

ผลกระทบของชนิดแสงต่อคุณภาพของผักกาดหอมที่ปลูกจากตู้ปลูกผัก
ไฮโดรโปนิคส์

Effect of Light Sources on Fresh Lettuce Quality from
Hydroponics Growing Boxes



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชากรรมอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ผลกระทบของชนิดแสงต่อคุณภาพของผักกาดหอมที่ปลูกจากตู้ปลูกผัก
ไฮโดรโปนิกส์

Effect of Light Sources on Fresh Lettuce Quality from
Hydroponics Growing Boxes



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF LIGHT SOURCES ON FRESH LETTUCE QUALITY FROM
HYDROPONICS GROWING BOXES



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR FOOD
ENGINEERING
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลกระทบของชนิดแสงต่อคุณภาพของผักกาดหอมที่ปลูกจากตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

Effect of Light Sources on Fresh Lettuce Quality from Hydroponics Growing Boxes

ผู้จัดทำ

1. นายกรวิชญ์ ยาวีราช 56010014
2. นางสาวจิราพร พวงยี่ง 56010198
3. นางสาวรวมพร การสมเจตน์ 56011000



(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ผลกระทบของชนิดแสงต่อคุณภาพของผักกาดหอมที่ปลูกจากตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

โดย

นายกรวิชญ์	ยาวิราช	56010014
นางสาวจิราพร	พวงยี่ง	56010198
นางสาวรวมพร	การสมเจตน์	56011000

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพบว่าคนไทยมีวิถีชีวิตที่เร่งรีบและไม่ค่อยได้รับประทานผักเพียงพอ ยิ่งกว่านั้นผักตามท้องตลาดที่มีจำหน่ายมักมีปัญหาสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายและก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพตามมา ดังนั้นการปลูกผักทานเองจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการบริโภคอาหารที่ไม่ปลอดภัยและช่วยให้ได้รับสารอาหารที่จำเป็นต่อสุขภาพเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการปลูกผักให้ได้คุณภาพดีนั้นจำเป็นต้องทราบปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูก เช่น ลักษณะพื้นที่ปลูก, วิธีการปลูก, แสง, น้ำ และปุ๋ย เป็นต้น โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดแสงต่อคุณภาพของผักกาดหอมที่ปลูกในตู้ปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์ ชนิดแสงที่ศึกษาประกอบด้วย 1) แสงธรรมชาติ 2) แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (FL) 3) แสงจากหลอดไฟแอลอีดีสีขาวและแดง (WR) 4) แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟแอลอีดีสีเหลือง (FLY) โดยเลือกใช้ผักกาดหอมเป็นผักในการทดสอบการปลูก ทำการวิเคราะห์คุณภาพผักกาดหอมที่ปลูกโดยการวัดอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ผลการศึกษาพบว่าในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 ผักกาดหอมที่อยู่ภายใต้แสงธรรมชาติมีการเจริญเติบโตสูงสุด ขณะที่แสง FLY มีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.9969 และ 0.2654 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมที่อยู่ภายใต้แสง FL มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 20.5659 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับการทดลองปลูกครั้งที่ 2 ผักที่อยู่ภายใต้แสง FLY มีการเจริญเติบโตสูงสุด อีกทั้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.9695 และ 0.2554 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ขณะผักที่อยู่ภายใต้แสง

FL มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 20.4221 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยความแตกต่างของการปลูกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 คือความเข้มของแสงภายนอกที่ต่างกัน ซึ่งความเข้มแสงครั้งที่ 1 มีค่า 1261.54 ± 245.34 ลักซ์ ส่วนครั้งที่ 2 มีค่า 242.80 ± 72.28 ลักซ์

คำสำคัญ: ชนิดแสง, ปลูก, ผักกาดหอม, ไฮโดรโปนิคส์, คุณภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Tittle Effect of Light Sources on Fresh Lettuce Quality from Hydroponics Growing Boxes

Students	Mr.Koravit	Yavirach	56010014
	Ms.Jiraporn	Puangying	56010198
	Ms.Ruamporn	Kansomjet	56011000

Thesis for Bachelor's Degree of Food Engineering
Department of Food Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2016

Advisor Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong

Abstract

Currently, Thai people have a hasty lifestyle and less consume vegetables. Moreover, vegetable sole in food market are always contaminated with harmful substances that can affect human health. Therefore, growing own vegetables is an alternative choice to reduce food hazards and to get healthier food nutrients. However, to obtain the good quality of fresh vegetable is depending on several factors such as growing and cultivation techniques, light, water, fertilizer, etc. In this project, the objective is to study the effect of different light sources on the quality of lettuce grown in a hydroponics growing box. The studied light sources included 1) Natural light 2) Fluorescent light (FL) 3) Mixed white and red LED (WR) 4) Fluorescent light plus yellow LED (FLY). Grown vegetable were then analyzed for its growth rate, chlorophyll content, carotenoids content and phenolic compounds content. The results showed that fresh lettuce in the first cultivation by using natural light source contained the highest growth, while lettuce grown from FLY light contained the highest chlorophyll and carotenoid content at 0.9969 and 0.2654 mg/g respectively as lettuce grown from FL light contained the highest phenolic compounds content at 20.5659 mg/g. Fresh

lettuce in the second cultivation by using natural light source contained the highest growth, while chlorophyll and carotenoid content at 0.9695 and 0.2554 mg/g. Whereas lettuce grown from FL light contained the highest phenolic compounds content at 20.4221 mg/g. The difference cultivations were light intensity between the first and second cultivation. The first cultivation had light intensity of 1261.54 ± 245.34 Lux, whereas the second cultivation had light intensity of 242.80 ± 72.28 Lux.

Keywords: Light source, Grow, Lettuce, Hydroponics, Quality



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงงาน ช่วยแนะแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงงาน รวมไปถึงให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานแก่นักศึกษา ให้ได้รู้จักกระบวนการคิด วิเคราะห์ ประมวลผลและประสบการณ์ในการทำงานโครงงานต่างๆ อย่างมากมาย

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ท่านผู้ซึ่งเป็นกรรมการการสอบปริญญาานิพนธ์ สำหรับการให้คำแนะนำและแนวคิดต่างๆ เพื่อนำไปแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนเล่มปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ (พี่แมน) คุณบุญนำ ผลโพธิ์ (พี่บุญนำ) คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ (พี่นุ้ย) และคุณสุธัญญา ถาดนาค (พี่โอ) เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานของโครงงาน อีกทั้งข้อมูลในด้านเอกสารในการทำโครงงานนี้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ นักศึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษาต่างๆ และคอยให้กำลังใจในการทำงานโครงงานนี้

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้วิจัย

นายกรวิษฐ์	ยาวิราช
นางสาวจิราพร	พวงยี่ง
นางสาวรวมพร	การสมเจตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 สภาพปัญหาการบริโภคผักในปัจจุบัน	4
2.2 วิธีการปลูกพืช	5
2.2.1 การปลูกพืชแบบใช้ดิน	5
2.2.2 การปลูกพืชไร้ดิน	6
2.2.3 ไฮโดรโปนิคส์	8
2.3 ข้อมูลพืชผักสวนครัว	12
2.3.1 ระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชผักสวนครัววงศ์ต่างๆ	13
2.3.2 ผักกาดหอม	14
2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์	20
2.4.1 ปัจจัยภายใน	21
2.4.2 ปัจจัยภายนอก	21
2.5 แสงที่ใช้ในการปลูกพืช	24
2.5.1 ชนิดของหลอดไฟ	24
2.5.2 คุณสมบัติของแสง	28
2.5.3 การติดตั้งหลอดไฟด้วยวิธีลูเมนต์	32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	
3.1 วัสดุอุปกรณ์	40
3.1.1 วัสดุสำหรับการสร้างตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	40
3.1.2 วัสดุสำหรับการเพาะต้นกล้าและการปลูกต้นผักกาดหอม	40
3.1.3 วัสดุสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผัก	40
3.1.4 อุปกรณ์สำหรับการสร้างตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	41
3.1.5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผัก	41
3.2 การออกแบบตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	42
3.2.1 กำหนดหลักเกณฑ์ในการออกแบบ	42
3.2.2 การออกแบบส่วนประกอบและอุปกรณ์	44
3.2.3 การออกแบบวงจรไฟฟ้า	47
3.2.4 การออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำ	47
3.2.5 การสร้าง และประกอบตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	48
3.3 การทดลองปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	48
3.3.1 การคัดเลือกชนิดผักที่ใช้ในการปลูก	48
3.3.2 การเตรียมต้นกล้า	48
3.3.3 การปลุกผักในตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	48
3.4 การวิเคราะห์คุณภาพผัก	49
3.4.1 การวัดการเจริญเติบโต	49
3.4.2 การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์	49
3.4.3 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก	50
3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	51
บทที่ 4 ผลการดำเนินการศึกษา	
4.1 ผลการออกแบบส่วนประกอบและอุปกรณ์	52
4.2 ผลการออกแบบวงจรไฟฟ้า	55
4.3 ผลการออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำ	56
4.4 รูปแบบตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	57
4.5 ผลการทดลองปลุกผักไฮโดรโปนิคส์	60
4.5.1 ความเข้มของแสงที่ปลูก	60
4.5.2 คุณภาพของผักที่ปลูก	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง	
ก.1 วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer	76
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ	
ข.1 ความเข้มแสง	77
ข.2 ความสูงของผักกาดหอม	81
ข.3 การเจริญเติบโตของผักกาดหอม	111
ข.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก	113
ข.5 การติดตั้งหลอดไฟ	115

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวของพืชผักสวนครัววงศ์ต่างๆ	13
ตารางที่ 2.2 รายชื่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์	24
ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา	35
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของรูปแบบไฮโดรโปนิคส์ในแต่ละรูปแบบ	39
ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ของวงจรไฟฟ้า	56
ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ของระบบหมุนเวียนน้ำ	57
ตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2	60
ตารางที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเข้มแสงในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	63
ตารางที่ 4.5 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	64
ตารางที่ 4.6 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	65
ตารางที่ ข.1.1 ความเข้มแสงภายในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในการทดลองครั้งที่ 2	77
ตารางที่ ข.2.1 ความสูงของผักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	81
ตารางที่ ข.2.2 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	82
ตารางที่ ข.2.3 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FL ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	83
ตารางที่ ข.2.4 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FL ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	84
ตารางที่ ข.2.5 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง WR ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	85
ตารางที่ ข.2.6 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง WR ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	86
ตารางที่ ข.2.7 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FLY ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	87
ตารางที่ ข.2.8 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FLY ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	88
ตารางที่ ข.2.9 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 0 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	89
ตารางที่ ข.2.10 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 3 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	89
ตารางที่ ข.2.11 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 6 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	90
ตารางที่ ข.2.12 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 9 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	90
ตารางที่ ข.2.13 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 12 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	91
ตารางที่ ข.2.14 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 15 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	91
ตารางที่ ข.2.15 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 18 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	92
ตารางที่ ข.2.16 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 21 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	92
ตารางที่ ข.2.17 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 24 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	93
ตารางที่ ข.2.18 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 27 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.2.19 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 30 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	94
ตารางที่ ข.2.20 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 33 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	94
ตารางที่ ข.2.21 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	95
ตารางที่ ข.2.22 ความสูงของผักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	96
ตารางที่ ข.2.23 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	97
ตารางที่ ข.2.24 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FLในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	98
ตารางที่ ข.2.25 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FLในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	99
ตารางที่ ข.2.26 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง WRในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	100
ตารางที่ ข.2.27 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง WRในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	101
ตารางที่ ข.2.28 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FLYในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	102
ตารางที่ ข.2.29 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FLYในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	103
ตารางที่ ข.2.30 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 0 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	104
ตารางที่ ข.2.31 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 3 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	104
ตารางที่ ข.2.32 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 6 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	105
ตารางที่ ข.2.33 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 9 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	105
ตารางที่ ข.2.34 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 12 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	106
ตารางที่ ข.2.35 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 15 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	106
ตารางที่ ข.2.36 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 18 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	107
ตารางที่ ข.2.37 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 21 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	107
ตารางที่ ข.2.38 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 24 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	108
ตารางที่ ข.2.39 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 27 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	108
ตารางที่ ข.2.40 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 30 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	109
ตารางที่ ข.2.41 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 33 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	109
ตารางที่ ข.2.42 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	110
ตารางที่ ข.3.1 ค่าการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	111
ตารางที่ ข.3.2 ค่าการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	112
ตารางที่ ข.4.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกในการปลูกครั้งที่ 1	113
ตารางที่ ข.4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกในการปลูกครั้งที่ 2	114
ตารางที่ ข.5.1 ค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์แบบต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.2 ระบบไฮโดรโปนิคส์ ทั้งหมด 6 ระบบ ได้แก่ (a) ระบบไส้ตะเกียง (Wick system), (b) ระบบหยดน้ำ (Drip system), (c) ระบบ FAD (Food and Drain or Ebb and flow system), (d) ระบบ DFT (Deep Flow Technique), (e) ระบบ NFT (Nutrient Film Technique) และ (f) ระบบ Aeroponics	12
รูปที่ 2.3 ต้นผักกาดหอม	15
รูปที่ 2.4 รากผักกาดหอม	15
รูปที่ 2.5 ใบผักกาดหอม	16
รูปที่ 2.6 ดอกผักกาดหอม	16
รูปที่ 2.7 เมล็ดผักกาดหอม	17
รูปที่ 2.8 ผักกาดหอมใบชนิดมีสีเขียวทั้งต้น	18
รูปที่ 2.9 ผักกาดหอมใบชนิดมีสีน้ำตาลทั้งต้น	18
รูปที่ 2.10 ผักกาดหอมห่อชนิดห่อหัวแน่น	19
รูปที่ 2.11 ผักกาดหอมห่อชนิดห่อหัวไม่แน่น	19
รูปที่ 2.12 ผักกาดหอมต้น	20
รูปที่ 2.13 หลอดไส้ หรือ หลอดอินแคนเดสเซนต์	24
รูปที่ 2.14 หลอดฮาโลเจน	25
รูปที่ 2.15 หลอดไอปรอท หรือ หลอดแสงจันทร์	26
รูปที่ 2.16 หลอดเมทัลฮาไลด์	26
รูปที่ 2.17 หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือ หลอดนีออน	27
รูปที่ 2.18 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	27
รูปที่ 2.19 หลอด LED	28
รูปที่ 2.20 ความแตกต่างของ Lux กับ Lumen	31
รูปที่ 2.21 การแบ่งส่วนโพรงพื้น โพรงห้อง และโพรงเพดาน	32
รูปที่ 2.22 ผลของระยะห่างของการติดตั้งดวงโคมที่เหมาะสมและมากเกินไป	36
รูปที่ 2.23 รูปแบบและระยะห่างการติดตั้งโคมไฟฟ้า	37
รูปที่ 3.1 shoot และroot ของผักกาดหอม	49
รูปที่ 4.1 ส่วนของโครงตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์	52
รูปที่ 4.2 วงจรไฟฟ้าของตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ ทั้ง 3 ตู้	55
รูปที่ 4.3 ระบบหมุนเวียนน้ำของตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 รูปแบบตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์	57
รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบของตู้ปลูกใน 1 ตู้ แบบ 3 มิติ (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)	58
รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของตู้ปลูกใน 1 ตู้ มุมมองด้านหน้า (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)	58
รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบของตู้ปลูกใน 1 ตู้ มุมมองด้านข้าง (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)	59
รูปที่ 4.8 ส่วนประกอบของระบบหมุนเวียนน้ำของตู้ปลูกใน 1 ตู้ มุมมองด้านบน (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)	59
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มีดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสง ในช่วงเวลาเช้า บ่ายและเย็นของแสงธรรมชาติในการปลูกครั้งที่ 2	61
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มีดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสง ในช่วงเวลาเช้า บ่ายและเย็นของแสง FL ในการปลูกครั้งที่ 2	61
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มีดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสง ในช่วงเวลาเช้า บ่ายและเย็นของแสง WR ในการปลูกครั้งที่ 2	62
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มีดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสง ในช่วงเวลาเช้า บ่าย และเย็นของแสง FLY ในการปลูกครั้งที่ 2	62
รูปที่ 4.13 การเพิ่มขึ้นของความสูงผักกาดหอมภายในระยะเวลา 36 วัน ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1	63
รูปที่ 4.14 การเพิ่มขึ้นของความสูงผักกาดหอมภายในระยะเวลา 36 วัน ในการทดลองปลูกครั้งที่ 2	63
รูปที่ 4.15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองครั้งที่ 1	66
รูปที่ 4.16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองครั้งที่ 2	66
รูปที่ 4.17 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองครั้งที่ 1	67
รูปที่ 4.18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองครั้งที่ 2	68
รูปที่ 4.19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วัน ในการทดลองครั้งที่ 1	68
รูปที่ 4.20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วัน ในการทดลองครั้งที่ 2	69
รูปที่ ข.5.1 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 1 เป็นดวงโคม แบบกึ่งกระจายแสงลง ดวงโคมเป็นแบบเปิด)	115
รูปที่ ข.5.2 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 2 ด้านบน เป็นแบบเปิดเช่นกัน แต่มีตะแกรงอยู่ด้านล่าง)	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.5.3 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 3 คล้ายกับประเภทที่ 2 แต่ตะแกรงมีความถี่มากกว่าคือ ระยะระหว่างตะแกรงน้อยกว่า 1 นิ้ว)	116
รูปที่ ข.5.4 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 4 เป็นแบบกระจายแสงลง ด้านบนปิด และอาจมีตะแกรงอยู่ด้านล่าง)	116
รูปที่ ข.5.5 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 5 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ตัวดวงโคมปิดมิดชิด)	117
รูปที่ ข.5.6 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 6 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ใช้ส่องสว่างเพดานหรือแนวเพดานเป็นส่วนใหญ่)	117



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การบริโภคผักผลไม้เป็นประจำจะส่งผลดีต่อสุขภาพร่างกาย ทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกัน ผิวพรรณสวยงาม ระบบขับถ่ายและระบบย่อยอาหารทำงานได้ดีขึ้น แต่ในปัจจุบันปริมาณการทานผักของคนไทยมี แนวโน้มลดลงพบว่าประชากรไทยจำนวนมากกว่า 75% บริโภคผลไม้ต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งรับประทานผักประมาณ 186 กรัม ต่อวันแต่เกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดประมาณ 400 กรัมต่อวัน (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2558) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผักและผลไม้ให้วิตามินซีมากกว่า 90% ในอาหารประจำวันซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นและร่างกายมนุษย์ต้องการอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ (Fu et al., 2016)

ซึ่งปัญหานี้มาจากหลากหลายสาเหตุอาจจะเป็นผลมาจากการมีวิถีชีวิตที่เร่งรีบขึ้นในสังคมยุคปัจจุบัน ทำให้มีผู้บริโภคส่วนหนึ่งไม่สามารถประกอบอาหารเองได้นิยมในการซื้ออาหารในร้านสะดวกซื้อ ทำให้มีการบริโภคผักและผลไม้มีน้อยลงอีก และอีกสาเหตุสำคัญคือสารพิษจากยาฆ่าแมลง ปัญหาจากการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในอาหารยังเป็นอีกหนึ่งข้อกังวลสำคัญสำหรับสังคมไทย ประโยชน์ของการบริโภคผักและผลไม้อาจถูกหักล้างด้วยความเสี่ยงจากสารเคมี บ่อยครั้งที่การสำรวจความปลอดภัยของอาหารตามตลาดและซูเปอร์มาร์เก็ตให้ผลลัพธ์ที่น่าตกใจ ไม่เพียงแต่กรณีที่มีปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่รวมถึงกรณีที่พบสารเคมีที่ห้ามใช้ในพืชผักชนิดนั้นๆ และการตรวจพบสารเคมีในสินค้าที่อ้างว่าเป็นผักปลอดสารพิษ กระทรวงสาธารณสุขได้เปิดเผยตัวเลขว่าคนไทยป่วยจากพิษสารกำจัดศัตรูพืชปีละเกือบ 1800 คนซึ่งมีทั้งพิษแบบเฉียบพลัน เช่น คลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียนศีรษะ และพิษเรื้อรัง เช่น โรคมิวหนัง มะเร็ง โรคระบบประสาทและจากข้อมูลรายงานการสำรวจขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ที่พบว่าประเทศไทย มีการใช้ยาฆ่าแมลงมากเป็นอันดับ 5 ของโลก ใช้ยาฆ่าหญ้าเป็นอันดับ 4 ของโลก ที่สำคัญจากการสำรวจในทุกปี ยังพบว่ามีพบสารเคมีตกค้างในผักและสารเคมีพิษอันตรายที่ทั่วโลกห้ามใช้ซึ่งนอกจากเกษตรกรซึ่งถือเป็นต้นน้ำของการผลิตที่เสี่ยงแล้วผู้บริโภคก็เสี่ยงต่ออันตรายด้านสุขภาพด้วยเช่นกัน แม้จะมีกระแสซื้อผักปลอดสารหลายยี่ห้อแต่ก็ไม่มีอะไรยืนยันได้ว่าจะรับประทานผักได้อย่างปลอดภัยจริงหรือไม่ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2549) ดังนั้นการปลูกผักทานเองทำให้มั่นใจได้ว่าผักที่เรารับประทานนั้นปลอดภัยจากยาฆ่าแมลง การปลูกผักทางเองที่บ้านมีหลายวิธี วิธีที่เรียบง่ายที่สุดคือ การปลูกลงดิน แต่บางคนอยากปลูกผักแต่ไม่มีพื้นที่สำหรับปลูกส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นผู้ที่อาศัยอยู่คอนโด หอพัก ห้องเช่า ตึกแถว ไม่มีพื้นที่ดินในการเพาะปลูก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิคส์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ และแก้ไขปัญหการปลูกในดินที่ไม่เหมาะสมหรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการปลูกผักได้ สามารถให้ผลผลิตอย่างสม่ำเสมอสามารถปลูกผักได้ทุกฤดูกาล ปลอดภัยจากการปนเปื้อนที่มาจากดิน แมลง และศัตรูพืช สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตได้ เช่น การควบคุมธาตุอาหาร อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) (อมรทิพย์, 2558) และอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชก็คือ แสงซึ่งแสงมีคุณสมบัติ 3 ประการ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ ความยาวคลื่น ความเข้มแสง และระยะเวลาที่พืชได้รับแสง โดยความเข้มแสงมีผลกระทบต่อพืชมากที่สุด (นันทธนา, 2553)

การปลูกผักในที่ร่มจะมีปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักและจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการปลูกพืชไร้ดิน ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกพืชไร้ดินในร่มหรือในครัวเรือนมากนัก โครงการนี้จึงเห็นความสำคัญของชนิดของแสงที่ส่งผลกระทบต่อผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ง่ายต่อการปลูกในครัวเรือนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพชนิดของแสงที่ใช้ในการปลูกและนำมาใช้เป็นแนวทางที่ในการปลูกผักรับประทานเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์
- 1.2.2 ออกแบบและสร้างตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในอาคาร
- 1.2.3 ศึกษาผลกระทบของชนิดแสงต่อคุณภาพของผักกาดหอมที่ปลูกจากตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบถึงวิธีการออกแบบตู้และอุปกรณ์ปลูกผักสำหรับบริโภคในอาคารและมีพื้นที่จำกัด
- 1.3.2 ทราบถึงผลกระทบของแสงแต่ละชนิดที่มีผลต่อคุณภาพผัก
- 1.3.3 เพิ่มทางเลือกให้ผู้บริโภคได้รับผักที่สะอาดและปลอดภัย

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 พื้นที่ปลูกไม่เกิน 1 ตารางเมตร
- 1.4.2 เป็นตู้ปลูกผักที่ใช้สำหรับการบริโภคในครัวเรือนมีขนาด 40x55x60 เซนติเมตร

เอกสารนี้ 1.4.3 ผักที่เลือกใช้เวลาปลูกไม่เกิน 6 สัปดาห์ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 เลือกศึกษาผลกระทบของแสงชนิดต่างๆดังนี้ ตู้ที่1 แสงธรรมชาติ (NL), ตู้ที่2 แสงจากหลอดไฟลูออเรสเซนต์ (FL), ตู้ที่3 แสงจากหลอดไฟแอลอีดีสีขาวและแดง (WR) และตู้ที่4แสงจากหลอดไฟลูออเรสเซนต์ และแอลอีดีสีเหลือง (FLY)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 สภาพปัญหาการบริโภคผักในปัจจุบัน

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการรณรงค์ให้มีการบริโภคผัก ผลไม้ในประชากรไทย แต่จากรายงานการสำรวจพบว่าประชากรไทยอายุ 15 ปีขึ้นไป บริโภคผักและผลไม้ในปริมาณต่อวัน ต่ำกว่าข้อเสนอแนะ (5 ส่วนมาตรฐานต่อคนต่อวัน) ถึงร้อยละ 82.3 และ เมื่อพิจารณาตามกลุ่มอายุพบว่า ผู้สูงอายุก่อนอายุ 80 ปีขึ้นไปบริโภค ผักและผลไม้ไม่เพียงพอ (200 กรัมต่อคนต่อวัน)

ในปัจจุบันวิถีชีวิตของประชากรไทยเปลี่ยนแปลงไปจากการมีวิถีชีวิตที่เร่งรีบขึ้น ส่งผลให้อาหารที่รับประทานไม่ได้คำนึงถึงคุณค่าประโยชน์เท่าที่ควรและมักจะนิยมเลือกรับประทานอาหารที่ตนเองอยากรับประทาน มีความนิยมซื้ออาหารในร้านสะดวกซื้อซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นเนื้อสัตว์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น ไส้กรอก แฮม เบคอน หรือบริโภคอาหารตามกระแสจากวัฒนธรรมต่างชาติของวัยรุ่นซึ่งอุดมไปด้วยไขมัน แป้งและเกลือ นับว่าเป็นปัญหาสุขภาพของสังคมไทยในปัจจุบันที่มีจำนวนประชากรไทยที่เป็นโรคเรื้อรังเพิ่มมากขึ้นเพราะโรคภัยเหล่านี้ล้วนแต่เป็นโรคที่เกิดจากการใช้ชีวิตประจำวันที่ไม่ดีปกตินกลายเป็นปัญหาเรื้อรังด้านสุขภาพและเป็นภัยเงียบที่สามารถคร่าชีวิตคนไทยไปได้หลายล้านคนในขณะที่โรคในทุกวันนี้ได้แก่โรคมะเร็ง โรคความดันโลหิตสูง โรคปอดเรื้อรัง โรคเบาหวาน โรคตับ

แต่หากมีการเพิ่มการบริโภคผัก ผลไม้ในประชากรไทยจะสามารถป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรังร้ายแรงได้ ระดับหนึ่ง นอกจากนี้ จะช่วยทำให้ระบบขับถ่าย และระบบย่อยอาหารทำงานได้ดีขึ้น เซลล์ส่วนต่างๆ ของร่างกายจะเสื่อมช้าลง นอกจากนี้ยังทำให้ผิวพรรณสดใส การบริโภคผลไม้ที่หลากหลาย เป็นประจำก็สามารถป้องกันการเกิดมะเร็งที่ปอด กระเพาะอาหาร ช่องปาก คอหอย กล้องเสียง และหลอดอาหาร ทั้งนี้กลไกการป้องกัน มะเร็งหรือการต้านอนุมูลอิสระเกิดจากสารพฤกษเคมีที่มีอยู่มากมายใน ผัก ผลไม้หลากสีได้แก่ สารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ไดอะลิลซัลไฟด์ (diallylsulphide) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) กลูโคซิโนเลท (glucosinolate) เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นที่ยอมรับกันว่า การบริโภคผักผลไม้เป็นประจำจะช่วยเรื่องการขับถ่ายและลดความเสี่ยงต่อโรคอ้วนและโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อภาวะสุขภาพได้แก่ โรคไขมันในเส้นเลือด โรคหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งโรคต่างๆดังกล่าวมีผลมาจากการเกิดอนุมูลอิสระเข้าไปทำลายเซลล์ ดังนั้นหากสามารถป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ ไม่ให้เข้าไปทำลายเซลล์โดยการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากอาหาร ก็จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดต่อเรื้อรังต่างๆ และองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดไว้ว่าควรทานผักไม่น้อยกว่าวันละ 400 กรัม เพราะลดความเสี่ยงโรคมะเร็งได้ถึง 50% โรคหัวใจ 30% โรคหลอดเลือดสมอง 6% และโรคมะเร็งทางเดินอาหาร โรคร้ายแรงที่คร่าชีวิตคนไทยนั้นล้วนแล้วแต่มีสาเหตุมาจากพฤติกรรมการเลือกรับประทานอาหารของคนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการลดปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรค หมั่นตรวจสุขภาพ รับประทานอาหารให้ครบ 5 หมู่ ในปริมาณที่เหมาะสม ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เลือดได้สูบน้ำมันไปหล่อเลี้ยงเซลล์ในร่างกาย และทำจิตใจให้ผ่อนคลาย ก็จะมีสุขภาพร่างกายและจิตใจที่แข็งแรง

2.2 วิธีการปลูกพืช

วิธีการปลูกพืชโดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ คือการปลูกพืชแบบใช้ดิน และการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน แต่ละวิธีให้ผลตอบแทนกับพืชที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการนำไปใช้

2.2.1 การปลูกพืชแบบใช้ดิน

2.2.1.1 การปลูกด้วยเมล็ดโดยตรง

เป็นวิธีการที่นิยมปลูกในที่ที่ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำและศัตรูพืชมากนัก ข้อดีคือสามารถทำให้พืชผักเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมธรรมชาติตั้งแต่เริ่มงอก ทำให้การเจริญเติบโตไม่ต้องหยุดชะงักเหมือนการย้ายปลูกและเปลืองแรงงานน้อยกว่า การปลูกด้วยเมล็ดมีด้วยกัน 3 วิธี คือ

1. การหว่านเมล็ด

เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับพืชผักกินใบที่มีอายุสั้น โตเร็ว มีระยะปลูกถี่ หาเมล็ดได้ง่าย ราคาถูก เช่น ผักบุ้ง ผักกาดขวางดั่ง ผักชี โดยจะนำเมล็ดห่อผ้าและแช่น้ำไว้หนึ่งคืน ก่อนที่จะทำการหว่าน

2. การหว่านเมล็ดแล้วถอนแยก

เป็นวิธีการที่นิยมมากในภาคกลาง พืชผักที่นิยมปลูกโดยวิธีนี้ ได้แก่ คะน้า ผักกาดขาว ผักกาดเขียวปลี ผักกาดหอม และผักกาดหัว หลังจากหว่านเมล็ดแล้วประมาณ 2 สัปดาห์ จึงจะทำการถอนแยกต้นกล้าเพื่อจัดระยะปลูกให้เหมาะสม

3. การปลูกโดยการหยอดเป็นหลุม

เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับพืชผักที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ซึ่งต้นกล้าแข็งแรงและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ได้แก่ ข้าวโพดหวาน ถั่วต่างๆ แตงต่างๆ บวบ มะระ โดยเตรียมหลุมให้มีระยะปลูกที่เหมาะสม หลังจากงอกแล้วก็จะมีการถอนแยกให้เหลือจำนวนต้นตามที่ต้องการ

2.2.1.2 การปลูกโดยวิธีการย้ายกล้า

กล้าผัก คือพืชต้นอ่อนที่มีใบจริง 2 – 3 ใบ หรือสูง 5 – 10 เซนติเมตร หรือมีอายุประมาณ 21–30 วัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชควรเป็นพืชที่มีเมล็ดขนาดเล็ก และทนต่อการกระทบกระเทือนจากการย้ายได้ดี รูปแบบการย้ายกล้ามี 2 วิธี คือ

1. แบบรากเปลือย

เป็นการย้ายปลูกโดยถอนกล้าออกจากแปลงเพาะหรือกระบะเพาะโดยไม่มีดินติดรากเลย หรือมีน้อยมาก เหมาะกับพืชที่มีอัตราการเจริญของรากใหม่ค่อนข้างเร็ว ทำให้อัตราการตายน้อย

2. แบบมีรากติดดิน

เป็นการย้ายปลูกโดยถอนชุดจากแปลงเพาะหรือกระบะ ถุงพลาสติก ภาชนะขนาดเล็ก ให้ต้นกล้ามีดินติดรากมากที่สุด นำส่วนกระดาช ถ้วยกระดาช แพงเพาะชำ นั้นสามารถย้ายลง ในดินได้พร้อมกับกล้าเลย เพราะสามารถย่อยสลายในดินได้

2.2.1.3 การปลูกโดยอาศัยส่วนต่างๆของต้นพืช

ต้นพืชประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ราก ลำต้น ใบ ซึ่งสามารถนำไปใช้ปลูกได้โดยอาศัยการขยายพันธุ์แบบต่างๆ เช่น การปักชำ การตอน การทาบกิ่ง การแบ่ง การแยกหน่อหรือการแยกออก สามารถปลูกโดยอาศัยส่วนต่างๆได้ 3 วิธี คือ

1. วิธีการแยก

เป็นวิธีการแยกส่วนของพืชออกตามรอยธรรมชาติแล้วนำไปปลูก เช่น หน่อกล้วย ตะไคร้ สับปะรด หอม กระเทียม

2. วิธีการแบ่ง

เป็นวิธีการตัดส่วนของพืชซึ่งไม่มีรอยแบ่งตามธรรมชาติออกเป็นส่วนๆ โดยให้มีตาติด แล้วนำไปปลูก เช่น มันฝรั่ง เมื่อนำไปชำจะเกิดเป็นต้นใหม่ แล้วจึงนำไปปลูก

3. วิธีการปักชำ

เป็นวิธีการตัดกิ่ง ราก หรือใบ มาจากต้นแม่ แล้วนำมาชำไว้ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เพื่อให้

ออกรากหรือต้น เป็นการเพิ่มจำนวนต้นใหม่โดยที่ต้นใหม่เหล่านี้มีลักษณะเหมือนต้นแม่ทุกอย่าง เช่น สระแหน่ กะเพรา โหระพา และชะอม

2.2.2 การปลูกพืชแบบไร้ดิน

2.2.2.1 การปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืช (Water Culture)

สามารถเรียกการปลูกแบบนี้ว่า ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีการจัดการที่ไม่ยุ่งยากและพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีด้วยการนำรากพืชจุ่มแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง ทั้งนี้รากพืชสามารถทำงานได้ 2 หน้าที่ด้วยกันคือ ดูดออกซิเจน และ ดูดอาหาร ส่วนที่ดูดออกซิเจนอยู่บริเวณโคนราก ซึ่งจะสัมผัสกับอากาศโดยตรง ส่วนรากดูดอาหารอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เห็นหน้าใช้สิ่งนี้ให้แจ้งให้ทราบค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณปลายราก โดยจะจุ่มแช่อยู่ในสารละลายและสามารถพัฒนาไปเป็นรากดูดอากาศ รูปแบบการปลูกในสารละลายจำแนกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.2.2.1.1 แบบนำสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

ระบบนี้เป็นระบบปิด (Closed System หรือ Recirculating System) เป็นวิธีการที่ใส่สารละลายไหลผ่านรากพืช แล้วระบายลงสู่ถังหรือภาชนะที่บรรจุแล้วมีการหมุนเวียนนำเอากลับมาให้แก่พืชใช้ใหม่อีกอย่างต่อเนื่องโดยการใช้ปั๊ม นิยมใช้ในการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืช เช่น NFT, DFT, DRFT และ FAD

2.2.2.1.2 แบบไม่นำสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

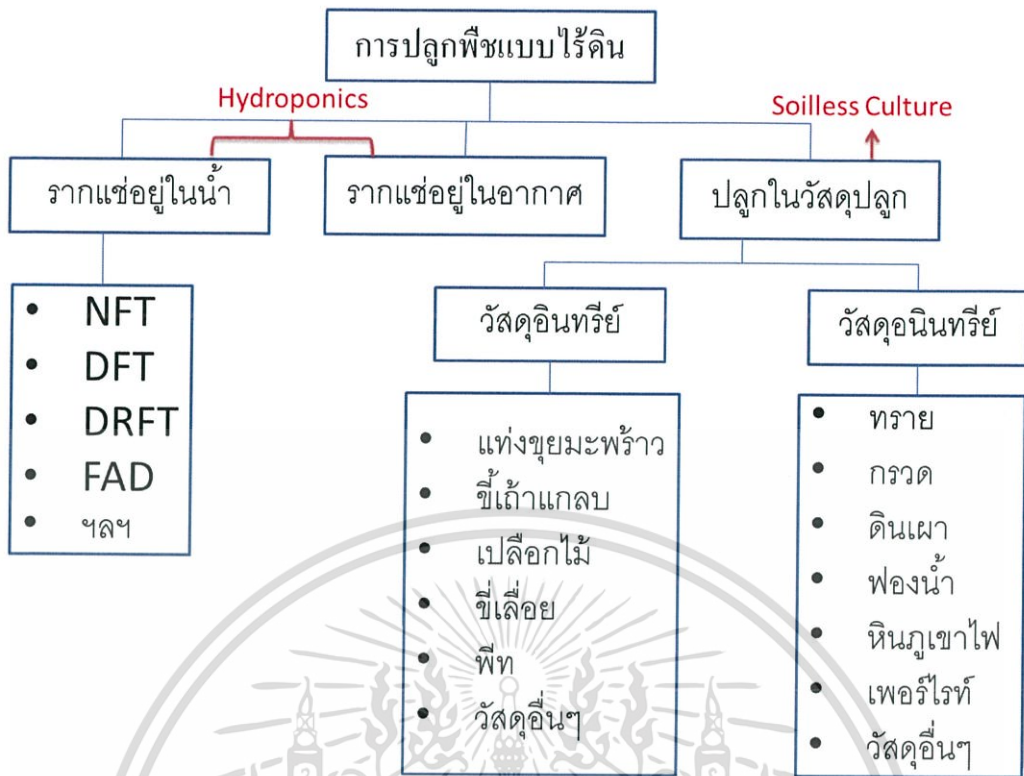
ระบบนี้เป็นระบบเปิด (Open System หรือ Nonrecirculating System) เป็นวิธีการที่ให้สารละลายไหลผ่านรากพืชแล้วไม่นำกลับมาใช้อีก พืชจะได้รับสารอาหารที่เตรียมขึ้นใหม่เสมอ นิยมใช้ในการปลูกแบบใช้วัสดุปลูก

2.2.2.2 การปลูกให้รากลอยอยู่กลางอากาศ (Aeroponics)

เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร ส่วนรากของพืชจะแขวนห้อยกลางอากาศลอยอยู่ภายในกล่องหรือตู้ที่เป็นห้องมืด จากนั้นจึงเติมธาตุอาหารแก่รากพืชด้วยการใช้ปั๊มอัดผ่านหัวฉีด ฉีดพ่นสารละลายให้เป็นฝอยละเอียดเป็นระยะ ๆ ตามเวลาที่กำหนดเพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 95-100 ข้อดีของระบบนี้คือ รากพืชไม่ขาดออกซิเจนและจะเจริญเติบโตได้เต็มที่ ข้อเสียของระบบนี้คือ ตู้ปลูกมักมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกและต้องลงทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ค่อนข้างสูงจึงมักใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาทางสรีระวิทยาของพืช

2.2.2.3 ระบบการปลูกในวัสดุปลูก (Substrate Culture)

เป็นการปลูกในลักษณะที่คล้ายกับการปลูกพืชบนดินมากที่สุด การดูแลรักษาจึงคล้ายกับการปลูกพืชในกระถาง แต่ใช้วัสดุปลูกอื่นแทนดินเพื่อให้รากพฤษภาคมลำต้นอยู่ได้ การปลูกในวัสดุปลูกปริมาณของวัสดุปลูกจะน้อยกว่าดินมากคือ รากพืชจะมีพื้นที่ในการหาน้ำและอาหารไม่เกิน 5 ลิตรต่อต้น ต้องใช้วัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำดี อุ้มน้ำได้น้อย มีอัตราส่วนระหว่างน้ำและอากาศที่เหมาะสม การเจริญเติบโตและสภาพภูมิอากาศก่อนปลูกควรปรับ pH ของวัสดุปลูกให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกเจือจาง



รูปที่ 2.1 ระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์แบบต่าง ๆ

2.2.3 ไฮโดรโปนิคส์

2.2.3.1 ความสำคัญของการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์

ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics) มีรากศัพท์มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ Hydro แปลว่า น้ำ Ponos แปลว่า งาน ซึ่งเมื่อนำ 2 คำมารวมกันจะมีความหมายว่า การทำงานที่เกี่ยวกับน้ำ เมื่อนำมาใช้ในการปลูกพืชจะหมายถึงการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืช โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายโดยตรง

ในปัจจุบันปัญหาด้านการเกษตรนั้นมักพบว่าดินเสื่อมคุณภาพ ทั้งจากการใช้ปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืช เกิดสารพิษตกค้างตลอด การสะสมโรคและแมลง ทำให้การปรับปรุงดินที่เสื่อมคุณภาพให้สามารถกลับมาปลูกพืชได้นั้น ค่อนข้างยุ่งยากหรือเสียค่าใช้จ่ายสูง แนวโน้มของผลผลิตที่มีคุณภาพก็ลดลง การปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิคส์ จึงเป็นทางเลือกที่จะทำให้เราสามารถปลูกพืชได้ผลผลิตตลอดทั้งปีและมีคุณภาพ นอกจากนั้นยังใช้ระยะเวลาในการปลูกพืชเร็วกว่าการปลูกด้วยดินเนื่องจากรากพืชสามารถรับสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำได้โดยตรง แต่การปลูกพืชด้วยดินนั้นเราจะใส่สารอาหารลงในดิน พืชก็ไม่สามารถนำมาใช้ได้หมดและยังสูญเสียพลังงานในการดูดสารอาหารอีกด้วย (นันทธนา, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์

ในส่วนของข้อดีนั้นจะโดดเด่นในเรื่องการจัดการด้านต่าง ๆ ประสิทธิภาพและปริมาณที่สามารถผลิตได้มากกว่าในดิน เมื่อเทียบพื้นที่การผลิตที่เท่ากัน สำหรับข้อเสียนั้นจุดที่สำคัญน่าจะเป็นในเรื่องการควบคุมดูแลเอาใจใส่ที่ต้องสม่ำเสมอมากกว่าการลงทุนในเบื้องต้น แต่ถ้าบริหารจัดการให้ดีก็สามารถคืนทุนได้เร็ว

ข้อดีของการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์

1. สามารถทำการเพาะปลูกพืชในบริเวณพื้นที่ที่ดินไม่ดี ดินเสื่อมสภาพ
2. ประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและการกำจัดวัชพืช
3. สามารถปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดปีในพื้นที่เดิม เนื่องจากไม่ต้องเตรียมดินและกำจัดวัชพืช
4. สามารถตัดปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่เกิดจากดิน ทำให้สามารถปลูกพืชในพื้นที่เดียวกันได้ตลอดปี
5. เป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพ
6. เพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้แรงงาน
7. สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างถูกต้องแน่นอน และรวดเร็วโดยเฉพาะในระดับรากพืช ได้แก่ การควบคุมปริมาณธาตุอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิความเข้มข้นของออกซิเจน ฯลฯ ซึ่งการปลูกพืชทั่วไปทำให้ยาก
8. พืชเจริญเติบโตเร็วกว่าการปลูกในดิน ผลผลิตรวมต่อปีจะมากกว่าการปลูกในดิน เมื่อเทียบพื้นที่การผลิตที่เท่ากัน
9. ผลผลิตที่ได้สะอาดและมีความสม่ำเสมอ

ข้อเสียของการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์

1. เป็นระบบที่มีราคาแพง เนื่องจากประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ มาก ต้นทุนการผลิตเริ่มต้นจะสูง
2. จะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญและประสบการณ์มากพอสมควรในการควบคุมดูแล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 ระบบไฮโดรโปนิคส์

รูปแบบการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ ระบบเปิด (Open System) เป็นระบบที่ไม่มีการนำน้ำที่ให้ธาตุอาหารพืชแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ และระบบปิด (Closed System) เป็นระบบที่นำน้ำที่ให้ธาตุอาหารพืชแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ หมุนเวียนตลอดเวลา ซึ่งระบบปิดจะมีประสิทธิภาพในการปลูกผักดีกว่าระบบเปิด (Lee, 2015) โดยรูปแบบการปลูกพืชในระบบปิดมีหลากหลายรูปแบบ ดังนี้

(a) ระบบไส้ตะเกียง (Wick system)

เป็นระบบที่นิยมสำหรับการเพาะปลูกพืชในร่ม ซึ่งเป็นรูปแบบการเลี้ยงด้วยตัวเองและไม่ต้องใช้น้ำปัมน้ำ โดยสารละลายธาตุอาหารพืชในอ่างเก็บน้ำจะถูกส่งผ่านไส้ตะเกียงหรือวัสดุเส้นใย (ในลอน) ที่สามารถดูดซับและลำเลียงน้ำจากอ่างเก็บน้ำไปยังพื้นที่รากโดยหลักการกระทำของเส้นเลือดฝอย ระบบนี้จะไม่ค่อยใช้ในเชิงพาณิชย์ แต่ได้ถูกนำมาใช้ในสวนขนาดเล็กเช่น บ้าน สำนักงาน เพื่อปลูกพืชไม้ดอกเพราะความเรียบง่ายของมัน ไม่เหมาะสำหรับพืชขนาดใหญ่หรือพืชช่วงชีวิตยาว ซึ่งต้องการน้ำในปริมาณมากกว่าปริมาณน้ำจากไส้ตะเกียงที่สามารถจัดหาให้ได้

(b) ระบบหยดน้ำ (Drip system)

เป็นระบบที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบเชิงพาณิชย์เป็นเวลาหลายปี สารละลายธาตุอาหารพืชในอ่างเก็บน้ำถูกส่งต่อให้กับพืชโดยใช้เครื่องสูบน้ำชนิดปรับค่าแบบมีตัวจับเวลา สามารถใช้ได้ทั้งระบบเปิดและระบบปิด สำหรับระบบปิดจะประหยัดน้ำได้มากกว่าระบบเปิด แต่อาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH และการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือเชื้อราในอ่างเก็บน้ำหรือท่อลำเลียง จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอใน อ่างเก็บน้ำเพื่อให้มั่นใจว่าสารละลายธาตุอาหารพืชเพียงพอต่อการดูดซึมของรากพืช นอกจากนี้ระบบยังมีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดไฟฟ้าดับ อาจทำให้พืชตายได้

(c) ระบบ FAD (Food and Drain or Ebb and flow system)

เป็นหนึ่งในระบบที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ ใช้เทคนิคการให้น้ำแบบน้ำท่วมและระบายอัตโนมัติ ซึ่งให้น้ำท่วมแก่รากพืชชั่วคราวและเป็นระยะๆ สารละลายธาตุอาหารพืชในอ่างเก็บน้ำขึ้นไปสู่รางปลูกด้านบนโดยปัมน้ำขึ้นไปจนถึงระดับหนึ่งและหยุดส่งน้ำ เพื่อให้รากอยู่ในสภาพเป็นระยะเวลานานหนึ่งเพื่อให้รากพืชดูดธาตุอาหาร หลังจากเลยเวลาที่กำหนดไว้จะมีการระบายน้ำจากรางปลูกกลับเข้ามาในอ่างเก็บน้ำผ่านระบบท่อ ระบบการไหลเวียนนี้ต้องใช้การสังเกตอย่างต่อเนื่องในการควบคุมปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำให้กับระบบ นอกจากนี้เชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรครากและสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ง่ายในระบบนี้ จึงอาจมีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการกรองหรือฆ่าเชื้อโดยวิธีอื่นๆเพิ่มเข้ามาในระบบ

(d) ระบบ DFT (Deep Flow Technique)

เป็นระบบที่ถูกปรับแต่งมาจากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีรูปแบบที่เรียบง่ายประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำ, ตัวจ่ายอากาศ, ระบบท่อ, บั้มลม และแท่นลอยน้ำ มีการปรับปรุงระบบการให้อากาศเพื่อให้ออกซิเจนละลายในน้ำ เป็นระบบน้ำลึกถูกพัฒนาเพื่อให้รากพืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพของสภาพการเจริญเติบโตทำได้โดยการตรวจสอบออกซิเจน ความเข้มข้นของธาตุอาหารและความเป็นกรดเป็นด่างของพืชที่ปลูก คอยปรับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงสว่างและหัวใจที่จะเจริญเติบโตได้ดีในระบบนี้ เหมาะกับพืชขนาดใหญ่หรือพืชที่ปลูกระยะยาว นอกจากนี้สาหร่ายและเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในอ่างเก็บน้ำ

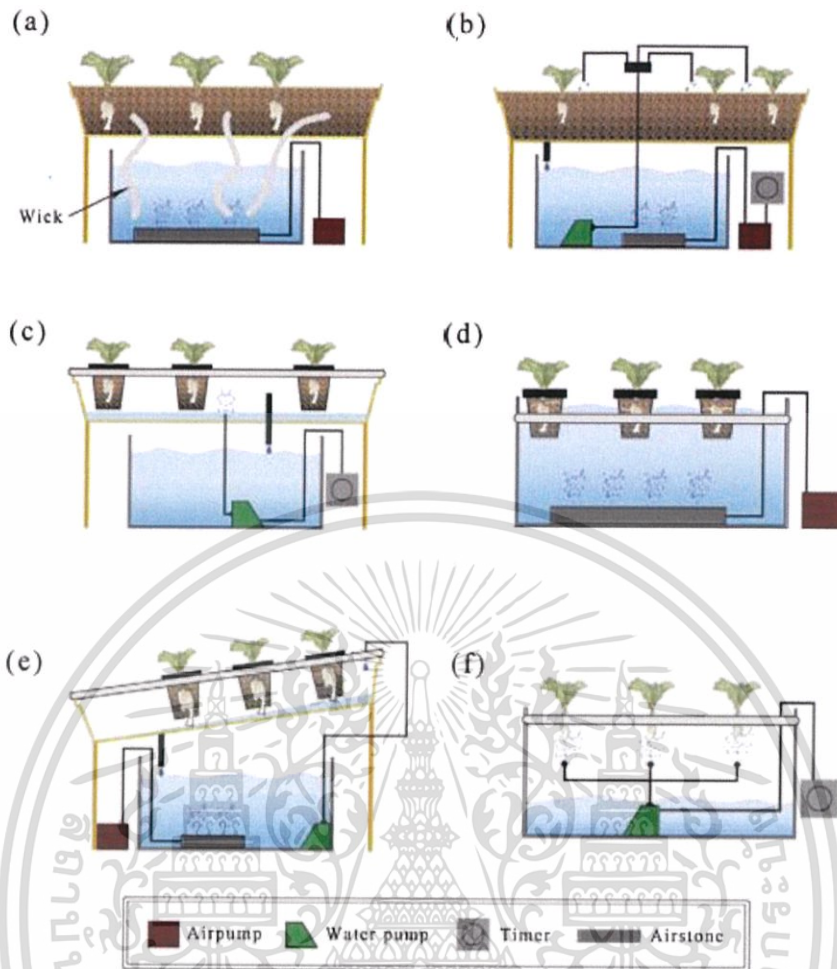
(e) ระบบ NFT (Nutrient Film Technique)

เป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อชดเชยจุดอ่อนของระบบ FAD ระบบนี้สามารถให้น้ำและสารอาหารได้อย่างต่อเนื่องและอุดมไปด้วยออกซิเจน โดยการควบคุมการไหลและความลึกของน้ำ สารละลายธาตุอาหารพืชในอ่างเก็บน้ำไหลเวียนไปทั่วทั้งระบบขึ้นไปสู่รากปลูกโดยผ่านปั้มน้ำที่ไม่มีการจับเวลาไหลผ่านรากอย่างต่อเนื่องแล้วนำน้ำที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณของน้ำถูกควบคุมโดยความลาดชันของรางปลูกและกำลังของปั้มน้ำ แต่ระบบนี้รากอาจเป็นโรคจากการติดเชื้อราเพราะรากถูกแช่อย่างต่อเนื่องในน้ำ

(f) ระบบ Aeroponics

เป็นระบบที่ให้สารอาหารอยู่ในรูปแบบหมอก สามารถควบคุมระบบรากได้อย่างละเอียดอ่อนและไม่ต้องใช้ตัวจ่ายอากาศและบั้มลม ใช้เครื่องสเปรย์แรงดันสูงที่มีหัวฉีดขนาดเล็กฉีดสารละลายธาตุอาหารพ่นรอบๆ รากโดยผ่านปั้มน้ำที่ถูกควบคุมโดยตัวจับเวลา ทำให้รากพืชได้รับสารละลายธาตุอาหารและออกซิเจนได้อย่างเต็มที่ การปรับแต่งรอบการให้หมอกเป็นสิ่งสำคัญเพราะรากพืชมีการสัมผัสกับอากาศ สามารถแห้งอย่างรวดเร็วและอาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิภายนอกซึ่งจะทำให้ระบบเหล่านี้ยากที่จะดำเนินงานภายใต้สภาพอากาศหนาวเย็นหรือหนาวจัด ระบบนี้จะไม่ค่อยได้ใช้ในเชิงพาณิชย์เนื่องจากเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการบำรุงรักษาการติดตั้งจะต้องทำความสะอาดบ่อยๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโรคพืชและการอุดตันของหัวฉีด นอกจากนี้หากระบบเกิดการหยุดทำงานอาจทำให้พืชตายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระบบไฮโดรโปนิคส์ ทั้งหมด 6 ระบบ ได้แก่ (a) ระบบไส้ตะเกียง (Wick system), (b) ระบบหยดน้ำ (Drip system), (c) ระบบ FAD (Food and Drain or Ebb and flow system), (d) ระบบ DFT (Deep Flow Technique), (e) ระบบ NFT (Nutrient Film Technique) และ (f) ระบบ Aeroponics

2.3 ข้อมูลพืชผักสวนครัว

ผักสวนครัว เป็นกลุ่มของพืชผักล้มลุกที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น มักปลูกตามครัวเรือนหรือแปลงปลูกขนาดใหญ่เพื่อการค้า โดยมีการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีผลผลิตตามต้องการ มักพบการผลิตเมล็ดพันธุ์ออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ ไม่รวมพืชผักท้องถิ่นหรือผักป่า พืชสมุนไพร และเครื่องเทศ รวมถึงไม้ผลบางชนิด ที่ปัจจุบันอาจพบการพัฒนา และปลูกเพื่อการค้า เช่น ผักกาดขาว, กะหล่ำปลี, กะหล่ำดอก, ผักชี, ผักบุ้ง, ผักคะน้า, พริก, กระเพรา, โหระพา, แมงลัก, ผักกวางตุ้ง, กระเทียม, ผักหอมหอม, หัวหอมใหญ่, หอมแดง, แดงกวา, ถั่วฝักยาว, มะเขือ ได้แก่ มะเขือเปราะ มะเขือพวง มะเขือเทศ, หน่อไม้ฝรั่ง ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชผักสวนครัววงศ์ต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวของพืชผักสวนครัววงศ์ต่างๆ

ชนิดของผัก	ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว
1) ผักวงศ์กะหล่ำ	
1.1) ผักกวางตุ้ง , ผักคะน้า	35 – 60 วัน
1.2) กะหล่ำปลี	50 - 90 วัน
1.3) กะหล่ำดอก	60 – 90 วัน
1.4) ผักกวงศ์กะหล่ำประเภทอื่น ๆ	40 – 70 วัน
2) ผักวงศ์แตง	
2.1) แตงกวา , แตงร้าน	30 - 40 วัน
2.2) บวบ , มะระ	55 - 60 วัน
2.3) แตงโม , ฟักทอง	40 – 60 วัน
3) ผักวงศ์ถั่ว	
2.1) ถั่วฝักยาว	45 - 50 วัน
2.2) ถั่วแระ	60 - 65 วัน
2.3) ถั่วพู	40 – 60 วัน
2.4) ผักวงศ์ถั่วประเภทอื่นๆ	40 – 60 วัน
4) ผักวงศ์พริก และมะเขือ	
4.1) พริก	45 – 60 วัน
4.2) มะเขือเทศ	75 – 90 วัน
4.3) มะเขือม่วง	60 – 75 วัน
4.4) มะเขือยาว	60 – 80 วัน
4.5) มะเขือเปราะ	45 – 60 วัน
5) ผักวงศ์หอม	
5.1) หอมหัวใหญ่	50 – 60 วัน
5.2) หอมแดง	75 – 90 วัน
5.3) กระเทียม	45 – 100 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวของพืชผักสวนครัววงศ์ต่างๆ (ต่อ)

ชนิดของผัก	ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว
6) ผักวงศ์อื่นๆ	
6.1) คื่นช่าย , ผักชี	40 – 50 วัน
6.2) ตะไคร้	90 – 100 วัน
6.3) แครอท	90 – 120 วัน
6.4) ผักบุ้ง	25 - 30 วัน
6.5) ผักกาดหอมใบ	40 – 50 วัน
6.6) ผักกาดหอมห่อ	60 – 75 วัน
6.7) เรดโอ๊ค	45 – 50 วัน
6.8) สลัดแก้ว	70 – 80 วัน
6.9) เรดลีฟ	45 – 50 วัน
6.10) บัตเตอร์เฮด	50 – 60 วัน
6.11) คอส	55 – 60 วัน
6.12) กรีนโอ๊ค	40 – 50 วัน

2.3.2 ผักกาดหอม

ผักกาดหอม (Lettuce) เป็นผักที่ใช้บริโภคส่วนใบ เป็นผักจำพวกผักสลัดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคกันแพร่หลายที่สุดในบรรดาผักสลัดด้วยกัน โดยส่วนใหญ่นิยมรับประทานสด และนำมาประกอบอาหารหลายชนิด คนไทยนิยมใช้ผักกาดหอมกินกับอาหารจำพวกยำต่างๆ สาकुหมู หรือข้าวเกรียบปากหม้อ เป็นต้น

2.3.2.1 ลักษณะของผักกาดหอม

1. ต้นผักกาดหอม

ลักษณะของลำต้นในระยะแรกมักจะมองไม่เห็น เพราะใบมักปกคลุมไว้ แต่จะเห็นได้ชัดเมื่อถึงระยะแทงช่อดอก ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อสั้น โดยแต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ ลักษณะของลำต้นจะค่อนข้างอวบอ้วนและตั้งตรงสูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้ชัดเจน หากปลูกในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก ๆ ลำต้นอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ถึง 2 นิ้ว



รูปที่ 2.3 ต้นผักกาดหอม

2. รากผักกาดหอม

รากเป็นระบบรากแก้วที่แข็งแรงและอวบอ้วน รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงดินได้ถึง 5 ฟุต หรือมากกว่านั้น แต่การย้ายไปปลูกจะทำให้รากแก้วเสียหายได้ (แต่การย้ายปลูกจะมีผลดีช่วยให้ผักกาดหอมประเภทหัว ห่อหัวได้ดีขึ้น) และรากที่เหลือจะเป็นรากแขนง แผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดิน ประมาณ 1-2 ฟุต โดยรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มอย่างหนาแน่น ไม่ค่อยแพร่กระจายมากนัก โดยเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ



รูปที่ 2.4 รากผักกาดหอม

3. ใบผักกาดหอม

ใบมีสีตั้งแต่เขียวอ่อน สีเขียวปนเหลือง ไปจนถึงสีเขียวแก่ แต่สำหรับบางสายพันธุ์จะมีสีแดง หรือมีสีน้ำตาลปนอยู่ ทำให้มีสีแดง สิบรอนซ์ หรือสีน้ำตาลปนเขียว ใบจะแตกออกมาจากลำต้น โดยรอบ โดยพันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา และมีเนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบห่อหัวอัดกันแน่นคล้ายกับกะหล่ำปลี ส่วนใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน ส่วนบางชนิดจะเป็นใบมันงอประาะ เห็นเส้นใบได้ชัดเจน ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก โดยขนาดและรูปร่างของใบนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามแต่ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ใบผักกาดหอม

4. ดอกผักกาดหอม

ผักกาดหอมจะออกดอกเป็นช่อดอกรวม ประกอบไปด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่กันเป็นกระจุกตรงส่วนยอด ในแต่ละกระจุกจะประกอบไปด้วยดอกย่อยประมาณ 15-25 ดอกหรือมากกว่านั้น ก้านช่อดอกจะมีความยาวประมาณ 2 ฟุต ส่วนช่อดอกอันแรกจะเกิดบริเวณยอดอ่อน หลังจากนั้นจะเกิดบริเวณมุมใบ โดยช่อดอกที่เกิดบริเวณยอดจะมีอายุมากที่สุด ดอกผักกาดหอมเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกมีสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน มีรังไข่ 1 ห้อง เกสรตัวเมีย 1 ก้าน มีลักษณะเป็น 2 แฉก ส่วนเกสรตัวผู้จะมี 5 ก้าน อยู่รวมกันเป็นยอดยาวทอหุ้มก้านเกสรตัวเมียและยอดเกสรตัวเมียไว้



รูปที่ 2.6 ดอกผักกาดหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมล็ดผักกาดหอม

เมล็ดเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยวที่เจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลม คล้ายรูปหอก และมีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดบนเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีเปลือกหุ้มเมล็ด บาง เปลือกจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดมีสีเทาปนสีครีม มีความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร



ในปัจจุบันมีการปลูกผักกาดหอมเพื่อใช้ในการบริโภคอยู่ 3 ชนิดใหญ่ ๆ ซึ่งได้แก่

1. ผักกาดหอมใบ (Leaf lettuce)

ในประเทศไทย ผักกาดหอมใบจะเป็นที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากกว่าผักกาดหอมชนิดอื่น ๆ โดยเป็นผักกาดที่ใบไม่ห่อเป็นหัว ใบมีขนาดกว้างใหญ่และหยิก ลักษณะลำต้นเป็นพุ่มเตี้ย โดยผักกาดหอมใบจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสีเขียวทั้งต้นและชนิดที่มีสีน้ำตาลทั้งต้น



รูปที่ 2.8 ผักกาดหอมใบชนิดมีสีเขียวทั้งต้น



รูปที่ 2.9 ผักกาดหอมใบชนิดมีสีน้ำตาลทั้งต้น

2. ผักกาดหอมหัว (Head lettuce)

เป็นผักกาดหอมที่ใบจะห่อเป็นหัว เพราะมีใบเรียงซ้อนกันแน่นมาก โดยผักกาดหอมหัวจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

2.1 ชนิดหัวแน่น (Crisp head)

ลักษณะของใบจะบาง กรอบ และเปราะง่าย สามารถเห็นเส้นกลางใบได้ชัดเจน ใบจะห่อเป็นหัวแน่นคล้ายกับหัวกะหล่ำปลี และเป็นชนิดที่นิยมปลูกกันมากในทางการค้าเพราะขนส่งได้สะดวก



รูปที่ 2.10 ผักกาดหอมหัวชนิดหัวแน่น

2.2 ชนิดหัวไม่แน่น (Butter head)

ลักษณะของใบจะห่อเป็นหัวแบบหลวม ๆ ใบอ่อนนุ่ม ผิวใบมัน ใบไม่กรอบ โดยใบที่ซ้อนกันอยู่ข้างในจะมีลักษณะเหมือนถูกเคลือบไว้ด้วยเนยหรือน้ำมัน เพราะมีลักษณะอ่อนนุ่มและเป็นเมือกลิ้น ๆ และใบข้างในจะซ้อนทับกันพอประมาณ มีสีเหลืองอ่อน ๆ คล้ายกับเนย



รูปที่ 2.11 ผักกาดหอมหัวชนิดหัวไม่แน่น

2.3 ชนิดหัวหลวมค่อนข้างยาว

ลักษณะของใบจะห่อเป็นรูปกลมยาวหรือเป็นรูปกรวย คล้ายกันผักกาดขาวปลี ใบจะมีลักษณะยาวและแคบ ใบแข็ง ชนิดนี้จะนิยมปลูกกันมากในทวีปยุโรป และยังแบ่งแยกย่อยออกเป็น 2 ชนิด คือ พันธุ์ที่มีหัวขนาดใหญ่ และพันธุ์ที่มีหัวขนาดเล็ก

3. ผักกาดหอมต้น (Stem lettuce)

ลักษณะของลำต้นจะอวบ มีลำต้นสูง ใบจะเกิดขึ้นต่อกันไปจนถึงยอดหรือช่อดอก ลักษณะของใบคล้ายกับผักกาดหอมใบ แต่ใบจะเล็กกว่า มีความหนาและมีสีเขียวเข้มกว่า โดยมีทั้งชนิดกลมและยาว ไม่ห่อหุ้ม โดยผักกาดหอมต้นนี้จะปลูกไว้เพื่อรับประทานต้นเท่านั้น



รูปที่ 2.12 ผักกาดหอมต้น

2.3.2.3 ประโยชน์ของผักกาดหอม

1. ผักกาดหอมเป็นผักที่มีแคลอรีต่ำ จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ต้องลดน้ำหนักหรือควบคุมน้ำหนัก
2. การรับประทานผักกาดหอมร่วมกับแครอทและผักโขมจะช่วยบำรุงสีของเส้นผมให้สวยงามได้
3. นอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารที่ดีแล้ว ยังนิยมนำมาใช้ตกแต่งอาหารเพื่อให้มีสีสันสวยงามน่ารับประทานยิ่งขึ้น
4. ปัจจุบันมีการใช้ยาง (Latex) ที่สกัดจากผักกาดหอมออกมาจำหน่ายในรูปแบบยา มีทั้งชนิดน้ำและแบบชนิดเม็ด

2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ แบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก ๆ คือ ปัจจัยภายใน หรือ ปัจจัยด้านพันธุกรรม (Internal or Genetic factor) และปัจจัยภายนอก หรือ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (External or Environmental factors) โดยปัจจัยภายในจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตการเจริญเติบโต ได้แก่ พันธุกรรมของพืช และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ฮอร์โมนพืช) ส่วนปัจจัยภายนอกจะเป็นตัวกำหนดระดับของการเจริญเติบโต ได้แก่ แสง,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ, ความชื้น, อากาศและองค์ประกอบของอากาศ, น้ำและองค์ประกอบของอากาศในน้ำ, ธาตุอาหารพืช, ค่า PH ในน้ำและสิ่งมีชีวิตอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น จุลินทรีย์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

2.4.1 ปัจจัยภายใน

2.4.1.1 พันธุกรรมของพืช

ปัจจัยพันธุกรรมในการเพาะปลูกพืช คือ พันธุ์พืช เป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดการแสดงออกของสิ่งมีชีวิต ลักษณะที่แสดงออกของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมด้วยหน่วยพันธุกรรม ที่เรียกว่า ยีนส์ (genes) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการกำหนดให้สิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโตและการพัฒนาการ โดยการกระตุ้นให้มีการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตหรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการพัฒนาการ และปัจจัยทางพันธุกรรมนี้จะแสดงออกได้มากน้อยเพียงใด จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยสภาพแวดล้อมประกอบไปด้วย (รศ.ดร.สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2558) จากการศึกษาของ Baslam และคณะ (2013) ซึ่งศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของใบของผักกาดหอมหัวทั้ง 3 สายพันธุ์ สำหรับบริโภคเป็นสลัด ผลการวิจัยพบว่า ผักกาดหอมในแต่ละสายพันธุ์มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน

2.4.1.2 สารควบคุมการเจริญเติบโต

สารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นสารที่ได้จากขบวนการทางสรีรวิทยา เช่น การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากการสังเคราะห์แสง และการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตโดยการหายใจเป็นน้ำตาลหรือขบวนการสร้างสารประกอบอื่นๆ เช่น โพรตีน ไขมัน มีทั้งที่พืชสร้างขึ้นเอง (Plant hormone, Phytohormone) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (Plant Growth Regulators) ทั้ง 2 แบบมีความสำคัญต่อการให้สารควบคุมการเจริญเติบโต แบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่ม คือ กลุ่มออกซิน (Auxins), กลุ่มจิบเบอเรลลิน (Gibberellins), กลุ่มไซโตไคนิน (Cytokinins), เอทิลีน (Ethylene), กรดแอบไซซิก (Abscisic acid) และกลุ่มอื่นๆ (Miscellaneous) (นันทธนา, 2553) ซึ่งฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นนี้จะมีบทบาทต่อการกระตุ้น ยับยั้งการเจริญเติบโตและการพัฒนาการ หรือเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืช (รศ.ดร.สังคม เตชะ วงศ์เสถียร, 2558)

2.4.2 ปัจจัยภายนอก

2.4.2.1 แสง

แสง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชเพราะเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสง ซึ่งแสงมีคุณสมบัติ 3 ประการ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ ความยาวคลื่น ความเข้มแสง และระยะเวลาที่พืชได้รับแสง โดยความเข้มแสงมีผลกระทบต่อพืชมากที่สุด (นันทธนา, การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2553) นอกจากนี้ระยะเวลาที่พืชได้รับแสงซึ่งจะแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของช่วงแสงจะมีอิทธิพลอย่างยิ่งในการเปลี่ยนพืชจากระยะการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ (Vegetative growth) ไปเป็นการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (Reproductive growth) นั่นคือ ช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกและการลงหัวของพืชบางชนิด (รศ.ดร.สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2558) Li and Kubota (2009) ศึกษาผลกระทบของความยาวคลื่นแสงโดยใช้ชนิดหลอดไฟที่แตกต่างกันมีผลกระทบต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ เรสคอส (Red Cross) ผลการวิจัยพบว่า แสงที่มีสมบัติต่างชนิดกันมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมโดยให้ค่าแต่ละสารในปริมาณที่แตกต่างกัน

2.4.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ มีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาเคมีและชีววิทยาของพืช พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโต แตกต่างกัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) กระบวนการเหล่านี้ควบคุมโดยเอนไซม์ซึ่งจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิแคบๆ ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจะทำให้เอนไซม์ทำงานลดลง พืชจะอยู่ในภาวะเครียดและหยุดเจริญเติบโตและอาจตายได้ในที่สุด อุณหภูมิจึงมีบทบาทสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้ลดลง ทำให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจของราก (นันทธนา, 2553) อุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่อุณหภูมิกลางวันจะมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชมากกว่าอุณหภูมิกกลางคืน โดยทั่วไปอุณหภูมิกกลางคืนที่เหมาะสมจะต่ำกว่าอุณหภูมิกกลางวันประมาณ 10 องศาเซลเซียส (รศ.ดร.สังคม เตชะ วงศ์เสถียร, 2558)

2.4.2.3 ความชื้น

ความชื้น มีผลโดยตรงต่อการคายน้ำของพืชเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงจะทำให้พืชคายน้ำน้อยลง ส่งผลให้การลำเลียงแร่ธาตุอาหารต่างๆจากรากไปสู่ใบลดลงและยังทำให้อุณหภูมิกที่ใบสูงขึ้น นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์สูงยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคพืชได้ง่ายอีกด้วย (นันทธนา, 2553)

2.4.2.4 อากาศและองค์ประกอบของอากาศ

พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงจากอากาศ และใช้ออกซิเจนนอกในการหายใจ ก๊าซบางชนิดในอากาศ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนนอกไซด์ ถ้ามีปริมาณมากจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.5 น้ำและองค์ประกอบของอากาศในน้ำ

ออกซิเจนมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช คุณภาพน้ำจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากพืชได้รับธาตุอาหารจากน้ำในระบบ ถ้าน้ำมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคต่างๆ เชื้อโรคจะแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วจึงต้องมีการฆ่าเชื้อก่อนนำไปใช้ ในส่วนของรากที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารมักเกิดปัญหาเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช จึงต้องมีการเติมออกซิเจนในสารละลายโดยใช้ปั๊มลมและหัวจ่ายอากาศ โดยปกติควรรักษาระดับออกซิเจนในสารละลายให้อยู่ที่ 8 ppm (นันทธนา, 2553)

2.4.2.6 ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืช เป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เนื่องจากแร่ธาตุอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหาร เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ และเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยในกิจกรรมการสังเคราะห์แสงและการหายใจ แร่ธาตุอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากหรือธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือธาตุอาหารรอง ในวิทยาการสมัยใหม่ค้นพบว่าธาตุอาหารของพืชบางชนิดอาจเป็นธาตุอาหารรองในพืชชนิดหนึ่ง แต่อาจเป็นธาตุอาหารหลักในพืชอีกชนิดหนึ่งก็ได้ (รศ.ดร.สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2558)

2.4.2.7 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)

เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตทางอ้อม โดยทั่วไปสารละลายธาตุอาหารพืชควรมี pH อยู่ระหว่าง 5.5-6.5 หรือประมาณ 6 ไม่ควรเกิน 7 ขึ้นกับชนิดพืช (นันทธนา, 2553.)

2.4.2.8 สิ่งมีชีวิตอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

เชื้อโรคส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นสูง เชื้อโรคทำให้ต้นพืชเกิดความเสียหาย โดยปนเปื้อนอยู่ในระบบหมุนเวียนน้ำไปทุกส่วนของระบบทำให้เกิดการแพร่เชื้อโรคไปอย่างรวดเร็ว ต่อมามีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์ระหว่างระบบปิดและระบบเปิดซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสภาพการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เชื้อรา *Fusarium*, *Phytophthora* และ *Pythium* ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคพืชที่พบบ่อยในระบบไฮโดรโปนิคส์ และจากงานวิจัยของ Lee (2015) ได้ทำการรวบรวมรายชื่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะเป็นตัวลดจำนวนเชื้อโรคและ ยับยั้งการแพร่ระบาดของโรคพืชให้ลดลงได้แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รายชื่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ (Lee, 2015)

Genus	Species	Host plant
<i>Pseudomonas</i>	<i>Aeruginosa, aureofaciens, chlororaphis, corrugate, fluorescens, fulva, marginalis, oligandrum, syringae, plecoglossicida, putida</i>	ถั่ว, ดอกคาร์เนชั่น, แตงกวา, ผักกาดหอม, พริก, มันฝรั่ง
<i>Bacillus</i>	<i>Amyloliuefaciens, cereus, subtilis, thuringiensis</i>	แครอท, มันฝรั่ง, ผักกาดหอม, พริก
<i>Enterobacter</i>	<i>Aerogenes</i>	แตงกวา
<i>Streptomyces</i>	<i>Griseoviridis</i>	แตงกวา, มันฝรั่ง
<i>Gliocladium</i>	<i>Catenulatum</i>	แตงกวา, มะเขือเทศ
<i>Trichoderma</i>	<i>Asperellum, atroviride, harzianum, virens</i>	ถั่ว, ฝ้าย, แตงกวา, ข้าว

2.5 แสงที่ใช้ในการปลูกพืช

2.5.1 ชนิดของหลอดไฟ

2.5.1.1 หลอดไส้ หรือ หลอดอินแคนเดสเซนต์

หลอดไส้ หรือ หลอดอินแคนเดสเซนต์หรือเรียกว่าหลอดดวงเทียน มีทั้งชนิดแก้วใส และแก้วฝ้า ไส้หลอดทำจากทังสเตน เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดความร้อนขึ้นถึงความร้อนมากขึ้นเท่าใดแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากไส้หลอดก็จะมากขึ้นเท่านั้นและให้แสงสีเหลืองส้ม อายุการใช้งานสั้นทั้งยังสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก เนื่องจากสูญเสียพลังงานไปกับความร้อนที่เกิดขึ้น เพราะสาเหตุนี้ปัจจุบันนี้จึงไม่เป็นที่นิยมนำหลอดไฟชนิดนี้ไปใช้งาน



รูปที่ 2.13 หลอดไส้ หรือ หลอดอินแคนเดสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 หลอดฮาโลเจน

หลอดฮาโลเจนมีหลักการการทำงานคล้ายกับหลอดไส้ คือกำเนิดแสงจากความร้อน โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดที่ทำจากทังสแตน แต่จะแตกต่างจากหลอดไส้ ตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน โบรมีน และฟลูออรีน ลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ ซึ่งจะช่วยให้หลอดฮาโลเจนมีอายุการใช้งาน ปริมาณแสงสว่าง อุณหภูมิสี สูงกว่าหลอดไส้ และให้แสงสีขาว และให้ค่าความถูกต้องของสีถึง 100 % มีอายุการใช้งานประมาณ 1500-3000 ชั่วโมง จึงนิยมใช้ให้แสงพวกเครื่องประดับ หรือให้แสงสำหรับการแต่งหน้า



รูปที่ 2.14 หลอดฮาโลเจน

2.5.1.3 หลอดไอปรอท หรือ หลอดแสงจันทร์

หลอดไอปรอท หรือ หลอดแสงจันทร์จะทำงานด้วยหลักการปล่อยประจุความเข้มสูง มีอายุการใช้งานประมาณ 24000 ชั่วโมง มีค่าความถูกต้องของสีค่อนข้างต่ำ แสงจะออกนวลมีปริมาณแสงสว่างต่อวัตต์สูงกว่าหลอดชนิดอื่นๆ แสงส่องสว่างได้ไกลเหมาะกับการงานสนามและภายนอกอาคาร เมื่อเปิดหลอดประเภทนี้ จะต้องใช้เวลาสักพักหนึ่งก่อนจะทำงานได้เต็มที่ และเมื่อปิดแล้วก็ต้องรออีกราว 10 นาทีก่อนจะเปิดใช้งานได้อีก ปัจจุบันหลอดไอปรอทไม่นิยมใช้งานแล้ว เนื่องจากดูแลรักษายาก และปรอทก็ยังเป็นพิษต่อคนและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.15 หลอดไอปรอท หรือ หลอดแสงจันทร์

2.5.1.4 หลอดเมทัลฮาไลด์

หลอดเมทัลฮาไลด์มีลักษณะการกำเนิดแสงสว่างคล้ายกับหลอดแสงจันทร์ แต่ภายในบรรจุอิเล็กตรอนที่ทำด้วยทั้งสแตนลิวน์ๆ ภายในกระเปาะผสมฮาไลด์ชนิดต่างๆ ทำให้ได้ปริมาณแสงมากขึ้นกว่าหลอดแสงจันทร์ เกือบเท่าตัว ได้แสงสีสมดุลงขึ้นจนดูใกล้เคียงแสงแดด อายุการใช้งานประมาณ 24000 ชั่วโมง ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสีมาก เช่น งานพิมพ์สี สนามกีฬาเฉพาะที่มีการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ สวนสาธารณะ ห้างสรรพสินค้า



รูปที่ 2.16 หลอดเมทัลฮาไลด์

2.5.1.5 หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดนีออน

หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดนีออนเป็นหลอดแก้วทรงกระบอก หรือแบบกลม ด้านในหลอดเคลือบด้วยสารเรืองแสง ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหลอดจะแตกตัวเป็นไอออนเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปกระทบก๊าซจะเกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ทำให้หลอดสว่างขึ้น ใช้งานร่วมกับบัลลาสต์ และสตาร์ทเตอร์ ให้แสงสว่างนวลตา เหมาะกับการทำงาน สามารถให้สีของแสงได้หลายแบบ เช่น สี warm white ให้แสง สีขาวอมเหลืองนวล ทำให้รู้สึกอบอุ่น สี cool white ให้แสงสีขาวอมฟ้า ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้สึกเย็นสบายตา แต่จะทำให้สีของวัตถุเพี้ยนไป และสี day light ให้แสงใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ ทำให้มองเห็นสีของ วัตถุใกล้เคียงกับสีจริง ให้แสงสว่างมากขึ้น 4 เท่า มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าถึง 8 เท่า (6,000 ถึง มากกว่า 20,000 ชั่วโมง) และใช้พลังงานเพียง 20% เมื่อเทียบกับหลอดไส้จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร



รูปที่ 2.17 หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือ หลอดนีออน

2.5.1.6 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีหลักการทำงานเหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีทั้งแบบที่มีบัลลาสต์ในตัว มีขั้วเป็นแบบเกลียว สวมใส่เข้ากับเต้าเกลียวของหลอดไส้ได้เลย และแบบที่มีขั้วเป็นขาเสียบ ใช้ร่วมกับโคม และมีบัลลาสต์ภายนอก โดยผลิตออกมาหลายค่าพลังงาน สีของแสง มี warm white, cool white และ day light เช่นเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ รูปร่างก็หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นหลอดคู่ หลอดสี่แถว หลอดยาว หลอดเกลียว หลอดมีโคมครอบ มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.18 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.7 หลอด LED

หลอด LED ถือว่าเป็นทางเลือกของอนาคตได้เลยทีเดียว ด้วยคุณสมบัติการทำงานที่ไม่มีการเผาไส้หลอด จึงไม่เกิดความร้อน แสงสว่างเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งพลังงานเปลี่ยนเป็นแสงสว่างได้เต็มที่ มีแสงหลายสีให้เลือกใช้งาน ขนาดที่เล็กทำให้ยืดหยุ่นในการออกแบบ การจัดเรียง นำไปใช้ด้านตกแต่งได้ดี มีความทนทาน ไม่ต้องห่วงเรื่องไส้หลอดขาด หรือหลอดแตก ด้านอายุการใช้งานก็อยู่ได้ถึง 50,000-60,000 ชั่วโมง ทั้งยังปรับหรือแสงได้ง่ายกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ และที่สำคัญ ปราศจากปรอท และสารกลุ่มฮาโลเจนที่เป็นพิษ แต่มีข้อเสีย คือในปัจจุบันหลอด LED มีราคาสูงกว่าหลอดธรรมดาทั่วไปและมีความสว่างไม่มากนัก หลอด LED จะมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันไปตามสีต่างๆ เช่น สีแดงไกล ความยาวคลื่นสูงสุด 850 นาโนเมตร, สีแดง ความยาวคลื่นสูงสุด 660 นาโนเมตร, สีเหลือง ความยาวคลื่นสูงสุด 596 นาโนเมตร, สีเขียว ความยาวคลื่นสูงสุด 522 นาโนเมตร และสีน้ำเงิน ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร



รูปที่ 2.19 หลอด LED

2.5.2 คุณสมบัติของแสง

2.5.2.1 ความยาวของคลื่นแสง (Light quality or Wavelength)

แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นหลายระดับ โดยที่แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 225–2,500 นาโนเมตร แต่แสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นโลก จะมีความยาวคลื่นระหว่าง 310–2,300 นาโนเมตร ทั้งนี้เนื่องจาก คลื่นสั้น หรือแสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ซึ่งเป็นแสงที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้ โดยชั้นของโอโซน (ozone) ในบรรยากาศ ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง (Infrared) ความยาวคลื่นมากกว่า 2,300 นาโนเมตร จะถูกดูดซับไว้โดยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นผิวโลก อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คลื่นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ช่วงความยาวคลื่น ต่ำกว่า 390 นาโนเมตร เป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสง Infra-red ช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 810 นาโนเมตร จะทำให้ปล้องของพืชยืดยาวออก

2. คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible light) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 390-810 นาโนเมตร แต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีสีต่างกัน แสงในกลุ่มนี้จะมีผลต่อพืช คือ

2.1 แสงสีม่วง (390-410 นาโนเมตร) แสงสีคราม (411-425 นาโนเมตร) และสีน้ำเงิน (426-492 นาโนเมตร) เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสงที่เรียกว่า Phototropism เช่น การที่ดอกไม้บางชนิดหันเข้าหาแสง การโค้งงอของพืชเข้าหาแสง เป็นต้น และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง (ที่ 430 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 453 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ บี)

2.2 แสงสีเขียว (493-535 นาโนเมตร) ระวังการเจริญเติบโตของพืช

2.3 แสงสีเหลือง (536-586 นาโนเมตร) และแสงสีส้ม (587-647 นาโนเมตร) ส่งเสริมการงอกของเมล็ด

2.4 แสงสีแดง (648-760 นาโนเมตร) ส่งเสริมการงอกและหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง (ที่ 642 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 662 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ บี)

2.5 แสงสีไกลแดง (761-810 นาโนเมตร) ยับยั้งการงอกของเมล็ด

2.5.2.2 ความเข้มของแสง (Light Intensity)

ความเข้มของแสง คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก ในพื้นที่เดียวกันความเข้มของแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงเที่ยงวันหรือในช่วงบ่าย จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงไปจนกระทั่งดวงอาทิตย์ตก บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะมีความเข้มของแสงสูงที่สุดและค่อย ๆ ลดลงตามเส้นรุ้งที่มุ่งไปหาขั้วโลกในช่วงเวลาเดียวกัน อิทธิพลของความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ

1. ความเข้มของแสงที่เหมาะสม โดยที่มีปัจจัยอื่น ๆ เหมาะสมและการหายใจเป็นปกติ การสังเคราะห์แสงจะมีอัตราสูง ทำให้ได้อาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมาก ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน อาจแบ่งพืชตามความต้องการความเข้มของแสงออกได้เป็น

พืชในร่ม เป็นพืชที่ต้องการความเข้มของแสงน้อยจึงจะเจริญเติบโตได้ดี พืชพวกนี้ถ้านำไปอยู่กลางแดดที่มีความเข้มของแสงสูง ใบจะไหม้และต้นชะงักการเจริญเติบโต พืชพวกนี้มักนิยมปลูกไว้ในร่ม ตามชายคาบ้าน บริเวณข้างหน้าต่าง และไม้ประดับอาคารสถานที่

พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพรางหรือลดความเข้มของแสงลงแล้ว พืชพวกนี้นิยมปลูกในที่ร่มที่มีแสงแดดรำไร

พืชกลางแจ้ง พวกนี้ต้องการความเข้มของแสงสูง มีการเจริญเติบโตได้ดีในที่กลางแจ้ง พวกนี้จะเป็นพืชที่ปลูกอยู่ทั่วไป

2. ความเข้มของแสงที่ต่ำเกินไป เมื่อความเข้มของแสงไม่เพียงพอ จะทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ และให้ผลผลิตน้อย หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ เพราะในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงนั้น ขั้นตอนของขบวนการนี้ ต้องการพลังงานที่มีปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นจึงจะเกิดขึ้นได้ กรณีที่แสงมีความเข้มต่ำพลังงานที่ใช้ในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำจะมีน้อย อัตราการสังเคราะห์แสงจะต่ำส่งผลให้มีอาหารน้อยตามไปด้วย ซึ่งอาหารจากการสังเคราะห์แสงนี้จะเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอื่น ๆ เมื่อพืชมีอาหารต่ำอยู่แล้ว การสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นน้อย พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำหรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ

3. ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป จะส่งผลลบต่อพืชดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content) ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป จะทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง หรือคลอโรฟิลล์มีประสิทธิภาพต่ำลง การสังเคราะห์แสงจะต่ำไปด้วย

น้ำ (Water) แสงที่มีความเข้มมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้พืชมีอัตราการคายน้ำสูง หากอัตราการดูดน้ำของรากไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำพืชจะแสดงอาการขาดน้ำ

กิจกรรมของน้ำย่อย (Enzymes) แสงที่มีความเข้มมากเกินไปทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้น เป็นผลให้ระบบน้ำย่อยลดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง นอกจากนี้ น้ำย่อยที่มีส่วนในการสังเคราะห์แสงก็จะลดกิจกรรมลงด้วยทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2.1 หน่วยที่ใช้วัดความเข้มแสง

Lumens (lm) คือ หน่วยที่ใช้วัดความสว่าง ซึ่งความสว่าง (Luminous) หมายถึง ปริมาณแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุต่อพื้นที่หรือเป็นการวัดเฉพาะแสงช่วงที่สายตามองเห็นนั่นเอง มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2)

Lux (lx) คือ หน่วยที่ใช้วัดความส่องสว่าง ซึ่งความส่องสว่าง (Illuminance) หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m^2) หรือเรียกว่า ลักซ์



2.5.2.3 ช่วงแสง (Light Duration or Photoperiod)

ช่วงแสง หมายถึงระยะเวลายาวนานของแสงในแต่ละช่วงวัน ซึ่งจะแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชบางชนิดเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลในการเปลี่ยนพืชจากระยะการเจริญเติบโต ทางกิ่งใบ (Vegetative growth) ไปเป็นการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (Reproductive growth) นั่นคือ ช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกและการลงหัวของพืชบางชนิด การตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงนี้ อาจแบ่งพืชออกเป็น

พืชวันสั้น (Short day plant, SD) เป็นพืชที่ต้องการความยาวช่วงแสง สั้นกว่าช่วงวันวิกฤติ (Critical day length) จึงจะออกดอกได้ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าปริมาณความส่องสว่าง

เป็นค่าที่แสดงค่าความส่องสว่างที่เป็นมาตรฐานของห้องที่เราต้องการออกแบบระบบแสงสว่างนั้น โดยจะต้องพิจารณาการใช้งานของห้องนั้นว่ามีลักษณะการใช้งานในลักษณะใด แล้วเปิดตารางที่ข.5.1 หาค่ามาตรฐานของความส่องสว่างที่ IES ได้กำหนดเอาไว้โดยต้องดูด้วยว่าห้องนั้นมีขนาดในหน่วยใด หากหน่วยในการวัดขนาดห้องเป็น เมตร เราก็จะต้องเลือกค่าความส่องสว่างในหน่วย ลักซ์ (Lux)

3) พื้นที่ของห้องที่ออกแบบ

เป็นพื้นที่ทั้งหมดของห้องที่เราต้องการที่จะออกแบบระบบแสงสว่าง โดยมีทั้งที่เป็นหน่วยตารางเมตร และ หน่วย ตารางฟุต ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเลือกค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานของ IES ที่จะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง แต่ในหน่วยวัดระยะในบ้านเราที่ใช้กันอยู่มักจะใช้หน่วยเป็น เมตร ดังนั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้หน่วยของพื้นที่เป็น ตารางเมตร และใช้ค่าความส่องสว่างเป็น ลักซ์ (Lux)

4) การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization)

สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าผลลัพธ์สุทธิ (หลังจากที่สูญเสียไปกับการกรองแสงของโคมและการดูดกลืน-สะท้อนของสภาพห้อง) ต่อค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่กระจายออกจากหลอดทั้งหมด ผลลัพธ์สุทธิของฟลักซ์คือ ฟลักซ์ที่ออกจากโคมและคิดผลของการสะท้อนของส่วนต่าง ๆ ของห้อง การหาค่า CU พิจารณาจากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ ในการหาค่าซึ่งจะต้องทราบค่าอื่นๆ มาประกอบในการหาค่า CU ก่อน ซึ่งได้แก่

- ค่าอัตราส่วนโพรง (Cavity Ratio) (CCR, RCR, FCR)
- ค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของเพดาน, ผนัง และพื้น (Effective Cavity Reflectance)
- ขนาดของห้องที่แบ่งเป็นส่วน (Zonal Cavity) (Zone Cavity)

5) การหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (reflectance)

เป็นความสามารถในการสะท้อนแสงของส่วนต่าง ๆ ของห้อง ประกอบด้วยความสามารถสะท้อนแสงของเพดาน (ceiling reflectance, ρ_c) ของผนัง (wall reflectance, ρ_w) และของพื้น (floor reflectance, ρ_f) ค่าเหล่านี้กำหนดขึ้นมาเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการสะท้อนของโพรงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(effective cavity reflectance) ประสิทธิภาพการสะท้อน คือ ผลสัมฤทธิ์ของการสะท้อนของส่วนต่างๆ ของห้อง

6) การหาตัวประกอบการบำรุงรักษา (maintenance factor)

ตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) เป็นตัวประกอบของความคงอยู่ของความส่องสว่าง ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลักคือสภาพความเสื่อมของหลอดไฟและ ความสกปรกของโคม เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$MF = LLD \times LDD \quad (2.4)$$

ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation) (LLD)

เมื่อเราใช้งานหลอดไฟไปนานๆ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดไฟฟ้านั้นจะค่อยๆ ลดลง ไปเรื่อยๆ ซึ่งเราเรียกว่า ค่าความเสื่อมของหลอดไฟฟ้า ซึ่งจะต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบแสงสว่าง การหาค่าความเสื่อมของหลอดไฟนั้น เราสามารถหาได้จากคู่มือของหลอดที่โรงงานผู้ผลิต กำหนดเอาไว้ โดยพิจารณาจากค่าปริมาณแสงเฉลี่ย ทหารด้วยค่าปริมาณแสงเริ่มแรก

.ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (Luminaire Dirt Depreciation) (LDD)

เมื่อเราใช้ดวงโคมไฟฟ้านั้นไปนานๆ มันก็จะเริ่มมีการสะสมของฝุ่นละอองมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ขีดความสามารถในการสะท้อนแสงน้อยลงไป โคมแต่ละชุดนั้นจะมีการสะสมฝุ่นละอองมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของห้องที่ทำการติดตั้งโคม นั้น ซึ่งเราเรียกว่า ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม ซึ่งสามารถหาได้จากรูปที่ ข.5.1, ข.5.2, ข.5.3, ข.5.4, ข.5.5 และข.5.6 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม ตามประเภทของโคมไฟฟ้า การหาค่าต้องพิจารณาชนิดของดวงโคมว่าอยู่ในประเภทไหน และพิจารณาว่าห้องที่ติดตั้งโคมชนิดนั้นมีสภาพบรรยากาศของห้องและระยะเวลาในการทำความสะอาดของห้องนั้น

อีกวิธีหนึ่งที่สามารถหาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษาได้ แสดงดังตารางที่ 2.3 มีการจัดประเภทห้องออกตามระดับของความสะอาดเป็น 3 กลุ่ม คือ สกปรก ปานกลาง และสะอาด ตัวอย่างเช่น ห้องประชุมที่มีระบบปรับอากาศและปิดมิดชิดจัดอยู่ในกลุ่มสะอาด ส่วนโรงงานที่เปิดโล่งและมีฝุ่นควันจัดอยู่ในกลุ่มสกปรก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา

ระดับความสะอาด	LLD	LDD	MF
สะอาด	0.9	0.9	0.8
ปานกลาง	0.9	0.8	0.7
สกปรก	0.9	0.7	0.6

7) การหาฟลักซ์แสงสว่างและจำนวนโคมที่ต้องการ

ค่าความส่องสว่างรวมทั้งหมดของห้องสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$TL = \frac{E \times A}{CU \times LLD \times LDD} \quad (2.5)$$

$$TL = \frac{E \times A}{CU \times MF} \quad (2.6)$$

เมื่อ

- TL* คือ ค่าฟลักซ์ส่องสว่างรวม (ลูเมน) (Total Luminaire)
- E* คือ ค่าปริมาณความส่องสว่างตามมาตรฐาน IES (ลักซ์; ฟุต-แคนเดิล)
- A* คือ พื้นที่ที่ถือออกแบบ กว้าง X ยาว (ตารางเมตร; ตารางฟุต)
- CU* คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization)
- LLD* คือ ค่าความเสื่อมของหลอดไฟ (Lamp Lumen Depreciation)
- LDD* คือ ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (Luminaire Dirt Depreciation)
- MF* คือ ตัวประกอบการบำรุงรักษา มีค่าเท่ากับ $LLD \times LDD$ (Maintenance factor)

หลังจากได้ค่า *TL* แล้ว สิ่งที่เราต้องการทราบค่าก็คือ จำนวนดวงโคมที่ใช้ติดตั้งในห้องนี้ว่ามีจำนวนเท่าไร (*N*) โดยใช้สมการที่ 2 ในการหาจำนวนดวงโคมที่ใช้

$$N = \frac{TL}{\text{lumen/ lamp}} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราหาค่าได้ครบแล้วเราก็จะสามารถหาจำนวนดวงโคมที่ต้องการติดตั้งภายในห้องที่ ออกแบบระบบแสงสว่างได้หากจำนวนของดวงโคมไฟฟ้ามีจำนวนที่ไม่สามารถจัดลงให้ห้องแล้วทำให้เกิดความสวยงามได้ เราสามารถที่จะเพิ่มจำนวนดวงโคมให้มากขึ้นได้อีก 1 ดวงโคมได้

2.5.3.2 การจัดวางดวงโคมและความสม่ำเสมอของแสงสว่าง

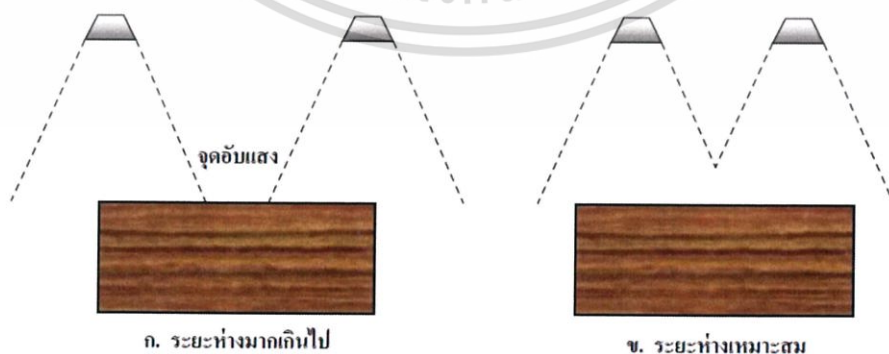
การจัดวางดวงโคมถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบระบบแสงสว่างในห้องที่ ออกแบบ เพราะว่าจากการคำนวณข้างต้นเราได้จำนวนดวงโคมมาแล้วว่าจะต้องใช้ดวงโคมจำนวน เท่าใด จึงจะให้ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานของ IES ที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบ

การกำหนดระยะห่างระหว่างดวงโคม นั้นจำเป็นจะต้องอาศัย อัตราส่วนระหว่างระยะห่าง ระหว่างดวงโคมต่อความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน (Spacing per Mounting Height Ratio) ซึ่งจะ ระบุตามตารางที่ 3 ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคม หรือจากแคลคูลัสของ บริษัทผู้ผลิตดวงโคมนั้นได้ แสดงดังสมการที่ 2.3

$$SC \leq \frac{S}{MH} \quad (2.8)$$

SC คือ ระยะห่างระหว่างดวงโคมที่ได้จากตารางที่ 3
 S คือ อัตราส่วนระยะห่างระหว่างดวงโคม (Spacing)
 MH คือ ความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน (Mounting Height)

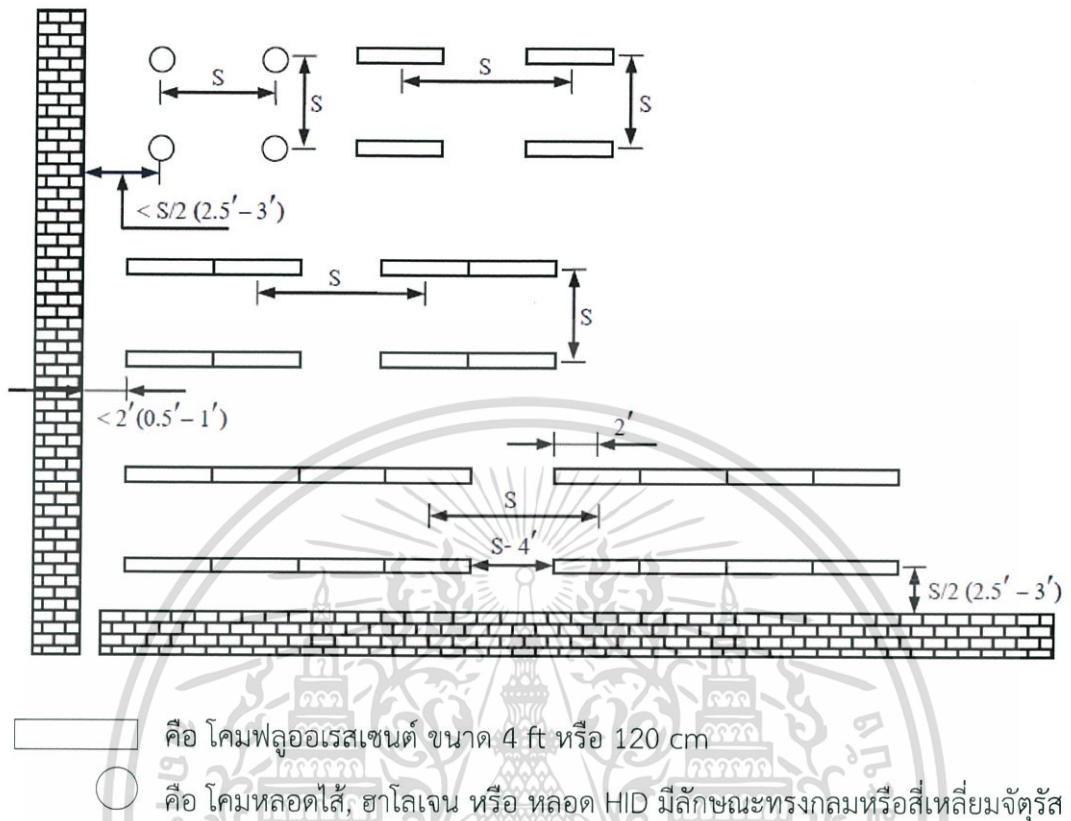
ระยะติดตั้งที่มากเกินไป แนวของลำแสงไม่ทับซ้อนกัน ทำให้มีจุดอับแสงค่าระดับความ สม่ำเสมอของแสงต่ำ แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ผลของระยะห่างของการติดตั้งดวงโคมที่เหมาะสมและมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะของการติดตั้งดวงโคม จำแนกตามชนิดของโคม และ รูปแบบการติดตั้ง ให้เป็นไปตามรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 รูปแบบและระยะห่างการติดตั้งโคมไฟฟ้า

นอกจากนี้ระยะห่างจากดวงโคมถึงผนังก็เป็นค่าที่ควรคำนึงถึงเช่นกัน โดยจะต้องมีระยะห่างจากผนังไปยังดวงโคมไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าระยะห่างระหว่างดวงโคม ($S/2$)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chen และคณะ (2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของแสงจากหลอดไฟ LED ชนิดเดี่ยว และแสงจากหลอดไฟ Fluorescent ผสมกับหลอดไฟ LED ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอมในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าแสงจากหลอดไฟ Fluorescent มีปริมาณวิตามินซีสูงสุด

Chen และคณะ (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของแสงจากหลอดไฟ LED สีขาวผสมกับแสง LED เพิ่มเติมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอมในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าแสงจากหลอดไฟ LED สีขาว และแดง มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lin และคณะ (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของแสงจากหลอดไฟ LED สีแดง, ขาว และน้ำเงินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอมในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าแสงจากหลอดไฟ LED สีแดง และ LED สีน้ำเงิน ส่งผลดีที่สุดในการเจริญเติบโตของพืช

Kim และคณะ (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์ของผักกาดหอมซึ่งเป็นหนึ่งในผักที่บริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกแต่กลับได้รับการประเมินคุณค่าทางโภชนาการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ผักกาดหอมมีระดับแคลอรีไขมันและโซเดียมต่ำ เป็นผักที่มีเส้นใย เหล็ก โฟเลต และวิตามินซีสูงแล้ว ยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น โฟเลต แคโรทีน ลูทีน และฟีนอล ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่เป็นผลดีต่อสุขภาพ ในการวิจัยได้แสดงให้เห็นประโยชน์ในการต้านการแก้อักเสบ ลดคอเลสเตอรอล และการป้องกันโรคเบาหวาน แม้ว่าผักกาดหอมต่างสายพันธุ์กันจะให้สารอาหารที่แตกต่างกันไปแต่จากหลายการทดลองได้สนับสนุนว่าผักกาดหอมมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยเฉพาะโฟเลต แคโรทีน และฟีนอล อย่างมหาศาลแล้วสามารถเสริมค่าโภชนาการได้โดยการออกแบบเพาะปลูกที่ดีเช่น การใช้หลอดไฟกระจายแสง การปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์ เป็นต้น ดังนั้นประโยชน์ของผักกาดหอมจึงขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตเป็นสิ่งสำคัญ

Samuoliene และคณะ (2012) ได้ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผักกาดหอมโดยวิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญของร่างกายมนุษย์ และมีส่วนร่วมในกระบวนการเผาผลาญอาหารต่างๆ ร่างกายมนุษย์ต้องการที่จะได้รับวิตามินซีอย่างต่อเนื่องจากอาหารประจำวัน เนื่องจากไม่สามารถสร้างเองได้ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผักและผลไม้ให้วิตามินซีมากกว่า 90% ในอาหารประจำวัน

อิทธิสุนทร (2538) และ Lee S, Lee J (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบไฮโดรโปนิคส์โดยทำการศึกษารูปแบบการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่มีอยู่หลากหลายรูปแบบและค้นหาข้อดีข้อเสียในแต่ละรูปแบบ แสดงตารางดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของไฮโดรโปนิคส์ในแต่ละรูปแบบ

รูปแบบระบบไฮโดรโปนิคส์	ข้อดี	ข้อเสีย	อ้างอิง
Wick system	เป็นระบบที่เรียบง่าย ไม่ยุ่งยากและไม่ต้องใช้ปั๊ม	ไม่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ เหมาะกับการปลูกในพื้นที่ขนาดเล็ก ใช้น้ำมาก	(Lee S and Lee J, 2015)
Drip system	สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์	ระบบเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับ อาจทำให้ต้นพืชตายได้	(Lee S and Lee J, 2015)
Food and Drain	เป็นที่นิยมในเชิงพาณิชย์	ต้องติดตั้งเครื่องจับเวลา พืชอาจได้สารอาหารไม่เพียงพอ	(Lee S and Lee J, 2015)
Deep Flow Technique	เป็นระบบที่เรียบง่าย ไม่ยุ่งยาก	สาหร่ายและเชื้อรา เจริญเติบโตได้เร็ว	(Lee S and Lee J, 2015)
Nutrient Film Technique	แก้ไขข้อจำกัดของระบบ Food and Drain โดยพืชได้รับสารอาหารอย่างต่อเนื่อง	ประเทศแถบร้อนในช่วงกลางวัน น้ำจะมีอุณหภูมิสูง ทำให้การละลายตัวของออกซิเจนในน้ำลดลง ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช	(Lee S and Lee J, 2015)
Aeroponics	รากพืชได้รับอากาศเต็มที่ เหมาะกับพืชต้นเดี่ยว	ไม่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับ	(Lee S and Lee J, 2015)
Dynamic Root Floating Technique	แก้ไขข้อจำกัดของระบบ Nutrient Film Technique โดยที่เมื่อไฟฟ้าดับ ระบบยังเหลือน้ำค้างไว้บางส่วนทำให้พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้	มีปัญหาเรื่องความร้อนสะสม แต่ไม่รุนแรงเท่า NFT	(อิทธิสุนทร, 2538)
Aquaponics	ไม่มีการทิ้งน้ำเสียมีแต่เติมน้ำเข้าระบบ การมีการปล่อยน้ำเสียตอนที่ควบคุมระบบไม่ได้ ต้องถ่ายน้ำออกป้องกันปลาตาย	ต้องเรียนรู้หลายอย่าง ในการดาเนินระบบ กาจัดโรคแมลงยากกว่า เช่นถ้าปลาเป็นโรค	(อิทธิสุนทร, 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุสำหรับการสร้างตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

- 1) เหล็กฉาก ขนาด 1.5×1.5 นิ้วหนา 0.8 มิลลิเมตร
- 2) อลูมิเนียมฉาก ขนาด 0.5 นิ้ว
- 3) มุ้งไนลอน
- 4) น็อตและสกรูหัวร่วมสำหรับยึดเหล็กฉาก
- 5) เหล็กแผ่นประกบมุมสามเหลี่ยม
- 6) ท่อสายยาง (\varnothing ภายใน = 12 เซนติเมตร) และหัวจ่ายน้ำ (\varnothing ภายใน = 2 เซนติเมตร)
- 7) สายไฟ
- 8) แผ่นตะแกรงพลาสติก
- 9) กระดานไม้อัดน้ำหนักเบา
- 10) รางปลูก จำนวน 16 ราง ขนาด $10 \times 35.5 \times 7.6$ เซนติเมตร
- 11) ภาชนะเก็บน้ำ จำนวน 4 อัน ขนาด $14 \times 40 \times 50$ เซนติเมตร

3.1.2 วัสดุสำหรับการเพาะต้นกล้าและการปลูกต้นผักกาดหอม

- 1) เมล็ดผักกาดหอม
- 2) ฟองน้ำปลูกผัก
- 3) น้ำสะอาด
- 4) ปุ๋ย AB
- 5) ถ้วยเพาะ

3.1.3 วัสดุสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผัก

- 1) น้ำกลั่น
- 2) เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ (C_2H_5OH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) กรดแกลลิก ($C_7H_6O_5$)
- 4) Folin-Ciocalteu reagents
- 5) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
- 6) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 93
- 7) ถูงเก็บตัวอย่าง

3.1.4 อุปกรณ์สำหรับการสร้างตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

- 1) ส่วน
- 2) เลื่อยตัดโลหะ
- 3) ประแจ
- 4) ไขควง
- 5) ปืนกาวและกาวแห้ง
- 6) ลวด
- 7) คัตเตอร์
- 8) บล็อกสามตา
- 9) บั๊มน้ำ 4 ตัว ขนาด 5.5X4.5X4.8 เซนติเมตร อัตราการไหล 400 ลิตรต่อชั่วโมง
- 10) ตัวควบคุมเวลา (Timer) 1 ตัว
- 11) สวิตช์ปิดเปิด 3 ตัว
- 12) สตาร์ทเตอร์ 3 ตัว
- 13) บัลลาสต์ 3 ตัว
- 14) หลอดไฟ แบ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 หลอด ขนาด 10 วัตต์ 390 ลูเมนต่อหลอด
หลอดแอลอีดีสีขาว 1 หลอด ขนาด 7 วัตต์ 400 ลูเมนต่อหลอด
หลอดแอลอีดีสีแดง 1 หลอด ขนาด 7 วัตต์ 400 ลูเมนต่อหลอด
หลอดแอลอีดีสีเหลือง 1 หลอด ขนาด 7 วัตต์ 400 ลูเมนต่อหลอด

3.1.5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผัก

- 1) มีดและเขียง
- 2) หลอดทดลองและฝาปิด
- 3) ถ้วยอบ
- 4) คิวเวทท์ (Cuvette)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) กระจกตวง 100 มิลลิลิตร
- 6) ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 7) ปีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
- 9) กรวยกรอง
- 10) ตู้อบลมร้อน 105 °C
- 11) ครกบดตัวอย่าง
- 12) แท่งแก้ว
- 13) ข้อนตักตัวอย่าง
- 14) ฉนวนกันความร้อน
- 15) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Biochem, Single Beam Spectrophotometer Libra S12 200-999 nm, England)

3.2 การออกแบบตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

3.2.1 กำหนดหลักเกณฑ์ในการออกแบบ

3.2.1.1 โครงสร้างและพื้นที่การปฏิบัติงาน

- การระบายอากาศ ออกแบบให้ตู้มีพื้นที่ระบายอากาศอย่างเพียงพอ ทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี ไม่อับชื้นและป้องกันการสะสมของฝุ่นและเชื้อโรคที่อยู่ในอากาศอีกด้วย

- โครงสีเหลี่ยม ควรออกแบบให้มีพื้นที่รองรับวัสดุปลูกมากที่สุด สามารถเข้าไปทำการเพาะปลูกได้สะดวก ตัวโครงมีขนาดกระทัดรัดสามารถเคลื่อนย้ายได้ ตัวโครงมีความสูงพอที่ให้ผักเจริญเติบโตได้เต็มที่ ประกอบกับมีระยะห่างระหว่างใบผักและหลอดไฟเพียงพอที่ไม่ทำให้ใบผักไหม้ เนื่องจากได้รับความร้อนจากหลอดไฟและวัสดุที่ใช้ก่อสร้างต้องมีความแข็งแรงทนทาน มีพื้นผิวเรียบ มีน้ำหนักเบา มีการเคลือบสารป้องกันสนิม

- ภาชนะปลูกพืช หรือรางปลูก จะต้องทำจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารต่าง ๆ ต้องมีความคงทนแข็งแรง น้ำหนักเบา ใช้ได้นานและติดตั้งใช้งานง่าย ซึ่งปัจจุบันจะใช้ภาชนะที่ทำจากพลาสติกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมาก เนื่องจากมีความคงทน น้ำหนักเบา สามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆ ได้มากและราคาถูก ขนาด และรูปร่างของภาชนะที่เลือกใช้จะขึ้นกับชนิดของวัสดุปลูก ชนิดของพืชที่ปลูก และลักษณะของพื้นที่ ปลูกหรือโรงเรือน

- การวางภาชนะปลูก นิยมวางในแนวยาว ขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เพื่อให้พืชได้รับ แสงอย่างทั่วถึง ไม่มีการบังแดดกัน โดยปกติจะออกแบบให้กว้างไม่เกิน 5 ฟุต สูง 6-8 นิ้ว ความยาว ขึ้นกับโรงเรือน และมักจะทำมุมให้มีความลาดเอียงเล็กน้อยที่มุมทั้งสองด้านของความกว้างจะ พยายามออกแบบให้ป้องกันแสงไม่ให้ส่องถึงสารละลายได้ ผนังด้านใต้ของภาชนะควรมีรูระบายขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 นิ้ว และมีजूใช้อุดหรือถอดได้
- พื้นที่สำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ต้องพิจารณาขนาดพื้นที่และสภาพแวดล้อมที่จะใช้ในการผลิตด้วย เพราะเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของ
- ต้องมีน้ำที่มีคุณภาพดี เพราะถ้าไม่มีคุณภาพดี ธาตุอาหารที่ใส่ลงไปก็จะได้ผลไม่เต็มที่ พืชก็ สามารถนำไปใช้ได้เต็มที่ แต่ถ้าคุณภาพน้ำไม่ดี ธาตุอาหารที่ใส่ลงไปก็จะละลายไม่หมด เกิดการ ตกตะกอน พืชก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทำให้พืชเกิดการขาดธาตุอาหาร เช่น ใบเหลือง แคระ แกรีน เป็นต้น น้ำจึงมีความสำคัญมากซึ่งเราควรพิจารณาเป็นลำดับแรก ๆ
- ต้องมีปริมาณเพียงพอสำหรับพื้นที่ในการปลูกพืช ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับรูปแบบการปลูก
- มีแสงส่องทั่วทุกพื้นที่ โดยถ้าในพื้นที่ที่มีแสงน้อยควรปลูกพืชช่วงทิศทางแสงเพื่อให้พืชผักสามารถ รับแสงได้เต็มที่ และในพื้นที่ควรได้รับแสงอย่างน้อย 6-8 ชั่วโมงต่อวัน
- มีไฟฟ้าเข้าถึงในพื้นที่ ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีลมแรง อยู่ใกล้ที่พิกพอสมควรเพื่อสะดวก ในการ ควบคุมการผลิตอยู่เสมอ อยู่ใกล้แหล่งชุมชนเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

3.2.1.2 การเลือกใช้วัสดุ

- ควรเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์หรือ สารเคมีสู่สารละลายธาตุอาหารได้ เมื่อนำวัสดุมาใช้งานแล้วส่วนที่สัมผัสกับสารละลายธาตุอาหาร โดยตรงต้องไม่ทำปฏิกิริยากันที่ก่อให้เกิดสารพิษ
- วัสดุที่นำมาใช้งานควรมีพื้นผิวของวัสดุเรียบ ไม่ขรุขระ และไม่มียอยแยก เพื่อป้องกันการเกิดแหล่ง สะสมของจุลินทรีย์และเชื้อโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัสดุที่ใช้ในพื้นที่ปฏิบัติงานต้องมีความแข็งแรง ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมต่างๆ ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีต่างๆ
- วัสดุที่เลือกใช้ควรทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ดูดซับน้ำและสารอื่นๆ

3.2.1.3 การควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

- การผสมปุ๋ยน้ำ ใช้อัตราส่วนน้ำ 1 ลิตร ต่อ ปุ๋ยน้ำ A 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และผสมปุ๋ย B 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และทำการเปลี่ยนปุ๋ยน้ำ 1 ครั้งต่อสัปดาห์
- ควบคุมความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงในแต่ละตู้มีค่าคงที่
- ออกแบบให้ตำแหน่งระยะห่างระหว่างหลอดไฟและผักเท่ากัน ในทุกตู้
- ออกแบบระบบท่อส่งน้ำและเลือกใช้ปั๊มน้ำ มีลักษณะเหมือนกันทุกตู้ และมีปริมาตรน้ำสำหรับหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารเท่ากันทุกตู้
- วางตำแหน่งรางปลูกและต้นไม้ เหมือนกันทุกตู้
- ใช้ระยะเวลาปลูก 36 วัน

3.2.2 การออกแบบส่วนประกอบและอุปกรณ์

3.2.2.1 ส่วนโครงตู้ เป็นส่วนที่ติดตั้ง และวางอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับใช้ในกระบวนการเพาะปลูกผัก จะต้องมีส่วนที่เพียงพอต่อการวางอุปกรณ์ มีการติดตั้งอุปกรณ์อย่างเป็นสัดส่วนเพื่อความสะดวกในการใช้งาน สะดวกในการเคลื่อนย้ายและเพื่อความสวยงาม ขนาดของตู้ปลูกขึ้นอยู่กับความต้องการของปริมาณผักที่ปลูก ลักษณะการติดตั้งส่วนประกอบและอุปกรณ์ และการเลือกใช้ระบบไฮโดรโปนิคส์เพื่อการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร โดยขอบเขตการศึกษาได้กำหนดพื้นที่ปลูกไม่เกิน 1 ตารางเมตร

3.2.2.2 การติดตั้งหลอดไฟ

หลอดไฟ ทำหน้าที่ให้แสงสว่างแก่ผักแทนแสงธรรมชาติจากภายนอกตู้ และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบการทดลอง โดยแบ่งเป็น 4 การทดลอง คือ ตู้ที่ 1 ให้แสงจากแสงธรรมชาติ (NL) ตู้ที่ 2 ให้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (FL) ตู้ที่ 3 ให้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีสีแดง และแอลอีดีสีขาว (WR) และตู้ที่ 4 ให้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และแอลอีดีสีเหลือง (FLY) การออกแบบและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่าฟลักซ์ส่องสว่างต่อหลอดและจำนวนหลอดไฟ สามารถคำนวณด้วยวิธีอัตราส่วนโพรง (zonal cavity method) ตามขั้นตอนดังนี้

1. วัดขนาดของพื้นที่ที่ต้องการออกแบบ หน่วยเป็น ตารางเมตร
 2. กำหนดค่ามาตรฐานของความส่องสว่างที่ IES กำหนดไว้ใน โดยพิจารณาจากการใช้งานของห้องนั้น ว่ามีลักษณะการใช้งานในลักษณะใด แล้วนำไปเปิดตารางที่ ข.5.1 หน่วยเป็น ลักซ์
 3. คำนวณค่าอัตราส่วนโพรงห้อง (room cavity ratio, RCR)
 4. หาสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน (ρ_c) และของผนัง (ρ_w) ตามชนิดของหลอดไฟ หากไม่ทราบให้ใช้ค่าโดยประมาณ โดยส่วนใหญ่กำหนดไว้ คือ 80 และ 10
 5. หาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคม (CU) จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของดวงโคมชนิดต่างๆ
 6. หาค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) จากตารางที่ 2.3
 7. หาค่าฟลักซ์ส่องสว่างและจำนวนโคม โดยการแทนค่าในสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ
 8. คำนวณหาระยะการติดตั้งของโคม
- สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ค่าอัตราส่วนโพรงห้อง (RCR)} \quad RCR = \frac{5HRC(W + L)}{W + L} \quad (3.1)$$

$$\text{ค่าความส่องสว่างรวมทั้งหมดของห้อง (TL)} \quad TL = \frac{E \times A}{CU \times MF} \quad (3.2)$$

$$\text{จำนวนดวงโคมที่ใช้ (N)} \quad N = \frac{TL}{\text{lumen/lamp}} \quad (3.3)$$

$$\text{ระยะห่างระหว่างดวงโคม (SC)} \quad SC \leq \frac{S}{MH} \quad (3.4)$$

3.2.2.3 ป้มน้ำ

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งน้ำขึ้นไปยังรางปลุกโดยผ่านสายยางและหัวจ่ายน้ำ วิธีการส่งน้ำใช้วิธีการหมุนของเพลลาและใบพัดด้วยอัตราการหมุนรอบที่สูง ทำให้เกิดความดันแตกต่างระหว่างช่องน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าและช่องน้ำออกของปั๊ม แรงดันของน้ำจึงดันน้ำขึ้นไปยังด้านบนได้ เลือกปั๊มขนาด 6 วัตต์ มีอัตราการไหลของน้ำ 400 ลิตรต่อชั่วโมง

3.2.2.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าและตัวควบคุมเวลา (Timer)

อุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ ชุดหลอดไฟให้แสงสว่างแก่ตู้ปลูกผัก สายไฟ ปั๊มน้ำ ปลั๊กสามตา เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการให้แสงจากหลอดไฟ และควบคุมการไหลเวียนของน้ำในตู้ปลูกผัก ส่วนตัวควบคุมเวลานำมาใช้ควบคุมเวลาในการเปิดและปิดหลอดไฟ ตั้งเวลาให้พืชได้รับแสงเป็นเวลา 18 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงเวลาเปิดหลอดไฟ ตั้งแต่ 24.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา

3.2.2.5 ภาชนะเก็บน้ำ

เป็นส่วนที่รองรับน้ำที่ไหลมาจากรางปลูกต่างๆ ราง เป็นแหล่งรวมน้ำที่มีปริมาณมากที่สุด และเป็นแหล่งส่งน้ำขึ้นไปยังรางปลูกโดยใช้ปั๊มน้ำซึ่งอยู่ในภาชนะเก็บน้ำ

3.2.2.6 สายยางและหัวจ่ายน้ำ

เป็นอุปกรณ์ที่เป็นตัวกลางให้น้ำหลายผ่านจากปั๊มน้ำไปยังรางปลูกได้ ในสายยางจะมีค่าด้านทางการไหลของน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสายยางและการออกแบบวางระบบหมุนเวียนน้ำ

3.2.2.7 รางปลูก

เป็นส่วนที่รองรับน้ำที่ถูกส่งมาจากปั๊ม เป็นส่วนที่เก็บน้ำเพื่อเลี้ยงน้ำให้กับผักที่ปลูกบนรางปลูก โดยรางปลูกจะรองรับถ้วยเพาะที่มีขนาดเล็กบนรางปลูก

3.2.2.8 ถ้วยเพาะ

เป็นส่วนที่ใส่ฟองน้ำที่ใช้ปลูกต้นกล้าเพื่อให้ต้นกล้าที่ปลูกในฟองน้ำสามารถตั้งอยู่ได้ และวางอยู่บนรางปลูก

3.2.2.9 ฟองน้ำ

เป็นส่วนใส่เมล็ดพืชเพื่อทำการเพาะต้นกล้า เมื่อต้นกล้ามีอายุได้ 1 สัปดาห์ นำฟองน้ำที่มีต้นกล้ามานำใส่ในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.10 ตะแกรง

เป็นที่วางรางปลุก เลือกใช้วัสดุที่แข็งแรงทนทานเพื่อรองรับน้ำหนักของรางปลุก ตะแกรงต้องมีพื้นผิวเรียบ มีน้ำหนักเบาเพื่อสามารถถอดออกมาทำความสะอาดได้สะดวก มีการเคลือบสารป้องกันสนิม

3.2.2.11 มุ้งไนลอน

เป็นวัสดุใช้ปกคลุมโครงตู้ เพื่อป้องกันแมลง ศัตรูพืชที่เข้ามาก่อความเสียหาย ออกแบบให้คลุมตัวโครงสีเหลี่ยม มีรูขนาดเล็กพอที่ป้องกันแมลงและสัตว์ตัวเล็กๆได้

3.2.3 การออกแบบวงจรไฟฟ้า

สายไฟจะมี 2 เส้น คือ สายไลน์ (Line) และ สายนิวตรอน (Neutral) สายไลน์ เป็นสายไฟที่มีกระแสไฟฟ้า ส่วนสายนิวตรอน เป็นสายดินที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า สามารถทดสอบได้โดยใช้ไขควงเช็คไฟ ถ้าไฟติดที่เส้นใดแสดงว่าเป็นสายไลน์

3.2.4 การออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำ

ปั้มน้ำสูบน้ำสารละลายธาตุอาหารจากภาชนะเก็บน้ำขึ้นไปผ่านสายยางซึ่งทำหน้าที่เป็นท่อลำเลียงสารละลายธาตุอาหารไปยังรางปลุกที่อยู่ด้านบนของตะแกรง เมื่อระดับน้ำในรางปลุกเริ่มสูงขึ้นจนถึงระดับท่อน้ำทิ้ง น้ำบางส่วนที่เกินระดับนั้นจะไหลลงด้านล่างไปยังภาชนะเก็บน้ำสารละลายธาตุอาหารจะหมุนเวียนเป็นระบบแบบนี้ตลอดเวลา สารละลายธาตุอาหารจะหยุดหมุนเวียน ก็ต่อเมื่อ

- ปั้มน้ำหยุดทำงาน จากการถอดปลั๊ก หรือระบบไฟฟ้าดับ
- ปริมาณน้ำในระบบหมุนเวียนทั้งหมด มีปริมาณน้ำน้อยกว่าปริมาณน้ำในรางปลุกที่มีความสูงของผิวน้ำไม่เกินระดับท่อน้ำทิ้งทั้ง 3 รางรวมกัน
- อาจเกิดจากท่อน้ำมีเศษทราย ตะไคร่น้ำ และตะกอน มาอุดตันในท่อน้ำสายยางจนทำให้สารละลายธาตุอาหารไม่สามารถไหลผ่านไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การสร้าง และประกอบตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

นำเหล็กฉากมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงโดยใช้น็อต และอะลูมิเนียมฉากสำหรับยึดเหล็กฉาก จากนั้นนำแผ่นตะแกรงพลาสติกวางบนโครงเหล็กเพื่อวางรางปลูก ติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำและระบบวงจรไฟฟ้า ต่อมานำมุ้งไนลอนตัดให้ได้ขนาดที่พอเหมาะแล้วนำมาติดไว้ที่ตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่จะเข้ามา

3.3 การทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

3.3.1 การคัดเลือกชนิดผักที่ใช้ในการปลูก

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองปลูกผักจากตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ โดยกำหนดแสงเป็นตัวแปรหลักในการวัดการเจริญเติบโตของผัก จึงจำเป็นต้องเลือกผักที่ใช้แสงเป็นปัจจัยหลักในการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช อีกทั้งขอบเขตที่กำหนดไว้ คือทำการทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในพื้นที่และเวลาจำกัด ในการทดลองจึงจำเป็นต้องเลือกผักที่มีระยะเวลาในการเจริญเติบโตเหมาะสมกับขอบเขตที่กำหนดไว้ จากหลักการข้างต้นเราจึงได้เลือก ผักกาดหอมมาใช้ในการทดลอง

3.3.2 การเตรียมต้นกล้า

- 1) นำเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 2) นำฟองน้ำไปแช่น้ำเพื่อให้ชุ่มน้ำและมีลักษณะอ่อนนุ่ม วางเมล็ดพันธุ์ลงบนฟองน้ำโดยนำส่วนปลายแหลมของเมล็ดวางที่มุมบนฟองน้ำให้ลึกลงไปประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร
- 3) นำฟองน้ำที่วางเมล็ดพันธุ์แล้วไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำที่ยังไม่ได้เติมสารละลายธาตุอาหาร โดยกำหนดความลึกของระดับน้ำถึงผิวด้านบนของฟองน้ำและรักษาความสูงของระดับน้ำนี้ไว้ เป็นเวลา 3 วัน และอย่าให้ฟองน้ำโดนแสง
- 4) เมื่อรากงอกออกจากเมล็ดแล้ว ให้รักษาระดับความลึกของน้ำเป็น 3 ใน 4 ของความสูงของฟองน้ำ เป็นเวลา 4 วัน โดยนำฟองน้ำออกมารับแสงแดดอ่อนๆ

3.3.3 การปลูกผักในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

- 1) เมื่อต้นกล้าอายุครบ 1 สัปดาห์ ย้ายต้นกล้ากับฟองน้ำไปปลูกในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์
- 2) ทำการผสมน้ำและสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนน้ำ 8 ลิตรต่อสารละลายธาตุอาหาร A 40 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจากนั้นเติมด้วยสารละลายธาตุอาหาร B 40 มิลลิลิตร แล้วควนให้เข้ากันอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เปลี่ยนน้ำผสมสารละลายธาตุอาหารทุกๆ 7 วัน

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพผัก

3.4.1 การวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโต

วัดความสูงของผักกาดหอมทุกๆ 3 วัน และหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 36 วันทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น, วัดน้ำหนักเปียก (FW) และน้ำหนักแห้ง (DW) ของ shoot กับ root โดยการนำตัวอย่างไปเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำค่าที่ได้ไปหาอัตราส่วน shoot ต่อ root (S/R) ของน้ำหนักแห้ง (Chen และคณะ, 2016)



หมายเหตุ : shoot คือ ส่วนที่อยู่เหนือราก และ root คือ ราก

3.4.2 การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

นำตัวอย่างผักกาดหอม 0.3 กรัม (FW) มาลดขนาดโดยการบดในครกให้ละเอียด แล้วใส่ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 40 มิลลิลิตร ต่อมาทำการกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 93 และนำของเหลวส่วนใสที่ผ่านการกรองมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 663 , 645 และ 470 นาโนเมตร (Chen และ คณะ, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จากสมการ (3.5) คลอโรฟิลล์ บี จากสมการ (3.6) และแคโรทีนอยด์จากสมการ (3.7)

สมการมาตรฐาน

$$\text{Chl a (mg/g)} = \frac{(12.72 \times OD_{663} - 2.59 \times OD_{645})V}{1000W} \quad (3.5)$$

$$\text{Chl b (mg/g)} = \frac{(22.88 \times OD_{645} - 4.67 \times OD_{663})V}{1000W} \quad (3.6)$$

$$\text{Car (mg/g)} = \frac{((1000 \times OD_{470} - 3.27 \times \text{Chla} - 104 \times \text{Chlb})/229)V}{1000W} \quad (3.7)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลอง (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักสดของตัวอย่างผักกาดหอม (กรัม)

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละความยาวคลื่น

3.4.3 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

นำของเหลวส่วนใส ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ที่ผ่านการกรอง จากวิธีการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ โดยใส่ในหลอดทดลอง นำมาผสมกับน้ำกลั่น ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปผสมกับ 2N Folin-Ciocalteu reagents ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและนำไปผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและพักทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร และนำไปเปรียบเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก เพื่อหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Li และ Kubota, 2009)

3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองในโครงการนี้ เลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เนื่องจากเป็นแผนการทดลองที่มีค่าองศาความเป็นอิสระ (degree of freedom, df) สูงสุด หลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) หากพบว่ามี ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญก็ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

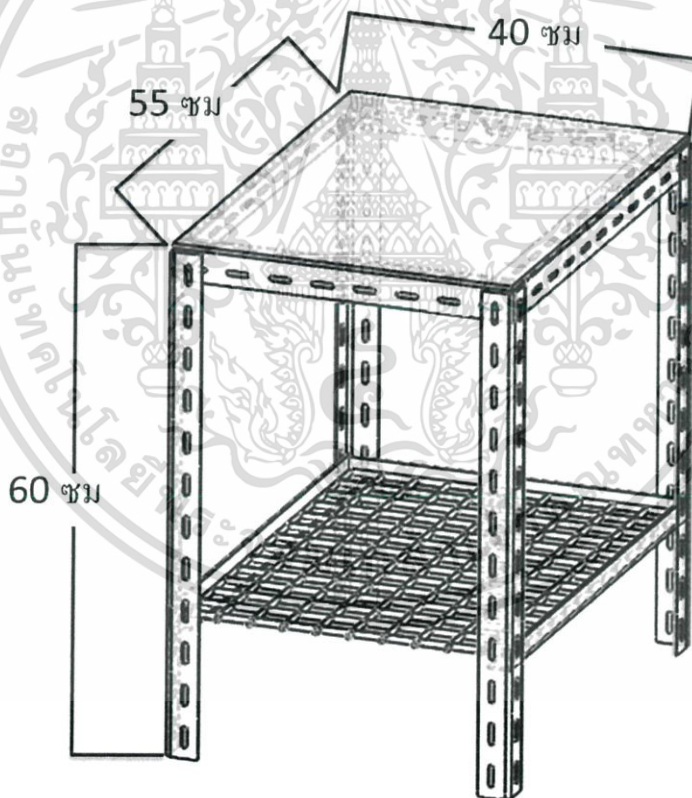
บทที่ 4

ผลการดำเนินการศึกษา

4.1 ผลการออกแบบส่วนประกอบ และอุปกรณ์

4.1.1 ส่วนโครงตู้

ทำการออกแบบตู้ปลุกผักได้ขนาด ความกว้าง 40 เซนติเมตร ความยาว 55 เซนติเมตร และ ความสูง 60 เซนติเมตร ออกแบบให้ระยะห่างระหว่างหลอดไฟลูออเรสเซนต์ กับผักเท่ากันในทุกตู้ คือ 32 เซนติเมตร และออกแบบให้ระยะห่างระหว่างหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แอลอีดีสีแดง และแอลอีดี สีเหลือง กับผักเท่ากันในทุกตู้คือ 30 เซนติเมตร



รูปที่ 4.1 ส่วนของโครงตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การติดตั้งหลอดไฟ

กำหนดขนาดของพื้นที่ที่ต้องการออกแบบ (A) = กว้าง \times ยาว = $0.4 \times 0.55 = 0.22$ ตารางเมตรกำหนดความส่องสว่างรวมทั้งหมดของห้อง (E) = 550 ลักซ์

คำนวณหาค่าอัตราส่วนโพรงห้อง (RCR) จากสมการที่ 3.1

- หลอดไฟลูออเรสเซนต์ $= \frac{5 \times 0.32 \times (0.4 + 0.55)}{0.4 + 0.55} = 6.9$
- หลอดไฟแอลอีดีสีขาว $= \frac{5 \times 0.3 \times (0.4 + 0.55)}{0.4 + 0.55} = 6.48$
- หลอดไฟแอลอีดีสีแดง $= \frac{5 \times 0.3 \times (0.4 + 0.55)}{0.4 + 0.55} = 6.48$
- หลอดไฟแอลอีดีสีเหลือง $= \frac{5 \times 0.3 \times (0.4 + 0.55)}{0.4 + 0.55} = 6.48$

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน (ρ_c) ของหลอดไฟทุกชนิด = 80

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผนัง (ρ_w) ของหลอดไฟทุกชนิด = 10

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของโคม (CU)

- หลอดไฟลูออเรสเซนต์ เลือกชนิดหลอดไฟ หมายเลข 33 ได้ค่า $SC = NA$ (ไม่มีข้อมูล)

$$\text{Interpolate: } \frac{T - 26}{22 - 26} = \frac{6.9 - 6}{7 - 6} = 22.4 \% = 0.224$$

- ของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว เลือกชนิดหลอดไฟ หมายเลข 1 ได้ค่า $SC = 1.5$

$$\text{Interpolate: } \frac{T - 23}{20 - 23} = \frac{6.48 - 6}{7 - 6} = 21.56 \% = 0.2156$$

- ของหลอดไฟแอลอีดีสีแดง เลือกชนิดหลอดไฟ หมายเลข 1 ได้ค่า $SC = 1.5$

$$\text{Interpolate: } \frac{T - 23}{20 - 23} = \frac{6.48 - 6}{7 - 6} = 21.56 \% = 0.2156$$

- ของหลอดไฟแอลอีดีสีเหลือง เลือกชนิดหลอดไฟ หมายเลข 1 ได้ค่า $SC = 1.5$

$$\text{Interpolate: } \frac{T - 23}{20 - 23} = \frac{6.48 - 6}{7 - 6} = 21.56 \% = 0.2156$$

กำหนดค่าตัวประกอบการบำรุงรักษา (MF) ของหลอดไฟทุกชนิด = 0.7

คำนวณหาค่าฟลักซ์ส่องสว่าง จากสมการที่ 3.2

- ตู้ที่ 2 (FL) $TL = \frac{550 \times 0.22}{0.224 \times 0.7} = 771.7$ ลูเมน
- ตู้ที่ 3 (WR) $TL = \frac{550 \times 0.22}{0.2156 \times 0.7} = 801.8$ ลูเมน
- ตู้ที่ 4 (FLY) $TL_1 = \frac{275 \times 0.22}{0.224 \times 0.7} = 385.8$ ลูเมน (หลอดไฟลูออเรสเซนต์)
- $TL_2 = \frac{275 \times 0.22}{0.2156 \times 0.7} = 400.9$ ลูเมน (หลอดไฟแอลอีดีสีเหลือง)

$$\therefore TL = TL_1 + TL_2 = 385.8 + 400.9 = 786.7 \text{ ลูเมน}$$

คำนวณหาจำนวนดวงโคมที่ใช้ จากการสมการที่ 3.3

- ของตู้ที่ 2 (FL) เลือกใช้หลอดไฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 10 วัตต์ 390 ลูเมนต่อหลอด

$$\therefore N = \frac{771.7}{390} = 1.97 \approx 2 \text{ หลอด}$$

- ของตู้ที่ 3 (WR) เลือกใช้หลอดไฟแอลอีดีสีแดงและแอลอีดีสีขาว แต่ละดวงมีขนาด 7 วัตต์ 400 ลูเมนต่อหลอด

$$\therefore N = \frac{801.8}{400} = 2 \text{ หลอด}$$

- ของตู้ที่ 4 (FLY) เลือกใช้หลอดไฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 10 วัตต์ 390 ลูเมนต่อดวงโคม และแอลอีดีสีเหลือง ขนาด 7 วัตต์ 400 ลูเมนต่อหลอด

$$\therefore N_1 = \frac{385.8}{390} = 0.99 \approx 1 \text{ หลอด}$$

$$\therefore N_2 = \frac{400.9}{400} = 1 \text{ หลอด}$$

คำนวณหาระยะการติดตั้งของโคม $SC \leq \frac{S}{MH}$ จากสมการที่ 3.4

- หลอดไฟลูออเรสเซนต์ จากการคำนวณหา CU ได้ค่า $SC = NA$ (ไม่มีข้อมูล จึงถือว่ากำหนดระยะห่างระหว่างดวงโคมได้อย่างอิสระ)
- หลอดไฟแอลอีดีสีขาว สีแดง และสีเหลือง จากการคำนวณหา CU ได้ค่า $SC = 1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดระยะห่างระหว่างดวงโคม $S = 17$ เซนติเมตร

กำหนดความสูงของดวงโคมเหนือพื้นงาน $MH = 32$ เซนติเมตร

$\therefore SC = \frac{17}{32} = 0.53$ ซึ่ง < 1.5 จึงเป็นค่าที่เหมาะสม (ถ้าค่า SC ที่คำนวณได้ > 1.5 ไม่

สามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้)

ดังนั้น จากการคำนวณหาค่าฟลักซ์ส่องสว่างต่อหลอดและจำนวนหลอดไฟแล้ว สามารถสรุปการเลือกหลอดไฟดังนี้

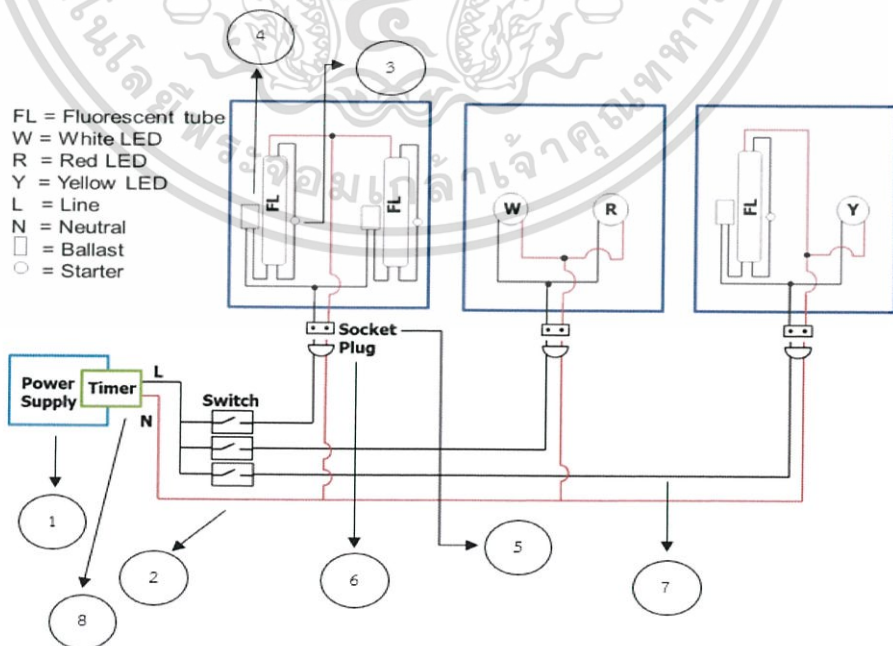
ตู้ที่ 2 (FL) : $TL = 771.7$ ลูเมน/ตู้ ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 390 ลูเมน/หลอด ใช้ทั้งหมด 2 หลอด

ตู้ที่ 3 (WR) : $TL = 801.8$ ลูเมน/ตู้ ใช้หลอดแอลอีดีสีขาวและสีแดง 400 ลูเมน/หลอด ใช้อย่างละ 1 หลอด รวมเป็น 2 หลอด

ตู้ที่ 4 (FLY) : $TL = 786.7$ ลูเมน/ตู้ ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 390 ลูเมน/หลอด และแอลอีดีสีเหลือง 400 ลูเมน/หลอด ใช้อย่างละ 1 หลอด รวมเป็น 2 หลอด

4.2 ผลการออกแบบวงจรไฟฟ้า

ทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าของตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ทั้งหมด 3 ตู้ ได้แก่ ตู้ที่ 1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (FL) ตู้ที่ 2 หลอดไฟแอลอีดีสีขาว และแดง (WR) และตู้ที่ 4 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และ แอลอีดีสีเหลือง (FLY)



รูปที่ 4.2 วงจรไฟฟ้าของตู้ปลูกผักปนิิกส์ ทั้ง 3 ตู้

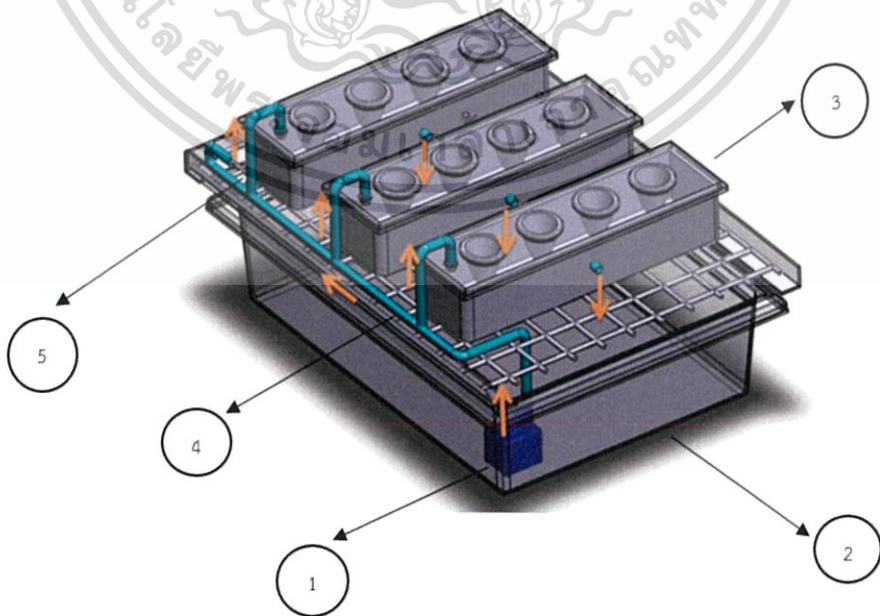
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ของวงจรไฟฟ้า

ลำดับ	อุปกรณ์	ขนาด	จำนวน(ชิ้น)
1	ปลั๊ก 3 ตา (Power Supply)	-	1
2	สวิตช์ปิดเปิด	-	3
3	สตาร์ทเตอร์	-	3
4	บัลลาสต์	20 W	3
5	เต้ารับ	-	3
6	เต้าเสียบ	-	3
7	สายไฟ	-	-
8	อุปกรณ์ตั้งเวลา	-	1
9	หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	10 W, 390 lumen/หลอด	3
10	หลอดไฟ LED สีขาว	7 W, 400 lumen/หลอด	1
11	หลอดไฟ LED สีแดง	7 W, 400 lumen/หลอด	1
12	หลอดไฟ LED สีเหลือง	7 W, 400 lumen/หลอด	1

4.3 ผลการออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำ

กำหนดระดับความสูงที่สูงที่สุดของผิวน้ำในรางปลั๊ก คือ 5 เซนติเมตร โดยมีท่อน้ำตั้งอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน เนื่องจากรางปลั๊กมีความสูง คือ 10 เซนติเมตร



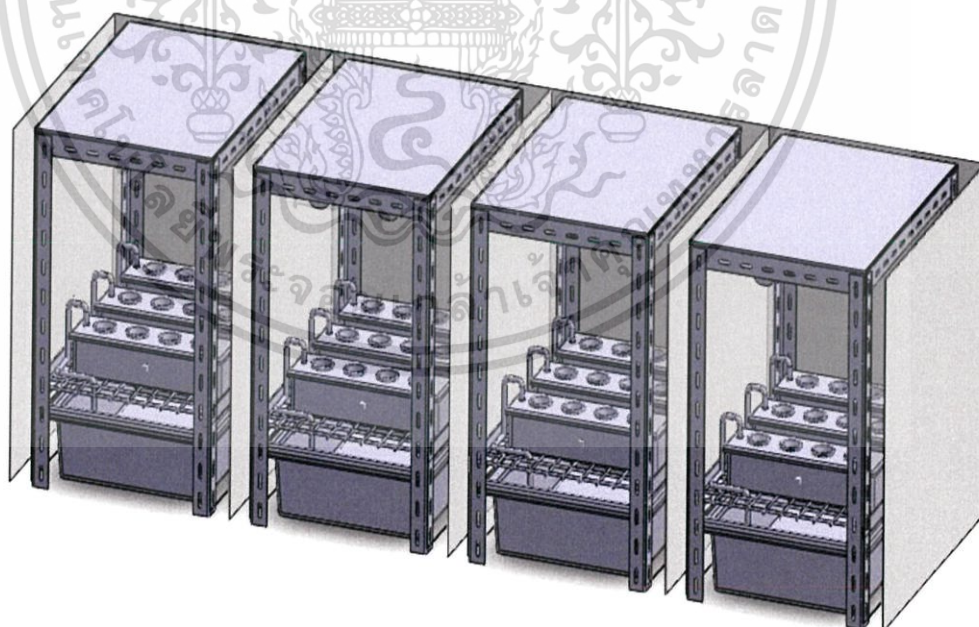
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 4.3 ระบบหมุนเวียนน้ำของตู้ปลั๊กไฟไฮโดรโปนิคส์นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ของระบบหมุนเวียนน้ำ

ลำดับ	อุปกรณ์	ขนาด	จำนวน(ชิ้น)
1	ปั้มน้ำ	6 W, Flow rate 400 L/hr	1
2	ภาชนะเก็บน้ำ	40x50x14 cm	1
3	รางปลูก	10x35x7 cm	3
4	สายยาง (ท่อส่งน้ำขึ้น)	Ø ภายใน = 12 cm	1
5	สายยาง (ท่อน้ำทิ้ง)	Ø ภายใน = 6 cm	3
6	หัวจ่ายน้ำ (ข้อต่อสายยาง)	Ø ภายใน = 2 cm	6

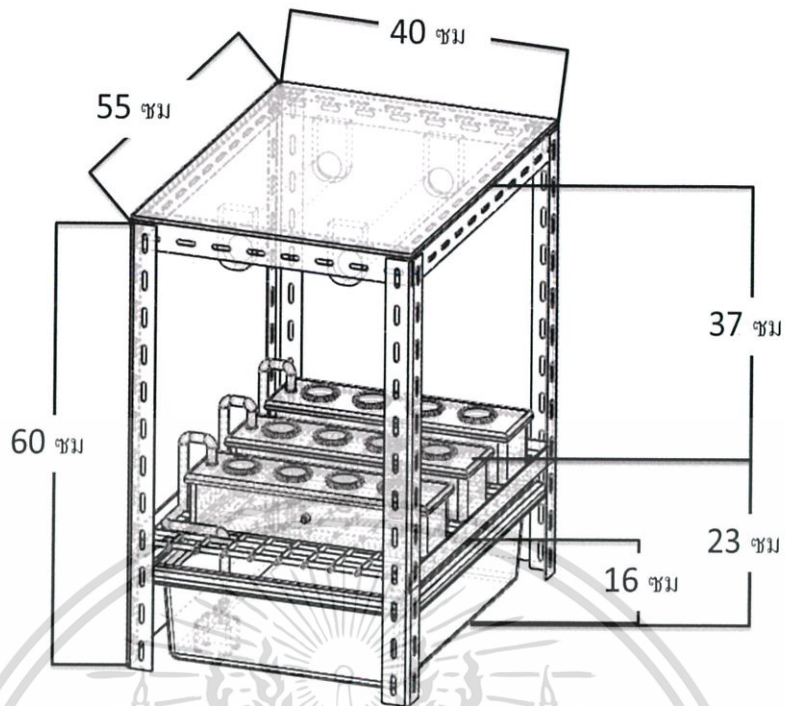
4.4 รูปแบบตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

จากการออกแบบส่วนประกอบและอุปกรณ์ต่างๆ ของตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ ทำให้เกิดรูปแบบตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ ดังนี้

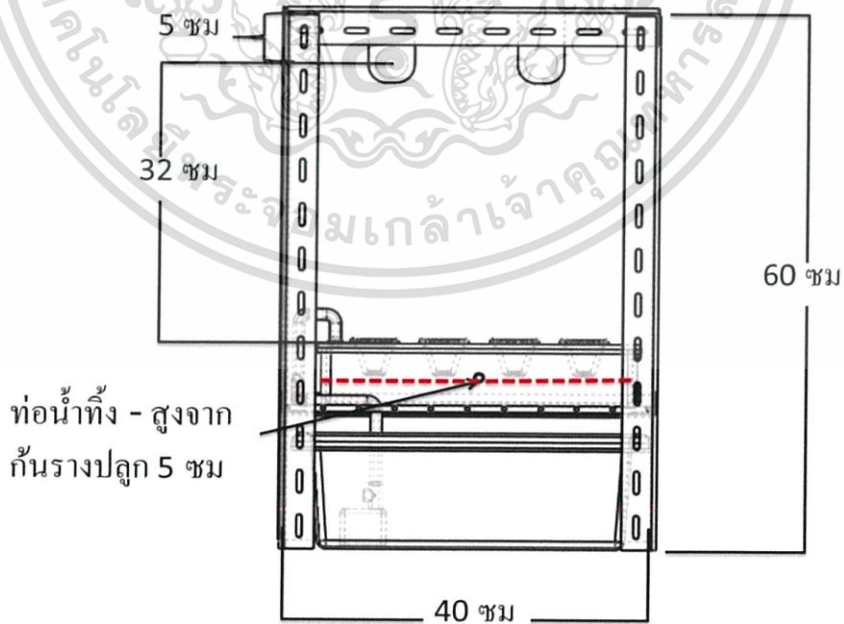


รูปที่ 4.4 รูปแบบตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

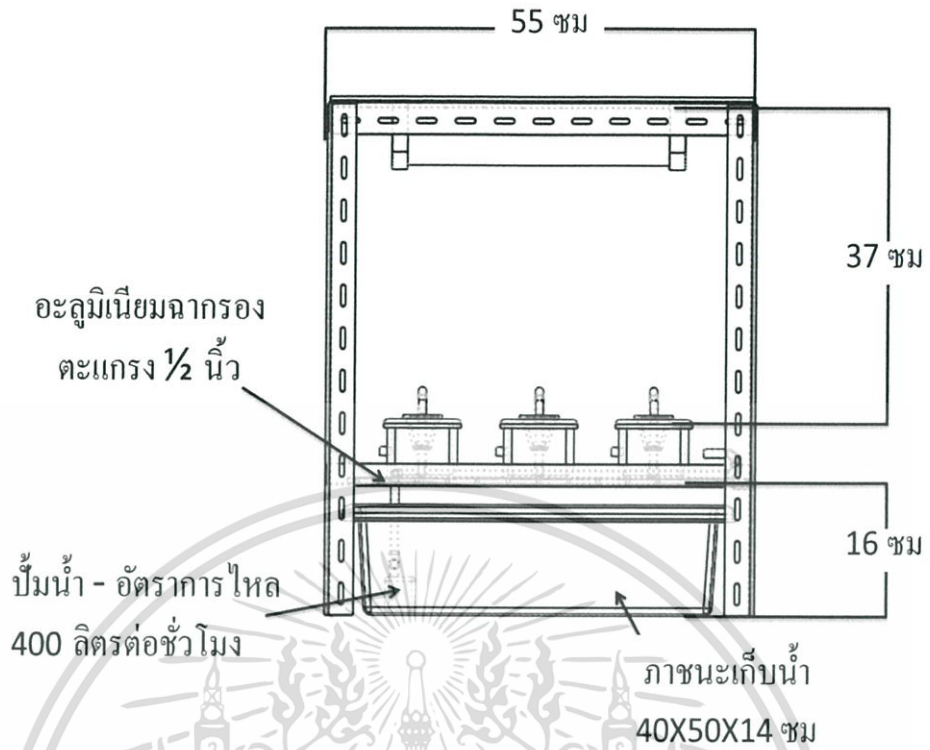


รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบของตู้ปลุกใน 1 ตู้ แบบ 3 มิติ (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)

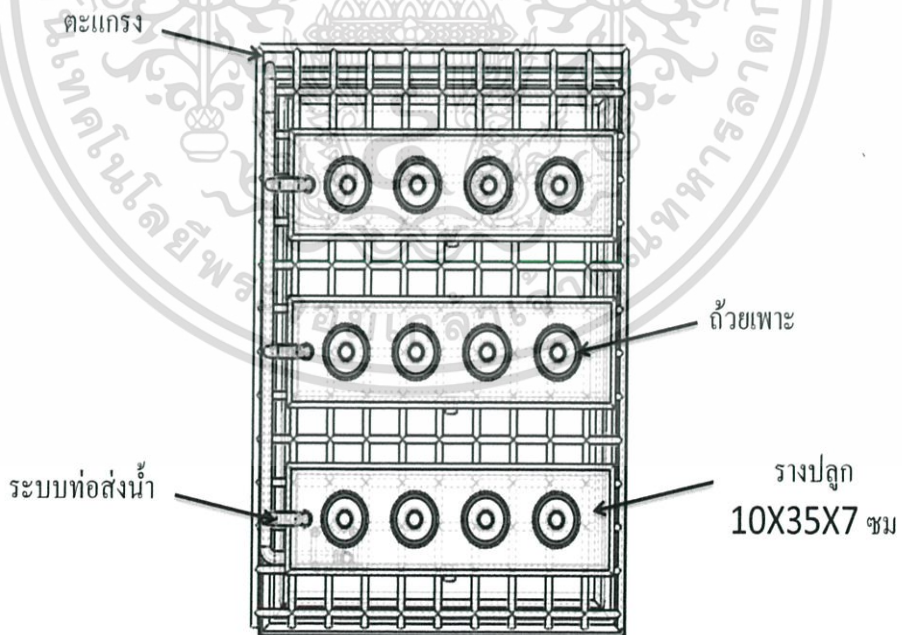


รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของตู้ปลุกใน 1 ตู้ มุมมองด้านหน้า (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบของตู้ปลุกใน 1 ตู้ มุมมองด้านข้าง (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)



รูปที่ 4.8 ส่วนประกอบของระบบหมุนเวียนน้ำของตู้ปลุกใน 1 ตู้ มุมมองด้านบน (ตัวอย่างคือตู้ที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์

4.5.1 ความเข้มของแสงที่ปลูก

4.5.1.1 ความเข้มแสงเฉลี่ย

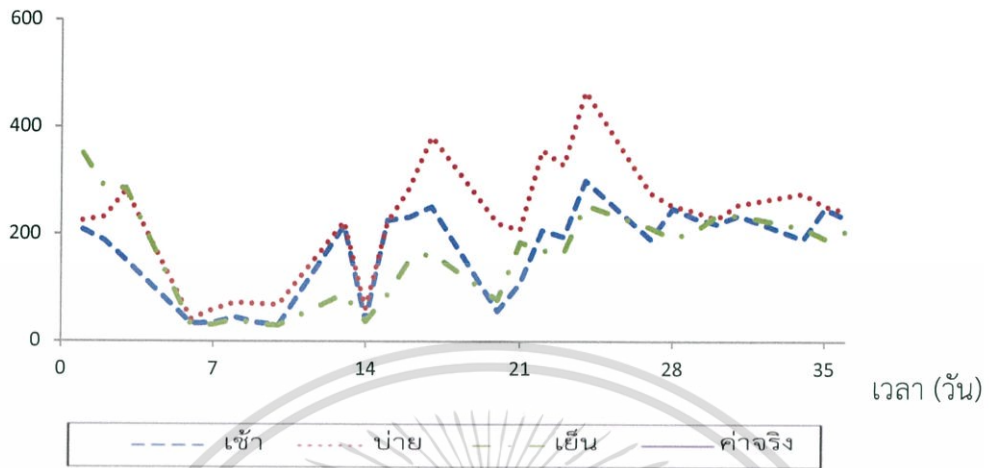
ตารางที่ 4.3 ความเข้มแสงเฉลี่ยในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2

ปลูก ทดลอง ครั้งที่	NL		FL		WR		FLY	
	ค่าเฉลี่ย (ลักซ์)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย (ลักซ์)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย (ลักซ์)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย (ลักซ์)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	1335.56	351.59	581.70	103.26	662.56	169.24	701.52	177.80
2	183.84	52.80	516.76	116.08	541.81	117.05	628.82	104.66

จากการทดลองปลูกผักกาดหอมครั้งที่ 1 และ 2 ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในการปลูกแต่ละครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 แสงธรรมชาติมีค่าความเข้มแสงสูงสุดตามด้วยแสง FLY, WR และ FL โดยมีค่าความเข้มแสงเท่ากับ 1335.56, 701.52, 662.56 และ 581.70 ลักซ์ ตามลำดับ ขณะที่ในการทดลองปลูกครั้งที่ 2 แสง FLY มีค่าความเข้มแสงสูงสุดตามด้วยแสง WR, FL และธรรมชาติ โดยมีค่าความเข้มแสงเท่ากับ 628.82, 541.81, 516.76, 183.84 ลักซ์ ตามลำดับ จากผลการวัดค่าความเข้มแสงในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าการทดลองปลูกครั้งที่ 2 เนื่องจากการปลูกครั้งที่ 1 ยังไม่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมทำให้ได้รับแสงมากกว่าการปลูกครั้งที่ 2

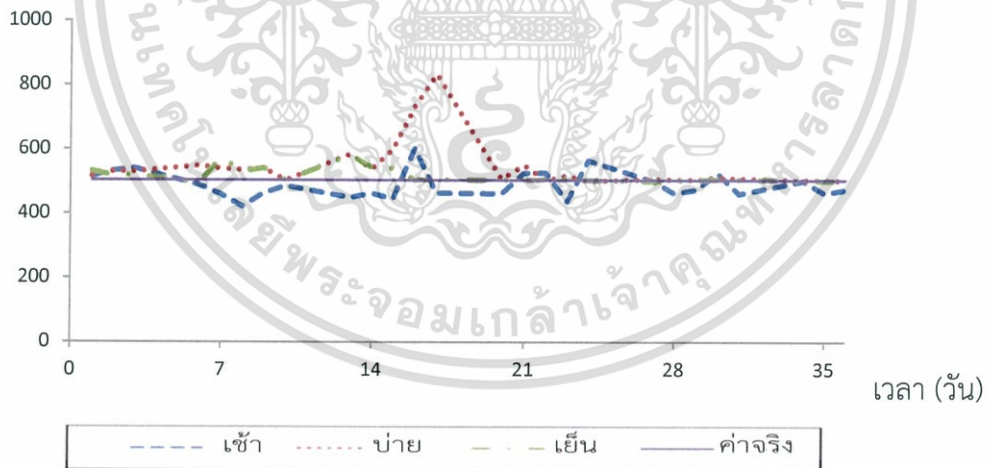
4.5.1.2 ความคลาดเคลื่อนของความเข้มแสงเฉลี่ย

ความเข้มแสงเฉลี่ย (ลักซ์)



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มีดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสงในช่วงเวลาเช้า บ่ายและเย็นของแสงธรรมชาติในการปลูกครั้งที่ 2

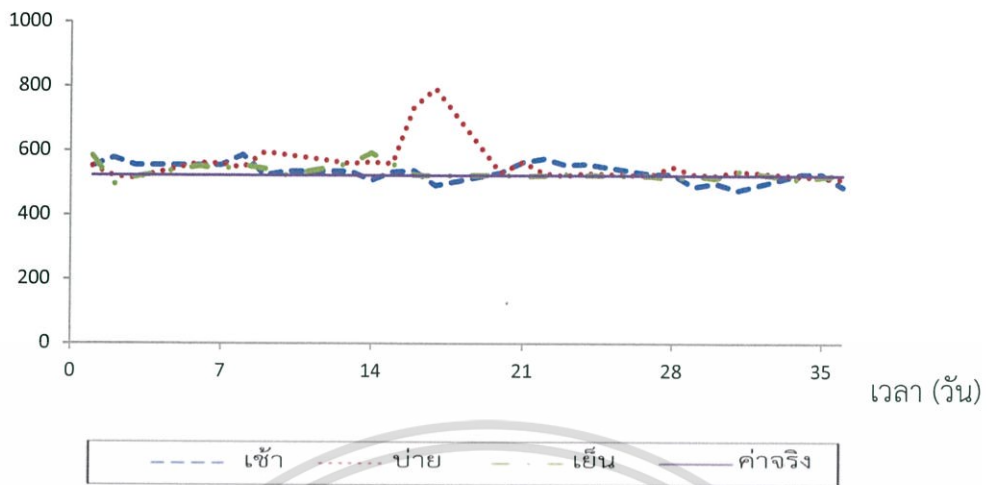
ความเข้มแสงเฉลี่ย (ลักซ์)



รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มีดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสงในช่วงเวลาเช้า บ่ายและเย็นของแสง FL ในการปลูกครั้งที่ 2

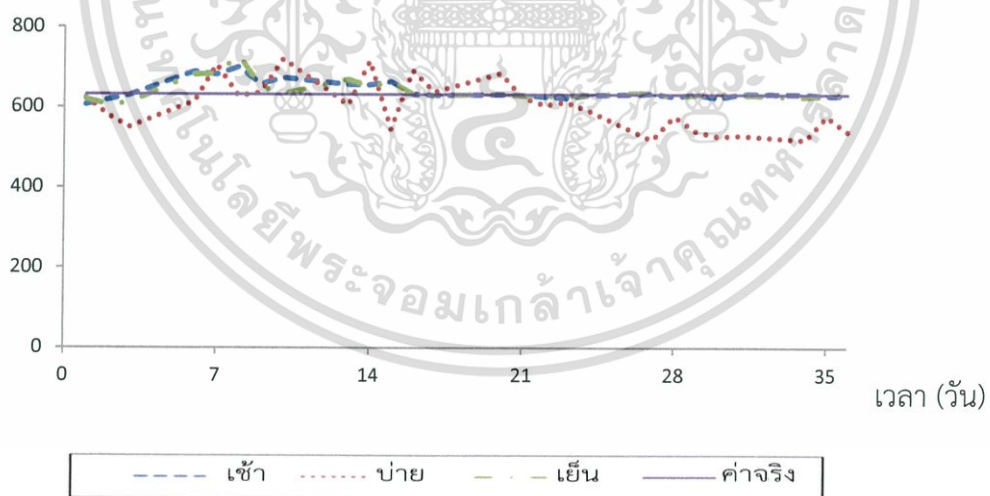
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มแสงเฉลี่ย (ลักซ์)



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มืดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสงในช่วงเวลาเช้า บ่าย และเย็นของแสง WR ในการปลูกครั้งที่ 2

ความเข้มแสงเฉลี่ย (ลักซ์)



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มืดกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสงในช่วงเวลาเช้า บ่าย และเย็นของแสง FLY ในการปลูกครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

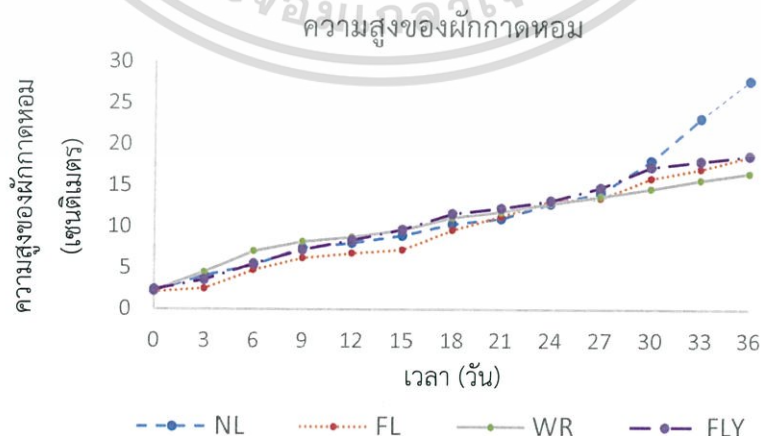
ตารางที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเข้มแสงในทดลองการปลูกครั้งที่ 2

เวลา	NL		FL		WR		FLY	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน
	(%)	เบี่ยงเบน มาตรฐาน	(%)	เบี่ยงเบน มาตรฐาน	(%)	เบี่ยงเบน มาตรฐาน	(%)	เบี่ยงเบน มาตรฐาน
เช้า	167.20	86.85	2.99	42.57	2.17	29.27	1.53	23.44
บ่าย	224.47	107.16	8.02	76.00	6.90	65.03	4.42	62.34
เย็น	159.85	92.60	2.57	22.72	1.85	22.64	1.43	26.02

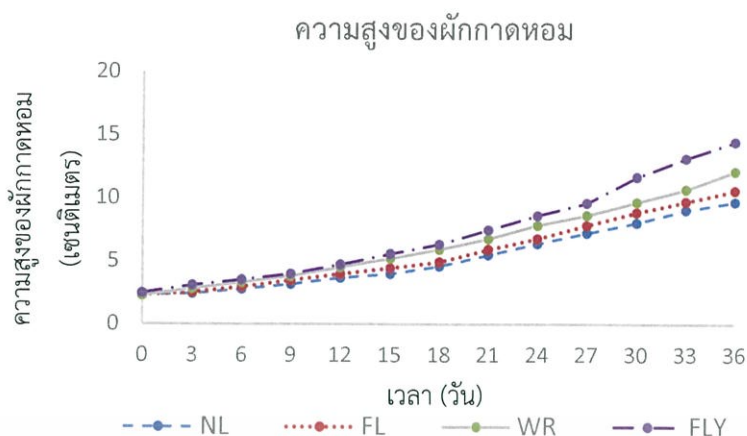
จากการทดลองปลูกผักกาดหอมครั้งที่ 2 โดยทำการเปรียบเทียบค่าจริงที่วัดได้ในที่มีกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดความเข้มแสงในช่วงเวลาเช้า, บ่าย และเย็นแสดงดังรูป 4.9, 4.10, 4.11 และ 4.12 ทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเข้มแสงแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเข้มแสงของแสงธรรมชาติในช่วงเวลาเช้า, บ่าย และเย็นมีค่าเท่ากับ 167.20, 224.47 และ 159.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสง FL มีค่าเท่ากับ 2.99, 8.02 และ 2.57 ตามลำดับ แสง WR มีค่าเท่ากับ 2.17, 6.90 และ 1.85 ตามลำดับ และแสง FLY มีค่าเท่ากับ 1.53, 4.42 และ 1.43 ตามลำดับ จากผลของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเข้มแสงแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลากลางวันมีค่าสูงสุดเนื่องจากค่าความเข้มแสงในช่วงเวลากลางวันมีค่าสูงกว่าช่วงเช้า และเย็น ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเข้มแสงในตอนกลางวันมีค่าสูงตามไปด้วย

4.5.2 คุณภาพของผักที่ปลูก

4.5.2.1 อัตราการเจริญเติบโต



รูปที่ 4.13 การเพิ่มขึ้นของความสูงผักกาดหอมภายในระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การเพิ่มขึ้นของความสูงฝักกาดหอมภายในระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

จากการวัดความสูงที่เพิ่มขึ้นของฝักกาดหอมทุกระยะเวลา 3 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ พบว่าความสูงของฝักกาดหอมในระยะเวลา (0-18 วัน) โดยการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสง FLY มีอัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 5.13 และ 2.14 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ โดยอัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นในครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าครั้งที่ 2 ถึง 2.39 เท่า ขณะที่ในระยะเวลา (18-36 วัน) โดยการปลูกครั้งที่ 1 แสงธรรมชาติ มีอัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 9.68 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนในการปลูกครั้งที่ 2 แสง FLY มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.35 มิลลิเมตรต่อวัน โดยอัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นในการปลูกครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าครั้งที่ 2 ถึง 2.23 เท่า จากการวัดความสูงของฝักกาดหอมในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าการทดลองปลูกครั้งที่ 2 เนื่องจากค่าความเข้มแสงในครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าครั้งที่ 2 ความเข้มแสงจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสูงที่เพิ่มขึ้นของฝักกาดหอม

ตารางที่ 4.5 ผลการเจริญเติบโตของฝักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

แสง	ความสูง (มม.)	น้ำหนักเปียก (มก.)		น้ำหนักแห้ง (มก.)		เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)	จำนวนใบ	Shoot/root (น้ำหนักแห้ง)
		shoot	root	shoot	root			
NL	278.00a	4180.63a	159.47a	234.54a	6.87a	2.91a	11.00a	34.16a
FL	186.33ab	807.07a	11.80a	63.79a	1.77a	1.49b	10.00a	36.11a
WR	165.67b	415.70a	12.07a	37.26a	1.20a	1.21b	9.33a	31.05a
FLY	187.00ab	563.70a	11.80a	28.26a	0.50a	1.40b	9.67a	56.52a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

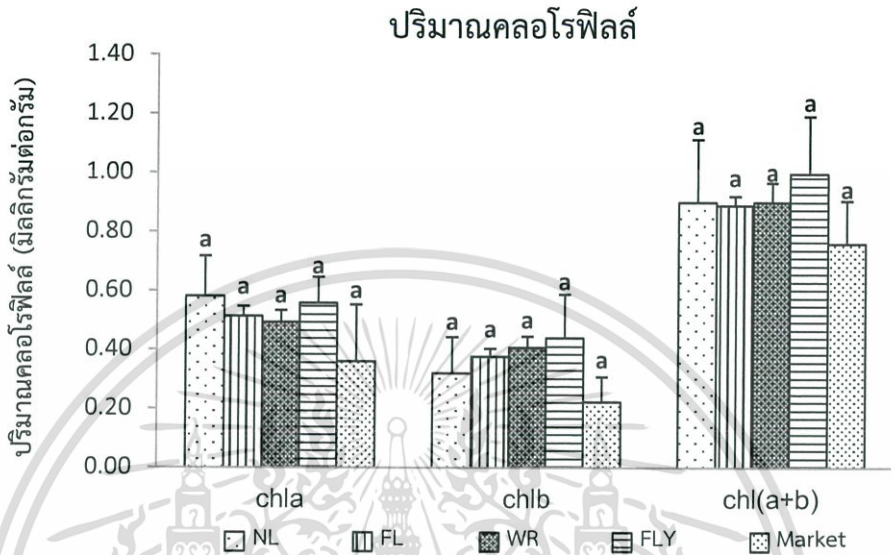
ตารางที่ 4.6 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

แสง	ความสูง (มม.)	น้ำหนักเปียก (มก.)		น้ำหนักแห้ง (มก.)		เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ลำต้น (มม.)	จำนวน ใบ	Shoot/root (น้ำหนัก แห้ง)
		shoot	root	shoot	root			
NL	97.00a	409.93a	10.87a	29.48a	1.03a	1.07a	5.67a	28.53a
FL	106.00b	439.04ab	11.86a	43.84ab	1.27ab	1.21b	6.33a	34.61a
WR	121.33c	488.81bc	11.96a	52.50bc	1.50ab	1.35c	7.33a	35.00a
FLY	144.67d	539.61c	12.46a	56.35c	1.60b	1.38c	9.67b	35.22a

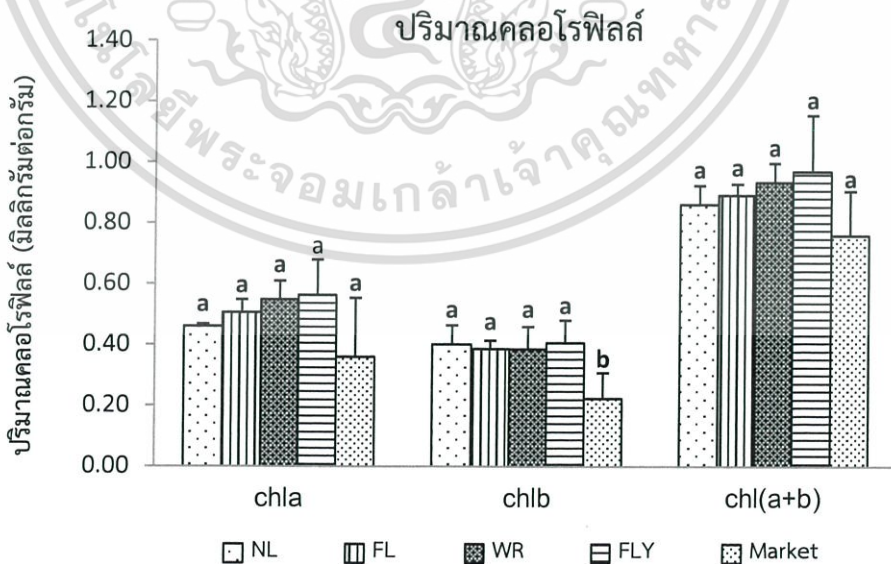
จากการวัดผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วัน ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ พบว่าการปลูกครั้งที่ 1 แสงธรรมชาติมีความสูง, น้ำหนักเปียกของ shoot, น้ำหนักเปียกของ root, น้ำหนักแห้งของ shoot, น้ำหนักแห้งของ root, จำนวนใบ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักสูงสุด ขณะที่แสง FLY มีอัตราส่วน shoot ต่อ root สูงสุด ส่วนการปลูกในครั้งที่ 2 แสง FLY จะมีความสูง, น้ำหนักเปียกของ shoot, น้ำหนักเปียกของ root, น้ำหนักแห้งของ shoot, น้ำหนักแห้งของ root, จำนวนใบ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และ อัตราส่วน shoot ต่อ root สูงสุด โดยในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 แสงธรรมชาติ และ WR มีความแตกต่างกันของความสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แสงธรรมชาติ และ WR ไม่มีความแตกต่างกับแสง FL และ FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นแสงธรรมชาติมีความแตกต่างกับแสง FL, WR และ FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แสง FL, WR และ FLY ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และแสงทุกชนิดไม่ส่งผลต่อน้ำหนักเปียกของ shoot, น้ำหนักเปียกของ root, น้ำหนักแห้งของ shoot, น้ำหนักแห้งของ root, จำนวนใบ และ อัตราส่วน shoot ต่อ root ของน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การทดลองปลูกครั้งที่ 2 แสงทุกชนิดส่งผลต่อความสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้งของ shoot แสงธรรมชาติมีความแตกต่างกับแสง WR และ FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแสง FL มีความแตกต่างกับแสง FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของน้ำหนักแห้งของ root แสงธรรมชาติมีความแตกต่างกับแสง FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นแสงธรรมชาติมีความแตกต่างกับแสง FL, WR และ FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแสง FL มีความแตกต่างกับแสง WR และ FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจำนวนใบแสง FLY มีความแตกต่างกับแสงธรรมชาติ, FL, WR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และแสงทุกชนิดไม่ส่งผลน้ำหนักรากของ shoot และอัตราส่วน shoot ต่อ root ของน้ำหนักรากแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95

4.5.2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์



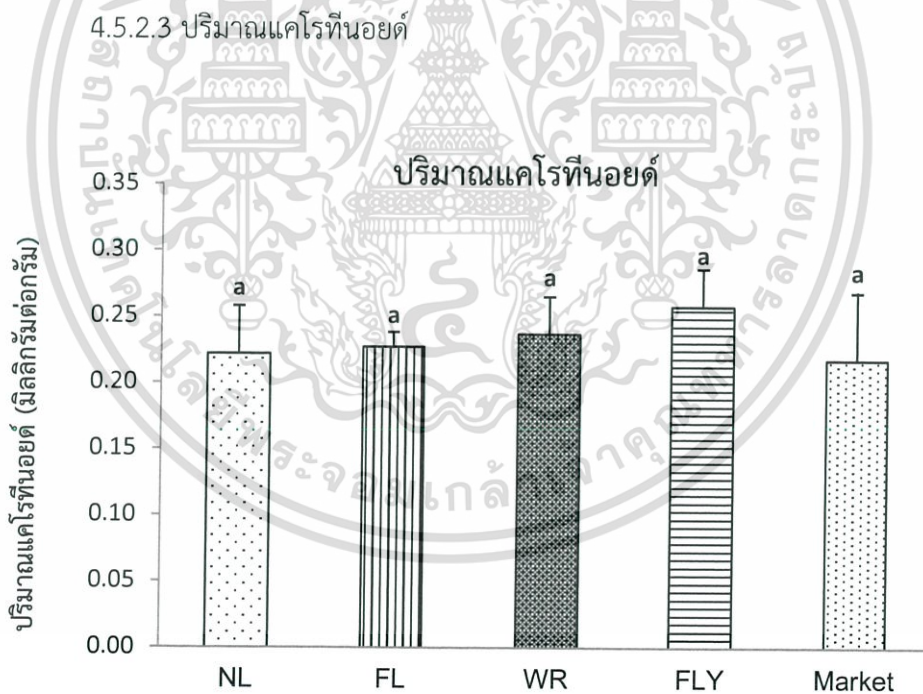
รูปที่ 4.15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36วันในการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36วันในการทดลองครั้งที่ 2

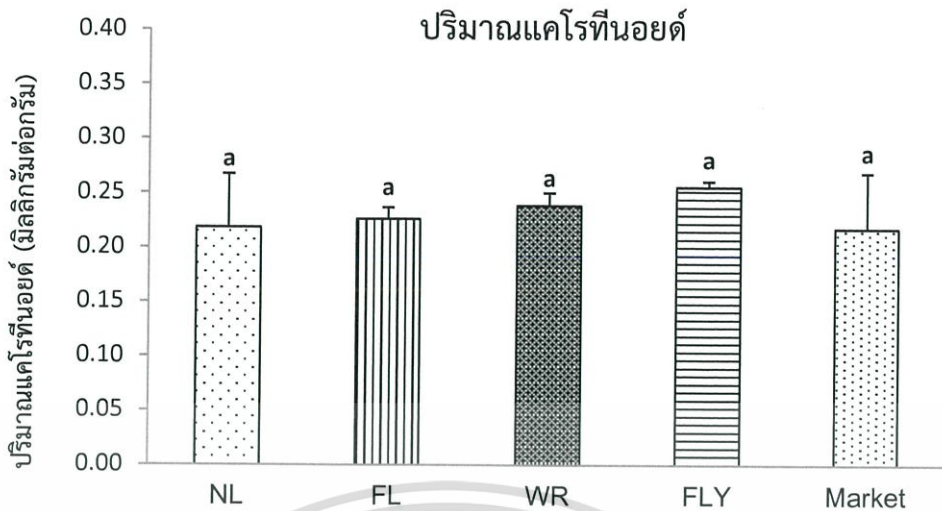
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดหอมในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ พบว่าคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของแสง FLY มีค่าสูงสุดในการปลูกทั้ง 2 ครั้ง โดยคลอโรฟิลล์ บี ในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0.4392 และ 0.4064 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยในการปลูกครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าครั้งที่ 2 เท่ากับ 0.0328 มิลลิกรัมต่อกรัม ในส่วนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0.9969 และ 0.9695 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยในการปลูกครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าครั้งที่ 2 เท่ากับ 0.0274 มิลลิกรัมต่อกรัม ขณะที่ผักตามท้องตลาดมีค่าคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ต่ำที่สุด โดยในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 แสงทุกชนิดไม่ส่งผลต่อคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และในการทดลองปลูกครั้งที่ 2 ผักตามท้องตลาดมีความแตกต่างของคลอโรฟิลล์ บี กับแสงธรรมชาติ, FL, WR และ FLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่แสงทุกชนิดไม่ส่งผลต่อคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.17 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองครั้งที่ 1

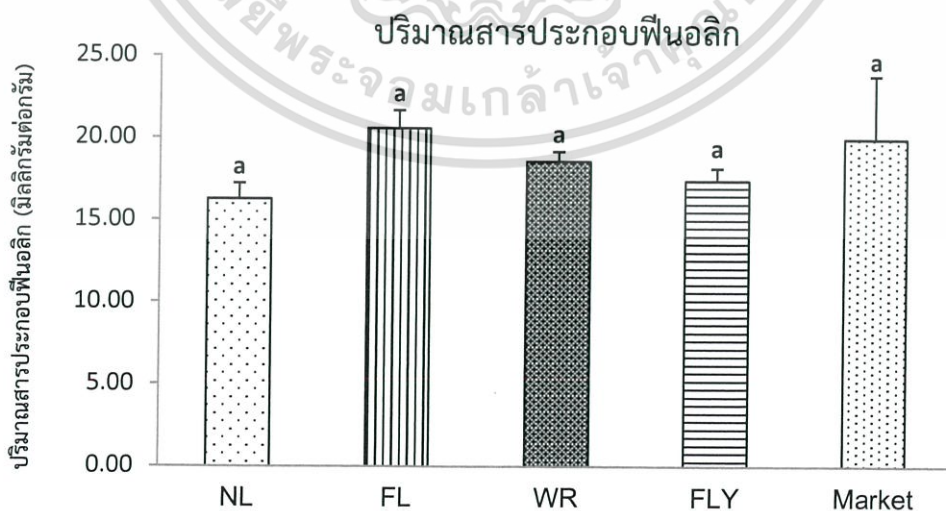
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36วันในการทดลองครั้งที่ 2

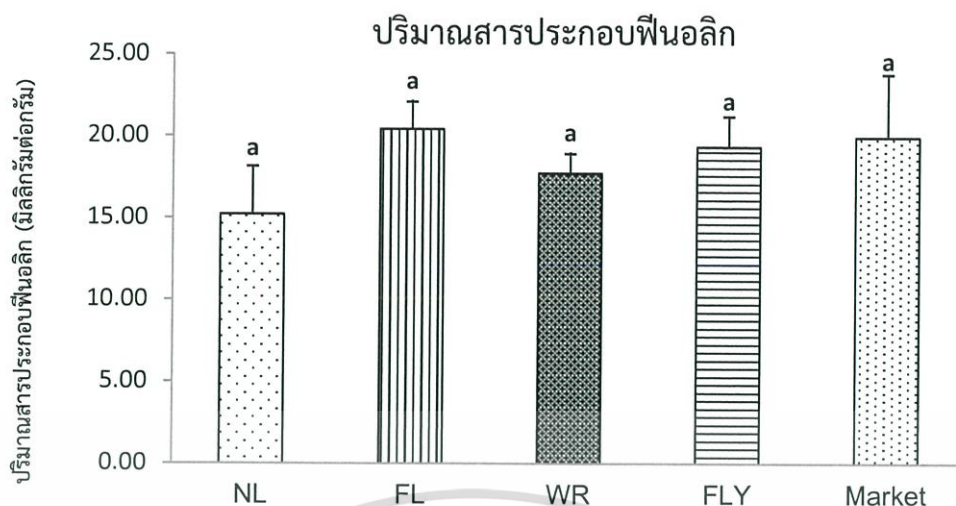
จากการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ของผักกาดหอมในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์จากแสง FLY มีค่าสูงที่สุดในการปลูกทั้ง 2 ครั้ง โดยในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0.2654 และ 0.2554 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยในการปลูกครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าครั้งที่ 2 เท่ากับ 0.0100 มิลลิกรัมต่อกรัม ขณะที่ผักตามท้องตลาดมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.2174 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสงทุกชนิดไม่ส่งผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.5.2.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก



รูปที่ 4.19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36วันในการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองครั้งที่ 2

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของผักกาดหอมในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากแสง FL มีค่าสูงสุดในการปลูกทั้ง 2 ครั้ง โดยในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 20.5659 และ 20.4221 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยในการปลูกครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าครั้งที่ 2 เท่ากับ 0.1438 มิลลิกรัมต่อกรัม ขณะที่แสงธรรมชาติมีค่าต่ำที่สุดในการปลูกทั้ง 2 ครั้ง โดยในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 16.2494 และ 15.2182 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยในการปลูกครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าครั้งที่ 2 เท่ากับ 1.0312 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 แสงทุกชนิดไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองปลูกผักกาดหอมจากตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์โดยใช้ระบบ Food and Drain ที่ระยะเวลา 36 วัน ซึ่งในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าความเข้มแสงจากภายนอกเท่ากับ 1261.54 ± 245.34 ลักซ์ และ 242.80 ± 72.28 ลักซ์ ขณะที่ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 ตู้แสงธรรมชาติมีค่าความเข้มแสงภายในตู้สูงสุดเท่ากับ 1335.56 ± 351.59 ลักซ์ และในการทดลองปลูกครั้งที่ 2 ตู้แสง FLY มีค่าความเข้มแสงภายในตู้สูงสุดเท่ากับ 628.82 ± 104.66 ลักซ์

ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 ผักกาดหอมที่อยู่ภายใต้แสงธรรมชาติมีการเจริญเติบโตสูงสุด ขณะที่แสง FLY มีปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.9969 และ 0.2654 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ อีกทั้งผักกาดหอมที่อยู่ภายใต้แสง FL มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 20.5659 มิลลิกรัมต่อกรัม

ในการทดลองปลูกครั้งที่ 2 ผักกาดหอมที่อยู่ภายใต้แสง FLY มีการเจริญเติบโตสูงสุด อีกทั้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.9695 และ 0.2554 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ขณะที่ผักกาดหอมที่อยู่ภายใต้แสง FL มีปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 20.4221 มิลลิกรัมต่อกรัม

จากการทดลองปลูกครั้งที่ 1 พบว่าการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก มีค่าสูงกว่าการทดลองปลูกครั้งที่ 2 เนื่องด้วยในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 ยังไม่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมทำให้มีความเข้มแสงสูงกว่าการทดลองปลูกครั้งที่ 2 โดยผักกาดหอมที่ได้จากการทดลองปลูกครั้งที่ 1 มีคุณภาพดีกว่าผักกาดหอมที่ได้จากการทดลองปลูกครั้งที่ 2 ทั้งนี้ความเข้มแสงจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม อีกทั้งในการทดลองปลูกครั้งที่ 1 อยู่ในช่วงฤดูหนาวซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรติดตั้งหลอดไฟให้มีระยะต่ำลงเพราะผักจะมีการเจริญเติบโตเข้าหาแสง ถ้าหลอดไฟอยู่สูงผักกาดหอมจะมีลำต้นที่สูงตามไปด้วยซึ่งจะทำให้ลำต้นของผักกาดหอมไม่แข็งแรง
2. ทำการทดลองปลูกในห้องมืดที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมเพราะจะไม่มีปัจจัยจากแสงภายนอกเข้ามารบกวน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.doae.go.th.
- กัญวาน จันทรประเสริฐ. 2551. อิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทธนา พรแสงสุวรรณ . 2553. รูปแบบการส่งเสริมผักไฮโดรโปนิคส์ในชุมชน. มหาวิทยาลัยบูรพา
- เยาวรัตน์ วงศ์ศรีสกุลแก้ว. 2541. การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของผักกาดหอม. ภาควิชาพืชสวน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วารินิ ธรรมชาติไพศาล. 2555. ปลุกพืชไร้ดิน Amazing Hydroponics. ศูนย์ส่งเสริมการเรียนรู้เทคโนโลยีการเกษตร.
- สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. 2550. การคำนวณแสงสว่างด้วยวิธีลูเมน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.teacher.ssru.ac.th/athisamai_so/file.php/1/Illumination_System_Design-appendix_A.pdf.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2558. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaihealth.or.th/Content/2558.html>.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2549. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศ ไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://thaipublica.org/2015/03/veget-chemical/>.
- อมรทิพย์ ภิรมย์บุรณ์. 2558. การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ชุมชนุสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Baslam, M., Morales, F., Gamendia, I., and Goicoechea, N. 2013. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. *Scientia Horticulturae* 151: 103–111.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Caldwell, C.R. and Britz, S.J. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of greenhouse grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 637–644.
- Chen, X.L., Guo, W.Z., Wang, L.C. and Qiao, X.J., 2014. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae* 172: 168-175.
- Chen, X.L., Guo, W.Z., Wang, L.C. and Qiao, X.J., 2016. Growth and nutrition properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and white and supplemental light provided by light-emitting diode. *Scientia Horticulturae* 200: 111-118.
- Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W. and Han, X.L. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae* 153: 50-53.
- Fu, Y., Li, H.Y., Yu, J., Liu, H., Cao, Z., Manukovsky, N.S., and Liu, H. 2016. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthesis characteristics and quality of lettuce (*Lactuca Sativa* L. Var. youmaicai). *Scientia Horticulturae* 214: 51-57.
- Gunathilake, K.D.P.P., Ranaweera, K.K.D.S., 2016. Antioxidative properties of 34 green leafy. *Journal of Functional Foods* 23: 176-186.
- Kim, M.J., Moon, Y.Y., Tou, J.c. and Mou, B.Q., 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* 49: 19-34.
- Lee, S. and Lee, J. 2015. Beneficial bacteria and fungi hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae* 195: 206–215.
- Li, Q. and Kubota, C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany* 67: 59–64.

- Lin, K.H., Huang, M.Y., Huang, W.D., Hsu, M.H. and Yang, Z.W. 2013. The effects of red, blue and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca Savita L. var. capitata*). *Scientia Horticulturae* 150: 86–91.
- Samuoliene, G., Sirtautas, R., Brazaityte, A. and Duchovski, P. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby lettuce. *Food Chemistry* 134: 1494-1499.
- Seo, M.W., Yang, D.S., Kays, S.J., Kim, J.H., Woo, J.H. and Park, K.W. 2008. Effects of nutrient solution electrical conductivity and sulfur, magnesium and phosphorus concentration on sesquiterpene lactones in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa L.*). *Scientia Horticulturae* 122: 369–374.
- Tudela, J.A., Hernandez, N., Perez-vicente, A. and Gil, M.I. 2016. Growing season climates affect quality of fresh-cut lettuce. *Postharvest Biology and Technology* 123: 60-68.
- Yoshida, T., Sakuma, K., and Kumagai, H. 2014. Nutritional and taste characteristics of low-potassium lettuce developed for patients with chronic kidney diseases. *Hong Kong Journal of Nephrology* 16: 42-45.

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง

ก.1 วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ

ข.1 ความเข้มแสง

ข.2 ความสูงผักกาดหอม

ข.3 การเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ข.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก

ข.5 การติดตั้งหลอดไฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.1

วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Biochem, Single Beam Spectrophotometer Libra S12 200-999 nm , England)

1. เปิดเครื่อง Spectrophotometer
2. กดปุ่ม F2 ของตัวเครื่องเมื่อหน้าจอขึ้นแสดงผล เพื่อทำการปรับค่ามาตรฐานเครื่อง (Calibration)
3. กดปุ่ม λ เพื่อป้อนค่าความยาวคลื่นที่ต้องการวัด
4. เติมสารละลาย (blank) ให้ได้ประมาณร้อยละ 80 ของคิวเวทท์ จากนั้นนำคิวเวทท์ด้านใสเข้าหาด้านลำแสง แล้วทำการปิดฝาช่องใส่คิวเวทท์ กดปุ่ม II เพื่อปรับเครื่องให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์
5. นำสารละลายที่เตรียมไว้มาทำการวัดหาค่าการดูดกลืนแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.1

ความเข้มแสง

ตารางที่ ข.1.1 ความเข้มแสงภายในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในการทดลองครั้งที่ 2

วันที่	ช่วงเวลา	ตู้ที่ 1 (NL)		ตู้ที่ 2 (FL)		ตู้ที่ 3 (WR)		ตู้ที่ 4 (FLY)	
		ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
22/3/60	เช้า	208.89	79.60	515.56	151.96	551.67	152.63	606.33	132.55
	บ่าย	225.44	37.33	516.67	122.46	552.11	127.11	623.11	139.73
	เย็น	350.67	79.47	532.44	164.34	583.44	137.31	620.44	144.88
23/3/60	เช้า	188.33	65.34	532.56	116.72	577.33	112.92	618.33	84.71
	บ่าย	231.89	60.70	530.56	128.14	520.78	155.39	580.22	141.69
	เย็น	287.00	95.93	517.22	126.94	494.56	167.33	605.44	163.52
24/3/60	เช้า	151.00	25.49	540.33	162.66	554.78	97.59	629.33	71.38
	บ่าย	281.67	106.19	529.56	138.99	514.44	134.30	550.33	118.08
	เย็น	285.44	134.45	519.89	178.45	518.11	146.00	611.22	126.35
27/3/60	เช้า	33.50	23.89	489.11	127.30	554.44	135.14	689.11	55.12
	บ่าย	41.46	29.86	548.67	123.57	562.00	124.69	614.56	126.22
	เย็น	30.42	12.72	496.11	135.09	551.56	135.51	682.00	109.36
28/3/60	เช้า	33.77	15.84	460.11	144.83	554.44	153.35	682.00	105.79
	บ่าย	59.40	15.01	539.22	97.83	559.22	74.55	706.11	117.81
	เย็น	30.90	10.41	572.56	135.29	541.56	126.39	683.22	32.76
29/3/60	เช้า	44.71	18.54	421.89	123.97	587.00	108.65	700.22	52.93
	บ่าย	72.54	9.95	535.44	108.94	547.00	123.06	628.00	96.98
	เย็น	40.83	18.03	531.00	144.38	554.56	157.89	728.33	105.73
30/3/60	เช้า	34.61	12.12	464.11	160.89	523.89	109.12	657.33	64.48
	บ่าย	70.11	11.61	539.22	113.11	595.44	111.01	636.89	90.33
	เย็น	31.88	6.45	542.00	110.42	543.44	114.25	650.67	84.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.1 ความเข้มแสงภายในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ช่วงเวลา	ตู้ที่ 1 (NL)		ตู้ที่ 2 (FL)		ตู้ที่ 3 (WR)		ตู้ที่ 4 (FLY)	
		ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
31/3/60	เช้า	30.56	9.33	486.00	141.63	535.56	133.48	673.89	91.98
	บ่าย	68.08	13.24	503.11	115.22	587.00	135.79	720.33	108.76
	เย็น	29.87	7.54	502.44	138.83	523.44	96.67	633.78	120.13
3/4/60	เช้า	216.56	73.57	449.78	96.79	535.89	144.91	657.11	81.36
	บ่าย	223.89	55.19	584.44	140.88	559.22	115.98	605.89	152.31
	เย็น	87.79	24.26	582.11	111.98	560.00	128.08	669.78	112.18
4/4/60	เช้า	38.10	13.04	462.67	91.21	507.22	82.93	655.78	127.84
	บ่าย	60.84	12.77	538.78	126.13	564.56	130.25	715.33	123.10
	เย็น	37.29	8.31	544.00	136.39	592.78	114.73	651.00	74.25
5/4/60	เช้า	226.11	58.36	445.89	98.81	533.33	112.49	664.11	73.84
	บ่าย	221.78	48.58	598.22	129.02	559.44	113.16	545.44	115.46
	เย็น	86.32	26.20	540.67	89.74	558.78	131.77	664.00	92.03
6/4/60	เช้า	231.78	90.80	603.00	132.64	537.56	135.67	632.67	147.37
	บ่าย	286.78	108.87	732.67	116.05	735.33	107.09	691.22	106.34
	เย็น	151.89	25.59	504.89	95.07	523.67	127.26	633.56	60.09
7/4/60	เช้า	251.56	72.94	463.67	94.78	491.89	100.33	630.67	97.15
	บ่าย	382.44	109.15	833.56	71.63	793.33	58.83	638.44	130.75
	เย็น	164.67	51.54	506.11	94.63	521.89	113.84	630.67	94.46
10/4/60	เช้า	56.07	22.97	461.44	86.42	531.67	128.44	632.22	104.56
	บ่าย	220.22	46.25	506.89	123.36	529.67	155.14	684.78	111.33
	เย็น	77.36	38.61	504.22	97.03	524.33	111.90	633.00	72.93
11/4/60	เช้า	107.68	45.75	525.67	121.16	564.11	114.88	630.78	152.14
	บ่าย	208.22	49.54	550.67	138.77	564.67	149.00	623.89	139.66
	เย็น	184.67	33.00	503.33	125.41	521.00	184.63	629.44	173.62
12/4/60	เช้า	207.11	44.99	526.89	98.13	574.33	97.95	626.11	87.69
	บ่าย	356.67	72.54	503.00	89.42	529.00	77.19	605.89	96.63
	เย็น	169.77	52.97	506.11	62.11	521.89	116.62	627.56	89.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.1 ความเข้มแสงภายในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ช่วงเวลา	ตู้ที่ 1 (NL)		ตู้ที่ 2 (FL)		ตู้ที่ 3 (WR)		ตู้ที่ 4 (FLY)	
		ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
13/4/60	เช้า	194.89	66.87	437.67	104.58	555.22	112.81	623.33	92.65
	บ่าย	328.67	90.57	516.22	119.16	522.00	109.24	612.67	118.98
	เย็น	165.22	45.89	506.67	106.55	527.11	86.86	629.44	110.62
14/4/60	เช้า	299.67	49.16	565.00	101.96	557.67	137.68	630.56	88.77
	บ่าย	466.78	48.74	501.00	142.88	529.78	160.33	593.11	135.89
	เย็น	254.89	94.43	504.11	112.69	523.56	117.86	631.22	94.02
17/4/60	เช้า	190.44	51.03	501.33	86.07	526.67	101.61	633.78	50.17
	บ่าย	276.44	78.74	506.78	139.35	521.56	126.28	518.56	149.89
	เย็น	211.44	60.83	500.56	119.15	520.89	129.43	636.89	104.04
18/4/60	เช้า	248.33	114.12	462.33	78.80	527.11	66.95	627.44	82.60
	บ่าย	253.11	72.65	505.89	134.54	550.00	99.10	577.44	125.90
	เย็น	192.67	85.44	502.56	106.84	513.22	69.66	626.00	89.62
19/4/60	เช้า	230.33	54.73	473.33	120.39	487.78	142.81	631.67	89.55
	บ่าย	243.00	64.80	505.11	91.19	525.89	143.27	539.00	146.16
	เย็น	205.67	67.69	504.44	127.68	521.44	69.58	630.89	96.25
20/4/60	เช้า	219.33	68.02	526.11	117.74	498.44	85.84	623.56	57.44
	บ่าย	228.56	44.72	510.56	105.04	523.11	91.03	527.22	103.65
	เย็น	234.22	58.04	505.44	72.16	514.89	89.37	634.56	117.08
21/4/60	เช้า	234.89	45.96	460.33	102.22	477.00	89.60	633.44	60.45
	บ่าย	255.67	72.81	508.56	104.06	535.89	98.62	529.78	113.68
	เย็น	235.44	48.26	506.00	130.80	536.11	101.40	631.22	87.28
24/4/60	เช้า	190.44	51.03	501.33	86.07	526.67	101.61	632.89	89.75
	บ่าย	276.44	78.74	503.56	136.52	519.33	137.10	518.56	149.89
	เย็น	211.44	60.83	503.44	94.08	509.33	130.74	626.67	128.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.1 ความเข้มแสงภายในตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ช่วงเวลา	ตู้ที่ 1 (NL)		ตู้ที่ 2 (FL)		ตู้ที่ 3 (WR)		ตู้ที่ 4 (FLY)	
		ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
25/4/60	เช้า	248.33	114.12	462.33	78.80	527.11	66.95	628.56	60.88
	บ่าย	253.11	72.65	503.67	155.79	517.78	123.08	577.44	125.90
	เย็น	192.67	85.44	501.44	63.89	518.56	62.89	628.67	71.97
26/4/60	เช้า	230.33	54.73	473.33	120.39	487.78	142.81	629.89	85.57
	บ่าย	243.00	64.80	502.56	88.72	511.78	135.92	539.00	146.16
	เย็น	205.67	67.69	501.33	126.63	524.22	76.57	634.22	86.70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.2

ความสูงของฝักกาดหอม

ตารางที่ ข.2.1 ความสูงของฝักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

ความสูงของฝักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	1.9	2.3	2.5	2.23	0.31
3	3.2	4.4	4.6	4.07	0.76
6	4.7	5.2	5.5	5.35	3.09
9	7.5	7.3	7.6	7.47	0.15
12	7.8	8.1	8.3	8.07	0.25
15	8.1	9.3	9.5	8.97	0.76
18	10.1	10.4	10.6	10.37	0.25
21	10.6	11.2	11.3	11.03	0.38
24	11.7	13.5	13.4	12.87	1.01
27	11.9	16.5	14.1	14.17	2.30
30	14.4	23.1	16.7	18.07	4.51
33	17.7	30.7	21.3	23.23	6.71
36	20.3	36.2	26.9	27.80	7.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.2 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.3 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FLในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

ความสูงของผักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.1	2.5	2.3	2.30	0.20
3	2.3	2.8	2.5	2.53	0.25
6	2.8	3.2	2.9	2.97	0.21
9	3.3	3.6	3.5	3.47	0.15
12	3.8	4.2	3.9	3.97	0.21
15	4.3	4.6	4.4	4.43	0.15
18	4.8	5.1	4.9	4.93	0.15
21	5.7	6.2	5.9	5.93	0.25
24	6.5	7.1	6.7	6.77	0.31
27	7.7	8.2	7.6	7.83	0.32
30	8.6	9.1	8.9	8.87	0.25
33	9.5	10	9.7	9.73	0.25
36	10.3	10.9	10.6	10.60	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.4 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FL ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



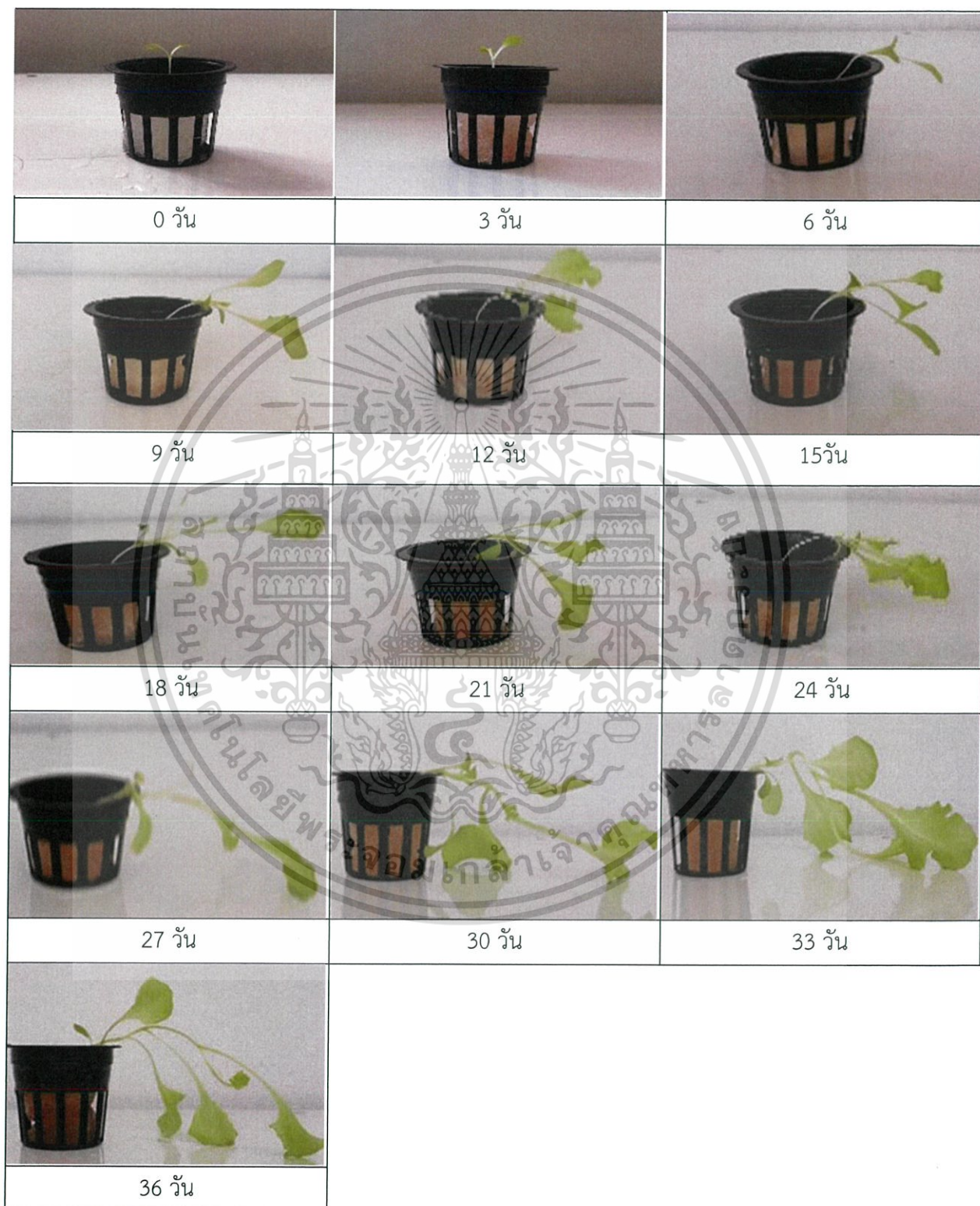
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.5 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง WR ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

ความสูงของผักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	1.8	2.4	2.2	2.13	0.31
3	2.5	2.6	2.4	2.50	0.10
6	4.9	5.1	4.3	4.77	0.42
9	6.6	6.2	5.9	6.23	0.35
12	7.1	6.9	6.5	6.83	0.31
15	7.5	7.2	7.0	7.23	0.25
18	9.8	9.6	9.5	9.63	0.15
21	10.5	11.5	12	11.33	0.76
24	12.5	12.7	14.5	13.23	1.10
27	15.9	12.9	15	14.60	1.54
30	17.6	14.4	15.8	15.93	1.60
33	18.9	15.8	16.5	17.07	1.63
36	20.4	17.3	18.2	18.63	1.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.6 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง WR ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.7 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FLYในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

ความสูงของผักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.1	2.5	2.3	2.30	0.20
3	2.3	2.8	2.5	2.53	0.25
6	2.8	3.2	2.9	2.97	0.21
9	3.3	3.6	3.5	3.47	0.15
12	3.8	4.2	3.9	3.97	0.21
15	4.3	4.6	4.4	4.43	0.15
18	4.8	5.1	4.9	4.93	0.15
21	5.7	6.2	5.9	5.93	0.25
24	6.5	7.1	6.7	6.77	0.31
27	7.7	8.2	7.6	7.83	0.32
30	8.6	9.1	8.9	8.87	0.25
33	9.5	10	9.7	9.73	0.25
36	10.3	10.9	10.6	10.60	0.30

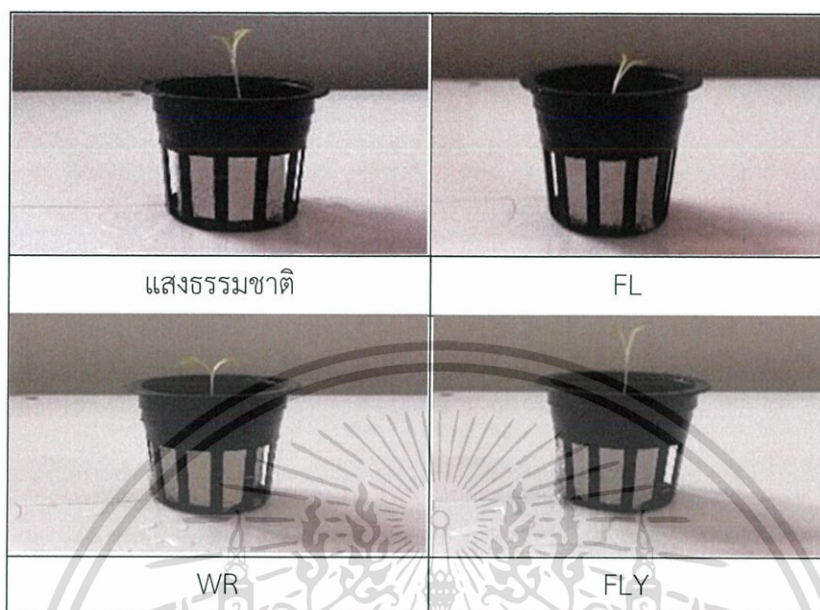
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.8 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FLYในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.9 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 0 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



ตารางที่ ข.2.10 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 3 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.11 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 6 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

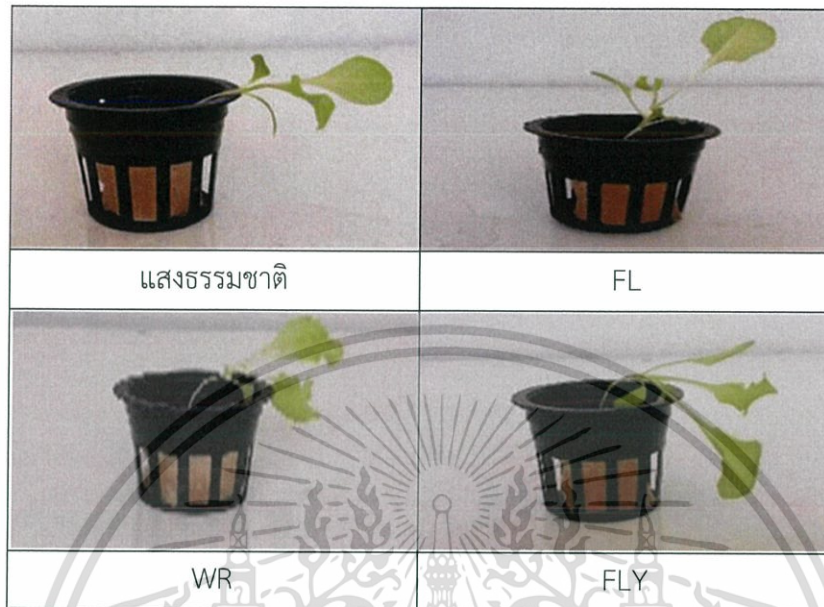


ตารางที่ ข.2.12 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 9 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.13 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 12 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

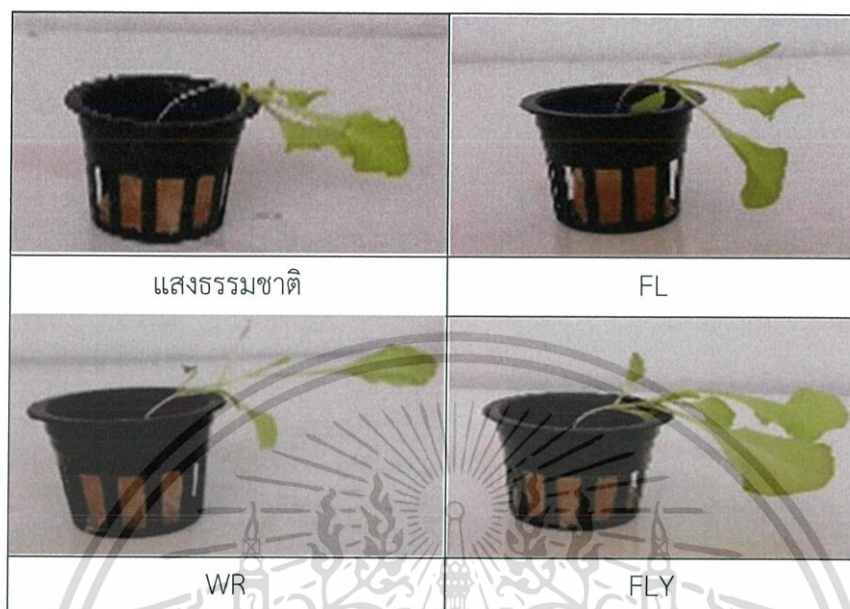


ตารางที่ ข.2.14 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 15 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.15 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 18 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



ตารางที่ ข.2.16 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 21 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

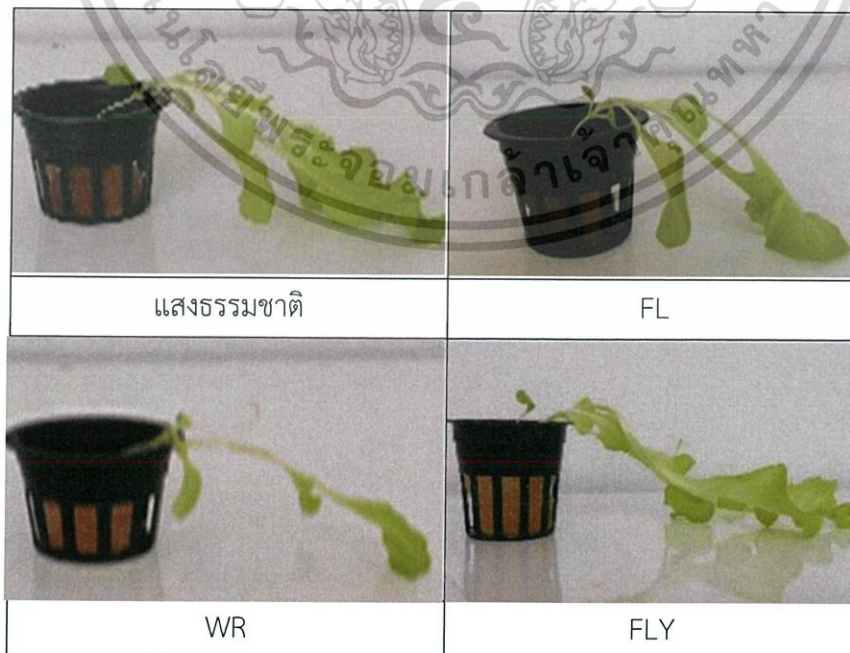


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.17 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 24 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

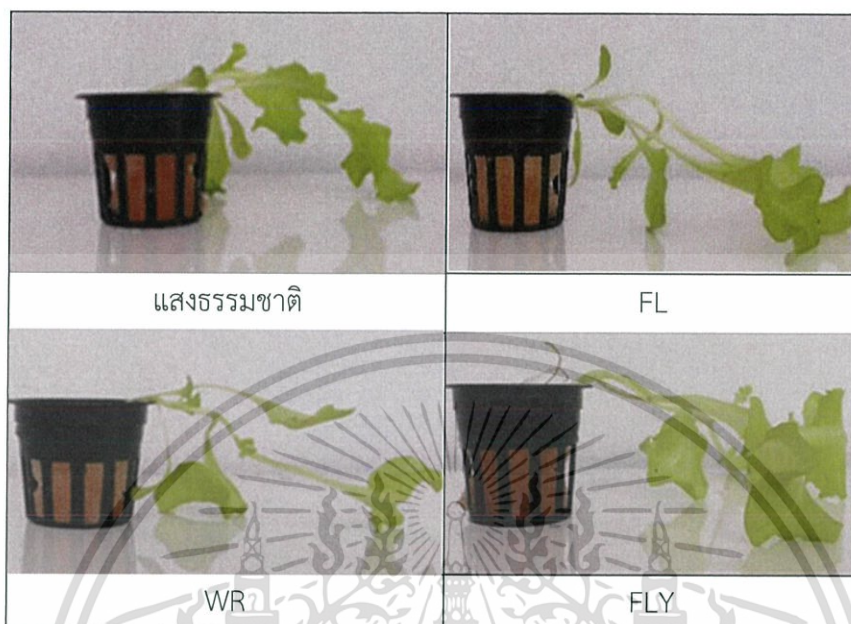


ตารางที่ ข.2.18 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 27 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.19 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 30 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

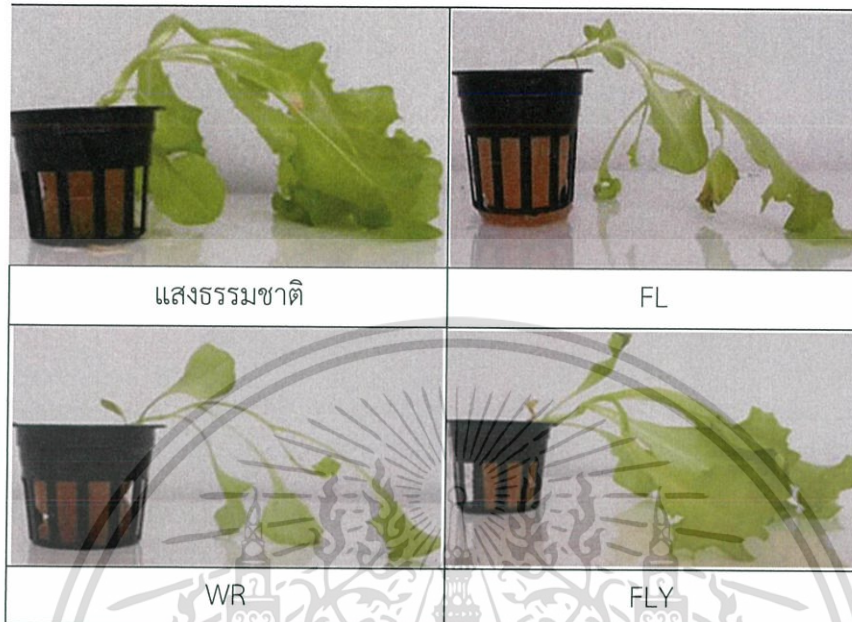


ตารางที่ ข.2.20 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 33 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.21 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.22 ความสูงของฝักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

ความสูงของฝักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.2	2.4	2.1	2.23	0.15
3	2.4	2.6	2.3	2.43	0.15
6	2.8	2.9	2.6	2.77	0.15
9	3.2	3.3	3.0	3.17	0.15
12	3.6	3.8	3.6	3.67	0.12
15	3.9	4.2	3.8	3.97	0.21
18	4.6	4.7	4.5	4.60	0.10
21	5.4	5.6	5.5	5.50	0.10
24	6.1	6.4	6.6	6.37	0.25
27	7.0	7.2	7.5	7.23	0.25
30	7.9	8.0	8.2	8.03	0.15
33	8.8	9.1	9.3	9.07	0.25
36	9.5	9.7	9.9	9.70	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.23 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสงธรรมชาติในการทดลองปลูกครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.24 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FLในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

ความสูงของผักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.1	2.5	2.3	2.30	0.20
3	2.3	2.8	2.5	2.53	0.25
6	2.8	3.2	2.9	2.97	0.21
9	3.3	3.6	3.5	3.47	0.15
12	3.8	4.2	3.9	3.97	0.21
15	4.3	4.6	4.4	4.43	0.15
18	4.8	5.1	4.9	4.93	0.15
21	5.7	6.2	5.9	5.93	0.25
24	6.5	7.1	6.7	6.77	0.31
27	7.7	8.2	7.6	7.83	0.32
30	8.6	9.1	8.9	8.87	0.25
33	9.5	10	9.7	9.73	0.25
36	10.3	10.9	10.6	10.60	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.25 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FL ในการทดลองปลูกครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.26 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง WR ในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

ความสูงของผักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.2	2.5	2.1	2.27	0.21
3	2.7	3.1	2.6	2.80	0.26
6	3.2	3.5	3.3	3.33	0.15
9	3.7	3.9	3.8	3.80	0.10
12	4.5	4.7	4.4	4.53	0.15
15	5.2	5.3	5.1	5.20	0.10
18	5.9	6.1	5.8	5.93	0.15
21	6.8	6.9	6.6	6.77	0.15
24	7.7	8.0	7.8	7.83	0.15
27	8.5	8.8	8.6	8.63	0.15
30	9.5	9.9	9.6	9.67	0.21
33	10.5	10.7	10.9	10.70	0.20
36	11.7	12.2	12.5	12.13	0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.27 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง WR ในการทดลองปลูกครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.28 ความสูงของผักกาดหอมจากแสง FLYในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

ความสูงของผักกาดหอม (เซนติเมตร)					
วันที่	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
0	2.3	2.5	2.6	2.47	0.15
3	2.9	3.3	3.1	3.10	0.20
6	3.4	3.7	3.5	3.53	0.15
9	3.8	4.2	3.9	3.97	0.21
12	4.6	4.9	4.7	4.73	0.15
15	5.5	5.8	5.4	5.57	0.21
18	6.3	6.6	6.1	6.33	0.25
21	7.4	7.7	7.3	7.47	0.21
24	8.5	9.0	8.3	8.60	0.36
27	9.4	9.8	9.6	9.60	0.20
30	10.8	12.4	11.8	11.67	0.81
33	12.7	13.6	13.2	13.17	0.45
36	14.1	14.8	14.5	14.47	0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.29 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมจากแสง FLYในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

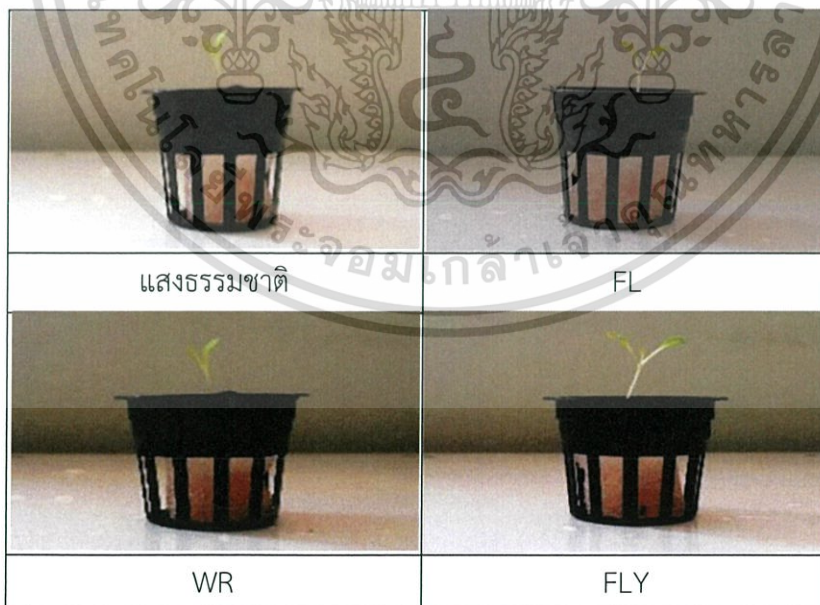


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.30 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 0 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

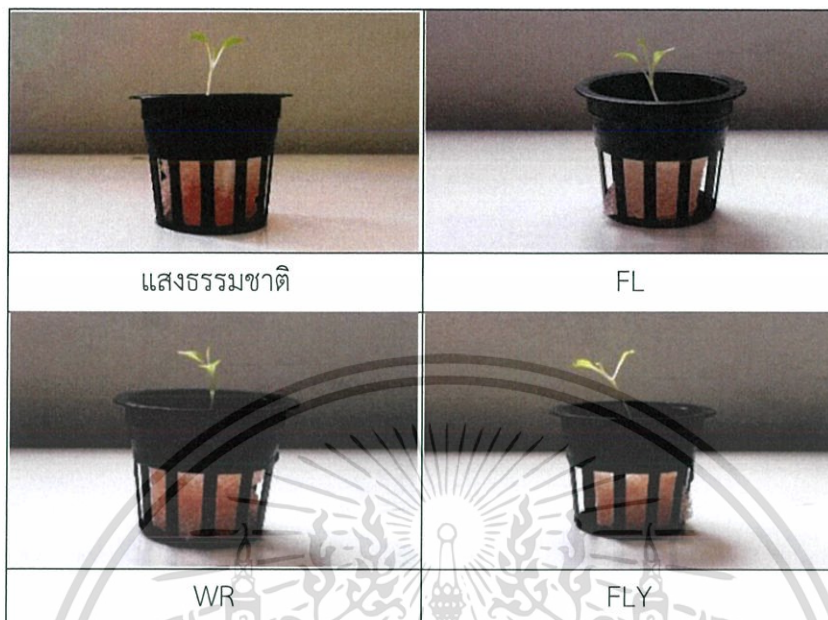


ตารางที่ ข.2.31 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 3 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

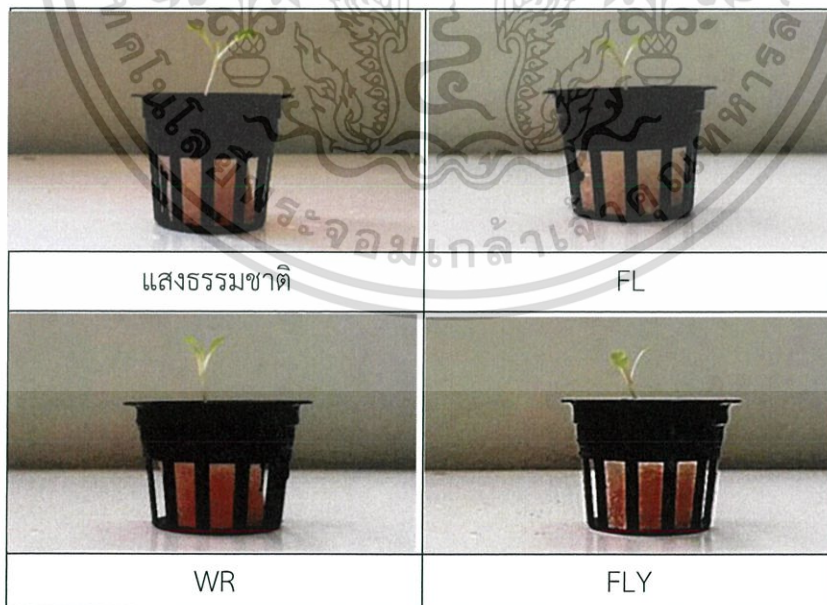


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.32 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 6 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

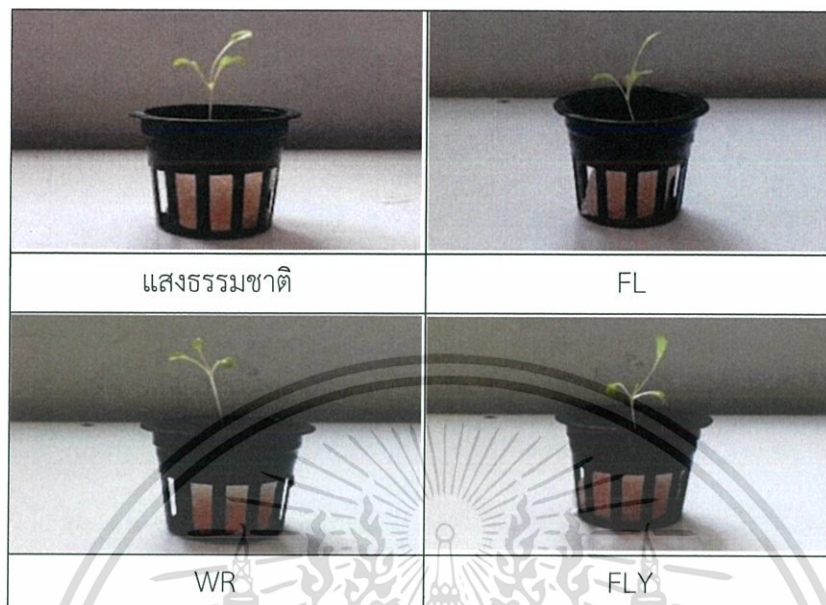


ตารางที่ ข.2.33 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 9 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.34 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 12 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

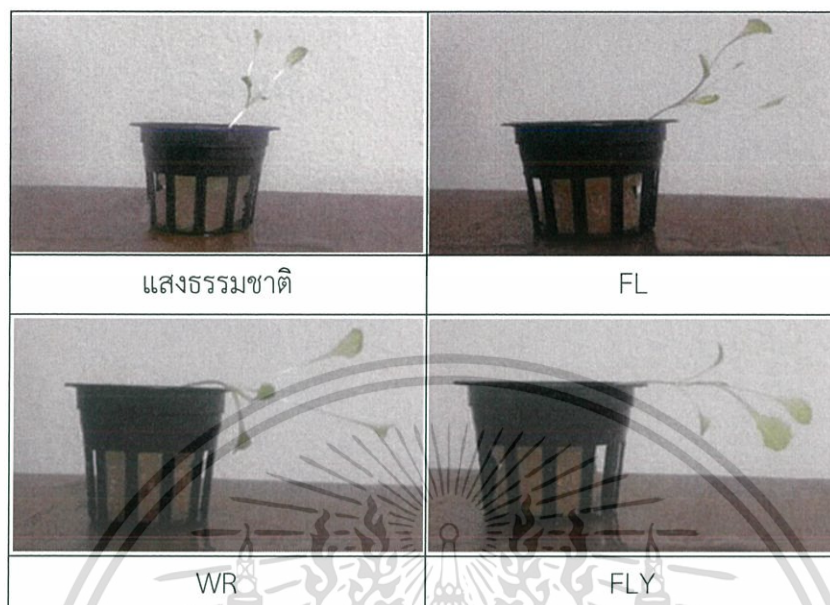


ตารางที่ ข.2.35 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 15 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.36 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 18 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

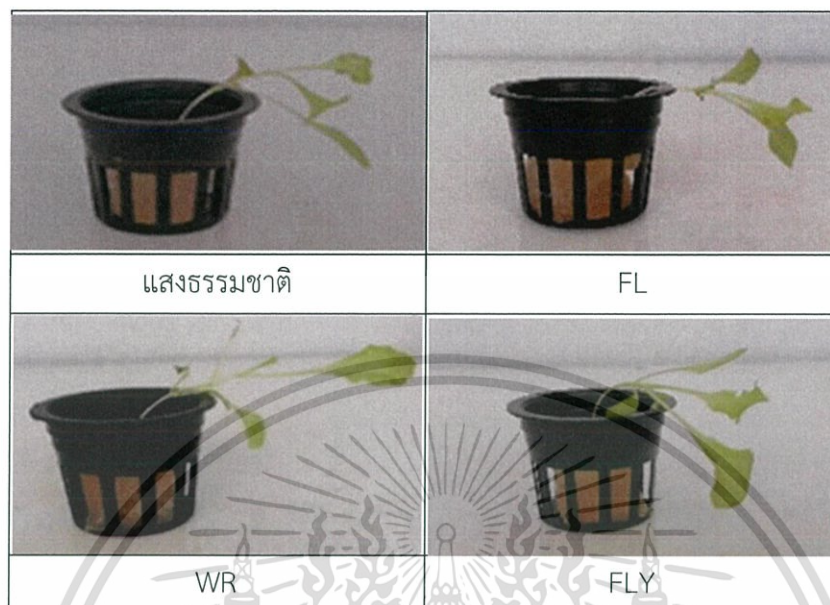


ตารางที่ ข.2.37 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 21 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

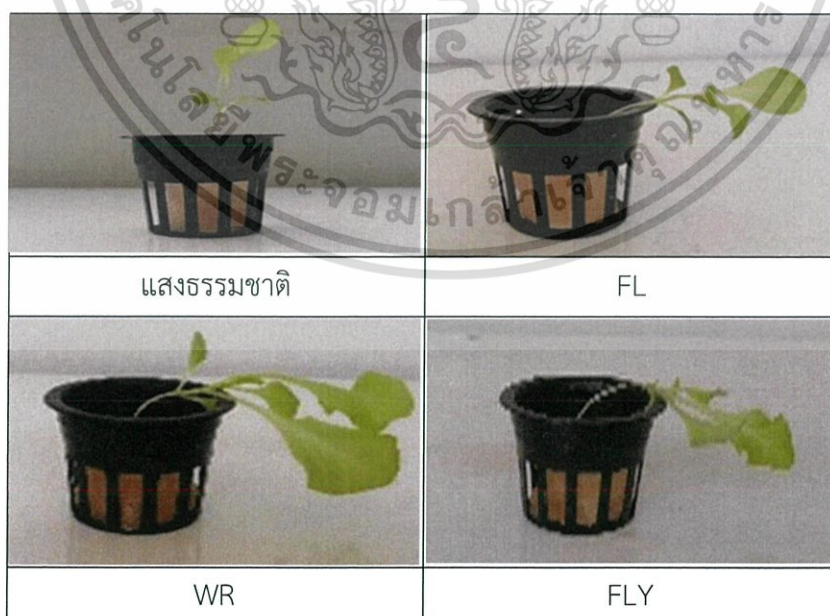


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.38 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 24 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

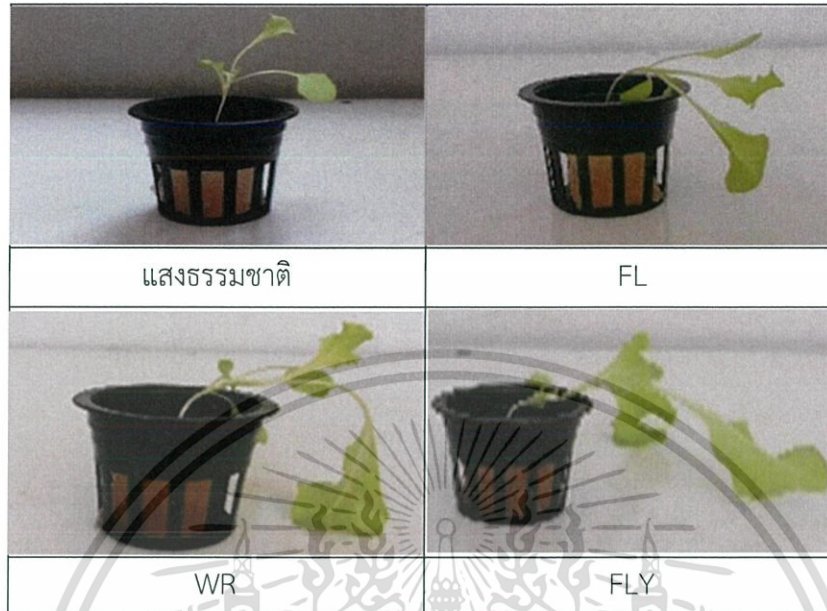


ตารางที่ ข.2.39 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 27 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

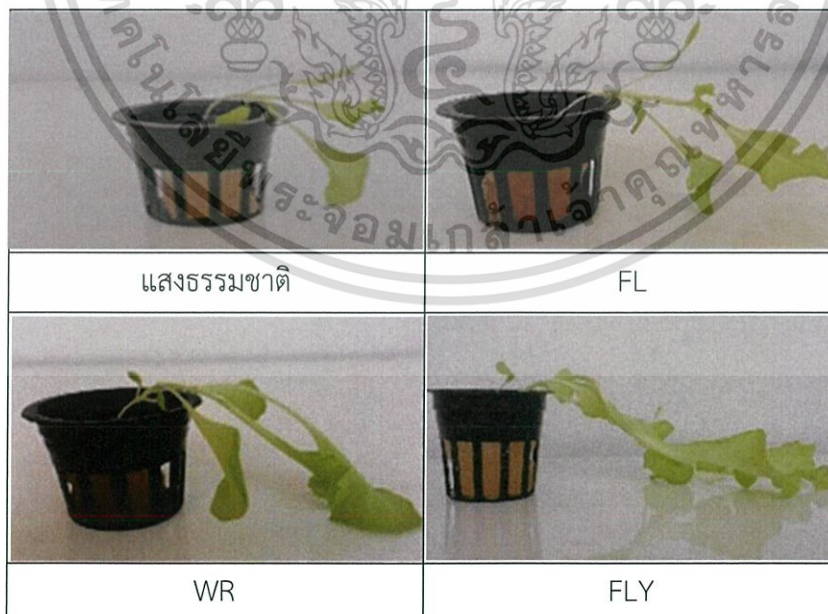


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.40 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 30 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

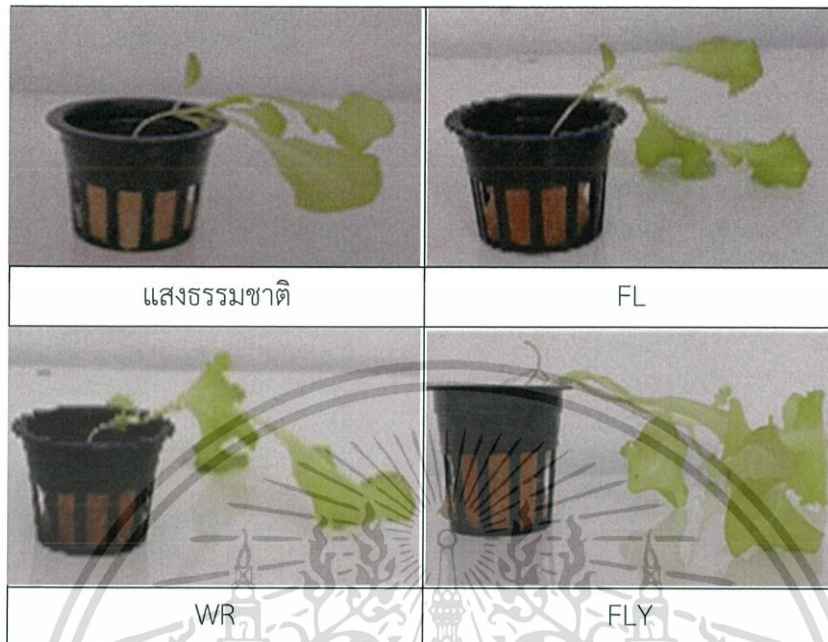


ตารางที่ ข.2.41 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 33 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.42 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.3

การเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ตารางที่ ข.3.1 ค่าการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36 วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

ชนิดแสง	ต้นที่	ความสูง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเปียก (กรัม)		น้ำหนักแห้ง (กรัม)		เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)
			shoot	root	shoot	root		
NL	1	362	7.4834	0.3394	0.0164	0.0135	3.80	13
	2	269	4.2363	0.1045	0.0161	0.0046	3.14	11
	3	203	0.8222	0.0345	0.0055	0.0025	1.80	9
FL	1	173	0.9789	0.0075	0.0054	0.0021	1.64	10
	2	204	0.5416	0.0094	0.0096	0.0019	1.22	10
	3	182	0.9007	0.0185	0.0041	0.0013	1.60	10
WR	1	158	0.5519	0.0123	0.0030	0.0015	1.10	9
	2	183	0.3632	0.0103	0.0042	0.0011	1.32	9
	3	156	0.3320	0.0136	0.0045	0.0010	1.22	10
FLY	1	185	0.6110	0.0125	0.0028	0.0012	1.40	11
	2	193	0.4549	0.0085	0.0028	0.0002	1.18	9
	3	183	0.6252	0.0144	0.0016	0.0001	1.62	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3.2 ค่าการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ระยะเวลา 36วันในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

ชนิดแสง	ต้นที่	ความสูง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเปียก (กรัม)		น้ำหนักแห้ง (กรัม)		เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)
			shoot	root	shoot	root		
NL	1	95	0.3957	0.0108	0.0038	0.0010	1.03	5
	2	97	0.4126	0.0112	0.0043	0.0012	1.08	6
	3	99	0.4215	0.0106	0.0035	0.0009	1.11	6
FL	1	103	0.4002	0.0123	0.0051	0.0014	1.18	6
	2	109	0.4739	0.0131	0.0063	0.0011	1.25	7
	3	106	0.4430	0.0102	0.0045	0.0013	1.21	6
WR	1	117	0.4930	0.0134	0.0055	0.0016	1.28	7
	2	122	0.4724	0.0101	0.0071	0.0014	1.36	7
	3	125	0.5011	0.0124	0.0053	0.0015	1.41	8
FLY	1	141	0.5094	0.0140	0.0071	0.0017	1.37	9
	2	148	0.5476	0.0111	0.0080	0.0019	1.42	9
	3	145	0.5619	0.0122	0.0066	0.0012	1.35	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.4

ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก

ตารางที่ ข.4.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก

ในการทดลองปลูกครั้งที่ 1

ชนิดแสง	ต้นที่	ค่าการดูดกลืนแสง				ผลการวิเคราะห์				
		663 nm	645 nm	470 nm	765 nm	Chl a	Chl b	Car	Chl (a+b)	Phenol
NL	1	0.488	0.181	0.466	0.285	0.5589	0.1814	0.1894	0.7403	17.2086
	2	0.670	0.329	0.676	0.272	0.7264	0.4165	0.2606	1.1429	16.2734
	3	0.327	0.193	0.434	0.258	0.4572	0.3609	0.2155	0.8180	15.2662
FL	1	0.390	0.203	0.485	0.342	0.5447	0.3467	0.2398	0.8914	21.3094
	2	0.328	0.195	0.427	0.339	0.4764	0.3806	0.2189	0.8570	21.0935
	3	0.415	0.242	0.501	0.314	0.5188	0.4013	0.2228	0.9201	19.2950
WR	1	0.319	0.204	0.548	0.295	0.4401	0.3962	0.2752	0.8363	17.9281
	2	0.335	0.185	0.375	0.304	0.5965	0.4219	0.2271	1.0184	18.5755
	3	0.302	0.195	0.424	0.312	0.4409	0.4032	0.2196	0.8441	19.1511
FLY	1	0.343	0.203	0.431	0.289	0.5982	0.4743	0.2585	1.0725	17.4964
	2	0.226	0.172	0.345	0.297	0.4391	0.5205	0.2284	0.9596	18.0719
	3	0.459	0.211	0.625	0.276	0.6361	0.3226	0.3093	0.9587	16.5612
Market	1	0.527	0.156	0.335	0.375	0.7381	0.1298	0.1633	0.8679	23.6835
	2	0.423	0.208	0.599	0.268	0.5185	0.2981	0.2648	0.8167	15.9856
	3	0.285	0.154	0.495	0.325	0.3533	0.2401	0.2242	0.5934	20.0863

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

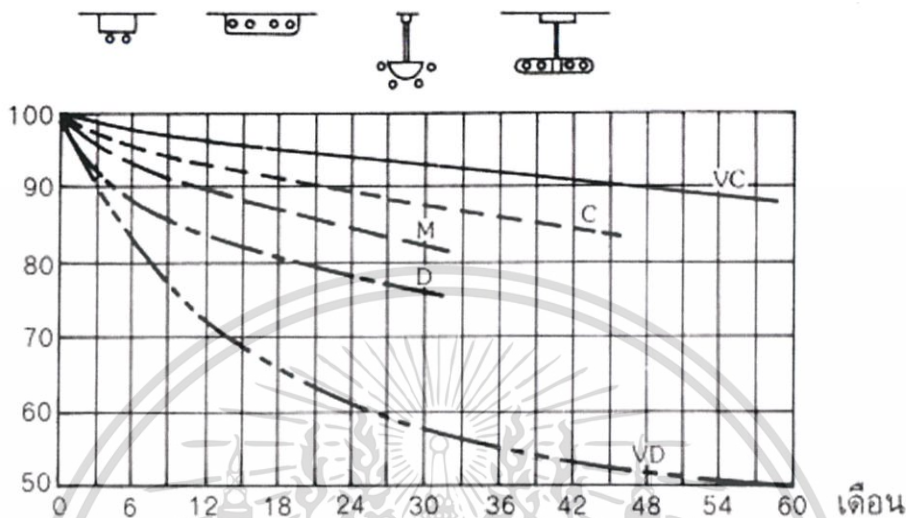
ตารางที่ ข.4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกในการทดลองปลูกครั้งที่ 2

ชนิดแสง	ต้นที่	ค่าการดูดกลืนแสง				ผลการวิเคราะห์				
		663 nm	645 nm	470 nm	765 nm	Chl a	Chl b	Car	Chl (a+b)	Phenol
NL	1	0.258	0.154	0.288	0.287	0.4526	0.3640	0.1705	0.8166	17.3525
	2	0.242	0.142	0.326	0.211	0.4671	0.3652	0.2156	0.8323	11.8849
	3	0.236	0.164	0.395	0.274	0.4600	0.4730	0.2684	0.9330	16.4173
FL	4	0.304	0.177	0.362	0.321	0.5248	0.4049	0.2139	0.9297	19.7986
	5	0.312	0.166	0.385	0.312	0.5352	0.3540	0.2288	0.8892	19.1511
	6	0.275	0.172	0.401	0.356	0.4580	0.3978	0.2346	0.8558	22.3166
WR	7	0.345	0.178	0.374	0.287	0.6156	0.3858	0.2271	1.0014	17.3525
	8	0.289	0.164	0.394	0.279	0.5313	0.3926	0.2508	0.9239	16.7769
	9	0.295	0.170	0.402	0.311	0.4982	0.3779	0.2372	0.8761	19.0791
FLY	10	0.379	0.214	0.428	0.305	0.6674	0.4891	0.2561	1.1565	18.6475
	11	0.279	0.165	0.444	0.295	0.4389	0.3476	0.2495	0.7865	17.9281
	12	0.357	0.189	0.456	0.344	0.5832	0.3825	0.2604	0.9656	21.4532
Market	1	0.527	0.156	0.335	0.375	0.7381	0.1298	0.1633	0.8679	23.6835
	2	0.423	0.208	0.599	0.268	0.5185	0.2981	0.2648	0.8167	15.9856
	3	0.285	0.154	0.495	0.325	0.3533	0.2401	0.2242	0.5934	20.0863

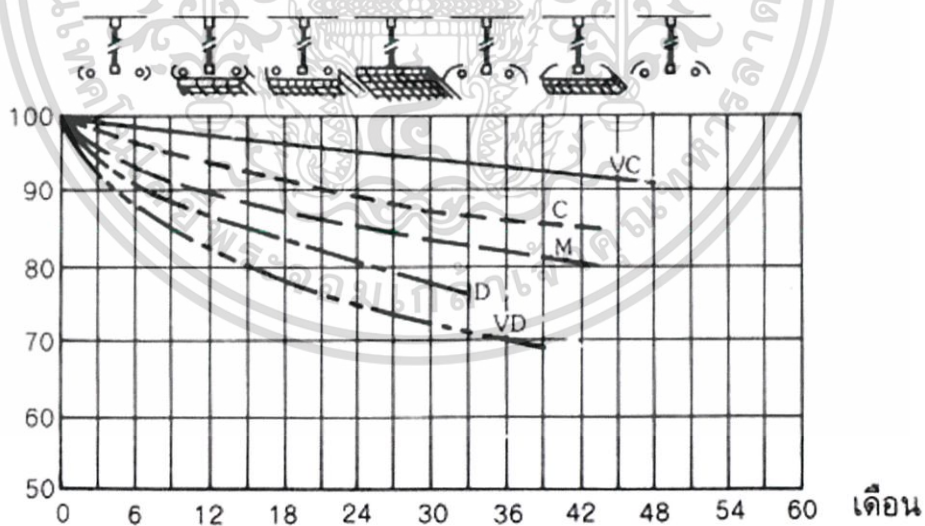
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.5

การติดตั้งหลอดไฟ

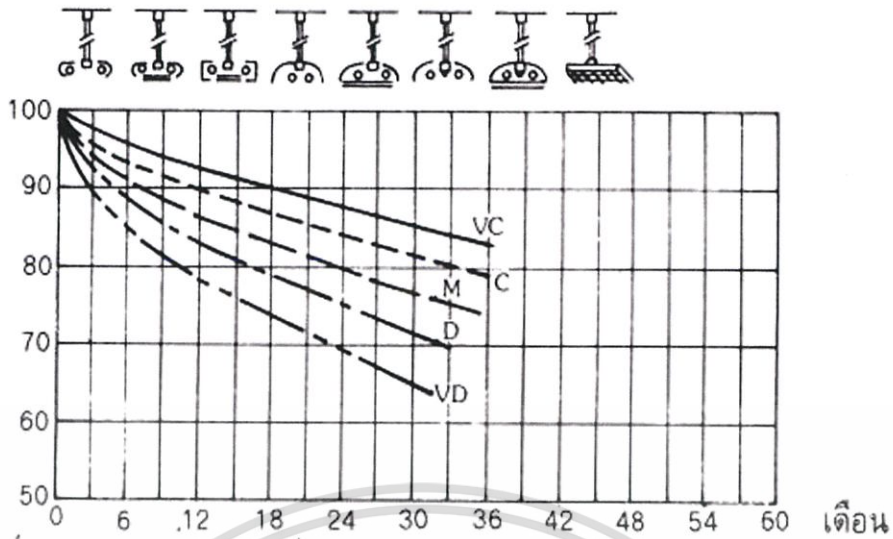


รูปที่ ข.5.1 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 1 เป็นดวงโคมแบบกึ่งกระจายแสงลง ดวงโคมเป็นแบบเปิด)

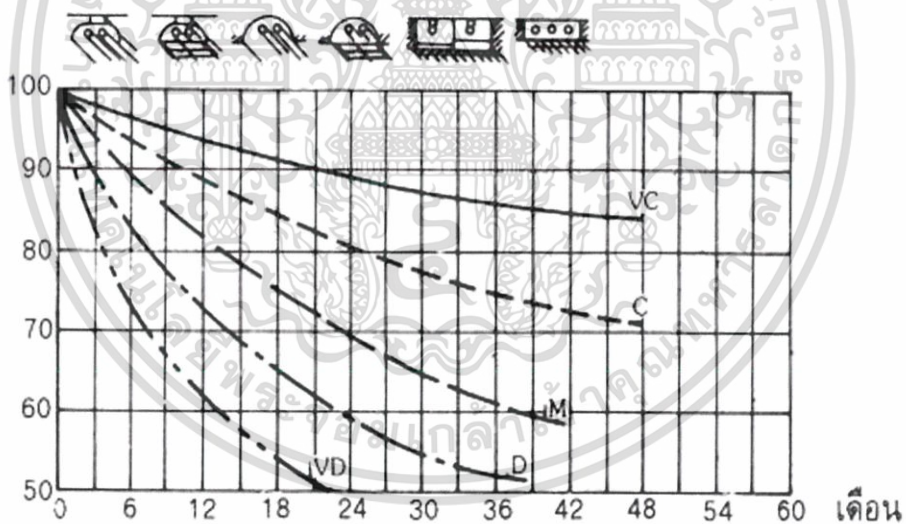


รูปที่ ข.5.2 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 2 ด้านบนเป็นแบบเปิด เช่นกัน แต่มีตะแกรงอยู่ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

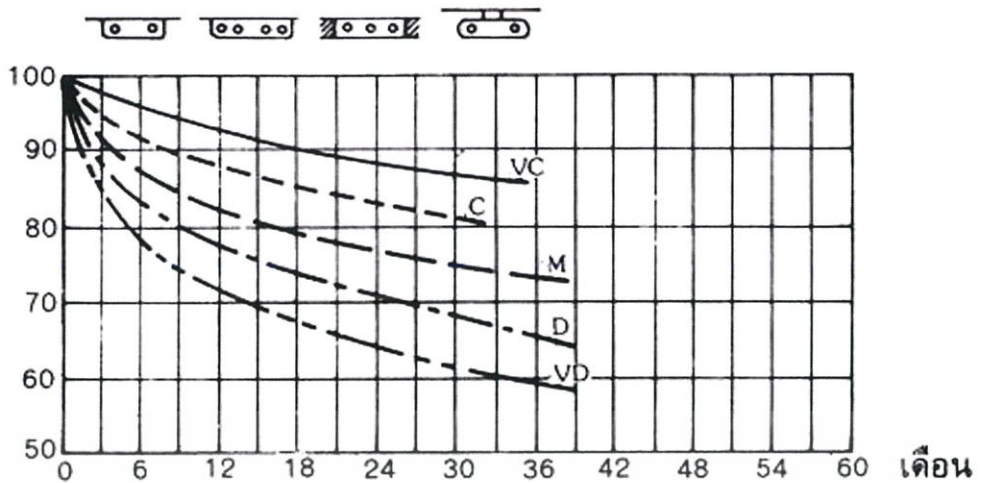


รูปที่ ข.5.3 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 3 คล้ายกับประเภทที่ 2 แต่ตะแกรงมีความถี่มากกว่าคือ ระยะระหว่างตะแกรงน้อยกว่า 1 นิ้ว)

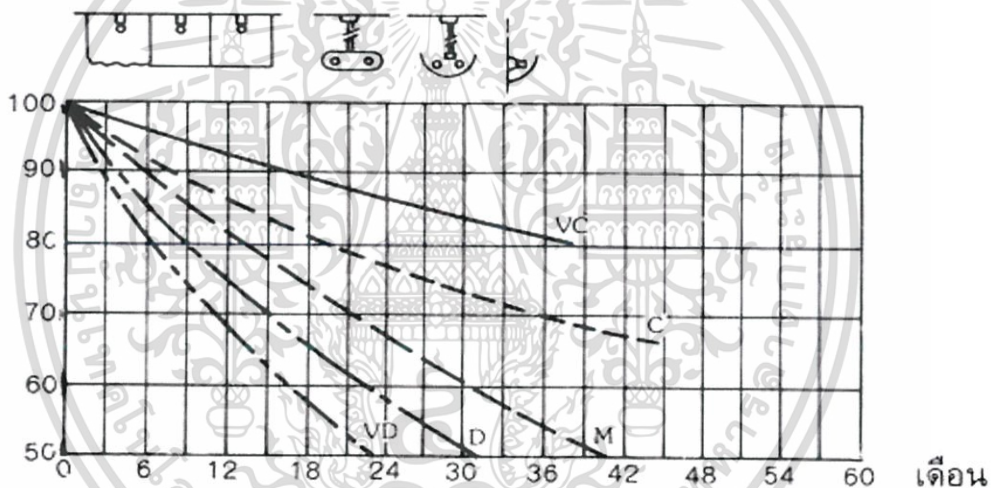


รูปที่ ข.5.4 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 4 เป็นแบบกระจายแสง ลง ด้านบนปิด และอาจมีตะแกรงอยู่ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5.5 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 5 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ตัวดวงโคมปิดมิดชิด)



รูปที่ ข.5.6 ค่าความเสื่อมจากความสกปรกของดวงโคม (LDD) (ประเภทที่ 6 เป็นแบบกระจายแสงลงหรือกึ่งกระจายแสงลง ใช้ส่องสว่างเพดานหรือแนวเพดานเป็นส่วนใหญ่)

- หมายเหตุ :
- VC หมายถึง สภาพห้องที่มีความสะอาดมาก (Very Clean)
 - C หมายถึง สภาพห้องที่มีความสะอาด (Clean)
 - M หมายถึง สภาพห้องที่มีความสะอาดปานกลาง (Medium)
 - D หมายถึง สภาพห้องที่มีความสกปรก (Dirty)
 - VD หมายถึง สภาพห้องที่มีความสกปรกมาก (Very Dirty)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5.1 ค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	E_m Lux	UGR _L	R _{a(min)}	หมายเหตุ
1. พื้นที่ภายในอาคารทั่วไป				
โถงทางเข้าอาคาร	100	22	60	
โถงนั่งพัก	200	22	80	
พื้นที่ทางเดินภายในอาคาร	100	28	40	ระหว่างทางเข้า-ออกให้ระวังการเปลี่ยนระดับความเข้มการส่องสว่างแบบทันที
บันได บันไดเลื่อน ทางเลื่อน	150	25	40	
พื้นที่ขนถ่ายสินค้าภายในอาคาร	150	25	40	
ห้องอาหารทั่วไปภายในอาคาร	200	22	80	
ห้องพักผ่อนทั่วไป	100	22	80	
ห้องออกกำลังกาย	300	22	80	
ห้องน้ำ ห้องสุขา ห้องรับฝากของ	200	25	80	
ห้องปฐมพยาบาล	500	19	80	
ห้องตรวจคนไข้ทั่วไป	500	16	80	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
ห้องอุปกรณ์ Switch gear	200	25	60	
ห้องชุมสายโทรศัพท์ / ปรินท์ / พัดลม	500	19	80	
ห้องเก็บของ	50	25	60	
ห้องบรรจุหีบห่อ ขนถ่ายวัสดุ	300	25	60	
ห้องควบคุม	200	22	60	
2. อุตสาหกรรมด้านการเกษตร ปศุสัตว์				
ห้องขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ เครื่องจักร	200	25	80	
พื้นที่ปศุสัตว์ภายในคอก	50	28	40	
พื้นที่รักษาสัตว์	200	25	80	
พื้นที่เตรียมอาหารสัตว์ ทำความสะอาดสัตว์	200	25	80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5.1 ค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	E_m Lux	UGR _L	R _{a(min)}	หมายเหตุ
3. อุตสาหกรรมทำขนม Bakeries				
พื้นที่เตรียมส่วนผสม และอบขนม	300	22	80	
พื้นที่ตกแต่งหน้าขนม	500	22	80	
4. อุตสาหกรรมซีเมนต์ คอนกรีต และ อิฐ				
พื้นที่สำหรับทำการอบแห้งวัตถุดิบ	50	28	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมีมองเห็นเด่นชัด
พื้นที่เตรียมและผสมวัตถุดิบ	200	28	40	
พื้นที่ทำงานของเครื่องจักรทั่วไป	300	25	80	
5. อุตสาหกรรมเซรามิกและแก้ว				
พื้นที่สำหรับทำการอบแห้ง	50	28	20	
พื้นที่เตรียมงาน และการปฏิบัติงานของเครื่องจักรทั่วไป	300	25	80	
พื้นที่ขึ้นรูปชิ้นส่วน เคลือบเงา และ เป่าแก้ว	300	25	80	
พื้นที่ขัดแต่งผิว และ แกะสลัก	750	19	80	
พื้นที่ประดับตกแต่งชิ้นงาน	500	19	80	
พื้นที่ขัดแต่งกระจกสำหรับแว่นตา เจียรนัย	750	16	80	
พื้นที่งานเจียรนัยละเอียด	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ผลิตเครื่องแก้วเทียม เพชร พลอยเทียม	1500	16	90	
6. อุตสาหกรรมเคมี พลาสติก ยาง				
พื้นที่การผลิตที่ไม่มีการสัญจร	50		20	สีทางความปลอดภัยควรจะมีมองเห็นเด่นชัด
พื้นที่การผลิตที่เข้าถึงค่อนข้างลำบาก	150	28	40	
พื้นที่การผลิตที่มีคนประจำเกือบตลอดเวลา	300	25	80	
ห้องทดสอบที่ต้องการความละเอียดสำหรับการอ่านมาตรวัด	500	19	80	
สายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับเวชภัณฑ์	500	22	80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5.1 ค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	E_m Lux	UGR _L	R _{a(min)}	หมายเหตุ
สายการผลิตยางรถยนต์	500	22	80	
พื้นที่ตรวจสอบสี	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 6500 K
ขั้นตอนตรวจสอบ ดัดเจาะ ขั้นสุดท้าย	750	19	80	
7. อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์				
พื้นที่ผลิตลวด สายไฟฟ้า	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการพันขดลวดขนาดใหญ่	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการพันขดลวดขนาดกลาง	500	22	80	
พื้นที่สำหรับการพันขดลวดขนาดเล็ก	750	19	80	
พื้นที่ชุบน้ำขดลวด Coil impregnating	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการชุบเคลือบผิว	300	25	80	
พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน :				
ขนาดใหญ่ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า	300	25	80	
ขนาดกลาง เช่น สวิตช์บอร์ด	500	22	80	
ขนาดเล็ก เช่น เครื่องโทรศัพท์	750	19	80	
ขนาดเล็กมากที่ต้องการความละเอียดมาก เช่น อุปกรณ์มาตรวัดต่างๆ	1000	16	80	
ห้องทดสอบทางด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์				
ที่ต้องมีการปรับแต่ง	1500	16	80	
8. อุตสาหกรรมอาหาร				
พื้นที่สำหรับขบวนการผลิตทั่วไป	200	25	80	
พื้นที่ล้าง คัดเลือกขนาดวัตถุดิบ ผสมวัตถุดิบ บรรจุหีบห่อ	300	25	80	
พื้นที่สำหรับการคัดแยกชิ้นส่วนเนื้อสัตว์ ผสมนมเนย โรงกรองสำหรับโรงงานน้ำตาล	500	25	80	
พื้นที่ตัดแยกผัก ผลไม้	300	25	80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5.1 ค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย (ต่อ)

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	E_m Lux	UGR _L	R _{s(min)}	หมายเหตุ
พื้นที่ผลิตสำหรับผลิตอาหารสำเร็จรูป ห้องครัว	500	22	80	
พื้นที่ผลิตนุหรี ชิการ์	500	22	80	
พื้นที่ตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ เช่น แก้ว ขวด ห้องควบคุมคุณภาพ ห้องตกแต่งอาหาร	500	22	80	
ห้องทดสอบคุณภาพอาหาร	500	19	80	
ห้องตรวจสอบสี	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
9. อุตสาหกรรมหล่อ หลอม โลหะ :				
อุโมงค์ใต้พื้น	50	28	20	สีทางด้านความปลอดภัยควรจะมองเห็นเด่นชัด
แท่น ขนถ่ายโลหะ	100	25	40	
พื้นที่เตรียมพิมพ์ทรายสำหรับการหล่อ	200	25	80	
พื้นที่ตกแต่งโลหะ	200	25	80	
พื้นที่ผสมโลหะ	200	25	80	
แท่นหล่อโลหะ	200	25	80	
พื้นที่ถอดพิมพ์	200	25	80	
พื้นที่เครื่องจักรหล่อโลหะ	200	25	80	
พื้นที่หล่อด้วยมือ	300	25	80	
พื้นที่หล่อโลหะด้วยพิมพ์	300	25	80	
พื้นที่ทำแบบจำลอง	500	22	80	
10. ร้านแต่งผม				
	500	19	90	
11. อุตสาหกรรมเพชรพลอย				
พื้นที่คัดเลือกเพชรพลอย	1500	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
พื้นที่ผลิตตัวเรือนเพชรพลอย	1000	16	90	
พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยมือ	1500	16	80	
พื้นที่ผลิตนาฬิกาด้วยเครื่องจักร	500	19	80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้