในดินทุกชนิด นิยมปลูกแบบหว่านเมล็ดมากกว่าการปลูกด้วยกิ่งชำ โดยการนำเมล็ดที่สมบูรณ์แช่น้ำ 1 คืน จากนั้นนำเมล็ดโรยเป็นแถวในดินหรือวัสดุเพาะที่เตรียมไว้ในภาชนะและกลบด้วยวัสดุเพาะบาง ๆ อีกที จากนั้น ดูแลรดน้ำจนได้ต้นกล้าที่แข็งแรง เมื่อต้นกล้ามีอายุ 2 – 5 วัน หรือต้นกล้าเริ่มแตกใบจริงประมาณ 1 คู่ แล้วจึงย้ายไปยังแปลงปลูก และสามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุประมาณ 30 – 45 วัน โดยใช้มีดคมตัดส่วนของลำต้นหรือกิ่งให้ยาวประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร หรือเด็ดยอดรับประทานในครัวเรือน ยอดและกิ่งก้านจะแตกใหม่ทุก ๆ 15 วัน ทั้งนี้ ควรตัดดอกทิ้งเพื่อให้มีทรงพุ่มที่แข็งแรงและอายุยืนยาว (นนทชาติ ปรากฏรักษา, 2553; วิเชษฐ คำสุวรรณ, 2551) การเพาะปลูกโดยไม่ใช้ดินแตกต่างจากการปลูกในดิน โดยใช้วัสดุเพาะปลูก ซึ่งเป็นฟองน้ำหนา 1 นิ้ว เพาะเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหารเจือจาง แล้วจึงย้ายต้นกล้าไปยังแปลงปลูกหรือวางปลูกที่มีสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น (700 – 1,120 ส่วนในล้านส่วน) โดยตรวจสอบและปรับค่านำไฟฟ้า (Electric Conductivity: EC) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 – 2.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และ 5.5 – 6.5 ตามลำดับ ทุกวันจนครบวันเก็บเกี่ยว (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

### 2.1.4 การตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

พืชมีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon assimilation) หรือกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) เป็นกระบวนการทางชีวเคมี โดยถูกควบคุมด้วยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงและสะสมให้อยู่ในสถานะที่ซับซ้อนขึ้นของธาตุคาร์บอน ทั้งนี้ พืชมีการตอบสนองการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ (เจษฎา เหลืองแจ่ม และจตุพร มังคลารัตน์, 2552) อีกทั้ง การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สามารถพบได้ในพืชทั่วไป แบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยที่พืชสีเขียวสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เพื่อนำไปสร้างเป็นอินทรีย์สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบนำมาสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ หรือเรียกว่า มวลชีวภาพ (Biomass) โดยที่การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่ได้มาซึ่งสารประกอบคาร์โบไฮเดรต โดยพลังงานแสงจะถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตแล้วยังมีผลพลอยได้จากปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนและน้ำ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) และในกระบวนการหายใจ (respiration) เพื่อสร้างสารประกอบอื่น ๆ และเป็นแหล่งพลังงานที่มีความจำเป็นในการดำรงชีพ จึงจะเห็นได้ว่ากระบวนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตอาหารและก๊าซ

ออกซิเจน (ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, 2545) โดยมีสมการ (2.1) สมการปฏิกิริยาของกระบวนการต่อไปนี้



การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แม้ว่าพืชชนิดเดียวกันแต่มีถิ่นกำเนิดแตกต่างกันก็มีอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเรียกกระบวนการนี้ว่า  $\text{CO}_2$  assimilation ซึ่งจะเกิดในปฏิกิริยาไม่ใช้แสงถึงจะมีแสงอยู่ก็ตาม (Dark reaction) เป็นกระบวนการที่เกิดต่อเนื่องจากปฏิกิริยาใช้แสง (light reaction หรือ photochemical reaction) เพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต โดยที่จะใช้ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาใช้แสง นั่นก็คือ ATP และ NADPH โดยพืชในร่มจะมีปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าพืชกลางแจ้ง ทั้งนี้ พืชสมุนไพรส่วนใหญ่มักจะเป็นพืชในร่ม (ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, 2545) โดยมีรายละเอียดการเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ได้แก่

ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 มีการรวมตัวระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับ RuBP จากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้เป็นสารอินทรีย์ โดยมีเอนไซม์ตัวแรกในการเกิดปฏิกิริยาในการตรึง นั่นก็คือ Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase ( $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{11}\text{P}_2$ : RuBP carboxylase) การทำงานของเอนไซม์จำเป็นต้องมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศถึง 300 ส่วนในล้านส่วน จึงจะทำให้เกิดการตรึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (พันทวี มาไพโรจน์, 2529) จนเกิดผลของปฏิกิริยาเป็น phosphoglyceric acid (PGA) ขึ้น ดังสมการที่ (2.2) เรียกว่า ปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชัน (carboxylation reaction)



ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 จะเกิดการรีดิวซ์ PGA ให้เป็น PGAL (น้ำตาลชนิดแรกของปฏิกิริยาไม่ใช้แสง) โดยอาศัย ATP และ NADPH เรียกขั้นตอนนี้ว่า รีดักชัน (reduction) ดังสมการที่ (2.3)



และปฏิกิริยาขั้นที่ 3 จะเปลี่ยน PGAL 12 โมเลกุล เป็น PGA 10 โมเลกุล อีก 2 โมเลกุล อาจจะเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลกลูโคสและแป้ง และจะมีการสร้าง RuBP กลับขึ้นมาใหม่จาก PGA เรียกขั้นตอนนี้ว่า รีเจนเนอเรชัน (regeneration) ดังสมการที่ (2.4)

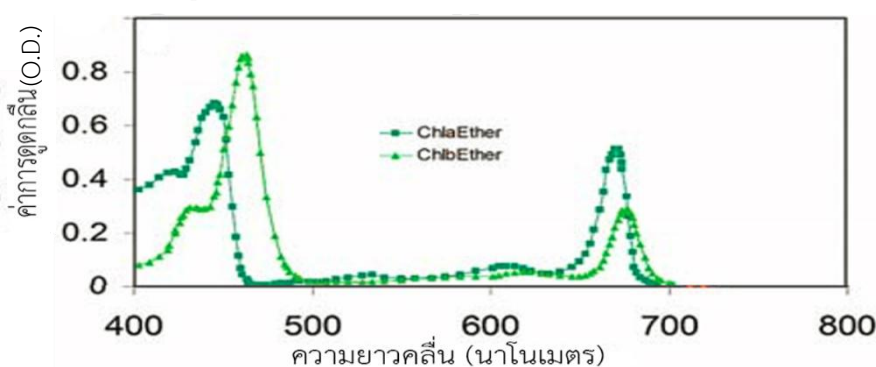


การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ถูกวัดอัตราในรูปแบบการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุด (light-saturated net photosynthesis,  $A_{\text{sat}}$ ) ส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ (Gas exchange) โดยการศึกษาศักยภาพของต้นไม้แต่ละชนิดในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อ

เป็นแนวทางในการส่งเสริมการปลูกชนิดพรรณไม้ที่สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศได้สูง โดยทั่วไป ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มีการผันแปรระหว่างชนิดพรรณไม้ค่อนข้างสูงและยังขึ้นกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของพืช (ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ, มปก) โดยมีปัจจัยดังต่อไปนี้

#### 2.1.4.1 แสง

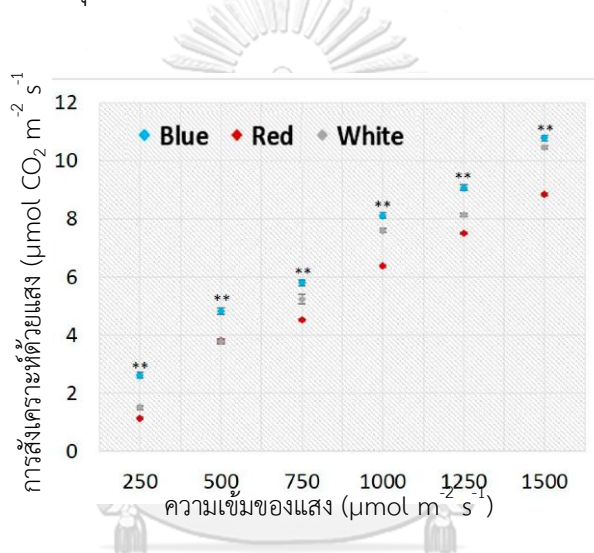
แสงเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ในการสร้างพืชนะเคมีด้วยรงควัตถุ (Pigment) แบ่งตามลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) มักพบได้ทั่วไป ไฟโคบิลิน (Phycobilins) พบในไซนาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) และสาหร่ายสีแดงเท่านั้น และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เป็นรงควัตถุสีส้ม หรือสีส้ม - แดง ทั้งนี้ รงควัตถุแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน โดยคลอโรฟิลล์จะดูดกลืนพลังงานแถบสีน้ำเงินได้ดีที่สุด รองลงมา คือ แสงสีแดง และแสงสีเขียว ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมีในโมเลกุลของสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง (Light reaction) ส่วนใหญ่มีระบบแสง 2 ระบบ ได้แก่ ระบบแสง I (Photosystem I) และระบบแสง II (Photosystem II) จะทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อให้สามารถเกิดการส่งพลังงานในการสร้าง ATP และ NADPH โดยมีความแตกต่างกันในด้านการรับพลังงานในช่วงคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ปรีชา สุวรรณพินิจ และนางลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2551)



รูปที่ 2.7 การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี

(ที่มา: Lambers et al., 2002)

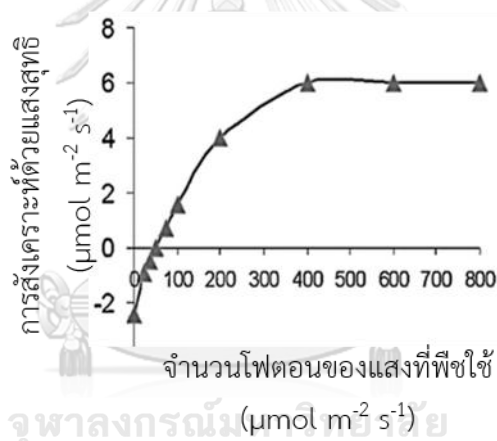
คุณภาพของแสง (light quality) หรือช่วงความยาวคลื่นแสงที่พืชสามารถใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เรียกว่า Photosynthetically active radiation (PAR) มีความแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชที่แตกต่างกันขึ้นกับแต่ละชนิดพันธุ์ (Wang et al., 2011) โดยพืชดูดกลืนแสงได้ดีใน 2 ช่วงความยาวคลื่น ได้แก่ แสงสีน้ำเงิน (450 นาโนเมตร) มีผลต่อสัญญาณของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นผลดีต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบ *Eustoma* (Roni et al., 2017) ดังรูปที่ 2.8 และแสงสีแดง (650 นาโนเมตร) รงควัตถุเป็นแหล่งพลังงานในการรับไฟโตโครม (phytochrome) โดยที่แสงมีผลต่อการควบคุมลักษณะตอบสนองต่อสัญญาณของแสง เซลล์รับแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินมีบทบาทความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์คุมกับการตอบสนองของพืช



รูปที่ 2.8 ผลของการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้แสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง และแสงสีขาวต่อการตอบสนองของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในใบต่อความเข้มแสงที่ระดับต่าง ๆ ของใบ *Eustoma* (ที่มา: Roni et al., 2017)

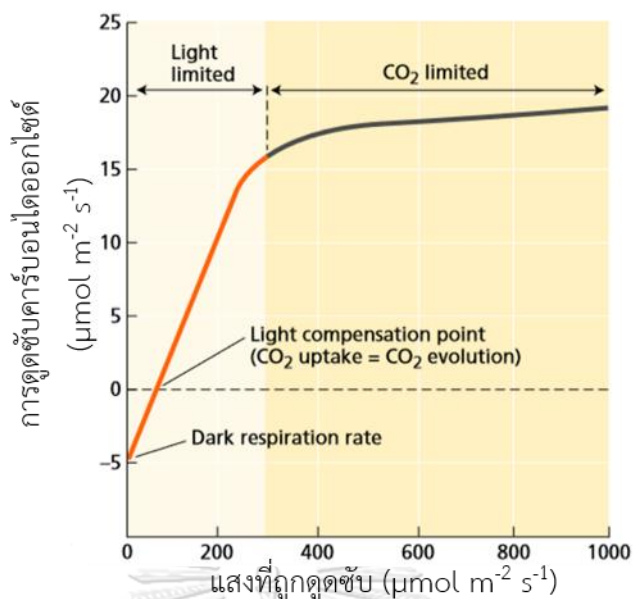
อีกทั้ง ความเข้มของแสงและความยาวของช่วงที่ได้รับแสงในแต่ละวัน (light duration) ที่ได้รับมีผลกระทบต่อกลไกการทำงานของไฟโตโครมในระดับเซลล์และโมเลกุล รวมถึงแนวทางการถ่ายทอดสัญญาณและการควบคุมอื่น โดยที่ความยาวคลื่นแสงหรือแสงสีที่ต่างกันมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช อาทิ แสงสีแดงมีผลต่อการงอก ส่วนแสงสีน้ำเงินที่มีผลต่อการยืดตัวของ hypocotyl เป็นต้น (พันทวี มาไพโรจน์, 2529; Taiz and Zeiger, 2002; Maurizo, et al., 1993) ส่วนการเพิ่มความเข้มแสงเป็นผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวแสง (light saturation point) ที่แตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด โดยมีงานวิจัย พบว่า การตอบสนองของการสังเคราะห์ด้วยแสงของโหระพาที่ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ

และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มแสงประมาณ 400 ไมโครโมลต่อตารางเมตร ต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (Costa et al., 2013; ปรีชา สุวรรณพินิจ และนางลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2551) โดยความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นมีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพืชรับความเข้มของแสงน้อยไปจะทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำและมีรูปแบบการเจริญเติบโตที่ผิดปกติไปจากเดิม เช่น ใบมีสีขาวหรือออกเหลือง ปล้องยาว ลำต้นเรียวบิดค้ง เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอัตราการหายใจ หรือจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชตรึงได้ เท่ากับจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชปล่อยออกมาที่จุดการแลกเปลี่ยนก๊าซมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือเรียกจุดนี้ว่า light (CO<sub>2</sub>) compensation point (พันทวี มาไพโรจน์, 2529) (รูปที่ 2.10) และจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวแสง (light saturation point) ในช่วงนี้มีขีดจำกัดจากแสง (light limited) โดยหลังจากนี้ อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จะคงที่จากการถูกจำกัดโดยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> limited) แม้ว่าปริมาณแสงที่ดูดซับจะเพิ่มขึ้นตาม



**รูปที่ 2.9** การตอบสนองของการสังเคราะห์ด้วยแสงของโหระพาจากค่าเฉลี่ยระหว่างจำนวนโฟตอนของแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic photon flux density: PPDF) กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis: PN;  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

(ที่มา: Costa et al., 2013)

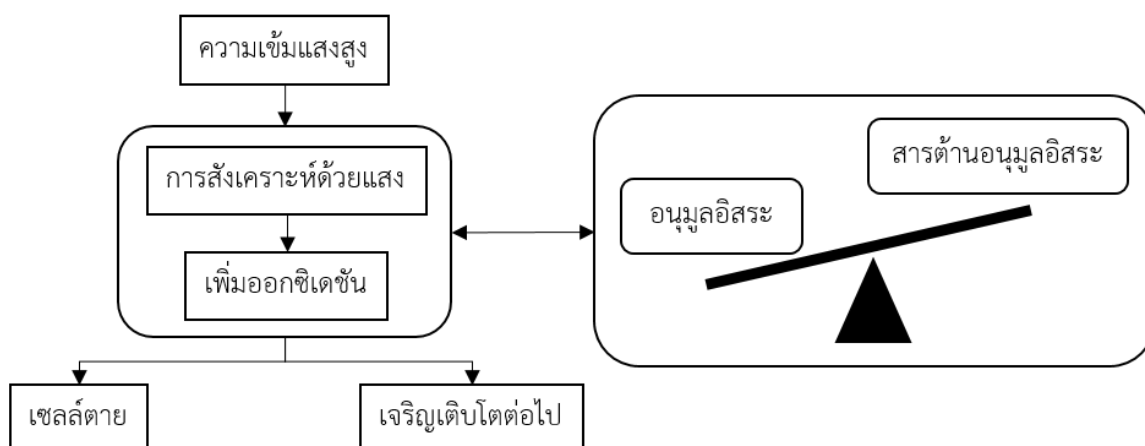


รูปที่ 2.10 การตอบสนองของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> assimilation)

ต่อแสงที่ถูกดูดซับในพืช C<sub>3</sub>

(ที่มา: Taiz and Zeiger, 2002)

นอกจากนี้ แสงยังมีผลต่อความสมดุลระหว่างการเพิ่มและลดอนุมูลอิสระ (reactive of oxygen species: ROS) โดยส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาการหายใจและการเผาผลาญภายในไมโทคอนเดรีย งานวิจัยที่ผ่านมาพบการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระของพืชชนิดต่าง ๆ ภายใต้ภาวะเครียดแสงของปัจจัยทางกายภาพของอนุมูลอิสระ อันเป็นตัวการที่เพิ่มอัตราการเกิดกระบวนการภายในเซลล์ ได้แก่ คลอโรพลาสต์ ไมโทคอนเดรีย เพอรอกซิโซม พลาสมาเมมเบรน โพลีฟอส ฟังก์ชันเอนโดพลาซิม และผนังเซลล์ (Golandam, 2016) เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง ความเข้มแสงสูงจึงเป็นกลไกที่สำคัญภายในเซลล์ที่ทำให้เกิดการออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น โดยอาจทำให้เซลล์ตายหรือดำรงอยู่ได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างอนุมูลอิสระกับสารต้านอนุมูลอิสระ (Foyer and Shigeoka, 2011) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระต่อภาวะเครียดแสง  
(ดัดแปลงจาก: Foyer and Shigeoka, 2011)

#### 2.1.4.2 อุณหภูมิ

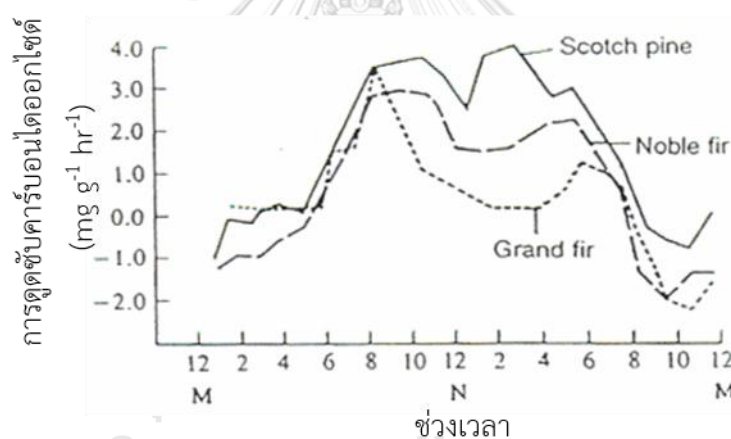
อุณหภูมิเป็นปัจจัยควบคุมการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างหนึ่ง ในอุณหภูมิต่ำช่วงเช้าตรู่จะมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ และจะเพิ่มสูงขึ้นสูงสุดในเวลาก่อนเที่ยงหรือใกล้เที่ยง โดยที่อุณหภูมิช่วงเที่ยงวันหรืออุณหภูมิมากทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำลงจากการที่ปากใบต้องปิด เพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำของใบ และยังส่งเสริมการหายใจให้สูงขึ้นอีก (พันทวี มาไพโรจน์, 2529) ดังรูปที่ 2.12 อีกทั้ง อุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานหนึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจากปฏิกิริยาเทอร์โมเคมีคัล (thermochemical reaction) ที่มีความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมีภายในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้น อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช หากพืชได้รับอุณหภูมิที่สูงมากเกินไป อาจไปทำลายเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ก่อให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตของพืชได้ (ปริชา สุวรรณพินิจ และนงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2551; Walters, 2015) สามารถแบ่งอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1) อุณหภูมิพื้นฐาน หรือ base temperature ( $T_b$ ) เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นที่พืชสามารถเจริญเติบโตและพัฒนาได้ แต่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์และการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ปากใบเป็นไปได้ช้า หากปลูกพืชที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ พืชจะไม่สามารถเติบโตได้

2) อุณหภูมิที่เหมาะสม หรือ optimal temperature ( $T_{opt}$ ) เป็นช่วงอุณหภูมิที่พืชมีอัตราการพัฒนาเพิ่มขึ้นจนถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชส่วนใหญ่ที่เหมาะสม จะอยู่ในช่วง 30 - 35 องศาเซลเซียส

3) อุณหภูมิสูงสุด หรือ maximum temperature ( $T_{max}$ ) เป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่พืชสามารถคงสภาพอยู่ได้ ทั้งนี้ อัตราการพัฒนาของพืชจะลดลงจากอุณหภูมิที่เหมาะสมจนถึงอุณหภูมิสูงสุดจากการลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและจากการเพิ่มขึ้นของการหายใจในพืช หากอุณหภูมิสูงไปกว่านี้อาจทำให้พืชตายได้ เนื่องจากเอนไซม์ถูกทำลายจนเสียสภาพความเป็นโปรตีน

อุณหภูมิสูงส่งผลกระทบต่อความสมดุลระหว่างการเพิ่มและลดจำนวนอนุโมลิสระในเซลล์ (Golandam, 2016) ในขณะที่อุณหภูมิต่ำส่งผลต่อการงอกของเมล็ด (Taiz and Zeiger, 2002) อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการปรับสภาพของพืช โดยพืชมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกันขึ้นกับชนิดพันธุ์และระยะเวลาการเจริญเติบโต ทั้งนี้ อุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา เคมี และชีววิทยาของพืช (Walters, 2015)



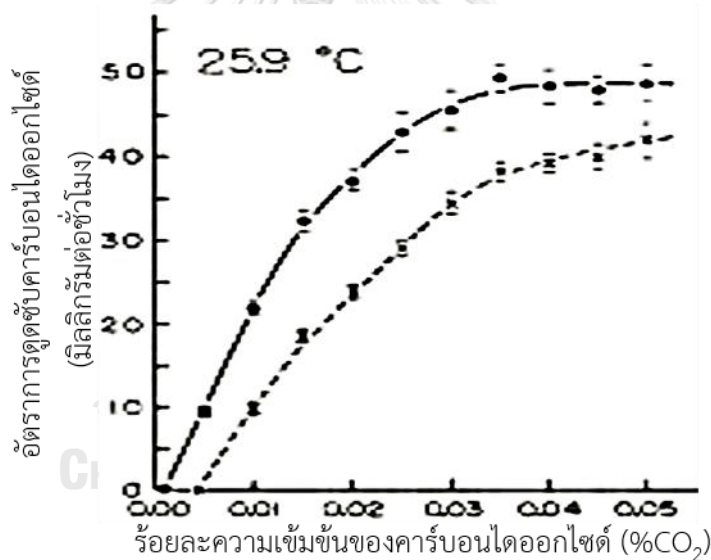
รูปที่ 2.12 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันของ Scotch pine (*Pinus sylvestris*) Noble fir (*Abies procera*) และ Grand fir (*Abies grandis*) ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งของฤดูร้อน (ที่มา: Hodges (1967) ปรากฏใน ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ (2545))

#### 2.1.4.3 ก๊าซในชั้นบรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ได้แก่ ก๊าซออกซิเจนเป็นผลพลอยได้ของพืชจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และถูกนำไปเป็นตัวออกซิไดส์ รวมถึงเป็นส่วนประกอบและสารอาหารต่าง ๆ ภายในเซลล์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดัง



รูปที่ 2.13 พืชจะได้รับคาร์บอนไดออกไซด์จากการแพร่ผ่านปากใบเข้าสู่ช่องว่างภายในใบ จากนั้นจะละลายในน้ำที่มีอยู่ในผนังเซลล์แล้วแพร่เข้าสู่เซลล์ไปพร้อมกับน้ำ เมื่อพืชเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือ การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสารละลายในเซลล์ใบใช้ จึงทำให้น้ำบริเวณผนังเซลล์สามารถละลายคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบและในบรรยากาศ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบได้ดี ถึงแม้ว่าในบรรยากาศมีปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงก็ตาม (พันทวี มาไพโรจน์, 2529) ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตน้ำตาลและแป้งจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเปิดปิดของปากใบของพืช นอกจากนี้ไอน้ำหรือความชื้นในบรรยากาศก็มีผลโดยตรงต่อการเปิดและปิดปากใบของพืชในกระบวนการคายน้ำออกจากพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2550; ปรีชา สุวรรณพินิจ และนงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2551)



รูปที่ 2.13 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากร้อยละความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันในใบข้าว (*Oryza sativa* L.) ภายใต้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ร้อยละ 3 (เส้นทึบ) และ 21 (เส้นประ) (ที่มา: Jolliffe and Tregunna, 1968)

งานวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในอนาคต ตามรายงานการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจากการทำงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ Intergovernmental Panel on Climate Change

(IPCC) องค์การนี้เป็นความร่วมมือระหว่างประเทศที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เชิงนโยบายแก่นานาประเทศ รวมถึงประเทศไทย กล่าวว่าการโลกของเรากำลังได้รับผลกระทบจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเป็นด้านอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรน้ำ ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นและประสบปัญหาในการรักษาสมดุลภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้ ประเทศต่างๆ จึงให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหา ลดผลกระทบ และปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง (อัศมน ลิมสกุล, 2554) โดยควบคุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ให้มีความเข้มข้นในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และระบบนิเวศ อันเป็นการแก้ไขปัญหาและลดผลกระทบอย่างหนึ่ง ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตนั้น IPCC ได้ใช้การทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละนโยบาย ผ่านการใช้ภาพการณ์จำลอง (scenario) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ หรือ Representative Concentration Pathways (RCPs) จากการวิเคราะห์การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม และมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้แบบจำลองการประเมินแบบบูรณาการ (Integrated Assessment Model) ภายในปี พ.ศ. 2643 (ค.ศ. 2100) โดยจะกำหนดตามด้วยค่าพลังงานความร้อนระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับยุคก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรม RCPs มี 4 กรณี ตามค่าปริมาณจากการแผ่รังสี 2.6 4.5 6.0 และ 8.5 วัตต์ต่อตารางเมตร กล่าวคือ กรณีของ RCP ถูกกำหนดด้วยตัวเลข ได้แก่ RCP2.6 RCP4.5 RCP6.0 และ RCP8.5 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่ 475 650 850 และ 1,370 ส่วนในล้านส่วน (ppm) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (equivalent carbon dioxide; CO<sub>2</sub>e) กล่าวได้ว่า RCP2.6 มีมาตรการในการลดการปลดปล่อยอย่างเข้มงวดมากกว่า RCP4.5 และ RCP6.0 โดยที่ RCP8.0 ไม่มีมาตรการในการลดการปลดปล่อย

#### 2.1.4.4 ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่พืชดูดขึ้นมาใช้มีเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยส่วนที่ไม่ได้ใช้จะถูกปล่อยออกจากพืชผ่านกระบวนการคายน้ำ (รายละเอียดดังหัวข้อ 2.1.4.6) ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับการแพร่คาร์บอนไดออกไซด์เข้ามายังใบผ่านการเปิดปิดของปากใบ ดังนั้น น้ำในพืชจึงควบคุมการเปิดปิดของปากใบด้วย โดยการเปลี่ยนรูปร่างของเซลล์คุม (guard cell) อาทิ ในสภาวะขาดน้ำของพืช พืชจะมีการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วกว่าการดูดและลำเลียงน้ำของราก พืชจึงมีการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้การแลกเปลี่ยนก๊าซและการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงตามไปด้วย (พันทวี มาไพโรจน์, 2529)

#### 2.1.4.5 โครงสร้างภายในของใบ

พีชมีโครงสร้างภายในของใบที่แตกต่างกัน ทำให้การกระจายของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่คลอโรพลาสต์ได้ดีไม่เท่ากัน ขึ้นกับขนาดของใบ จำนวนของปากใบ ตำแหน่งของปากใบ ขนของใบ ความหนาของชั้นคิวตินและชั้นของเซลล์ผิว และปริมาณช่องว่างระหว่างเซลล์ที่เป็นผลมาจากการเรียงตัวของเซลล์ในชั้นมีโซฟิลล์ในใบ ช่วยให้เกิดการแพร่กระจายของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบไม่เท่ากัน รวมถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีการสะสมสารในใบจากการสังเคราะห์ด้วยแสงมีผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงช้าลง อาทิ สะสมน้ำตาลมากเกินไปที่จะเคลื่อนย้ายออกจากเซลล์และจะชะลออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงให้ช้าลง (พันทวี มาไพโรจน์, 2529)

#### 2.1.4.6 การเปิดปิดของปากใบ

ความเข้มของแสง ความชื้นในบรรยากาศ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบ อีกทั้ง การเปิดปิดของปากใบมีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของก๊าซผ่านเข้า - ออกใบระหว่างที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำ (เจษฎา เหลืองแจ่ม และจตุพร มังคลารัตน์, 2552) ซึ่งล้วนได้รับอิทธิพลมาจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นในบรรยากาศ รวมถึงความแตกต่างระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและช่องว่างระหว่างเซลล์ในใบ นอกจากนี้ สันฐานของใบ อาทิ พื้นที่ใบ การจัดเรียงตัวของใบ ขนาดและรูปร่างของใบ โครงสร้างภายในของใบ และอัตราส่วนของรากต่อลำต้น ก็อาจส่งผลต่อการเปิดปิดของปากใบด้วย (กาญจนา สาลีดีดี, 2541)

#### 2.1.5 สารต้านอนุมูลอิสระ

##### 2.1.5.1 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่มีประจุไฟฟ้าที่มีคู่อิเล็กตรอนที่ไม่ครบ (unpaired electron) ซึ่งเป็นสาเหตุให้อิเล็กตรอนดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะหาอิเล็กตรอนอื่นโดยจับอิเล็กตรอนจากสารอื่น ๆ เพื่อให้ครบคู่อิเล็กตรอนและอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้จนกว่าโมเลกุลจะเป็นกลาง โมเลกุลที่มีออกซิเจนเป็นอะตอมที่มีปฏิกิริยาสูง เช่น hydroxyl radical (OH<sup>•</sup>) superoxide anion (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>) hydroperoxyl radical (HOO<sup>•</sup>) และ alkoxy radical (RO<sup>•</sup>) ซึ่งมีความสามารถในการทำลายโมเลกุลอื่น (RH) จากความไม่คงตัวและว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาจากการออกซิไดซ์กับโมเลกุลอื่น ๆ เรียกว่า อนุมูลอิสระ (free radical) เกิดขึ้นได้โดยทั่วไปจากกระบวนการเผาผลาญอาหารเพื่อการสร้างพลังงานโดยใช้โมเลกุลออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนขั้นสุดท้ายภายในไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (Dasgupta and Klein, 2014; รัตนา บรรรเจิตพงศ์, 2545) แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

1) ระยะเวลาเหนี่ยวนำ (initiation) เป็นระยะที่โมเลกุล (RH) ถูกเหนี่ยวนำหรือถูกออกซิไดซ์ จากอนุมูลอิสระหรือตัวเหนี่ยวนำ (initiator) โดยมีแสงและอุณหภูมิเป็นตัวเร่ง จึงเกิดเป็นอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น (R<sup>•</sup>) ดังสมการที่ (2.5)



2) ระยะเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระ (R<sup>•</sup>) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O<sub>2</sub>) เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical: ROO<sup>•</sup>) ดังสมการที่ (2.6) ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อกับโมเลกุลอื่น (RH) เกิดเป็นไฮดรอปเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide: ROOH) และอนุมูลอิสระ ดังสมการที่ (2.7) ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเรื่อย ๆ หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่



3) ระยะสิ้นสุด (termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระ (R<sup>•</sup> หรือ ROO<sup>•</sup>) ที่เกิดขึ้นอาจรวมตัวกันเป็นโมเลกุลที่ไม่มีศักยภาพเป็นอนุมูลอิสระ (RR หรือ ROOR) ดังเช่น สมการที่ (2.8) และ (2.9)



สิ่งมีชีวิตไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดอนุมูลอิสระหรือการออกซิเดชัน จึงมีระบบการต้านอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันความผิดปกติภายในเซลล์หรือเนื้อเยื่อ การเหนี่ยวนำการเกิดอนุมูลอิสระมีผลมาจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น มลพิษทางอากาศ รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นต้น ซึ่งมีส่วนในการเหนี่ยวนำการก่อให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้ อนุมูลอิสระส่วนใหญ่ไม่มีความคงตัว แต่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา การเพิ่มและลดสารก่อออกซิเดชันหรือการลดการทำงานของเอนไซม์ต้านออกซิเดชันในร่างกาย ส่งผลให้ชีวโมเลกุล ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก ไขมัน เป็นต้น ถูกออกซิไดซ์จนสูญเสียการทำงาน นอกจากนี้ การเพิ่มของอนุมูลอิสระยังอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพออกซิเดชันจนนำไปสู่ภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) จนเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการออกซิเดชัน เช่น การออกซิไดซ์ดีเอ็นเอ (DNA) ทำให้เกิดกลายพันธุ์ของพันธุกรรมมีผลให้ไม่สามารถสร้าง RNA DNA หรือก่อให้เกิดการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติ และเกิดเป็นมะเร็งได้

ดังนั้น ร่างกายของมนุษย์จึงต้องการระบบต้านอนุมูลอิสระ อันประกอบด้วย เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (เช่น SOD GPx และ reductase CAT เป็นต้น) สารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากสารอาหาร (เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคฟีรอลและโทโคเทียโนล คาโรทีนอยด์ กลูตาไธโอน และ

กรดไลโปอิก) โปรตีนที่ยึดโลหะ (เช่น ferritin lactoferrin albumin และ ceruloplasmin) และ สารอาหารที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ อีกมากมายที่พบในพืชอาหาร (Dasgupta and Klein, 2014; รัตนา บรรเจิดพงศ์, 2545) โดยทั่วไปพืชมีการสร้างอนุมูลอิสระภายใต้ภาวะเครียดทาง กายภาพและชีวภาพ เช่น แสง อุณหภูมิ จุลินทรีย์ เป็นต้น ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นจนเกิด การตอบสนองต่อภาวะเครียดจากการออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น พืชจึงเพิ่มการผลิตและสะสมสารต้าน อนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี ฟีนอล แทนนิน เป็นต้น (Kasote et al., 2015)

สารต้านอนุมูลอิสระมีความสามารถในการยับยั้งและชะลอการปลดปล่อย อิเล็กตรอนของอนุมูลอิสระ เรียกว่า ศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระให้แก่อนุมูลอิสระก่อนที่จะ ส่งผลแก่ส่วนประกอบในเซลล์ ศักยภาพนี้ขึ้นอยู่กับพันธะของโมเลกุลในการลดอนุมูลอิสระหรือให้อิเล็กตรอนบางส่วนแก่อนุมูลอิสระ การเกิดออกซิเดชันของอนุมูลอิสระจะแพร่กระจายโดยปฏิกิริยา ลูกโซ่ จึงจำเป็นต้องควบคุมการออกซิเดชันก่อนการเกิดหรือระงับปฏิกิริยาลูกโซ่ (Dasgupta and Klein, 2014) กลไกการเกิดสารต้านอนุมูลอิสระในพืชอาหารที่มีศักยภาพต้านอนุมูลอิสระและป้องกันโรคต่าง ๆ ด้วยกระบวนการรีดักชันของเปอร์ออกไซด์และการซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายด้วยเปอร์ออกซิไดซ์ รวมถึง สารพิษเคมีในการทำลายสารอนุมูลอิสระ อาทิ วิตามินซี วิตามินอี และฟีนอล เป็นต้น หรือเรียกว่า ระบบต้านอนุมูลอิสระ (integrated antioxidant system) ทำงานร่วมกับกลูตาไธโอนในเนื้อเยื่อ เพื่อป้องกันการทำลายเนื้อเยื่อภายใต้ภาวะเครียดจากออกซิเดชัน (Dasgupta and Klein, 2014)

มีการค้นพบความเชื่อมโยงระหว่างอนุมูลอิสระที่ได้จากพืชกับการรักษาโรค สุขภาพมากถึง 60 โรค เช่น โรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ โรคหัวใจ โรคหลอดเลือด เป็นต้น ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นกับอนุมูลอิสระที่ลดลง ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระทำให้ร่างกายมีศักยภาพลดความเสี่ยงจากอนุมูลอิสระ อีกทั้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในพืช เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นต้น สารเหล่านี้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระหนึ่งที่สามารถพบได้มากถึง 3,000 ชนิด (ตารางที่ 2.3) ฟลาโวนอยด์ในพืชจะทำหน้าที่ป้องกันพืชจากภาวะเครียดทางสิ่งแวดล้อม แต่ในมนุษย์นั้น ฟลาโวนอยด์จะช่วยในการปรับเปลี่ยนการตอบสนองทางชีวภาพ โดยเห็นเป็นประจักษ์ในการต้าน การอักเสบที่เกิดจากโรคมะเร็ง ดังนั้น การบริโภคผัก ผลไม้ และสมุนไพร จึงเป็นการเพิ่มฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระที่ช่วยเสริมการควบคุมและป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระ (Dasgupta and Klein, 2014; รัตนา บรรเจิดพงศ์, 2545)

### ตารางที่ 2.3 สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในพืช

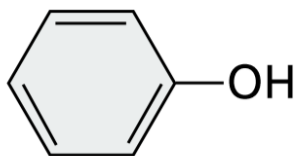
ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ	สารประกอบเฉพาะ
Antioxidant	Vitamins Vitamin C $\beta$ -carotene (pro-vitamin A) Vitamin E
Phenolic compound	
1. Flavonols	Quercetin Kaempferol Myricetin Isorhamnetin
2. Flavan-3-ols	Catechins Epicatechin Epicatechin-3-gallate Gallocatechin Epigallocatechin Theaflavin Theaflavin-3-gallate Thearubigin
3. Flavones	Luteolin Apigenin
4. Flavanones	Eriodictyol Hesperetin Naringenin
5. Isoflavones	Genistein Daidzein Glycitein Biochanin A Formononetin
6. Anthocyanins	Cyanidin Delphinidin Malvidin Pelargonidin Eonidin Petunidin
7. Stilbene	Resveratrol
8. Phenolic acids/esters	Hydroxybenzoic acid derivatives (p-hydroxybenzoic Gallic Vanillic Syringic acid etc.) Hydroxycinnamic acid derivatives (curcumin; Chlorogenic Ferulic Sinapic Caffeic acid etc.)

ที่มา: Dasgupta and Klein (2014)

#### 2.1.5.2 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound)

โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ โดยมีสารพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุล ดังรูปที่ 2.14 โดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในพืช (Kim et al., 2003) ในสารละลายที่มีมโนฟีนอล (monophenols) และสารอื่น ๆ สามารถแสดงพฤติกรรมเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสิ่งสำคัญของฟีนอลที่มีพฤติกรรมเช่นเดียวกับออกซิไดซ์ได้โดยง่าย มีความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาณผักและผลไม้ที่รับประทานกับความเสื่อ่งต่อภาวะ

เครียดจากอนุมูลอิสระ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคกระดูกพรุน เป็นต้น ซึ่งได้รับการบรรเทาบางส่วนจากฟีนอล (Jin and Russell, 2010)



รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของฟีนอล  
(ที่มา: Taiz and Zeiger, 2002)

สารประกอบฟีนอลิก (POH) ทำหน้าที่เป็นตัวรับอนุมูลอิสระและหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยรบกวนการเกิดออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ และให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ (radicals: R) ดังสมการที่ (2.10)



สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมการขจัดอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging activities) เนื่องจากมีกลุ่มฟีนอลิกไฮดรอกซิลที่มีแนวโน้มที่จะให้อะตอมไฮโดรเจนหรือให้อิเล็กตรอนอิสระของอะโรมาติกแก่อนุมูลอิสระในปริมาณสูง เพื่อขจัดอิเล็กตรอนที่ไม่ครบคู่ จึงทำให้ฟีนอลมีคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระสำหรับป้องกันโรคต่าง ๆ อาทิ โรคหัวใจ โรคหลอดเลือด โรคมะเร็ง เป็นต้น ทั้งนี้ มีความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้นกับศักยภาพในการลดอนุมูลอิสระหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เพิ่มมากขึ้นตาม (Jin and Russell, 2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า นักวิจัยจากทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศให้ความสนใจเกี่ยวกับอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ สารต้านอนุมูลอิสระ และการเจริญเติบโตในพืชสกุล *Ocimum* ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Walters (2015) เปรียบเทียบน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความสูงภายใต้ระบบไฮโดรพอนิกส์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ระบบ Nutrient film technique (NFT) และระบบ deep flow technique (DFT) ที่ปริมาณแสงทั้งหมดรายวัน (daily light integral) แตกต่างกันได้แก่ 15 และ 7 โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที นอกจากนี้ ยังมีเงื่อนไขของค่านำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.5 1.0 2.0 3.0 และ 4.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ 11 17 23 29 และ 35 องศาเซลเซียส โดยศึกษาการเจริญเติบโตในพืช 3 ชนิด ได้แก่ โหระพา กะเพรา และแมงลัก

ได้ข้อสรุปว่า ระบบการเพาะปลูกแบบ DFT ให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความสูงมากกว่าแบบ NFT แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว อีกทั้งมีความแตกต่างจากชนิดพันธุ์ที่ใช้ในการเพาะปลูกมากกว่า เช่น โหระพาให้น้ำหนักสดมากที่สุด โดยการเลือกชนิดพันธุ์ในการเพาะปลูกควรเลือกตามความต้องการของตลาด การเจริญเติบโตของทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันภายใต้ค่าน้ำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ในขณะที่การเพิ่มความเข้มของแสงมีผลเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 11 - 29 องศาเซลเซียส มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเสนอว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกโหระพา กะเพรา และแมงลัก ควรประมาณ 29 องศาเซลเซียส

Roni et al. (2017) ได้ศึกษาการตอบสนองของสัณฐานใบ *Eustoma* และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อชนิดแสง LED พบว่า แสงสีน้ำเงินมีศักยภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าแสงสีขาวและแสงสีแดงจากลักษณะที่ดีของสัณฐานใบและกายวิภาคใบ โดยใบที่อยู่ใต้แสงสีน้ำเงินมีความหนาและมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่า ซึ่งทำให้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การชักนำปากใบ และอัตราการคายน้ำดีกว่า โดยเฉพาะภายใต้ความเข้มของแสงที่สูง และมีผลให้ลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบได้ดีกว่าภายใต้แสงสีขาวและแสงสีแดง ตามลำดับ ทั้งนี้ แสงสีน้ำเงินยังสนับสนุนใบพืชให้มีลักษณะของชั้น abaxial epidermal หนากว่าและมีรูปร่างของ palisade ที่มีความยาว กว้าง และเป็นทรงกระบอกกว่าแสงสีอื่น รวมถึงการแสดงออกทางเซลล์คุม (guard cell) ที่มีลักษณะยาว ลึก และพื้นที่ และมีความหนาแน่นของปากใบมากกว่า จึงสนับสนุนการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การชักนำปากใบ และการคายน้ำที่ความเข้มของแสงที่สูง

Hernandez and Kubota (2016) ได้ศึกษาการตอบสนองทางกายภาพของต้นกล้าแตงกวาที่อยู่ภายใต้ปริมาณโฟตอนแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงแตกต่างกัน โดยการใช้หลอด LED ได้แก่ 0:100 10:90 20:52 (สีเขียว 28%) 30:70 50:50 75:25 และ 100:0 ตามลำดับ พบว่า ความยาวลำต้น การยืดตัวของไฮโปคอติล (hypocotyl) และเอพิคอติล (epicotyl) ลดลง เมื่อแสงสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 75 จากกระบวนการของ cryptochromes photoreceptor ในการยับยั้งที่จะเกิดช่วงความยาวคลื่นแสง 390 - 480 นาโนเมตร และในแสงสีน้ำเงินร้อยละ 100 พืชมีความยาวลำต้น การยืดตัวของไฮโปคอติลและเอพิคอติลสูงสุด แต่มวลรากทั้งสดและแห้งลดลง ในส่วนของพื้นที่ใบลดลง เมื่อสัดส่วนแสงสีน้ำเงินมากขึ้นโดยเป็นการลดความจุในการรับแสง ยกเว้นในแสงสีน้ำเงินร้อยละ 0 และ 100 ในขณะที่มวลใบต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อแสงสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และการชักนำปากใบเพิ่มขึ้นจากภายใต้ความเข้มของแสงสีน้ำเงินที่สูงขึ้น ซึ่งมีอิทธิพลมาจากการกระตุ้นของแสงสีน้ำเงินต่อมวลใบต่อพื้นที่และความหนาแน่นของปากใบ

Liu et al. (2017) ได้ศึกษาแสงสีเขียวต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และประสิทธิภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผักสลัด



(*Lactuca sativa* L. var. *youmaica*) จากการขาดช่วงความยาวคลื่นแสง 480 - 560 นาโนเมตร พบว่า ผักสลัดที่ปลูกภายใต้แสงที่ขาดแสงสีเขียว (LG) มีชีวมวลรากแห้ง ปริมาณของรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สัดส่วนของคลอโรฟิลล์ต่อแคโรทีนอยด์ การดูดกลืนแสง และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ลดต่ำลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ การชั่งน้ำหนักใบ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ และการคายน้ำภายใต้แสง LG ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับภายใต้แสงกว้าง (CK) ยกเว้นพื้นที่ใบที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยกราฟการตอบสนองการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (Pn/Ci curves) แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงในช่วงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบต่ำภายใต้ LG จะเพิ่มขึ้นช้ากว่าภายใต้ CK ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง

Wangcharoen and Morasuk (2007) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลในสมุนไพรไทย ได้แก่ พริกชี้ฟ้าแดง พริกชี้ฟ้าเขียว พริกชี้ฟ้าแดง พริกชี้ฟ้าเขียว กะเพราแดง และกะเพราขาว โดยวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย 3 วิธี ได้แก่ ferric reducing antioxidant power (FRAP) 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) และ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลด้วยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS FRAP และ DPPH ที่สัมพันธ์กันด้วยวิธีการของดันแคน (Duncan) เท่ากับ 0.973 0.825 และ 0.683 ตามลำดับ อีกทั้ง พบว่าพืชที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงด้วยวิธี ABTS ได้แก่ พริกชี้ฟ้าเขียว พริกชี้ฟ้าแดง และกะเพราแดงโดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีปริมาณ 6.68 6.48 และ 5.91 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ กะเพราแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 3.35 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมน้ำหนักสด และพริกชี้ฟ้าแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 1.23 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนพริกชี้ฟ้าแดงปริมาณฟีนอลสูงสุด เท่ากับ 3.48 มิลลิกรัมเทียบเท่าแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด

สุวรรณณี แสนทวิสุข และคณะ (2555) ได้ศึกษาปริมาณฟีนอล สารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ *Escherichia Coli* และ *Staphylococcus* ของสมุนไพรบางชนิด ได้แก่ ใบบัวบก ใบขี้เหล็ก ใบตำลึง ใบแมงลัก และใบกะเพรา ในลักษณะตัวอย่างแบบผงหยาบและแบบสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 พบว่า ตัวอย่างที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณฟีนอลและความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์มากกว่าแบบผงหยาบ แต่แบบผงหยาบมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่า ส่วนสมุนไพรที่มีปริมาณฟีนอลสูงสุด คือ ใบบัวบกมีปริมาณ 51.576 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมา คือ ขี้เหล็กมีปริมาณ 35.95 มิลลิกรัมต่อกรัม ใบแมงลักมีปริมาณ 29.21 มิลลิกรัมต่อกรัม ใบกะเพรา มีปริมาณ 23.364 มิลลิกรัมต่อกรัม และใบตำลึงมีปริมาณ 18.919 มิลลิกรัมต่อกรัม พืชที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ ใบตำลึงมีปริมาณเท่ากับ

49.811 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมา คือ ใบกะเพรา ใบแมงลัก ขี้เหล็ก และใบบัวบกมีปริมาณเท่ากับ 29.765 24.573 21.525 และ 6.421 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ อีกทั้งความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์สูงสุดในใบบัวบก รองลงมา ได้แก่ ใบกะเพรา ใบแมงลัก ใบขี้เหล็ก และใบตำลึง ตามลำดับ

อรวรรณ ทองประสงค์ และคณะ (2014) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผักพื้นบ้านของไทย 5 ชนิด ได้แก่ กะเพราแดง สะระแหน่ ใบมะกรูด ดอกแค และชะอม พบว่า กะเพราแดงมีปริมาณฟีนอลสูงสุด โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu มีค่าเท่ากับ 771.38 มิลลิกรัมเทียบเท่า butylated hydroxytoluene (BHT) ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด รองลงมา ได้แก่ สะระแหน่ ใบมะกรูด ดอกแค และชะอม มีค่าเท่ากับ 529.77 486.09 381.61 และ 378.65 มิลลิกรัมเทียบเท่า BHT ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ อีกทั้งกะเพราแดงที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH มีค่ายับยั้งอนุมูลอิสระร้อยละ 50 (IC<sub>50</sub>) ต่ำสุดที่ความเข้มข้น 23.68 ส่วนในล้านส่วน แสดงว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ซึ่งมากกว่าผักพื้นบ้านทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ใบมะกรูด สะระแหน่ ดอกแค และชะอม ที่มีค่า IC<sub>50</sub> เท่ากับ 24.95 26.59 29.23 และ 41.22 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

Loughrin and Kasperbauer (2001) ศึกษาผลกระทบของแสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากวัสดุคลุมดินที่มีสีแตกต่างกัน ได้แก่ สีดำ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีเหลือง และสีขาว พบว่า แสงสะท้อนจากวัสดุที่มีสีแตกต่างกันก่อให้เกิดการตอบสนองของโหระพาจากพื้นที่ใบที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Leaf meter LI-3100 สารประกอบอะโรมาติกที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) และฟีนอลที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu สรุปได้ว่า การสะท้อนแสงของวัสดุคลุมสีขาวมีความเข้มแสงมากที่สุด และมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ใบสูงสุด วัสดุคลุมสีแดงมีการสะท้อนแสงสีแดงและแสงสีไกลแดงอันก่อให้เกิดการตอบสนองเชิงบวกต่อพื้นที่ใบ น้ำหนักสด และร้อยละของน้ำในใบ ส่วนแสงที่สะท้อนจากวัสดุคลุมสีเขียวและสีเหลืองกระตุ้นให้มีสารประกอบอะโรมาติกทั้งหมดในใบกะเพราสูงสุด เช่นเดียวกับปริมาณฟีนอลในใบโหระพาที่สูงกว่าการกระตุ้นด้วยแสงสะท้อนจากวัสดุคลุมสีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

Shiga et al. (2009) ศึกษาผลกระทบจากคุณภาพแสงต่อปริมาณกรดโรสมารินิก (rosmarinic acid) และสารต้านอนุมูลอิสระของโหระพา พบว่า โหระพาที่ปลูกด้วยดินผสมในโรงเรือนที่อุณหภูมิ 22 - 24 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวันภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ แสงสีแดง (660 นาโนเมตร) แสงสีขาว (613 นาโนเมตร) แสงสีน้ำเงิน (451 นาโนเมตร) และแสงควบคุม (แสงอาทิตย์) อีกทั้งมีความเข้มของแสงและระยะเวลาให้แสงที่แตกต่างกัน มีการตอบสนองต่อการผลิตกรดโรสมารินิกที่วิเคราะห์ด้วย Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) สารต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ข้อสรุปของงานวิจัยนี้ก็คือ โหระพาที่เพาะปลูกภายใต้

แสงสีแดงและแสงสีขาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลสูงกว่าภายใต้แสงสีน้ำเงิน ส่วนกรดโรสมารินิคมีการสะสมมากในโหระพาที่ปลูกภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาว โดยที่การสะสมที่เกิดจากแสงสองสีนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เฉพาะภายใต้แสงสีขาวที่ความเข้มของแสง 100 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีการสะสมกรดโรสมารินิคมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้ง การสะสมกรดโรสมารินิคมีความสัมพันธ์กับการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาทดลองเพิ่มขึ้น

Wongsen et al. (2013) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งใบและคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระในโหระพา แมงลัก และกะเพรา พบว่า มีความแตกต่างของสารต้านอนุมูลอิสระในตำแหน่งใบที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตำแหน่งยอด ตำแหน่งกลาง และตำแหน่งฐาน โดยที่กะเพรามีเบต้าแคโรทีนและกรดแอสคอร์บิกในตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งฐาน แต่มีปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่ง แมงลักมีเบต้าแคโรทีนทั้ง 3 ตำแหน่งไม่แตกต่างกัน ในขณะที่กรดแอสคอร์บิกมีปริมาณน้อยที่ตำแหน่งกลาง และมีปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์ที่ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งล่าง ส่วนโหระพามีเบต้าแคโรทีนและฟีนอลมากที่ตำแหน่งยอด แต่กรดแอสคอร์บิกเหมือนกันทุกตำแหน่ง ส่วนฟลาโวนอยด์มีปริมาณมากจากตำแหน่งยอดและตำแหน่งกลางมากกว่าตำแหน่งล่าง ทั้งนี้ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบีไม่มีความแตกต่างกันจากทุกตำแหน่งและทุกชนิดพันธุ์ กล่าวโดยสรุปว่า เบต้าแคโรทีน กรดแอสคอร์บิก ฟลาโวนอยด์ และปริมาณฟีนอลขึ้นกับตำแหน่งของใบและชนิดพันธุ์

Samuoliene et al. (2015) ศึกษาการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระในโหระพาและผักชีต่อความยาวคลื่นแสงสีแดงที่แตกต่างกัน พบว่า แสงที่มีความยาวคลื่น 638 และ 665 นาโนเมตร จากแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode: LED) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในโหระพาและผักชีที่ปลูกเป็นระยะเวลา 19 วัน (จากการเพาะต้นกล้า 10 วัน แล้วย้ายไปปลูกใน LED เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นปลูกใน HPS (High Pressure Sodium) + LED เป็นระยะเวลา 3 วัน) พบว่า โหระพามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH มากที่สุด (ร้อยละ 21) ภายใต้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นแสง 638 นาโนเมตร นอกจากนี้โหระพามีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณฟีนอล โทโคฟีรอล ลูทีน และเบต้าแคโรทีน ส่วนผักชีมีสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 15.3 ในความยาวคลื่นแสง 638 หรือ 665 นาโนเมตร แต่พบความสัมพันธ์ระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับกรดแอสคอร์บิกเท่านั้น ทั้งนี้การสนับสนุนแสงสีแดงจากหลอด LED ในการเพาะปลูกโหระพากระตุ้นการเพิ่มปริมาณฟีนอล โทโคฟีรอล กรดแอสคอร์บิก และสารต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีการสะสมลูทีนและเบต้าแคโรทีน ในขณะที่ผักชีมีการเพิ่มเบต้าแคโรทีนและสารต้านอนุมูลอิสระ ดังจะเห็นได้ว่า การตอบสนองต่อแสงของสารต้านอนุมูลอิสระมีกลไกการป้องกันแสงที่ถูกกระตุ้นด้วยปริมาณแสงและความยาวคลื่นแสงจำเพาะกับชนิดพันธุ์

Piovene et al. (2015) เปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระและประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (energy use efficiency: EUE) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ LED และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5 และสัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.7 1.1 1.5 5.5 และแสงควบคุม จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP สารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี aluminum chloride และสัญญาณวิทยาของสตรอร์วเบอร์รี่ และโหระพา พบว่า โหระพาภายใต้แสง LED ด้วยสัดส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่ 0.7 มีน้ำหนักรากและ EUE มากกว่าสัดส่วนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากแสงควบคุม ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอล และฟลาโวนอยด์ในโหระพาภายใต้แสง LED ด้วยสัดส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินแต่ละสัดส่วนไม่มีความแตกต่างกัน และทุกสัดส่วนแสงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากแสงควบคุม

Carvalho et al. (2016) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณวิทยา สารต้านอนุมูลอิสระ และสารระเหยจากคุณภาพแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ แสงสีน้ำเงิน (450 นาโนเมตร) แสงสีเขียว (520 นาโนเมตร) แสงสีเหลือง (600 นาโนเมตร) แสงสีแดง (660 นาโนเมตร) และแสงสีไกลแดง (735 นาโนเมตร) โดยดำเนินการปลูกโหระพา 7 วัน แล้วย้ายต้นกล้าไปในโรงเรือนและตู้ควบคุมการเจริญเติบโต (Chamber) ภายใต้แสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 14 วัน จากนั้นเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต สารระเหย (Volatile) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) และสารต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Oxygen radical absorbance capacity-fluorescein (ORAC-FL) ทุกสัปดาห์ พบว่า สารระเหยเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 และสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 โดยพบฟีนิลโพรพานอยด์ เซสควิเทอร์พีนอยด์ และโมโนเทอร์พีนมาก ตามลำดับ และพบสารระเหยมากในแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน ผสมกับแสงสีแดงและแสงสีไกลแดงจากหลอด LED แต่การปลูกโหระพาในโรงเรือนจะทำให้ได้สารระเหย สารต้านอนุมูลอิสระ น้ำหนักราก พื้นที่และความสูงมากกว่าปลูกในตู้ควบคุมการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในเดือนมิถุนายน เนื่องจากมีความเข้มของแสงและช่วงคลื่นแสงครอบคลุมมากกว่าการปลูกภายใต้ LED จากที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่า ปัจจัยทางด้านฤดูกาล อุณหภูมิ ช่วงเวลา และระยะเวลาให้แสงก่อให้เกิดการตอบสนองของพืช ได้แก่ สารระเหย สารต้านอนุมูลอิสระ และสัญญาณวิทยาพืช

Bantis et al. (2016) วิเคราะห์ลักษณะทางสัญญาณวิทยาและพฤกษเคมีของ *Ocimum basilicum* 2 ชนิด ได้แก่ Lettuce Leaf (LL) และ Red Rubin (RR) ที่ปลูกภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ หลอด LED และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ประกอบไปด้วยชนิดแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ แสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีแดงต่อแสงสีไกลแดง ที่ควบคุมการปลูกเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของ LL สูงภายใต้ G2 (แสงสีแดงสูง และแสงสีแดงต่อแสงสีไกลแดงต่ำ) AP67 (แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงระดับกลาง และแสงสีแดงต่อแสงสีไกลแดงต่ำ)

และแสงควบคุม แต่ RR มีอัตราการเจริญเติบโตสูงภายใต้ G2 เท่านั้น ความยาวรากของ LL ภายใต้ AP673L (แสงสีแดงสูง และแสงสีแดงต่อแสงสีไกลแดงสูง) ยาวกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ NS1 (แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงสูง แสงสีแดงต่อแสงสีไกลแดงสูง และ 1% UV) ในขณะที่ RR ไม่มีความแตกต่าง ชีวมวลของพืชทั้ง 2 ชนิด ภายใต้แสง NS1 AP67 และ G2 สูงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแสงควบคุม อีกทั้งมีอัตราส่วนรากต่อส่วนเหนือดิน (root:shoot) สูงเมื่อปลูกภายใต้แสง NS1 และต่ำภายใต้แสงควบคุมทั้ง 2 ชนิด ส่วนปริมาณฟีนอลใน LL สูงอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ NS1 เมื่อเทียบกับทุกเงื่อนไขแสงอื่น ๆ แต่ใน RR มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะใต้แสง G2 และแสงควบคุม ทั้งนี้การตอบสนองของพืชแต่ละชนิดขึ้นกับระยะเวลาการเจริญเติบโตและชนิดแสง

Dou et al. (2017) ศึกษาการตอบสนองของสมุนไพรรูปต่อปัจจัยชนิดแสง อันประกอบไปด้วย แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน แสงสีรอง (เช่น แสงสีฟ้า แสงสีเขียว แสงสีเหลือง แสงสีส้ม) และแสงสีที่ผสมกัน พบว่า ช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetically active radiation: PAR) โดยเฉพาะแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและสัญญาณวิทยา เช่น คลอโรฟิลล์เอและบี เอนไซม์ คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น หากนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า แสงสีแดงเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบจึงเป็นการส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงและเพิ่มการแบ่งเซลล์จึงทำให้พื้นที่ใบสูง แต่ไม่มีการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบไปสู่สม ส่วนแสงสีน้ำเงินเพิ่มอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์เอและบี เอนไซม์ Rubisco ส่งเสริมการเปิดปากใบ และการผลิตสารประกอบฟีนอลมากกว่าแสงสีแดง แต่พบว่าพื้นที่ใบลดลง ทั้งนี้การใช้แสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงินดีกว่าใช้แสงสีเดียว แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่อสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินถึงกำหนด โดยมีแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นปัจจัยความเครียดแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ก็ขึ้นกับแต่ละชนิดพันธุ์ ในส่วนของโหระพาที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินมากกว่า 1 ชั่วโมง

Son and Oh (2013) ศึกษารูปร่างใบ การเจริญเติบโต และสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดแดงและเขียวภายใต้หลอด LED ที่สัดส่วนแสงสีน้ำเงินกับแสงสีแดงแตกต่างกัน อันประกอบด้วย 0:100 13:87 26:74 35:65 47:53 และ 59:41 โดยมีความเข้มของแสง 171 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน จากการวิเคราะห์การตอบสนองของผักสลัดแดงและเขียว ได้แก่ วิเคราะห์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของหัวและราก ลักษณะของใบด้วยเครื่อง LI-3000A ปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่อง SPAD-502 ปริมาณฟีนอลด้วยวิธี Folin-ciocalteu ปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี spectrophotometric และสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS จากการทดลองแสง เมื่อสัปดาห์ที่ 2 และ 4 พบว่า แสงสีแดงทั้งหมด (0:100) ทำให้ผักสลัดทั้ง 2 ชนิด มีความกว้าง ความยาว และพื้นที่ของใบสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ และมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่า 4 เท่า เมื่อเทียบกับภายใต้ 59:41 ดังนั้นการเพิ่มแสงสีน้ำเงินมีผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด ส่วนคลอโรฟิลล์ ฟีนอล

ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดทั้ง 2 ชนิด ภายใต้เงื่อนไขแสงสีน้ำเงิน เช่น 35:65 47:53 และ 59:41 สูงกว่าเงื่อนไขที่ไม่มีแสงสีน้ำเงิน (0:100) อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวโดยสรุปได้ว่า สัดส่วนของแสงสีน้ำเงินกับแสงสีแดงทำให้สัณฐานวิทยาและคุณสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระของผัก สลัดแดงและเขียวแตกต่างกัน



ตารางที่ 2.4 สรุปรายละเอียดงานวิจัยที่รายงานถึงขั้นตอนการอนุมูลอิสระ

ผู้เขียน	พืช	ตัวแปร	วิธีการ	ปัจจัยศึกษา	ผลการศึกษา
Wangcha roen and Morasuk (2007)	พริกชี้หนูแดง พริกชี้หนูเขียว พริกชี้ฟ้าแดง พริกชี้ฟ้าเขียว	สารต้านอนุมูลอิสระ	FRAP	-	กะเพราแดงมีปริมาณ 3.35 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมน้ำหนักสด* โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอล พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.825
	กะเพราแดง และกะเพราขาว		ABTS		พริกชี้หนูเขียว พริกชี้หนูแดง และกะเพราแดงมีปริมาณ 6.68 6.48 และ 5.91 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอล พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.973
สุวรรณณี แสนทวี สุข และคณะ (2555)	ใบบวบ ใบชี้เหล็ก	ฟีนอล	Folin-Ciocalteu	ชนิดพันธุ์	พริกชี้ฟ้าแดงมีปริมาณ 1.23 มิลลิกรัมวิตามินซีต่อกรัมน้ำหนักสด* มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอล พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.683
	ใบตำลึง				พริกชี้หนูแดงมีปริมาณ 3.48 มิลลิกรัมเทียบเท่าแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด*
สุพรรณิ	ใบบวบ ใบชี้เหล็ก	ฟีนอล	Folin-Ciocalteu	ชนิดพันธุ์	ใบบวบ ใบชี้เหล็ก ใบแมงลัก ใบกะเพรา และใบตำลึงมีปริมาณ 51.576 35.95
	ใบตำลึง				29.21 23.364 และ 18.919 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ
สุข และคณะ (2555)	ใบแมงลัก และใบกะเพรา	สารต้านอนุมูลอิสระ	DPPH		ใบตำลึง ใบกะเพรา ใบแมงลัก ใบชี้เหล็ก และใบบวบมีปริมาณ 49.811 29.765
					24.573 21.525 และ 6.421 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

หมายเหตุ: \* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05

ผู้เขียน	พืช	ตัวแปร	วิธีการ	ปัจจัยศึกษา	ผลการศึกษา	
อรรชรินทอง ประสงค์ และคณะ (2014)	กะเพราแดง สาระแทน ใบมะกรูด ดอกแค และชะอม	พีนอล	Folin- Ciocaltue	ชนิดพันธุ์	กะเพราแดง สาระแทน ใบมะกรูด ดอกแค และชะอมมีปริมาณ 771.38 529.77 486.09 381.61 และ 378.65 มิลลิกรัมเทียบเท่า BHT ต่อ 100 กรัม นำหนักสดตามลำดับ	
		ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	DPPH			กะเพราแดง ใบมะกรูด สาระแทน ดอกแค และชะอมมีปริมาณ 23.68 24.95 26.59 29.23 และ 41.22 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ
Loughrin and Kasperba uer (2001)	โหระพา	อะโรมาติก	GC	วัสดุคลุมดิน	ภายใต้วัสดุคลุมสีเขียวและสีเหลืองให้ปริมาณสูงสุด	
		พีนอล	Folin- Ciocaltue			ภายใต้วัสดุคลุมสีเขียวและสีเหลืองให้ปริมาณสูงสุด*
Shiga et al. (2009)	โหระพา	กรดโรสมารินิค	UPLC	ชนิดแสงและระยะเวลาในการทดลอง	ภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาวให้ปริมาณสูง (เฉพาะภายใต้แสงสีขาวที่ความเข้มของแสง 100 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง*) มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาทดลองเพิ่มขึ้น	
		สารต้านอนุมูลอิสระ	DPPH			ภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาวให้ปริมาณมากกว่าแสงสีน้ำเงิน
		พีนอล	Folin- Ciocaltue			ภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาวให้ปริมาณมากกว่าแสงสีน้ำเงิน
หมายเหตุ: *	หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ	ความเชื่อมั่นที่	0.05			



ผู้เขียน	พืช	ตัวแปร	วิธีการ	ปัจจัยศึกษา	ผลการศึกษา		
					กะพรา	แมงลัก	โหระพา
Wongsen et al. (2013)	โหระพา แมงลัก และกะพรา	เบต้าแคโรทีนกรดแอสคอร์บิกฟีนอลฟลาโวนอยด์สารต้านอนุมูลอิสระ	spectrophotometric spectro photometric Folin-Ciocalteu spectro photometric DPPH, FRAP	ชนิดพันธุ์และตำแหน่งใบของพืช	ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งฐาน*	ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งกลางและฐาน*	
				ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งฐาน	ตำแหน่งกลางต่ำสุด*	ตำแหน่งยอดและกลางมากกว่าตำแหน่งฐาน*	
				ไม่แตกต่างกัน	ตำแหน่งล่างต่ำสุด*	ตำแหน่งยอดและกลางมากกว่าตำแหน่งฐาน*	
				ไม่แตกต่างกัน	ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งกลางและฐาน*	ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งกลางและฐาน*	
				ไม่แตกต่างกัน	ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งกลางและฐาน*	ตำแหน่งยอดและกลางมากกว่าตำแหน่งฐาน*	
				ไม่แตกต่างกัน	ตำแหน่งยอดมากกว่าตำแหน่งกลางและฐาน*	ตำแหน่งยอดและกลางมากกว่าตำแหน่งฐาน*	
Samuolie หมักยี่เห็ด* (2015)	โหระพาและผักชี หมายถึง มินยี่สำคัญทางสรีรวิทยา	สารต้านอนุมูลอิสระ	DPPH ความเข้มข้นที่ 0.05 และความยาวคลื่นแสง	ชนิดพันธุ์, ชนิดและแสง	โหระพามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด* (ร้อยละ 21) ภายใต้แสงสีแดง (638 นาโนเมตร) อีกทั้ง มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอล โทโคฟีรอล ลูทีน และเบต้าแคโรทีน ส่วนผักชีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมาก (ร้อยละ 15.3) ภายใต้แสงสีแดง (638 หรือ 665 นาโนเมตร) และมีความสัมพันธ์กับกรดแอสคอร์บิกเพียงเท่านั้น	โหระพา	
	ฟีนอล	Folin-Ciocalteu	แสง		โหระพามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด* (ร้อยละ 21) ภายใต้แสงสีแดง (638 นาโนเมตร) อีกทั้ง มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอล โทโคฟีรอล ลูทีน และเบต้าแคโรทีน ส่วนผักชีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมาก (ร้อยละ 15.3) ภายใต้แสงสีแดง (638 หรือ 665 นาโนเมตร) และมีความสัมพันธ์กับกรดแอสคอร์บิกเพียงเท่านั้น		

ผู้เขียน	พืช	ตัวแปร	วิธีการ	ปัจจัยศึกษา	ผลการศึกษา
Piovene et al. (2015)	สตรอว์เบอร์รีและ โหระพา	สารต้าน อนุมูลอิสระ ฟีนอล	FRAP Folin- Ciocaltue	สัดส่วน แสงสีแดง ต่อแสงสี น้ำเงิน	โหระพาไม่มีการสะสมของสารทั้ง 2 ชนิด ส่วนผักที่มีการสะสมแต่แคโรทีน  โหระพาภายใต้แสง LED ด้วยสัดส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินไม่มีความแตกต่างกัน แต่ทุกสัดส่วนแสงให้ปริมาณที่แตกต่างจากแสงควบคุม*
หมายเหตุ: * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05					
Carvalho et al. (2016)	โหระพา	สาร ระเหย	GC	สถานที่, ชนิด แสง และ ระยะเวลาใน	โหระพาที่ปลูกในโรงเรือนมีปริมาณมากกว่าปลูกในตู้ควบคุม โดยเฉพาะในเดือน มิถุนายน เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม อีกทั้ง มีปริมาณเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 และสูงสุดใบสัปดาห์ที่ 4 ภายใต้แสงสีแดง และภายใต้แสงสีน้ำเงินผสมกับแสงสี

ผู้เขียน	พืช	ตัวแปร	วิธีการ	ปัจจัยศึกษา	ผลการศึกษา
				การเก็บเกี่ยว	แดงและแสงสีไกลแดงจากหลอด LED
		สารต้านอนุมูลอิสระ	ORAC-FL		โพรเซพที่ปลูกในโรงเรือนมีปริมาณมากกว่าปลูกในตู้ควบคุม และปลูกภายในโรงเรือนแตกต่างจากปลูกภายใต้แสง LED แสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง และแสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงิน*
Bantis et al. (2016)	Lettuce Leaf (LL) และ Red Rubin (RR)	ฟีนอล	Folin-Ciocaltue		LL สูงภายใต้ NS1 (แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงสูง แสงสีแดงต่อแสงสีไกลแดงสูง และ 1% UV)* เมื่อเทียบกับเงื่อนไขแสงสีอื่น ๆ แต่ใน RR สูงภายใต้แสง G2 (แสงสีแดงสูง และแสงสีแดงต่อแสงสีไกลแดงต่ำ) และแสงควบคุม*
Son and Oh (2013)	ผักสลัดแดงและเขียว	คลอโรฟิลล์ ปริมาณฟลาโวนอยด์	SPAD-502 spectrophotometric	สัดส่วนแสงสีน้ำเงินกับแสงสีแดง และ	ผักสลัดทั้ง 2 ชนิด ภายใต้อินเทนซิวิตีแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีแดง ได้แก่ 35:65 47:53 และ 59:41 สูงกว่าเงื่อนไขที่ไม่มีแสงสีน้ำเงิน ได้แก่ 0:100*
หมายเหตุ: * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05					
			colorimetric		
		สารต้านอนุมูลอิสระ	ABTS	เกี่ยว	

หมายเหตุ: \* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

การศึกษานี้ใช้พื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ ได้แก่

3.1.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเพาะปลูกพืชและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.2 ห้องปฏิบัติการภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการประดิษฐ์แผงไฟ

#### 3.2 วัสดุและอุปกรณ์

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ซึ่งเป็นเกรดวิเคราะห์ (analytical reagent grade) ทั้งหมด

3.2.1.1 เมทานอล (Methanol:  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ของบริษัท Qrec

3.2.1.2 ตัวทำปฏิกิริยา Folin-Ciocalteu (FCR) ของบริษัท LOBA

3.2.1.3 กรดแกลลิก ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$ ) ของบริษัท Riedel

3.2.1.4 โซเดียมอะซิเตรต ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) ของบริษัท Carlo

3.2.1.5 ตัวทำปฏิกิริยา DPPH ( $\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_5\text{O}_6$ ) ของบริษัท Sigma

3.2.1.6 เอทานอล (Ethanol) ของบริษัท Carlo

3.2.1.7 แอซีเตต ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ) ของบริษัท Fluka

3.2.1.8 กรดแอสคอร์บิก ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) ของบริษัท POCH

3.2.1.9 กรดซิตริก ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) ของบริษัท Fluka

3.2.1.10 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ของบริษัท Fluka

3.2.1.11 โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ของบริษัท Carlo

3.2.1.12 โพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) ของบริษัท M&B

3.2.1.13 กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ของบริษัท Qrec

3.2.1.14 ซิลิกาเจล (silica gel)

3.2.1.15 Soda lime

### 3.2.2 อุปกรณ์

3.2.2.1 เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter) ของบริษัท HACH รุ่น Pocket Pro<sup>+</sup>  
pH

3.2.2.2 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC meter) ของบริษัท HACH รุ่น sension 156

3.2.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของบริษัท Metter Toledo รุ่น MS204S  
และเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของบริษัท Sartorius รุ่น A4100 S

3.2.2.4 เครื่องเขย่าสาร (Shaker incubator) ของบริษัท Laboshake รุ่น LS5

3.2.2.5 ชุดกรองสารด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 40 ของบริษัท Whatman

3.2.2.6 เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือ Portable photosynthesis  
measurement system รุ่น Li-6400XT บริษัท LI-COR ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.2.7 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ของบริษัท labomed รุ่น  
SPECTRO SC

3.2.2.8 เครื่องวัดความเข้มของแสง (Lighting PassportSpectrum meter) ของบริษัท  
asensetek รุ่น ALP-01

### 3.2.3 วัสดุเพาะปลูก

3.2.3.1 เมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิด ของบริษัท เจียไต๋ จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

3.2.3.2 ฟองน้ำ

3.2.3.3 ถ้วยฐานสูง

3.2.3.4 แผ่นโฟม

3.2.3.5 ระบบเติมอากาศจากปั๊มลม 4 ทาง กำลังไฟ 6 วัตต์ ด้วยแรงลม 6 ลิตรต่อนาที  
ของ บริษัท Yamano รุ่น AP-08W

3.2.3.6 ระบบไฟจากหลอดไฟ LED กำลังไฟ 3 วัตต์ ของบริษัท BOGDAN LED

3.2.3.7 ปุ๋ยเอและปุ๋ยบีผสมที่ความเข้มข้น 700 – 1,120 ส่วนในล้านส่วน

3.2.3.8 ภาชนะปลูก

### 3.3 ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย

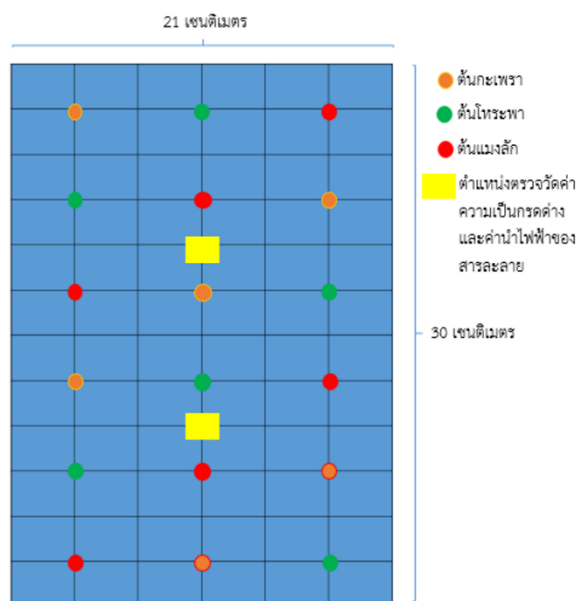
ศึกษาการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการ  
เจริญเติบโตของพืชสกุล *Ocimum* ภายใต้เงื่อนไขชนิดแสงที่แตกต่างกัน โดยมีขั้นตอนในการ  
ดำเนินการแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 3.3.1 เตรียมเมล็ดและเตรียมการปลูก

การเตรียมเมล็ดและเตรียมการปลูกเป็นขั้นตอนเริ่มต้นการศึกษา โดยเริ่มจากนำเมล็ดไปแช่น้ำบนกระดาษชำระเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ไม่ควรให้น้ำมากจนเมล็ดไม่สามารถสัมผัสอากาศได้ จากนั้น นำเมล็ดที่แช่น้ำเสร็จแล้วไปใส่ในฟองน้ำลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 1 นิ้ว ที่ทำการผ่าตำแหน่งลงเมล็ดแล้ว โดยให้มีจำนวนเมล็ดมากกว่าที่ต้องการ และนำไปวางบนถาดที่มีสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 70 – 200 ส่วนในล้านส่วน โดยให้ระดับของสารละลายอยู่ที่ประมาณระดับความสูง 1 เซนติเมตรจากฐานฟองน้ำ เพาะกล้าเป็นเวลา 5 วัน ก่อนนำไปปลูกลงในภาชนะปลูกในขั้นเตรียมการปลูกต่อไป

ในการศึกษานี้จะใช้การปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์ด้วยระบบรากแช่ แบบเติมอากาศ เนื่องจากสะดวกต่อการควบคุมและดูแล ดังรายละเอียดในบทที่ 2 หัวข้อไฮโดรพอนิกส์ (Hydroponics) ขั้นตอนการเตรียมปลูกนี้ เริ่มจากการจัดตั้งโครงสร้างหรือโรงเรือนให้มีลักษณะปิดกั้นน้ำฝนและป้องกันการทำลายจากสัตว์ จากนั้นเตรียมสารละลายธาตุอาหารในการเพาะปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์จากปุ๋ยเอและปุ๋ยบีในภาชนะปลูกที่ความเข้มข้นของสารอาหาร 700 - 1,120 ส่วนในล้านส่วน อีกทั้ง ปรับสารละลายให้มีความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 โดยใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $K_2CO_3$ ) ให้มีความเป็นด่างมากขึ้น และใช้ฟอสฟอริกและซิงค์ ( $H_3PO_4$  และ  $C_6H_8O_7$ ) ให้มีความเป็นกรดมากขึ้น และค่านำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) อยู่ในช่วง 1.8 – 2.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ดำเนินการเพาะปลูกพืชสกุล *Ocimum* ไปตามวิธีการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ของ ดิเรก ทองอร่าม (2550) โดยติดตั้งปั๊มลมสำหรับเติมอากาศ เพื่อให้ออกซิเจนแก่สารละลายธาตุอาหารตลอดระยะเวลาปลูก โดยให้ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) มากกว่า 8 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากนั้น ทำการติดตั้งระบบไฟ LED ให้เป็นไปตามเงื่อนไขศึกษา โดยมีความเข้มของแสง 200 – 300 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ( $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) เนื่องจาก Costa et al. (2013) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis) ของโหระพาจากค่าเฉลี่ยระหว่างจำนวนโฟตอนของแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic photon flux density: PPF) พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงของความเข้มแสงดังกล่าว (รูปที่ 2.9) หลังจากนั้นเจาะรูแผ่นโฟมให้มีขนาดเท่ากับถ้วยฐานสูงและให้มีระยะห่างกันอย่างพอสมควร เพื่อให้แสงกระจายสู่ใบพืชสกุล *Ocimum* อย่างทั่วถึงตลอดทั้งต้น และปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด แบบสุ่มตามหลักสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งสำหรับปลูกพืชสกุล *Ocimum* ในภาชนะปลูกด้วยวิธีไฮโดรพอนิกส์

### 3.3.2 ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัด

3.3.2.1 ติดตั้งระบบไฟ LED ให้ห่างจากภาชนะปลูกพืช ประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อให้พืชได้รับความเข้มของแสง 200 – 300 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตลอดระยะเวลาในการศึกษา โดยคำนึงถึงการกระจายแสงให้พืชได้รับความเข้มของแสงที่เท่ากัน

3.3.2.2 ติดตั้งระบบให้อากาศแก่สารละลายธาตุอาหารด้วยปั๊มลมที่มีกำลังไฟ 6 วัตต์ แรงดันลม 6 ลิตรต่ออนาที เพื่อให้สารละลายธาตุอาหารมีปริมาณออกซิเจนให้แก่รากของพืช และป้องกันการเน่าเสียของสารละลายธาตุอาหาร

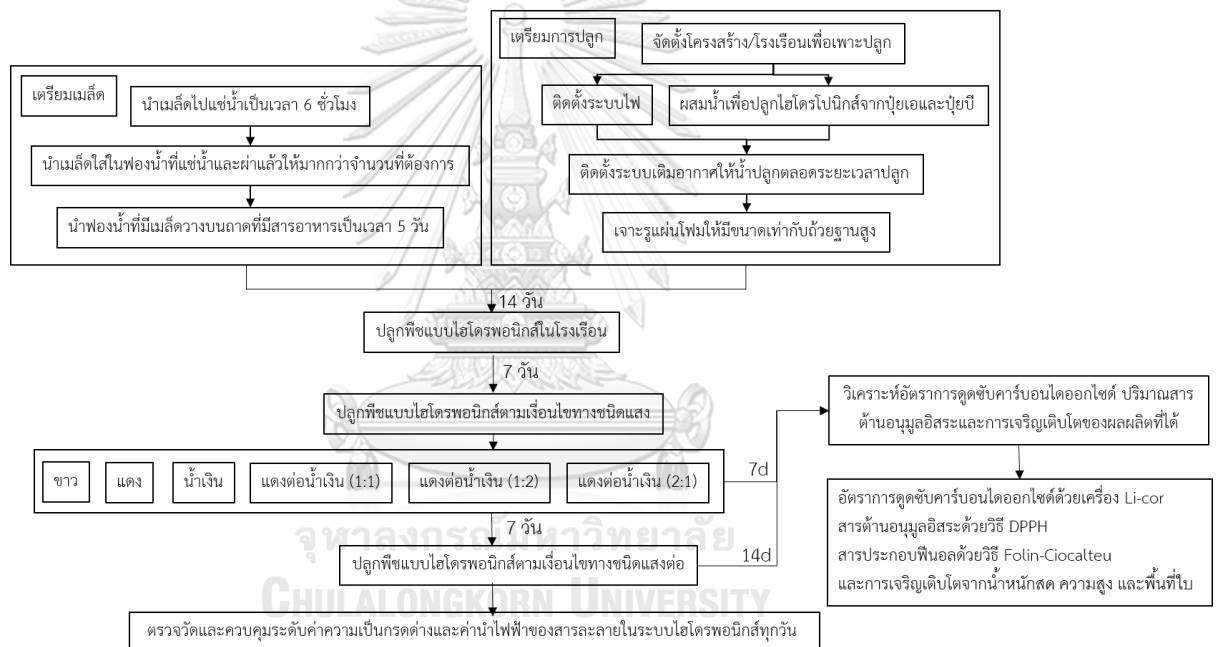
3.3.2.3 ตรวจวัดความเข้มของแสงและความยาวคลื่นแสงจากหลอด LED ด้วยเครื่อง Lighting PassportSpectrum meter ของบริษัท Asensetek รุ่น ALP-01 ที่ระดับเรือนยอด เชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชัน (application) ผ่านบลูทูธ (bluetooth) เพื่อส่งข้อมูลการวิเคราะห์แสงมายังโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์

3.3.2.4 ตรวจวัดค่าความเป็นกรด - ด่างด้วยเครื่อง pH meter ของบริษัท HACH รุ่น Pocket Pro<sup>+</sup> pH และค่านำไฟฟ้าด้วยเครื่อง EC meter ของบริษัท HACH รุ่น sension 156 ที่ตำแหน่งดังรูปที่ 3.1

### 3.3.3 ทดลอง

การศึกษ้อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอล และการเจริญเติบโตของพืชสกุล *Ocimum* ภายใต้เงื่อนไขชนิดแสง LED ที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย

แสงสีขาว แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดงต่อน้ำเงินที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (1 ต่อ 1 2 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2) จำนวน 9 ต้นต่อชนิดต่อเงื่อนไข และทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยทำการเพาะต้นกล้าเป็นระยะเวลา 5 วัน และนำไปปลูกต่อภายในโรงเรือนเป็นระยะเวลา 14 วัน แล้วย้ายต้นกล้าไปไว้ภายใต้เงื่อนไขทางแสงตามที่กำหนดชนิดละ 6 ต้นต่อเงื่อนไขต่อการทดลองซ้ำจนครบ 7 วัน และทำการเก็บตัวอย่างที่อยู่ภายใต้ทดลองเงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน (7 วัน) จำนวนชนิดละ 3 ต้นต่อเงื่อนไขทางแสง ส่วนต้นที่เหลือชนิดพันธุ์ละ 3 ต้น นั้นปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงต่อเป็นเวลาอีก 7 วัน และทำการเก็บตัวอย่างที่อยู่ภายใต้ทดลองเงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 14 วัน (14 วัน) ขั้นตอนการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และทำการวิเคราะห์อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอล และการเจริญเติบโตของพืชสกุล *Ocimum* ในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.2 สรุปขั้นตอนการศึกษา

### 3.3.4 วิเคราะห์อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

#### 3.3.4.1 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด

ทำการเก็บข้อมูลการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของใบที่รับแสงเต็มที่ โดยการเลือกใบตัวอย่างที่มีลักษณะสมบูรณ์และโตเต็มที่ (fully expanded leaf) และเป็นใบที่ได้รับแสงเต็มที่ (sun leaf) จำนวน 1 ใบต่อต้น ชนิดละ 3 ต้นต่อเงื่อนไขต่อการทดลอง ทำการวัดการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ( $A_{max}$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชต่อความเข้มข้น



คาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืช (A-Ci curve) ของใบตัวอย่างด้วยเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือ Portable photosynthesis measurement system โดยควบคุมอากาศจากบรรยากาศไม่ให้มีไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์จากการผ่านวัสดุดูดซับ (desiccant และ Scrubber tube ตามลำดับ) (LI-COR, Inc., 1999) โดยให้มีคาร์บอนไดออกไซด์มาจากแหล่งกำเนิด (CO<sub>2</sub> tube) เท่านั้น และให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นของ 0 50 100 200 400 600 800 1000 และ 1200 ส่วนในล้านส่วน ด้วยอัตราการไหล 500 ไมโครโมลต่อวินาที ซึ่งการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลจากความแตกต่างของคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์อ้างอิงและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผ่านจาก chamber อีกทั้ง ควบคุมความเข้มของแสงให้อยู่ที่ 500 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Park et al., 2016)

การหาค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดจากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่าง ๆ จากการหาสมการด้วยโปรแกรม SigmaPlot 12.0 แล้วจึงทำการหาค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด โดยการใช้ลิมิต (Limit) ของสมการฟังก์ชันที่ได้มาจากสมการพื้นฐาน  $y=a(1-e^{-bx})+y_0$  หลังจากการใช้ลิมิตของข้อมูลจะได้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุดของข้อมูลชุดนั้น ๆ (ดำรง ทิพย์โยธา, 2545)

#### 3.3.4.2 การทำนายการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคต

เมื่อได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (C<sub>i</sub>) แล้ว สามารถใช้สมการดังกล่าวในการทำนายค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคต โดยอาศัยค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ในใบต่อคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ในแต่ละชนิดพันธุ์และแต่ละเงื่อนไขที่มีความแตกต่างกัน (Sage, 1994; Hogewoning et al., 2010) โดยเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะแสดงผลค่า C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> ในใบที่ทำการวัดนั้น ๆ ด้วย ผู้วิจัยจึงคำนวณค่าเฉลี่ยของ C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> ในใบที่ทำการวัดของแต่ละกรณีศึกษา แล้วนำมาหาค่า C<sub>i</sub> ในแต่ละภาพการณ์ของ RCPs ซึ่งมีการทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศในอีก 100 ปีข้างหน้า (หรือ C<sub>a</sub> ในที่นี้) เป็น 475 650 850 และ 1,370 หนึ่งในล้านส่วน (ppm) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (equivalent carbon dioxide; CO<sub>2</sub>e) เมื่อได้ค่า C<sub>i</sub> ของแต่ละกรณี RCPs แล้ว จึงนำไปทำนายค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคตจากสมการอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณได้จากวิธีในหัวข้อ 3.3.4.1

### 3.3.5 วัดการเจริญเติบโต

3.3.5.1 วัดพื้นที่ใบที่ขยายเต็มที่ (fully expanded leaves) จำนวน 3 ใบ โดยถ่ายรูปที่มีสเกลพื้นหลัง จากนั้นวิเคราะห์พื้นที่ใบด้วยโปรแกรม ImageJ (Schneider et al., 2012) โดยปรับอัตราส่วนของขนาดภาพด้วย Magnifying glass และ Straight line selection บนสเกลของพื้นหลัง

3.3.5.2 วัดผลผลิตจากน้ำหนักใบสด โดยตัดใบบริเวณลำต้นของต้นตัวอย่างและชั่งน้ำหนักใบสดทั้งหมดด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

3.3.5.3 วัดความสูงของต้นตัวอย่างที่บริเวณผิวของวัสดุปลูกจนถึงปลายยอด

### 3.3.6 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการสกัดสารละลายตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอล ด้วยการนำตัวอย่างใบใส่ในสารละลายเมทานอล 15 มิลลิลิตร จากนั้น นำหลอดทดลองมาป้องกันแสง โดยการห่อด้วยแผ่นอะลูมิเนียมและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยชุดกรองสาร และทำการเก็บสารสกัดตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลาย โดยเก็บรักษาสภาพสารละลายตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ กระบวนการวิเคราะห์ทั้งหมดจะอยู่ภายใต้สภาวะที่มีแสงน้อยหรือในที่มีมืดด้วยการป้องกันแสงจากแผ่นอะลูมิเนียมดังกล่าว รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณสาร มีดังต่อไปนี้

#### 3.3.6.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH จะใช้วิธีการของ Sharma and Bhat (2009) เริ่มต้นจากเตรียมสารละลาย DPPH ให้มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ใน buffered methanol จากนั้น นำสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.8 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร โดยใช้เมทานอลแทนสารละลายตัวอย่าง เพื่อแก้ไขความแปรปรวนของสี สารละลายตัวอย่าง และใช้เมทานอล ร้อยละ 95 4 มิลลิลิตร และสารละลาย DPPH 4 มิลลิลิตร เป็นสารควบคุมการดูดกลืนแสงคาดเคลื่อน จากนั้น นำไปไว้ในความมืดเป็นระยะเวลา 30 นาที ก่อนวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เพื่อทดสอบหาปริมาณต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดจะเทียบค่า DPPH radical กับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0 - 50 ไมโครโมล ในหน่วยมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแอสคอร์บิกต่อกรัมของตัวอย่าง ( $\text{mg AA g extract}^{-1}$ ) โดยคำนวณค่า DPPH radical ได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = \frac{(A_0 - A_1) - (B - C)}{(A_0 - A_1)} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย

A1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ ร้อยละ 95 ของเมทานอล 4 มิลลิลิตร

A0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH 4 มิลลิลิตร

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับ 3.8 มิลลิลิตรของสารละลาย DPPH

C คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับ 3.8 มิลลิลิตรของเมทานอล

### 3.3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ตามวิธีการของ Chen et al. (2002) ดำเนินการโดยนำสารละลายตัวอย่างมา 0.4 มิลลิลิตร ผสมกับ 2.8 มิลลิลิตรของร้อยละ 2 โซเดียมคาร์บอเนต เป็นระยะเวลา 2 นาที จากนั้นใส่ 0.8 มิลลิลิตรของ 1 นอร์มอล สารละลาย Folin-Ciocalteu (FCR) แล้วนำไปไว้ในความมืดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 25 นาที ก่อนวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เพื่อทดสอบหาปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่าง ( $\text{mg GAE g extract}^{-1}$ )

## 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอล และการเจริญเติบโตมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 23.0 เพื่อหาเงื่อนไขของแสงจากหลอด LED ที่เหมาะสม สำหรับการเพาะปลูกพืชสกุล *Ocimum* ด้วยวิธีไฮโดรพอนิกส์ โดยศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขชนิดแสงต่ออัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ( $n=9$ ), ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ( $n=9$ ) และการเจริญเติบโตของพืชสกุล *Ocimum* โดยให้เงื่อนไขชนิดแสง ประกอบด้วย แสงสีขาว แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (1 ต่อ 1 2 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2) เป็นตัวแปรต้น และอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการเจริญเติบโตเป็นตัวแปรตาม ทำการเปรียบเทียบข้อมูลของพืชที่ปลูกภายใต้แต่ละเงื่อนไขทางชนิดแสงที่แตกต่างกันภายใต้ระยะเวลาให้แสงเดียวกัน (R B W 1R:1B 2R:1B และ 1R:2B) และเปรียบเทียบข้อมูลของพืชที่ปลูกภายใต้แสงเดียวกัน แต่ระยะเวลาให้แสงที่แตกต่างกัน (7 วัน และ 14 วัน) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 โดยเงื่อนไขทางชนิดแสงและเงื่อนไขทางระยะเวลาให้แสงเป็นตัวแปรต้น อีกทั้ง หาเงื่อนไขชนิดแสงที่ดีที่สุดในการเพาะปลูกพืชสกุล *Ocimum* ให้ได้อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการเจริญเติบโตมากที่สุดด้วยการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (post hoc test) โดยใช้วิธี Tukey เป็นการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

## บทที่ 4

### ผลและอภิปรายการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

##### 4.1.1 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

พืชมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารอาหาร ซึ่งพืชเป็นชนิดมีชีวิตเดียวที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์แล้วมีผลพลอยได้เป็นออกซิเจน ซึ่งจำเป็นต่อการช่วยลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มมากขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$  assimilation) ต่อการตอบสนองภายใต้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืช (Intercellular  $\text{CO}_2$  concentration) ของแต่ละชนิดพันธุ์มีความแตกต่างกันไป แต่มีพื้นฐานในการตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน นั่นก็คือ ในช่วงแรกของการตอบสนองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับที่การตอบสนองคงที่ หรือเรียกว่า การตอบสนองเป็นแบบถดถอยที่มีสมการพื้นฐาน คือ  $y=a(1-e^{-bx})+y_0$  ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืชของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ต่างกัน ดังแสดงการตอบสนองในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 โดยมีสมการของแต่ละเงื่อนไข ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากสมการดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด หรือ  $A_{\text{max}}$  ในหน่วยของไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) จากการหาลิมิตของสมการเพื่อหาค่าคงที่ที่สูงที่สุดของสมการที่มีโอกาสเป็นไปได้  $A_{\text{max}}$  ของโหระพา กะเพรา และแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน อยู่ในช่วง 10.5 – 17.2 7.2 – 13.9 และ 10.1 – 18.0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ตามลำดับ และภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 14 วัน อยู่ในช่วง 10.95 – 16.8 8.0 – 14.7 และ 8.7 – 15.4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.2

ผลการศึกษทางสถิติพบว่า  $A_{\text{max}}$  ของทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ภายใต้เงื่อนไขแสงเกือบทุกกรณีไม่มีความแตกต่างจากแสงควบคุม (แสงสีขาว) ยกเว้น  $A_{\text{max}}$  ของแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงที่ระยะเวลา 14 วัน มี  $A_{\text{max}}$  น้อยกว่าเงื่อนไขทางแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.013$  รูปที่ 4.2 ตารางที่ 4.2) อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาข้อมูลทางสถิติของ  $A_{\text{max}}$  ภายใต้เงื่อนไขแต่ละชนิดแสงพบว่า โหระพาที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงแต่ละเงื่อนไขไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ( $p=0.083$  และ  $p=0.621$  ตามลำดับ; รูปที่ 4.3 ตารางที่ 4.2) เช่นเดียวกับกะเพราที่ระยะเวลา 7 วัน ทุกเงื่อนไขทางแสงสีไม่มีค่า  $A_{\text{max}}$  ที่มีความแตกต่างตามค่าทางสถิติ ( $p=0.102$  รูปที่ 4.3 ตารางที่ 4.2) แต่กะเพราภายใต้สัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 ที่ระยะเวลา 14 วัน มี  $A_{\text{max}}$

มากกว่า 1.8 เท่า เมื่อเทียบกับภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงล้วนและแสงสีน้ำเงินล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.025$  รูปที่ 4.3 ตารางที่ 4.2) ส่วนแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงที่ระยะเวลา 7 วัน มี  $A_{max}$  น้อยกว่าภายใต้เงื่อนไขสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 43.8 ( $p = 0.033$  รูปที่ 4.3 ตารางที่ 4.2) และแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงที่ระยะเวลา 14 วัน มี  $A_{max}$  น้อยกว่า 1.8 เท่า เมื่อเทียบกับภายใต้เงื่อนไขทางแสงขาวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p = 0.013$  รูปที่ 4.3 ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้ การตอบสนองของ  $A_{max}$  ภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระยะเวลาการให้แสงแตกต่างกันนั้น ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงกล่าวโดยสรุปว่า  $A_{max}$  ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงผสมแสงสีน้ำเงิน หรือแสงสีขาวมากกว่าภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดง โดยเฉพาะภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดง

กระบวนการผลิตอาหารของพืชจำเป็นต้องใช้พลังงานแสง โดยทางธรรมชาติมีแสงอาทิตย์เป็นกำเนิด แต่ปัจจุบันมีการใช้แหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ ในการปลูกพืช หนึ่งในกรบ่งบอกการตอบสนองของเงื่อนไขทางแสงที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชได้ นั่นก็คือ การสังเคราะห์ด้วยแสง หรือการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวได้ว่า เมื่อ  $A_{max}$  เพิ่มมากขึ้น ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นตาม แต่อย่างไรก็ตามแต่ละชนิดพันธุ์มีความจุความสามารถสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic capacity) แตกต่างกัน (Driever et al., 2014) โดยที่พืชมีการตอบสนองต่อเงื่อนไขทางแสง อาทิ ความเข้มของแสง คุณภาพของแสง และทิศทางของแสงได้อย่างรวดเร็ว (Yang et al., 2018) ทั้งนี้ การตอบสนองของการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อเงื่อนไขทางแสงมาจากการทำงานร่วมกันของปากใบ (Stomata) คลอโรพลาสต์ (Chloroplast) มีโซฟิลล์ (Mesophyll) และชีวเคมี (Biochemistry) ภายในใบ (Brito et al., 2014)

ส่วนการใช้อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวบ่งชี้ขีดจำกัดทางชีวเคมีและชีวฟิสิกส์ของใบจากการตอบสนองของการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้เงื่อนไขทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ หรือสามารถทำนายการตอบสนองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงมากขึ้น นอกจากความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงของชนิดพันธุ์ (Sharkey et al., 2007) ยิ่งไปกว่านั้น พืชที่ปลูกภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมหรือภายใต้แหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ มีการตอบสนองต่ออัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันไปจากการใช้พลังงานแสงจากแหล่งกำเนิดและชนิดของแสงนั้น ๆ แม้ว่าจากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการตอบสนองของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ในหลายชนิดพันธุ์นั้นก็ยังเป็นไปได้ยากในการระบุกลไกการตอบสนอง โดย Park et al. (2016) ได้ศึกษารูปแบบกราฟอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ของโหระพาที่ปลูกด้วยวิธีไฮโดรพอนิกส์ในอาคารด้วยการใช้ negative exponential model จากกราฟแบบ non-rectangular hyperbola จากการตอบสนองของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบค่า  $A_{max}$  เท่ากับ  $24.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

การตอบสนองต่อเงื่อนไขทางชนิดแสงในพืชสกุล *Ocimum* ที่ผ่านมานั้น มีการศึกษาเพียง การตอบสนองจากการใช้แสงสีในการเพาะปลูกโหระพาเท่านั้นโดยพบว่า การปลูกโหระพาเขียว ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาวจากหลอด LED ที่ ในช่วงระยะต้นกล้า (seeding state) มีศักยภาพในการทำกิจกรรมของระบบการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าภายใต้เงื่อนไขแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 แต่ไม่มีการศึกษาภายใต้แสงสีแดงล้วนหรือแสงสีน้ำเงินล้วน (Lobiuc et al., 2017) และ การใช้แสงสีรองอย่างช่วงความยาวคลื่นแสงที่ 420 และ 530 นาโนเมตร เป็นแสงเพิ่มเติมที่ช่วยส่งเสริมในเชิงบวกต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย แม้ว่าแสงรองจะไม่มีศักยภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อเทียบกับแสงสีขาว แสงสีแดง หรือแสงสีน้ำเงินก็ตาม (Ahlman et al., 2017)

การศึกษาที่ผ่านมาไม่พบการศึกษ้อัตราการดูดซับของคาร์บอนไดออกไซด์ของกะเพราและแมงลัก จึงไม่มีการอ้างอิงถึงในงานวิจัยนี้ แต่มีงานวิจัยที่ได้ผลการศึกษาในชนิดพันธุ์อื่น ๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยนี้ นั่นก็คือ งานของ Yang et al. (2018) ได้ระบุว่า มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) ที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาวหรือแสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงิน ที่มีคุณสมบัติการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับแสงสีขาวเหมาะที่นำมาใช้ในการปลูกพืชแบบใช้แสงมากกว่าใช้แสงสีเดี่ยวอย่างแสงสีแดงหรือน้ำเงิน โดยระบุว่าสีน้ำเงินเป็นตัวกำหนดการสังเคราะห์ด้วยแสงและความสมบูรณ์ของคลอโรพลาสต์จากการแสดงออกของยีน และ Hogewoning et al. (2010) ได้ศึกษาแตงกวา (*Cucumis sativus*) ที่ปลูกภายใต้สัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินแตกต่างกัน (แสงสีน้ำเงินร้อยละ 0 7 15 22 30 50 และ 100) พบว่า การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนแสงสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งสัดส่วนแสงสีน้ำเงินถึงร้อยละ 50 แล้วมีรายงานของ Hernandez and Kubota (2016) ได้ระบุการตอบสนองทางกายภาพไปจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นกล้าแตงกวา (*Cucumis sativus*) ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงแตกต่างกัน เมื่อแสงสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 75 เป็นการลดความจุในการรับแสงจากระบบการรับแสงของ cryptochromes photoreceptor ทั้งนี้ การสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และการชักนำปากใบเพิ่มขึ้นจากภายใต้ความเข้มแสงของแสงสีน้ำเงินที่สูงขึ้น และยังมีการศึกษาในแตงกวา (*Cucumis sativus*) ของ Trouwborst et al. (2016) ที่ระบุว่าแตงกวาภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงมีการตอบสนองของปากใบ (gs) และความจุการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำ เมื่อเทียบกับการใช้แสงผสมระหว่างแดงและน้ำเงิน รวมถึง พืช CAM อย่าง *Mesembryanthemum crystallinum* ที่ He et al. (2017) ได้ศึกษาภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า การสังเคราะห์ด้วยแสงและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงิน และแสงสีน้ำเงินมีประสิทธิภาพดีกว่าภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงล้วน รวมถึงงานวิจัยของ Roni et al. (2017) มีข้อมูลในการสนับสนุนการใช้แสงสีน้ำเงินในการปลูก *Eustoma* (*Eustoma grandiflorum*) จากศักยภาพในการ

สังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าแสงสีขาวและแสงสีแดงมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การชักนำปากใบ และอัตราการคายน้ำดีกว่า โดยเฉพาะในความเข้มของแสงสูง

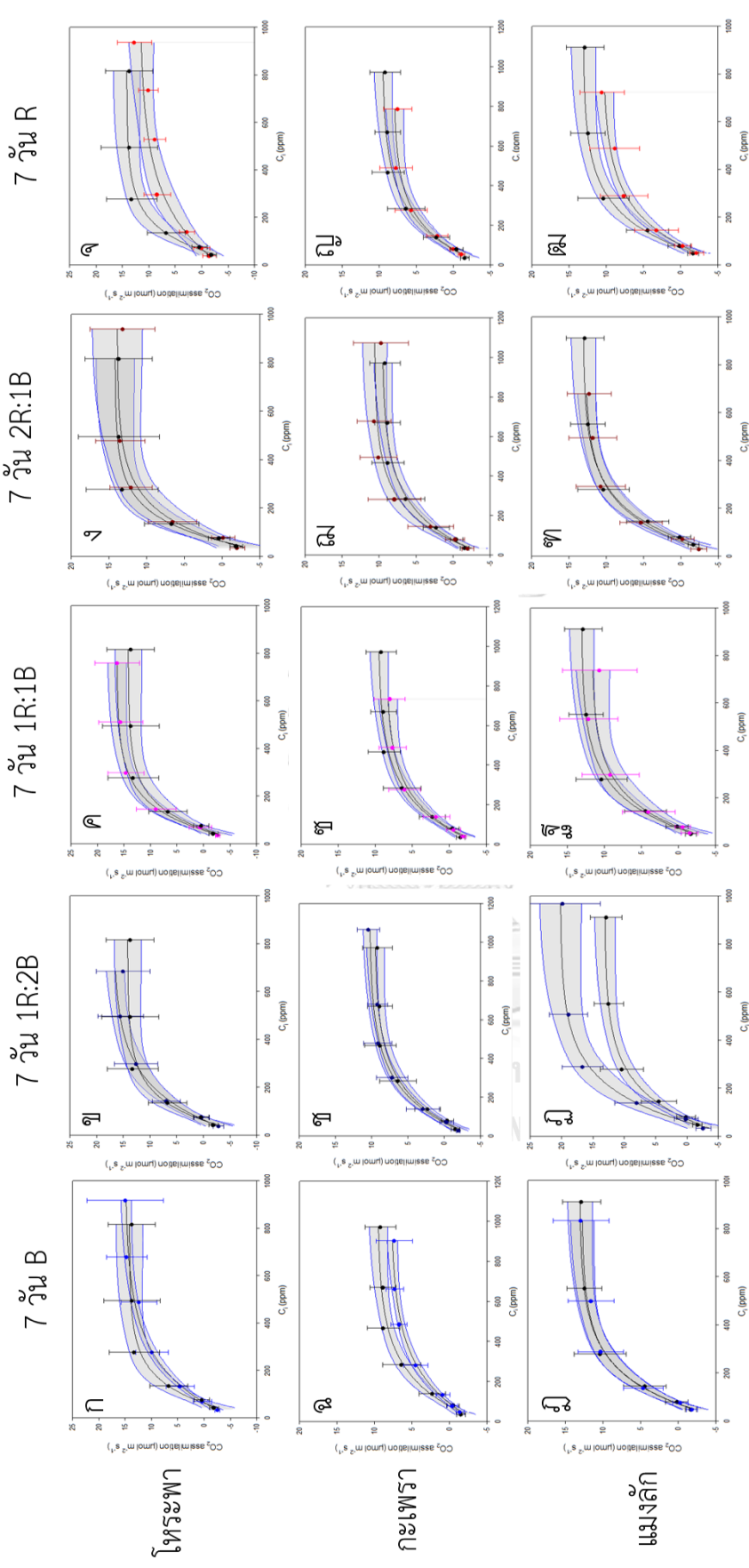
ส่วนงานวิจัยที่ไม่เป็นไปในแนวโน้มเดียวกับงานวิจัยนี้ นั่นก็คือ รายงานของ Kong et al. (2018) ที่ได้ศึกษาการใช้แสงสีน้ำเงิน แดง และแสงไกลแดงในการปลูกพืชแบบโน้มกิ่ง 4 ชนิด พบว่าการรับแสงจากการทำงานของ phytochrom (phytochrome-photoequilibrium) ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดง และแสงสีผสมน้ำเงินกับแดงมากกว่าภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงิน และแสงสีผสมน้ำเงิน แดง และแสงไกลแดง จากที่กล่าวมาข้างต้นมีการอธิบายกลไกภายในใบจากการตอบสนองการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชแต่ละชนิดพันธุ์มีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางชีวเคมีของใบพืชแต่ละชนิดพันธุ์มีความแตกต่างกัน (Brito et al., 2014; Stinziano et al., 2017) โดยการรับแสงสีน้ำเงินและ การถ่ายโอนสัญญาณ (signal transduction) โดยการรับแสงสีน้ำเงินมีตัวรับ คือ Cryptochromes ที่ทำงานร่วมกับ phytochromes ให้มีการแสดงออกของยีนและโปรตีน และส่งเสริมให้พืชตอบสนองต่อสัญญาณของแสง (plant photomorphogenesis) และมีโปรตีน phototropins ที่เป็นตัวรับอีกชนิดหนึ่งที่จะมีเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่ของคลอโรพลาสต์และการเปิดปากใบ (Lin, 2002) ส่วนการตอบสนองอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในใบที่แตกต่างนั้น ขึ้นกับการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเข้าสู่เซลล์ในใบจากการทำกิจกรรมของเอนไซม์รูบิสโก (Rubisco) ส่วนที่จำกัดการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport-limited portion) การเหนี่ยวนำของมีโซฟิลล์ (mesophyll conductance;  $g_m$ ) (Manter and Kerrigan., 2004)

อย่างไรก็ตาม การศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะลดการสังเคราะห์ด้วยแสง (Pimentel et al., 2007; Stavang et al., 2010) หรือการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเมื่อปริมาณน้ำในการเพาะปลูกลดลง (Saez et al., 2018) รวมถึง การใช้แสงสีรองหรือแสงสีเขียวในการปลูกที่จะส่งเสริมการสร้างรงควัตถุประกอบ (accessory pigment) ที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีการส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ ( $P_n/C_i$  curves) และ การใช้แสงสีไกลแดงในระยะเวลายาว ๆ มีการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้นจากการใช้แสงสีผสมแดงกับน้ำเงิน หรือแสงสีขาว (Liu et al., 2017; Ahlman et al., 2017; Zhen and Irsel, 2017) อีกทั้งยังมีปัจจัยต่อการปลูกพืชภายในอาคารต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ความชื้น ธาตุอาหาร และเงื่อนไขทางแสงต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้ ปัจจุบันยังไม่มีเซนเซอร์สำเร็จรูปเพื่อตรวจสอบกระบวนการได้ชัดเจน จึงต้องใช้เครื่องมือและเทคนิคที่มีความซับซ้อน เพื่อตรวจสอบคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างพืชกับอากาศที่มีการแลกเปลี่ยนกัน รวมถึงการตรวจวัด

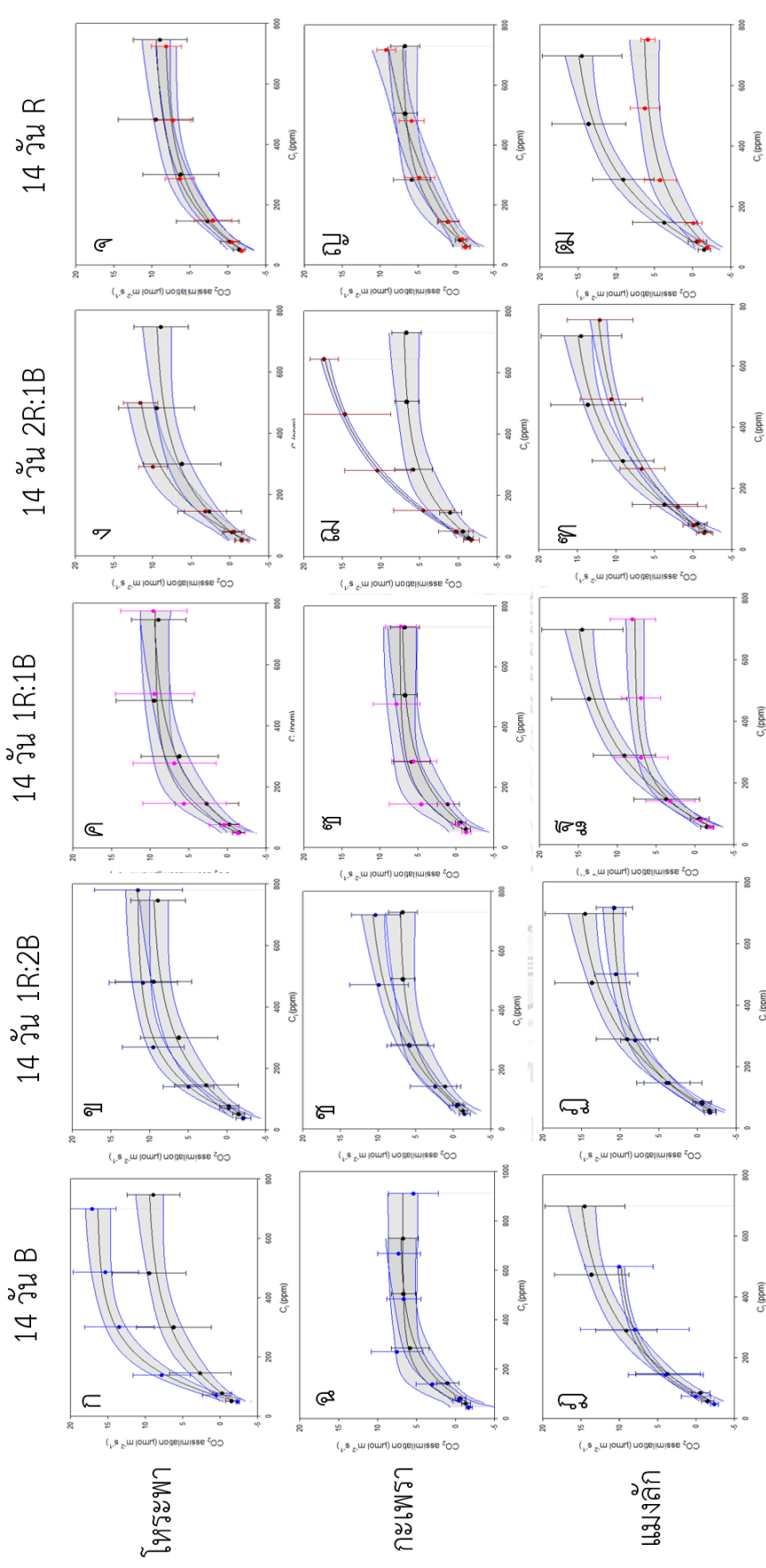
สัณฐานวิทยาของใบพืช เนื่องจากโครงสร้างภายในของพืชมีผลต่อการรับแสงและแลกเปลี่ยนแก๊ส  
อาทิ ขนาดของใบ ลักษณะเซลล์อีพิเดอมิส (epidermis) ลักษณะมีโซฟิลล์ (mesophyll) เป็นต้น







**รูปที่ 4.1** อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืชของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (เส้นกราฟสีดำ) กับแสงสีอื่น ๆ ได้แก่ แสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) และสัดส่วนแสงสีแดงสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 7 วัน



**รูปที่ 4.2** อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืชของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (เส้นกราฟสีดำ) กับแสงสีอื่น ๆ ได้แก่ แสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) และสัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 14 วัน

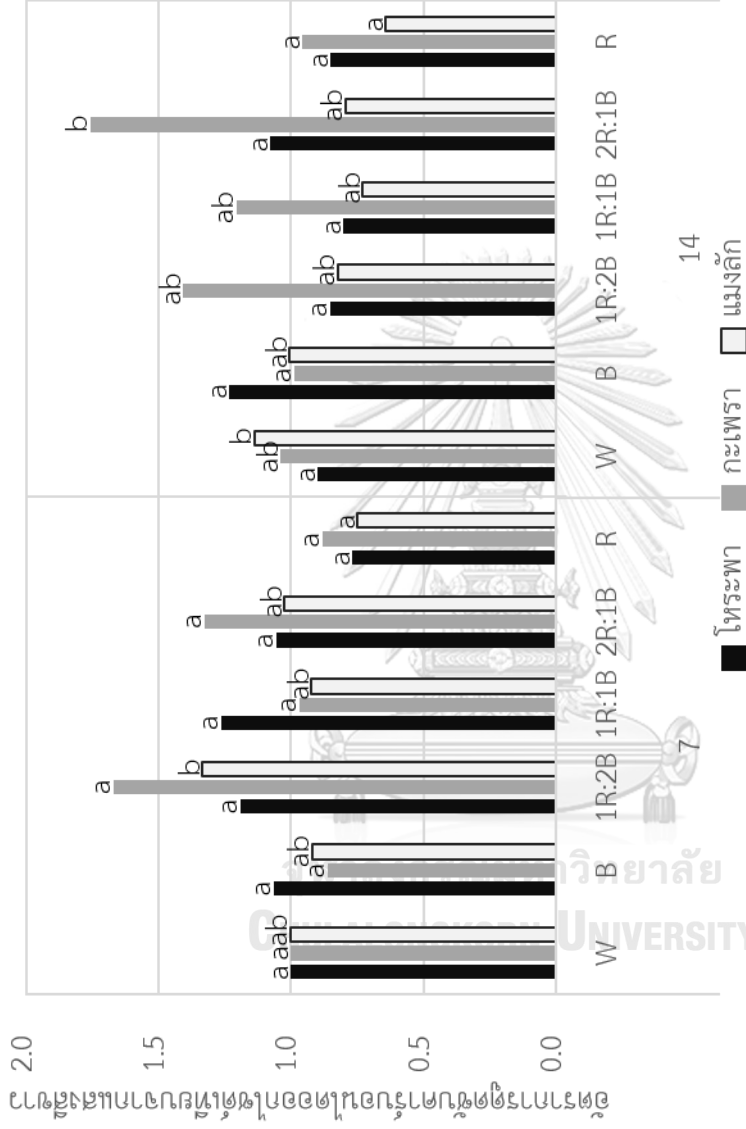
**ตารางที่ 4.1** สมการอัตราการค้าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันของโทระพา และแมงลักที่ปลูกภายใต้แสงสีแดง (R) น้ำเงิน (B) ชาว (W) และอัตราส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ

เงื่อนไข	โทระพา				กะเพรา				แมงลัก			
	สมการ	R <sup>2</sup>	p-value	สมการ	R <sup>2</sup>	p-value	สมการ	R <sup>2</sup>	p-value	สมการ	R <sup>2</sup>	p-value
7	W	$y=23.967(1-e^{(-0.0088x)})-10.354$	0.9855	0.0017	$y=14.136(1-e^{(-0.0058x)})-5.792$	0.9895	0.0001	$y=24.934(1-e^{(-0.0083x)})-11.448$	0.9936	0.0005		
	B	$y=21.407(1-e^{(-0.0063x)})-6.924$	0.9968	<0.0001	$y=11.932(1-e^{(-0.0058x)})-4.723$	0.9951	<0.0001	$y=21.940(1-e^{(-0.0076x)})-9.521$	0.9943	0.0004		
	1R:2B	$y=26.057(1-e^{(-0.0075x)})-9.816$	0.9882	0.0001	$y=20.793(1-e^{(-0.0064x)})-6.873$	0.9946	<0.0001	$y=31.897(1-e^{(-0.0083x)})-13.895$	0.9897	0.0010		
	1R:1B	$y=29.486(1-e^{(-0.0082x)})-12.314$	0.9949	0.0004	$y=14.490(1-e^{(-0.007x)})-6.391$	0.9925	0.0006	$y=21.894(1-e^{(-0.0076x)})-9.432$	0.9851	0.0018		
	2R:1B	$y=29.721(1-e^{(-0.0096x)})-15.321$	0.9781	0.0032	$y=21.2182(1-e^{(-0.01x)})-10.166$	0.9835	0.0003	$y=25.417(1-e^{(-0.0084x)})-11.577$	0.9907	<0.0001		
	R	$y=15.758(1-e^{(-0.0059x)})-5.245$	0.9700	0.0009	$y=12.305(1-e^{(-0.007x)})-4.960$	0.9917	0.0008	$y=19.130(1-e^{(-0.0083x)})-9.022$	0.9954	0.0003		
14	W	$y=21.928(1-e^{(-0.0067x)})-9.676$	0.9874	0.0014	$y=14.762(1-e^{(-0.0058x)})-6.094$	0.9752	0.0039	$y=30.628(1-e^{(-0.0073x)})-15.271$	0.9951	0.0003		
	B	$y=30.591(1-e^{(-0.0086x)})-13.812$	0.9956	0.0003	$y=16.880(1-e^{(-0.0085x)})-8.628$	0.9348	0.0043	$y=25.615(1-e^{(-0.0084x)})-12.041$	0.9988	<0.0001		
	1R:2B	$y=23.707(1-e^{(-0.0096x)})-12.083$	0.9932	0.0006	$y=21.131(1-e^{(-0.0069x)})-9.394$	0.9935	0.0005	$y=22.530(1-e^{(-0.0084x)})-11.456$	0.9949	0.0004		
	1R:1B	$y=32.288(1-e^{(-0.0128x)})-21.335$	0.9807	0.0027	$y=18.736(1-e^{(-0.0075x)})-8.696$	0.9648	0.0066	$y=20.141(1-e^{(-0.0075x)})-10.290$	0.9920	0.0007		
	2R:1B	$y=24.592(1-e^{(-0.0065x)})-9.897$	0.9849	0.0019	$y=9.282(1-e^{(-0.0017x)})-3.464$	0.9996	<0.0001	$y=24.378(1-e^{(-0.009x)})-13.685$	0.9974	0.0001		
	R	$y=19.307(1-e^{(-0.0059x)})-7.732$	0.9913	0.0008	$y=14.369(1-e^{(-0.0058x)})-6.365$	0.9816	0.0025	$y=15.484(1-e^{(-0.0047x)})-6.819$	0.9751	0.0039		

**ตารางที่ 4.2** การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ( $A_{max}$ ) ของโหระพา กะเพรา และแมงลักที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสี่แดง (R) น้ำเงิน (B) ขาว (W) และอัตราส่วนแสงสีแดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

เงื่อนไข	โหระพา			กะเพรา			แมงลัก		
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	อักษร	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	อักษร	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	อักษร
7	W	13.6135 ± 5.6961 <sup>a</sup>		8.3437 ± 2.2882 <sup>a</sup>		13.4867 ± 3.5307 <sup>a</sup>			
	B	14.4834 ± 4.4443 <sup>a</sup>		7.2095 ± 1.8841 <sup>a</sup>		12.4194 ± 2.9678 <sup>ab</sup>			
	1R:2B	16.2405 ± 4.8900 <sup>a</sup>		13.9195 ± 9.1114 <sup>a</sup>		18.0022 ± 4.5753 <sup>b</sup>			
	1R:1B	17.1730 ± 4.0004 <sup>a</sup>		8.0985 ± 1.5724 <sup>a</sup>		12.4628 ± 5.1547 <sup>ab</sup>			
	2R:1B	14.4000 ± 3.4374 <sup>a</sup>		11.0518 ± 2.3804 <sup>a</sup>		13.8393 ± 4.7029 <sup>ab</sup>			
	R	10.5133 ± 2.1216 <sup>a</sup>		7.3449 ± 2.5084 <sup>a</sup>		10.1081 ± 2.9418 <sup>ab</sup>			
	W	12.2515 ± 4.4216 <sup>a</sup>		8.6685 ± 3.3312 <sup>a</sup>		15.3561 ± 4.0160 <sup>a</sup>			
14	B	16.7790 ± 3.5565 <sup>a</sup>		8.2526 ± 3.3587 <sup>a</sup>		13.5741 ± 6.2657 <sup>b</sup>			
	1R:2B	11.6237 ± 4.5075 <sup>a</sup>		11.7370 ± 4.3491 <sup>ab</sup>		11.0743 ± 2.5669 <sup>ab</sup>			
	1R:1B	10.9530 ± 5.1946 <sup>a</sup>		10.0408 ± 4.2573 <sup>ab</sup>		9.8512 ± 3.1755 <sup>ab</sup>			
	2R:1B	14.6950 ± 5.2453 <sup>a</sup>		14.6791 ± 6.1597 <sup>ab</sup>		10.6923 ± 3.8425 <sup>ab</sup>			
	R	11.5754 ± 5.8147 <sup>a</sup>		8.0041 ± 1.9396 <sup>a</sup>		8.6653 ± 2.9133 <sup>ab</sup>			
	W	13.6135 ± 5.6961 <sup>a</sup>		8.3437 ± 2.2882 <sup>a</sup>		13.4867 ± 3.5307 <sup>a</sup>			
	B	14.4834 ± 4.4443 <sup>a</sup>		7.2095 ± 1.8841 <sup>a</sup>		12.4194 ± 2.9678 <sup>ab</sup>			

หมายเหตุ สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างเงื่อนไขทางแสงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ด้วยการใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยเงื่อนไขทางชนิดแสงเป็นตัวแปรต้น



**รูปที่ 4.3** จำนวนเท่าของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ( $A_{max}$ ) ที่ได้จากแสงสีขาวของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงิน (B) แสงสีแดง (R) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน รายงานข้อมูลค่าปรับเทียบให้แสงควบคุมหรือแสงสีขาว (W) ที่ระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีเงื่อนไขทางชนิดแสงเป็นตัวแปรต้น)

#### 4.1.2 การทำนายการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคต

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีส่วนมาจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่เมื่อเทียบกับยุคก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรมและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น หากมีแนวทางในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้นก็จะมีส่วนช่วยในการบรรเทาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ ในหัวข้อที่ 4.1.1 ได้ศึกษาการศึกษาตอบสนองอัตรการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่าง ๆ มีความแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่แตกต่างกัน แต่มีลักษณะการตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน นั่นก็คือ ในช่วงที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมีอัตราการดูดซับคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้นก็จะเริ่มเสถียรหรือไม่มีการเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งเกิดจากขีดจำกัดของพืชนั่นเอง จากที่กล่าวมาในเรื่องของ RCP ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศแตกต่างกันนั้นมีผลต่อการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของใบพืชภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่แตกต่างกัน ส่วนความแตกต่างของแต่ละ RCP ที่มีการคาดการณ์ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะนำมาทำนายการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศดังกล่าว ในกรณีที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์อาจจะไม่เพิ่มขึ้นตาม จึงเป็นกรณีศึกษาตามสมการภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่แตกต่างกันในหัวข้อนี้ จากการปรับตัวของปากใบในแต่ละชนิดพันธุ์และแต่ละเงื่อนไขที่มีความแตกต่างกัน โดย Sage (1994) ได้อธิบายรูปแบบการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความแตกต่างของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ โดยมีขีดจำกัดจากชีวเคมีภายในใบและสรีรวิทยาของใบพืช ซึ่งมีความแตกต่างตามชนิดพันธุ์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศแพร่เข้าไปยังในเซลล์ใบพืชจากปากใบพืชที่เปิด ทั้งนี้ สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบต่อคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสามารถบ่งบอกถึงการปรับตัวของปากใบได้ ยกเว้นในสภาวะเครียดน้ำหรือที่ความชื้นต่ำ

การทำนายการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชสกุล *Ocimum* ที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศตามภาพจำลองของ IPCC หรือ RCPs ที่ได้ทำนายความเข้มข้นในบรรยากาศแตกต่างกันไปใน ปี 2643 เพื่อวิเคราะห์กรณีศึกษาว่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นจากการทำนายในอนาคตตามภาพการณ์จำลองของ IPCC นั้น จะให้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการการตอบสนองจากการศึกษาในวิจัยนี้ โดยจากการแทนค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในใบที่ได้ไปหาค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวจากสมการอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในตารางที่ 4.1 ในหัวข้อ 4.1.1 จึงได้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากการทำนายตามภาพการณ์จำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโหระพา กะเพรา และแมงลักภายใต้ทุกเงื่อนไข มีค่าอยู่ในช่วง 5.26 – 17.06 4.67 – 14.49 และ 4.00 – 17.67  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) หากพิจารณาค่าทางสถิติภายใต้เงื่อนไขทางแสงแต่ละชนิดแสงที่ระยะเวลา 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น กะเพรารายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 มีค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ตามภาพจำลอง RCP2.6 (475 ppm) น้อยกว่าร้อยละ 31.57 เมื่อเทียบกับภาพจำลอง RCP8.5 (1,350 ppm) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.047$ , ตารางที่ 4.3) ส่วนโหระพา กะเพรา และแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงที่ระยะเวลาให้แสง 14 วัน มีค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ตามภาพจำลอง RCP8.5 (1,350 ppm) มากกว่า 1.73 1.61 และ 1.97 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับภาพจำลอง RCP2.6 (475 ppm) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.049$ , ตารางที่ 4.3) โหระพารายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 มีค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ตามภาพจำลอง RCP6.0 (850 ppm) และ RCP8.5 (1,350 ppm) มากกว่าร้อยละ 30.15 และ 39.30 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับภาพจำลอง RCP2.6 (475 ppm) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.009$ , ตารางที่ 4.3) และกะเพรารายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาวมีค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ตามภาพจำลอง RCP8.5 (1,350 ppm) มากกว่าร้อยละ 49.32 เมื่อเทียบกับภาพจำลอง RCP2.6 (475 ppm) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.025$ , ตารางที่ 4.3)

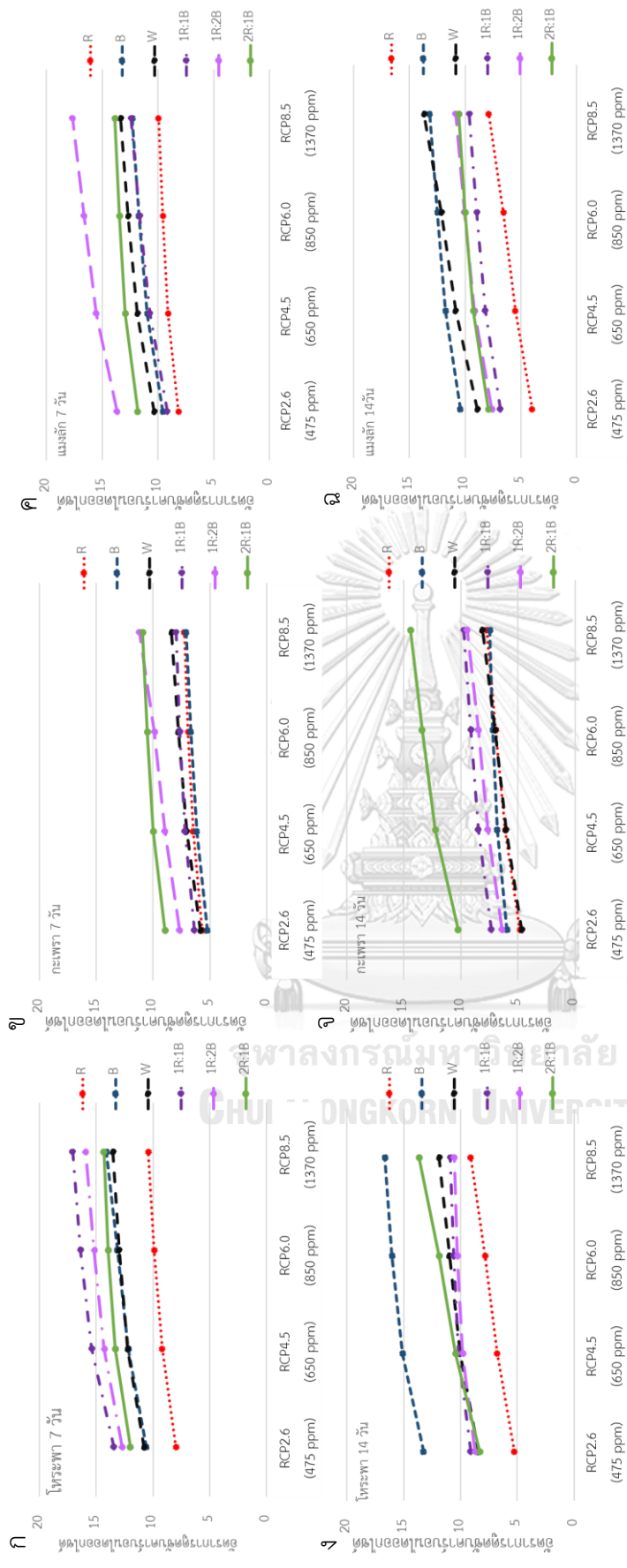
หากพิจารณาเงื่อนไขแต่ละชนิดแสงพบแนวโน้มว่าภายใต้แสงสีแดงมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าภายใต้แสงสีอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เนื่องจากสมการตามหัวข้อที่ 4.1.1 มีการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงมีค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ( $A_{\text{max}}$ ) ต่ำกว่าแสงอื่น ๆ จึงทำให้มีแนวโน้มการตอบสนองการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ตามการคาดการณ์จาก RCP ต่ำกว่าแสงสีอื่น ๆ ตามไปด้วย และด้วยสัดส่วนของ  $C_i/C_a$  มีค่าน้อยกว่าที่อาจเกิดจากความหนาแน่นของปากใบและการเปิดของปากใบภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงล้วนน้อยกว่าภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีอื่น ๆ ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Hogewoning et al. (2010) จากการศึกษาการตอบสนองการสังเคราะห์ด้วยแสงของแตงกวารายใต้แสงสีแดงต่ำกว่าภายใต้สัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ สามารถพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกายภาพที่มีส่วนต่อการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์หรือการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น RuBP Rubisco การทำงานของเอนไซม์และโปรตีน การเคลื่อนที่และปริมาณของคลอโรฟิลล์ ความหนาแน่นและการชักนำของปากใบ (Manter and Kerrigan, 2004; Stinziano et al., 2017)

ข้อมูลที่ได้รับมาจากกราฟแสดงการตอบสนองของอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์หรือการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน โดยสามารถหาค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดได้ แม้จะเป็นการยากที่จะทำนายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากการ

แสดงออกของปีนแต่ละชนิดพันธุ์และสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดย Sharkey et al. (2017) ศึกษาการเขียนกราฟแบบ non-linear curve-fitting ที่ทำได้จากการสังเกตและการทำนาย ดังจะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ให้เพิ่มขึ้นจนถึงระดับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่คงที่หรือเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระยะเวลา 7 วัน ส่วนใหญ่ไม่พบความแตกต่างของค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น แต่พบความแตกต่างเมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงเป็นระยะเวลา 14 วัน ของทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ อย่างไรก็ตามอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้แสงสีแดงมีแนวโน้มต่ำกว่าแสงสีอื่น ๆ กล่าวโดยสรุปได้ว่า โหระพา กะเพรา และแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงส่วนใหญ่ไม่มีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เพิ่มมากขึ้นตามภาพจำลองของ IPCC หรือ RCPs







**รูปที่ 4.4** ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโทรพระพา และแมงลัก ที่ระยะเวลาเวลา 7 วัน (ก ข และ ค ตามลำดับ) และที่ระยะเวลาเวลา 14 วัน (ง จ และ ฉ ตามลำดับ) ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) แสงสีขาว (W) และสัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ตามภาพการจำลอง (RCPs) ได้แก่ RCP2.6 RCP4.5 RCP6.0 และ RCP8.5 ที่ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 475 650 850 และ 1,370 ppm ตามลำดับ



ระยะเวลา	ชนิดพันธุ์	ชนิดแสง	RCP2.6 (475 ppm)	RCP4.5 (650 ppm)	RCP6.0 (850 ppm)	RCP8.5 (1,370 ppm)
14 วัน	กะเพรา	B	13.2704 ± 3.732	15.1000 ± 3.859	16.0255 ± 3.815	16.6662 ± 3.644
		W	8.4283 ± 4.597	10.0334 ± 4.890	10.9846 ± 4.909	11.8724 ± 4.710
		1R:1B	9.1201 ± 5.463	10.1853 ± 5.523	10.6224 ± 5.429	10.8863 ± 5.264
		1R:2B	8.7095 ± 3.265	9.8044 ± 3.501	10.2877 ± 3.587	10.5536 ± 3.614
		2R:1B	8.3032 ± 2.325 <sup>a</sup>	10.4189 ± 1.940 <sup>ab</sup>	11.8873 ± 2.242 <sup>b</sup>	13.6422 ± 3.676 <sup>b</sup>
		R	4.8064 ± 1.815 <sup>a</sup>	6.1145 ± 1.931 <sup>ab</sup>	6.9493 ± 1.986 <sup>ab</sup>	7.7506 ± 1.992 <sup>b</sup>
14 วัน	แมงลัก	B	5.9468 ± 2.449	6.8097 ± 2.850	7.2142 ± 3.060	7.4571 ± 3.190
		W	4.6708 ± 1.501 <sup>a</sup>	6.0421 ± 1.668 <sup>ab</sup>	7.0045 ± 2.011 <sup>ab</sup>	8.1219 ± 2.749 <sup>b</sup>
		1R:1B	7.3243 ± 3.891	8.4757 ± 4.161	9.1278 ± 4.225	9.7398 ± 4.216
		1R:2B	6.3949 ± 3.376	7.6521 ± 3.177	8.4697 ± 2.884	9.4629 ± 2.450
		2R:1B	10.2436 ± 5.827	12.2288 ± 6.189	13.3922 ± 6.288	14.4026 ± 6.232
		R	4.0025 ± 1.939 <sup>a</sup>	5.4988 ± 1.851 <sup>ab</sup>	6.5795 ± 1.867 <sup>ab</sup>	7.8969 ± 2.238 <sup>b</sup>
14 วัน	กะเพรา	B	10.4315 ± 6.220	11.7475 ± 6.492	12.4818 ± 6.557	13.1829 ± 6.481
		W	8.9051 ± 5.096	10.8625 ± 4.961	12.1321 ± 4.553	13.6875 ± 3.757
		1R:1B	6.8653 ± 3.152	8.2044 ± 3.277	8.9680 ± 3.314	9.6363 ± 3.344
		1R:2B	7.6174 ± 3.010	9.1716 ± 2.768	10.0651 ± 2.571	10.8450 ± 2.482
		2R:1B	7.9324 ± 4.634	9.2804 ± 4.422	9.9979 ± 4.188	10.5631 ± 3.917
		R	4.0025 ± 1.939 <sup>a</sup>	5.4988 ± 1.851 <sup>ab</sup>	6.5795 ± 1.867 <sup>ab</sup>	7.8969 ± 2.238 <sup>b</sup>

หมายเหตุ สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างสภาพการจำลองเป็นตัวแทนแปรต้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแปรผันทางเดียว ( one-way ANOVA)

#### 4.2 ผลการทดลองการตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล

จากผลการทดลองพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโหระพา กะเพรา และแมงลักมีฤทธิ์อยู่ในช่วง 5.5 – 13.4 6.3 – 13.0 และ 3.9 – 16.0 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแอสคอร์บิกต่อกรัมของตัวอย่างพืช ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลของโหระพา กะเพรา และแมงลักมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.6 – 1.2 0.4 – 1.0 และ 0.5 – 1.1 มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่างพืช ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.4

ผลการศึกษาทางสถิติ พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลของทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงเกือบทุกกรณีไม่มีความแตกต่างจากแสงสีควบคุม (แสงสีขาว) ยกเว้นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแมงลักและปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มากกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.001$  และ  $p=0.000$  ตามลำดับ) โดยแสดงค่าปรับเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลให้แสงสีขาวภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานในรูปที่ 4.5 อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาข้อมูลเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนไขแต่ละชนิดแสงพบว่า กะเพราที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 เป็นระยะเวลา 7 วัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแสงสีน้ำเงินเพียงอย่างเดียว ถึง 2 เท่า ( $p=0.035$ ) (รูปที่ 4.5ก) และกะเพราที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าปลูกกะเพราภายใต้แสงสีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ อย่างน้อย 1.7 เท่า หรือร้อยละ 41.5 ( $p=0.001$ ) (รูปที่ 4.5ข) โหระพาที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงินเป็นระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่า 1.7 เท่า เมื่อเทียบกับปลูกภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.036$ ) (รูปที่ 4.5ข) และแมงลักที่ปลูกภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าประมาณ 1.7 – 2.6 เท่า เมื่อเทียบกับปลูกภายใต้แสงสีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.0001$ ) ยกเว้น ภายใต้แสงสีน้ำเงินล้วน (รูปที่ 4.5ก) ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโหระพา ( $p=0.397$ ; 7 วัน,  $p=0.414$ ; 14 วัน) และปริมาณสารประกอบฟีนอลของแมงลัก ( $p=0.075$ ; 7 วัน,  $p=0.055$ ; 14 วัน) ภายใต้ทุกเงื่อนไขทางชนิดแสงไม่มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 4.5ก และ 4.5ข ตามลำดับ)

การตอบสนองของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาการให้แสงแตกต่างกัน พบได้ว่า สารต้านอนุมูลอิสระของโหระพาภายใต้แสงสีแดงและแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ที่ระยะเวลา 7 วัน มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 41 และ 51 ( $p=0.008$  และ  $0.007$ ) และในแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว แสงสีน้ำเงิน และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 ที่

ระยะเวลา 7 วัน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละอย่างน้อย 48 ( $p \leq 0.015$ ) (รูปที่ 4.5ก) สารประกอบฟีนอลของโหระพาภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 7 วัน มากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 52 ( $p = 0.021$ ) และในกะเพราภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 51 ( $p = 0.024$ ) (รูปที่ 4.5ข) ซึ่งเป็นเพียงการตอบสนองชนิดเดียวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มมากขึ้นภายใต้เงื่อนไขแสงที่ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น กล่าวโดยสรุป คือ โหระพาและแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระยะเวลามากขึ้นจะทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลง ส่วนกะเพราพบความแตกต่างของเงื่อนไขระยะเวลาภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินสัดส่วน 2 ต่อ 1 มากขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลมากขึ้น

พืชมีการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลต่อปัจจัยทางแสงมากมาย ไม่ว่าจะเป็นความเข้มแสง ชนิดของแสง คุณภาพของแสง และช่วงเวลาในการให้แสง และเซลล์รับแสง (photoreceptors) มีการตอบสนองต่อกระบวนการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลในช่วงความยาวคลื่นแสงที่เจาะจง ดังนั้น แสงจึงเป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในการกระบวนการสร้างและสลายสารของพืช ทั้งนี้ พืชสามารถสร้างสารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) จากสารปฐมภูมิ (Primary metabolites) เช่น คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน ในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม (Carvalho et al., 2016; Bantis et al., 2016) โดยสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระเป็นหนึ่งในสารทุติยภูมิที่มีแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต กล่าวคือ แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงมีผลต่อการผลิตสารประกอบฟีนอล ส่วนความยาวคลื่นแสงที่ใกล้เคียงกับแสงสีน้ำเงินอย่างรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) มีผลต่อการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกัน (Lattanzio et al., 2006) นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลยังเป็นหนึ่งในสารต้านอนุมูลอิสระ โดยผู้ศึกษาคาดว่าผลของการทดลองฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ผลที่ออกมาไม่มีแนวโน้มว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนไขทางแสงจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับรายงานของ Huang et al. (2005) กล่าวว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่มีความสัมพันธ์ต่อความสามารถต้านออกซิเดชันรวม แต่วารายงานของ Kwee and Niemyer (2011) ที่ระบุว่าโหระพา 15 ชนิดพันธุ์ ที่ปลูกในสภาวะแสงธรรมชาติ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เป็นปริมาณสารสำคัญในการตรวจวัดคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

งานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขทางแสงต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลของโหระพาเพียงเล็กน้อย ส่วนการศึกษาในกะเพราและแมงลักยังไม่พบข้อมูลการศึกษามาก่อนโดยโหระพาภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการสะสมการผลิต

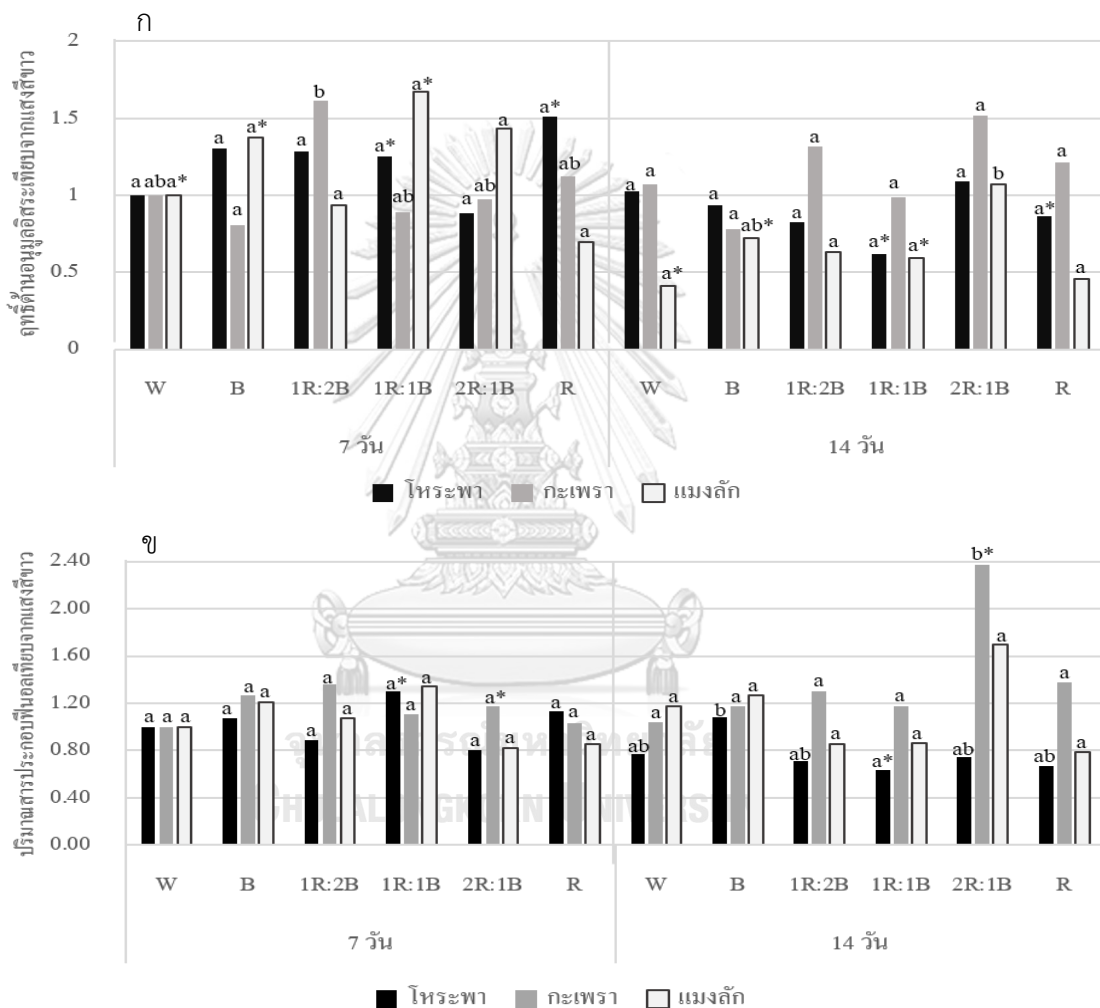
phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการผลิตสารประกอบฟีนอล อาทิ phenylpropanoid จึงทำให้มีสารประกอบฟีนอลสูงกว่าแสงสีแดงและแสงสีขาวล้วน (Nadeem et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ (รูปที่ 4.5ข) แต่ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Shiga et al. (2009) ที่ระบุว่า โหระพาที่เพาะปลูกภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลสูงกว่าภายใต้แสงสีน้ำเงิน

นอกจากนี้ ข้อมูลของ Piovene et al. (2015) พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอล และฟลาโวนอยด์ในโหระพาภายใต้แสง LED ด้วยสัดส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินแต่ละสัดส่วนไม่มีความแตกต่างกัน แต่ทุกสัดส่วนแสงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากแสงควบคุม (หลอดฟลูออเรสเซนต์) เช่นเดียวกับการศึกษานี้ที่ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจากแสงควบคุม (แสงสีขาว) อาจมาจากชนิดของหลอดไฟที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ LED ทั้งหมด (รูปที่ 4.5ก และ 4.5ข) แม้ว่า Taulavuori et al. (2018) จะระบุว่าโหระพาและ Arugula ภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีน้ำเงินที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล และฟฤกษเคมี (phytochemical) มากกว่าสีแดงเพียงอย่างเดียว จึงสามารถกล่าวสรุปโดยรวมได้ว่าการใช้แสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงินดีกว่าใช้แสงสีแดง แต่ผลผลิตทางกายภาพจะลดลงเมื่อสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินถึงค่าจำกัดค่าหนึ่ง เนื่องจากแสงสีน้ำเงินเกินขีดจำกัดจะเป็นการลดความจุในการรับแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ทั้งนี้ การตอบสนองขึ้นกับชนิดพันธุ์ (Hernandez and Kubota, 2016; Dou et al., 2017) โดยการศึกษาครั้งนี้พบว่า กะเพราที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระภายใต้เงื่อนไขทางแสงด้วยสัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 เป็นระยะเวลา 7 วัน มากกว่าแสงสีน้ำเงินล้วน และกะเพราที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลภายใต้เงื่อนไขทางแสงด้วยสัดส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มากกว่าแสงสีอื่น ๆ เนื่องจากแสงสีน้ำเงิน (ในช่วงความยาวคลื่นแสง 400 - 500 นาโนเมตร) มีการดูดกลืนแสงโดย Photoreceptor proteins ที่จะตอบสนองจำเพาะช่วงคลื่นแสงที่ชัดเจน ทั้งนี้ ศักยภาพในการผลิตขึ้นกับความทดทานต่อความเครียดแสงของแต่ละชนิดพันธุ์พืช (Gitelson et al., 2017; Bantis et al., 2016) ยิ่งกว่านั้น โหระพาภายใต้เงื่อนไขทางชนิดแสงสีน้ำเงินจากหลอด LED ยังส่งผลให้ความหนาแน่นของปากใบเพิ่มขึ้น ส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการผลิตภายในของพืช (Jensen et al., 2018)

ในด้านของระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่มากขึ้นอาจไม่เป็นผลเชิงบวกเสมอไป เช่นเดียวกับงานศึกษานี้ ที่พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลของโหระพาและแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน มีมากกว่าระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.021$ ) แต่กะเพราภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ( $p = 0.024$ ) เพียงชนิดพันธุ์เดียว

ที่มีการสะสมเมื่อระยะเวลามากขึ้น (รูปที่ 4.5ก) ซึ่งเป็นไปตามการศึกษาของ Taulavuori et al. (2016) กล่าวว่า โหระพาภายใต้สัปดาห์แสงผสมระหว่างแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินไม่มีการส่งเสริมการสะสมสารประกอบฟีนอลในระยะเวลาที่มากขึ้น แต่ในผักกาดแดง (red leaf lettuce) มีการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลเมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่เพิ่มมากขึ้น โดยระบุได้ว่าการปรับตัวของพืชจากการตอบสนองฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลต่อเงื่อนไขทางแสงแตกต่างกันขึ้นกับแต่ละชนิดพันธุ์



รูปที่ 4.5 จำนวนเท่าของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากแสงสีขาว (4.5ก) และจำนวนเท่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ได้จากแสงสีขาว (4.5ข) ของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขทางแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (W) แสงสีน้ำเงิน (B) แสงสีแดง (R) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน รายงานข้อมูลค่าเปรียบเทียบให้แสงสีขาวที่ระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีเงื่อนไขทางแสงเป็นตัวแปรต้น สัญลักษณ์ \* ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญโดยมีระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสงเป็นตัวแปรต้น)

**ตารางที่ 4.4** ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลของโหระพา และแมงลัก ภายใต้งี๋นโขทางแสงสี่แดง (R) น้ำเงิน (B) ขาว (W) และอัตราส่วนแสงสี่แดงต่อน้ำเงิน 1 ต่อ 1 (1R:1B) 1 ต่อ 2 (1R:2B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

ระยะเวลา	แสงสี	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแอสคอร์บิกต่อกรัมของตัวอย่าง)				ปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่าง)			
		โหระพา	กะเพรา	แมงลัก	โหระพา	กะเพรา	แมงลัก		
7 วัน	W	8.86 ± 2.13 <sup>a</sup>	8.03 ± 0.36 <sup>ab</sup>	9.55 ± 1.23 <sup>a*</sup>	0.91 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.428±0.02 <sup>a</sup>	0.649±0.06 <sup>a</sup>		
	B	11.54 ± 2.04 <sup>a</sup>	6.45 ± 0.63 <sup>a</sup>	13.15 ± 1.82 <sup>a*</sup>	0.98 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.544±0.05 <sup>a</sup>	0.786±0.07 <sup>a</sup>		
	1R:2B	11.38 ± 2.19 <sup>a</sup>	13.00 ± 1.70 <sup>b</sup>	8.93 ± 1.86 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.581±0.06 <sup>a</sup>	0.695±0.10 <sup>a</sup>		
	1R:1B	11.13 ± 1.34 <sup>a*</sup>	7.17 ± 1.60 <sup>ab</sup>	16.00 ± 2.55 <sup>a*</sup>	1.19 ± 0.27 <sup>a*</sup>	0.474±0.05 <sup>a</sup>	0.872±0.12 <sup>a</sup>		
	2R:1B	7.82 ± 1.31 <sup>a</sup>	7.84 ± 1.15 <sup>ab</sup>	13.67 ± 3.62 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.501±0.04 <sup>a*</sup>	0.535±0.07 <sup>a</sup>		
	R	13.42 ± 1.58 <sup>a*</sup>	9.04 ± 1.83 <sup>ab</sup>	6.66 ± 0.67 <sup>a</sup>	1.03 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.443±0.05 <sup>a</sup>	0.553±0.06 <sup>a</sup>		
	W	9.08 ± 2.11 <sup>a</sup>	8.60 ± 1.45 <sup>a</sup>	3.93 ± 0.39 <sup>a*</sup>	0.70 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.445±0.05 <sup>a</sup>	0.761±0.12 <sup>a</sup>		
14 วัน	B	8.29 ± 0.80 <sup>a</sup>	6.27 ± 1.45 <sup>a</sup>	6.90 ± 0.91 <sup>ab*</sup>	0.98 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.504±0.06 <sup>a</sup>	0.821±0.04 <sup>a</sup>		
	1R:2B	7.31 ± 1.18 <sup>a</sup>	10.56 ± 1.54 <sup>a</sup>	6.02 ± 0.95 <sup>a</sup>	0.65 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.557±0.05 <sup>a</sup>	0.554±0.06 <sup>a</sup>		
	1R:1B	5.47 ± 1.59 <sup>a*</sup>	7.93 ± 0.99 <sup>a</sup>	5.63 ± 0.77 <sup>a*</sup>	0.58 ± 0.05 <sup>a*</sup>	0.502±0.04 <sup>a</sup>	0.562±0.05 <sup>a</sup>		
	2R:1B	9.68 ± 1.05 <sup>a</sup>	12.21 ± 2.93 <sup>a</sup>	10.22 ± 1.28 <sup>b</sup>	0.68 ± 0.14 <sup>ab</sup>	1.016±0.19 <sup>b*</sup>	1.103±0.31 <sup>a</sup>		
	R	7.64 ± 0.62 <sup>a*</sup>	9.74 ± 1.13 <sup>a</sup>	4.34 ± 0.46 <sup>a</sup>	0.608 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.590±0.05 <sup>a</sup>	0.508±0.06 <sup>a</sup>		
	W	9.08 ± 2.11 <sup>a</sup>	8.60 ± 1.45 <sup>a</sup>	3.93 ± 0.39 <sup>a*</sup>	0.70 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.445±0.05 <sup>a</sup>	0.761±0.12 <sup>a</sup>		
	B	8.29 ± 0.80 <sup>a</sup>	6.27 ± 1.45 <sup>a</sup>	6.90 ± 0.91 <sup>ab*</sup>	0.98 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.504±0.06 <sup>a</sup>	0.821±0.04 <sup>a</sup>		

หมายเหตุ สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างเงิ๋นโขทางแสงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ด้วยการศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยเงิ๋นโขทางชนิดแสงเป็นตัวแปรต้น และสัญลักษณ์ \* ระบุความแตกต่างทางนัยสำคัญระหว่างระยะเวลาภายใต้งี๋นโขทางแสงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ด้วยการศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยเงิ๋นโขทางช่วงเวลาให้แสงเป็นตัวแปรต้น



### 4.3 ผลการทดลองการตอบสนองของการเจริญเติบโต

จากผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตพบว่า โหระพา กะเพรา และแมงลักมีความสูงอยู่ในช่วง 30.17 – 46.39 17.94 – 26.63 และ 34.89 – 54.39 เซนติเมตร ตามลำดับ มีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 10.59 – 12.32 11.31 – 14.66 และ 13.97 – 18.40 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และมีน้ำหนักใบสดอยู่ในช่วง 3.69 – 11.31 1.68 – 4.11 และ 4.32 – 15.49 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.5

ผลการศึกษาทางสถิติ พบว่า การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ ดังแสดงภาพการเจริญเติบโตเปรียบเทียบในรูปที่ 4.7 ภายใต้สภาวะเงื่อนไขทางแสงเกือบทุกกรณีไม่มีความแตกต่างจากแสงสีควบคุม (แสงสีขาว) โดยเฉพาะพื้นที่ใบภายใต้ทุกเงื่อนไขทางแสงให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.272$ ) ดังแสดงข้อมูลค่าปรับเทียบความสูงและน้ำหนักใบของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ซึ่งเทียบกับค่าของชุดการทดลองภายใต้แสงสีขาวในระยะเวลา 7 วัน เป็นมาตรฐานดังรูปที่ 4.6 หากนำข้อมูลความสูงและน้ำหนักของใบเปรียบเทียบระหว่างภายใต้เงื่อนไขแต่ละชนิดแสงกับแสงควบคุม (แสงสีขาว) จะพบว่าโหระพภายใต้แสงสีแดงเป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงน้อยกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 24 ( $p=0.0001$ ) ส่วนแมงลักภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงน้อยกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 31 ( $p=0.0001$ ) (รูปที่ 4.6ก) และแมงลักภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบน้อยกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็น 3.12 เท่า หรือร้อยละ 68 ( $p=0.007$ ) (รูปที่ 4.6ข) และกะเพรามีเพียงน้ำหนักใบเท่านั้นที่แตกต่างจากแสงควบคุม โดยกะเพรภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบมากกว่าแสงสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็น 1.92 เท่า หรือร้อยละ 48 ( $p=0.050$ ) (รูปที่ 4.6ข)

การตอบสนองของการเจริญเติบโตภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระยะเวลาการให้แสงแตกต่างกัน พบได้ว่า น้ำหนักใบของโหระพภายใต้แสงผสมระหว่างแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินในทุกสัดส่วนของการทดลองในระยะเวลา 14 วัน มากกว่าภายใต้แสงในระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ อย่างน้อยร้อยละ 2.3 ( $p \leq 0.021$ ) กะเพรภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 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 แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบมากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ อย่างน้อยร้อยละ 41 ( $p \leq 0.001$ ) (รูปที่ 4.6ข) ส่วนความสูงของโหระพภายใต้แสงสีน้ำเงินเป็นระยะเวลา 14 วัน มากกว่าภายใต้แสงเป็นระยะเวลา 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ร้อยละ 9 ( $p=0.000$ ) กะเพรภายใต้แสงสีแดงเป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงมากกว่า 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ร้อยละ 31

( $p=0.000$ ) และแมงลักภายใต้แสงสีแดงและแสงสีขาวเป็นระยะเวลา 14 วัน มีความสูงมากกว่า 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ร้อยละ 21 และ 19 ( $p=0.000$ ) (รูปที่ 4.6ก) กล่าวโดยสรุปคือ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นส่งผลเชิงบวกทำให้มีการเจริญเติบโตของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ทางด้านความสูงและน้ำหนักใบเพิ่มมากขึ้น

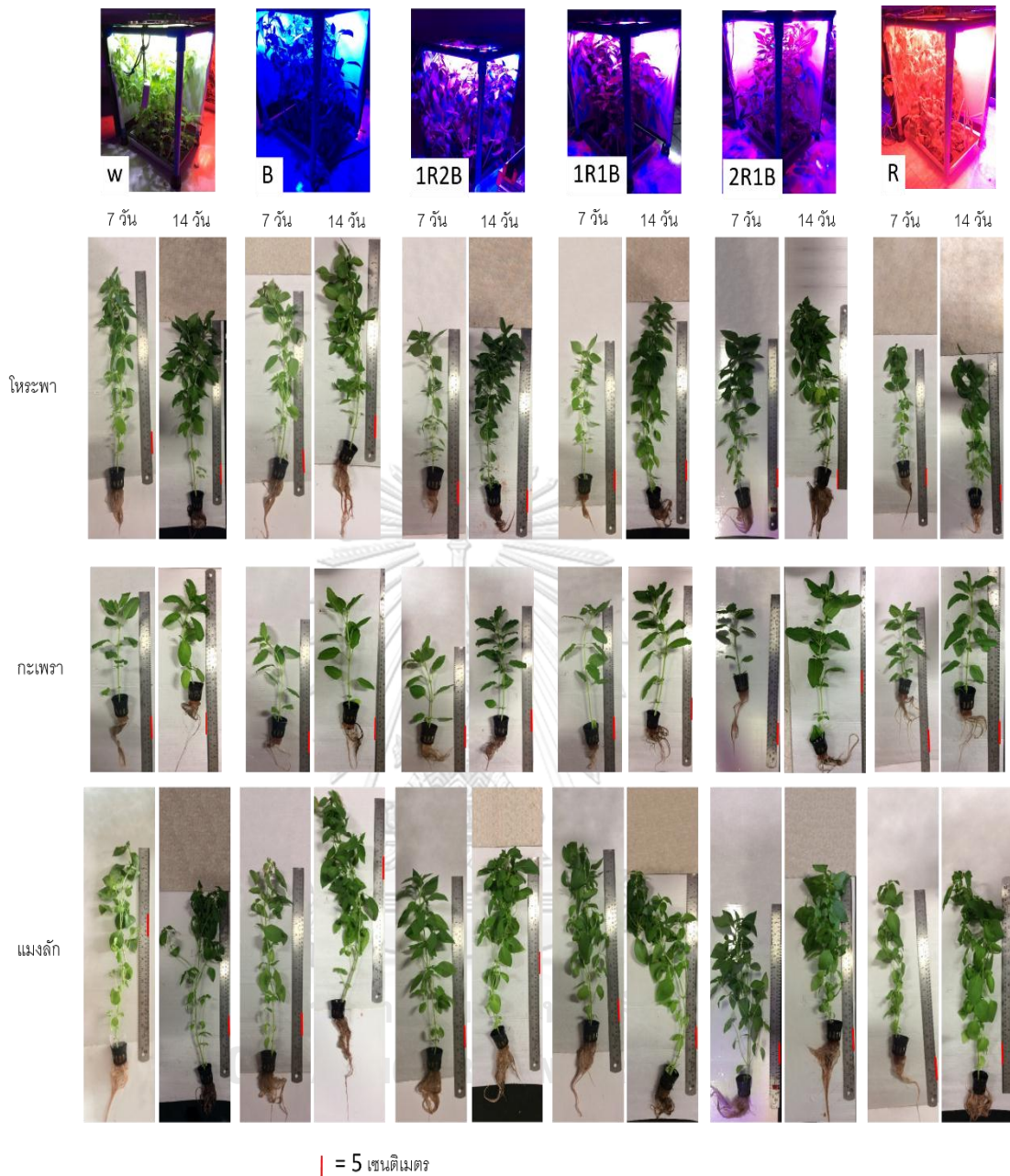
จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า แสงสีน้ำเงินมีผลเชิงบวกต่อความสูงในโหระพาและแมงลัก โดยโหระพาภายใต้แสงสีน้ำเงินเป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน มีความสูงมากกว่าแสงสีแดง และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 และ 2 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นอย่างน้อยร้อยละ 23 ( $p\leq 0.003$ ) และแมงลักภายใต้แสงสีน้ำเงินมีความสูงมากกว่าแสงสีแดง (ระยะเวลา 7 วัน) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 (ระยะเวลา 7 และ 14 วัน) อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นอย่างน้อยร้อยละ 17 ( $p\leq 0.004$ ) (รูปที่ 4.6ก) ส่วนน้ำหนักใบของกะเพราและแมงลักมีทิศทางตรงกันข้าม โดยแมงลักภายใต้เงื่อนไขทางแสงสีขาว แสงสีแดง และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักใบมากกว่าแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นอย่างน้อยร้อยละ 62 ( $p=0.007$ ) (รูปที่ 4.6ข) และกะเพราภายใต้แสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 เป็นระยะเวลา 14 วัน มีน้ำหนักมากกว่าแสงสีขาวและแสงสีน้ำเงินอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 48 และ 50 ตามลำดับ ( $p=0.050$ ) (รูปที่ 4.6ข)

การเจริญเติบโตของพืชมาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ทำให้พืชเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นน้ำตาลแล้วสะสมในรูปคงตัวก่อนนำไปเปลี่ยนเป็น ATP ใช้เป็นพลังงานในกระบวนการเจริญเติบโต ซึ่งรวมกับกลไกต่าง ๆ ภายในจะมีบทบาทให้พืชดำรงชีพต่อไปได้ โดยทั่วไปพืชจะนำแสงธรรมชาติที่มาใช้ประโยชน์ คือ แสงจากดวงอาทิตย์แต่จะมีช่วงความยาวคลื่นแสงที่เฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือเรียกว่า photo synthetically active radiation (PAR) ซึ่งจะพบว่า พืชมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวแสงสีน้ำเงิน (400-500 นาโนเมตร) และแสงสีแดง (600 - 700 นาโนเมตร) ทั้งนี้ ยังมีปัจจัยทางแสง อาทิ ความเข้มแสง ช่วงเวลาให้แสง และชนิดของแสง ที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Bantis et al., 2018) ใบจะเป็นตำแหน่งหลักที่จะดูดกลืนแสง เพื่อนำพลังงานไปยังกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้ผลิตเป็นอาหารต่อไป ดังนั้นใบจึงสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก แต่ในการศึกษานี้พบว่า พื้นที่ใบพืชทั้ง 3 ชนิดพันธุ์ ภายใต้เงื่อนไขทางแสงทั้ง 6 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามุ่งเน้นไปแนวโน้มของแสงสีแดงที่มีผลต่อพื้นที่ใบมากกว่าแสงสีน้ำเงิน โดยแสงสีแดงมีผลต่อการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จึงเป็นการส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเพิ่มการแบ่งเซลล์ แต่ไม่มีการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบไปสะสม ส่วนแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์ด้วยแสง มวลใบต่อพื้นที่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอนไซม์รูบิสโก การชักนำปากใบ และความหนาแน่นของปากใบ (Loughrin and Kasperbauer, 2001; Hernandez and Kubota, 2016; Dou et al., 2017)

การศึกษาในอนาคตควรมีการศึกษาสัณฐานของใบเพื่อสนับสนุนผลการทดลอง แต่หากมอง การเจริญเติบโตในด้านความสูงและน้ำหนักใบจากงานวิจัยที่ผ่านมาของพืชภายใต้เงื่อนไขทางแสงเทียม อาทิ งานวิจัยของ Hernandez and Kubota (2016) ที่ได้ทำการศึกษาด้านกล้าแตงกวา พบว่า แสงสีน้ำเงินมีผลเชิงบวกต่อความยาวลำต้น แต่มีผลให้มวลรากทั้งสดและแห้งลดลง ส่วน Roni et al. (2017) ได้รายงานว่ แสงสีน้ำเงินมีศักยภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าแสงสีขาวและแสงสีแดงจึงทำให้มีการเจริญเติบโตในทางที่ดี อีกทั้ง Jensen et al. (2018) ได้ระบุว่า แสงสีน้ำเงินผสมแสงสีแดงมีผลให้การเจริญเติบโตในเชิงบวกมากกว่าแสงสีแดงผสมแสงสีเขียว เนื่องจากโหระพา ภายใต้แสงสีน้ำเงินจากหลอด LED มีผลต่อความหนาแน่นของปากใบที่จะส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการผลิตภายในของพืช เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ พบว่าโหระพาและแมงลักภายใต้แสงสีน้ำเงินมีการตอบสนองในเชิงบวกของการเจริญเติบโตด้านความสูง (รูปที่ 4.6ก)

การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนัก พบว่าโหระพาภายใต้แสง LED ด้วยสัดส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินตำมือน้ำหนักสดมากกว่าสัดส่วนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากแสงควบคุม (Piovene et al., 2015) และผักสลัดแดงและเขียวภายใต้แสงสีแดงมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่า 4 เท่า เมื่อเทียบกับภายใต้แสงสีแดงผสมแสงสีน้ำเงิน (59:41) (Son and Oh, 2013) ในทางตรงกันข้ามกับการศึกษานี้ นั่นคือ กะเพราภายใต้สัดส่วนแสงสีแดงมากมีน้ำหนักมากกว่าแสงสีขาวและน้ำเงิน และแมงลักภายใต้แสงสีขาว แสงสีแดง และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 1 ต่อ 2 มีน้ำหนักมากกว่าแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 2 ต่อ 1 (รูปที่ 4.6ข) รวมถึงผลการศึกษาของ Loughrin and Kasperbauer (2001) ที่ได้ทำการศึกษาแสงสะท้อนจากวัสดุคลุมดิน พบว่าวัสดุคลุมดินที่มีสีขาวยังมีความเข้มแสงมากที่สุดและมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ใบสูงสุด ส่วนวัสดุคลุมดินที่มีสีแดงมีการตอบสนองเชิงบวกต่อน้ำหนักสดและร้อยละของน้ำในใบ





รูปที่ 4.7 การเจริญเติบโตของโหระพา กะเพรา และแมงลัก ภายใต้เงื่อนไขแสงควบคุมหรือแสงสีขาว (W) แสงสีแดง (R) แสงสีน้ำเงิน (B) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่อัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยมีสัญลักษณ์ระบุความยาวที่ 5 เซนติเมตร

**ตารางที่ 4.5** การเจริญเติบโต (ความสูง พื้นที่ใบ และ น้ำหนักใบ) ของโพธิ์ทะเล และ โพธิ์ทะเล (W) และ (R) น้ำเงิน (B) และแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินที่อัตราส่วน 1 ต่อ 2 (1R:2B) 1 ต่อ 1 (1R:1B) และ 2 ต่อ 1 (2R:1B) เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

ระยะเวลา	แสงสี	ความสูง (เซนติเมตร)				พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)				น้ำหนักใบ (กรัม)			
		โพธิ์ทะเล	กะเพรา	แสงสี	โพธิ์ทะเล	โพธิ์ทะเล	กะเพรา	แสงสี	โพธิ์ทะเล	โพธิ์ทะเล	กะเพรา	แสงสี	โพธิ์ทะเล
7 วัน	W	36.61±2.52 <sup>ab</sup>	20.39±1.24 <sup>a</sup>	41.72±1.17 <sup>ab*</sup>	11.24±0.81 <sup>a</sup>	12.04±0.63 <sup>a</sup>	16.81±1.04 <sup>a</sup>	4.69±0.83 <sup>a</sup>	1.74±0.09 <sup>a</sup>	6.16±0.63 <sup>a*</sup>			
	B	42.11±1.32 <sup>b*</sup>	17.94±1.75 <sup>a</sup>	44.56±0.66 <sup>b</sup>	13.10±0.61 <sup>a</sup>	11.79±0.47 <sup>a</sup>	14.85±0.84 <sup>a</sup>	6.20±0.90 <sup>a</sup>	1.74±0.09 <sup>a</sup>	4.32±0.28 <sup>a*</sup>			
	1R:2B	34.12±1.83 <sup>ab</sup>	19.78±1.78 <sup>a</sup>	40.44±1.58 <sup>ab</sup>	10.88±0.87 <sup>a</sup>	13.85±0.91 <sup>a</sup>	16.37±0.93 <sup>a</sup>	3.72±0.66 <sup>a*</sup>	2.06±0.11 <sup>a*</sup>	7.41±1.04 <sup>a*</sup>			
	1R:1B	37.39±1.85 <sup>ab</sup>	20.33±1.71 <sup>a</sup>	38.06±2.19 <sup>ab</sup>	11.79±1.05 <sup>a</sup>	12.12±0.77 <sup>a</sup>	15.52±0.96 <sup>a</sup>	5.77±0.95 <sup>a*</sup>	1.68±0.15 <sup>a</sup>	5.67±0.77 <sup>a*</sup>			
	2R:1B	32.33±2.61 <sup>a</sup>	19.22±0.85 <sup>a</sup>	34.89±1.78 <sup>a</sup>	10.59±1.33 <sup>a</sup>	12.02±0.52 <sup>a</sup>	15.60±0.90 <sup>a</sup>	4.69±1.22 <sup>a*</sup>	1.82±0.16 <sup>a*</sup>	5.82±1.05 <sup>a</sup>			
14 วัน	R	30.17±1.12 <sup>a</sup>	18.50±1.19 <sup>a*</sup>	36.94±1.63 <sup>a</sup>	11.98±0.64 <sup>a</sup>	12.55±0.74 <sup>a</sup>	13.97±1.18 <sup>a</sup>	3.69±0.44 <sup>a</sup>	2.16±0.18 <sup>a</sup>	4.69±0.26 <sup>a*</sup>			
	W	40.94±1.91 <sup>bc</sup>	18.94±0.92 <sup>a</sup>	51.39±1.68 <sup>a</sup>	11.10±0.80 <sup>a</sup>	12.99±0.85 <sup>a</sup>	16.30±1.54 <sup>a</sup>	8.50±1.94 <sup>a</sup>	2.14±0.14 <sup>a</sup>	15.49±2.41 <sup>b*</sup>			
	B	46.39±0.74 <sup>c*</sup>	20.56±0.68 <sup>a</sup>	48.44±2.32 <sup>a</sup>	12.54±0.64 <sup>a</sup>	11.71±0.86 <sup>a</sup>	17.38±1.18 <sup>a</sup>	7.70±0.89 <sup>a</sup>	2.05±0.17 <sup>a</sup>	10.27±1.48 <sup>ab*</sup>			
	1R:2B	35.89±2.39 <sup>ab</sup>	21.44±0.85 <sup>a</sup>	43.72±2.76 <sup>ab</sup>	11.27±0.88 <sup>a</sup>	13.48±0.78 <sup>a</sup>	18.40±0.78 <sup>a</sup>	7.35±1.37 <sup>a*</sup>	2.74±0.28 <sup>ab*</sup>	13.48±2.32 <sup>b*</sup>			
	1R:1B	41.94±2.19 <sup>bc</sup>	22.50±2.70 <sup>a</sup>	43.17±1.11 <sup>ab</sup>	12.32±1.14 <sup>a</sup>	13.40±1.52 <sup>a</sup>	15.24±0.59 <sup>a</sup>	11.31±2.20 <sup>a*</sup>	2.75±0.48 <sup>ab</sup>	9.69±1.53 <sup>ab*</sup>			
2R:1B	R	33.28±2.15 <sup>ab</sup>	25.89±2.79 <sup>a</sup>	35.22±2.73 <sup>a</sup>	10.92±0.66 <sup>a</sup>	14.66±1.30 <sup>a</sup>	15.33±1.03 <sup>a</sup>	4.80±0.66 <sup>a*</sup>	4.11±0.83 <sup>ab*</sup>	4.97±1.05 <sup>a</sup>			
	R	31.06±2.46 <sup>a</sup>	26.63±1.00 <sup>a*</sup>	46.50±2.19 <sup>b*</sup>	11.66±0.59 <sup>a</sup>	11.31±0.66 <sup>a</sup>	17.46±0.70 <sup>a</sup>	4.95±0.57 <sup>a</sup>	2.88±0.43 <sup>ab</sup>	13.04±1.48 <sup>b*</sup>			

**หมายเหตุ** สัญลักษณ์ a และ b ระบุความแตกต่างทางสถิติระหว่างเงื่อนไขการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยเงื่อนไขทางชนิดแสงเป็นต้น และสัญลักษณ์ \* ระบุความแตกต่างทางสถิติระหว่างระยะเวลาภายใต้เงื่อนไขทางแสงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ด้วยการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยเงื่อนไขทางช่วงเวลาให้แสงเป็นตัวแปรต้น

## บรรณานุกรม

- Ahlman, L., Bankestad, D. and Wik, T. (2017). "Using chlorophyll a fluorescence gains to optimize LED light spectrum for short term photosynthesis." Computers and Electronics in Agriculture 142: 224–234.
- Bantis, F., Ouzounis, T. and Radoglou, K. (2016). "Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success." Scientia Horticulturae 198: 277–283.
- Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N. and Radoglou, K. (2018). "Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs)." Scientia Horticulturae 235: 437–451.
- Brito, C. E., Bown, H. E., Fuentes, J., Franck, N., and Perez-Quezada, J. F. (2014). "Mesophyll conductance constrains photosynthesis in tree common sclerophyllous species in Central Chile." Revista Chilena de Historia Natural 87: 8.
- Carvalho, S. D., Schwieterman, M. L., Abrahan, C. E., Colquhoun, T. A. and Folta, K. M. (2016). "Light Quality Dependent Changes in Morphology, Antioxidant Capacity, and Volatile Production in Sweet Basil (*Ocimum basilicum*)." Frontiers in Plant Science 7: 1–12.
- Chen, L., Cheng, C. and Liang, J. (2002). "Effect of esterification on the Folin-Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols." Food chemistry 170: 10–15.
- Costa, L., Montano, Y. M., Carrión, C., Rolny, N. and Guamet, J. J. (2013). "Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves." Postharvest Biology and Technology 86: 181–191.
- Dasgupta, A. and Klein, K. (2014). "Chapter 16: Herbal and Other Dietary Supplements That Are Antioxidants Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements" Elsevier pp. 295–315.
- Dou, H., Niu, G., Gu, M. and Masabni, J. G. (2017). "Effects of Light Quality on Growth and Phytonutrient Accumulation of Herbs under Controlled Environments." Horticulturae 3: 1–11.

- Driever, S. M., Lawson, T., Andraiojc, P. J., Raines, C. A. and Parry, M. A. J. (2014). "Natural variation in photosynthetic capacity, growth, and yield in 64 field-growth wheat genotypes." Journal of Experimental Botany 65(17): 4959–4973.
- Dwivedi, A. and Mohan, B. K. (2018). "Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island." Remote Sensing Applications: Society and Environment 10: 56–69.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). Urban agriculture [Online]. Available from: <http://www.fao.org/urban-agriculture/en/> (2017, November 15)
- Foyer, C. H. and Shigeoka, S. (2011). "Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis" Plant Physiology 155: 93–100.
- Gitelson, A., Chivkunova, O., Zhigalova, T. and Solovchenko, A. (2017). "In situ optical properties of foliar flavonoids: Implication for non-destructive estimation of flavonoid content." Journal of Plant Physiology 218: 258–264.
- Golandam, S. (2016). "Plant Antioxidative Enzymes – Case Study: In Vitro Organogenesis of Saffron (*Crocus sativus* L.)." ANTIOXIDANT ENZYME 14: 369–380.
- He, J., Qin, L., Chong, E. L. C., Choong, T. and Lee, S. K. (2017). "Plant Growth and Photosynthetic Characteristics of *Mesembryanthemum crystallinum* Growth Aeroponically under Different Blue- and Red-LEDs." Frontiers in Plant Science 8: 361.
- Hernandez, R. and Kubota, C. (2016). "Physiological responses of cucumber seedling under different blue and red photon flux ratios using LED." Environmental and experimental Botany 121: 66–74.
- Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., Ieperen, W. V. and Harbinson, J. (2010). "Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis Sativus* grown under different combinations of red and blue light." Journal of Experimental Botany 61(11): 3107–3117.
- Huang, D., Ou, B. and Prior, R. L. (2005). "The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays." Journal of Agricultural and Food chemistry 53: 1841–1856.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). "Working Group 1



- contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Climate Change 2013: The Physical Science Basis.
- Internet World Stats. (2017). The world population [online]. Available from: <http://www.internetworldstats.com/stats8.htm> [2017, November 15]
- Jensen, N. B., Clausen, M. R. and Kjaer, K. H. (2018). "Spectral quality of supplemental LED grow light permanently alters stomatal functioning and chilling tolerance in basil (*Ocimum basilicum* L.)." Scientia Horticulturae 22: 38–47.
- Jin, D. and Russell, J. M. (2010). "Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties." Molecules 15: 7313–7352.
- Jolliffe, P. A. and Tregunna, E. B. (1968). "Effect of Temperature, CO<sub>2</sub> Concentration, and Light Intensity on Oxygen Inhibition of Photosynthesis in Wheat Leaves." Plant Physiology. January; 43(6): 902–906.
- Juliani, H. R. and Simon, J. E. (2002). "Antioxidant Activity of Basil." Herbs, Medicinals, and Aromatics pp. 575–579.
- Kasote, D. M., Katyare, S. S., Hegde, M. V. and Bae, H. (2015). "Significance of Antioxidant Potential of Plants and its Relevance to Therapeutic Applications." International Journal of biological sciences 11(8): 982–991.
- Kim, D., Jeong, S. W. and Lee, C.Y. (2003). "Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums." Food Chemistry 81(3): 321–326.
- Kong, Y., Stasiak, M., Dixon, M. A. and Zheng, Y. (2018). "Blue light associated with low phytochrome activity can promote elongation growth as shade-avoidance response: A comparison with red light in four bedding plant species." Environmental and Experimental Botany 155: 345–359.
- Kwee, E. M. and Niemyer, E. D. (2011). "Variations in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars." Food Chemistry 128: 1044–1050.
- Lambers, H., Chapin III, F. S. and Pons, T. L. (2002). "Plant Physiological Ecology." Springer-Verlag New York 1998 Second edition
- Lattanzio, V., Lattanzio, V. M. T. and Cardinali, A. (2006). "Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects." Phytochemistry pp. 23–67.

- LI-COR, Inc. (1999). "Using the LI-6400: Portable Photosynthesis System." 2<sup>nd</sup> Printing  
May, OPEN Software version 3
- Lin, C. (2002). "Blue Light Receptors and Signal Transduction." The Plant Cell S207–S225.
- Liu, H., Fu, Y., Wang, M. and Liu, H. (2017). "Green light enhances growth, photosynthetic pigment and CO<sub>2</sub> assimilation efficiency of lettuce as revealed by 'knock out' of the 480-560 nm spectral waveband." PHOTOSYNTHETICA 55(1): 144–152.
- Lobiuc, A., Vasilache, V., Pintilie, O., Stoleru, T., Burducea, M., Oroian, M. and Zamfirache, M. (2017). "Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. Microgreens." Molecules 22: 2111
- Loughrin, J. H. and Kasperbauer, M. J. (2001). "Light Reflected from Colored Mulches Affects Aroma and Phenol Content of Sweet Basil." Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 1331–1335
- Manter, D. and Kerrigan, J. (2004). "A/Ci curve analysis across a range of woody plant species: influence of regression analysis parameters and mesophyll conductance." Journal of Experimental Botany 55(408): 2581–2588.
- Maurizo, B., Anna, R. P., Alessandro, D. and Giovanni, G. S. (1993). "Antioxidants and Photosynthesis in the Leaves of *Triticum durum* L. Seeding Acclimated to low, Non-chilling Temperature." Journal Plant Physiology 142: 18–24.
- Mougeot, L. J. A. (2000). "Urban agriculture: definition, presence, potentials and risks, and Policy Challenges" Growing Cities Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda Cuba (October 11-15, 1999)
- Nadeem, M., Abbasi, B. H., Younas, M., Ahmad, W., Zahir, A. and Hano, C. (2019). "LED-enhanced biosynthesis of biologically active ingredients in callus cultures of *Ocimum basilicum* L." Journal of Photochemistry and Photobiology 190: 172–178
- National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory Global Monitoring Division (NOAA). (2018). Trend in Atmospheric Carbon Dioxide. [Online]. Available from: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html> (2018, April 8)

- Park, K. S., Bekhzod, K., Kwon, J. K. and Son, J. E. (2016). "Development of a Coupled Photosynthetic Model of Sweet Basil Hydroponically Grown in Plant Factories." Horticulture, Environment, and Biotechnology 57(1): 20–26.
- Pervaiz, T., Songtao, J., Faghihi, F., Haider, M. S., and Fang, J. (2017). "Naturally Occurring Anthocyanin, Structure, Functions and Biosynthetic Pathway in Fruit Plants." Journal Plant Biochem Physiol 5:187.
- Pimentel, C., Bernacchi, C. and Long, S. (2007). "Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of *Citrus limon*." Brazilian Journal of Plant Physiology 19(2): 141–147.
- Piovene, C., Orsini, F., Bosi, S., Sanoubar, R., Bregola, V., Dinelli, G. and Gianquinto, G. (2015). "Optimal red:blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture." Scientia Horticulturae 193: 202–208
- Roni, M. Z. K., Islam, M. S. and Shimasaki, K. (2017). "Response of Eustoma Leaf Phenotype and Photosynthetic Performance to LED Light Quality." Horticulturae 3: 50.
- Saez, P. L., Galmes, J., Ramirez, C. F., Poblete, L., Rivera, B. K., Cavieres, L. A., Clemente M. J., Flexas J. and Bravo L. A. (2018). "Mesophyll conductance to CO<sub>2</sub> is the most significant limitation to photosynthesis at different temperatures and water availabilities in *Antarctic vascular* species." Environmental and Experimental Botany 156: 279–287.
- Sage, R. F. (1994). "Acclimation of photosynthesis to increasing atmospheric CO<sub>2</sub>: The gas exchange perspective." Photosynthesis Research 39: 351–368.
- Samuoliene, G., Brazaityte, A., Virsile, A., Jankauskiene, J. and Saka, S. (2015). "Red Light-Dose or Wavelength-Dependent Photoresponse of Antioxidants in Herb Microgreens." PLOS ONE 11: 1–10.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S. and Eliceiri, K. W. (2012). "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis." Nature methods 9(7): 671–675.
- Shao, L., Fu, Y., Liu, H. and Liu, H. (2015). "Changes of the antioxidant capacity in *Gynura bicolor* DC under different light sources." Scientia Horticulturae 184: 40–45.
- Sharkey, T. D., Bernacchi, C. J., Farquhar, G. D. and Singaas, E. L. (2007). "Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C<sub>3</sub> leaves." Plant, Cell and

- Environment 30: 1035–1040.
- Sharma, O. P. and Bhat, T. K. (2009). "DPPH antioxidant assay revisited." Food chemistry 113: 1202–1205.
- Shiga, T., Shoji, K., Shimada, H., Hashida, S., Goto, F. and Yoshihara, T. (2009). "Effect of light quality on rosmarinic acid content and antioxidant activity of sweet basil, *Ocimum basilicum* L." Plant Biotechnology 26: 255–259.
- Son, K. and Oh, M. (2013). "Leaf shape, Growth, and Antioxidant Phenolic Compounds of Two Lettuce Cultivars Grown under Various Combinations of Blue and Red Light-emitting Diodes." HORTSCIENCE 48: 988–995.
- Stavang, J. A., Pettersen, R. I., Wendell, M., Solhaug, K. A., Junttila, O., Moe, R. and Olsen, J. E. (2010). "Thermoperiodic growth control by gibberellin does not involve changes in photosynthetic or respiratory capacities in pea." Journal of Experimental Botany 61(4): 1015–1029.
- Stinziano, J. R., Morgan, P. B., Lynch, D. J., Saathoff, A. J., McDermitt, D. K. and Hanson, D. T. (2017). "The rapid A-Ci response: photosynthetic in the phenomic era." Plant, Cell and Environment 40: 1256–1262.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002). "Plant Physiology" Sinauer Associates 3 edition
- Taulavuori, K., Hyoky, V., Oksanen, J., Taulavuori, E. and Julkunen-Tiitto, R. (2016). "Responses of phenolic acid and flavonoid synthesis to blue and blue-violet light depends on plant species." Environmental and Experimental Botany 121: 145–150.
- Taulavuori, K., Pyysalo, A., Taulavuori, E. and Julkunen-Tiitto, R. (2018). "Species-specific differences in synthesis of flavonoids and phenolic acids under increasing periods of enhanced blue light." Environmental and Experimental Botany 150: 183–187.
- Teofilovic, B., Grujic-L, N., Golocorbin-Kon, S., Stojanovic, S., Vastag, G. and Gadzuric, S. (2017). "Experimental and chemometric study of antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum*) extracts." Industrial Crops and Products 100: 176–182.
- Trouwborst, G., Hogewoning, S., Kooten, O. V., Harbinson, J. and Ieperen, W. V. (2016). "Plasticity of photosynthesis after the 'red light syndrome' in cucumber." Environmental and Experimental Botany 121: 75–82.
- United Nations Thailand. (2015). เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทย [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: (<http://www.un.or.th/globalgoals/th/the-goals/>) (15 พฤศจิกายน 2560)

- Walters, K. J. (2015). Quantifying the effects of hydroponic systems, nutrient solution, and air temperature on growth and development of basil (*Ocimum L.*) species. Master's Thesis, Department of Horticulture, Faculty of Science, Iowa state university
- Wang, Y., Noguchi, K. and Terashima, I. (2011). "Photosynthesis-Dependent and -Independent Responses of Stomata to Blue, Red and Green Monochromatic Light Differences Between the Normally Oriented and Inverted Leaves of Sunflower." Plant and Cell Physiology 52(3): 479–489.
- Wangcharoen, W. and Morasuk, W. (2007). "Antioxidant capacity and phenolic content of some Thai culinary plants." Maejo International Journal of Science and Technology 1: 100–106.
- Wongsen, W., Bodhipadma, K., Noichinda, S. and Leung, D. W. M. (2013). "Relationship between leaf position and antioxidant properties in three basil species." International Food Research Journal 20: 1113–1117.
- World Health Organization (WHO). Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Joint WHO/FAO Expert Consultation 2013; 916 (28 January--1 February 2002)
- Yang, X., Xu, H., Shao, L., Li, T., Wang, Y. and Wang, R. (2018). "Response of photosynthetic capacity of tomato leaves to different LED light wavelength." Environmental and Experimental Botany 150: 161–171.
- Zhen, S. and Iersel, M. W. V. (2017). "Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis." Journal of Plant Physiology 209: 115–122.
- กมล เลิศรัตน์, อรสา ดิสถาพร, สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร และวีระ ภาคอุทัย. (2544). "ผักในประเทศไทย สถานภาพของการผลิต การตลาดและการวิจัย" ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 2 ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- กรมส่งเสริมการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2558). "การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์" เอกสารคำแนะนำที่ 5/2558 ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 1 กระทรวงมหาดไทย, กรมการปกครอง. (2559). จำนวนประชากรไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat\\_age\\_disp.php](http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age_disp.php) (15 พฤศจิกายน 2560)
- กรุงเทพมหานคร มูลนิธิไปไม้เขียว โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ. (2552). รายงานผลกระทบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2552 กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร

- มูลนิธิไปไม้เขียว โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ  
 กองนโยบายและแผนงาน สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร. (2555ข). พื้นที่สีเขียวในรูปสวนสาธารณะ  
 กรุงเทพมหานคร ปี 2554
- กองนโยบายและแผนงาน สำนักผังเมือง. (2555ก). เกษตรกรรมในกรุงเทพมหานคร [ออนไลน์].  
 แหล่งที่มา: <http://203.155.220.230/m.info/nowbma/> (25 กุมภาพันธ์ 2561)
- กาญจนา สาลีดีดี. (2541). พฤกษศาสตร์ทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์
- โครงการสวนผักคนเมือง มูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน (ประเทศไทย). (มปก). แนะนำโครงการสวนผักคนเมือง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.thaicityfarm.com/autopagev4/show\\_article.php?auto\\_id=46](http://www.thaicityfarm.com/autopagev4/show_article.php?auto_id=46) (21 สิงหาคม 2560)
- เจษฎา เหลืองแจ่ม และจตุพร มังคลารัตน์. (2552). การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้สักในแปลงทดลองจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ รายงานผลงานวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2552
- โชติอนันต์ และคณะ. (2551). สมุนไพรไทย สำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน. กรุงเทพฯ : ดวงกมลพับลิชชิง
- ดิเรก ทองอร่าม. (2550). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน: หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดีการพิมพ์
- นนทชาติ ปราชญ์รักษา. (2553). ผักสมุนไพร : ปลูกกินเองง่ายๆ ภายในบ้าน. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : วิทยสถาน
- นาถศิริ โกมลพันธุ์. (2557). สวนผักคนเมือง: รวมรูปแบบ เทคนิค และเคล็ดลับการปลูกผักในเมือง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ประเทศไทย: โครงการสวนผักคนเมือง มูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืน หจก. ภาพพิมพ์ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ (2545) คู่มือศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ : บทที่ 1 กระบวนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide fixation). เอกสารทางวิชาการ. กลุ่มวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
- ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ดุริยะ สถาพร และสมนึก โตพ่วง. (มปก). การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าบางชนิดในบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร 1. พรรณไม้ป่าธรรมชาติและสวนป่า
- ปรีชา สุวรรณพินิจ และนงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. (2551). ชีววิทยา 1: พลังงานในชีวิต. พิมพ์ครั้งที่ 9 หน้า 104-161. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ป๋องปอนด์ รักอำนวยกิจ และพิริยะ ผลพิรุฬห์. (2550). “แต่ชาวเมืองผู้หัวไทย.” ใน ประชากรและสังคม 2550. วรชัย ทองไทย และสุรีย์พร พันพิง. บรรณาธิการ (นครปฐม: สำนักพิมพ์ประชากรและสังคม)

- พรรณา ชุมศรี. (2544). สมุนไพรรานาชาติ: ประวัติความเป็นมา สรรพคุณ และการออกฤทธิ์. ตอนที่ 1, เพชรบุรี: เพชรภูมิการพิมพ์
- พรรณา ชุมศรี. (2545). สมุนไพรรานาชาติ: ประวัติความเป็นมา สรรพคุณ และการออกฤทธิ์. ตอนที่ 2, เพชรบุรี: เพชรภูมิการพิมพ์
- พะยอม ต้นตี๋วัฒน์. (2521). สมุนไพรร. พิมพ์ครั้งที่ 1 จัดพิมพ์โดย สมาคมสมุนไพรรแห่งประเทศไทย
- พันทวี มาไพโรจน์. (2529). การสังเคราะห์แสงและการหายใจ. พิมพ์ที่ หน่วยพิมพ์เอกสารวิชาการ
- พีรเดช ทองอำไพ. (2556). ผักไทยไปอียู1 โดย สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.arda.or.th/easyknowledge/easy-articles-detail.php?id=100> (15 พฤศจิกายน 2560)
- พูนพิภพ เกษมทรัพย์. (2551). ชีววิทยา 2 โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มุลินธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 3 (กรุงเทพฯ: บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด)
- ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย (ภค.), สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.). (มปก). “คู่มือการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics).” การฟื้นฟูและเยียวยาผู้ประสบอุทกภัยหลังน้ำลดด้วยงานวิจัยของ วช.
- รัตนสุดา ชลธาตุ. (2558). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแนวทางการแก้ไขปัญหา (Climate Change and Potential Solutions) ใน วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 18 ฉบับเดือนมกราคม-ธันวาคม 2558
- รัตนา บรรเจิดพงศ์. (2545). “แอนติออกซิแดนซ์และกลไกการป้องกันโรค” เชียงใหม่เวชสาร 41: 101-108.
- วิเชษฐ คำสุวรรณ. (2551). การปลูกพืชผักสวนครัว กรุงเทพฯ: คลื่นอักษร
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559ก). พืชผัก : กะเพรา ลำดับที่ 75 ปี 2558. รายงาน ณ เดือน มิถุนายน 2559
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559ข). พืชผัก : โหระพา ลำดับที่ 79 ปี 2558. รายงาน ณ เดือน มิถุนายน 2559
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559ค). พืชผัก : แมงลัก ลำดับที่ 72 ปี 2558. รายงาน ณ เดือน มิถุนายน 2559
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. (2559). รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2559. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย: กรุงเทพฯ [อำนาจ ชิดไธสง, ปรีเวท วรรณโกวิท, มัทนพรรณ จิวเจียม, อัครมน ลิ่มสกุล, ศุภกร ชินวรรณ และชโลทร แก่นสันติสุขมงคล (บรรณาธิการ).

- สำนักงานเขตจังหวัดนครปฐม. (2559). ข้อมูลการผลิตกะเพรา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.nakhonpathom.doe.go.th/stat.html> (15 พฤศจิกายน 2560)
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). “เกษตรกรยุคใหม่ เพื่ออนาคตประเทศไทย” เอกสารประกอบการประชุมประจำปี 2560 ของ สศช. เรื่อง “ขับเคลื่อนแผนฯ 12 สู่อุตสาหกรรมไทย” ณ วันจันทร์ที่ 3 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนนทบุรี
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, สำนักงานอาหาร. (2546). ตารางปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546. พิมพ์ครั้งที่ 3. นนทบุรี: กรมอนามัย; หน้า 341-347.
- สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป. (2559). โครงการริเริ่มเกี่ยวกับการทำเกษตรอย่างยั่งยืนจากงานประชุม COP21 (อัดสำเนา)
- สำนักนายกรัฐมนตรี, สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). สรุปสาระสำคัญ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ฉบับที่ ๑๒ พ.ศ. ๒๕๖๐-๒๕๖๔
- สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร. (2555). การผลิตเมล็ดแมงลักคุณภาพ. เอกสารองค์ความรู้
- สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 กรมวิชาการเกษตร. (2556). การทดสอบเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตผักปลอดภัย.
- สิรินทรเทพ เต่าประยูร และทัศนีย์ เจียรพสุรัตน์. (2554). รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2554 คณะทำงานกลุ่มที่ 3 องค์ความรู้ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 320 น.
- สิรินาฏ พรศิริประทาน. (มปก.). “การส่งออกผักและผลไม้สดไทยไปสหภาพยุโรป” สถาบันระหว่างประเทศเพื่อการค้าและการพัฒนา (องค์การมหาชน) หน้า 1-22.
- สุวรรณณี แสนทวิสุข, ดวงใจ จงตามกลาง, ทัศนวรรณ สมจันทร์ และปิติพงษ์ โตบันลือภพ. (2555). “ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสมุนไพบบางชนิด” แก่นเกษตร 40(2): 480-483.
- อรรวรรณ ทองประสงค์, ชนะ ปัญญานนท์ และเรือนแก้ว สืบขุน. (2014). “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผักพื้นบ้านของไทย” Academic Science and Technology Conference (ASTC 2014) 02: 311-316.
- อัศมน ลิมสกุล. (2554). รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2554 คณะทำงานกลุ่มที่ 1 องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 240 น.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วิจิตรา จันทร์อุทัย
วัน เดือน ปี เกิด	6 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
วุฒิการศึกษา	ปัจจุบันศึกษาปริญญาโท หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	82/2 หมู่ 3 ตำบลอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 53000
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 เรื่อง "ผลกระทบของแสงเทียมต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการเจริญเติบโต ในพืชสกุล Ocimum ที่พบในไทย" วันที่ 15 มีนาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Pantana Tor-ngern, Vijittar Jan-uthai, and Nisa Leksungnoen.

(2018). "Quick Recovery of Leaf Photosynthesis and Fruit Quality from Soil Water Deficit of Citrus aurantiifolia Growing in a City".

EnvironmentAsia 11(1): 87-99.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY