

ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ด และการเร่งการเจริญเติบโต  
ของต้นกล้าในกระบองเพชร 4 สกุล

EFFECT OF STIMULATED SEED GERMINATION METHOD AND  
ACCELERATED SEEDLING GROWTH IN 4 GENERA OF CACTI



กิตติพันธ์ ฤทธิเดชรัตน์  
KITTIPHAN RITTHIDECHRAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2568

KMITL-2025-AG-M-065-443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF STIMULATED SEED GERMINATION METHOD AND  
ACCELERATED SEEDLING GROWTH IN 4 GENERA OF CACTI



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE  
SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2025

KMITL-2025-AG-M-065-443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ด และการเร่งการเจริญเติบโตของต้นกล้าในกระบองเพชร 4 สกุล
นักศึกษา	นาย กิตติพันธ์ ฤทธิเดชรัตน์
รหัสประจำตัว	65046007
รหัสนักศึกษา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ชมัยพร อนุวงศ์

### บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชร และการเร่งการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง โดยใช้กระบองเพชร 4 สกุล ในการทดลอง ได้แก่ *Astrophytum asterias*, *Echinocactus grusonii*, *Myrtillocactus geometrizans* และ *Tubinocarpus alonsoi*

การทดลองที่ 1 ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Designs; CRD) จำนวน 4 กรรมวิธีๆ ละ 6 ซ้ำๆ ละ 30 เมล็ด ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 การหว่านเมล็ดลงบนวัสดุปลูก (ควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น นาน 24 ชั่วโมง กรรมวิธีที่ 3 การแช่เมล็ดด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 500 ppm นาน 24 ชั่วโมง และกรรมวิธีที่ 4 การแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 นาที จากนั้นทำการเพาะเมล็ดพร้อมบันทึกการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตหลังจากเพาะเมล็ดนาน 8 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า การแช่เมล็ดด้วย GA<sub>3</sub> เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชรสกุล *A. asterias*, *E. grusonii* และ *T. alonsoi* เพราะมีเวลาเฉลี่ยการงอกสั้นที่สุด (3.88, 7.41 และ 7.59 วัน ตามลำดับ) ในขณะที่เมล็ดของ *M. geometrizans* มีการงอกที่ต่ำกว่าเมื่อแช่ในน้ำกลั่น เนื่องจากมีเวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด คือ 9.72 วัน นอกจากนี้การแช่เมล็ดยังเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล โดยทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด

การทดลองที่ 2 ผลของการใช้แสงสีต่างๆ จากหลอดไฟแอลอีดีต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชร โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 กรรมวิธีๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 50 เมล็ด โดยให้แสงจากหลอดไฟแอลอีดีที่มีสีแตกต่างกัน ดังนี้ 1) แสงธรรมชาติ (ควบคุม) 2) แสงสีแดง 3) แสงสีน้ำเงิน 4) แสงสีเขียว และ 5) แสงสีขาว โดยให้แสงวันละ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำ

ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกผลการงอกของเมล็ด ได้แก่ กิจกรรมของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase เเปอร์เซ็นต์การงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอก และบันทึกการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น ความยาวราก ความแข็งแรงของต้นกล้า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นาน 4 สัปดาห์ พบว่า การให้แสงสีแดงสามารถกระตุ้นการงอกของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุลได้ โดยทำให้เวลาเฉลี่ยในการงอกต่ำที่สุด (4.29, 7.15, 8.64 และ 8.09 วัน ตามลำดับ) ในด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร พบว่า ภายใต้แสงสีขาวทำให้ *E. grusonii* และ *T. alonsoi* มีความยาวราก และความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด

การทดลองที่ 3 ผลของจำนวนชั่วโมงในการให้แสงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 40 ต้น โดยการให้แสงจากหลอดไฟแอลอีดี ที่ความเข้มแสง  $361.00 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  โดยให้จำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน ดังนี้ 1) ให้แสงธรรมชาติ (ควบคุม) 2) ให้แสง 12 ชั่วโมง 3) ให้แสง 16 ชั่วโมง 4) ให้แสง 20 ชั่วโมง และ 5) ให้แสง 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการบันทึกข้อมูลผลการเจริญเติบโต ปริมาณโพสลิน และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ พบว่า การให้แสงเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล โดยใน *M. geometrizzans* และ *T. alonsoi* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงลำต้นมากที่สุด นอกจากนั้นทำให้ *A. asterias* และ *E. grusonii* มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุด

การทดลองที่ 4 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Designs; CRD) จำนวน 5 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 40 ต้น ดังนี้ 1) ฟันน้ำเปล่า (ควบคุม) 2) ฟันกรดอินโดล-3-บิวทีริก (IBA) ในอัตรา 100 ppm 3) ฟัน IBA ในอัตรา 150 ppm 4) ฟันกรดจิบเบอเรลลิก ( $\text{GA}_3$ ) ในอัตรา 100 ppm และ 5) ฟัน  $\text{GA}_3$  ในอัตรา 150 ppm หลังจากนั้นทำการบันทึกผลการเจริญเติบโต และปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยพบว่า การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ *E. grusonii* มีจำนวนตุ่มหนามที่เกิดขึ้นใหม่ ความยาวราก และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ขณะที่ *T. alonsoi* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวรากมากที่สุด นอกจากนี้ *M. geometrizzans* มีจำนวนตุ่มหนามเกิดขึ้นใหม่มากที่สุด และทำให้กระบองเพชรทั้ง 4 สกุล มีดัชนีทรงต้นของกระบองเพชรเหมาะสม

**คำสำคัญ:** กระตุ้นการงอก, เมล็ด, เร่งการเจริญเติบโต, ต้นกล้า, กระบองเพชร

๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Effect of stimulated seed germination method and accelerated seedling growth in 4 genera of cacti
<b>Student</b>	Mr. Kittiphan Ritthidechrat
<b>Student ID.</b>	65046007
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Agriculture
<b>Year</b>	2025
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Chamaiporn Anuwong

### Abstract

This experiment aimed to study the stimulation of cactus seed germination and accelerate the growth of cactus seedlings. It was divided into four experiments using four genera of cacti: *Astrophytum asterias*, *Echinocactus grusonii*, *Myrtillocactus geometrizans*, and *Tubinocarpus alonsoi*.

Experiment 1: Effects of methods for stimulating seed germination of cactus seeds. The experiment was planned with completely randomized designs (CRD), four treatments, six replicates, and 30 seeds each. The following: 1) Sowing seeds on planting material (control), 2) soaking with distilled water for 24 hours, 3) soaking in GA<sub>3</sub> at 500 ppm for 24 hours, and 4) soaking with 50 percent of sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) for 30 minutes. The seed germination and seedling growth were recorded for 8 weeks. The results showed that seed soaking with GA<sub>3</sub> was a suitable method for stimulating germination of *A. asterias*, *E. grusonii*, and *T. alonsoi* cactus seeds because it had the shortest mean germination time (3.88, 7.41, and 7.59 days, respectively). Meanwhile, seeds of *M. geometrizans* had better germination when soaked in distilled water. This is because the meantime for germination is the least at 9.72 days. In addition, soaking in distilled water is an effective method for promoting the growth of cactus seedlings across all four genera, leading to the greatest stem diameter, fresh weight, and dry weight.

In Experiment 2, the Effects of different colored lights, from LED light bulbs on the germination of cactus seeds. The experiment was designed using a Completely Randomized Design (CRD) with 5 treatments, 4 replicates, and 50 seeds per replicate. Provided light from

ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED bulbs with different colors as follows: 1) natural light (control), 2) red light, 3) blue light, 4) green light, and 5) white light every 12 hours per day. After that, the germination results of the seeds were recorded, including  $\alpha$ -amylase activity, germination percentage, and mean germination time, and the growth of cactus seedlings, including stem diameter, plant height, root length, seedling vigor, chlorophyll a content, chlorophyll b content and total chlorophyll content for 4 weeks. Red light was found to effectively stimulate the germination of all four cactus genera, resulting in the shortest mean germination times (4.29, 7.15, 8.64, and 8.09 days, respectively). Regarding seedling growth, *E. grusonii* and *T. alonsoi* exhibited the greatest root length and seedling vigor under white light.

In Experiment 3, the effect of the light periods on the growth of cactus seedlings was planned to use a CRD with five treatments, three repetitions each, with 40 plants per plant, using light from an LED bulb. at  $7,512 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD. The different light durations are as follows: 1) natural light (control), 2) 12 hours, 3) 16 hours, 4) 20 hours, and 5) 24 hours. After that, the seedling growth will be recorded, and the proline and Malondialdehyde (MDA) content will be analyzed. It was found that providing 12 hours of light per day is the optimum period for growing all four genera of cacti. *M. geometrizans* and *T. alonsoi* had the highest stem diameter and plant height. In addition, *A. asterias* and *E. grusonii* had the highest chlorophyll a. Moreover, they also exhibited the highest chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoid contents.

In experiment 4, the effects of growth regulators on the growth of cactus seedlings were examined. The experiment was planned with CRD, five treatments, three replicates, and 40 plants each as follows: 1) spraying with water (control), 2) spraying with indole-3-butyric acid (IBA) 100 ppm, 3) spraying with IBA 150 ppm, 4) spraying with gibberellic acid ( $\text{GA}_3$ ) 100 ppm, and 5) spraying with  $\text{GA}_3$  150 ppm. After that, the growth was collected, and chlorophyll content was analyzed. It was found that spraying with IBA at a concentration of 150 ppm resulted in *E. grusonii* having the highest number of new spines, root length, and dry weight. At the same time, *T. alonsoi* had maximum stem diameter and root length. In addition, *M. geometrizans* had the highest number of new spines. This also ensured that all four cactus genera had appropriate shape indexes.

**Keywords:** stimulated germination, seed, accelerated growth, seedling, cactus

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชมัยพร อนุวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้ข้อชี้แนะ และให้คำปรึกษาตั้งแต่เริ่มต้นทำวิจัย ตลอดจนการตรวจ แก้ไข จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.พรชัย ทาระโคตร ผศ.ดร.ช่อแก้ว อนิลบล และ ผศ.ดร.พิชญ์ แก้วตะพาน ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทรุ่นปี การศึกษา 2565 ทุกท่าน รุ่นพี่ระดับปริญญาโท ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพผลผลิตพืชไร่ และห้องสรีรวิทยาพืช ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย ร่วมมือร่วมใจกันเป็นอย่างดี ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ เป็นแรงบันดาลใจการเรียนที่ดี สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ ความพยายามของตัวข้าพเจ้า ครอบครัว และบุคคลอันเป็นที่รักทุกท่าน ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพใน คณะเทคโนโลยีการเกษตรที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นาย กิตติพันธ์ ฤทธิเดชรัตน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป.....	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	4
2.1 ประวัติและความเป็นมาของกระบองเพชร.....	4
2.2 สายพันธุ์กระบองเพชรที่ได้รับความนิยม.....	4
2.3 ลักษณะของเมล็ดกระบองเพชร.....	5
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด.....	9
2.5 การขยายพันธุ์กระบองเพชร.....	9
2.6 กระบวนการงอกของเมล็ดกระบองเพชร.....	10
2.7 วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของกระบองเพชร.....	12
2.8 การพักตัวของเมล็ดกระบองเพชร.....	14
2.9 สาเหตุการพักตัวของเมล็ด.....	15
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชร.....	16
2.11 วิธีการทำลายการพักตัวของเมล็ด.....	17
2.12 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกระบองเพชร.....	20
2.13 ความสำคัญของแสงต่อพืช.....	21
2.14 ผลของแสงต่อสารชีวเคมีในพืช.....	22
2.15 สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช.....	24
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b> .....	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 การเตรียมพีซทดลอง.....	26
3.2 การตรวจสอบ และวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดก่อนการกระตุ้นการงอก.....	26
3.3 วิธีการทดลอง.....	27
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....</b>	<b>37</b>
4.1 การตรวจสอบ และวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์.....	37
4.2 การทดลองที่ 1 ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชร.....	38
4.3 การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสงจากหลอดไฟแอลอีดีต่อการงอกของเมล็ด กระบองเพชร.....	50
4.4 การทดลองที่ 3 ผลของจำนวนชั่วโมงในการให้แสงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า กระบองเพชร.....	67
4.5 การทดลองที่ 4 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า กระบองเพชร.....	83
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>96</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	96
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	98
เอกสารอ้างอิง.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	113

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะของเมล็ดกระบองเพชรบางสกุล .....	7
3.1	ปริมาณสารและสารต่างๆ ที่ใช้สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี DNS .....	28
4.1	น้ำหนักเมล็ด เพอร์เซ็นต์ความมีชีวิต และเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเมล็ด กระบองเพชรทั้ง 4 สกุล .....	38
4.2	การเจริญเติบโตของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับการกระตุ้นการงอกด้วย วิธีการต่างๆ นาน 8 สัปดาห์ .....	45
4.3	การเจริญเติบโตของต้นกล้าหลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกัน นาน 4 สัปดาห์ .....	55
4.4	การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุลหลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสง ที่แตกต่างกันนาน 4 เดือน .....	71
4.5	ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน .....	73
4.6	ปริมาณโพรลีน (Proline) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน .....	75
4.7	การเจริญเติบโตของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากให้ $GA_3$ และ IBA ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	86
4.8	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม หลังจากให้ $GA_3$ และ IBA ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	88

๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบองเพชรทั้ง 4 สกุล.....	5
2.2	โครงสร้างของเมล็ดกระบองเพชร.....	6
2.3	รูปร่างของเมล็ดกระบองเพชร.....	8
2.4	วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของถึงทอง.....	12
2.5	วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของเทอร์บินีคาร์ปัส.....	13
2.6	วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของแอสโตรไฟตัม.....	13
2.7	วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของตอปลู.....	14
3.1	การติดสีของเนื้อเยื่อที่แสดงออกถึงความมีชีวิต.....	26
3.2	ดัชนีรูปทรงกระบองเพชร.....	33
4.1	การติดสีของเนื้อเยื่อพืชที่แสดงออกถึงความมีชีวิตและสามารถงอกต่อไปได้.....	37
4.2	กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส และเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดกระบองเพชร หลังจากได้รับการกระตุ้นด้วยวิธีการต่างๆ.....	39
4.3	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้า และความสูงลำต้นของต้นกล้า หลังจากกระตุ้นการงอกด้วยวิธีการต่างๆ นาน 8 สัปดาห์.....	44
4.4	การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร <i>A. asterias</i> หลังจากกระตุ้นการงอกด้วย วิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์.....	46
4.5	การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร <i>E. grusonii</i> หลังจากกระตุ้นการงอกด้วย วิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์.....	47
4.6	การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร <i>M. geometrizzans</i> หลังจากกระตุ้นการงอก ด้วยวิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์.....	48
4.7	การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร <i>T. alonsoi</i> หลังจากกระตุ้นการงอกด้วย วิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์.....	49
4.8	การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับการกระตุ้นการงอก ด้วยวิธีการต่างๆ นาน 8 สัปดาห์.....	50
4.9	กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสในวันที่ 1 และ 7 หลังจากการเพาะเมล็ด และเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดหลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกัน....	52

ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้า และความสูงลำต้นของต้นกล้าหลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกัน..... 54
4.11	ลักษณะการเจริญเติบโต และค่าสีของลำต้นของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุลหลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกัน..... 58
4.12	การงอกของเมล็ด <i>A. asterias</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 59
4.13	ความสูงลำต้น <i>A. asterias</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 60
4.14	การงอกของเมล็ด <i>E. grusonii</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 61
4.15	ความสูงลำต้น <i>E. grusonii</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 62
4.16	การงอกของเมล็ด <i>M. geometrizzans</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 63
4.17	ความสูงลำต้น <i>M. geometrizzans</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 64
4.18	การงอกของเมล็ด <i>T. alonsoi</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 65
4.19	ความสูงลำต้น <i>T. alonsoi</i> หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกันนาน 4 สัปดาห์..... 66
4.20	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้า และความสูงลำต้นของต้นกล้าหลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน..... 69
4.21	จำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่ของต้นกล้ากระบองเพชรหลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน..... 70
4.22	ค่าสีของลำต้น และดัชนีทรงต้นของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุลหลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน..... 77

ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ <i>A. asterias</i> หลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน .....	79
4.24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ <i>E. grusonii</i> หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน .....	80
4.25 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ <i>M. geometrizans</i> หลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน .....	81
4.26 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ <i>T. alonsoi</i> หลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน .....	82
4.27 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้า และความสูงลำต้นของต้นกล้าหลังจากได้รับ IBA และ GA <sub>3</sub> กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	84
4.28 จำนวนตุ่มหนามที่เกิดขึ้นใหม่ของต้นกล้ากระบองเพชรหลังจากได้รับ IBA และ GA <sub>3</sub> กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	85
4.29 ค่าสีของลำต้น และดัชนีทรงต้นของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุลหลังจากได้รับ IBA และ GA <sub>3</sub> กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	90
4.30 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรสกุล <i>A. asterias</i> หลังจากได้รับ IBA และ GA <sub>3</sub> กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	91
4.31 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรสกุล <i>E. grusonii</i> หลังจากได้รับ IBA และ GA <sub>3</sub> กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	92
4.32 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรสกุล <i>M. geometrizans</i> หลังจากได้รับ IBA และ GA <sub>3</sub> กรรมวิธีที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	93
4.33 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรสกุล <i>T. alonsoi</i> หลังจากได้รับ IBA และ GA <sub>3</sub> กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน .....	94

ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

กระบองเพชร (Cactus) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Cactaceae (The Plant List, 2010) เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทะเลทราย มีการเปลี่ยนลำต้นเก็บสะสมน้ำ และเปลี่ยนใบให้กลายเป็นหนามเพื่อลดการคายน้ำ (Britannica, 2020) เนื่องจากการเข้าไปเก็บข้อมูลของกระบองเพชรเป็นไปได้ยากและมีความต้องการมากขึ้น จึงมีการนำมาปลูกในสวนพฤกษศาสตร์ต่างๆ (ภวพล ศุภนันถนันทน์, 2562) การปลูกเลี้ยงกระบองเพชรในประเทศไทยเริ่มขึ้นก่อนปี พ.ศ. 2500 โดยมีการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยกลุ่มผู้ที่ชื่นชอบกระบองเพชร ต่อมาประเทศไทยได้เริ่มมีการพัฒนาสายพันธุ์ จนได้รับความนิยมปลูกเลี้ยงและซื้อขายกันมากขึ้น (กระท่อมลุงจรรย์, 2559) โดยราคาเริ่มตั้งแต่ 5 - 350 บาท ในขนาดกระถาง 2 นิ้ว ขึ้นอยู่กับความสวยงามและหายากของแต่ละสายพันธุ์ (รักแคคตัส, 2566)

การขยายพันธุ์กระบองเพชรด้วยการเพาะเมล็ดเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากได้ต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันเป็นจำนวนมาก มีระบบรากที่แข็งแรง และมีโอกาสได้ต้นที่มีลักษณะแปลกใหม่ (ภวพล ศุภนันถนันทน์, 2562) ระยะเวลาการเพาะเมล็ดไปจนถึงพร้อมจำหน่ายใช้ระยะเวลา 1 ปี (สุรเดช สดคมขำ, 2562) เมล็ดกระบองเพชรเริ่มงอกหลังจากเพาะนาน 7 - 15 วัน ย้ายปลูกครั้งแรกหลังจากการเพาะเมล็ด 1 - 2 เดือน (ภวพล ศุภนันถนันทน์, 2562) และย้ายต้นกล้าลงในกระถาง 2 นิ้วหลังจากเพาะเมล็ดนาน 6 เดือน (สุรเดช สดคมขำ, 2562) แต่เนื่องด้วยเมล็ดของกระบองเพชรมีการงอกที่ต่ำ เช่น สกุล *Ariocapus*, *Epithelantha*, *Obregonia*, *Myrtillocactus* และ *Turbinicarpus* เป็นต้น บางสกุลแทบจะไม่งอกเลย เช่น สกุล *Opuntia* และ *Pediocactus* (Rojas-Arechiga & Vázquez-Yanes, 2000) จึงต้องหาวิธีการกระตุ้นการงอกในรูปแบบต่างๆ เช่น การแช่เมล็ดในกรด การแช่เมล็ดในน้ำร้อน หรือการให้แสงในการกระตุ้นการงอก เป็นต้น (จวงจันท์ ดวงพัตรา, 2526) โดยจากการศึกษาของ Pilcher (1970) พบว่าใน *Opuntia lindheimeri* ที่แช่เมล็ดด้วยน้ำนาน 9 ชั่วโมง ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอก 45% ในขณะที่การแช่เมล็ดด้วยน้ำ และกรดจิบเบอเรลลิก ( $GA_3$ ) นาน 2 ชั่วโมง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นเป็น 14% และ 21% ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม 3% นอกจากนั้นการแช่เมล็ด *Ferocactus wislizeni* ใน  $GA_3$  นาน 24 ชั่วโมงที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด (Idleman et al., 2013) และการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) นาน 30 นาทีทำให้ *Opuntia discata* มีเปอร์เซ็นต์การงอก 83% เมล็ดกระบองเพชรเป็นแบบโพลีโตบลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Fearn, 1981; Arias & Lemus, 1984; Del Castillo, 1986; Nobel, 1989) โดยแสงสีแดงเป็นแสงที่มีผลในการกระตุ้นการงอกของกระบองเพชรในทุกสายพันธุ์ (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000) ซึ่งแสงสีแดงจะเข้าไปกระตุ้นการถอดรหัส และการแปลรหัสของยีน เพื่อกระตุ้นการสังเคราะห์  $\alpha$  - amylase ไปย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล แล้วส่งไปใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ด (Koning, 2006) จากการศึกษาของ Benítez-Rodríguez *et al.* (2004) รายงานว่า การใช้แสงสีแดง และแสงสีขาวทำให้การงอกของกระบองเพชร *Mammillaria sp.* สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Simão *et al.* (2010) พบว่า ใน *Epiphyllum phyllanthus* งอกภายใต้แสงสีเขียว และความมืด ในขณะที่การใช้ตาข่ายพรางแสงสีเงิน 60% 2 ชั้น และแสงจากหลอด LED สีขาวทำให้ *Gymnocalycium sp.* และ *Astrophytum sp.* ให้ผลผลิตสูง และคุณภาพของลำต้นที่สวยงาม (Dangudom *et al.*, 2022) และแสงสีน้ำเงินส่งเสริมศักยภาพการงอกของเมล็ดในวงศ์ Cucurbitaceae (Wang *et al.*, 2021)

ต้นกล้ากระบองเพชรมีการเจริญเติบโตช้า เช่น *Astrophytum*, *Sclerocactus* และ *Echinocactus* (Cruz *et al.*, 2014) จึงจำเป็นต้องใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตเข้ามาส่งเสริมการเจริญเติบโต (Tigabü & Odén, 2001) โดยเฉพาะสารในกลุ่มของจิบเบอเรลลิน (Gibberellin) และออกซิน (Auxin) ในการกระตุ้นการขยายตัวและแบ่งตัวของเซลล์พืช ทำให้ส่งเสริมด้านความสูงของลำต้น และป้องกันการสลายของคลอโรฟิลล์ (Miransari & Smith, 2014) ซึ่งมีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น การแช่เมล็ดผักกาดหอมใน  $GA_3$  150 ppm และ IAA 80 ppm ส่งผลให้มีความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งดีที่สุด (ธนากร กาวติลก, 2560) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้  $GA_3$  ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้อัตราการงอก ความยาวหน่อ และจำนวนใบมากที่สุด (Kumari *et al.*, 2011) ในชวนชม พบว่า การใช้  $GA_3$  200 ppm ร่วมกับการปลูกใน ทราย: ปุ๋ยคอก ทำให้มีความยาวราก ขนาดของโหนด ความยาวใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด (Bijewar *et al.*, 2021) และแสงเป็นอีกปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืช โดยแสงเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช กระตุ้นการงอกของเมล็ด และช่วยเร่งการเจริญเติบโตของต้นกล้า (นภัทร วัฒนเทพินทร์ และไชยยงค์ บุญมี, 2560) ซึ่งการสังเคราะห์แสงของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้น และพืชที่เติบโตอยู่ในสภาพที่มีแสงน้อยมักมีอัตราการหายใจต่ำ และในช่วงระยะการงอก และระยะต้นกล้า ต้องการความเข้มแสงที่ไม่สูงมาก เพื่อป้องกันความเครียดที่เกิดจากความร้อน และการยึดตัว ในกรณีที่แสงไม่เพียงพอ (สุธิดา รอกกระโทก, 2563)

ซึ่งในปัจจุบันยังพบรายงานวิธีการกระตุ้นการงอก และส่งเสริมการเจริญเติบโตในกระบองเพชรน้อย ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาหาวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดรวมไปถึงศึกษาชนิด และอัตราของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร 4 สกุล เนื่องจากมีอัตราการงอกที่ต่ำ ได้แก่ *Myrtillocactus geometrizans* และ *Turbinicarpus alonsoi* และมีการเจริญเติบโตช้า ได้แก่ *Astrophytum asterias* และ *Echinocactus grusonii*

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาหาวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชรโดยใช้วิธีการและความยาวคลื่นแสง

1.2.2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรโดยให้จำนวนชั่วโมงในการได้รับแสงจากหลอดไฟ LED และสารควบคุมการเจริญเติบโต

## 1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชรโดยใช้วิธีการ และความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

1.3.2 ทราบถึงจำนวนชั่วโมงในการได้รับแสงจากหลอดไฟ LED และสารควบคุมการเจริญเติบโตที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ประวัติและความเป็นมาของกระบองเพชร

กระบองเพชรเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ในวงศ์ Cactaceae มีศูนย์กลางการกระจายพันธุ์อยู่ในทวีปอเมริกา สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกอยู่ทางใต้ของสหรัฐอเมริกาถึงแม็กซิโก ซึ่งจัดเป็นแหล่งของไม้ลำ (Columnar cactus) ส่วนที่สองอยู่แถบเทือกเขาแอนดิส ได้แก่ เปรู โบลิเวีย อาร์เจนตินา และชิลี และส่วนสุดท้ายก็คือทางฝั่งตะวันออกของบราซิล นอกจากนี้ยังพบกระบองเพชร *Rhipsalis* sp. บางชนิดในเขตร้อนของทวีปแอฟริกา (ภวพล ศุภนันถนันทน์, 2562)

สำหรับในประเทศไทยเริ่มมีการปลูกเลี้ยงกระบองเพชรเป็นไม้ประดับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2480 โดยช่วงนั้นยังอยู่เฉพาะในกลุ่มของนักสะสม เป็นการนำเข้าเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศมาปลูกเลี้ยง หลังจากนั้นกระบองเพชรได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับต้นพันธุ์ที่ปลูกเลี้ยงเริ่มออกดอก และติดเมล็ดพร้อมที่จะผสมและเก็บเมล็ดพันธุ์มาเพาะเพื่อจำหน่าย จนกระบองเพชรหลายชนิดไม่จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และในปัจจุบันผู้ปลูกเลี้ยงกระบองเพชรได้นำความรู้ด้านการปรับปรุงพันธุ์มาพัฒนาสายพันธุ์ จนได้กระบองเพชรสายพันธุ์แท้ และลูกผสมที่ไม่ได้อยู่ไปว่าของต่างประเทศ (กระบอบลุงจรรย์, 2553)

### 2.2 สายพันธุ์กระบองเพชรที่ได้รับความนิยม

2.2.1 ถังทอง (*Echinocactus grusonii*) เป็นไม้ลำเดี่ยว รูปไข่หรือทรงรี มี 8 – 50 สันโตเต็มที่ขนาดมากกว่า 1 เมตร โดยตอนอายุยังน้อยต้นยังไม่ปรากฏสันชัดเจน หากอายุเพิ่มขึ้นจำนวนสันจะเพิ่มขึ้น หนามหดสั้นลง ต้นโตเต็มที่มิขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 เมตร และมีขนปกคลุมบริเวณยอด ซึ่งเป็นส่วนผลิดอก โดยดอกจะออกเป็นวง มีขนาดเล็ก สีเหลืองสด ผลเป็นรูปขอบขนาน เมื่อสุกมีสีแดง ภายในมีเมล็ดสีดำบรรจุอยู่ (Oonsivilai et al., 2010)

2.2.2 เทอร์บินิคาร์ปัส (*Tubinocarpus alonsoi*) มีรากเป็นโชดเล็กๆไว้สะสมอาหาร ส่วนใหญ่เป็นหัวเดี่ยว เนิหนามนูนออกจากลำต้น บางชนิดหนามโค้งงอขึ้น บางชนิดหนามชดหรือตรง ดอกค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับลำต้น สีขาว เหลือง หรือชมพู ออกจากยอด บานตอนกลางวันเพียง 1 – 2 วัน (ภวพล ศุภนันถนันทน์, 2562)

2.2.3 แอสโตรไฟตัม (*Astrophytum asterias*) มีลักษณะลำต้นเดี่ยว ไม่แตกหน่อด้านข้างรูปร่างกลมแบน ไม่สร้างลำต้นขึ้นสูงเท่า *Astrophytum* ชนิดอื่น ผิวเรียบ ไม่มีหนาม สีเขียวแก่ ตุ่มหนาม

เป็นพุ่มสีเขียว มีจุดประสีขาวกระจายทั่วลำต้น ดอกค่อนข้างใหญ่ เดิมมีสีเหลือง ต่อมาปรับปรุงพันธุ์จนได้ ดอกแตกต่างจากเดิม เช่น โอลด์โรส ชมพู ขาว และแดง เป็นต้น บาน 1 – 3 วันเฉพาะตอนกลางวัน (ภวพล ศุภนันท์, 2562)

**2.2.4 ตอบลู (*Myrtillocactus geometrizans*)** เป็นไม้ลำขนาดใหญ่ สูงได้ถึง 4.50 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่มมากกว่า 5 เมตร มีสัน 4 – 5 สัน ผิวสีฟ้า ดอกออกบริเวณตุ่มหนามเป็นช่อ แต่ละช่อมีได้มากถึง 9 ดอก ดอกขนาดเล็กมีขนปกคลุม สีเหลืองครีมหรือสีเหลืองอมเขียว มีกลิ่นหอม ส่วนใหญ่ดอกบานตอนกลางวัน ติดผลง่าย ทรงกลมขนาดเล็ก ภายในมีเมล็ดสีน้ำตาลคล้ำ นิยมขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ดและปักชำ (Hernández-Lopez *et al.*, 2008)



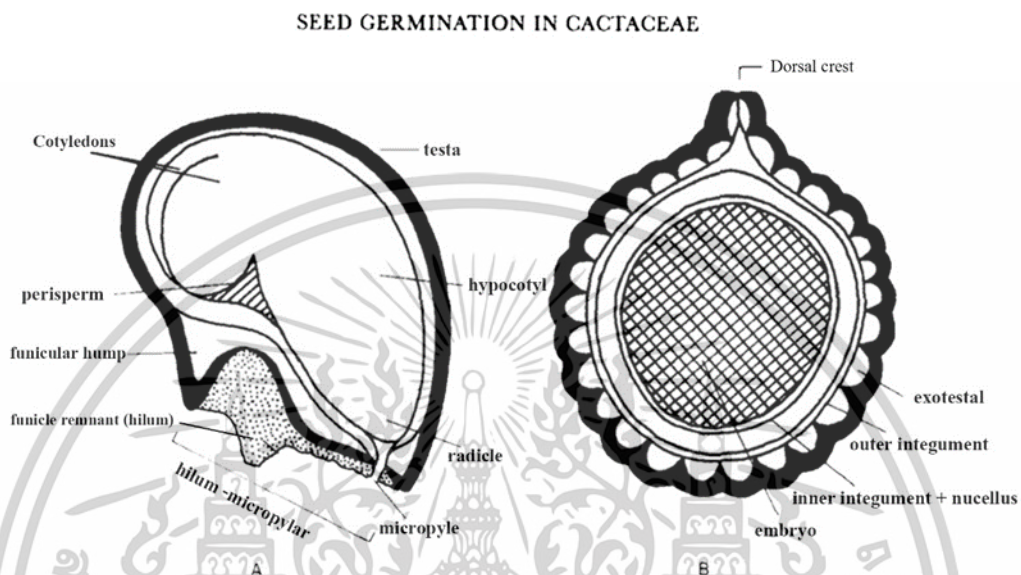
รูปที่ 2.1 กระบองเพชรทั้ง 4 สกุล (Planet Desert, 2019)

### 2.3 ลักษณะของเมล็ดกระบองเพชร

จากรูปที่ 2.2 แสดง exotesta พัฒนามาจากผนังของอวุล ซึ่งมีลักษณะเป็นผนังหนา และมีเซลล์ tanniferous ในชั้นคิวติเคิล (cuticle) เป็นได้ทั้งแบบขยับย่น และแบบเรียบ ในขณะที่ชั้นในของ outer integument จะถูกทำลายในระหว่างการงอกของเมล็ด ส่วน inner integument และ nucellus เป็นลักษณะเยื่อบางๆ ล้อมรอบเอ็มบริโอที่อยู่ภายในไมโครไพล์ (micropyle) โดยเอ็มบริโอส่วนใหญ่มีการพัฒนาของไฮโปคอติล และมีการลดรูปของใบเลี้ยง ซึ่งปกติเอนโดสเปิร์ม (endosperm) จะถูกนำไปใช้โดยเอ็มบริโอ แต่บางครั้งเอนโดสเปิร์มที่เหลืออยู่จะอยู่ใกล้ไมโครไพล์ (micropyle) ซึ่งในเมล็ดกระบองเพชรไม่มีเพอริสเปิร์ม (perisperm) แต่บริเวณนั้นจะถูกแทนที่โดยไฮโปคอติล เอ็มบริโอของกระบองเพชรมีทั้งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทรงกลม ตรง หรืออ เป็นต้น ในบริเวณ hilum-micropylar จะยุบลงได้โดยการหดตัวของ funicular cells ทำให้เกิดหลุมที่เรียกว่า “hilum cup” สร้างจากส่วนที่เรียกว่า “funicular hump” ซึ่งเกิดบริเวณจุดเชื่อมต่อของสันขั้วเมล็ด และจุดกำเนิดของ outer integument ระหว่างการพัฒนาของเมล็ด (Bregman & Bouman, 1983) โดยเมล็ดของกระบองเพชรนั้นมีจำนวนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันตามสกุล และสายพันธุ์ โดยมีตั้งแต่ 1 - 1,000 เมล็ด/ผล เมล็ดกระบองเพชรมีความหลากหลายทางด้านรูปร่าง สี สัน และขนาด ตามตารางที่ 2.1 (Rojas-Aréchiga & Vázquez, 2000)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเมล็ดกระบองเพชร (Bregman & Bouman, 1983) A: ภาพเมล็ดตัดตามยาว, B: ภาพเมล็ดตัดตามขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

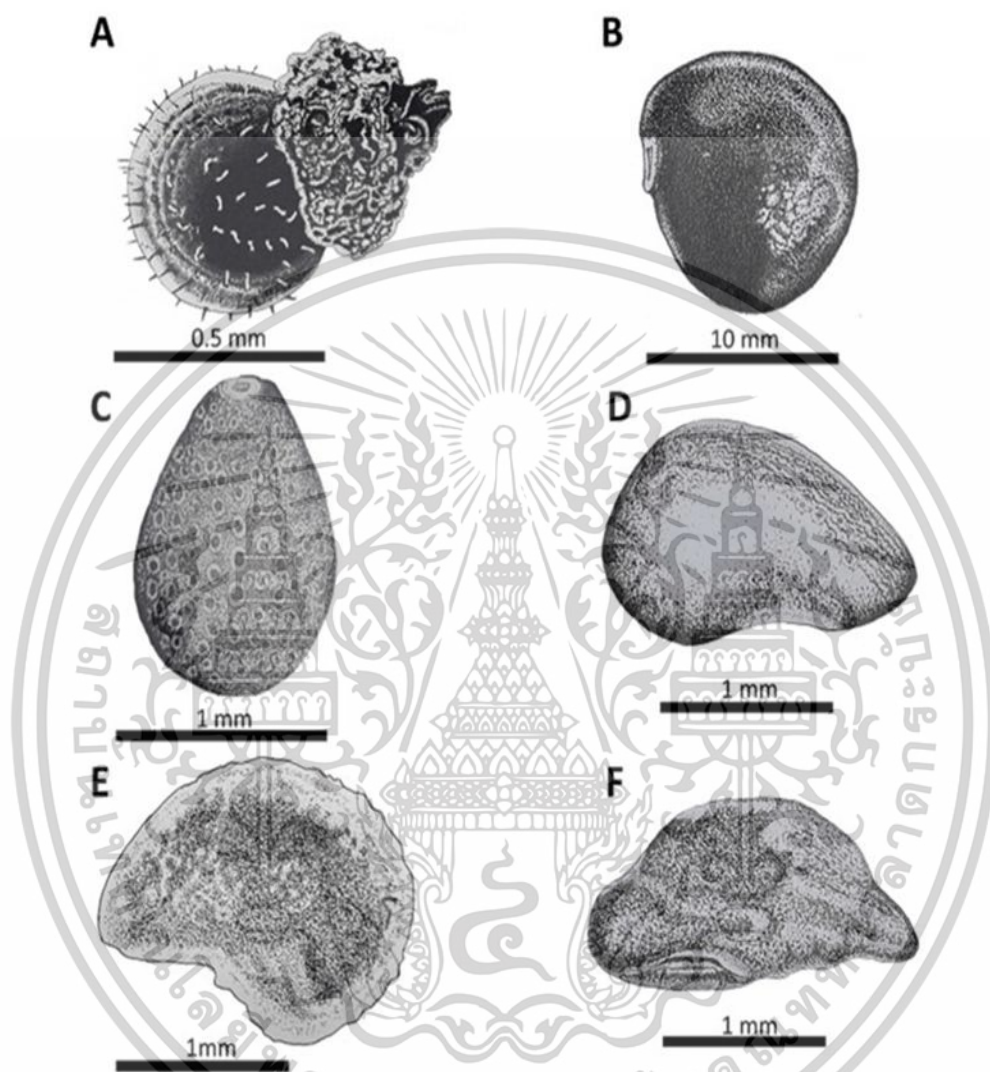
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของเมล็ดกระบองเพชรบางสกุล

ลักษณะ	สกุลของกระบองเพชร รูปร่างของเมล็ด
รูปไต (Reniform)	<i>Neobuxbaumia macrocephala</i> , <i>Ferocactus flavovirens</i> และ <i>Mammillaria meyranii</i>
ทรงกลม (Globular)	<i>Terbinicarpus lophophoro</i> และ <i>Echinocereus grandis</i>
Piriform	<i>Echinocereus pulchellus</i> , <i>Mammillaria varieaculeata</i> , <i>M. nana</i> และ <i>Melocactus macracanthos</i>
ทรงคล้ายหมวก (Hat-like)	<i>Lophophora williamsii</i> , <i>Astrophytum capricorne</i> และ <i>Leuchtenbergia principis</i>
ทรงรี (Ovoid)	<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> , <i>Ferocactus</i> <i>haematacanthus</i> และ <i>Disocactus kimnachii</i>
Mussel-shaped	<i>Selenicereus wittii</i>
Lens-shaped	<i>Pereskia</i>
<b>สีของเมล็ด</b>	
สีดำ – สีน้ำตาล	<i>Neobuxbaumia</i> spp. และ <i>Peniocereus castellae</i>
สีดำแดง	<i>Carnegiea gigantea</i>
น้ำตาลแดง	<i>Pelecyphora strobiliformis</i>
สีขาว (เยื่อหุ้มเมล็ด)	<i>Opuntia</i>
สีแทน	<i>Pterocactus</i>
มันเงา	<i>Bergerocactus</i> , <i>Neobuxbaumia</i> และ <i>Disocactus kimnachii</i>
สีขาวขุ่น	<i>Stenocereus chrysocarpus</i> และ <i>Matucana Formosa</i>
<b>ขนาด</b>	
≤ 0.5 มิลลิเมตร	<i>Blossfeldia</i> และ <i>Strombocactus</i>
ขนาดปานกลาง	<i>Mammillaria magnimamma</i> , <i>Epiphyllum Phyllanthus</i> และ <i>Selenicereus megalanthus</i>
≥ 5 มิลลิเมตร	<i>Nyctocereus</i> และ <i>Opuntia</i>

ดัดแปลงจาก Rojas-Aréchiga & Vázquez (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Seed traits and germination in the Cactaceae



รูปที่ 2.3 รูปร่างของเมล็ดกระบองเพชร (ดัดแปลงจาก Barrios *et al.*, 2020) A: รูปร่างเมล็ดทรงกลม (Globular) Piriform, B: lenticular, C: รูปร่างเมล็ดทรง Piriform, D: รูปร่างเมล็ดทรง Mussel-shaped, E: รูปร่างเมล็ดรูปไต (Reniform), F: รูปร่างเมล็ดทรงคล้ายหมวก (Hat-like)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด เป็นสารเคมีที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสะสมอาหารของเมล็ด นอกเหนือจากสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของอวัยวะพืชทั่วไป องค์ประกอบเคมีหลักที่สะสมในเมล็ดแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปตามพันธุ์กรรม ชนิด พันธุ์พืช สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษา (วัลลภ สันติประชา, 2540)

### 2.4.1 บทบาทของแป้งและน้ำตาลต่อการงอกของเมล็ด

คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบของอาหารที่สะสมมากที่สุดภายในเมล็ดพืช โดยภายในเมล็ดมีแป้งประมาณ 70 – 80% ขณะที่มีโปรตีนประมาณ 15% ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามินมีน้อยกว่า 5% ในเมล็ดการไฮโดรไลซิสส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในบริเวณอูลูลอน (aleurone) หรือใบเลี้ยงของพืช เพื่อตอบสนองต่อสัญญาณการงอกของเมล็ด (Paleg, 1960) การสังเคราะห์อะไมเลสจะเริ่มเมื่อมีการงอกของเมล็ด โดยการใช้แป้งที่เก็บสะสมไว้เพื่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจนกว่าต้นอ่อนจะเริ่มสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งในช่วงนี้พบว่ามีกิจกรรมของอะไมเลสสูง (Filner & Varner, 1967) จึงทำให้เห็นว่ากิจกรรมของอะไมเลสถูกควบคุมด้วยความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ภายในใบเลี้ยง และแกนต้น (Parys *et al.*, 1983) ในขณะนั้นกิจกรรมอะไมเลสในใบเลี้ยงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้ปริมาณแป้งจะลดลง ขณะที่ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น

### 2.4.2 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาล

สารควบคุมการเจริญเติบโต  $GA_3$  มีบทบาทสำคัญในการเหนี่ยวนำให้เกิดเอนไซม์ไฮโดรไลติก เช่น แอลฟา อะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) และโปรตีเอส (proteases) ในเมล็ด โดย  $GA_3$  จะไปกระตุ้นการสังเคราะห์  $\alpha$ -amylase ซึ่งมีหน้าที่ในการนำแป้งที่เก็บสะสมภายในเมล็ดมาใช้ในการงอก โดยจากการศึกษาของ Ochoa *et al.* (2015) การใช้อาหารสูตร MS ถูกเตรียมที่ความเข้มข้นของเกลือ 25% โดยเพิ่ม  $GA_3$  25 ppm ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมอะไมเลสไลติกระหว่างการงอกของเมล็ดในกระบองเพชรสกุลโอพันเทีย และกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase เพิ่มสูงขึ้น

## 2.5 การขยายพันธุ์กระบองเพชร

2.5.1 การปักชำ (cutting) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ อันดับแรกทำการเด็ดหน่อ หรือตัดกิ่งที่ต้องการด้วยมีดที่สะอาด รอให้แผลแห้ง และนำไปปักชำในวัสดุปลูกที่เป็นเพอร์ไลท์ผสมกับพีทมอส ในอัตราส่วน 1:1 นำต้นพันธุ์ที่เตรียมไว้มาปักชำในกระถาง โดยควรปักชำให้ลึก 1 ส่วนของต้นพันธุ์ นำไปวางในที่ที่มีแสงแดดรำไร โดยรากเริ่มงอกประมาณ 4 – 6 สัปดาห์ ซึ่งสังเกตได้จากลำต้นที่อวบขึ้น และตุ่มหนามที่งอกขึ้นมาใหม่ (Kelly, 2008)

**2.5.2 การต่อยอด (grafting)** กระบองเพชรหลายสายพันธุ์ใช้เวลาานกว่าจะออกดอก และติดเมล็ด ซึ่งวิธีนี้จะลดเวลาลงได้ รวมไปถึงสามารถเพิ่มจำนวนต้นภายในระยะเวลาอันสั้น รวมไปถึง ช่วยลดระยะเวลาให้ต้นพันธุ์เจริญเติบโตได้เร็วขึ้น จึงนิยมใช้ในการขยายพันธุ์กระบองเพชรหลายสกุล รวมไปถึง กระบองเพชรที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ ซึ่งไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ โดยต้นตอที่นิยมใช้ ได้แก่ *Hylocereus spp.*, *Myrtillocactus geometrizans* และ *Pereskopsis* เป็นต้น วิธีนี้จึงเหมาะสม กับผู้ที่ต้องการขยายพันธุ์เพื่อการค้าหรือผลิตเมล็ดพันธุ์ (Gardening know how, 2023) เป็นวิธีการขยายพันธุ์ที่ไม่ยาก โดยมีขั้นตอนดังนี้ โดยเริ่มจากการนำมีดมาปาดยอดต้นตอให้เป็นแผลปาดโคนต้นพันธุ์ โดยไม่ให้แผลซ้ำ วางต้นพันธุ์ลงบนต้นตอโดยให้ท่อน้ำเลี้ยงตรงกัน และใช้เทปใสพันต้นตอ และต้นพันธุ์เข้าด้วยกัน (Succulentsbox, 2023)

**2.5.3 การเพาะเมล็ด (seeding)** ทำได้โดยเก็บเมล็ดที่สุกจากต้นมาล้างเพื่อเอาเนื้อออก และเก็บเฉพาะเมล็ดสีดำขนาดเล็กที่อยู่ภายใน ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วเก็บไว้ในที่ร่มและเย็นราว 3 – 7 วัน หลังจากนั้นนำกระดาษที่รองกันด้วยถ่านปามาใส่วัสดุปลูกที่เป็นทรายผสมพีทมอสให้เต็มกระถางแล้วปาดให้เรียบ นำกระดาษเพาะที่เตรียมไว้มาแซ่ในสารป้องกันกำจัดเชื้อรา ประมาณ 5 นาที ยกขึ้นให้สะเด็ดน้ำ โรยเมล็ดที่เตรียมไว้ และนำกระดาษใส่ลงในถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่นเพื่อรักษา ความชื้นให้สม่ำเสมอ วางไว้ในที่ร่มรำไร หลังจากนั้นประมาณ 7 – 15 วัน ต้นกล้ากระบองเพชรเริ่มงอก และการงอกที่ดีในพืชผลจะพิจารณาจากช่วงเวลาที่มีการหว่านเมล็ดพืช หากเมล็ดพืชมีการงอกที่ดีหลังการหว่านเมล็ดพืชผลส่วนใหญ่จะงอกอย่างสม่ำเสมอและรวดเร็วหลังจากการหยอดเมล็ด (Graeber *et al.*, 2012) โดยระยะเวลาการงอกจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ หลังจากต้นกล้าอายุ 1 – 2 เดือน จึงนำต้นกล้าที่ได้มาย้ายปลูกลงในกระถาง โดยมีขั้นตอนดังนี้ เลือกต้นกล้าที่แข็งแรงพร้อมปลูก มาตัดแต่งราก เพื่อเอาวัสดุเพาะที่ติดอยู่ออกบางส่วน โดยใช้ปากคีบ คีบต้นกล้าเล็กๆ ปักชำบนวัสดุปลูกที่เตรียมไว้ โดยหลังจากย้ายกล้าไม่ควรรดน้ำทันที อีก 2 วัน จึงเริ่มฉีดพ่นน้ำผสมสารป้องกันกำจัดเชื้อราในอัตราเจือจางเพื่อป้องกันต้นเน่าได้ (ภวพล ศุภนันถนันทน์, 2562)

## 2.6 กระบวนการงอกของเมล็ดกระบองเพชร

เมล็ดที่ยังไม่งอกอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ในการงอกยังไม่เหมาะสม หรือเกิดจากเมล็ดมีการพักตัว เมล็ดอยู่ในสภาวะนิ่ง เนื่องจากมีความชื้นต่ำ และมีอัตราการหายใจต่ำ เมล็ดยังมีชีวิตแต่กระบวนการต่างๆ เกิดในเมล็ดน้อยมาก จนกว่าเมล็ดจะได้รับปัจจัยที่เหมาะสม จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสารชีวเคมีในเมล็ด กระบวนการต่างๆ ถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นมีการสร้างสารภายในเมล็ด มีการแบ่งเซลล์ และสร้างพืชต้นใหม่ โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นในการงอกของเมล็ดแบ่งเป็น 3 ระยะ (สุมาลี ชุกกำแพง, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.1 ระยะที่ 1 การดูดน้ำของเมล็ด (water absorption หรือ imbibition)** การดูดน้ำของเมล็ดเพื่อให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้น และมีปริมาณน้ำอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อการจะเกิดกระบวนการต่างๆ สำหรับการงอก เมื่อเมล็ดได้รับน้ำจากภายนอกของเมล็ดมากพอ ทำให้เมล็ดมีการพองออก มีขนาดและน้ำหนักเพิ่มขึ้น เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มลงหรืออาจแตกออกได้ ทำให้น้ำ และอากาศเข้าไปในเมล็ดได้มากขึ้น เตรียมความพร้อมในการสังเคราะห์สารต่างๆ สำหรับใช้ในระยะต่อไป (จวงจันท์ ดวงพัตรา, 2529; Taiz *et al.*, 2015; Nonogaki *et al.*, 2010)

**2.6.2 การเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism)** กระตุ้นให้มีการสร้างสารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ได้แก่ DNA และ RNA ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน ซึ่งในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ พบว่าในเซลล์อะลูโรน (aleutone) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ติดกับเปลือกหุ้มเมล็ด มีการสังเคราะห์เอนไซม์ขึ้น ได้แก่ amylase, ribonuclease, protease และ lipase เป็นต้น เอนไซม์ที่สังเคราะห์ขึ้นจะใช้ในการย่อยสลายสารอาหารที่สะสมอยู่ในเอนโดสเปิร์ม หรือใบเลี้ยง ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อบริเวณที่เมล็ดเก็บสะสมอาหารไว้ โดยเก็บสะสมสารในกลุ่มไขมัน แป้ง และโปรตีน เอนไซม์ที่เมล็ดสร้างขึ้นจัดเป็นสารอาหารให้เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก และสามารถละลายน้ำได้ โดยเอนไซม์โปรตีเอส จะสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน (amino acid) และเปปไทด์ (peptides) ส่วนการย่อยสลายไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ไลเปส lipase ได้กรดไขมัน (fatty acid) และกรีเซอร์อล (glycerol) คาร์โบไฮเดรต หรือแป้งจะถูกเปลี่ยนให้อยู่รูปน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลซูโครส (sucrose) เพื่อที่จะสามารถลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของเอ็มบริโอได้ (Bethke *et al.*, 1997; Taiz *et al.*, 2015) โดยเมื่อเมล็ดพืชได้รับน้ำจะกระตุ้นให้สร้างฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน และส่งสัญญาณไปที่เซลล์อะลูโรน (aleulone) เพื่อสังเคราะห์เอนไซม์มาย่อยอาหารสะสมในเอนโดสเปิร์ม กระบวนการที่เกิดขึ้นมี 3 ระยะ (จวงจันท์ ดวงพัตรา, 2529)

**2.6.2.1 การย่อยสลายอาหารและการหายใจ (digestion and respiration)** เมื่อน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ด ในปริมาณที่เพียงพอแล้วน้ำจะไปกระตุ้นการทำงานขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ของเมล็ด ขณะเดียวกันน้ำก็จะช่วยละลายโปรโตพลาสซึม และช่วยให้ออกซิเจนเข้าไปภายในเมล็ดเกิดการย่อยอาหารที่สะสมภายในเมล็ด ทำให้เกิดพลังงาน โดยระหว่างการงอกของเมล็ดมีการใช้พลังงาน ATP ที่เกิดจากกระบวนการหายใจ ซึ่งเมื่อน้ำเข้าไปภายในเมล็ดจะเกิดอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ยังไม่งอก หรือไม่ได้รับน้ำ

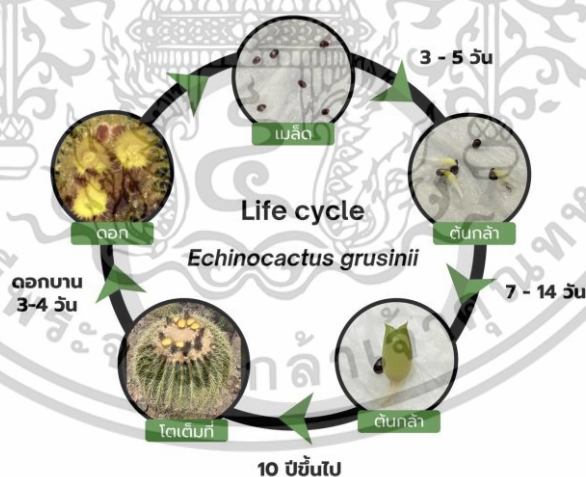
**2.6.2.2 การเคลื่อนย้ายและขนส่งอาหาร (Food mobilization and transportation)** เมื่ออาหารถูกย่อย จะมีการเคลื่อนย้ายไปยังจุดเจริญต่างๆ และมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อนต่อไป

**2.6.2.3 การสังเคราะห์ (biosynthesis)** เมื่อจุดเจริญได้รับอาหาร และพลังงานที่เกิดจากการหายใจ ส่งผลให้ส่วนที่เก็บสะสมอาหารมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

**2.6.3 การเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ (resumption of growth)** เมื่อเอ็มบริโอได้รับสารอาหารจากระยะที่ 2 ประกอบกับมีน้ำและอากาศเพื่อใช้ในการหายใจระดับเซลล์อย่างเพียงพอทำให้เกิดพลังงานสำหรับนำไปใช้ในการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ และเพิ่มขนาดของเอ็มบริโอ โดยทั่วไปส่วนของรากแรกเกิด (radicle) จะมีการเจริญเติบโตให้เห็นก่อนส่วนอื่นของลำต้น และยอดอ่อน

## 2.7 วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของกระบองเพชร

**2.7.1 ถังทอง (*Echinocactus grusonii*)** เมล็ดเริ่มมีการงอกหลังจากปลูก ใช้ระยะเวลาในการงอกประมาณ 3 - 5 วัน หลังย้ายปลูก (รูปที่ 2.4) หลังจากนั้นมีการเจริญเติบโตทางลำต้น จนกระทั่งออกดอกโตเต็มที่เมื่อมีอายุ 10 - 20 ปี หรือมีขนาดความกว้างของลำต้น 50 เซนติเมตร ถึงจะมีการออกดอก การเจริญเติบโตทางลำต้นของถังทองค่อนข้างช้า มีความสูงเพิ่มขึ้นเพียง 1 นิ้วต่อปี และสามารถมีอายุได้มากกว่า 30 ปี (ภวพล ศุภนันท์, 2562) โดยช่วงระยะเวลาการบานของดอก มีการบานในช่วงเวลากลางวันและดอกหุบช่วงกลางคืน และระยะเวลาการบานของดอก 3 - 4 วัน (ชาวแคคตัส, 2566)

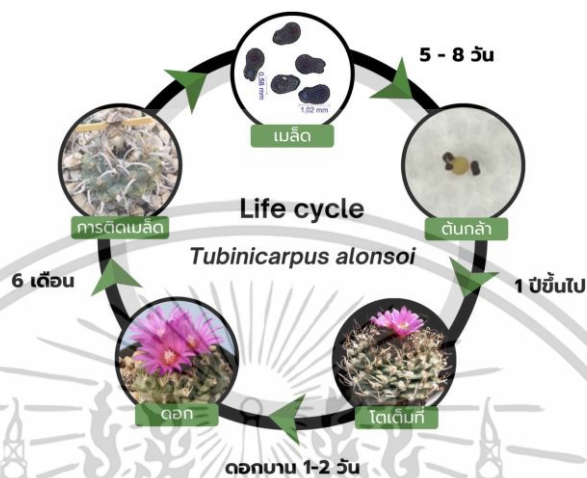


รูปที่ 2.4 วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของถังทอง (The ruth bancroft garden & nursery, 2003)

**2.7.2 เทอร์บนิคาร์ปัส (*Tubinacarpus alonsoi*)** เมล็ดเริ่มมีการงอกหลังจากปลูกใช้ระยะเวลาในการงอกประมาณ 5 - 8 วัน (รูปที่ 2.5) ระยะเวลาการติดดอกไปจนถึงการเก็บฝัก 6 เดือน และมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดประมาณ 41% (Flores *et al.*, 2006) เมื่อพืชอายุประมาณ 1 ปี

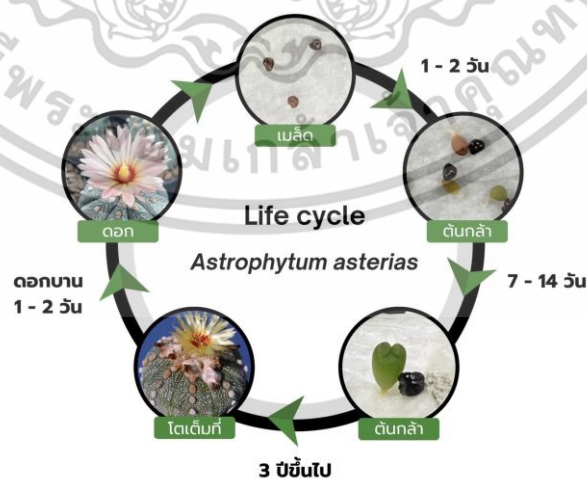
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถออกดอกได้บ่อยครั้ง บางครั้งสามารถออกดอกได้ 1 - 2 ดอก และดอกสามารถบานในช่วงเวลา กลางวัน 1 - 2 วัน (Jinny tent, 2023)



รูปที่ 2.5 วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของเทอร์บินิคาร์ปัส (Cactus art nursery, 2024)

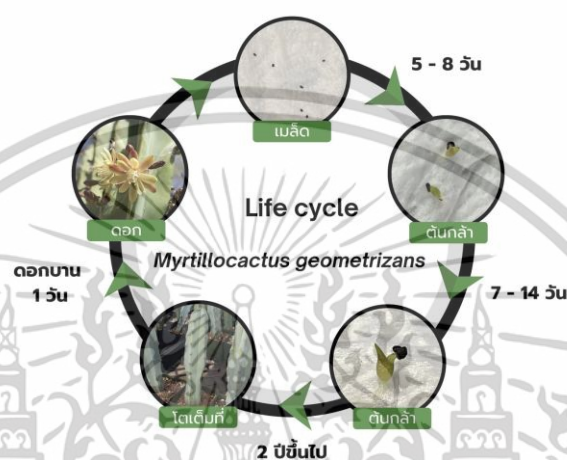
2.7.3 แอสโตรไฟตัม (*Astrophytum asterias*) เมล็ดเริ่มมีการงอกหลังจากปลูกใช้ระยะเวลา ในการงอกประมาณ 1 - 2 วัน หากปลูกโดยคว่ำด้าน hilum cup ลง (รูปที่ 2.6) การเจริญเติบโตสามารถ โตได้อย่างน้อยปีละ 1 - 2 นิ้ว ระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นถึงการให้ดอก 3 - 4 ปี เมื่อโตเต็มที่ อัตราการเจริญเติบโตจะชะลอลงเมื่ออายุมากขึ้น ระยะเวลาการบานของดอก 1 - 2 วัน บานช่วงเที่ยงถึง บ่าย และดอกหุบในช่วงตอนเย็น (Cactus plant nursery, 2023)



รูปที่ 2.6 วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของแอสโตรไฟตัม (Cactus plant nursery, 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ตอปลู (*Myrtillocactus geometrizans*) เมล็ดเริ่มมีการงอกหลังจากปลูกใช้ระยะเวลาในการงอกประมาณ 5 - 8 วัน (รูปที่ 2.7) หลังจากนั้นสามารถย้ายต้นกล้าได้เมื่ออายุ 1 - 2 เดือน เมื่ออายุเข้าปีที่ 2 จะเริ่มมีการติดดอก (Arizona, 2012) หรือมีความสูงของลำต้น 60 เซนติเมตรขึ้นไป ดอกสามารถบานได้ 1 วัน (The palm three company, 2023)



รูปที่ 2.7 วงจรชีวิตและการเจริญเติบโตของตอปลู (Wikimedia commons, 2023)

## 2.8 การพักตัวของเมล็ดกระบองเพชร

การพักตัวในพืชเป็นกระบวนการที่กิจกรรมทางสรีรวิทยาของพืชหยุดลง ในลักษณะที่ย้อนกลับได้ แม้ว่าจะมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการงอก (เช่น มีความชื้น อากาศ และอุณหภูมิ) การพักตัวเป็นการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดในสภาวะการงอกที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากกระบองเพชรมีแหล่งกำเนิดในทะเลทราย ซึ่งเป็นพื้นที่แห้งแล้งจึงทำให้มีการพักตัวของเมล็ด โดยมีการอธิบายการพักตัวของเมล็ดกระบองเพชร 2 ประเภท ได้แก่ การพักตัวตามธรรมชาติ (innate dormancy) และการพักตัวเนื่องจากการชักนำ (induced dormancy) (Murdoch & Ellis, 1992; Roberts, 1972) การพักตัวตามธรรมชาติหรือการพักตัวแบบปฐมภูมิ เป็นการป้องกันการงอกของเมล็ดขณะอยู่บนต้นแม่ เมื่อได้รับการกระจายพันธุ์ และได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเมล็ดจะเริ่มงอกทันที และการชักนำให้เกิดการพักตัว หรือการพักตัวแบบทุติยภูมิ เป็นลักษณะของการพักตัวแบบคงที่ แม้สภาพแวดล้อมจะเอื้ออำนวยต่อการงอกก็ตาม (Tran & Cavanagh, 1984) โดยเมล็ดกระบองเพชรมีเนื้อเยื่อที่แข็งหุ้มอยู่ภายนอกทำหน้าที่เป็นเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งมีลักษณะหนาและแข็ง ทำให้เกิดการพักตัว เนื่องจากน้ำและอากาศไม่สามารถเข้าไปสู่ภายในเมล็ดได้ โดยเมล็ดเหล่านี้เมื่อได้รับความชื้นบริเวณรอยแผล (hilum) จะพองออกทำให้รูในบริเวณนี้ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนิท น้ำไม่สามารถซึมเข้าไปได้ ทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้นภายในและภายนอก นอกจากนี้ เมล็ดที่มีเปลือกแข็งมักจะไมยอมให้น้ำผ่านเข้าไปในเมล็ด หรือเมล็ดพืชบางชนิดอาจมีสารเคลือบเมล็ดขัดขวางการงอกของเมล็ด สาเหตุการพักตัวของเมล็ดมี 6 ประการ (दनัย बुण्यเกียรติ, 2563)

## 2.9 สาเหตุการพักตัวของเมล็ด

เมล็ดพืชที่มีการพักตัวจะมีสาเหตุในการพักตัวที่แตกต่างกันไป เช่น เมล็ดพืชบางชนิดมีเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งและหนาจึงไม่ยอมให้น้ำผ่านเข้าไปในเมล็ด หรือเมล็ดพืชบางชนิดอาจมีสารเคลือบเมล็ดขัดขวางการงอกของเมล็ด สาเหตุการพักตัวของเมล็ดมี 6 ประการ (दनัย बुण्यเกียรติ, 2547) ดังต่อไปนี้

**2.9.1 เปลือกหุ้มเมล็ดแข็งและหนา (hard seed)** เช่น เปลือกหุ้มเมล็ดของพืชบางชนิด อาจมีเนื้อเยื่อที่แข็งและหนาหุ้มอยู่ภายนอกทำหน้าที่เป็นเปลือกหุ้มเมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ด มักจะมีสารพวกซูเบอร์ริน ลิกนิน และคิวตินสะสมอยู่ เมล็ดเหล่านี้แม้จะอยู่ในที่ชื้นหรือได้รับน้ำมากก็อาจจะไม่งอกได้ ซึ่งเปลือกหุ้มเมล็ดที่หนาหรือแข็งมากๆ มักจะมีส่วนทำให้เกิดการพักตัวของเมล็ด เพราะป้องกันไม่ให้น้ำและอากาศโดยเฉพาะออกซิเจนผ่านเข้าไป จึงทำให้ไม่สามารถเกิดกระบวนการงอกได้

**2.9.2 เอ็มบริโอยังไม่เจริญเต็มที่** ในเมล็ดหลายชนิดเอ็มบริโอ ยังไม่เจริญเต็มที่เมื่อเมล็ดร่วงจากต้นซึ่งการงอกของเมล็ดจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อเอ็มบริโอเจริญเต็มที่แล้ว

**2.9.3 การเก็บรักษาเมล็ดของพืชหลายชนิดจะไม่งอกทันทีหลังจากเก็บเกี่ยว** แม้ว่าเอ็มบริโอจะเจริญเต็มที่แล้วก็ตาม แต่ถ้าหากเก็บรักษาเมล็ดเหล่านี้ไว้ในสภาพแห้งที่อุณหภูมิห้อง หรือเก็บเมล็ดไว้ไม่ดีพอเมล็ดเหล่านี้จะค่อยๆ เสื่อมสภาพและสูญเสียการพักตัวไปทีละน้อย หากเมล็ดยังมีชีวิตเมื่อพ้นระยะพักตัวก็จะสามารถงอกได้ เมื่อให้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เมล็ดใช้ในการกำจัดพักตัว (after ripening)

**2.9.4 ความไวต่อแสง** การงอกของเมล็ดจะตอบสนองต่อแสงต่างกันออกไปเมล็ดบางชนิดต้องการแสงในการงอก โดยแสงสีแดง (red) จะกระตุ้นการงอกของเมล็ด ส่วนแสงสีแดงไกล (far red) จะระงับการงอก เช่น เมล็ดยาสูบ เมล็ดฝักสลัด เป็นต้น เมล็ดที่ไวต่อแสงนี้จะตอบสนองต่อแสงหลังจากเมล็ดดูดน้ำจนชุ่มแล้วเท่านั้น โดยเมล็ดที่ต้องการแสงในการงอกในระยะที่เก็บเกี่ยวนั้นจะค่อยๆ สูญเสียความต้องการแสงในการงอกไป เมื่อนำไปเก็บรักษาและในที่สุดจะงอกได้ในที่มืด

**2.9.5 ความต้องการอุณหภูมิเฉพาะ** เมล็ดพืชหลายชนิดต้องการอุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิลับก่อนการงอก

**2.9.6 สารระงับการงอกในเมล็ด** ในเมล็ดหลายชนิดจะมีสารระงับการงอกภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดเกิดการพักตัว สารเหล่านี้จะระงับขั้นตอนการงอกขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งสารเหล่านี้จะปรากฏอยู่ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของเมล็ดก็ได้ เช่น ในเมล็ดบางชนิดมีสารระงับการงอกอยู่ที่เปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งเมล็ดจะงอกได้ตามปกติเมื่อกำจัดเปลือกหุ้มเมล็ดก่อนนำไปเพาะ สารระงับการงอกที่พบในเมล็ด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบฟีนอล (phenolic compound) คิวมาริน (coumarin) กรดพาราซอร์บิก (parasorbic acid) กรดเฟอร์ริก (ferric acid) และกรดแอบไซซิก (ABA) โดยเฉพาะกรดแอบไซซิก สามารถระงับการงอกได้แม้จะมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก ในสภาพธรรมชาติสารระงับการงอกของเมล็ด ไม่เพียงปรากฏอยู่ในเมล็ดเท่านั้น แต่ปรากฏอยู่ที่ใบ ราก และส่วนอื่นของพืชด้วย เช่น เปลือกเมล็ด เอนโดสเปิร์ม ใบเลี้ยง หรือเอ็มบริโอ เมื่อถูกปลดปล่อยออกมา อาจจะไปขัดขวางการงอกของเมล็ดในกระบวนการต่างๆ เช่น ขัดขวางการดูดน้ำ การสังเคราะห์ และการทำงานของเอนไซม์ การหายใจ การย่อยอาหาร และการเคลื่อนย้ายอาหาร

## 2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชร

**2.10.1 อุณหภูมิ** อุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการงอกของเมล็ดกระบองเพชรอยู่ในช่วง  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  โดยขึ้นอยู่กับชนิดของกระบองเพชร อายุเมล็ด และมีการศึกษา พบว่า การใช้อุณหภูมิสลับจะส่งเสริมการงอกของเมล็ดได้ดีกว่า (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000) โดยจากการศึกษาของ Rojas-Aréchiga *et al.* (1998) พบว่า *Oreocereus trollii*, *Pachycereus hollianus*, *Rebutia marsoneri* และ *Rebutia minuscula* งอกได้ดีเมื่อได้รับอุณหภูมิ  $15 - 25^{\circ}\text{C}$  ขณะที่สายพันธุ์ *Rebutia xanthocarpa* งอกได้ดีในอุณหภูมิ  $16 - 19^{\circ}\text{C}$  ในสายพันธุ์ *Parodia chrysacanthion* งอกได้ดีในอุณหภูมิ  $17 - 25^{\circ}\text{C}$  (Fearn, 1974) ซึ่งสอดคล้องกับสายพันธุ์ *Espositoa lanata*, *Mammillaria durispina* และ *Cleistocactus strausii* และ *Stenocereus griseus* งอกได้ดีที่อุณหภูมิ  $21^{\circ}\text{C}$  (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000)

**2.10.2 แสง** แสงมีผลต่อการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชรบางชนิด ซึ่งพบว่า แสงสีแดงเป็นแสงที่มีผลในการกระตุ้นการงอกของกระบองเพชรในทุกสายพันธุ์ (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000)

**2.10.3 ความชื้น** เมื่อเมล็ดได้รับน้ำ เปลือกหุ้มเมล็ดจะอ่อนตัวลง ทำให้น้ำและออกซิเจนผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ เมล็ดจะดูดน้ำเข้าไปทำให้เมล็ดพองตัวขยายขนาด และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำจะเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ โดยภายในเมล็ดมีการกระตุ้นการสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ด เมื่อแพร่เข้าไปในเอ็มบริโอใช้ในการหายใจ และการเจริญเติบโต นอกจากนั้นแล้วน้ำยังเป็นตัวทำละลายสารอื่นๆ ที่สะสมในเมล็ด และช่วยในการลำเลียงสารอาหารไปใช้ในการงอก (Sghaier *et al.*, 2022)

**2.10.4 ออกซิเจน** เมล็ดมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนในระยะเริ่มต้นของการเจริญของเอ็มบริโอ และเริ่มมีการใช้ออกซิเจนขณะที่เปลือกหุ้มเมล็ดหลุดออกไป ถ้าเมล็ดแช่น้ำมากเกินไป ทำให้ไม่มีออกซิเจนในการหายใจ และจะไม่เกิดการงอก (พวงผกา สุนทรชัยนาคแสง, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 วิธีการทำลายการพักตัวของเมล็ด

**2.11.1 การกระตุ้นการงอกโดยธรรมชาติ** ในสภาพธรรมชาติอาจจะเกิดจากการย่อยสลายเปลือกหุ้มเมล็ดโดยจุลินทรีย์ หรือผ่านระบบย่อยอาหารของนก และสัตว์อื่นๆ นอกจากนั้นแล้วเมล็ดพืชบางชนิดจะได้รับการทำให้เปลือกบางลงเมื่อผ่านไฟฟ้า (Bradford *et al.*, 2000)

**2.11.2 Scarification** เป็นวิธีแก้การพักตัวของเมล็ดโดยที่ส่วนของเปลือกไม่ยอมให้น้ำและออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปในเมล็ด โดยวิธีที่นิยมใช้กันคือ

**2.11.2.1 Mechanical scarification** ได้แก่ การฝน ขัด ตัด ทูบ เจาะ หรือขัดสี เพื่อให้เปลือกบางลงหรือแตก ทำให้น้ำและอากาศเข้าไปภายในเมล็ดได้ วิธีนี้ใช้กับเมล็ดที่มีปริมาณมากๆ

**2.11.2.2 Acid treatment** เป็นการนำเมล็ดไปแช่ในกรดส่วนใหญ่เป็นกรดกำมะถันเข้มข้น เพื่อให้เปลือกนุ่ม ซึ่งทำให้น้ำและอากาศสามารถซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดได้ วิธีแก้การพักตัวของเมล็ดแบบนี้ใช้แก้การพักตัวของเมล็ดในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ (จวงจันท์ ดวงพัตรา, 2526)

**2.11.3 การให้แสง** การงอกของเมล็ดจะตอบสนองต่อแสงต่างกันไป เมล็ดบางชนิดต้องการแสงในการงอกเช่น เมล็ดยาสูบ Foxglove และผักสลัด โดยเมล็ดที่ต้องการแสงในการงอกในระยะที่เก็บเกี่ยว นั้นจะค่อยๆ สูญเสียความต้องการแสงในการงอกไปเรื่อยๆ เมื่อนำไปเก็บรักษา และในที่สุดจะงอกในที่มืดได้ นอกจากนั้นแล้วเมล็ดของผักสลัดบางพันธุ์มีความต้องการแสงในการงอกนั้นเป็นการนำไปสู่การพบไฟโตโครม (phytochrome) ซึ่งในปัจจุบันยังพบว่าเมล็ดที่ไวต่อแสงจะตอบสนองต่อแสงสีแดง และแสง Far red เหมือนของเมล็ดผักสลัด (दनัย บุญยเกียรติ, 2563)

**2.11.3.1 ความยาวคลื่นแสง (Light spectrum)** แสงมีผลต่อการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชรบางชนิด ซึ่งพบว่า แสงสีแดงเป็นแสงที่มีผลในการกระตุ้นการงอกของกระบองเพชรในทุกสายพันธุ์ (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000) จึงแสดงให้เห็นว่าเมล็ดกระบองเพชรเป็นแบบโฟโตบลาสติก (Fearn, 1981; Arias & Lemus, 1984; Del Castillo, 1986; Nobel, 1989) โดยจากการศึกษาของ Alcorn & Kurtz (1959) และ McDonough (1964) พบว่า แสงมีผลในการกระตุ้นการงอกของ *Carnegiea gigantea* และ *Stenocereus thurberi* และจากการศึกษาของ Benítez-Rodríguez *et al.* (2004) รายงานว่าการใช้แสงสีแดง และแสงสีขาวทำให้การงอกของกระบองเพชร *Mammillaria* sp. สูงที่สุด

**2.11.3.2 ความเข้มแสง (Light intensity)** คือปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับความเข้มของแสงมีความแตกต่างกัน ตามพื้นที่ เวลา และฤดูกาล อิทธิพลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ได้แก่ 1) พืชในร่ม เป็นพืชที่ต้องการความเข้มแสงน้อยจึงเจริญเติบโตได้ดี 2) พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพรางหรือลดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 3) พืชกลางแจ้งเป็นพืชที่ต้องการความเข้มแสงสูง โดยกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มแสงมีหลายกระบวนการ เช่น การสังเคราะห์แสงของพืชเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้น และพืชที่เติบโตอยู่ในสภาพที่มีแสงน้อยมักมีอัตราการหายใจต่ำ ส่วนช่วงการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ ในพืชบางชนิดอาจไม่มีการออกดอกหากอยู่ในสภาพที่มีความเข้มแสงต่ำ นอกจากนี้แสงยังมีผลต่อการผลิตฮอร์โมน โดยแสงมีผลทำให้ออกซินที่สร้างขึ้นในพืชเสื่อมสภาพ เรียกกระบวนการนี้ว่า โฟโตออกซิเดชัน และพบว่าพืชที่ขึ้นในที่มืดมักมีการยืดยาวของลำต้นผิดปกติ (สุริดา รอกกระโทก, 2563) ในช่วงระยะการงอก และระยะต้นกล้าต้องการความเข้มแสงที่ไม่สูงมาก เพื่อป้องกันความเครียดที่เกิด ความร้อน และการยืดตัว กรณีแสงไม่พอ โดยทั่วไปจะใช้ความเข้มแสงประมาณ  $200-400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Vegetable Academy, 2020)

**2.11.3.3 ความยาวนานหรือช่วงแสง (Photoperiods) ในการควบคุมการออกดอก** จะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ พืชวันสั้น (short day plant) พืชวันยาว (long day plant) และ พืชที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากช่วงแสง (day-neutral plant) โดยพืชวันสั้นคือ พืชที่ต้องการแสงในระยะเวลาที่น้อยกว่าค่า “ช่วงเวลากลางวันวิกฤต” (critical day length) จึงจะออกดอก ส่วนพืชวันยาว คือ พืชที่ต้องการแสงในระยะเวลาที่มากกว่าค่าช่วงเวลากลางวันวิกฤต ในการกระตุ้นให้เกิดการสร้างดอก ช่วงเวลากลางวัน-วิกฤต หรือช่วงวิกฤตนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด ในรอบหนึ่งปี แต่ละฤดูกาลหรือในแต่ละช่วงเดือน จะเกิดความแตกต่างของช่วงเวลากลางวัน และกลางคืนภายใน 1 วันเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลจากวงโคจร และองศาของแกนโลกที่ทำมุมกับดวงอาทิตย์ ดังนั้นในบางเดือนหรือบางฤดู พืชจะได้รับแสงสว่างเป็นจำนวนชั่วโมงที่ยาวนานกว่าช่วงเวลาที่ไม้ได้รับแสง หรือในทางตรงข้ามพืชอาจจะมีจำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงน้อยกว่าช่วงระยะเวลาที่เป็นกลางคืน พืชแต่ละชนิดนั้นจะมีความสามารถในการตอบสนองต่อช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสงยาวนาน หรือ ช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสงสั้นแตกต่างกันออกไป และการตอบสนองของพืชต่อระยะเวลาของช่วงแสงสามารถแสดงออกมาได้ในหลายรูปแบบ เช่น การสร้างอวัยวะสะสมอาหาร หรือการสะสมอาหาร รวมไปถึงการออกดอกของพืช เป็นต้น (ฉัฐมาศ พรหมเดช, 2565) เมล็ดพืชบางชนิดต้องการช่วงการรับแสงระยะเวลาหนึ่ง จึงจะพ้นสภาพการพักตัว Isikawa (1954) พบว่า เมล็ด *Eragrostis ferruginea* ต้องการช่วงกลางวัน บางชนิดต้องการช่วงเวลารัสนั้น เช่น *Veronica perica* ในเมล็ด *Begonia evansiana* ต้องการช่วงเวลารับแสงนานประมาณ 12 ชั่วโมงหรือมากกว่า และต้องให้แสงซ้ำถึง 3 รอบ จึงจะสามารถงอกได้ ถ้าเมล็ดไม่ได้รับแสงในสภาพดังกล่าว เมล็ดจะอยู่ในสภาพพักตัว (Nagao et al., 1959)

**2.11.4 การนำเมล็ดไปแช่น้ำร้อน** ปกติจะใช้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ  $80-100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อทำให้เปลือกนุ่มยอมให้น้ำซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดได้ (จวงจันท์ ดวงพัตรา, 2526)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.11.5 การให้อุณหภูมิต่ำ** เมล็ดหลายชนิดต้องการอุณหภูมิต่ำ ภายใต้สภาพที่เมล็ดขึ้นก่อนการงอกทั้งในสภาพธรรมชาติ และในสภาพที่มนุษย์จัดการขึ้น หลังจากที่เมล็ดได้รับอุณหภูมิต่ำพอเพียงแล้ว เมล็ดจะสามารถงอกได้ที่อุณหภูมิ 20 °C โดยอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมคือ 0-5 °C ซึ่งเมล็ดที่ต้องการอุณหภูมิต่ำอาจจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เช่น แอปเปิ้ล และเบียร์ช เป็นต้น การตอบสนองของอุณหภูมิต่ำจะเกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเมล็ดดูดน้ำจนขึ้นแล้วเท่านั้น เมล็ดที่ต้องการอุณหภูมิต่ำบางชนิดอาจงอกได้เมื่อกำจัดเปลือกหุ้มเมล็ดออกไป (दनัย บุญยเกียรติ, 2563)

**2.11.6 ใช้สารเร่งการเจริญเติบโต** เป็นการแก้การพักตัวของเมล็ดได้หลายแบบ โดยเฉพาะพวกที่มีการพักตัวน้อยๆ สารเร่งที่ใช้ได้แก่  $KNO_3$  ความเข้มข้น 0.2% และ  $GA_3$  เป็นต้น โดยใส่สารเร่งเหล่านี้ในน้ำที่จะใช้เพาะเมล็ด (Bareke, 2018)

**2.11.7 การใช้สารเคมีกระตุ้น** เช่น การใช้ไฮโดรยูเรียแทนความต้องการแสงของเมล็ดสลัด (दनัย บุญยเกียรติ, 2563)

**2.11.8 การทำ Impaction** น้ำและก๊าซออกซิเจนไม่สามารถเข้าสู่เมล็ดได้ เนื่องจากถูกปิดกั้นโดยเนื้อเยื่อคล้าย Cork ซึ่งเรียกว่า Strophilar plug โดยปิดกั้นรูเปิดเล็กๆที่เรียกว่า Strophilar cleft ที่เปลือกหุ้มเมล็ด การเขย่าเมล็ดอย่างรุนแรงบางครั้งทำให้ Plug นั้นหลุดได้ ทำให้เมล็ดงอก วิธีนี้เรียกว่า Impaction (दनัย บุญยเกียรติ, 2563)

**2.11.9 ผลของการกระตุ้นให้เมล็ดงอกต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชรและไม้ออบน้ำ**  
จากการศึกษา Benítez-Rodríguez *et al.* (2004) รายงานว่าการใช้แสงสีแดง และแสงสีขาวทำให้การงอกของกระบองเพชร *Mammillaria* sp. สูงที่สุดใน *Opuntia lindheimeri* ที่แช่ในน้ำนาน 9 ชั่วโมง ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอก 45% (Pilcher, 1970) การแช่เมล็ด *Opuntia discata* ในกรดซัลฟิวริกนาน 30 นาทีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอก 83% (Potter *et al.*, 1984) การแช่  $H_2O_2$  ความเข้มข้น 3% นาน 24 ชั่วโมงทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของ *Opuntia megacantha* มากที่สุด (100%) (Gonzalez-Cortés *et al.*, 2018) การเพาะเมล็ดซากัวโรที่ได้รับแสงสีแดงเป็นเวลา 42 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ร่วมกับโพแทสเซียมไนเตรทที่ความเข้มข้น 0.05 – 2% และการได้รับ  $GA_3$  ที่ความเข้มข้น 500 – 1000 ppm ทำให้เกิดการงอกของเมล็ดซากัวโรได้มากที่สุด (Alcorn & Kurtz, 1959) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Idleman *et al.* (2013) ที่รายงานว่าเมล็ด *Ferocactus wislizeni* ที่แช่  $GA_3$  ในความเข้มข้น 2000 ppm ทำให้เกิดอัตราการงอกสูงที่สุดใน *Euphorbia jolkinii* พบว่าการใช้  $GA_3$  ที่ความเข้มข้น 10 ppm ในอุณหภูมิ 15 °C ทำให้เกิดการงอกได้ดีที่สุด (Oh *et al.*, 2021) ใน *Impatiens talbotii* ที่ทำเมล็ดให้เกิดแผล ร่วมกับการแช่  $GA_3$  ความเข้มข้น 100 ppm เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก อัตราการงอก ความยาวยอด ความยาวราก ความยาวต้นกล้า และความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด (Krishna, 2018) จากการศึกษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Bárbara *et al.* (2015) ที่กล่าวว่า *Melocactus azureus* ที่กระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยการแช่น้ำ และการแช่ GA<sub>3</sub> เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดเพิ่มขึ้นเป็น 14% และ 21% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม 3% ขณะที่การศึกษาใน *Epiphyllum phyllanthus* พบว่า สามารถงอกภายใต้แสงสีเขียว และความมืด (Simão *et al.*, 2010)

## 2.12 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกระบองเพชร

**2.12.1 อุณหภูมิ** กระบองเพชรเป็นพืชที่ทนต่อสภาพอากาศที่แปรปรวนได้ดี ในประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนชื้นจึงเหมาะแก่การปลูกกระบองเพชร โดยกระบองเพชรจะเจริญเติบโตได้ดีในโรงเรือนที่มีอุณหภูมิ 28 – 34 องศาเซลเซียส (ภวพล ศุภนันท์, 2562)

**2.12.2 วัสดุปลูก** วัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกระบองเพชร ควรมีลักษณะโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำได้ดี ไม่อุ้มน้ำตลอดเวลา แต่สามารถเก็บความชื้นไว้ได้พอสมควร (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2561) มีเนื้อดินที่อุดมไปด้วยธาตุอาหาร โดยวัสดุปลูกที่ใช้ในการปลูกกระบองเพชรมีหลายสูตร แต่ละสูตรจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกระบองเพชรที่แตกต่างกัน (ภวพล ศุภนันท์, 2562) โดยจากงานวิจัยของ ชมัยพร อนุวงศ์ และคณะ (2565) พบว่า การใช้ซี้เถ้าแกลบ: มูลไส้เดือน ในอัตรา 1: 2 ทำให้กระบองเพชรทั้ง 5 สกุล ได้แก่ *Gymnocalycium mihanovichii*, *Melocactus amoenus*, *Echinopsis calochlora*, *Mammillaria prolifera* และ *Opuntia elata* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น จำนวนราก และความยาวรากมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ใบก้ามปูหมัก: ซี้เถ้าแกลบ: กาบมะพร้าวสับ: เม็ดดินเผา: มูลไส้เดือน ทำให้กระบองเพชรในสกุล *Gymnocalycium*, *Astrophytum* *Mammillaria* และ *Echinopsis* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่ จำนวนราก และความยาวรากมากที่สุด (Ritthidechrat & Anuwong, 2022)

**2.12.3 ปุ๋ย** ผู้ปลูกเลี้ยงกระบองเพชรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมี เช่น ปุ๋ยละลายช้า โรยรอบโคนต้น หรือผสมรวมกับวัสดุปลูก อาจใช้ปุ๋ยทางใบผสมน้ำ ในอัตราส่วนที่ลดลงครึ่งหนึ่ง ฉีดพ่นทุกๆ 2 สัปดาห์ (ภวพล ศุภนันท์, 2562) ซึ่งจากงานทดลองของกิตติพันธ์ ฤทธิเดชรัตน์ (2565) พบว่า การให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน และโพแทสเซียมในอัตรา 100: 200 ppm ส่งผลให้จำนวนดอกต่อต้น และจำนวนรากมากที่สุด รวมไปถึงยังทำให้จำนวนวันที่ดอกแรกบานน้อยที่สุด ขณะที่การใช้ความเข้มข้นของไนโตรเจน และโพแทสเซียมในอัตรา 200: 100 ppm ทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่ ความสูงของลำต้น และจำนวนหน่อมากที่สุด

**2.12.4 แสง** กระบองเพชรควรได้รับแสงสม่ำเสมออย่างน้อย 6 – 8 ชั่วโมง แต่ไม่ใช่แสงแดดจัด ต้องพร่างแสงให้เหลือราว 60 – 70% หากกระบองเพชรได้รับแสงมากเกินไปผิวต้นจะเป็นรอยไหม้ หากได้รับแสงน้อยเกินไปต้นจะมีลักษณะยืดยาวผิดรูปทรง (ธิดาวดี ดิษฐปาน และคณะ, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.13 ความสำคัญของแสงต่อพืช

แสงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช กระตุ้นการงอกของเมล็ด และช่วยเร่งการเจริญเติบโตของต้นกล้า แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค แสงที่เป็นประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยนต์ บุญมี, 2560) แสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล คือช่วงแสงที่มนุษย์มองเห็น (visible light) โดยช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ที่เรียกว่า Photo synthetically active radiation (PAR) ซึ่งพบว่าพืชจะดูดซึมแสงเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์ชนิด a และ b (chlorophyll molecules type a & b) ได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 400 – 480 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) และระหว่าง 630 – 680 นาโนเมตร (แสงสีแดง) (Gacomelli, 1998) โดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันด้วย ตัวอย่างเช่น ความยาวคลื่นแสง 436 – 495 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) มีความเข้มแสงต่ำ จึงใช้ในการเพาะเมล็ด และการอนุบาลพืช ช่วงความยาวคลื่นแสง 589 – 627 นาโนเมตร (แสงสีส้ม) เป็นช่วงแสงที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด และช่วงแสง 627 – 770 นาโนเมตร (แสงสีแดง) ทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ช่วยเร่งดอก ลำต้น (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยนต์ บุญมี, 2560)

### 2.13.1 ผลของแสงต่อการเจริญเติบโตของกระบองเพชรและพืชอื่น

ในกระบองเพชร *Gymnocalycium* และ *Astrophytum* ที่ปลูกด้วยการพร่างแสง 60% ด้วยตาข่ายสีเงิน 2 ชั้น และการใช้แสง LED สีขาวช่วยให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด (Dangudom *et al.*, 2022) ในกระบองเพชร *Nopatea cochenillifera* ที่ปลูกภายใต้แสงสีแดงมีความสูงลำต้น จำนวนหน่อที่แตกใหม่ และน้ำหนักสดสูงที่สุด (Horibe *et al.*, 2018) กระบองเพชร *Opuntia* สายพันธุ์ Maya มีจำนวนหน่อมากที่สุดภายใต้แสงสีแดง (Horibe *et al.*, 2016) ในใบบับวกสายพันธุ์สารคามก้านเขียวที่ปลูกภายใต้การพร่างแสงด้วยตาข่ายสีดาร์กรองแสง 80% ทำให้ใบบับวกมีจำนวนไหลต่อต้น และจำนวนใบต่อต้นมากที่สุด (ประยงค์ ดันแล และคณะ, 2558) ในงานวิจัยของ คริชรัฐสพล หนูพรหม (2560) พบว่าการปลูกกวาดำภายใต้การพร่างแสงด้วยตาข่ายพร่างแสงสีเขียว 50% เหมาะสมสำหรับการผลิตกวาดำอินทรีย์ เพราะทำให้ผักกวาดำมีความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนใบ ความสูงต้น และน้ำหนักต้นมากที่สุด ขานนท์ ลากจิตร (2560) ได้ศึกษาผลของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แดง และ น้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของผักบุงจิ้นที่ปลูกในระบบอะควาโพนิกใช้หินศิลาแลงเป็นวัสดุปลูก พบว่า หลอดไฟแอลอีดีแสงสีแดงผสมสีน้ำเงินให้ความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของราก และค่า SPAD สูงที่สุด ขณะที่กษิณีเดซ อ่อนสร และคณะ (2563) ได้ศึกษาอิทธิพลของแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด 4 ชนิด ได้ทำการทดลองโดยนำผักสลัด 4 ชนิด ได้แก่ เรดโอ๊ค คอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรีนโครอล และกรีนไธค ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่มีการให้แสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสง จำนวน 3 สี ได้แก่ แสงสีขาว (W) แสงสีแดง (R) และแสงสีน้ำเงิน (B) เพื่อหาความเหมาะสมของแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด 4 ชนิด พบว่า การให้แสง 2W1B2R ทำให้ผักสลัดทั้ง 4 ชนิด มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวใบและความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด และการให้แสงสีขาว (W) ทำให้ผักสลัดทั้ง 4 ชนิด มีความกว้างใบ น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์รวมสูงที่สุด

## 2.14 ผลของแสงต่อสารชีวเคมีในพืช

### 2.14.1 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบมากในพืชชั้นสูง เช่น ผักใบเขียว และผลไม้ดิบบางชนิด ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญในพืช มีหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยดูดพลังงานแสง คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ แล้วเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรต (พวงผกา สุนทรชัยนาคแสง, 2557) คลอโรฟิลล์ที่มักพบในพืชชั้นสูงมี 2 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ในอัตรา 3:1 (Wrolstad, 2000) โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วยอะตอมของแมกนีเซียม (Mg) ตรงกลาง แล้วล้อมรอบด้วยอะตอมของไนโตรเจน เรียกว่า วงแหวนเพอร์ไฟริน (porphyrin ring) และในส่วนของหางเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาว เรียกว่า สายโซ่ไฟทอล (phytol) (Melissa, 2022) ความแตกต่างระหว่างคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี คือคลอโรฟิลล์เอติดกับหมู่เมทิล ( $-CH_3$ ) ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุหลักในการสังเคราะห์แสง โดยจะดูดซับแสงสีม่วงน้ำเงิน และสีส้มแดง สีของคลอโรฟิลล์เอคือสีเขียวอมฟ้า (Lorin, 2019) รวมไปถึงคลอโรฟิลล์เอ เป็นสารไม่มีขั้ว จึงละลายได้ดีในสารละลายที่ไม่มีขั้ว (Hojnik *et al.*, 2007) ขณะที่คลอโรฟิลล์บีติดอยู่กับหมู่อัลดีไฮด์ ( $-CHO$ ) ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุรองในการสังเคราะห์แสง ซึ่งดูดซับแสงสีฟ้า และคลอโรฟิลล์บี มีสีเขียวอมกอก (Lorin, 2019) คลอโรฟิลล์บีเป็นสารมีขั้ว จึงละลายได้ในตัวทำละลายที่มีขั้ว และในน้ำได้ (Hojnik *et al.*, 2007)

### 2.14.2 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการสร้างและสลายตัวของคลอโรฟิลล์

สารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการสร้างและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ได้แก่ เอทิลีน (ethylene) โดยเอทิลีนเป็นตัวเริ่มต้นและตัวกระตุ้นให้เกิดกระบวนการชราภาพ ซึ่งเปลี่ยนแปลงสีของใบ อันเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และมีการสร้างแอนโทไซยานิน หรือแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น โดยเอทิลีนทำให้คลอโรพลาสต์เปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาสต์ ทำให้สีเขียวของพืชหายไป ขณะที่จิบเบอเรลลิน (gibberellin; GA) มีผลตรงข้ามกับเอทิลีน โดยทำให้เกิดกระบวนการแก่ และพัฒนาสีข้าง เนื่องจาก GA ชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ กรดแอบซิสสิก (abscisic acid; ABA) มีผลกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เมื่อต้นพืชเข้าสู่ระยะชราภาพ (senescence) ระดับของกรดแอบซิสสิกเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสีของใบ และออกซิน (Auxin) มีผลทั้งกระตุ้นและชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยถ้าใช้ความเข้มข้นน้อยมีผลชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูง ออกซินมีผลเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์โดยไปกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีน และเอทิลีนมีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; ดนัย บุญเกียรติ, 2540) จากการศึกษาของ Ramteke *et al.* (2016) พบว่า การแช่เมล็ดมะละกอใน  $GA_3$  ที่ความเข้มข้น 200 ppm ที่ปลูกในวัสดุปลูก ดิน: ทราย: ขุยมะพร้าว: มูลไส้เดือน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของต้นกล้ามะละกอมากที่สุด

### 2.14.3 แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

เป็นรงควัตถุที่อยู่ในโครโมพลาสต์ (chromoplast) (Soliman, 2010) ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายไขมัน (อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงแสง, 2556) ซึ่งปัจจุบันมีการค้นพบมากกว่า 600 ชนิด (Soliman, 2010) และพบในพืชมากกว่า 100 ชนิด เป็นสารประกอบ tetraterpene มีจำนวนคาร์บอน 40 อะตอม (Maoka, 2020) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ไลโคปีน (lycopene) ให้สีแดง แคโรทีน (carotene) ให้สีส้ม และแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ให้สีเหลือง แต่หากโมเลกุลของไลโคปีน และแคโรทีนถูกออกซิไดซ์จะทำให้เกิดสีน้ำตาล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) แคโรทีนอยด์พบได้ทั้งในส่วนที่มีสีเขียว และไม่มีสีเขียว ในกรณีที่มีสีเขียวมาก จะพบแคโรทีนอยด์มาก แคโรทีนอยด์ทำหน้าที่ในการเก็บพลังงานแสง แล้วส่งไปยังคลอโรฟิลล์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง และทำหน้าที่กระจายแสงออกไปเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อพืช ถ้าพืชขาดแคโรทีนอยด์ พลังงานแสงจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระแล้วทำให้พืชตาย (ภาณุพล หงษ์ภักดี, 2565)

### 2.14.4 โพรลีน (Proline)

หากพืชได้รับความเข้มแสงสูง หรือต่ำเกินไปส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Critchley, 1981) โดยภายใต้สภาวะเครียดจากแสงเกิดจากความไม่สมดุลระหว่างการรับแสง และการใช้ประโยชน์จากแสง (Huner *et al.*, 1998) พืชจึงได้สร้างกลไกที่ช่วยลดความเสียหายอันเกิดจากแสง ได้แก่ การสร้างสารมาค้ำจัดอนุมูลอิสระในเซลล์ เช่น สร้างเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) คะตะเลส (catalase) เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และเพิ่มการสะสมสารที่ช่วยปรับสมดุลออสโมติกภายในเซลล์ (compatible solute) เช่น โพรลีน น้ำตาล เป็นต้น (steyn *et al.*, 2002)

### 2.14.5 มัลลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde)

ความเข้มแสงที่สูงหรือต่ำเกินไปนอกจากจะมีผลต่อขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในช่วงการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในระบบแสงสอง (photosystem II; PSII) โดยไปรบกวนศูนย์กลางปฏิกิริยาแสง (photosynthetic reaction center) (Jones & Kok, 1966) และทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Critchley, 1981) ภายใต้สภาวะเครียดจากแสงจะเกิดความไม่สมดุลระหว่างการรับแสงและการใช้ประโยชน์จากแสง (Huner *et al.*, 1998) โดยปริมาณสารที่บ่งชี้ถึงสภาพเครียดของพืชที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนหนึ่งเกิดจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ที่เกิดจากการทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัวอันเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (steyn *et al.*, 2002)

## 2.15 สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

**2.15.1 ฮอโมนพืช (Plant Hormones; Phytohormones)** เป็นสารที่พืชสร้างขึ้นในปริมาณน้อยโดยกระบวนการทางชีววิทยาของพืช ซึ่งมีผลต่อบริเวณที่สร้างขึ้นหรือเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆของพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

**2.15.2 สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช (Plant Growth Regulators; PGRs)** หมายถึงสารเคมีใดๆ ที่พืชผลิตขึ้นเองและไม่ได้ผลิตโดยพืช ซึ่งมีผลในด้านการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้งในทางส่งเสริมและยับยั้งการเจริญเติบโต รวมทั้งสามารถทำงานได้ที่ความเข้มข้นต่ำ แต่จะต้องไม่ใช่สารอาหารพืช (พีรเดซ ทองอำไพ, 2537) โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช แบ่งออกเป็น 7 กลุ่มคือ ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน เอทิลีน สารชะลอการเจริญเติบโตของพืช สารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และสารอื่นๆ (ภูวนาถ นนทริย์, 2532) โดยเฉพาะสารในกลุ่ม ออกซิน (Auxin) และจิบเบอเรลลิน (Gibberellins) มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป

### 1) ออกซิน (Auxin)

ออกซินส่งผลในระดับเซลล์โดยทำให้เกิดการขยายขนาดของเซลล์ (cell enlargement) นอกจากนั้นยังมีการส่งผลต่ออวัยวะ หรือพืชทั้งต้นด้วย ซึ่งเกี่ยวกับการตอบสนองต่อแสงคือ การโค้งงอเข้าหาแสง (phototropism) การเกิดราก การที่ตายอดข่มไม่ให้ตาข้างเจริญเติบโต (apical dominance) การออกดอก การติดผล และการพัฒนาของผล การเกิดผลที่ไม่มีเมล็ด (parthenocarpic) ป้องกันการร่วงของผล โดยออกซินจะยับยั้งไม่ให้เกิดรอยแยก (abscission layer) ขึ้นมา ป้องกันการร่วงของใบ ปรับเปลี่ยนสัดส่วนของเพศดอก การสร้างเอทิลีน และหากใช้ความเข้มข้นสูงทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ทำให้ใบ และผลร่วง หรือต้นตายได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2559) ออกซินที่พบในธรรมชาติมี 3 ชนิด คือ IAA (indole-3-acetic acid), IBA (Indole-3-butyric) และ 2-phenylacetic acid (PAA) ออกซินที่ได้จากการสังเคราะห์แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ IBA, IAA และ 2,4-D เป็นต้น (Hopkins, 1999)

### 2) จิบเบอเรลลิน (Gibberellins)

จิบเบอเรลลินมีบทบาทและหน้าที่ต่อสรีรวิทยาของพืช ได้แก่ กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยทำให้เกิดการยืดตัวของเซลล์ โดยพืชบางชนิดอาจจะไม่ตอบสนองต่อจิบเบอเรลลินที่ได้จากภายนอกอาจเป็นเพราะว่าในพืชชนิดนั้นมีปริมาณจิบเบอเรลลินเพียงพอแล้ว กระตุ้นการงอกของตาที่พักตัว และเมล็ดที่พักตัว กระตุ้นการเกิดดอก (flower initiation) โดย GA สามารถทดแทนความยาวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่จำเป็นต่อการออกดอกในพืชบางชนิด และทดแทนความต้องการความหนาวเย็นในการกระตุ้นการออกดอก (vernalization) ในพืชบางชนิดอีกด้วย (นพตล จรัสสัมฤทธิ์, 2537) ยับยั้งการออกดอกในพืชในไม้ผลส่วนมากขณะที่เกิดการสร้างตาออกปริมาณ GA ที่ปลายยอดจะอยู่ในปริมาณต่ำ กระตุ้นการลำเลียงอาหารและแร่ธาตุอาหารในเซลล์สะสมอาหารของเมล็ด ช่วยทำให้พืชบางชนิดเกิดการพัฒนาของผลแบบไม่มีเมล็ด (parthenocarpy) ช่วยให้อุ่นที่ไม่มีเมล็ดมีผลขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้อุ่นหลายสายพันธุ์มีขนาดใหญ่ขึ้น ช่อผลยืดยาวและผลในช่อโปร่งมากขึ้น การแสดงออกของเพศดอก GA<sub>3</sub> เข้มข้น 50 – 500 ppm จะทำให้ช่อดอกของก่อ (*Chinese chestnut*) มีจำนวนดอกตัวผู้ลดลงและมีจำนวนดอกตัวเมียมากขึ้น แต่ในตระกูลแตง เช่น แตงกวา ฟักทองมีการชักนำให้สร้างดอกตัวผู้เพิ่มมากขึ้น (พีรเดช ทองอำไพ, 2537)

### 3) ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของกระบองเพชรและไม้อวบน้ำชนิดต่างๆ

Kumari *et al.* (2011) รายงานว่าในสับดูต้าที่แช่ด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้อัตราการงอกดีที่สุด นอกจากนั้นแล้วยังทำให้ความยาวหน่อ และจำนวนใบมากที่สุด ในชวนชม พบว่าการใช้ GA<sub>3</sub> 200 ppm ร่วมกับการปลูกใน ทราย: ปุ๋ยคอก ทำให้มีความยาวราก ขนาดของโหนด ความยาวใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด (Bijewar *et al.*, 2021) จากการศึกษาของ Nargaraja and Farooqi (1989) พบว่า การใช้ GA<sub>3</sub> ที่ 100 ppm ทำให้ไม้ยางหอม (*Bursera penicillate*) มีความยาวราก และน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุด ในขณะที่ GA<sub>3</sub> ที่ 150 ppm ให้น้ำหนักแห้งของหน่อมากที่สุด นอกจากนั้นแล้วการใช้ IBA ที่ 150 ppm ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดในต้นกล้าทางนงยูงฝรั่งที่ได้รับ GA<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้น 750 ppm ส่งผลให้ความสูง จำนวนก้านใบประกอบ ความยาวราก น้ำหนักมวลสด และน้ำหนักมวลแห้งมากที่สุด (Sandeep *et al.*, 2016) และการแช่เมล็ดผักกาดร่วมกับ GA<sub>3</sub> 150 ppm ผสม IAA 80 ppm ส่งผลให้มีความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งดีที่สุด (ธนาคาร กาวดิลก, 2560) ในขณะที่ Kosinwattana & Anuwong (2023) พบว่าการใช้ IBA ที่ความเข้มข้น 150 ppm ในการแช่หัวพันธุ์บอนสีที่เกิดจากการผ่าแบ่งทำให้ชิ้นส่วนของหัวมีอัตราการรอดชีวิต การงอกของตา ความสูงลำต้น ความกว้างของทรงพุ่ม และจำนวนใบมากที่สุด

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การเตรียมพืชทดลอง

ใช้กระบองเพชร 4 สกุล ได้แก่ *A. asterias*, *E. grusonii*, *M. geometrizzans*, และ *T. alonsoi* เนื่องจากมีอัตราการงอกที่ต่ำ ได้แก่ *M. geometrizzans* และ *T. alonsoi* และมีการเจริญเติบโตช้า ได้แก่ *A. asterias* และ *E. grusonii* โดยทำการเก็บจากผลกระบองเพชรที่มีความสุกแก่เต็มที่ นำมาล้างทำความสะอาด และผึ่งให้แห้งในที่ร่ม

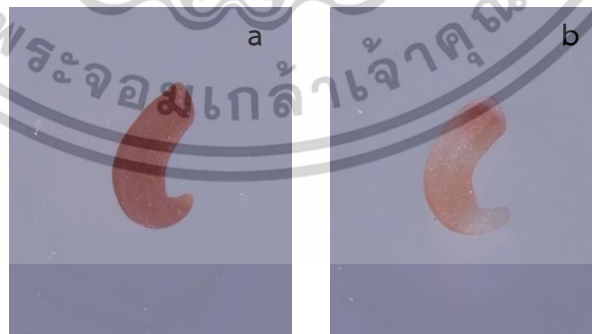
### 3.2 การตรวจสอบ และวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ก่อนการกระตุ้นการงอก

#### 3.2.1 น้ำหนักเมล็ด (กรัม/100เมล็ด) ชั่งบนเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

#### 3.2.2 การตรวจสอบความมีชีวิตทางชีวเคมีภายในเมล็ด

ทำการตรวจสอบความมีชีวิตทางชีวเคมีภายในเมล็ด ตามวิธีการของ สมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (Delouche *et al.*, 1962; ISTA, 2003) โดยเตรียมสารละลาย tetrazolium โดยชั่ง 2,3,5 triphenyl tetrazolium chloride จำนวน 0.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำเมล็ดแช่น้ำกลั่นทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน ผ่าเมล็ดตามความยาวของเมล็ดผ่านกึ่งกลางของ embryo แล้วนำเมล็ดแช่ในสารละลาย tetrazolium เก็บไว้ในอุณหภูมิ 30 °C ในที่มืดเป็นเวลา 1 คืน หลังจากนั้นนำไปส่องใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยถ้าหากเนื้อเยื่อในส่วนที่มีความสำคัญต่างๆ ติดสีแดง เมล็ดนั้นจะถูกประเมินให้อยู่ในกลุ่มเมล็ดที่มีชีวิต หลังจากนั้นมาคำนวณตามสูตรเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของเมล็ด

เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิต (%) = จำนวนเมล็ดที่ติดสี/จำนวนเมล็ดที่ใช้ในการทดลอง × 100



รูปที่ 3.1 การติดสีของเนื้อเยื่อที่แสดงออกถึงความมีชีวิต เมล็ดที่มีชีวิต (a) และ เมล็ดไม่มีชีวิต (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ (%) ตามสูตรของ Lima & Meiado (2017)

ชั่งน้ำหนักเมล็ดจำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 25 เมล็ด หลังจากนั้นนำเมล็ดไปแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเมล็ดมาทำให้แห้ง และนำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณตามสูตรของ Lima & Meiado (2017)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ (IP)} = (\text{เมล็ดหลังจากดูดน้ำ} - \text{เมล็ดก่อนการดูดน้ำ}) \times 100$$

## 3.3 วิธีการทดลอง

### 3.3.1 การทดลองที่ 1 ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชร

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Designs; CRD) จำนวน 4 กรรมวิธีๆ ละ 6 ซ้ำๆ ละ 30 เมล็ด ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 หวานเมล็ดลงบนวัสดุปลูก (กรรมวิธีควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 การแช่น้ำ แช่เมล็ดนาน 24 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 3 การแช่ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 500 ppm แช่เมล็ดนาน 24 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 4 การแช่กรดซัลฟิวริก 50 เปอร์เซ็นต์ แช่เมล็ดนาน 30 นาที

ปลูกในระบบปิด โดยใช้ภาชนะเป็นกล่องพลาสติกใสทรงกลมที่มีฝาปิด ใช้วัสดุเพาะเป็น พีทมอส:ทราย ในอัตราส่วน 1: 1 โดยปริมาตร ใส่วัสดุเพาะในปริมาตร 150 มิลลิลิตร ใส่ปุ๋ยละลายช้า และสารกำจัดแมลงชนิดเม็ด (ไดโนทีฟูแรน) ลงไปพร้อมกับวัสดุปลูก ทำการหว่านเมล็ดลงบนวัสดุปลูก และให้น้ำที่ผสมสารกำจัดเชื้อรา (แคปทาไซค์) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร โดยวิธีการพ่น ปิดฝาภาชนะเพาะ

#### 3.3.1.1 การบันทึกผลการทดลอง

##### 1) บันทึกการงอกของเมล็ด

1.1) การวิเคราะห์กิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase ทำการวิเคราะห์ในวันที่ 1 และวันที่ 7 หลังการเพาะเมล็ด

##### 1.1.1) เพาะเมล็ด

ทำการเพาะบนกระดาษเพาะเมล็ด โดยทำการเตรียมกระดาษเพาะหนา 2-3 ชั้น พ่นน้ำลงบนกระดาษเพาะให้ชุ่ม หวานเมล็ดลงบนกระดาษ หลังจากนั้นนำไปวางในโรงเรือนระบบเปิดที่มีการพรางแสง 50% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

##### 1.1.2) การเตรียมตัวอย่าง

โดยทำตามวิธีการของ Bernfeld (1955) นำเมล็ดจำนวน 50 เมล็ดที่ได้จากการเพาะในวันที่ 1 และวันที่ 7 มาอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 50 – 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผึ่งให้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง ใส่ถุงพลาสติก แล้วนำไปใส่ในกล่องที่มีสารป้องกันความชื้นอยู่ด้วย นำไปเก็บในอุณหภูมิ 25 °C

#### 1.1.3) วิธีการสกัดเอนไซม์อะมิเลส

นำเมล็ดที่บดมาชั่งตัวอย่างละ 0.05 กรัม ใส่ในหลอดหลอดเซนต์ปีฟาร์ก เติมน้ำบัฟเฟอร์ (Tris-HCl buffer) ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท แล้วจึงนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 60 นาที ดูดส่วนใสของสารละลายเอนไซม์มาใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร แล้วทำ ปริมาตรให้เป็น 2 มิลลิลิตร โดยใช้ทริน-บัฟเฟอร์ แล้วนำสารละลายใส่ขวดขนาดเล็ก และเก็บในตู้แช่แข็ง

#### 1.1.4) การทำกราฟมาตรฐานน้ำตาลมอลโทสกับสารละลาย DNS

โดยทำการเปรียบเทียบเป็นปริมาณน้ำตาลมอลโทส ความเข้มข้น 0 – 1.0 มิลลิลิตร โดยใช้ความสัมพันธ์ของ ความเข้มข้นของมอลโทส (แกน y) กับค่า absorbance (แกน x) ได้หน่วยเป็นไมโครโมล/มิลลิลิตร โดยใช้สารละลายมาตรฐานมอลโทส ตั้งแต่ความเข้มข้น 0 – 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดสอบ 15 มิลลิลิตร ทำ Blank ควบคู่ไปด้วย โดยไม่เติมสารละลายมาตรฐาน มอลโทส จากนั้นเติมน้ำกลั่น และ DNS reagent ลงไปอย่างละ 1 มิลลิลิตร/หลอด เขย่าให้เข้ากันดี แล้ว ปิดด้วยฟอยด์ นำหลอดไปวางในน้ำเดือดนาน 5 นาที จากนั้นทำให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น ลงในหลอดละ 10 มิลลิลิตร เขย่าแล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ปริมาตรสารและสารต่างๆ ที่ใช้สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี DNS

สารที่ใช้ (มล.)	หลอดที่				
	Blank	1	2	....	10
สารละลายมาตรฐานมอลโทส	-	0.1	0.2	....	1.0
น้ำกลั่น	1.0	0.9	0.8	....	-
DNS reagent	1.0	1.0	1.0	....	1.0
แช่ในน้ำเดือด 5 นาทีแล้วแช่น้ำเย็นทันที					
เติมน้ำกลั่นเมื่อสารเย็นถึงอุณหภูมิห้อง	10.0	10.0	10.0	....	10.0
เขย่าแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร					

#### 1.1.5) การวัดกิจกรรมของ $\alpha$ -amylase

ตามวิธีของ Bernfeld (1955) โดยนำสารละลายตัวอย่างมาละลาย แล้วเจือจาง 10 เท่า จากนั้นให้เปิดสารละลายที่เจือจางแล้ว 0.5 มิลลิลิตร ไปแช่ที่ 37 °C นาน 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Blank ให้ใช้ทริสบัฟเฟอร์แทนสารละลายตัวอย่าง) หลังจากนั้นให้ใส่สารละลายแป้งเข้มข้น 1% (w/v) ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้น และได้แช่ไว้ที่ 37 °C ไว้แล้วลงไปในแต่ละหลอด หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร ทำการเขย่า และแช่ต่อไปอีกที่ 37 °C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบ 30 นาที แล้วให้เติม DNS reagent 1.0 มิลลิลิตร ลงไปพร้อมทั้งเขย่าทันที เมื่อสารละลายเย็นถึงอุณหภูมิห้อง ให้เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดความดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

1.2) เปอร์เซ็นต์การงอก (The germination percentage; GP) จากสูตร Kader (2005) บันทึกหลังจากเพาะเมล็ดทุกๆ 7 วัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

$$GP (\%) = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติที่งอก}}{\text{เมล็ดที่เพาะ}} \times 100$$

1.3) เวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time; MGT) จากสูตร (Al-Ansari & Ksiksi, 2016; Kader, 2005) บันทึกการงอกของเมล็ดทุกวัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และนำข้อมูลการงอกมาคำนวณหาเวลาเฉลี่ยการงอก

$$MGT (\text{วัน}) = \frac{(G_1 \times D_1 + G_2 \times D_2 + \dots + G_n \times D_n)}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติทั้งหมด}}$$

$G_{1,2,\dots,n}$  คือ จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกวันที่ 1, 2, ..., n (n = 30)

$D_{1,2,\dots,n}$  คือ จำนวนวันที่ 1, 2, ..., n หลังจากวันเพาะเมล็ด (n = 30)

## 2) บันทึกการเจริญเติบโตของต้นกล้า

2.1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร) ทำการบันทึกทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดตามแนวนอนของลำต้นกระบองเพชร

2.2) ความสูงของลำต้น (มิลลิเมตร) ทำการบันทึกทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้ไม้บรรทัดวัดจากผิวดินสู่จุดสูงสุดของลำต้นกระบองเพชร

2.3) ความยาวราก (มิลลิเมตร) ทำการบันทึกในสัปดาห์ที่ 8 ของการเพาะเมล็ด โดยวัดจากบริเวณโคนต้นไปยังบริเวณส่วนปลายของราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4) ความแข็งแรงของต้นกล้า (seeding vigour index; SVI) ดัดแปลงจากสูตร Al-Ansari and Ksiksi (2016) บันทึกหลังจากการเพาะเมล็ดนาน 8 สัปดาห์

$$SVI = \text{เปอร์เซ็นต์การงอก (\%)} \times (\text{ค่าเฉลี่ยความยาวราก} + \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น})$$

2.5) น้ำหนักสด (มิลลิกรัม) นำต้นกล้ากระบองเพชร ซึ่งกระบองเพชรด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2.6) น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม) นำต้นกล้ากระบองเพชรเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 วัน และนำไปชั่งบนเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

### 3.3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธีโดยวิธี Least Significant Difference Test (LSD) ในระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistix 10.0

### 3.3.2 การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสงจากหลอดไฟแอลอีดีต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชร

ใช้เมล็ดกระบองเพชร 4 สกุล โดยให้แสงสว่างจากหลอดไฟแอลอีดี (แสงสีแดง, น้ำเงิน, เขียว ใช้หลอดไฟ EVE lighting รุ่น A60 High power LED 6W 220V ; แสงสีขาว ใช้หลอดไฟ LAMPTAN รุ่น Bulb bright 6W 6500K 220-240V) โดยเปิดวันละ 12 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 แสงธรรมชาติ (กรรมวิธีควบคุม) (ความเข้มแสง  $213.31 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

กรรมวิธีที่ 2 การให้แสงสีแดง (ความเข้มแสง  $15.46 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; ความยาวคลื่น 630 nm )

กรรมวิธีที่ 3 การให้แสงสีน้ำเงิน (ความเข้มแสง  $19.14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; ความยาวคลื่น 470 nm)

กรรมวิธีที่ 4 การให้แสงสีเขียว (ความเข้มแสง  $15.41 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; ความยาวคลื่น 520 nm)

กรรมวิธีที่ 5 การให้แสงสีขาว (ความเข้มแสง  $157.41 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; ความยาวคลื่น 460 nm)

ปลูกในระบบปิด โดยใช้ภาชนะเป็นกล่องพลาสติกใสทรงกลมที่มีฝาปิด ใช้วัสดุเพาะเป็น พีทมอส:ทราย ในอัตราส่วน 1: 1 โดยปริมาตร ใส่วัสดุเพาะในปริมาตร 150 มิลลิลิตร ใส่ปุ๋ยละลายช้า และสารกำจัดแมลงชนิดเม็ด (ไดโนทีฟูแรน) ลงไปพร้อมกับวัสดุปลูก ทำการหว่านเมล็ดลงบนวัสดุปลูก และให้น้ำที่ผสมสารกำจัดเชื้อรา (แคปทาไซด์) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร โดยวิธีการพ่น ปิดฝาภาชนะเพาะ

### 3.3.2.1 การบันทึกผลการทดลอง

#### 1) บันทึกด้านการงอกของเมล็ด

ทำการบันทึกด้านการงอกของเมล็ด ได้แก่ กิจกรรม  $\alpha$ -amylase, เปอร์เซ็นต์การงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

#### 2) การบันทึกผลการด้านการเจริญเติบโต

2.1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น, ความสูงของลำต้น, ความยาวราก และความแข็งแรงของต้นกล้า เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.2) วัดค่าสีลำต้น บันทึกหลังเพาะเมล็ดนาน 4 สัปดาห์ วัดโดยใช้แอปพลิเคชัน Colorimeter การวัดค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) เป็นที่นิยมในการประเมินลักษณะปรากฏของตัวอย่างที่ทำการศึกษาโดยค่า  $L^*$  ที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า  $L^*$  เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ ส่วนค่า  $a^*$  ที่เป็นค่าบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ค่า  $a^*$  ที่เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว และในค่า  $b^*$  ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ค่า  $b^*$  เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (สุนทรี สมแสง, 2550)

#### 3) วิธีการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์หลังปลูกนาน 4 สัปดาห์

จากวิธีการของ Lichtenthaler & Buschman (2001) โดยใช้ต้นกล้าสด 0.2 กรัม มาบดให้ละเอียด แล้วเติมอะซิโตน 80% 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรองในกรวยแก้ว และปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 15 มิลลิลิตร โดยการเติมอะซิโตน 80% นำสารละลายที่มีคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี อย่างละ 3 มิลลิลิตร ใส่ลงในคิวเวต และวัดค่าการดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นของคลอโรฟิลล์เอ ที่ความยาวคลื่นแสง 663.3 นาโนเมตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์บีที่ความยาวคลื่นแสง 646.8 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง spectrophotometer

$$\text{Chl}_a \text{ (mg/ml)} = (12.5 \times A_{663.2}) - (2.79 \times A_{646.8})$$

$$\text{Chl}_b \text{ (mg/ml)} = (21.51 \times A_{646.8}) - (5.1 \times A_{663.2})$$

$$\text{Chl}_T \text{ (mg/ml)} = \text{Chl}_a + \text{Chl}_b$$

หมายเหตุ:  $\text{chl}_a$ ,  $\text{chl}_b$  และ  $\text{chl}_T$  คือ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม โดย  $A_{663.2}$  และ  $A_{646.8}$  ย่อมาจากการดูดกลืนแสงที่ 663.2 nm (คลอโรฟิลล์เอ) และ 646.8 nm (คลอโรฟิลล์บี)

### 3.3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธี โดยวิธี Least Significant Difference Test (LSD) ในระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรม Statistix 10.0

### 3.3.3 การทดลองที่ 3 ผลของจำนวนชั่วโมงในการให้แสงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร

ใช้ต้นกล้าของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล ที่มีอายุ 2 เดือน โดยให้แสงสีที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 จากหลอดไฟหลอดไฟแอลอีดี (LAMP TAN รุ่น bulb new gloss ขนาด 27 W) ที่ความเข้มแสง  $361.10 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ให้ในปริมาณชั่วโมงที่แตกต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 5 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 40 ต้น ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 แสงธรรมชาติที่มีการพร่างแสง 50 % (กรรมวิธีควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ได้รับแสง LED นาน 12 ชั่วโมง/วัน

กรรมวิธีที่ 3 ได้รับแสง LED นาน 16 ชั่วโมง/วัน

กรรมวิธีที่ 4 ได้รับแสง LED นาน 20 ชั่วโมง/วัน

กรรมวิธีที่ 5 ได้รับแสง LED นาน 24 ชั่วโมง/วัน

ปลูกในระบบปิด โดยใช้ภาชนะเป็นกล่องพลาสติกใสสีเหลี่ยมที่มีฝาปิด ใช้วัสดุปลูกเป็น พีทมอส 2 ส่วน: หินภูเขาไฟ 1 ส่วน: เพอร์ไลต์ 1 ส่วน ใส่วัสดุเพาะในปริมาตร 300 มิลลิลิตร ใส่ปุ๋ยละลายช้าและสารกำจัดแมลงชนิดเม็ด (ไดโนทีฟูแรน) ลงไปพร้อมกับวัสดุปลูก และให้น้ำปริมาตร 80 มิลลิลิตร ทำการปักดำต้นกล้าให้มีระยะห่างเท่าๆ กัน ปิดฝาภาชนะ หลังจากนั้นนำไปวางภายในกล่องพลาสติกที่ปิดทึบ โดยให้ได้รับแค่แสงจากหลอดไฟแอลอีดีเท่านั้นสำหรับกรรมวิธีที่ให้แสง และภายในโรงเรือนที่ได้รับการพร่างแสง 50% โดยอุณหภูมิภายในกล่อง และภายในโรงเรือน 30 องศาเซลเซียส

#### 3.3.3.1 การบันทึกผลการทดลอง

##### 1) การบันทึกผลด้านการเจริญเติบโต

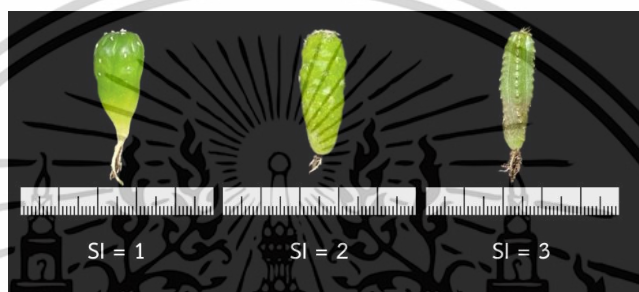
1.1) ความสูงของลำต้น, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น, จำนวนราก, ความยาวราก, น้ำหนักสดของลำต้นกระบองเพชร และน้ำหนักแห้งของลำต้นกระบองเพชร ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

1.2) จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่ ทำการบันทึกในทุกๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยนับจำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่ในทุกๆ เดือน

1.3) วัดค่าสีลำต้น บันทึกหลังปลูกนาน 4 เดือน ใช้วิธีการเดียวกับ การทดลองที่ 2

1.4) ดัชนีรูปทรงกระบอกเพชร (Shape Index; SI) บันทึกหลังจากได้รับช่วง แสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน ดัดแปลงจากสูตรของ Sosa–Pivatto *et al.* (2014) โดยคำนวณจาก

$$\text{ดัชนีรูปทรงกระบอกเพชร (SI)} = \frac{\text{ความสูงของลำต้น}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น}}$$



รูปที่ 3.2 ดัชนีรูปทรงกระบอกเพชร

\*\*\*ถ้าหากมีค่าดัชนีรูปทรงกระบอกเพชร (SI) อยู่ในช่วง 1 – 2 จะถือว่าเป็นกระบอกเพชรในกลุ่มไม้ ทรงกลม แต่ถ้าหากมีค่าอยู่ในช่วง 2 – 3 จะถือว่าเป็นกระบอกเพชรในกลุ่มไม้ลำ (รูปที่ 3.2)

2) วิธีการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และ แคโรทีนอยด์ในพืช ทำการวิเคราะห์หลังปลูกนาน 4 เดือน

จากวิธีการของ Lichtenthaler & Buschman (2001) โดยใช้ต้นกล้าสด 0.2 กรัม มาบดให้ละเอียด แล้วเติมอะซิโตน 80% 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรองใน กรวยแก้ว และปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 15 มิลลิลิตร โดยการเติมอะซิโตน 80% นำสารละลาย ที่มีคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์อย่างละ 3 มิลลิลิตร ใส่ลงในคิวเวต และวัดค่าการ ดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นของคลอโรฟิลล์เอ ที่ความยาวคลื่นแสง 663.3 นาโนเมตร วัดค่าการดูดกลืน แสงของคลอโรฟิลล์บีที่ความยาวคลื่นแสง 646.8 นาโนเมตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงของแคโรทีนอยด์ที่ ความยาวคลื่นแสง 470 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง spectrophotometer

$$\text{Chl.}_a \text{ (mg/ml)} = (12.5 \times A_{663.2}) - (2.79 \times A_{646.8})$$

$$\text{Chl.}_b \text{ (mg/ml)} = (21.51 \times A_{646.8}) - (5.1 \times A_{663.2})$$

$$\text{Chl.}_T \text{ (mg/ml)} = \text{Chl.}_a + \text{Chl.}_b$$

$$\text{Car (mg/ml)} = (1000 \times A_{470}) - (1.8 \times \text{Chl.}_a) - (85.02 \times \text{Chl.}_b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: chl<sub>a</sub>, chl<sub>b</sub>, chl<sub>T</sub> และ car คือ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ โดย A<sub>663.2</sub>, A<sub>646.8</sub> และ A<sub>470</sub> ย่อมาจากการดูดกลืนแสงที่ 663.2 nm (คลอโรฟิลล์เอ), 646.8 nm (คลอโรฟิลล์บี) และ 470 นาโนเมตร (แคโรทีนอยด์) ตามลำดับ

### 3) ปริมาณ Malondialdehyde (MDA) (หลังจากการปลูกนาน 4 เดือน)

โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ McCollum & McDonald (1991) ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างพืชสด 0.2 กรัม บดให้ละเอียดแล้วผสมกับ trichloroacetic acid 0.1% 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ 10,000 rpm อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที แล้วดูดสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตรผสมกับ thiobarbituric acid 0.5% 4 มิลลิลิตร ใน trichloroacetic acid 20% นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ 10,000 rpm อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที จึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร

คำนวณหาค่า MAD equivalents (nmol/ml) =  $[(A_{532} - A_{600}) \times 10^6] / 155,000$

เมื่อ Abs<sub>532</sub> คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

Abs<sub>600</sub> คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

155,000 คือ ค่า Extinction coefficient ของ MDA

### 4) ปริมาณโปรตีน (หลังจากการปลูกนาน 4 เดือน)

โดยดัดแปลงจากวิธีของ Bates *et al.* (1973) ชั่งตัวอย่างต้นกล้ากระบองเพชร 0.25 กรัม มาบดให้ละเอียดด้วยโกร่งโดยผสมกับ Sulphosalicylic acid 3% 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ 13,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายใส 1 มิลลิลิตร มาผสมกับ acid-ninhydrine 1 มิลลิลิตร และ glacial acetic acid 1 มิลลิลิตร แล้วต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา 5 นาที ขั้นตอนต่อจากนี้ทำในตู้ดูดควัน เติม toluene 2 มิลลิลิตร หมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง vortex mixer 15-20 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควัน 10 นาที โดยชั้น toluene จะมีสีแยกจากชั้นของน้ำ นำสารละลายในชั้น toluene ที่มีสีชั้นบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้ toluene เป็น Blank

### 3.3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่เก็บบันทึกข้อมูลได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธี โดยวิธี Least Significant Difference Test (LSD) ในระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistix 10.0

### 3.3.4 การทดลองที่ 4 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า

#### กระบองเพชร

ใช้ต้นกล้ากระบองเพชร 4 สกุล และพันธุ์สารควบคุมการเจริญเติบโตความเข้มข้นต่างๆ โดยพันธุ์ต่างๆ เดือน ในปริมาตร 30 มิลลิกรัม/กล่อง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Designs; CRD) จำนวน 5 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 40 ต้น ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 พันธุ์เปล่า (กรรมวิธีควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 พันธุ์ IBA ในอัตรา 100 ppm

กรรมวิธีที่ 3 พันธุ์ IBA ในอัตรา 150 ppm

กรรมวิธีที่ 4 พันธุ์ GA<sub>3</sub> ในอัตรา 100 ppm

กรรมวิธีที่ 5 พันธุ์ GA<sub>3</sub> ในอัตรา 150 ppm

ปลูกในระบบปิด โดยใช้ภาชนะเป็นกล่องพลาสติกใสสีเหลี่ยมที่มีฝาปิด ใช้วัสดุปลูกเป็นพีทมอส 2 ส่วน: หินภูเขาไฟ 1 ส่วน: เพอร์ไลท์ 1 ส่วน ใส่วัสดุเพาะในปริมาตร 300 มิลลิลิตร ใส่ปุ๋ยละลายช้า และสารกำจัดแมลงชนิดเม็ด (ไดโนทีฟูแรน) ลงไปพร้อมกับวัสดุปลูก และทำปักดำต้นกล้าให้มีระยะห่างเท่าๆ กัน ให้สารควบคุมการเจริญเติบโตโดยวิธีการพ่นไปพร้อมกับการให้น้ำ จนวัสดุปลูกอืดด้วยน้ำ ปิดฝาภาชนะ หลังจากนั้นนำไปวางภายในโรงเรือนที่ได้รับการพรางแสง 50% โดยอุณหภูมิภายในโรงเรือน 30 องศาเซลเซียส

#### 3.3.4.1 การบันทึกผลการเจริญเติบโต

##### 1) การบันทึกผลด้านการเจริญเติบโต

1.1) ความสูงของลำต้น, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น, จำนวนราก, ความยาวราก, น้ำหนักสดของลำต้นกระบองเพชร และน้ำหนักแห้งของลำต้นกระบองเพชร ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

1.2) จำนวนตุ่มหนามที่เกิดขึ้นใหม่ และดัชนีรูปทรงกระบองเพชร ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3) ความยาวหนาม (มิลลิเมตร) โดยทำการวัดในกระบองเพชร 3 ชนิด ได้แก่ *E. grusonii*, *T. alonsoi* และ *M. geometrizzans* บันทึกหลังได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตแล้ว นาน 3 เดือน ใช้ไม้บรรทัดวัดจากบริเวณตุ่มหนามที่ยาวที่สุด โดยการสุ่มวัด 3 จุดใน 1 ต้น

2) วิธีการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ ทั้งหมด (ทำการวิเคราะห์หลังปลูกนาน 3 เดือน) โดยใช้วิธีการตามการทดลองที่ 2

### 3.3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่บันทึกทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธี โดยวิธี Least Significant Difference Test (LSD) ในระดับ ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistix 10.0



## บทที่ 4

# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 4.1 การตรวจสอบ และวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์

#### 4.1.1 การประเมินความมีชีวิตของเมล็ดกระบองเพชร (%)

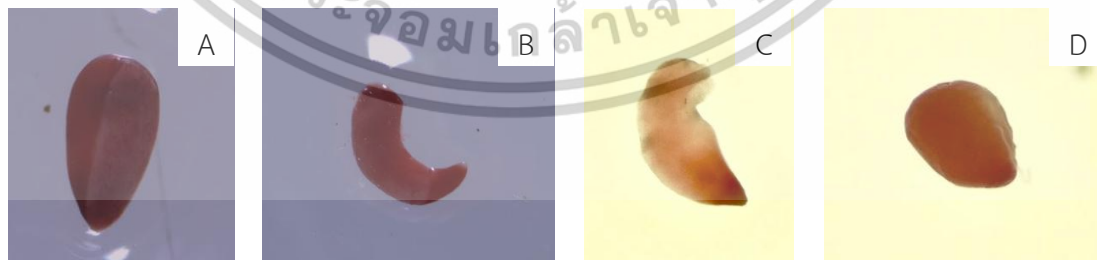
การประเมินความมีชีวิตของเมล็ดกระบองเพชรโดยวิธีการย้อมสีในส่วนของเอ็มบริโอด้วยเตตระโซเลียียม (Tetrazolium test หรือ TZ test) เมล็ดทั้ง 4 สกุล (รูปที่ 4.1) พบว่า *T. alonsoi* มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตมากที่สุดคือ 84.00 % ขณะที่ *E. grusonii* มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตต่ำที่สุดเฉลี่ย 47.06 % (ตารางที่ 4.1) ใน *A. asterias* และ *M. geometrizans* มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตอยู่ที่ 63.33 % และ 53.49 % ตามลำดับ

#### 4.1.2 การทดสอบการดูดน้ำของเมล็ด (%)

เมล็ดก่อนแช่น้ำ พบว่า *A. asterias* มีน้ำหนักมากกว่าสกุลอื่น เฉลี่ย 160.50 กรัม และหลังการแช่น้ำ พบว่า เมล็ด *A. asterias* มีเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำมากที่สุดเฉลี่ย 0.456 % (ตารางที่ 4.1) รองลงมาคือ *M. geometrizans*, *E. grusonii* และ *T. alonsoi* โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำเฉลี่ย 0.025, 0.017 และ 0.015 % ตามลำดับ

#### 4.1.3 น้ำหนักเมล็ด (มิลลิกรัม)

ใน *A. asterias* มีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุดเฉลี่ย 1.63 มิลลิกรัม (ตารางที่ 4.1) รองลงมา ได้แก่ *E. grusonii* เฉลี่ย 0.95 มิลลิกรัม และ *M. geometrizans* เฉลี่ย 0.56 มิลลิกรัม ขณะที่ *T. alonsoi* มีน้ำหนักน้อยที่สุดเฉลี่ย 0.14 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.1 การติดสีของเนื้อเยื่อพืชที่แสดงออกถึงความมีชีวิตและสามารถงอกต่อไปได้ *A. asterias* (A), *E. grusonii* (B), *M. geometrizans* (C) และ *T. alonsoi* (D)

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักเมล็ด เพอร์เซ็นต์ความมีชีวิต และเปอร์เซ็นต์การคุดน้ำของเมล็ดกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล

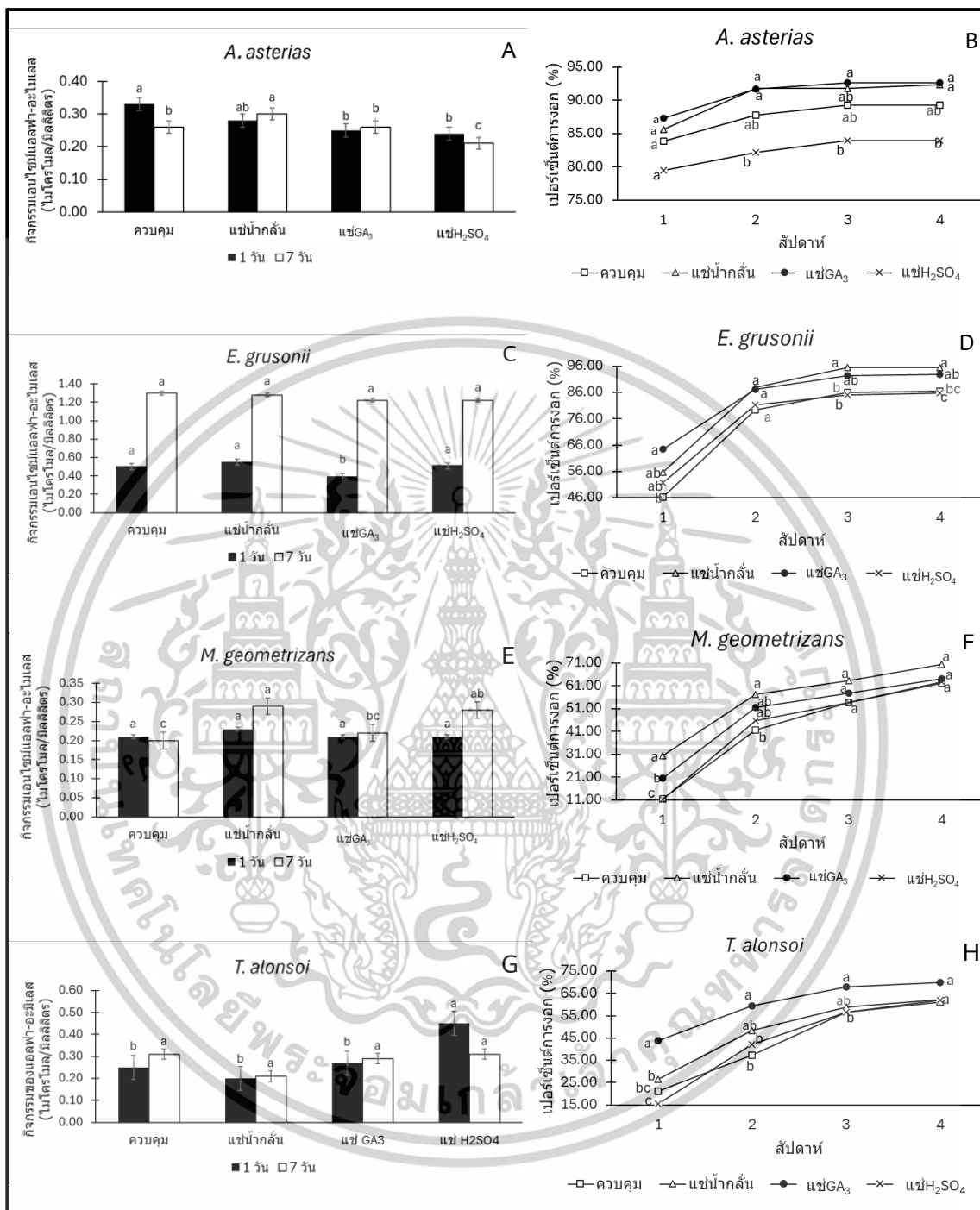
สกุล	เปอร์เซ็นต์การคุดน้ำ (%)	เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิต (%)	น้ำหนักเมล็ด (มิลลิกรัม)
<i>A. asterias</i>	0.456±0.0359	63.33±8.1649	1.63±0.0097
<i>E. grusonii</i>	0.017±0.0086	47.06±5.4772	0.95±0.0030
<i>M. geometrizans</i>	0.025±0.0002	53.49±5.0498	0.56±0.0009
<i>T. alonsoi</i>	0.015±0.0049	84.00±4.5607	0.14±0.0050

## 4.2 การทดลองที่ 1 ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชร

### 4.2.1 การงอกของเมล็ดกระบองเพชร

หลังจากเมล็ด *A. asterias* ได้รับการกระตุ้นด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การแช่น้ำกลั่น, การแช่กรดจิบเบอเรลลิก และการแช่กรดซัลฟิวริก หลังจากหว่านเมล็ดลงบนวัสดุปลูกนาน 1 วัน พบว่า กรรมวิธีควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสสูงที่สุด เฉลี่ย 0.33 ไมโครโมล/มิลลิลิตร แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น คือ 0.28 ไมโครโมล/มิลลิลิตร และการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่นทำให้กิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุดในวันที่ 7 เฉลี่ย 0.30 ไมโครโมล/มิลลิลิตร ขณะที่การแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริกมีกิจกรรมของเอนไซม์ต่ำที่สุด คือ 0.21 ไมโครโมล/มิลลิลิตร (รูปที่ 4.2A) แต่เปอร์เซ็นต์การงอกในสัปดาห์ที่ 1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี หลังจากนั้นการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก (92.67 %) และน้ำกลั่น (92.23 %) ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก (84.00 %) (รูปที่ 4.2B)

ใน *E. grusonii* พบว่า กรรมวิธีควบคุม, การแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก และน้ำกลั่นทำให้กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสสูงกว่าการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิกในวันที่ 1 เฉลี่ย 0.50, 0.51 และ 0.55 ไมโครโมล/มิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.2C) แต่ในวันที่ 7 กิจกรรมของเอนไซม์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี เฉลี่ย 0.63 – 0.67 ไมโครโมล/มิลลิลิตร ขณะที่ในสัปดาห์ที่ 1 การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิกทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด เฉลี่ย 64.50 % แต่กรรมวิธีควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำสุดคือ 46.17 % (รูปที่ 4.2D) ในสัปดาห์ที่ 2 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่เปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี และในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 พบว่า การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่นทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก (95.50 และ 92.83%)



รูปที่ 4.2 กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส และเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดิถระบองเพชร หลังจากรได้รับการกระตุ้นด้วยวิธีการต่างๆ ใน *A. asterias* (A, B), *E. grusonii* (C, D), *M. geometrizans* (E, F) และ *T. alonsoi* (G, H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน *M. geometrizans* พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส ในวันที่ 1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เฉลี่ย 0.21 – 0.23 ไมโครโมล/มิลลิลิตร (รูปที่ 4.2E) แต่ในวันที่ 7 พบว่า การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น มีกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุด เฉลี่ย 0.29 ไมโครโมล/มิลลิลิตร และมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด เฉลี่ย 30.50% (รูปที่ 4.2F) ในขณะที่การแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก และกรรมวิธีควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุด คือ 11.17 และ 11.67% ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 62.33 – 70.50%

ใน *T. alonsoi* พบว่า การแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสมากที่สุด ในวันที่ 1 เฉลี่ย 0.45 ไมโครโมล/มิลลิลิตร (รูปที่ 4.2G) ขณะที่กรรมวิธีควบคุม, การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดซัลฟิวริก ทำให้มีกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสต่ำที่สุด คือ 0.20, 0.25 และ 0.27 ไมโครโมล/มิลลิลิตร ตามลำดับ แต่วันที่ 7 พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยอยู่ในช่วง 0.21 – 0.31 ไมโครโมล/มิลลิลิตร ในสัปดาห์ที่ 1 พบว่า การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกมากที่สุด เฉลี่ย 43.38% (รูปที่ 4.2H) แต่การแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำสุด เฉลี่ย 15.50 % และเปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 61.17 – 70.00%

การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิกทำให้เวลาเฉลี่ยในการงอกต่ำที่สุดใน *A. asterias*, *E. grusonii* และ *T. alonsoi* (ตารางที่ 4.2) และใน *M. geometrizans* ที่แช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้การงอกเร็วที่สุด

#### 4.2.2 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร

ในสัปดาห์ที่ 1 ต้นกล้ากระบองเพชรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงลำต้นไม่แตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 3.68 – 3.73 มิลลิเมตร และ 5.33 – 6.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นกรรมวิธีควบคุม (5.57 มิลลิเมตร), การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น (5.48 มิลลิเมตร) และกรดซัลฟิวริก (5.50 มิลลิเมตร) ทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก (5.20 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4.3A) แต่การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้มีความสูงต้นมากที่สุด เฉลี่ย 16.17 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (12.83 มิลลิเมตร), การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น (13.33 มิลลิเมตร) และการแช่กรดซัลฟิวริก (12.33 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4.3B) นอกจากนั้น การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดซัลฟิวริก ทำให้มีความยาวรากมากที่สุด (5.86 และ 5.50 มิลลิเมตร) แต่การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้ความยาวรากสั้นที่สุด คือ 4.80 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.2) ในขณะที่การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่นทำให้มีความแข็งแรงของต้นกล้า (1,050.60) และน้ำหนักสด (1,298.20 มิลลิกรัม) มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก (843.71 และ 1,191.40 มิลลิกรัม ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกรรมวิธีควบคุม (1,220.10 และ 1,218.20 มิลลิกรัม ตามลำดับ) แต่น้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าอยู่ที่ 28.78 – 31.02 มิลลิกรัม

ใน *E. grusonii* พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้าในสัปดาห์ที่ 1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 2.08 – 2.47 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.3C) หลังจากนั้นการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นสูงที่สุด แต่ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 4.07 มิลลิเมตร ขณะที่สัปดาห์ที่ 7 และ 8 กรรมวิธีควบคุม (4.58 และ 4.68 มิลลิเมตร) และการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น (4.60 และ 4.72 มิลลิเมตร) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก แต่การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิกทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นน้อยที่สุด เฉลี่ย 4.43 และ 4.53 มิลลิเมตร แต่ในทางตรงกันข้ามการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้ความสูงต้นมากกว่ากรรมวิธีอื่น โดยในสัปดาห์ที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 8.83 มิลลิเมตร และสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ย 16.67 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.3D) แต่ความยาวราก และความแข็งแรงของต้นกล้าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 8.29 – 9.31 มิลลิเมตร และ 1,181.20 – 1,241.80 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ในขณะที่การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น มีน้ำหนักสดมากที่สุด เฉลี่ย 2,213.00 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก (2,189.10 มิลลิกรัม) และกรดซัลฟิวริก (2,102.00 มิลลิกรัม) นอกจากนั้นแล้วการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดจิบเบอเรลลิกทำให้มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด เฉลี่ย 39.67 และ 39.20 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก (36.55 มิลลิกรัม)

ใน *M. geometrizzans* พบว่า การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่าการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก และกรรมวิธีควบคุม ในสัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 (รูปที่ 4.3E) แต่สัปดาห์ที่ 4 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี หลังจากนั้นการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มสูงขึ้น จนถึงสัปดาห์ที่ 8 พบว่า กรรมวิธีควบคุม (4.68), การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น (4.72) และกรดซัลฟิวริก (4.77) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด ขณะที่การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิกทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุด คือ 4.53 มิลลิเมตร แต่การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก ทำให้ความสูงกว่ากรรมวิธีอื่น (รูปที่ 4.3F) ขณะที่สัปดาห์ที่ 4, 7 และ 8 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 4 กรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 7.67 – 8.33, 9.17 – 9.67 และ 9.67 – 10.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การแช่กรดซัลฟิวริก, การแช่น้ำกลั่น และกรรมวิธีควบคุม มีความยาวรากมากที่สุด เฉลี่ย 4.08, 3.77 และ 3.63 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) แต่การแช่กรดจิบเบอเรลลิกทำให้ควายาวรากน้อยที่สุด คือ 3.08 มิลลิเมตร ขณะที่ความแข็งแรงของต้นกล้าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 1,182.20 – 1,241.80 นอกจากนั้นแล้วการแช่น้ำกลั่น ทำให้น้ำหนักสดมากที่สุด เฉลี่ย 2,213.00 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วย

กรดจิบเบอเรลลิก และกรดซัลฟิวริก (2,189.10 และ 2,102.00 มิลลิกรัม) ในขณะที่น้ำหนักแห้งมากที่สุด พบในการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดจิบเบอเรลลิก เฉลี่ย 39.67 และ 39.20 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดซัลฟิวริก (36.55 มิลลิกรัม)

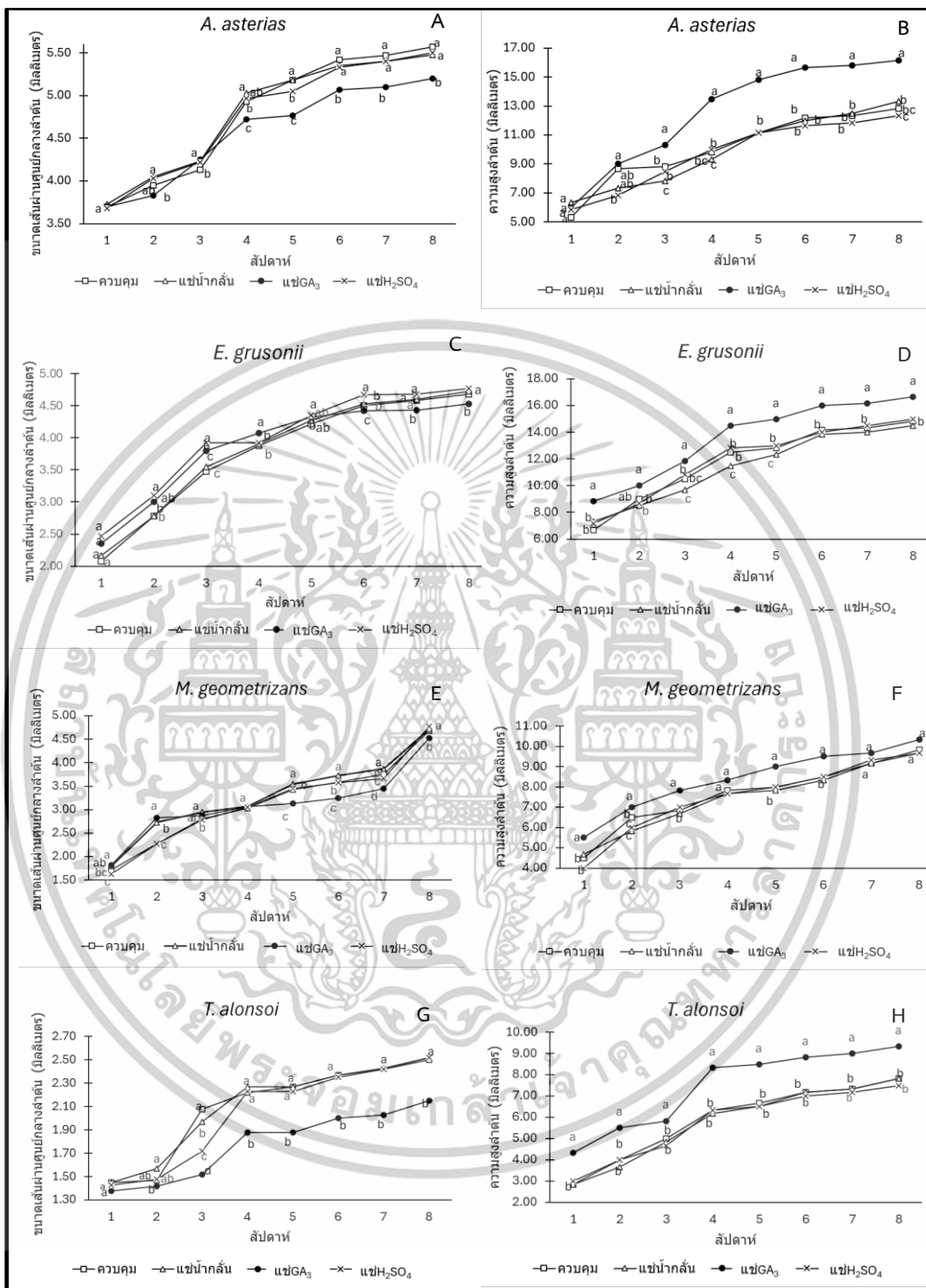
หลังจากการกระตุ้นการงอกของเมล็ด *T. alonsoi* นาน 1 สัปดาห์ พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เฉลี่ย 1.38 – 1.45 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.2G) หลังจากนั้นกรรมวิธีควบคุม การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดซัลฟิวริก ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก (2.50, 2.52 และ 2.52 มิลลิเมตร ตามลำดับ) แต่การแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิกทำให้ความสูงลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 9.33 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.2H) ความยาวรากและความแข็งแรงของต้นกล้าไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 1.21 – 1.35 มิลลิเมตร และ 230.65 – 246.06 ตามลำดับ การแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่น และกรดซัลฟิวริกมีน้ำหนักสดที่มากที่สุด เฉลี่ย 164.53 และ 162.88 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก (160.68 มิลลิกรัม) และการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่นทำให้น้ำหนักแห้งสูงสุด เฉลี่ย 4.13 มิลลิกรัม แต่ไม่แตกต่างจากการแช่เมล็ดด้วยกรดจิบเบอเรลลิก และกรดซัลฟิวริก (4.08 และ 4.07 มิลลิกรัม)

#### 4.2.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชร 4 สกูล พบว่า ทุกวิธีส่งผลต่อการงอกของเมล็ดทั้ง 4 สกูลอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการแช่เมล็ดในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด *A. asterias*, *E. grusonii* และ *M. geometrizzans* มากที่สุด นอกจากนี้ยังใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด และมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูงในวันที่ 1 – 7 หลังจากการหว่านเมล็ดของ *M. geometrizzans* อีกด้วย อาจเนื่องจากน้ำทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มลง (สุมาลี ชูคำแพง, 2566) น้ำจะเข้าสู่ภายในเมล็ด และไปกระตุ้นกระบวนการงอก โดยน้ำไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในเมล็ด โดยเฉพาะเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญในการงอกของเมล็ด (Bradford, 1990; Copeland & McDonald, 1995) การแช่เมล็ดก่อนเพาะช่วยให้เมล็ดดูดซับน้ำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เมล็ดงอกเร็วขึ้น (Abebe & Modi, 2009) และสามารถกำจัดสารยับยั้งการงอกในเปลือกหุ้มเมล็ดได้ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้น (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000) นอกจากนี้ น้ำช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทางด้านต่างๆ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ใน *A. asterias*, *E. grusonii* และ *M. geometrizzans* รวมไปถึงส่งผลให้ความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับใน *T. alonsoi* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ในการแช่  $\text{GA}_3$  ความเข้มข้น 500 ppm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ *T. alonsoi* มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด นอกจากนี้ยังทำให้ *A. asterias*, *E. grusonii* และ *T. alonsoi*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอัตราการงอกเร็วที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยภายใน และความสมดุลของฮอร์โมนภายในเมล็ด เนื่องจากมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูงในวันที่ 1 – 7 หลังจากเพาะเมล็ด นอกจากนี้ยังทำให้ *T. alonsoi* มีความยาวราก และความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด รวมไปถึงทำให้กระบองเพชรทั้ง 4 สกุลมีความสูงลำต้นมากที่สุด เนื่องจาก  $GA_3$  กระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์  $\alpha$ -amylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนแปลงในเมล็ดให้เป็นน้ำตาลในระหว่างการงอกของเมล็ด (Glennie *et al.*, 1983) และส่งเสริมการยืดยาวของเซลล์ (พีรเดช ทองอำไพ, 2537) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bárbara *et al.* (2015) ที่กล่าวว่า *Melocactus azureus* ที่กระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยการแช่น้ำ และการแช่  $GA_3$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดเพิ่มขึ้นเป็น 14% และ 21% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม 3% และในการแช่เมล็ดด้วย  $H_2SO_4$  นาน 30 นาทีทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น และความยาวรากเหมาะสมกับ *A. asterias*, *E. grusonii* และ *M. geometrizzans* ขณะที่ใน *T. alonsoi* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงลำต้นที่เหมาะสม เนื่องจาก  $H_2SO_4$  สามารถทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดนิ่มลง น้ำจึงแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดได้ (Rusdy, 2016) และกระบวนการงอกของเมล็ดเกิดขึ้น (Unacademy, 2023) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Potter *et al.* (1984) การแช่เมล็ด *Opuntia discata* ในกรดซัลฟิวริกนาน 30 นาทีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอก 83 %



รูปที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้า *A. asterias* (A), *E. grusonii* (C), *M. geometrizans* (E) และ *T. alonsoi* (G) และความสูงลำต้นของต้นกล้า *A. asterias* (B), *E. grusonii* (D), *M. geometrizans* (F) และ *T. alonsoi* (H) หลังจากได้รับการกระตุ้นการออกด้วยวิธีการต่างๆ

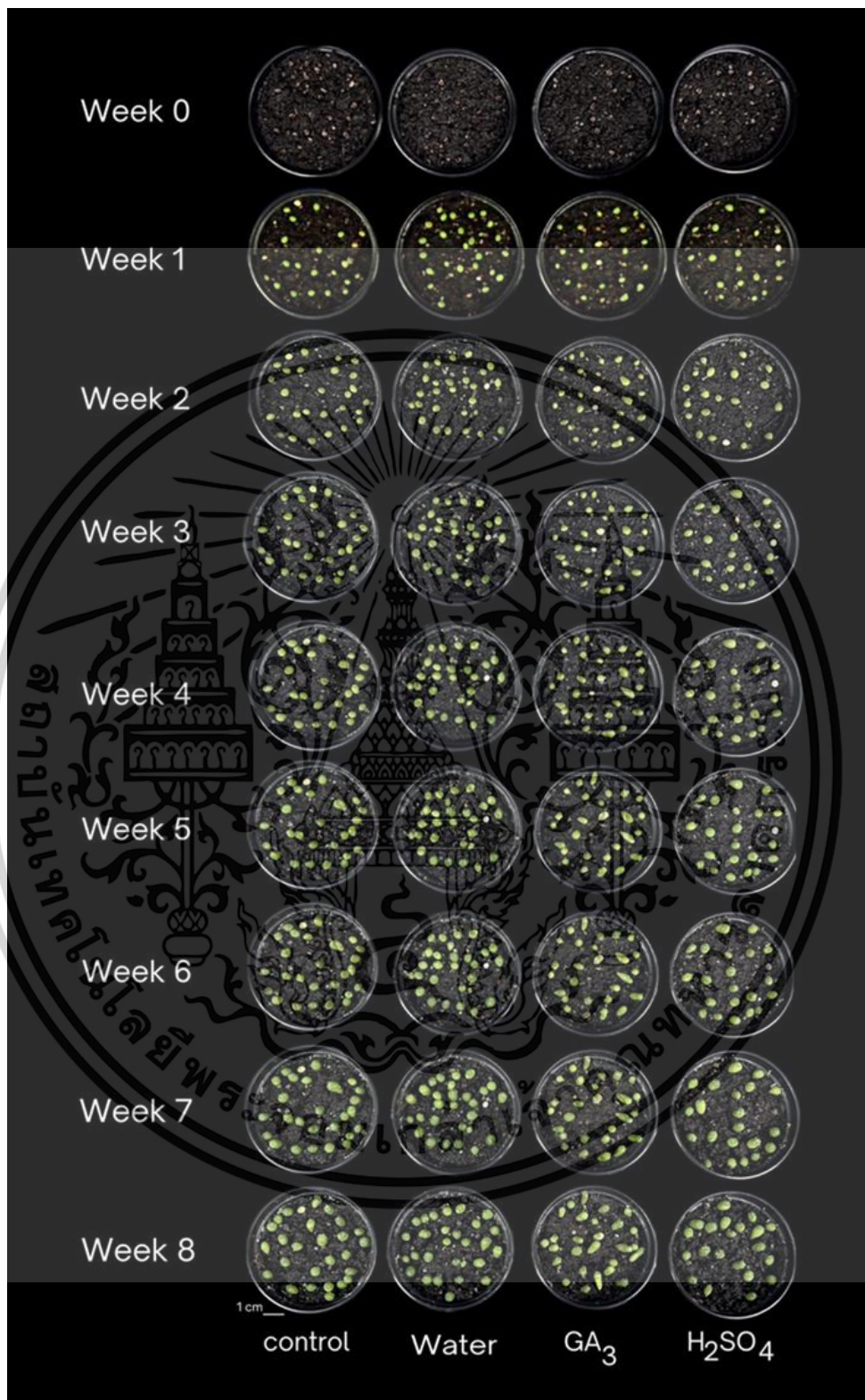
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับการกระตุ้นการงอกด้วยวิธีการต่างๆ นาน 8 สัปดาห์

กรรมวิธี	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)	ความแข็งแรง ของต้นกล้า	น้ำหนักสด (มิลลิกรัม)	น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม)
<i>A. Asterias</i>					
ควบคุม	4.70 <sup>a</sup>	5.33 <sup>ab</sup>	973.07 <sup>ab</sup>	1,220.10 <sup>ab</sup>	29.52
แช่น้ำกลั่น	4.14 <sup>bc</sup>	5.86 <sup>a</sup>	1,050.60 <sup>a</sup>	1,298.20 <sup>a</sup>	31.02
แช่ GA <sub>3</sub>	3.88 <sup>c</sup>	4.80 <sup>b</sup>	927.13 <sup>ab</sup>	1,218.20 <sup>ab</sup>	29.50
แช่ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.41 <sup>ab</sup>	5.50 <sup>a</sup>	843.71 <sup>b</sup>	1,191.40 <sup>b</sup>	28.78
%CV	7.36	10.49	13.04	7.03	8.01
<i>E. grusonii</i>					
ควบคุม	8.72 <sup>a</sup>	9.31	1,208.30	1,992.00 <sup>b</sup>	33.67 <sup>b</sup>
แช่น้ำกลั่น	8.10 <sup>ab</sup>	8.29	1,241.80	2,213.00 <sup>a</sup>	39.67 <sup>a</sup>
แช่ GA <sub>3</sub>	7.41 <sup>b</sup>	8.58	1,220.30	2,189.10 <sup>ab</sup>	39.20 <sup>a</sup>
แช่ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7.89 <sup>ab</sup>	9.00	1,181.20	2,102.00 <sup>ab</sup>	36.55 <sup>ab</sup>
%CV	11.49	10.54	9.31	8.00	7.32
<i>M. geometrizans</i>					
ควบคุม	12.21 <sup>a</sup>	3.63 <sup>a</sup>	1,208.30	1,992.00 <sup>b</sup>	33.67 <sup>b</sup>
แช่น้ำกลั่น	9.46 <sup>b</sup>	3.77 <sup>a</sup>	1,241.80	2,213.00 <sup>a</sup>	39.67 <sup>a</sup>
แช่ GA <sub>3</sub>	9.72 <sup>b</sup>	3.08 <sup>b</sup>	1,220.30	2,189.10 <sup>ab</sup>	39.20 <sup>a</sup>
แช่ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11.83 <sup>a</sup>	4.08 <sup>a</sup>	1,182.20	2,102.00 <sup>ab</sup>	36.55 <sup>ab</sup>
%CV	13.81	12.10	9.31	8.00	7.32
<i>T. alonsoi</i>					
ควบคุม	11.72 <sup>a</sup>	1.29	232.83	141.32 <sup>b</sup>	3.70 <sup>b</sup>
แช่น้ำกลั่น	9.80 <sup>ab</sup>	1.33	239.24	164.53 <sup>a</sup>	4.13 <sup>a</sup>
แช่ GA <sub>3</sub>	7.59 <sup>b</sup>	1.35	246.06	160.68 <sup>ab</sup>	4.08 <sup>ab</sup>
แช่ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11.86 <sup>a</sup>	1.21	230.65	162.88 <sup>a</sup>	4.07 <sup>ab</sup>
%CV	20.93	10.74	13.96	10.74	8.40

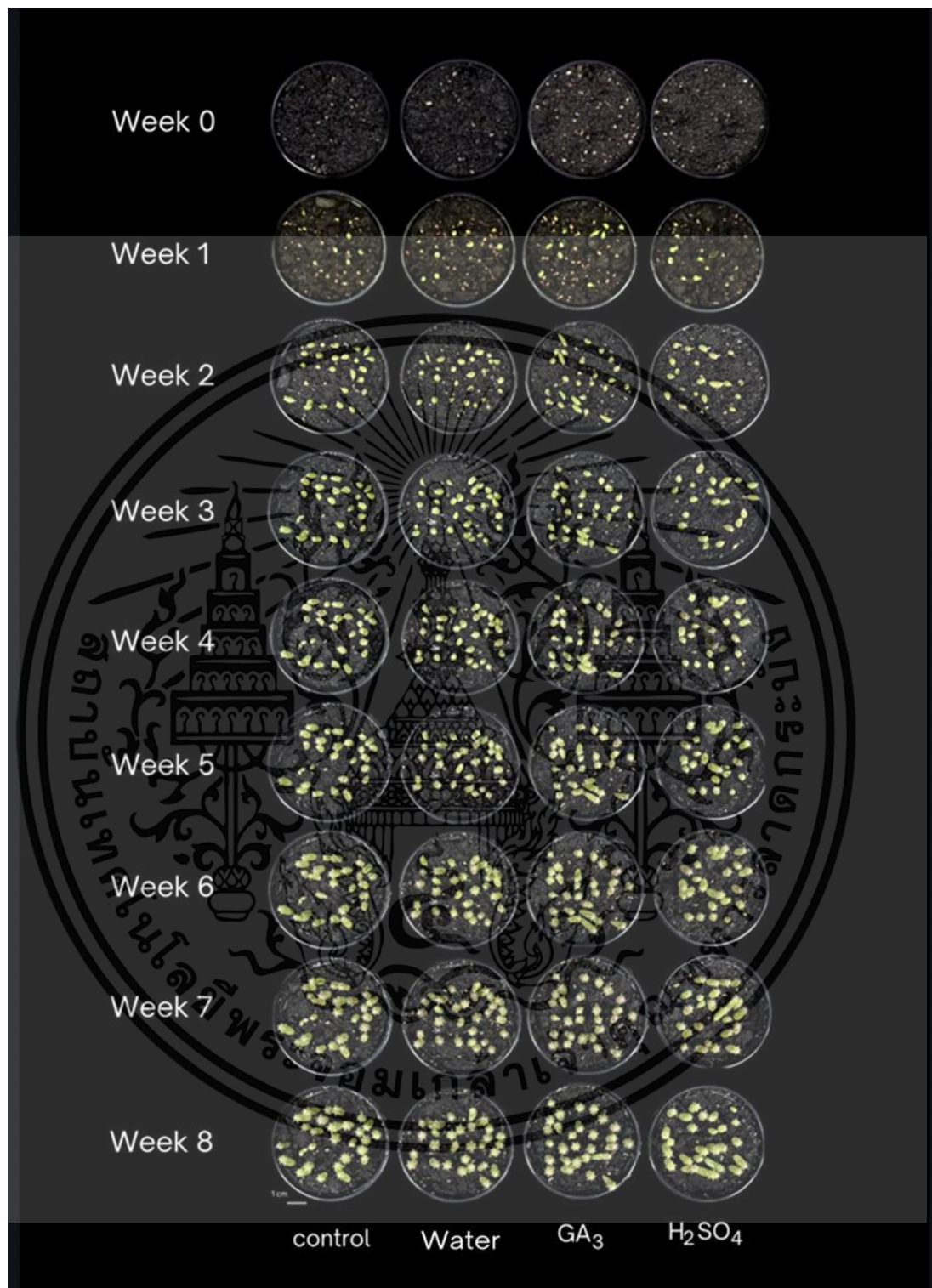
ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



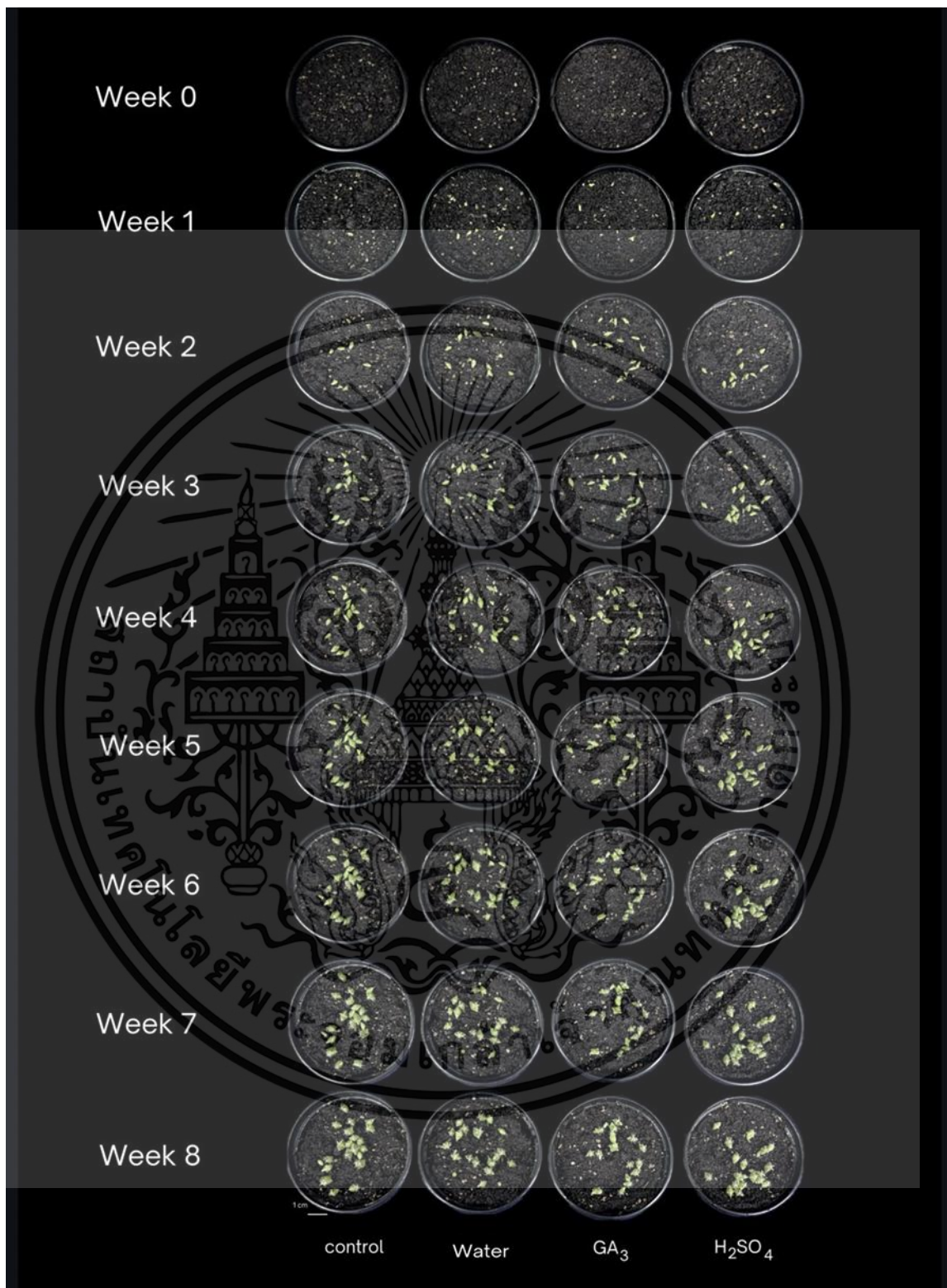
รูปที่ 4.4 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร *A. asterias* หลังจากกระตุ้นการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



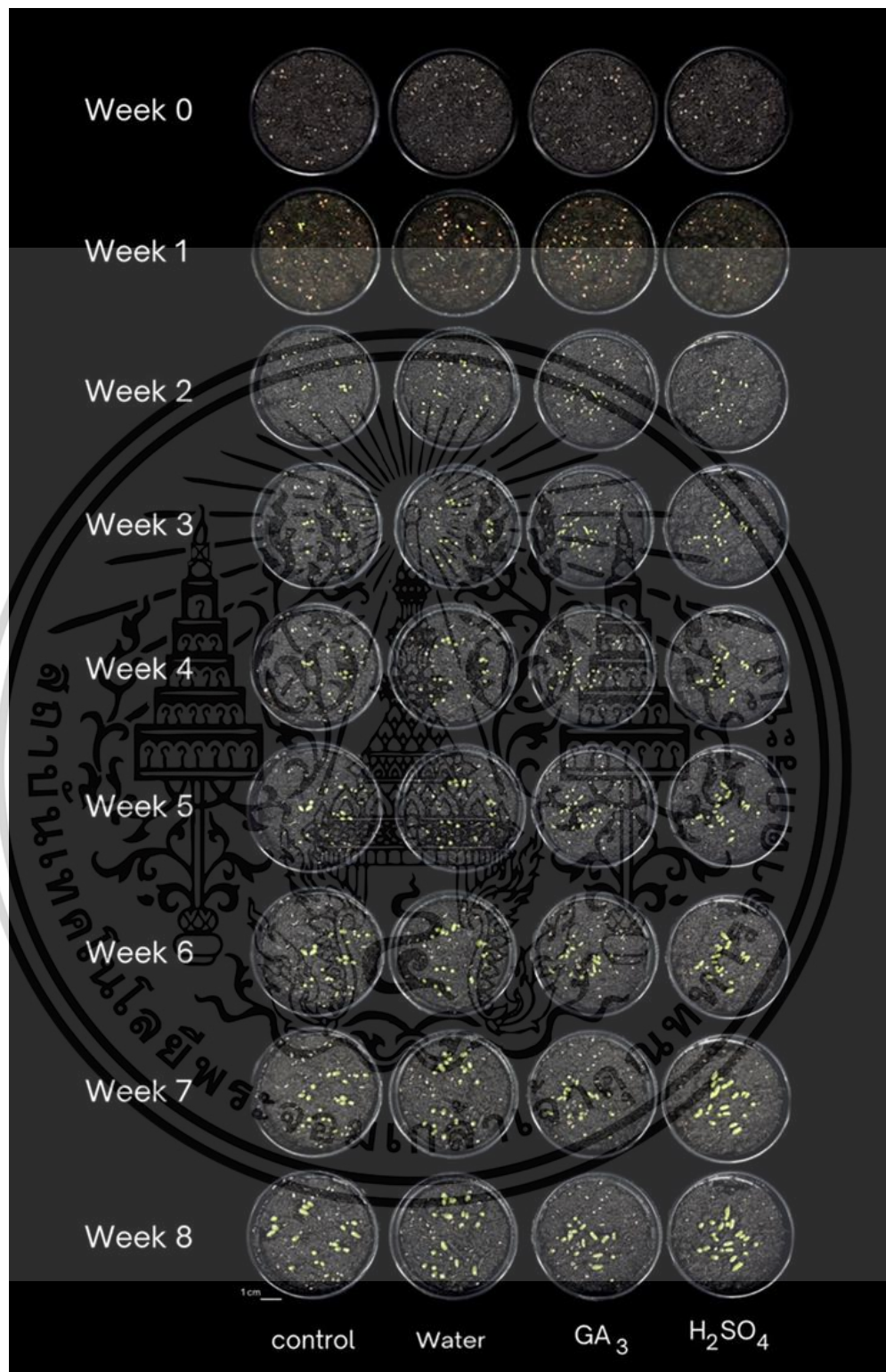
รูปที่ 4.5 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร *E. grusonii* หลังจากกระตุ้นการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



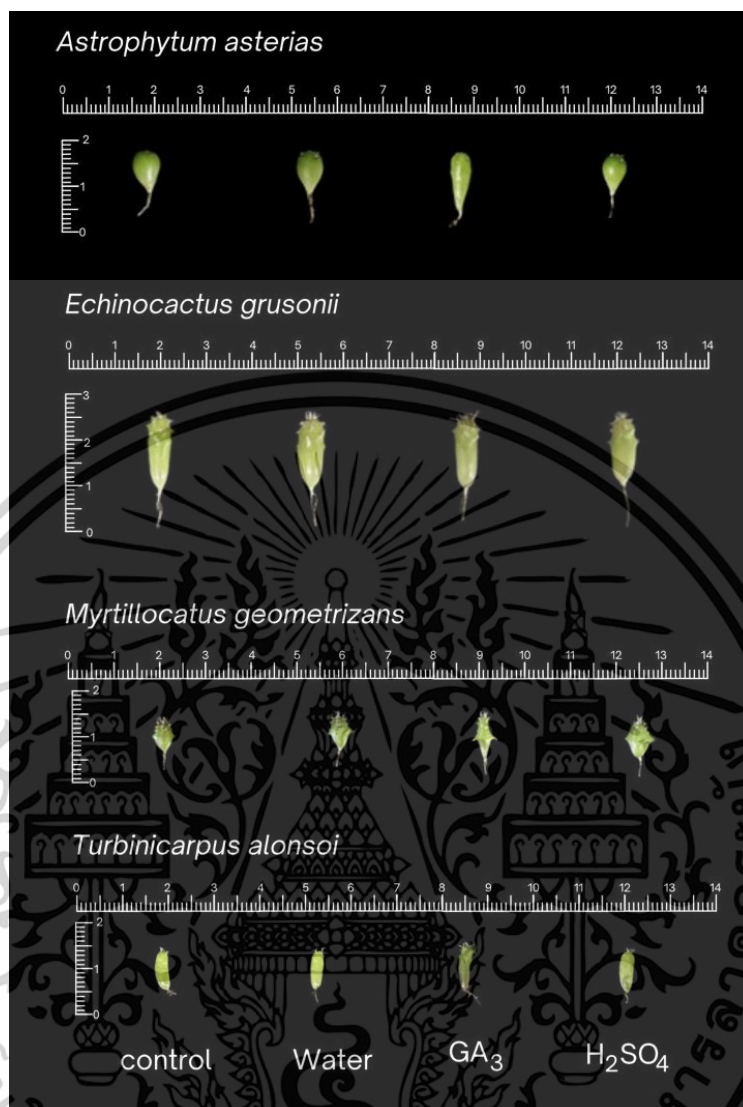
รูปที่ 4.6 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร *M. geometrizaans* หลังจากกระตุ้นการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร *T. alonsoi* หลังจากกระตุ้นการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ในแต่ละสัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับการกระตุ้นการงอกด้วยวิธีการต่างๆ นาน 8 สัปดาห์

#### 4.3 การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสงจากหลอดไฟแอลอีดีต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชร

##### 4.3.1 การงอกของเมล็ดกระบองเพชร

กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส ในเมล็ด *A. asterias* หลังจากได้รับแสงสีต่างๆ จากหลอด LED นาน 1 วัน พบว่า แสงสีเขียว, แสงสีแดง, แสงสีน้ำเงิน และแสงสีขาวทำให้เอนไซม์สูงกว่าแสงธรรมชาติ (รูปที่ 4.8A) ในวันที่ 7 แสงสีเขียวทำให้กิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุด (0.22 ไมโครโมล/มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

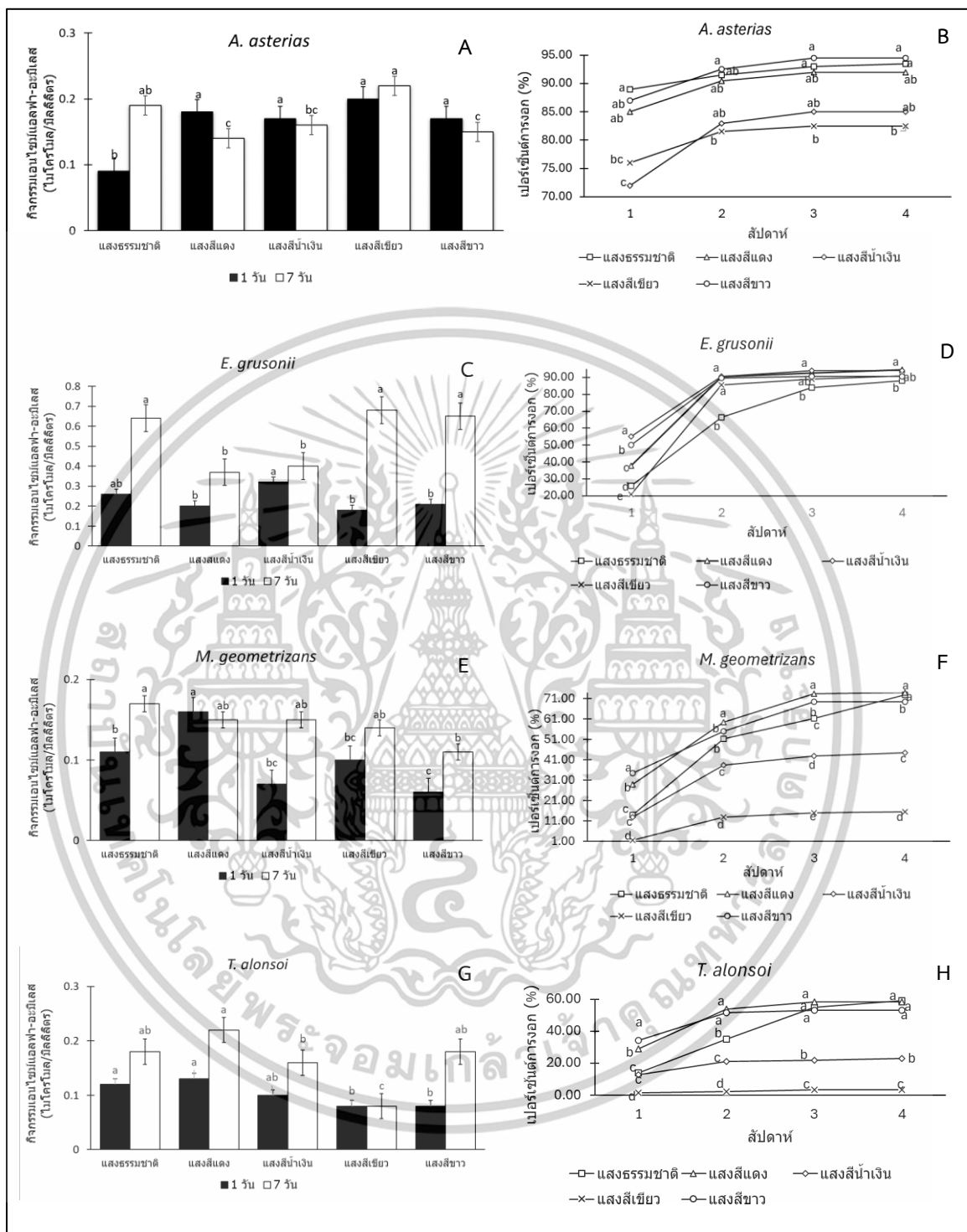
ซึ่งไม่แตกต่างจากแสงธรรมชาติ แต่แสงสีอื่นๆ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง และแสงธรรมชาติทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 1 (89.00%) (รูปที่ 4.8B) แต่สัปดาห์ที่ 4 การเพาะเมล็ดภายใต้แสงสีขาวทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากแสงธรรมชาติ

กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสในเมล็ด *E. grusonii* หลังจากการได้รับแสงสีต่างๆ จากหลอด LED นาน 1 วัน พบว่า แสงสีน้ำเงินทำให้กิจกรรมของเอนไซม์มากที่สุด เฉลี่ย 0.32 ไมโครโมล/มิลลิลิตร (รูปที่ 4.8C) ในวันที่ 7 หลังจากการเพาะเมล็ดภายใต้แสงธรรมชาติ, แสงสีเขียว และแสงสีขาวทำให้กิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าแสงสีอื่นๆ ในสัปดาห์ที่ 1 เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดภายใต้แสงสีน้ำเงิน (55.00%) (รูปที่ 4.8D) โดยในสัปดาห์ที่ 4 การให้แสงสีแดงมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด (94.50%) แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสงสีน้ำเงิน (94.00%)

กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสในเมล็ด *M. geometrizaans* ภายใต้แสงสีแดงมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุด คือ 0.16 ไมโครโมล/มิลลิลิตร (รูปที่ 4.8E) หลังจากเพาะเมล็ดผ่านไป 7 วัน ภายใต้แสงธรรมชาติทำให้กิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าการให้แสงสีอื่นๆ เฉลี่ย 0.17 ไมโครโมล/มิลลิลิตร แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสงสีแดง, แสงสีน้ำเงิน และแสงสีเขียว โดยในสัปดาห์แรก การให้แสงสีขาวมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด (34.50%) (รูปที่ 4.8F) และหลังจากการเพาะเมล็ดนาน 4 สัปดาห์ ภายใต้แสงสีแดงทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด เฉลี่ย 74.00% แต่ไม่แตกต่างจากแสงธรรมชาติ

กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสในเมล็ด *T. alonsoi* ภายใต้แสงสีแดง และแสงธรรมชาติ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์สูงที่สุด เฉลี่ย 0.13 และ 0.12 ไมโครโมล/มิลลิลิตร แต่ไม่แตกต่างจากแสงสีน้ำเงิน (รูปที่ 4.8G) ในวันที่ 7 หลังจากการเพาะเมล็ดภายใต้แสงสีแดง ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเป็น 0.22 ไมโครโมล/มิลลิลิตร และในสัปดาห์ที่ 1 หลังจากการเพาะเมล็ดภายใต้แสงสีขาว ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด คือ 34.50% (รูปที่ 4.8H) แต่ในสัปดาห์ที่ 4 ภายใต้แสงธรรมชาติ มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด เฉลี่ย 74.00% แต่อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างจากแสงสีแดง และแสงสีขาว (58.50 และ 53.00% ตามลำดับ)

*A. asterias* งอกเร็วที่สุดภายใต้แสงสีแดง โดยเฉลี่ย 4.29 วัน แต่แสงสีน้ำเงินทำให้งอกช้าที่สุด เฉลี่ย 5.32 วัน (ตารางที่ 4.3) ใน *E. grusonii* และ *M. geometrizaans* งอกเร็วที่สุดภายใต้แสงสีแดง, แสงสีน้ำเงิน และแสงสีขาว ขณะที่แสงธรรมชาติทำให้ *E. grusonii*, *M. geometrizaans* และ *T. alonsoi* งอกช้าที่สุด



รูปที่ 4.9 กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสในวันที่ 1 และ 7 หลังจากการเพาะเมล็ด ใน *A. asterias* (A), *E. grusonii* (C), *M. geometrizans* (E) และ *T. alonsoi* (G) และเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด *A. asterias* (B), *E. grusonii* (D), *M. geometrizans* (F) และ *T. alonsoi* (H) หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

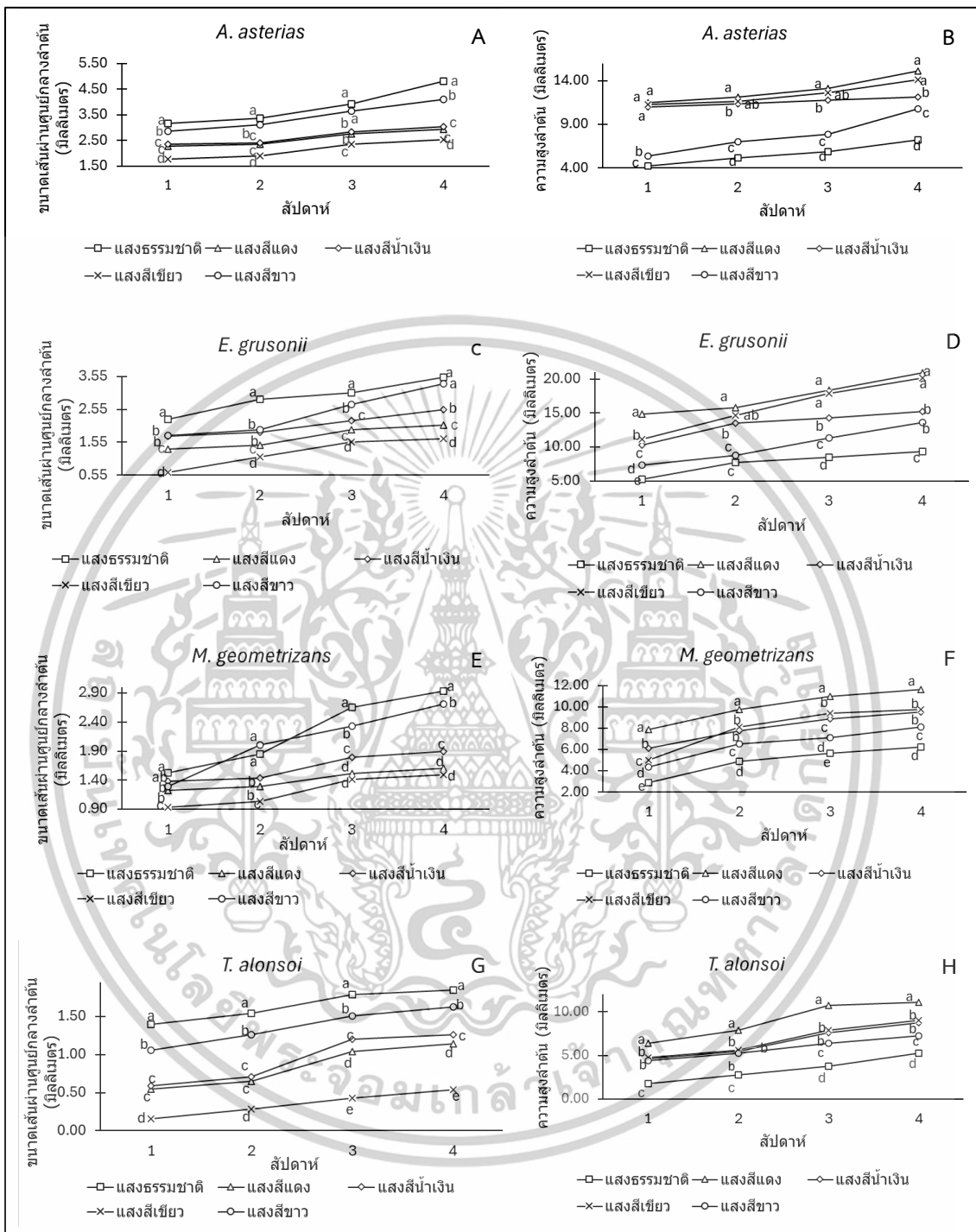
### 4.3.2 การเจริญเติบโตของต้นกล้า

การเจริญเติบโตของต้นกล้า *A. asterias* ในสัปดาห์ที่ 1 พบว่า การให้แสงธรรมชาติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 4.80 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.9A) แต่การให้แสงสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงินมีความสูงมากที่สุด (รูปที่ 4.9B) โดยสัปดาห์ที่ 4 การให้แสงสีแดง (15.13 มิลลิเมตร) และแสงสีเขียว (14.13 มิลลิเมตร) มีความสูงลำต้นมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแสงธรรมชาติ แต่แสงธรรมชาติทำให้มีความยาวราก (5.50 มิลลิเมตร), ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (4.76 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร), คลอโรฟิลล์บี (4.00 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) และคลอโรฟิลล์รวมสูงที่สุด (8.76 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) (ตารางที่ 4.3) นอกจากนั้นแล้วยังส่งผลให้ความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด (963.20)

ในสัปดาห์ที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นกล้า *E. grusonii* พบว่า การให้แสงธรรมชาติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด (2.25 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4.9C) นอกจากนั้นการแสงสีแดง ทำให้ความสูงลำต้นมากที่สุด (14.88 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4.9D) และสัปดาห์ที่ 4 การให้แสงสีแดงเพิ่มความสูงมากขึ้น เฉลี่ย 20.88 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากแสงสีเขียว (20.13 มิลลิเมตร) ขณะที่แสงสีขาว ทำให้ความยาวราก (8.00 มิลลิเมตร) และความแข็งแรงของต้นกล้า (1025.00) มากที่สุด (ตารางที่ 4.3) แต่แสงธรรมชาติทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมสูงที่สุด เฉลี่ย 5.25 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ในด้านคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ไม่แตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 2.17 – 2.75 และ 2.08 – 2.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การเจริญเติบโตของต้นกล้า *M. geometrizaans* พบว่า การให้แสงธรรมชาติทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่ากรรมวิธีอื่น (รูปที่ 4.9E) ยกเว้นสัปดาห์ที่ 2 ที่การให้แสงสีขาว ทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด (2.01 มิลลิเมตร) ซึ่งไม่แตกต่างจากแสงธรรมชาติ (1.85 มิลลิเมตร) แต่การให้แสงสีแดงมีความสูงต้นมากที่สุด (11.63 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4.9F) นอกจากนั้นแล้ว ความยาวราก (2.88 มิลลิเมตร), ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (1.13 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร), คลอโรฟิลล์บี (1.27 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) และคลอโรฟิลล์รวม (2.40 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) สูงที่สุด จึงทำให้ความแข็งแรงของต้นกล้า (632.72) มากที่สุด (ตารางที่ 4.3)

การเจริญเติบโตของต้นกล้า *T. alonsoi* ในสัปดาห์ที่ 1 พบว่า การให้แสงธรรมชาติ ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (2.94 มิลลิเมตร) (รูปที่ 4.9G), ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (1.13 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร), คลอโรฟิลล์บี (1.27 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) และคลอโรฟิลล์รวม (2.40 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) สูงที่สุด (ตารางที่ 4.3) จึงส่งผลให้ความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด (632.72) ขณะที่ภายใต้แสงสีขาวทำให้ความยาวรากมากที่สุด (2.88 มิลลิเมตร) แต่การให้แสงสีแดงทำให้ความสูงต้นมากที่สุด เฉลี่ย 11.63 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.9H)



รูปที่ 4.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำตัวของตุ๊กถ้ำ *A. asterias* (A), *E. grusonii* (C), *M. geometrizans* (E) และ *T. alonsoi* (G) และความสูงลำตัวของตุ๊กถ้ำ *A. asterias* (B), *E. grusonii* (D), *M. geometrizans* (F) และ *T. alonsoi* (H) หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การเจริญเติบโตของต้นกล้าหลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกัน นาน 4 สัปดาห์

กรรมวิธี	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)	ความแข็งแรงของต้นกล้า	คลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)		
				เอ	บี	รวม
<i>A. asterias</i>						
แสงธรรมชาติ	4.70	5.50 <sup>a</sup>	963.20 <sup>a</sup>	4.76 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>	8.76 <sup>a</sup>
แสงสีแดง	4.29	2.75 <sup>c</sup>	463.48 <sup>d</sup>	2.17 <sup>c</sup>	2.08 <sup>c</sup>	4.25 <sup>d</sup>
แสงสีน้ำเงิน	4.67	3.50 <sup>b</sup>	544.70 <sup>c</sup>	2.50 <sup>bc</sup>	2.36 <sup>bc</sup>	4.86 <sup>c</sup>
แสงสีเขียว	4.68	2.50 <sup>c</sup>	415.23 <sup>d</sup>	1.52 <sup>d</sup>	1.63 <sup>d</sup>	3.15 <sup>e</sup>
แสงสีขาว	4.61	3.75 <sup>b</sup>	742.00 <sup>b</sup>	2.80 <sup>b</sup>	2.59 <sup>b</sup>	5.39 <sup>b</sup>
%CV	9.97	18.18	10.00	10.08	8.32	0.60
<i>E. grusonii</i>						
แสงธรรมชาติ	10.89 <sup>a</sup>	6.00 <sup>b</sup>	838.35 <sup>b</sup>	2.75	2.50	5.25 <sup>a</sup>
แสงสีแดง	7.15 <sup>c</sup>	4.38 <sup>cd</sup>	582.48 <sup>c</sup>	2.22	2.08	4.30 <sup>d</sup>
แสงสีน้ำเงิน	7.49 <sup>c</sup>	5.50 <sup>bc</sup>	742.07 <sup>b</sup>	2.36	2.28	4.64 <sup>c</sup>
แสงสีเขียว	9.44 <sup>b</sup>	3.38 <sup>d</sup>	446.48 <sup>d</sup>	2.17	2.17	4.34 <sup>d</sup>
แสงสีขาว	7.46 <sup>c</sup>	8.00 <sup>a</sup>	1,025.00 <sup>a</sup>	2.44	2.43	4.87 <sup>b</sup>
%CV	6.27	20.51	14.90	15.80	14.13	0.51
<i>M. geometriza</i>						
แสงธรรมชาติ	12.51 <sup>a</sup>	2.88 <sup>a</sup>	632.72 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>	1.27 <sup>a</sup>	2.40 <sup>a</sup>
แสงสีแดง	8.64 <sup>b</sup>	2.50 <sup>ab</sup>	316.57 <sup>c</sup>	0.92 <sup>ab</sup>	1.12 <sup>ab</sup>	2.04 <sup>b</sup>
แสงสีน้ำเงิน	9.77 <sup>b</sup>	2.25 <sup>bc</sup>	366.60 <sup>c</sup>	0.79 <sup>b</sup>	0.97 <sup>b</sup>	1.76 <sup>c</sup>
แสงสีเขียว	10.13 <sup>ab</sup>	2.00 <sup>c</sup>	238.42 <sup>d</sup>	0.93 <sup>ab</sup>	1.12 <sup>ab</sup>	2.05 <sup>b</sup>
แสงสีขาว	9.52 <sup>b</sup>	2.13 <sup>bc</sup>	505.89 <sup>b</sup>	0.91 <sup>ab</sup>	1.12 <sup>ab</sup>	2.03 <sup>b</sup>
%CV	17.87	16.48	5.27	18.83	13.78	1.54
<i>T. alonsoi</i>						
แสงธรรมชาติ	12.39 <sup>a</sup>	1.75 <sup>b</sup>	199.60 <sup>a</sup>	2.34 <sup>a</sup>	3.48 <sup>a</sup>	5.82 <sup>a</sup>
แสงสีแดง	8.09 <sup>b</sup>	1.50 <sup>c</sup>	108.50 <sup>b</sup>	2.04 <sup>b</sup>	3.24 <sup>b</sup>	5.28 <sup>b</sup>
แสงสีน้ำเงิน	8.33 <sup>b</sup>	1.63 <sup>bc</sup>	60.60 <sup>c</sup>	2.03 <sup>b</sup>	3.23 <sup>b</sup>	5.26 <sup>bc</sup>
แสงสีเขียว	7.88 <sup>b</sup>	1.13 <sup>d</sup>	11.38 <sup>d</sup>	_/nd	_/nd	_/nd
แสงสีขาว	7.11 <sup>b</sup>	2.00 <sup>a</sup>	179.55 <sup>a</sup>	2.01 <sup>b</sup>	3.18 <sup>b</sup>	5.19 <sup>c</sup>
%CV	21.07	11.81	14.66	2.76	2.39	0.73

ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, <sup>/nd</sup> ต้นตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 ค่าสีลำต้นของต้นกล้ากระบองเพชร

ต้นกล้าของ *A. asterias* ภายใต้แสงสีขาวมีความเขียวเข้มใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ เนื่องจากมีค่า \*L (71.75) \*a (-24.00) และค่า \*b (64.75) ใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ (\*L = 62.50, \*a = -27.50 และ \*b = 58.00) (รูปที่ 4.10) แต่ภายใต้แสงสีเขียวทำให้มีความเขียวอ่อนที่สุด เนื่องจากมีค่า \*L (81.50) และ \*a (-9.50) สูงที่สุด แต่มีค่า \*b\* ต่ำที่สุด (32.75)

ต้นกล้าของ *E. grusonii* ภายใต้แสงสีขาวมีความเขียวเข้มใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ เนื่องจากมีค่า \*L (69.00) \*a (-23.50) และค่า \*b (69.25) ใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ (\*L = 65.75, \*a = -22.00 และ \*b = 66.25) (รูปที่ 4.10) แต่ภายใต้แสงสีแดงทำให้มีความเขียวอ่อนที่สุด เนื่องจากมีค่า \*L (87.00) และ \*a (-16.75) สูงที่สุด

ต้นกล้าของ *M. geometrizzans* ทุกแสงสีจากหลอด LED ให้ค่าสีไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า \*L อยู่ในช่วง 73.75 – 80.00 ค่า \*a อยู่ในช่วง -22.50 – 28.00 และค่า \*b อยู่ในช่วง 57.50 – 66.50 (รูปที่ 4.10)

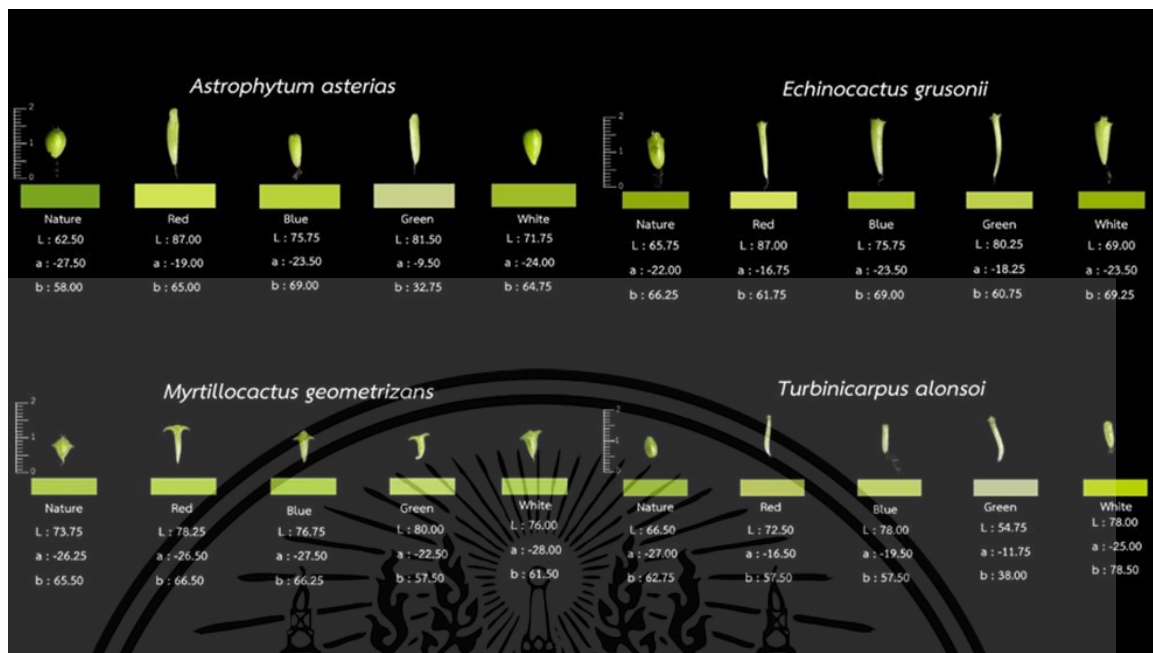
ต้นกล้าของ *T. alonsoi* ภายใต้แสงสีขาว ทำให้สีของลำต้นออกไปโทนเหลืองมากกว่าแสงธรรมชาติ เนื่องจากมีค่า \*b และค่า \*L สูงกว่าแสงธรรมชาติ เฉลี่ย 78.50 และ 78.00 ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) ขณะที่เพาะเมล็ดภายใต้แสงสีเขียวทำให้ต้นกล้ามีสีเขียวอ่อนมากกว่ากรรมวิธีอื่น เพราะมีค่า \*L (54.75) และ ค่า \*b (38.00) น้อยที่สุด แต่มีค่า \*a สูงที่สุด เฉลี่ย -11.75

### 4.3.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของการใช้แสงสีต่างๆ จากหลอดไฟแอลอีดีต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล พบว่า แสง LED สีต่างๆ สามารถกระตุ้นการงอกได้ โดย *A. asterias* ที่ปลูกภายใต้แสงสีขาวมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด แต่แสงสีเขียวมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูงที่สุดใน *E. grusonii*, *M. geometrizzans* และ *T. alonsoi* มีเปอร์เซ็นต์การงอก และมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูงที่สุดภายใต้แสงสีแดง นอกจากนี้ กระบองเพชรทั้ง 4 สกุลมีเวลาเฉลี่ยในการงอกต่ำที่สุดภายใต้แสงสีแดง โดยแสงสีแดงจะกระตุ้นให้  $P_r$  เปลี่ยนเป็น  $P_{fr}$  ทำให้เกิดการเข้ารหัสของยีนที่กระตุ้นการสังเคราะห์  $\alpha$ -amylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยย่อยสลายแป้งที่เก็บสะสมไว้ในเอนโดสเปิร์มให้เปลี่ยนอยู่ในรูปของน้ำตาลเพื่อใช้เป็นพลังงานในการงอกของเมล็ด (จวงจันทร ดวงพัตรา, 2529) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lal & Sachan (2017) ซึ่งรายงานว่าแสงสีแดงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด และเมล็ดหม้อข้าวหม้อแกงลิงจะงอกเร็วที่สุดภายใต้แสงสีแดง แสงสีขาวประกอบด้วยความยาวหลายคลื่น (full spectrum) ซึ่งเป็นแหล่งแสงที่เหมาะสมในการส่งเสริมการงอกของเมล็ด (Kami *et al.*, 2010) สอดคล้องกับการศึกษา Benítez-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rodríguez *et al.* (2004) แสงสีแดง และแสงสีขาวส่งผลให้ *Mammillaria* sp. มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด ในขณะที่แสงสีเขียวส่งเสริมความสมดุลของไฟโตโครม ของ  $P_{fr}$  ที่ใช้งาน และเพียงพอที่จะกระตุ้นการตอบสนองของไฟโตโครมที่ใช้ในการงอกของเมล็ด (Shinomura *et al.*, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับ Simão *et al.* (2010) ที่รายงานว่า ใน *Epiphyllum phyllanthus* งอกภายใต้แสงสีเขียว และความมืด ในขณะที่ด้านการเจริญเติบโต พบว่า *A. asterias* และ *M. geometrizzans* มีความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุดเมื่อปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น และความยาวของรากสูงที่สุด และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีมากที่สุด แต่ใน *E. grusonii* และ *T. alonsoi* ที่ปลูกภายใต้แสงธรรมชาติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงลำต้นมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับแสงสีขาวที่ทำให้มีความยาวราก และความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด เนื่องจากประกอบด้วยความยาวหลายคลื่นแสง (full spectrum) และแสงธรรมชาติ มีความเข้มแสงใกล้เคียงที่สุด ( $213.31 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) กับความเข้มแสงที่ต้องการสำหรับต้นกล้ากระบองเพชร ซึ่งมีค่าประมาณ  $350.88 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Cacti in Depth, 2024) แสงสีขาวให้ความยาวหลายคลื่นแสง (full spectrum) ที่พืชต้องการสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในอุดมคติของพืช จึงส่งผลให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในด้านต่างๆ (Izzo *et al.*, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dangudom *et al.* (2022) พบว่า การใช้ตาข่ายพรางแสงสีเงิน 60% 2 ชั้น และแสงจากหลอด LED สีขาวทำให้ *Gymnocalycium* sp. และ *Astrophytum* sp. ให้ผลผลิตสูง และคุณภาพของลำต้นที่สวยงาม ดังนั้นแสงสีขาวจึงสามารถนำมาใช้แทนแสงธรรมชาติได้ จึงสรุปได้ว่าแสงสีแดง เขียว และขาวสามารถกระตุ้นการงอก และทำลายการพักตัวของเมล็ดได้ นอกจากนั้นแล้ว แสงสีขาวยังช่วยให้กระบองเพชรเติบโตได้เช่นเดียวกับแสงธรรมชาติ



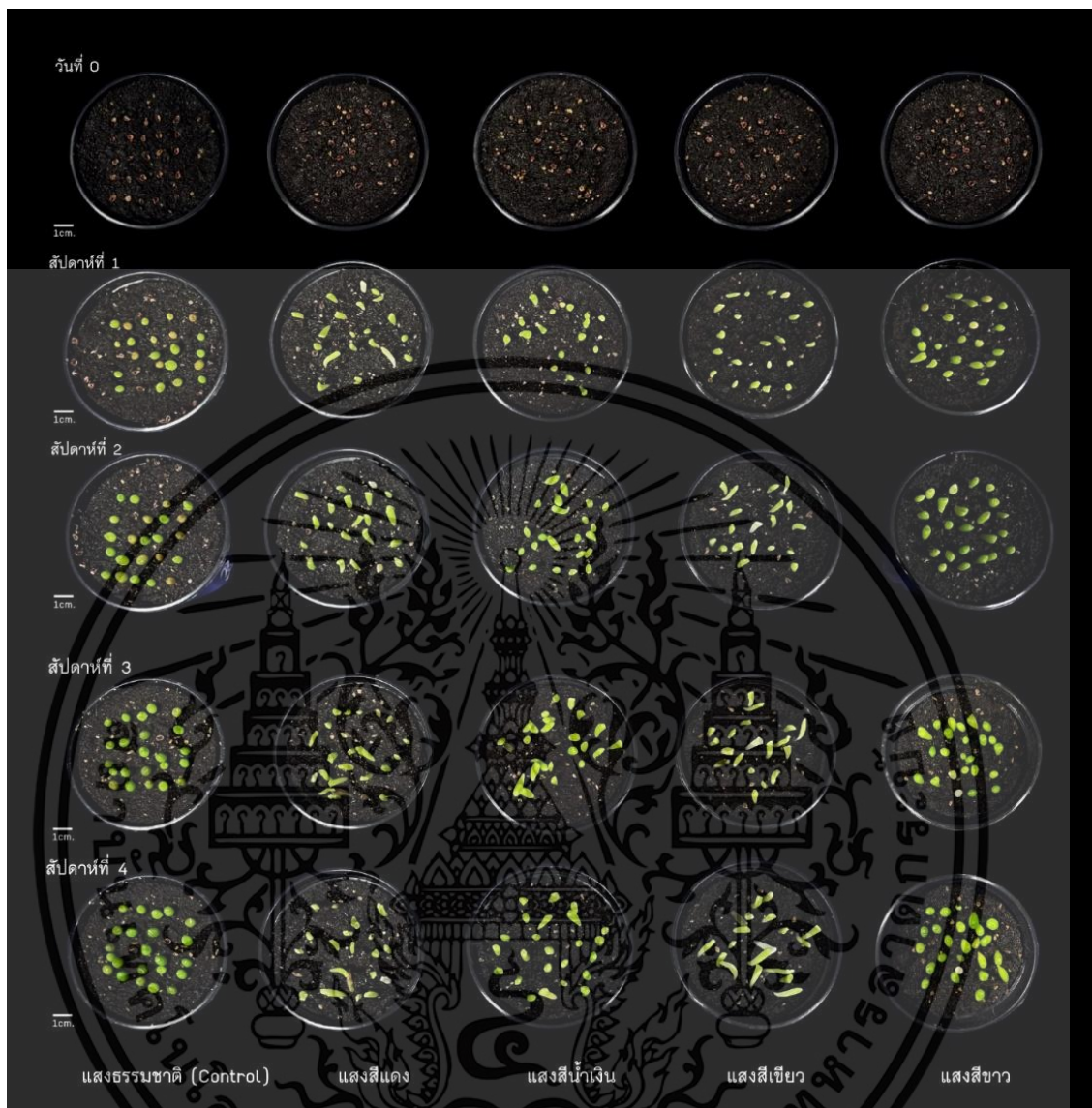
รูปที่ 4.11 ลักษณะการเจริญเติบโต และค่าสีของลำต้นของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล

ค่า L\* หมายถึง ค่าความสว่าง (ค่า L\* มากคือความสว่างมาก ค่า L\* น้อยคือความสว่างน้อย)

ค่า a\* หมายถึง ค่าที่ระบุว่าเป็นสีเขียว และสีแดง (ค่าสีแดง เป็น (+) ค่าสีเขียว เป็น (-))

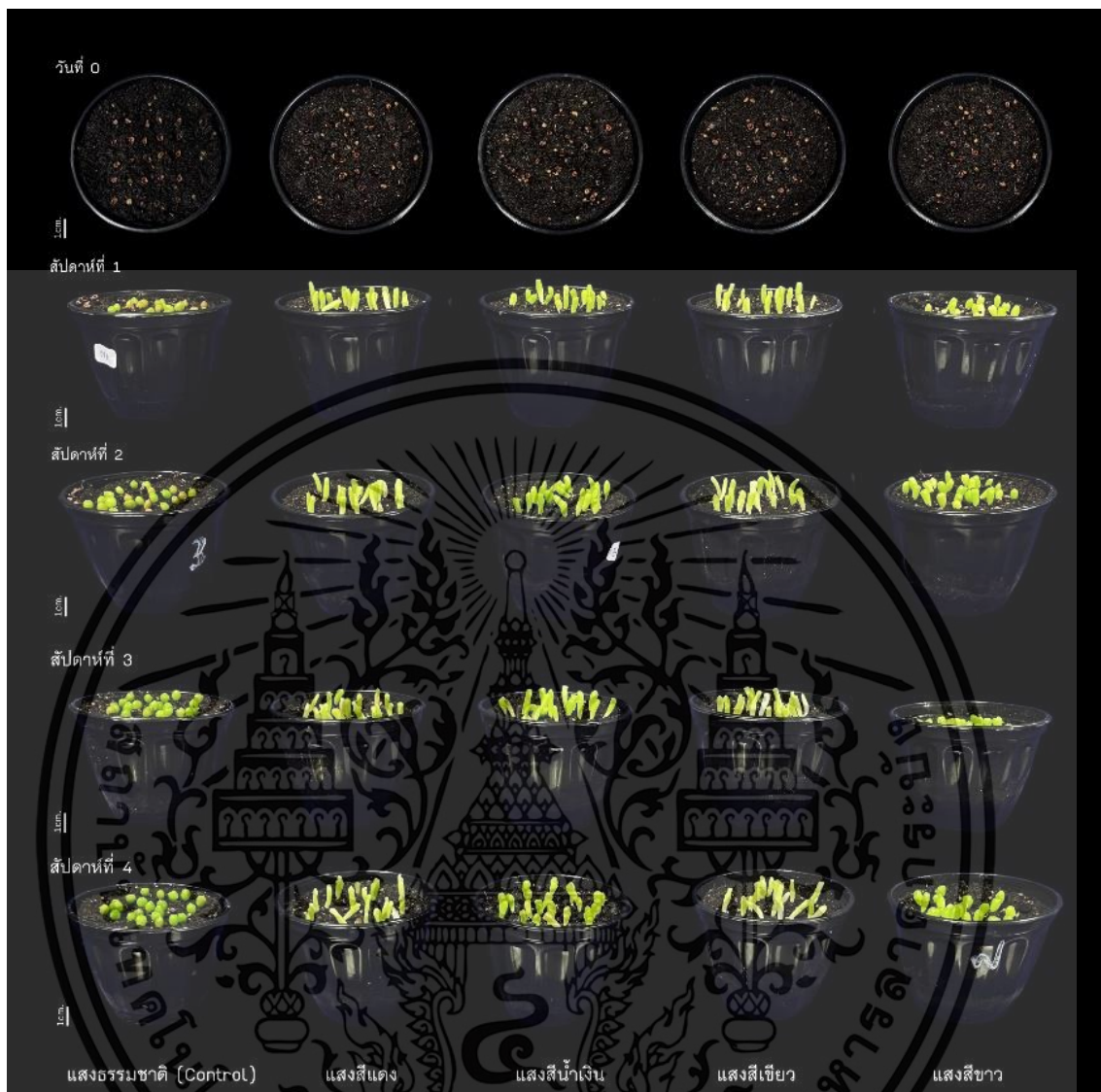
ค่า b\* หมายถึง ค่าที่ระบุสีน้ำเงิน และสีเหลือง (ค่าสีเหลือง เป็น (+) และค่าสีน้ำเงิน เป็น (-))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



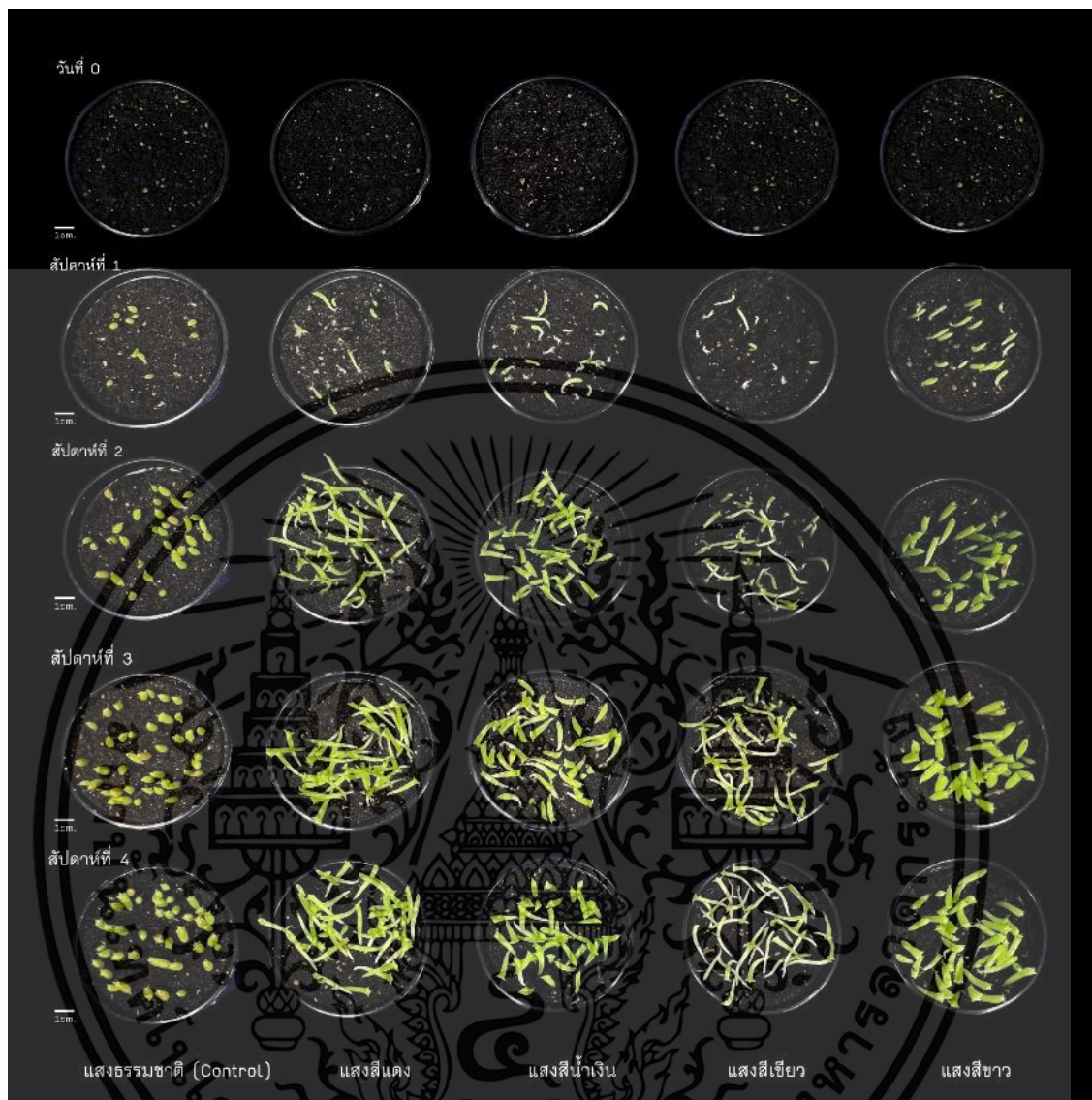
รูปที่ 4.12 การงอกของเมล็ด *A. asterias* หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



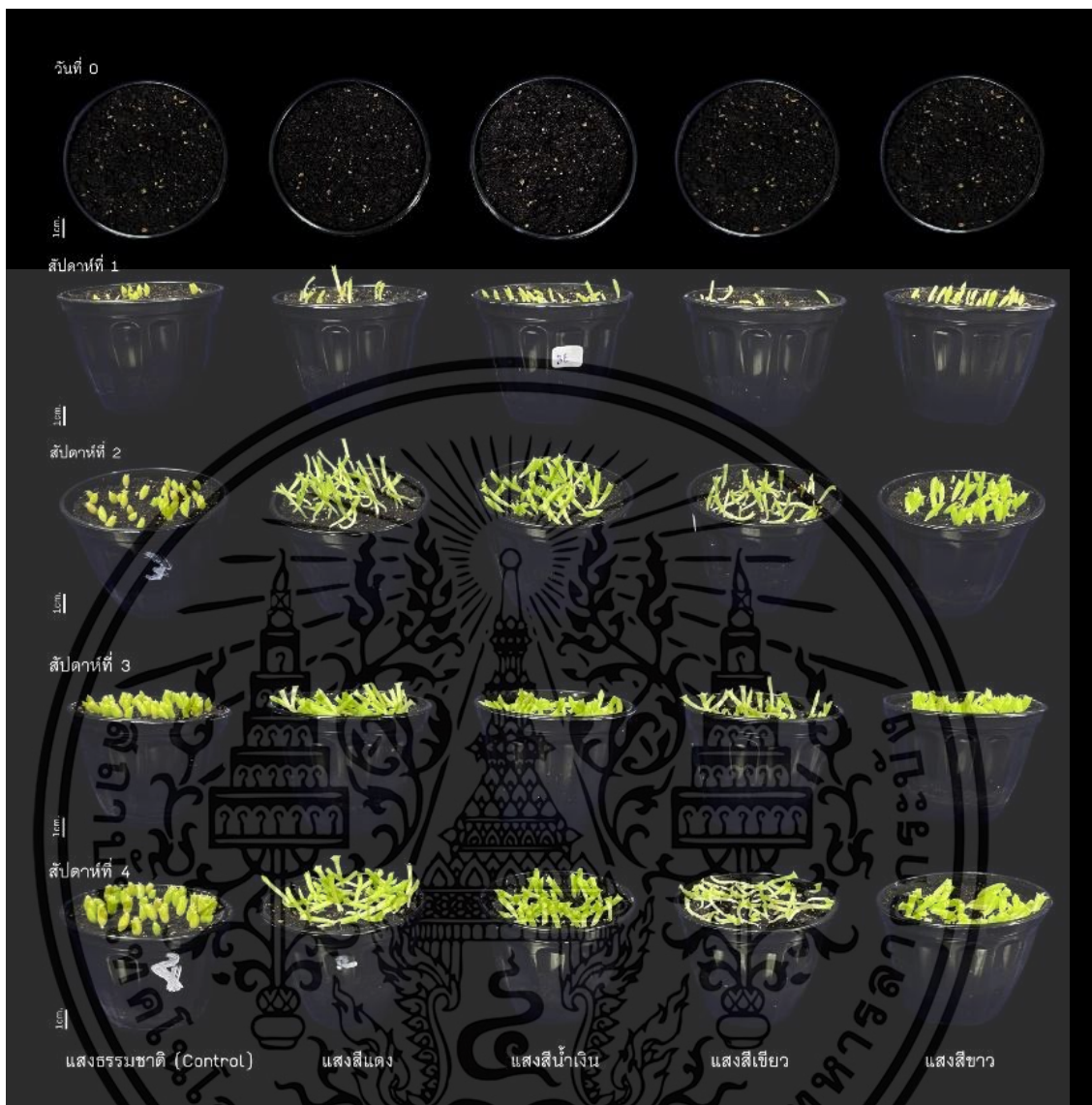
รูปที่ 4.13 ความสูงลำต้น *A. asterias* หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



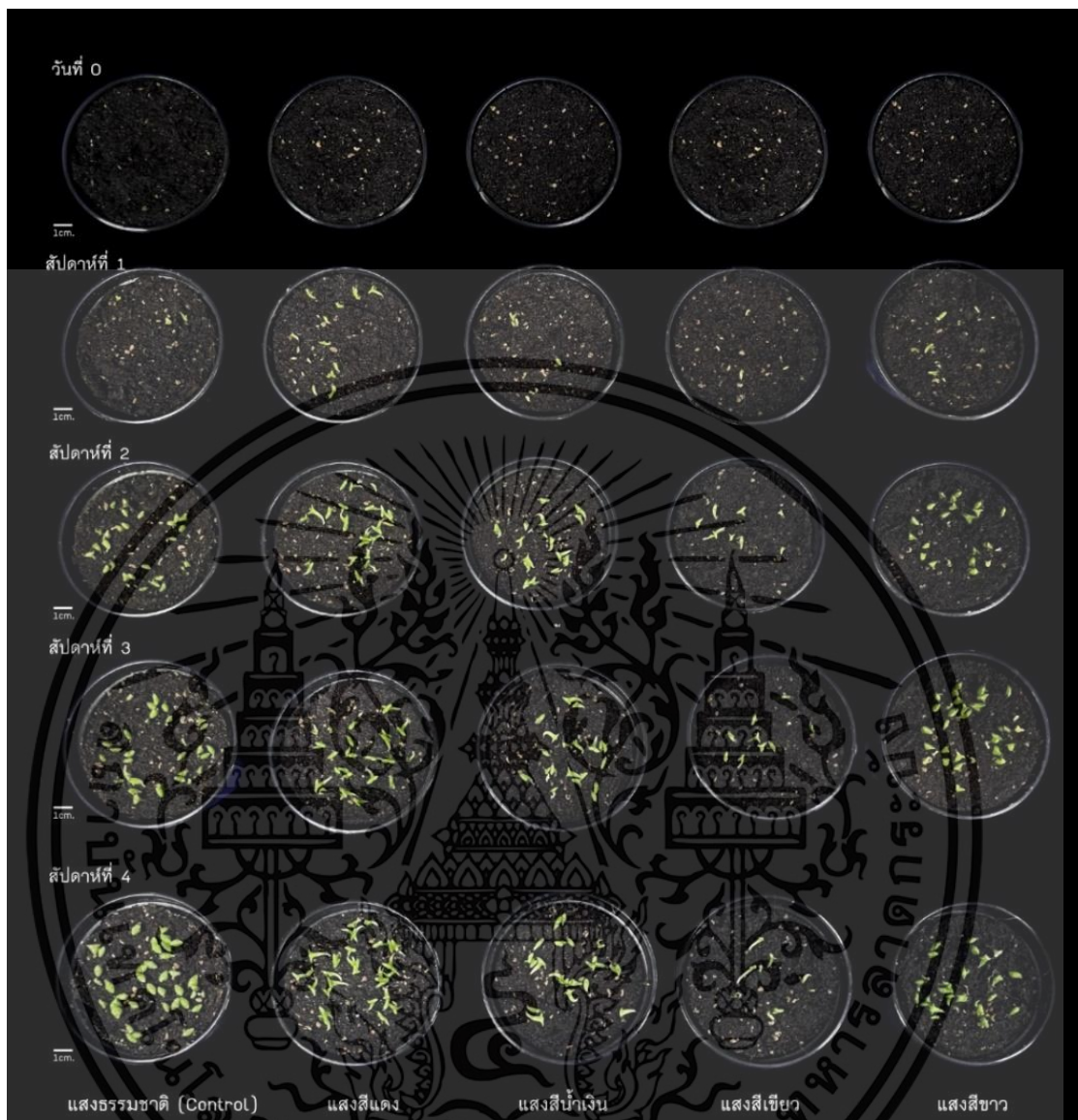
รูปที่ 4.14 การงอกของเมล็ด *E. grusonii* หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



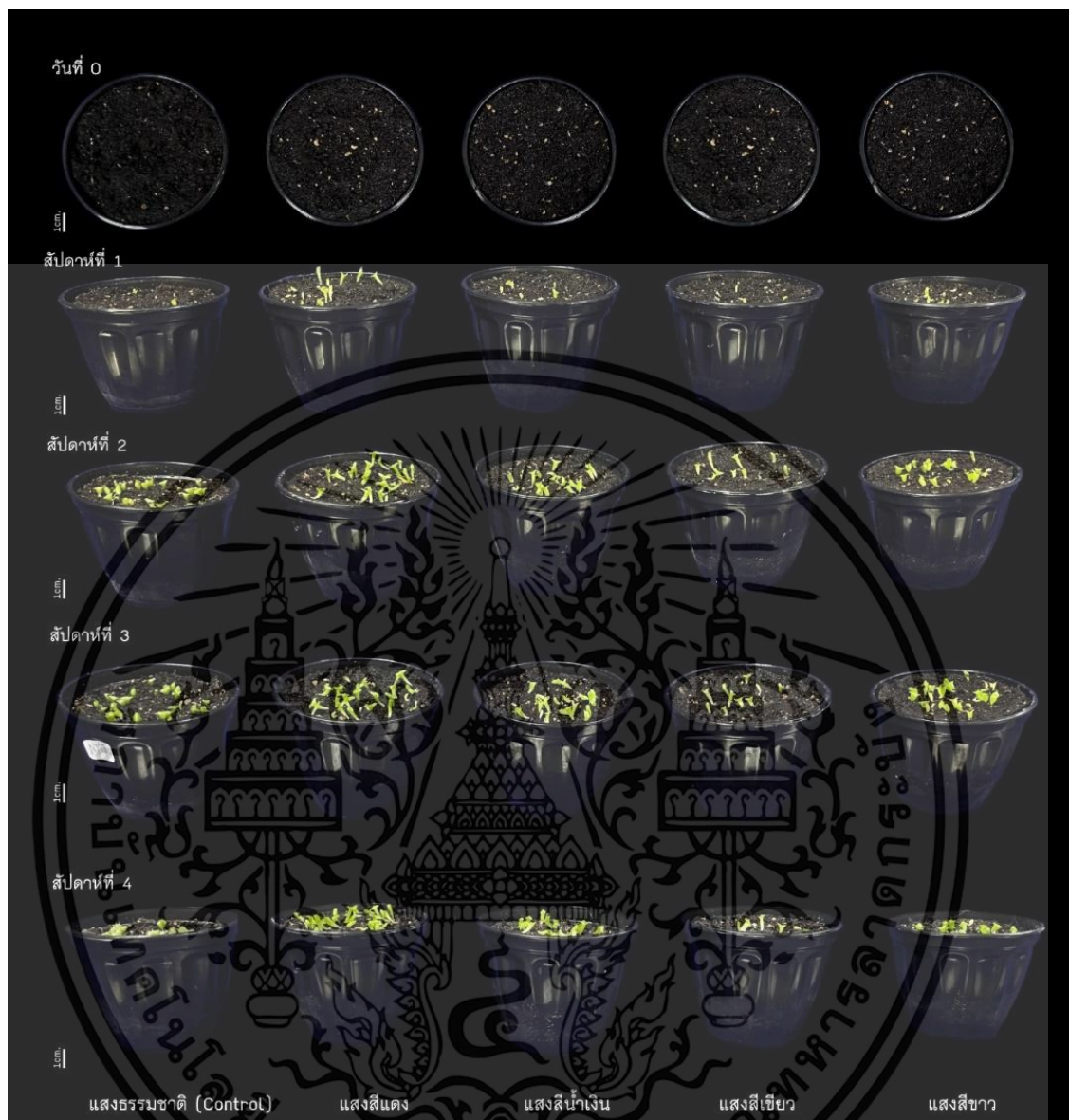
รูปที่ 4.15 ความสูงลำต้น *E. grusonii* หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การงอกของเมล็ด *M. geometrizans* หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสี ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



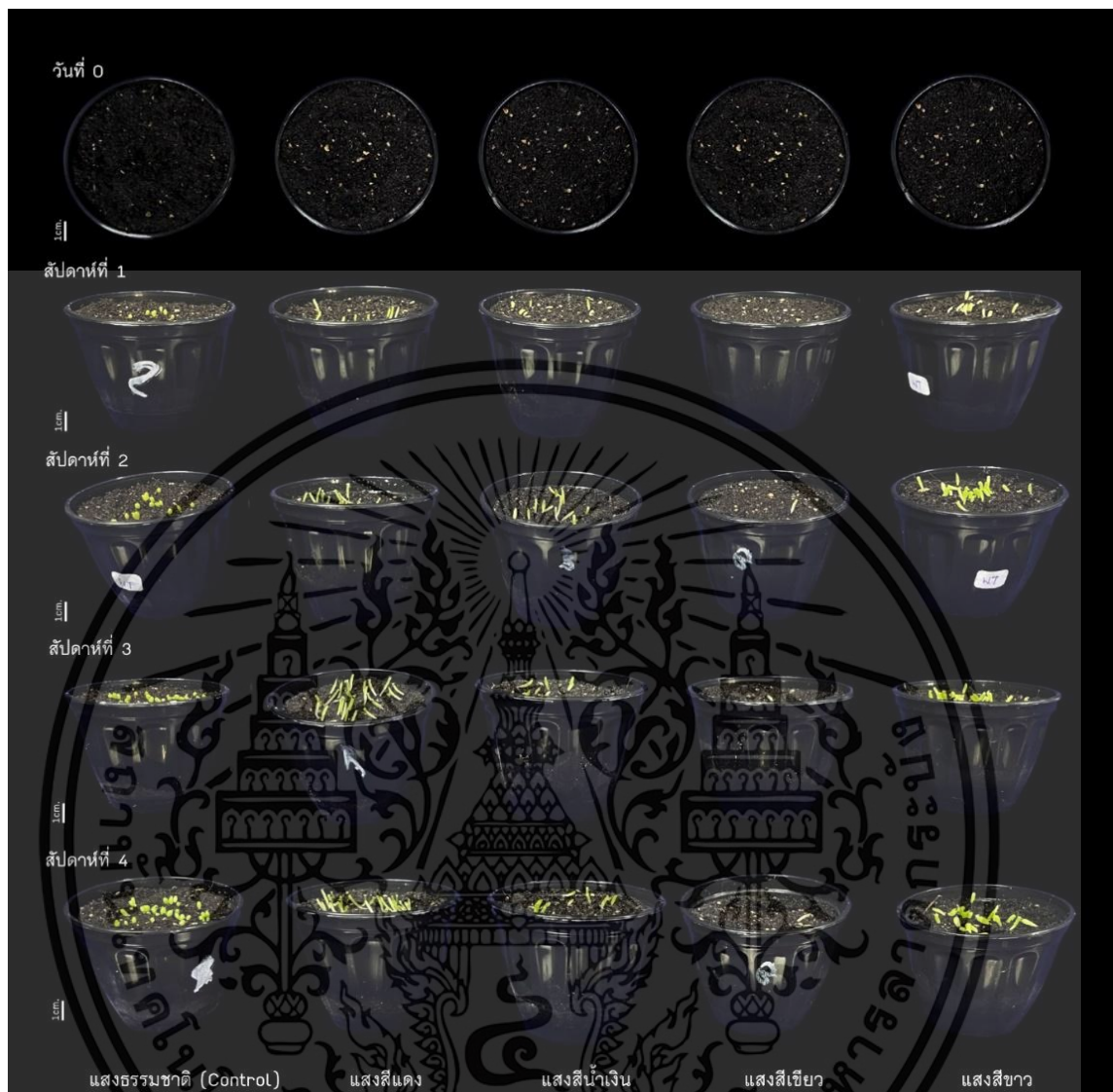
รูปที่ 4.17 ความสูงลำต้น *M. geometrizans* หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การงอกของเมล็ด *T. alonsoi* หลังจากได้รับแสงจากหลอด LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ความสูงลำต้น *T. alonsoi* หลังจากได้รับแสงจากหลอดไฟ LED ที่มีสีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 การทดลองที่ 3 ผลของจำนวนชั่วโมงในการให้แสงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร

### 4.4.1 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร

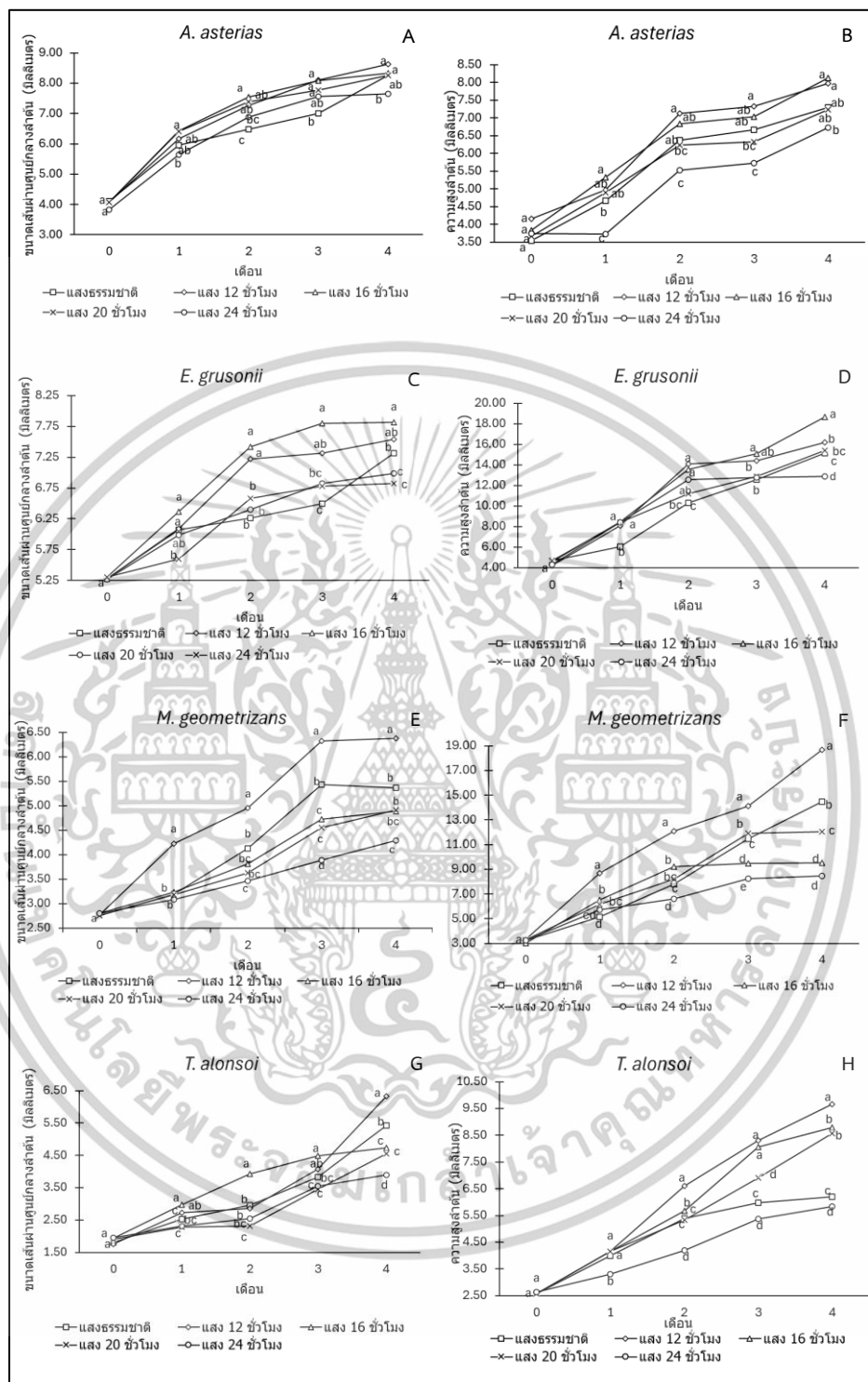
การเจริญเติบโตของต้นกล้า *A. asterias* หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 1 เดือน พบว่า การให้แสงจำนวน 16 และ 20 ชั่วโมง ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 6.43 และ 6.41 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.19A) แต่การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ความสูงลำต้นมากที่สุด คือ 5.33 มิลลิเมตร และในเดือนที่ 4 การให้แสง 16 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงลำต้นไม่แตกต่างจากการให้แสง 12 ชั่วโมง (รูปที่ 4.19B) แต่การให้แสงธรรมชาติ มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด (2.53) (รูปที่ 4.20A) ขณะที่จำนวนรากของทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีเพียงจำนวน 1 รากในทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 4.4) ความยาวรากมากที่สุดในการให้แสงธรรมชาติ (1.52 เซนติเมตร) การให้แสงจำนวน 16 ชั่วโมง ทำให้น้ำหนักสดมากที่สุด เฉลี่ย 0.83 กรัม แต่การให้แสง 24 ชั่วโมงทำให้น้ำหนักแห้งมากที่สุด เฉลี่ย 3,650 มิลลิกรัม

การเจริญเติบโตของต้นกล้า *E. grusonii* พบว่า การให้แสง 12 และ 16 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด (6.37 และ 6.37 มิลลิเมตร) ในเดือนที่ 1 (รูปที่ 4.19C) และเพิ่มสูงขึ้น โดยในเดือนที่ 4 การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 7.82 มิลลิเมตร แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสง 12 ชั่วโมง คือ 7.54 มิลลิเมตร ซึ่งการให้แสง 12 ชั่วโมง มีความสูงลำต้นมากที่สุด ในเดือนที่ 1 เฉลี่ย 8.47 และ 8.10 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.19D) และการให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่เพิ่มสูงขึ้นในเดือนที่ 4 เฉลี่ย 4.32 (รูปที่ 4.20B) นอกจากนั้นแล้วการให้แสง 16 ชั่วโมง ในเดือนที่ 4 มีน้ำหนักสด (1.22 กรัม) และน้ำหนักแห้ง (2,670 มิลลิกรัม) สูงที่สุด (ตารางที่ 4.4) ขณะที่การให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ความยาวรากมากที่สุด 1.96 มิลลิเมตร แต่ภายใต้แสงธรรมชาติ มีจำนวนรากมากที่สุด คือ 4.44

การเจริญเติบโตของต้นกล้า *M. geometrizaans* พบว่า การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด คือ 4.23 มิลลิเมตร ในเดือนที่ 1 (รูปที่ 4.19E) และเพิ่มสูงขึ้นในเดือนที่ 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น เฉลี่ย 6.38 มิลลิเมตร แต่ในเดือนที่ 1 การให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้มีความสูงลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 8.70 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.19F) และเพิ่มสูงขึ้นในเดือนที่ 4 เฉลี่ย 18.07 มิลลิเมตร และการให้แสง 12 ชั่วโมง มีจำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่มากที่สุด (2.20) ในเดือนที่ 1 (รูปที่ 4.20C) ซึ่งเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 4 โดยจำนวนตุ่มหนาม เฉลี่ย 2.27 นอกจากนั้นแล้วการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ความยาวราก (14.00 เซนติเมตร) มากที่สุด (ตารางที่ 4.4) และถึงแม้ว่าการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากแสงธรรมชาติ เฉลี่ย 0.39 กรัม

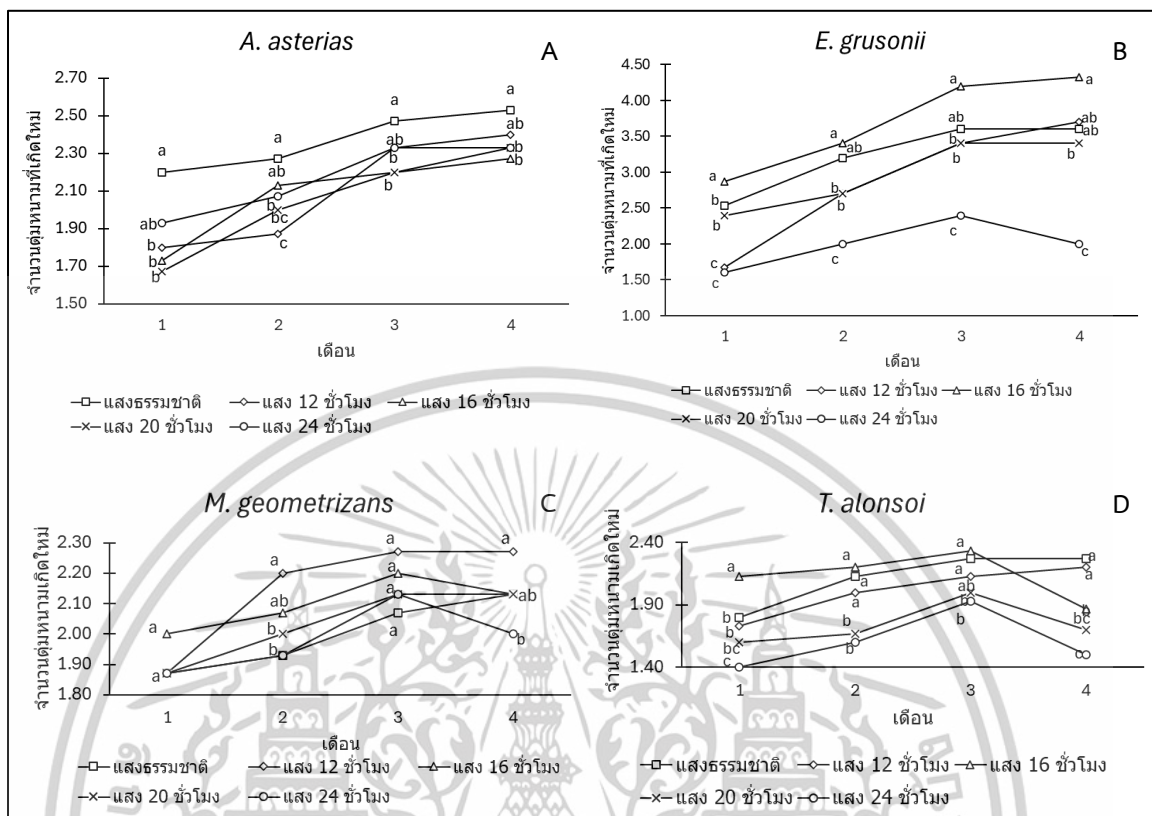
และ 2,070 มิลลิกรัม และการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้จำนวนรากมากที่สุด คือ 3.67 แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสง 16 ชั่วโมง เฉลี่ย 3.33

การเจริญเติบโตของ *T. alonsoi* พบว่า ในเดือนที่ 1 การให้แสง 16 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด คือ 2.97 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.19G) แต่ในเดือนที่ 4 การให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงที่สุด เฉลี่ย 6.32 มิลลิเมตร แต่ในเดือนที่ 1 การให้แสง 12, 16 และ 20 ชั่วโมง ทำให้มีความสูงลำต้นมากที่สุด (4.15, 4.15 และ 4.15 มิลลิเมตร ตามลำดับ) (รูปที่ 4.19H) ขณะที่เดือนที่ 4 การให้แสง 12 ชั่วโมง มีความสูงต้นมากที่สุด เฉลี่ย 9.67 มิลลิเมตร นอกจากนั้นในเดือนที่ 1 การให้แสง 16 ชั่วโมง มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด เฉลี่ย 2.13 (รูปที่ 4.20D) แต่ในเดือนที่ 4 การให้แสงธรรมชาติ ทำให้จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด คือ 2.27 แต่ไม่แตกต่างจากแสง 12 ชั่วโมง เฉลี่ย 4.33 นอกจากนั้นแล้วการให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้จำนวนรากมากที่สุด คือ 4.67 (ตารางที่ 4.4) แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสง 12 ชั่วโมง เฉลี่ย 4.33 ขณะที่การให้แสง 16 ชั่วโมง มีความยาวราก และน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 4.67 เซนติเมตร และ 0.18 กรัม และการให้แสง 12 และ 16 ชั่วโมง มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด เฉลี่ย 650 และ 780 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.20 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้า *A. asterias* (A), *E. grusonii* (C), *M. geometrizans* (E) และ *T. alonsoi* (G) และความสูงลำต้นของต้นกล้า *A. asterias* (B), *E. grusonii* (D), *M. geometrizans* (F) และ *T. alonsoi* (H) หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 จำนวนตุ่มหนามที่เกิดขึ้นใหม่ของต้นกล้ากระบองเพชร *A. asterias* (A), *E. grusonii* (B), *M. geometrizans* (C) และ *T. alonsoi* (D) หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สุกหลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกันนาน 4 เดือน

กรรมวิธี	จำนวนราก	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม)
<i>A. asterias</i>				
แสงธรรมชาติ	1	1.52 <sup>a</sup>	0.44 <sup>d</sup>	1,560 <sup>d</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	1	1.41 <sup>ab</sup>	0.57 <sup>c</sup>	2,060 <sup>cd</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	1	1.40 <sup>ab</sup>	0.83 <sup>a</sup>	2,880 <sup>b</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	1	1.40 <sup>ab</sup>	0.45 <sup>d</sup>	2,560 <sup>bc</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	1	1.18 <sup>b</sup>	0.67 <sup>b</sup>	3,650 <sup>a</sup>
%CV	-	19.07	7.31	12.21
<i>E. grusonii</i>				
แสงธรรมชาติ	4.44 <sup>a</sup>	1.47 <sup>cd</sup>	0.96 <sup>b</sup>	1,910 <sup>b</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	3.11 <sup>c</sup>	1.96 <sup>a</sup>	0.93 <sup>b</sup>	1,910 <sup>b</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	3.89 <sup>b</sup>	1.66 <sup>bc</sup>	1.22 <sup>a</sup>	2,670 <sup>a</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	3.56 <sup>b</sup>	1.94 <sup>ab</sup>	0.90 <sup>b</sup>	1,940 <sup>b</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	2.78 <sup>c</sup>	1.30 <sup>d</sup>	0.38 <sup>c</sup>	790 <sup>c</sup>
%CV	12.40	18.68	10.25	17.08
<i>M. geometrizzans</i>				
แสงธรรมชาติ	2.33 <sup>b</sup>	12.83 <sup>b</sup>	0.40 <sup>a</sup>	2,070 <sup>a</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	3.67 <sup>a</sup>	14.00 <sup>a</sup>	0.39 <sup>a</sup>	2,070 <sup>a</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	3.33 <sup>a</sup>	6.33 <sup>c</sup>	0.14 <sup>b</sup>	1,020 <sup>b</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	2.67 <sup>b</sup>	4.00 <sup>d</sup>	0.14 <sup>b</sup>	840 <sup>bc</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	1.00 <sup>c</sup>	7.00 <sup>c</sup>	0.12 <sup>b</sup>	510 <sup>c</sup>
%CV	9.93	6.03	18.11	14.20
<i>T. alonsoi</i>				
แสงธรรมชาติ	4.67 <sup>a</sup>	3.83 <sup>b</sup>	0.12 <sup>b</sup>	410 <sup>b</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	4.33 <sup>a</sup>	3.50 <sup>b</sup>	0.11 <sup>bc</sup>	650 <sup>a</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	3.33 <sup>b</sup>	4.67 <sup>a</sup>	0.18 <sup>a</sup>	780 <sup>a</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	2.67 <sup>c</sup>	2.00 <sup>c</sup>	0.07 <sup>c</sup>	290 <sup>b</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	2.33 <sup>c</sup>	4.00 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>	320 <sup>b</sup>
%CV	8.33	10.14	22.65	22.32

ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์

ต้นกล้าของ *A. asterias* หลังจากให้จำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน พบว่า ทั้ง 5 กรรมวิธีมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) โดยการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์มากที่สุด (3.87, 3.07, 6.94 และ 61.29 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) แต่การให้แสง 20 ชั่วโมง มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ต่ำที่สุด (1.31, 1.38, 2.70 และ 26.93 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ)

ต้นกล้าของ *E. grusonii* พบว่า ทั้ง 5 กรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุด เฉลี่ย 2.70 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แต่การให้แสง 12 และ 16 ชั่วโมง มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี (2.33 และ 2.35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร), คลอโรฟิลล์รวม (5.03 และ 4.79 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) และแคโรทีนอยด์ (44.70 และ 44.59 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) มากที่สุด ขณะที่การให้แสง 20 และ 24 ชั่วโมง เทียบเท่ากับแสงธรรมชาติ

ต้นกล้าของ *M. geometrizans* พบว่า ทั้ง 5 กรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้แสงธรรมชาติ, การให้แสง 16, และ 20 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (5.08, 5.39 และ 5.02 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ), คลอโรฟิลล์บี (3.90, 4.10 และ 4.37 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) และคลอโรฟิลล์รวม (8.97, 9.48 และ 9.39 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) สูงที่สุด แต่การให้แสง 12 และ 24 ชั่วโมงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (3.46 และ 2.76 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร), คลอโรฟิลล์บี (2.79 และ 2.76 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) และคลอโรฟิลล์รวม (6.25 และ 5.52 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) ต่ำที่สุด ขณะที่การให้แสง 16 และ 20 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด เฉลี่ย 83.50 และ 90.22 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้แสงธรรมชาติ (80.19 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) แต่การให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำที่สุด คือ 53.57 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

ต้นกล้าของ *T. alonsoi* พบว่า ทั้ง 5 กรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้แสงธรรมชาติ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุด คือ 3.38 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แต่การให้แสง 24 ชั่วโมง มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอน้อยที่สุด เฉลี่ย 1.16 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ส่วนการให้แสง 20 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมสูงที่สุด เฉลี่ย 6.06 และ 8.48 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แต่การให้แสง 16 ชั่วโมงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมต่ำที่สุด คือ 1.52 และ 3.52 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ขณะที่การให้แสง 12 ชั่วโมงทำให้แคโรทีนอยด์สูงที่สุด เฉลี่ย 54.15 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แต่การให้แสง 16, 20 และ 24 ชั่วโมง มีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าการให้แสงธรรมชาติ

ตารางที่ 4.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน

กรรมวิธี	คลอโรฟิลล์เอ ( $\mu\text{g/ml}$ )	คลอโรฟิลล์บี ( $\mu\text{g/ml}$ )	คลอโรฟิลล์รวม ( $\mu\text{g/ml}$ )	แคโรทีนอยด์ ( $\mu\text{g/ml}$ )
<i>A. asterias</i>				
แสงธรรมชาติ	2.66 <sup>b</sup>	2.30 <sup>b</sup>	4.95 <sup>b</sup>	42.64 <sup>b</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	3.87 <sup>a</sup>	3.07 <sup>a</sup>	6.94 <sup>a</sup>	61.29 <sup>a</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	2.17 <sup>bc</sup>	1.98 <sup>bc</sup>	4.14 <sup>bc</sup>	36.22 <sup>bc</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	1.31 <sup>d</sup>	1.39 <sup>d</sup>	2.70 <sup>d</sup>	26.93 <sup>c</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	1.82 <sup>cd</sup>	1.72 <sup>cd</sup>	3.53 <sup>cd</sup>	34.69 <sup>bc</sup>
%CV	15.29	11.96	13.62	17.27
<i>E. grusonii</i>				
แสงธรรมชาติ	1.22 <sup>d</sup>	1.33 <sup>b</sup>	2.55 <sup>b</sup>	22.65 <sup>b</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	2.70 <sup>a</sup>	2.33 <sup>a</sup>	5.03 <sup>a</sup>	44.70 <sup>a</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	2.45 <sup>b</sup>	2.35 <sup>a</sup>	4.79 <sup>a</sup>	44.59 <sup>a</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	1.00 <sup>e</sup>	1.17 <sup>b</sup>	2.16 <sup>b</sup>	22.10 <sup>b</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	1.47 <sup>c</sup>	1.54 <sup>b</sup>	3.01 <sup>b</sup>	30.53 <sup>b</sup>
%CV	1.53	13.15	19.91	18.90
<i>M. geometrizzans</i>				
แสงธรรมชาติ	5.08 <sup>a</sup>	3.90 <sup>a</sup>	8.97 <sup>a</sup>	80.19 <sup>ab</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	3.46 <sup>b</sup>	2.79 <sup>b</sup>	6.25 <sup>b</sup>	53.57 <sup>c</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	5.39 <sup>a</sup>	4.10 <sup>a</sup>	9.48 <sup>a</sup>	83.50 <sup>a</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	5.02 <sup>a</sup>	4.37 <sup>a</sup>	9.39 <sup>a</sup>	90.22 <sup>a</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	2.76 <sup>b</sup>	2.76 <sup>b</sup>	5.52 <sup>b</sup>	56.62 <sup>bc</sup>
%CV	18.75	16.19	17.43	18.06
<i>T. alonsoi</i>				
แสงธรรมชาติ	3.38 <sup>a</sup>	2.84 <sup>c</sup>	6.20 <sup>b</sup>	51.84 <sup>b</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	3.20 <sup>b</sup>	2.64 <sup>d</sup>	5.85 <sup>b</sup>	54.15 <sup>a</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	1.60 <sup>d</sup>	1.52 <sup>e</sup>	3.12 <sup>d</sup>	29.10 <sup>c</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	2.12 <sup>c</sup>	6.06 <sup>a</sup>	8.48 <sup>a</sup>	28.11 <sup>c</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	1.16 <sup>e</sup>	3.59 <sup>b</sup>	4.71 <sup>c</sup>	28.61 <sup>c</sup>
%CV	2.80	1.71	3.72	1.50

ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.3 ปริมาณโพรลีน และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA)

ต้นกล้าของ *A. asterias* หลังจากให้จำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน พบว่า ทั้ง 4 กรรมวิธีมีปริมาณโพรลีน และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.6) โดยการให้แสง 16, 20 และ 24 ชั่วโมงทำให้มีปริมาณโพรลีนมากที่สุด เฉลี่ย 2.76, 2.73 และ 2.78 ppm และการให้แสง 24 ชั่วโมง มีปริมาณ MDA สูงที่สุด คือ 2.37 nmol/gfw ขณะที่การให้แสงธรรมชาติ และการให้แสง 12 ชั่วโมงมีปริมาณโพรลีน (1.93 และ 1.96 ppm) และ MDA (1.63 และ 1.61 nmol/gFW) ต่ำที่สุด

ต้นกล้าของ *E. grusonii* พบว่า ทั้ง 4 กรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้แสง 24 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณโพรลีนมากที่สุด คือ 1.23 ppm แต่ไม่แตกต่างจากแสงธรรมชาติ และการให้แสง 12 และ 20 ชั่วโมง (1.01, 1.00 และ 1.01 ppm) ขณะที่การให้แสง 16 ชั่วโมงทำให้มีปริมาณโพรลีนต่ำที่สุด เฉลี่ย 0.89 ppm และการให้แสง 16 ชั่วโมง มี MDA สูงที่สุด คือ 4.67 nmol/gFW แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสง 24 ชั่วโมง (4.30 nmol/gFW) ขณะที่การให้แสง 20 ชั่วโมง ทำให้มี MDA ต่ำที่สุด เฉลี่ย 2.88 nmol/gFW

ต้นกล้าของ *M. geometrizans* พบว่า ทั้ง 4 กรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้แสง 24 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณโพรลีนมากที่สุด เฉลี่ย 2.17 ppm แต่การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณโพรลีนต่ำที่สุด คือ 0.54 ppm ขณะที่การให้แสง 16 และ 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณ MDA มากที่สุด เฉลี่ย 6.24 และ 6.60 nmol/gFW อย่างไรก็ตามการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณ MDA ต่ำที่สุด คือ 0.71 nmol/gFW

ต้นกล้าของ *T. alonsoi* พบว่า การให้แสง 24 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณโพรลีนสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ (3.55 ppm) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณ MDA สูงที่สุด เฉลี่ย 5.61 nmol/gFW แต่การให้แสง 24 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณ MDA ต่ำที่สุด (2.56 nmol/gFW) ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้แสงธรรมชาติ คือ 2.86 nmol/gFW

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโพรลีน (Proline) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน

กรรมวิธี	ปริมาณโพรลีน (ppm)	ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (nmol/gFW)
<i>A. asterias</i>		
แสงธรรมชาติ	1.93 <sup>b</sup>	1.63 <sup>d</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	1.96 <sup>b</sup>	1.61 <sup>d</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	2.76 <sup>a</sup>	2.04 <sup>c</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	2.73 <sup>a</sup>	2.24 <sup>b</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	2.78 <sup>a</sup>	2.37 <sup>a</sup>
%CV	13.01	3.43
<i>E. grusonii</i>		
แสงธรรมชาติ	1.01 <sup>ab</sup>	4.19 <sup>b</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	1.00 <sup>ab</sup>	4.09 <sup>b</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	0.89 <sup>b</sup>	4.67 <sup>a</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	1.01 <sup>ab</sup>	2.88 <sup>c</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	1.23 <sup>a</sup>	4.30 <sup>ab</sup>
%CV	9.82	5.37
<i>M. geometrizans</i>		
แสงธรรมชาติ	1.56 <sup>b</sup>	2.05 <sup>c</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	0.79 <sup>c</sup>	0.71 <sup>d</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	0.54 <sup>d</sup>	6.24 <sup>a</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	1.63 <sup>b</sup>	4.67 <sup>b</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	2.17 <sup>a</sup>	6.60 <sup>a</sup>
%CV	6.37	5.70
<i>T. alonsoi</i>		
แสงธรรมชาติ	2.45 <sup>b</sup>	2.86 <sup>c</sup>
ให้แสง 12 ชั่วโมง	2.03 <sup>b</sup>	3.81 <sup>b</sup>
ให้แสง 16 ชั่วโมง	2.48 <sup>b</sup>	5.61 <sup>a</sup>
ให้แสง 20 ชั่วโมง	1.66 <sup>b</sup>	3.44 <sup>b</sup>
ให้แสง 24 ชั่วโมง	3.55 <sup>a</sup>	2.56 <sup>c</sup>
%CV	19.61	7.55

ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P \leq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

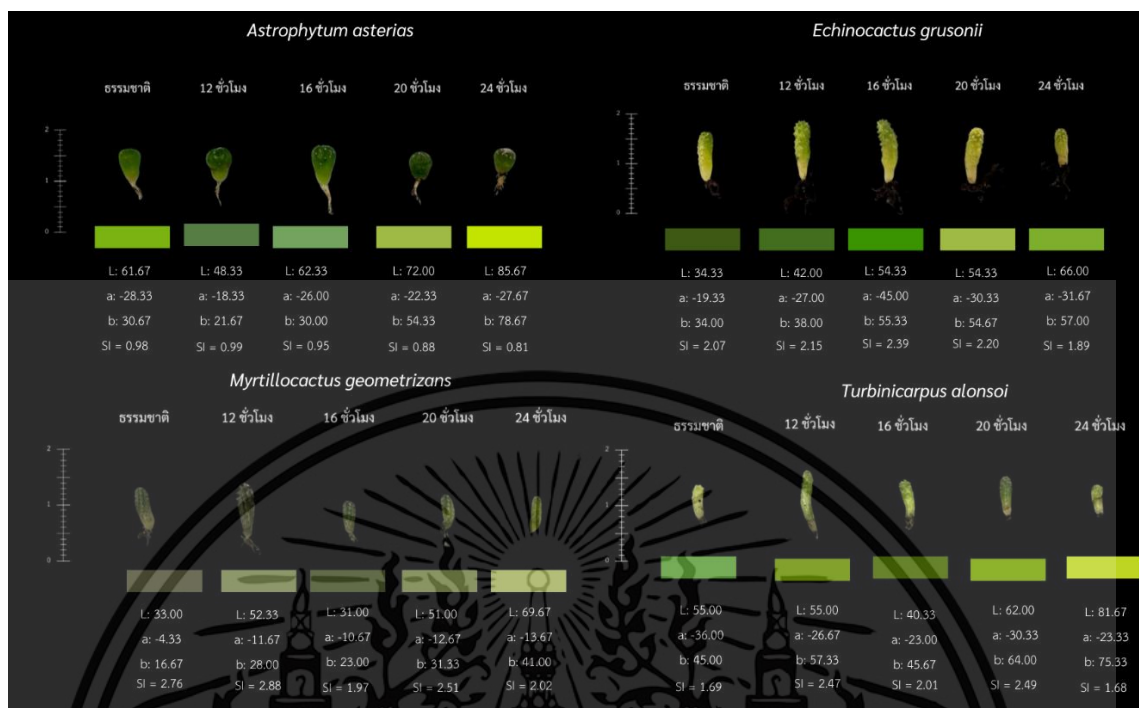
#### 4.4.4 ค่าสีลำต้น และดัชนีทรงต้นของต้นกล้ากระบองเพชร

จากรูปที่ 4.22 แสดงลักษณะต้นกล้าของ *A. asterias* ที่ได้รับแสงเป็นเวลานานแตกต่างกัน พบว่า ต้นที่ได้รับแสงนาน 16 ชั่วโมง มีสีเขียวใกล้เคียงกับต้นกล้าที่ได้รับแสงธรรมชาติ ซึ่งมีค่า \*L (62.33), \*a (-26.00), \*b (30.00) และ \*L = 61.67, \*a = -28.33 และ \*b = 30.67 ตามลำดับ ขณะที่การให้แสง 24 ชั่วโมงมีสีเขียวอมเหลือง เพราะมีค่า \*L (85.67) และ \*b (78.67) สูงกว่าแสงธรรมชาติ นอกจากนี้ค่าดัชนีทรงต้นของทั้ง 5 กรรมวิธียังเป็นไปตามรูปทรงปกติของกระบองเพชรสกุล *A. asterias*

ส่วนต้นกล้าของ *E. grusonii* ที่ได้รับแสง 12 ชั่วโมง มีความเขียวเข้มใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ เนื่องจากมีค่า \*L (42.00) \*a (-27.00) และค่า \*b (38.00) และ \*L = 34.33, \*a = -19.33 และ \*b = 34.00 ตามลำดับ แต่การให้แสง 20 ชั่วโมงมีสีเขียวเหลือง เนื่องจากมีค่า \*L (54.33), \*a (-31.67) และ \*b (57.00) สูงกว่าแสงธรรมชาติ แต่การให้แสง 24 ชั่วโมง ทำให้มีค่าดัชนีทรงต้นของ *E. grusonii* เป็นไปตามปกติของกระบองเพชรสกุล *E. grusonii*

ต้นกล้าของ *M. geometrizzans* พบว่า การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้มีค่าสีลำต้นเขียวเข้มกว่าแสงธรรมชาติ เนื่องจากมีค่า \*L (31.00) และ \*b (23.00) สูงเท่ากับแสงธรรมชาติ แต่มีค่า \*a (-10.67) ต่ำกว่าแสงธรรมชาติ ขณะที่การให้แสง 24 ชั่วโมงมีสีเขียวอ่อนมากที่สุด เพราะ มีค่า \*L (69.67) และ \*b (-13.67) สูงที่สุด แต่มีค่า \*b (41.00) ต่ำที่สุด ขณะที่แสงธรรมชาติ, การให้แสง 12, 20 และ 24 ชั่วโมง มีดัชนีทรงต้นตรงตามสกุลของ *M. geometrizzans*

ต้นกล้าของ *T. alonsoi* ที่ได้รับแสง 16 ชั่วโมง ทำให้มีความเขียวเข้มมากกว่ากรรมวิธีอื่น เนื่องจาก มีค่า \*L (40.33) และค่า \*b (-23.00) ต่ำที่สุด ขณะที่การให้แสง 24 ชั่วโมง มีความเขียวเหลืองมากที่สุด ซึ่งมีค่า \*L (81.67) และ \*b (75.33) สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ขณะที่การได้รับแสง 24 ชั่วโมง และการให้แสงธรรมชาติมีดัชนีทรงต้นตามสกุลของ *T. alonsoi*



รูปที่ 4.22 ค่าสีของลำต้น และดัชนีทรงต้นของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล

ค่า L\* หมายถึง ค่าความสว่าง (ค่า L\* มากคือความสว่างมาก ค่า L\* น้อยคือความสว่างน้อย)

ค่า a\* หมายถึง ค่าที่ระบุว่าเป็นสีเขียว และสีแดง (ค่าสีแดง เป็น (+) ค่าสีเขียว เป็น (-))

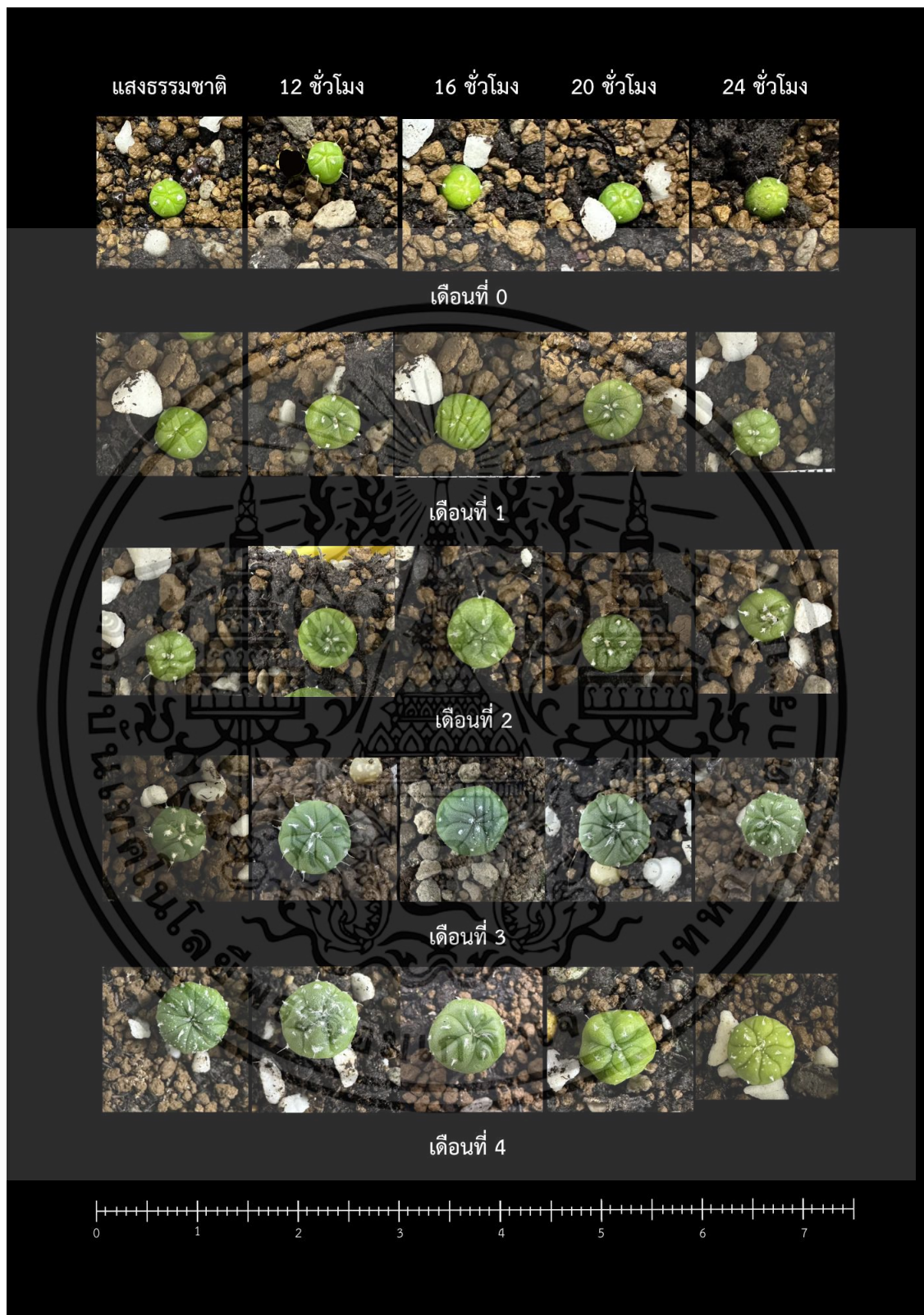
ค่า b\* หมายถึง ค่าที่ระบุสีน้ำเงิน และสีเหลือง (ค่าสีเหลือง เป็น (+) และค่าสีน้ำเงิน เป็น (-))

#### 4.4.5 วิจัยรณัผลการทดลอง

ผลของจำนวนชั่วโมงในการให้แสงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล พบว่าการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ *M. geometrizans* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่ จำนวนราก ความยาวราก และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับใน *T. alonsoi* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด ใน *A. asterias* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด แต่ใน *E. grusonii* มีความยาวราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด เพราะ มีความใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมในธรรมชาติของกระบองเพชร (Smith, 2018; Charles, 2014) ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสง และเมตาบอลิซึมเป็นไปตามปกติ โดยมีช่วงให้กระบองเพชรมีเวลาพักฟื้นฟูกระบวนการเมตาบอลิซึมที่จำเป็น (Taiz & Zeiger, 2015) และนอกจากนั้นการให้แสง 12 ชั่วโมงสามารถทำให้กระบองเพชรได้สังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มที่ โดยที่ไม่เกิดความเครียดจากแสงมากเกินไป ซึ่งทำให้

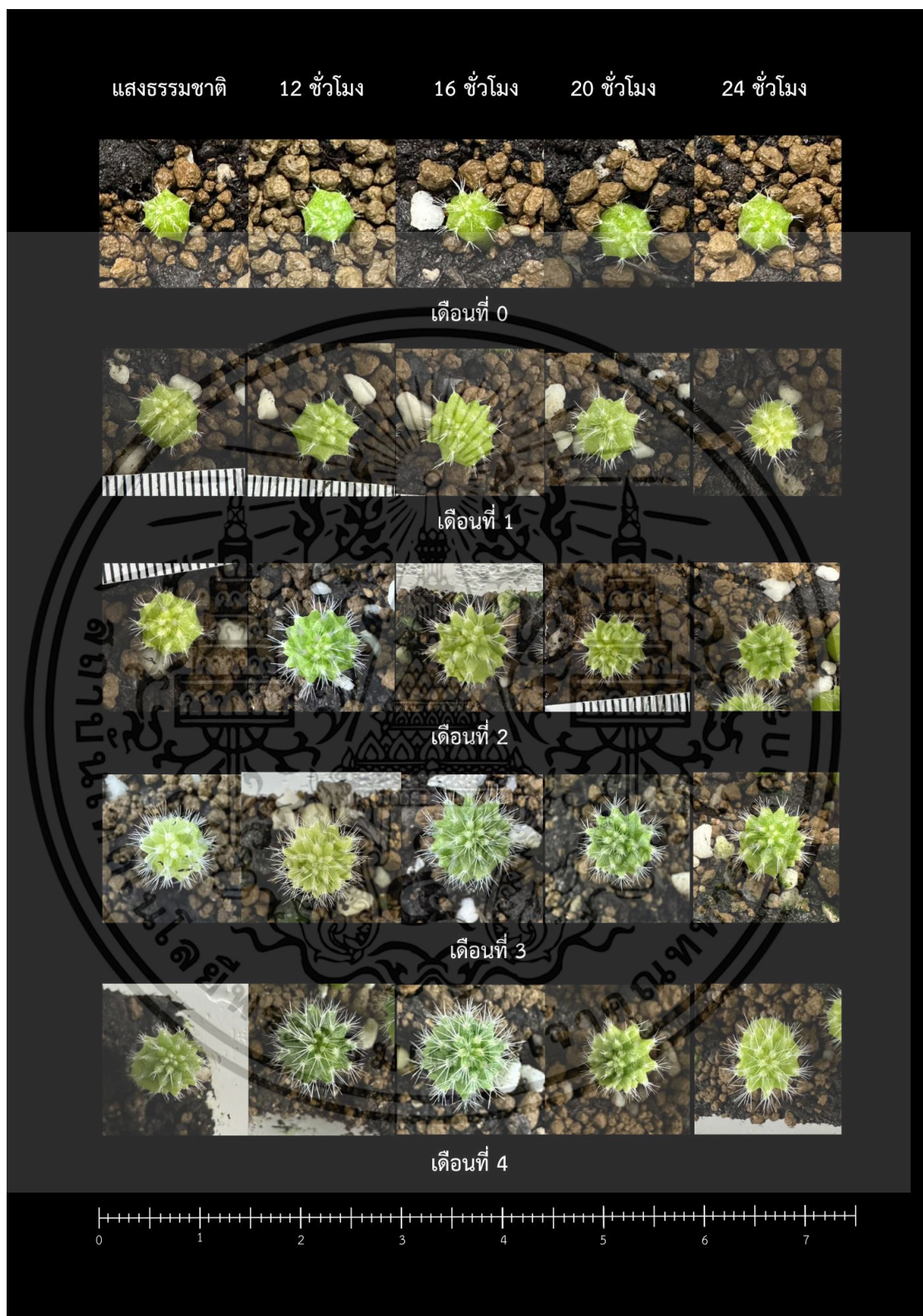
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถผลิตคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ได้มากขึ้น เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง และป้องกันจากแสงที่มีความเข้มแสงสูง (Taiz & Zeiger, 2015; Rabinowitch & Govindjee, 1969) ขณะที่การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ *A. asterias* มีความสูงลำต้น น้ำหนักสดมากที่สุด ในขณะที่ *T. alonsoi* มีความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด แต่ใน *E. grusonii* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น จำนวนตุ่มหนามที่เกิดขึ้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์บีมากที่สุด และใน *M. geometrizans* มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด เนื่องจาก การให้แสงจำนวน 16 ชั่วโมง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของลำต้น เพราะการให้แสงที่เพิ่มขึ้น ทำให้พืชมีการสร้างพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น (Kim *et al.*, 2023) แต่การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ *E. grusonii* มีปริมาณ MDA สูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การให้แสงที่เพิ่มขึ้นทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี แต่ยังส่งผลให้พืชเกิดความเครียด เนื่องจากจำนวนแสงที่มากเกินไป (Taiz *et al.*, 2015) ในการให้แสง 20 ชั่วโมง ทำให้ *M. geometrizans* มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์สูงที่สุด เนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับแสง (Taiz *et al.*, 2015; Niyogi, 1999) และป้องกันความเสียหายที่เกิดจากแสงส่วนเกิน (Demmig & Adams, 1996) ในขณะที่การให้แสง 24 ชั่วโมง ทำให้กระบองเพชรทั้ง 4 สกุล มีปริมาณโพรงสูงที่สุด และใน *A. asterias* มีปริมาณ MDA และน้ำหนักแห้งมากที่สุด นอกจากนั้นทำให้ *M. geometrizans* มีปริมาณ MDA สูงที่สุด เพราะ การให้แสง 24 ชั่วโมง ส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์แสงตลอดเวลา จึงมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งที่สะสมอยู่ในต้นพืชมากขึ้น (Taiz *et al.*, 2015) แต่การไม่มีช่วงมืด ทำให้กระบองเพชรไม่สามารถตรึง CO<sub>2</sub> เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง และสร้างพลังงานได้ (Ting, 1985) ส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์โพรง และ MDA เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการตอบสนองต่อความเครียดของพืช (Molassiotis, 2006) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การให้แสง 12 ชั่วโมงเหมาะสมสำหรับการใช้ปลูกกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล ในขณะที่การให้แสง 16 – 24 ชั่วโมง ส่งผลให้พืชมีความเครียด จึงทำให้พืชมีการสังเคราะห์สารเพื่อป้องกันความเครียดที่เกิดขึ้น



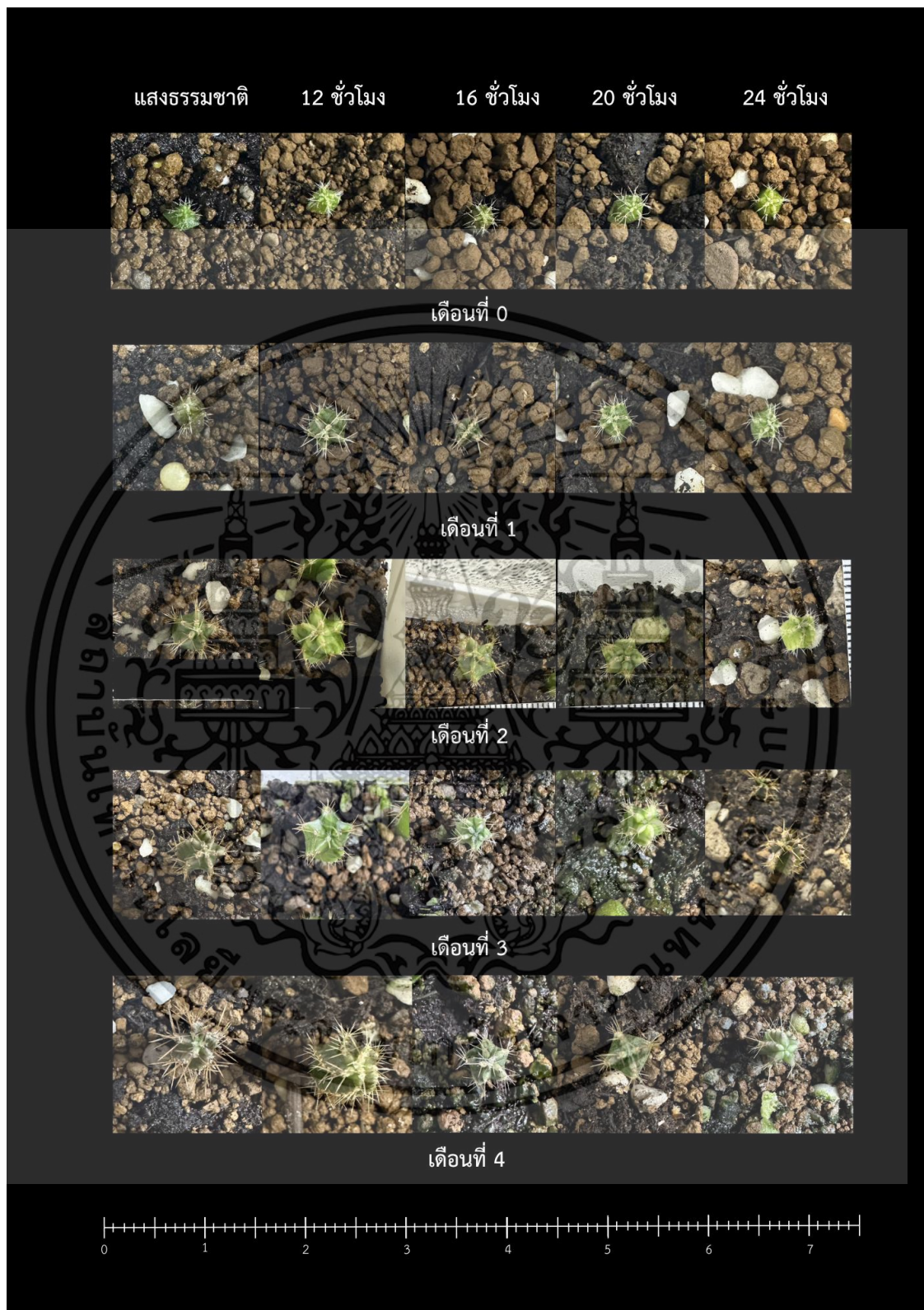
รูปที่ 4.23 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ *A. asterias* หลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



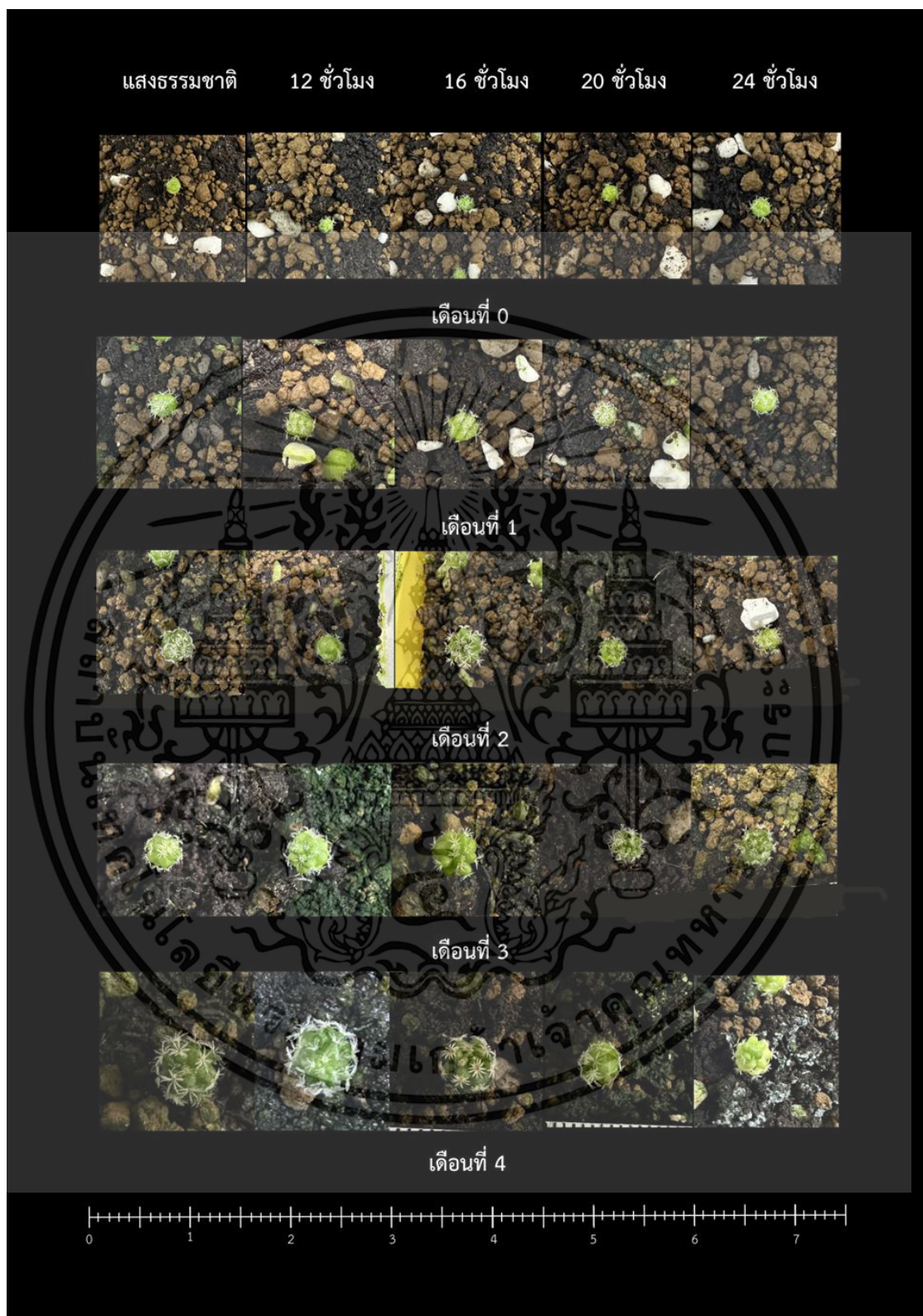
รูปที่ 4.24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ *E. grusonii* หลังจากได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ *M. geometrizans* หลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของ *T. alonsoi* หลังได้รับจำนวนชั่วโมงแสงที่แตกต่างกัน นาน 4 เดือน

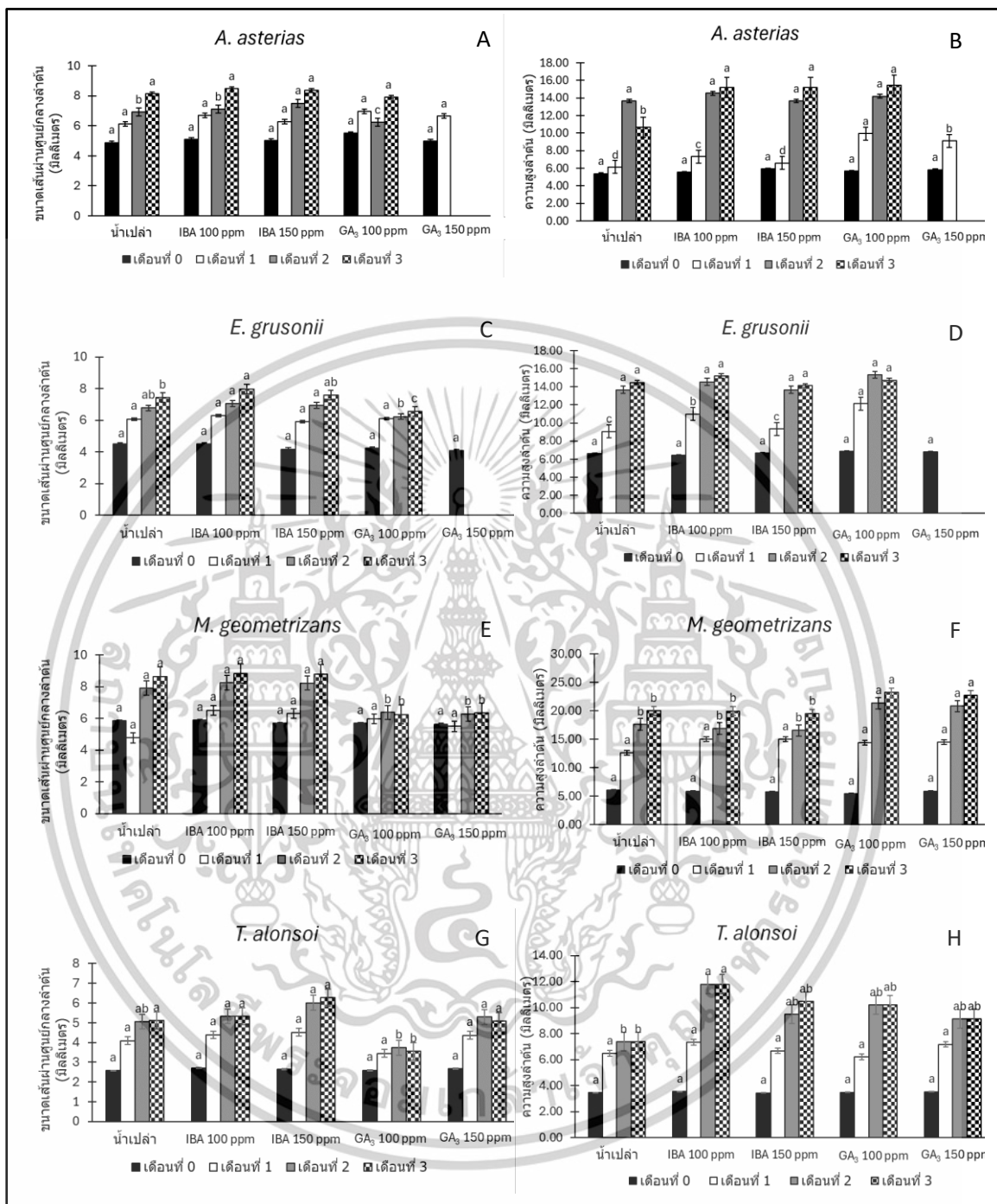
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 การทดลองที่ 4 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร

### 4.5.1 การเจริญเติบโตของกระบองเพชร

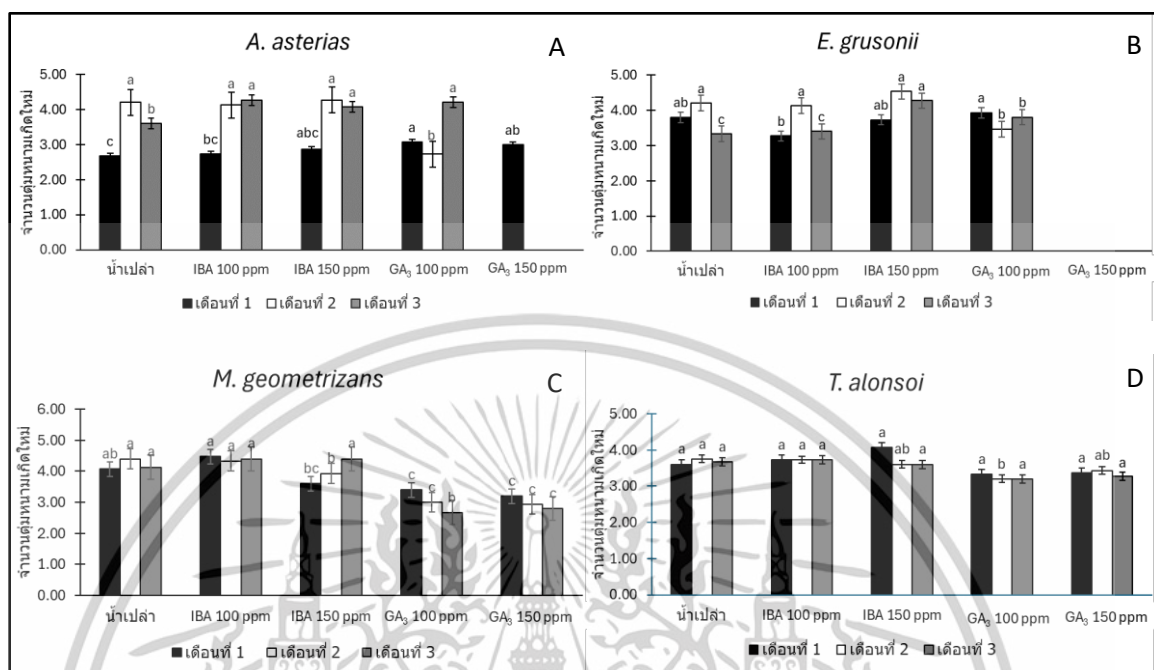
การเจริญเติบโตของต้นกล้า *A. asterias* พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นในเดือนที่ 1 และเดือนที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 6.13 – 6.97 มิลลิเมตร และ 7.91 – 8.47 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.26A) แต่ในเดือนที่ 2 การพ่น IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 7.51 มิลลิเมตร และการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ความสูงลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 6.60 มิลลิเมตร ในเดือนที่ 1 (รูปที่ 4.26B) แต่ในเดือนที่ 3 ทุกกรรมวิธีให้ความสูงมากกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า นอกจากนั้นแล้วการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุดในเดือนที่ 1 (3.07) (รูปที่ 4.27A) ขณะที่ในเดือนที่ 3 ทุกกรรมวิธี ให้จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่สูงกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า จำนวนราก และความยาวราก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเฉลี่ย 12.00 – 12.87 มิลลิเมตร และ 2.13 – 2.40 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) แต่การพ่นด้วย  $GA_3$  ความเข้มข้น 150 ppm มีน้ำหนักสด (0.89 มิลลิกรัม) และน้ำหนักแห้ง (24.90 มิลลิกรัม) มากกว่ากรรมวิธีอื่น แต่การพ่นด้วย  $GA_3$  ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ต้นกล้าตายตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2

การเจริญเติบโตของต้นกล้า *E. grusonii* พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นในเดือนที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเฉลี่ย 5.91 – 6.29 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.26C) แต่ในเดือนที่ 3 การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด คือ 7.98 มิลลิเมตร นอกจากนั้นแล้วในเดือนที่ 1 การพ่นด้วย  $GA_3$  ความเข้มข้น 100 ppm มีความสูงลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 12.13 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.26D) และการพ่นด้วย  $GA_3$  ความเข้มข้น 100 ppm มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด เฉลี่ย 4.27 (รูปที่ 4.27B) แต่ในเดือนที่ 3 การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด คือ 4.27 และการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm มีความยาวราก (12.33 มิลลิเมตร) และน้ำหนักแห้ง (23.94 มิลลิกรัม) มากที่สุด (ตารางที่ 4.7) ขณะที่ความยาวหนาม ทั้ง 5 กรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 1.07 – 1.09 แต่การพ่นด้วย  $GA_3$  ความเข้มข้น 100 ppm มีจำนวนรากน้อยที่สุด (2.00) และการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm มีน้ำหนักสดมากที่สุด เฉลี่ย 0.62 กรัม



รูปที่ 4.27 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นกล้า *A. asterias* (A), *E. grusonii* (C), *M. geometrizans* (E) และ *T. alonsoi* (G) และความสูงลำต้นของต้นกล้า *A. asterias* (B), *E. grusonii* (D), *M. geometrizans* (F) และ *T. alonsoi* (H) หลังจากให้ GA<sub>3</sub> และ IBA ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 จำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่ของต้นกล้ากระบองเพชร *A. asterias* (A), *E. grusonii* (B), *M. geometrizans* (C) และ *T. alonsoi* (D) หลังจากให้ GA<sub>3</sub> และ IBA ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

การเจริญเติบโตของ *M. geometrizans* พบว่า ในเดือนที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 4.77 – 6.51 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.26E) แต่ในเดือนที่ 3 การพ่นด้วยน้ำเปล่า, IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm ทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เฉลี่ย 8.56, 8.83 และ 8.79 มิลลิเมตร ตามลำดับ และในเดือนที่ 1 ความสูงลำต้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 12.60 – 15.00 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.26F) ขณะที่การพ่นด้วยน้ำเปล่า, การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm มีความสูงลำต้นน้อยที่สุด คือ 20.00, 19.93 และ 19.47 มิลลิเมตร ตามลำดับ และในเดือนที่ 1 การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด เฉลี่ย 4.47 (รูปที่ 4.27C) แต่ในเดือนที่ 3 การพ่นด้วยน้ำเปล่า, การพ่นด้วย IBA 100 และ 150 ppm ทำให้มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด (4.13, 4.40 และ 4.40 ตามลำดับ) นอกจากนั้นการพ่นด้วยน้ำเปล่า, การพ่นด้วย IBA 100 และ 150 ppm ทำให้มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 4.37, 4.51 และ 4.32 กรัม ตามลำดับ และการพ่นด้วยน้ำเปล่ามีความยาวหนาม (2.00 มิลลิเมตร), ความยาวราก (18.33 มิลลิเมตร), จำนวนราก (3.67) และน้ำหนักแห้ง (68.24 มิลลิกรัม) มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การเจริญเติบโตของกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล หลังจากให้ GA<sub>3</sub> และ IBA ในความเข้มข้นที่ต่างกัน นาน 3 เดือน

กรรมวิธี	ความยาวหนาม (มิลลิเมตร)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)	จำนวนราก	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม)
<i>A. asterias</i>					
น้ำเปล่า	-	12.87	2.13	0.68 <sup>ab</sup>	14.33 <sup>b</sup>
IBA 100 ppm	-	12.00	2.40	0.67 <sup>b</sup>	14.46 <sup>b</sup>
IBA 150 ppm	-	12.60	2.40	0.65 <sup>b</sup>	12.79 <sup>b</sup>
GA <sub>3</sub> 100 ppm	-	12.20	2.33	0.89 <sup>a</sup>	24.90 <sup>a</sup>
GA <sub>3</sub> 150 ppm	-	/nd	/nd	/nd	/nd
%CV	-	18.53	11.15	15.85	14.93
<i>E. grusonii</i>					
น้ำเปล่า	1.09	7.27 <sup>d</sup>	3.07 <sup>a</sup>	0.55 <sup>ab</sup>	8.03 <sup>c</sup>
IBA 100 ppm	1.07	10.27 <sup>c</sup>	3.33 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	10.27 <sup>b</sup>
IBA 150 ppm	1.09	12.33 <sup>a</sup>	3.13 <sup>a</sup>	0.49 <sup>b</sup>	23.94 <sup>a</sup>
GA <sub>3</sub> 100 ppm	1.07	10.53 <sup>b</sup>	2.00 <sup>b</sup>	0.57 <sup>ab</sup>	10.21 <sup>b</sup>
GA <sub>3</sub> 150 ppm	/nd	/nd	/nd	/nd	/nd
%CV	2.27	0.90	7.76	9.93	8.27
<i>M. geometrizans</i>					
น้ำเปล่า	2.00 <sup>a</sup>	18.33 <sup>a</sup>	3.67 <sup>a</sup>	4.37 <sup>a</sup>	68.24 <sup>a</sup>
IBA 100 ppm	1.58 <sup>b</sup>	15.47 <sup>b</sup>	2.73 <sup>b</sup>	4.51 <sup>a</sup>	25.04 <sup>b</sup>
IBA 150 ppm	1.56 <sup>b</sup>	13.60 <sup>c</sup>	3.27 <sup>ab</sup>	4.32 <sup>a</sup>	21.13 <sup>c</sup>
GA <sub>3</sub> 100 ppm	1.47 <sup>b</sup>	11.80 <sup>d</sup>	3.20 <sup>ab</sup>	2.71 <sup>b</sup>	12.91 <sup>d</sup>
GA <sub>3</sub> 150 ppm	1.02 <sup>c</sup>	10.93 <sup>e</sup>	2.47 <sup>b</sup>	2.71 <sup>b</sup>	15.15 <sup>d</sup>
%CV	4.25	2.02	16.33	5.65	6.15
<i>T. alonsoi</i>					
น้ำเปล่า	1.00 <sup>d</sup>	5.40 <sup>ab</sup>	4.27 <sup>ab</sup>	0.25 <sup>a</sup>	4.79 <sup>ab</sup>
IBA 100 ppm	1.38 <sup>c</sup>	5.87 <sup>ab</sup>	4.47 <sup>ab</sup>	0.22 <sup>b</sup>	5.95 <sup>a</sup>
IBA 150 ppm	1.67 <sup>b</sup>	6.07 <sup>a</sup>	4.53 <sup>ab</sup>	0.24 <sup>ab</sup>	5.21 <sup>ab</sup>
GA <sub>3</sub> 100 ppm	2.04 <sup>a</sup>	5.07 <sup>b</sup>	4.13 <sup>b</sup>	0.09 <sup>d</sup>	2.65 <sup>c</sup>
GA <sub>3</sub> 150 ppm	2.07 <sup>a</sup>	5.27 <sup>ab</sup>	4.87 <sup>a</sup>	0.13 <sup>c</sup>	4.30 <sup>b</sup>
%CV	6.26	9.61	7.95	8.84	15.66

ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, /nd = ตันตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญเติบโตของ *T. alonsoi* ในเดือนที่ 3 พบว่า การพ่นด้วยน้ำเปล่า, IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm และ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 150 ppm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่าการพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm (5.12, 5.33, 6.27 และ 5.07 มิลลิเมตร ตามลำดับ) (รูปที่ 4.26G) ขณะที่ การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm มีความสูงลำต้นมากกว่าแสงธรรมชาติ เฉลี่ย 7.36 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.26H) แต่จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติทั้ง 5 กรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ย 3.20 – 3.73 (รูปที่ 4.27D) นอกจากนั้นการพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm มีความยาวหนามมากที่สุด คือ 2.04 และ 2.07 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4.7) และการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm มีความยาวรากมากที่สุด เฉลี่ย 6.07 มิลลิเมตร แต่การพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 150 ppm มีจำนวนรากมากที่สุด เฉลี่ย 4.87 แต่น้ำหนักสดมากที่สุด พบในการพ่นด้วยน้ำเปล่า แต่การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด เฉลี่ย 5.95 มิลลิกรัม

#### 4.5.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นกล้า *A. asterias* พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม ทั้ง 5 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 7.20 – 7.94, 3.16 – 3.50 และ 10.37 – 11.41 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (ตารางที่ 4.8)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นกล้า *E. grusonii* พบว่า ทั้ง 5 กรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด (1.02, 0.65 และ 1.67 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.8) แต่การพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมต่ำที่สุด (0.55, 0.48 และ 1.04 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นกล้า *M. geometrizans* พบว่า ทั้ง 5 กรรมวิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด (6.48, 2.75 และ 9.23 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.8) ในขณะที่การพ่นด้วยน้ำเปล่า, การพ่นด้วย IBA 100 และ 150 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (1.67, 1.67 และ 1.77 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ), คลอโรฟิลล์บี (1.24, 1.24 และ 1.15 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) และคลอโรฟิลล์รวมต่ำที่สุด (2.88, 2.88 และ 2.92 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม หลังจากให้ GA<sub>3</sub> และ IBA ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน

กรรมวิธี	คลอโรฟิลล์เอ (µg/ml)	คลอโรฟิลล์บี (µg/ml)	คลอโรฟิลล์รวม (µg/ml)
<i>A. asterias</i>			
น้ำเปล่า	7.43	3.22	10.66
IBA 100 ppm	7.20	3.16	10.37
IBA 150 ppm	7.48	3.50	10.99
GA <sub>3</sub> 100 ppm	7.94	3.46	11.41
GA <sub>3</sub> 150 ppm	/nd	/nd	/nd
%CV	18.47	17.56	18.02
<i>E. grusonii</i>			
น้ำเปล่า	0.72 <sup>b</sup>	0.56 <sup>b</sup>	1.28 <sup>b</sup>
IBA 100 ppm	1.02 <sup>a</sup>	0.65 <sup>a</sup>	1.37 <sup>a</sup>
IBA 150 ppm	0.67 <sup>c</sup>	0.58 <sup>b</sup>	1.24 <sup>b</sup>
GA <sub>3</sub> 100 ppm	0.55 <sup>d</sup>	0.48 <sup>c</sup>	1.04 <sup>c</sup>
GA <sub>3</sub> 150 ppm	/nd	/nd	/nd
%CV	3.07	4.68	5.25
<i>M. geometrizans</i>			
น้ำเปล่า	1.67 <sup>c</sup>	1.24 <sup>b</sup>	2.88 <sup>c</sup>
IBA 100 ppm	1.67 <sup>c</sup>	1.24 <sup>b</sup>	2.88 <sup>c</sup>
IBA 150 ppm	1.77 <sup>c</sup>	1.15 <sup>b</sup>	2.92 <sup>c</sup>
GA <sub>3</sub> 100 ppm	6.48 <sup>a</sup>	2.75 <sup>a</sup>	9.23 <sup>a</sup>
GA <sub>3</sub> 150 ppm	2.87 <sup>b</sup>	1.47 <sup>b</sup>	4.34 <sup>b</sup>
%CV	10.85	14.39	13.09
<i>T. alonsoi</i>			
น้ำเปล่า	2.22 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	3.39 <sup>a</sup>
IBA 100 ppm	2.04 <sup>ab</sup>	1.07 <sup>a</sup>	3.11 <sup>a</sup>
IBA 150 ppm	1.71 <sup>bc</sup>	0.95 <sup>b</sup>	2.57 <sup>b</sup>
GA <sub>3</sub> 100 ppm	1.65 <sup>bc</sup>	0.94 <sup>b</sup>	2.56 <sup>b</sup>
GA <sub>3</sub> 150 ppm	1.62 <sup>c</sup>	0.95 <sup>b</sup>	2.66 <sup>b</sup>
%CV	12.29	5.79	6.29

ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, /nd = ตันตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นกล้า *T. alonsoi* พบว่า การพ่นด้วยน้ำเปล่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอคลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด (2.22, 1.17 และ 3.39 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.8) ซึ่งแตกต่างจากการพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 150 ppm มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอน้อยที่สุด เฉลี่ย 1.62 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่การพ่น GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมน้อยที่สุด เฉลี่ย 0.94 และ 2.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

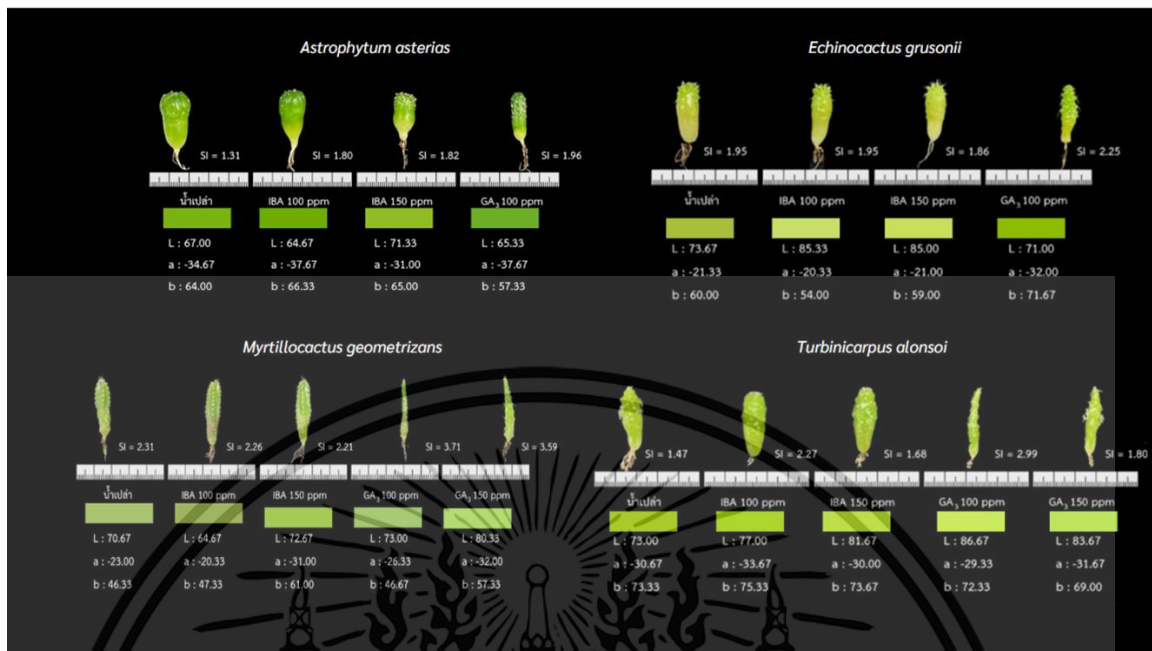
#### 4.5.3 ค่าสีลำต้น และดัชนีทรงต้นของกระบองเพชร

การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm และการพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm มีความเขียวไม่แตกต่างจากการพ่นด้วยน้ำเปล่า โดยค่า \*L \*a และ \*b ใกล้เคียงกับต้นกล้าที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเปล่า (รูปที่ 4.28) และดัชนีทรงต้นของทุกกรรมวิธีอยู่ในช่วง 1.31 – 1.96 ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของสกุล ที่ควรมีค่าดัชนีทรงต้นอยู่ในช่วง 1–2 (Sosa-Pivatto *et al.*, 2014)

การพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้ต้นกล้าของกระบองเพชรมีความเขียวเข้มกว่าต้นกล้าที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเปล่า (รูปที่ 4.28) เนื่องจากมีค่า \*a (-32.00) และ \*b (71.67) ที่สูงกว่า แต่การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm มีความเขียวสว่าง เนื่องจากมีค่า \*L ที่สูงกว่า เฉลี่ย 85.33 และ 85.00 และการพ่นด้วยน้ำเปล่า, การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm มีดัชนีทรงต้นเฉลี่ย 1.95, 1.95 และ 1.86 ตามลำดับ ซึ่งเป็นดัชนีทรงต้นที่เหมาะสมตามสกุล โดยควรมีค่าดัชนีทรงต้นในช่วง 1–2 (Sosa-Pivatto *et al.*, 2014)

การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm มีความเขียวเข้มกว่าต้นกล้าที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเปล่า (รูปที่ 4.28) เนื่องจากมีค่า \*L ที่น้อยกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า คือ 64.67 แต่มีค่า \*a สูงกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า เฉลี่ย -20.33 แต่การพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 150 ppm มีสีเขียวอ่อนกว่าต้นกล้าที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเปล่า เนื่องจากมีค่า \*L สูงกว่าต้นกล้าที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเปล่า คือ 80.33 และมีค่า \*a ต่ำกว่าต้นกล้าที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเปล่า เฉลี่ย -32.00 และการพ่นด้วยน้ำเปล่า, การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm มีค่าดัชนีทรงต้นเฉลี่ย 2.31, 2.26 และ 2.21 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามสกุล โดยควรมีค่าอยู่ในช่วง 2–3 (Sosa-Pivatto *et al.*, 2014)

การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm และการพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 และ 150 ppm มีความเขียวไม่แตกต่างจากการพ่นด้วยน้ำเปล่า (รูปที่ 4.28) โดยค่า \*L \*a และ \*b ใกล้เคียงกับต้นกล้าที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเปล่า ขณะที่การพ่นด้วยน้ำเปล่า, IBA ความเข้มข้น 150 ppm และ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 150 ppm มีค่าดัชนีทรงต้นเฉลี่ย 1.47, 1.68 และ 1.80 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าดัชนีทรงต้นที่เหมาะสมตามสกุลของกระบองเพชร ซึ่งควรมีค่าอยู่ในช่วง 1–2 (Sosa-Pivatto *et al.*, 2014)



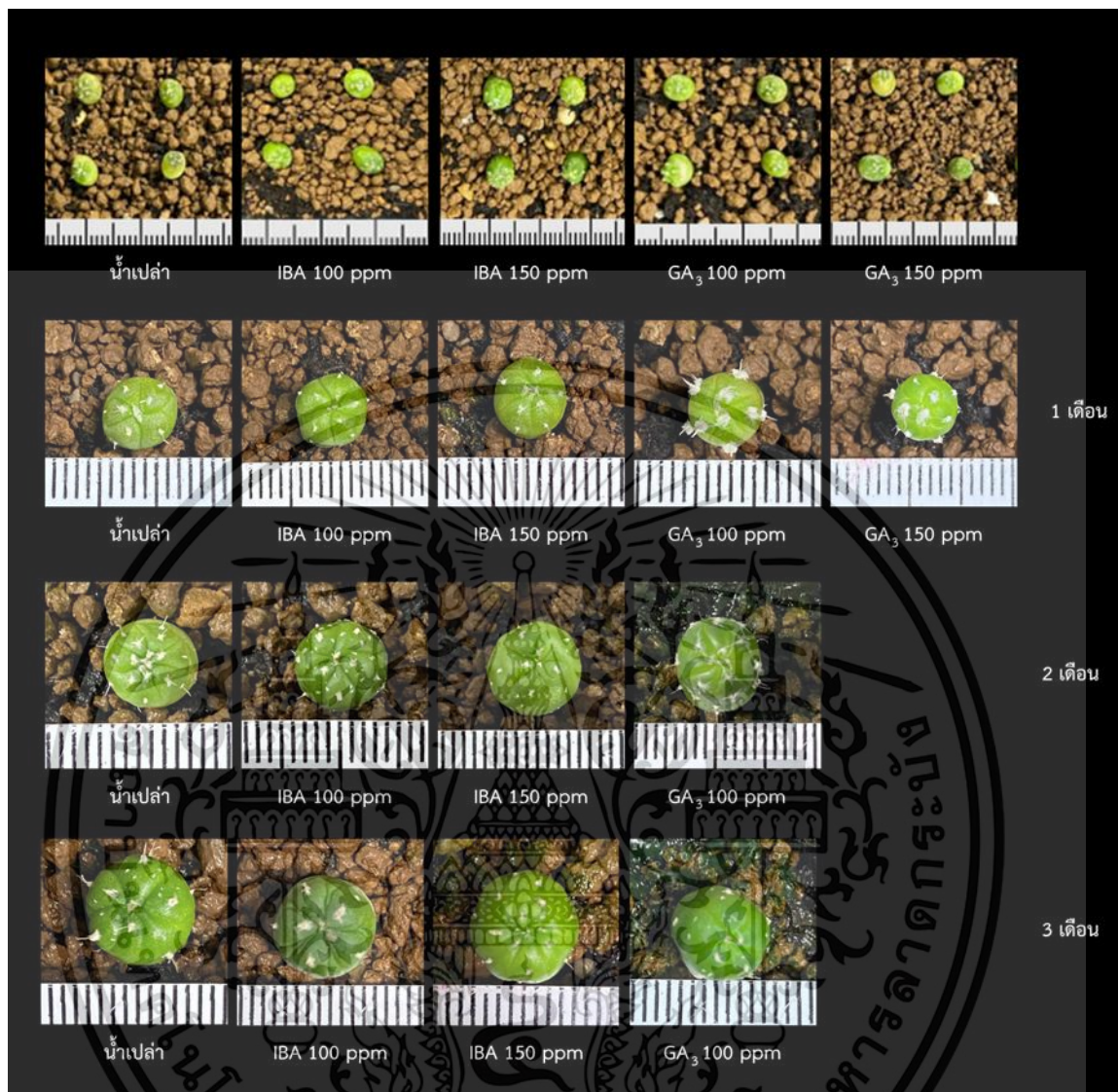
รูปที่ 4.29 ค่าสีของลำต้น และดัชนีทรงต้นของกระบองเพชรทั้ง 4 สกกุล

ค่า L\* หมายถึง ค่าความสว่าง (ค่า L\* มากคือความสว่างมาก ค่า L\* น้อยคือความสว่างน้อย)

ค่า a\* หมายถึง ค่าที่ระบุว่าเป็นสีเขียว และสีแดง (ค่าสีแดง เป็น (+) ค่าสีเขียว เป็น (-))

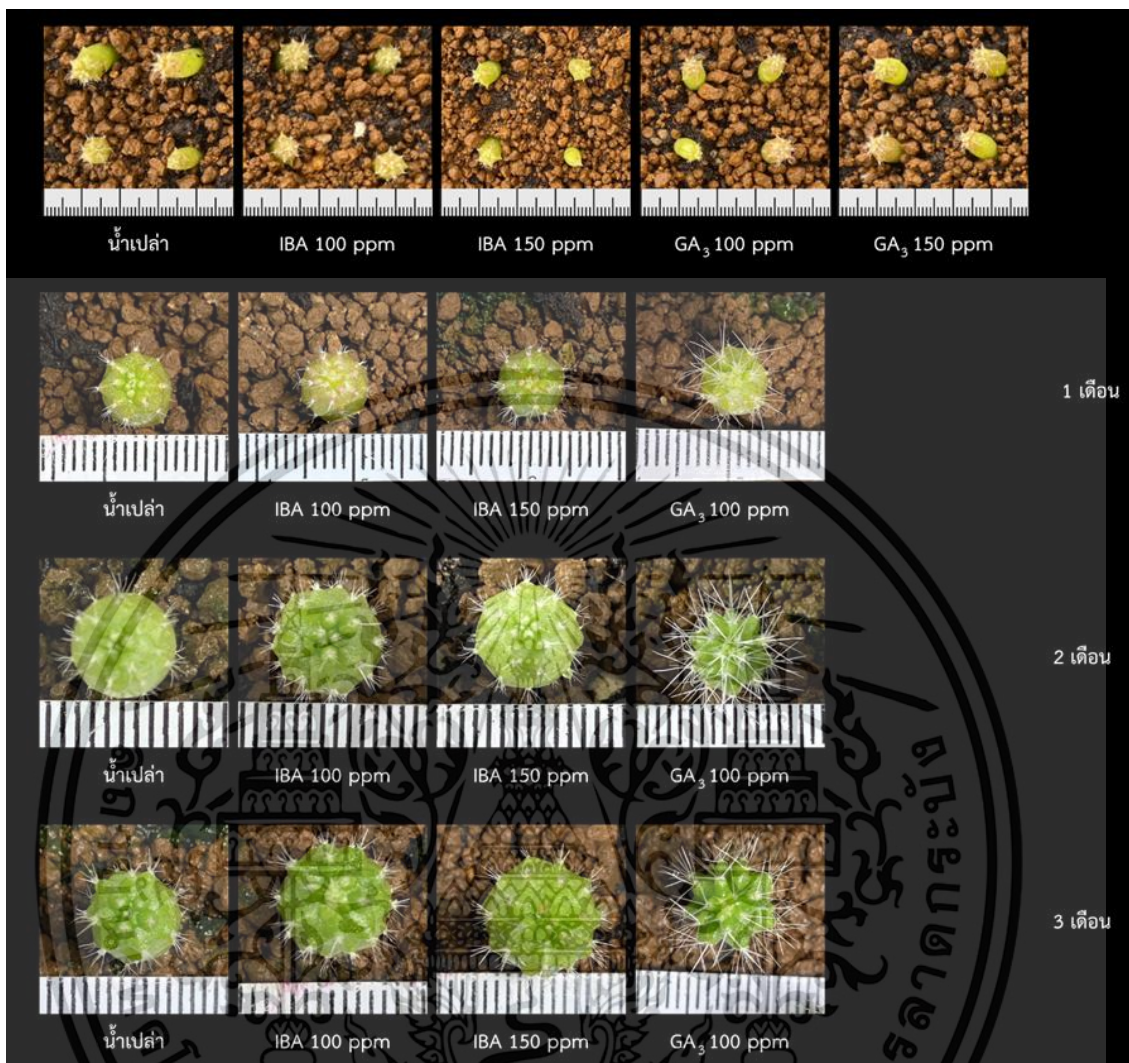
ค่า b\* หมายถึง ค่าที่ระบุสีน้ำเงิน และสีเหลือง (ค่าสีเหลือง เป็น (+) และค่าสีน้ำเงิน เป็น (-))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



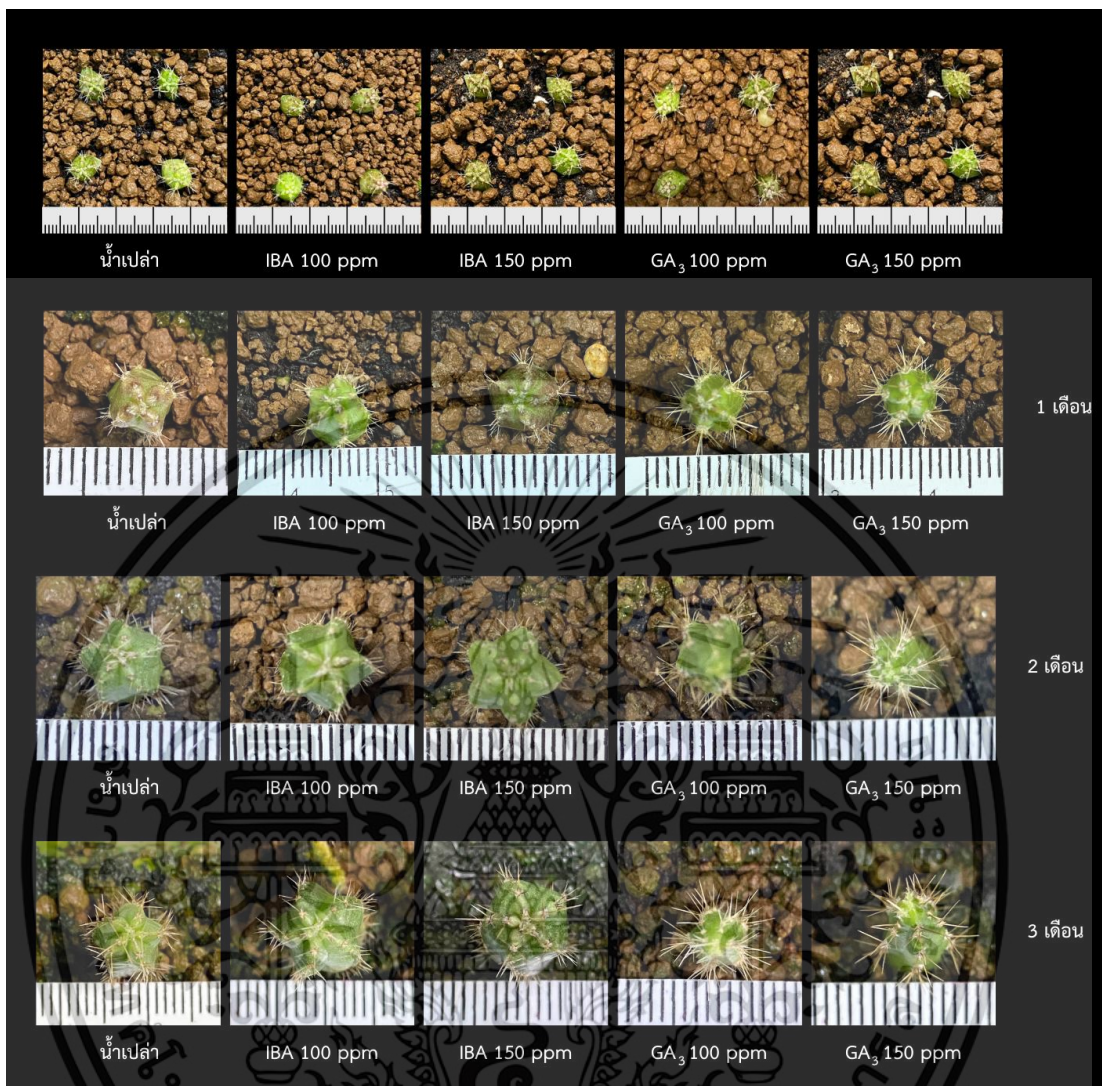
รูปที่ 4.30 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรชนิด *A. asterias* หลังจากได้รับ IBA และ  $GA_3$  กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



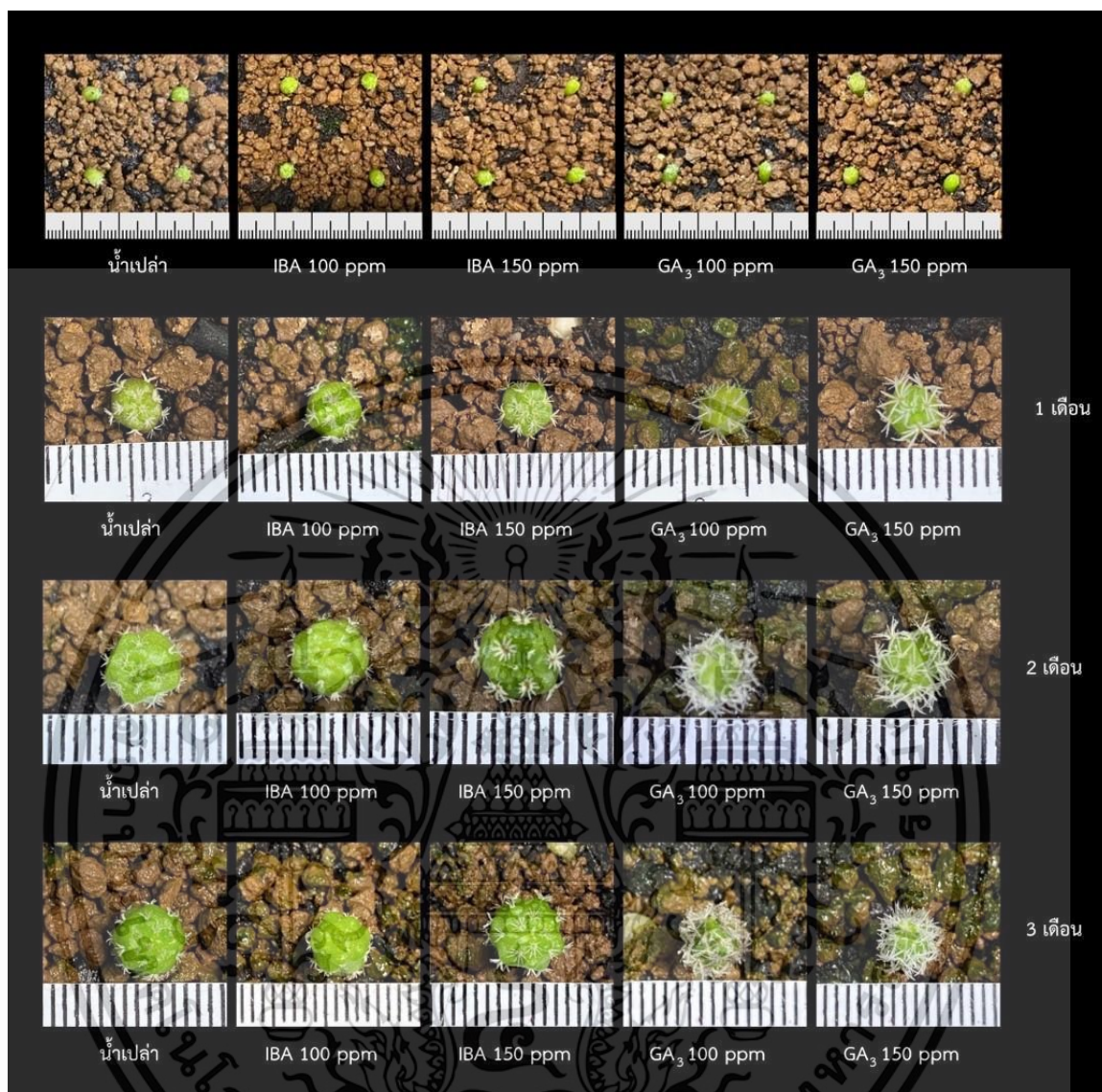
รูปที่ 4.31 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรชนิด *E. grusonii* หลังจากได้รับ IBA และ  $GA_3$  กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรชนิด *M. geometrizans* หลังจากได้รับ IBA และ  $GA_3$  กรรมวิธีที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรชนิด *T. alonsoi* หลังจากได้รับ IBA และ  $GA_3$  กรรมวิธีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน นาน 3 เดือน

#### 4.5.4 วิจัยรณผลการทดลอง

การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้ *E. grusonii* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนราก น้ำหนักสด และปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด นอกจากนั้นใน *M. geometrizans* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่ และน้ำหนักสดมากที่สุด ในขณะที่ *A. asterias* มีจำนวนหนามที่เกิดใหม่มากที่สุด และใน *T. alonsoi* มีความสูงลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ขณะที่การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ *E. grusonii* มีจำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวราก และน้ำหนักแห้งมากที่สุด นอกจากนั้นใน *T. alonsoi* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวรากมากที่สุด และใน *M. geometrizzans* มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด เพราะ IBA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของราก การยืดยาวของเซลล์ และช่วยในการชักนำให้เกิดการแบ่งตัวของเซลล์ในส่วนต่างๆของพืช นอกจากนั้นยังส่งเสริมกระบวนการการผลิต และการสะสมอาหาร จำพวกคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน (Taiz & Zeiger, 2015) และสามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ ถ้าใช้ในความเข้มข้นต่ำ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; ดนัย บุญเกียรติ, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kosinwattana & Anuwong (2023) ที่ประกาศว่า IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้อัตราการรอดชีวิต จำนวนวันที่ใช้ในการเกิดหน่อ ความสูงทรงพุ่ม ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบต่อต้น ขนาดหัวใหม่ของต้นบอนสีเหนาดีที่สุดในขณะที่การพ่น GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้ *A. asterias* มีความสูงลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด และใน *M. geometrizzans* ที่พ่นด้วย GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้มีความสูงลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด ในขณะที่การพ่น GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ *T. alonsoi* มีความยาวหนาม และจำนวนรากมากที่สุด แต่ทำให้ *A. asterias* และ *E. grusonii* มีอาการเน่าบริเวณโคนต้นและแสดงอาการเป็นพิษต่อพืชทั้ง 2 ชนิดหลังจากการปลูกเป็นเวลา 2 เดือน เพราะพืชตอบสนองต่อ GA<sub>3</sub> ในด้านการยืดตัวของเซลล์ (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) นอกจากนั้นสามารถกระตุ้นการสร้างอาหาร การลำเลียงอาหาร และแร่ธาตุในเซลล์สะสมอาหารได้ (दनัย บุญเกียรติ, 2544) และชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; ดนัย บุญเกียรติ, 2540) แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นของ GA<sub>3</sub> มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดความเสียหายของน้ำ และธาตุอาหารภายในพืช ทำให้รากไม่สามารถดูดซึมธาตุอาหารได้ และส่งผลให้พืชอ่อนแอ และตายลง (Hedden & Thomas, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nargaraja & Farooqi (1989) พบว่า การใช้ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้ไม้ยางหอม (*Bursera penicillate*) มีความยาวราก และน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุด ในขณะที่ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 150 ppm ให้น้ำหนักแห้งของหน่อมากที่สุด เนื่องจากการพ่นด้วย GA<sub>3</sub> ทำให้ต้นกล้ายืดยาว ส่งผลให้ดัชนีทรงต้นไม่ตรงตามสกุลของกระบองเพชร แต่การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้กระบองเพชรทั้ง 4 สกุล มีดัชนีทรงต้นตามสกุลของกระบองเพชร ดังนั้นการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระบองเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

**การทดลองที่ 1 ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชร**

จากผลการทดลอง ผลของวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชร 4 สกุล พบว่า ทั้ง 4 กรรมวิธีส่งผลต่อการงอกของเมล็ดทั้ง 4 สกุลที่แตกต่างกัน โดยการแช่เมล็ดด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด *A. asterias*, *E. grusonii* และ *M. geometrizans* มากที่สุด นอกจากนี้ยังส่งผลให้เวลาเฉลี่ยในการงอกของ *M. geometrizans* น้อยที่สุด และมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูง ในวันที่ 1 – 7 หลังจากการหว่านเมล็ด นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทางด้านต่างๆ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ใน *A. asterias*, *E. grusonii* และ *M. geometrizans* รวมไปถึงส่งผลให้ความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับใน *T. alonsoi* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงที่สุด ขณะที่ในการแช่  $GA_3$  ความเข้มข้น 500 ppm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ *T. alonsoi* มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด นอกจากนี้ยังทำให้ *A. asterias*, *E. grusonii* และ *T. alonsoi* มีอัตราการงอกเร็วที่สุด เนื่องจากมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูงในวันที่ 1 – 7 หลังจากเพาะเมล็ดสูงที่สุด ตั้งแต่วันที่ 1 นอกจากนี้ทำให้ *T. alonsoi* มีความยาวราก และความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด รวมไปถึงทำให้กระบองเพชรทั้ง 4 สกุลมีความสูงลำต้นมากที่สุด และในการแช่เมล็ดด้วย  $H_2SO_4$  นาน 30 นาที ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น และความยาวรากเหมาะสมกับ *A. asterias*, *E. grusonii* และ *M. geometrizans* ขณะที่ใน *T. alonsoi* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงลำต้นที่เหมาะสม จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การแช่เมล็ดด้วย  $GA_3$  เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นการงอกของเมล็ดกระบองเพชรสกุล *A. asterias*, *E. grusonii* และ *T. alonsoi* ในขณะที่เมล็ดของ *M. geometrizans* มีการงอกที่ดีกว่าเมื่อแช่ในน้ำกลั่น นอกจากนี้การแช่น้ำกลั่นยังเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล

**การทดลองที่ 2 ผลของคุณภาพแสงจากหลอดไฟแอลอีดีต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชร**

ผลของคุณภาพแสงจากหลอดไฟแอลอีดีต่อการงอกของเมล็ดกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล พบว่า แสง LED สีต่างๆ สามารถกระตุ้นการงอกได้ โดย *A. asterias* ที่ปลูกภายใต้แสงสีขาวมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด แต่แสงสีเขียวมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูงที่สุดใน *E. grusonii*, *M. geometrizans* และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*T. alonsoi* มีเปอร์เซ็นต์การงอก และมีกิจกรรมของ  $\alpha$ -amylase สูงที่สุดภายใต้แสงสีแดง นอกจากนี้ กระบองเพชรทั้ง 4 สกุลมีเวลาเฉลี่ยในการงอกต่ำที่สุดภายใต้แสงสีแดง ในขณะที่ด้านการเจริญเติบโต พบว่า *A. asterias* และ *M. geometrizzans* มีความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุดเมื่อปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น และความยาวรากสูงสุด และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีมากที่สุด แต่ใน *E. grusonii* และ *T. alonsoi* ที่ปลูกภายใต้แสงธรรมชาติ มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูงลำต้นมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับแสงสีขาวที่ทำให้มีความยาวราก และความแข็งแรงของต้นกล้ามากที่สุด จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า แสงสีแดง สีเขียว และสีขาวมีบทบาทในการกระตุ้นการงอกของเมล็ด และช่วยทำลายภาวะการพักตัวของเมล็ดได้ นอกจากนี้ แสงสีขาวยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของ กระบองเพชรได้เช่นเดียวกับแสงธรรมชาติ

### การทดลองที่ 3 ผลของจำนวนชั่วโมงในการให้แสงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า กระบองเพชร

ผลของจำนวนชั่วโมงในการให้แสงต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกุล พบว่าการให้แสง 12 ชั่วโมง ทำให้ *M. geometrizzans* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูง จำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่ จำนวนราก ความยาวราก และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับใน *T. alonsoi* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงต้น และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดใน *A. asterias* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด แต่ใน *E. grusonii* มีความยาวราก ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด ขณะที่การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ *A. asterias* มีความสูงลำต้น น้ำหนักสดมากที่สุด ในขณะที่ *T. alonsoi* มีความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด แต่ใน *E. grusonii* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงต้น จำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์บีมากที่สุด และใน *M. geometrizzans* มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด แต่การให้แสง 16 ชั่วโมง ทำให้ *E. grusonii* มีปริมาณ MDA สูงที่สุด ในการให้แสง 20 ชั่วโมง ทำให้ *M. geometrizzans* มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์สูงที่สุดในขณะที่การให้แสง 24 ชั่วโมง ทำให้กระบองเพชรทั้ง 4 สกุล มีปริมาณโพรงสูงที่สุด และใน *A. asterias* มีปริมาณ MDA และน้ำหนักแห้งมากที่สุด นอกจากนั้นทำให้ *M. geometrizzans* มีปริมาณ MDA สูงที่สุด จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การให้แสงเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงต่อวันเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกระบองเพชรทั้ง 4 สกุล ในขณะที่การให้แสง

เป็นระยะเวลาสั้นขึ้น ตั้งแต่ 16 ถึง 24 ชั่วโมง อาจทำให้พืชเกิดภาวะความเครียด ส่งผลให้พืชต้องสังเคราะห์สารบางชนิดเพื่อป้องกันและรับมือกับความเครียดที่เกิดขึ้น

#### การทดลองที่ 4 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชร

ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากระบองเพชรทั้ง 4 สกูล พบว่าการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้ *E. grusonii* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนราก น้ำหนักสด และปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด นอกจากนั้นใน *M. geometrizans* มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่ และน้ำหนักสดมากที่สุด ในขณะที่ *A. asterias* มีจำนวนหนามที่เกิดใหม่มากที่สุด และใน *T. alonsoi* มีความสูงต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ขณะที่การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ *E. grusonii* มีจำนวนตุ่มหนามที่เกิดใหม่ ความยาวราก และน้ำหนักแห้งมากที่สุด นอกจากนั้นใน *T. alonsoi* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวรากมากที่สุด และใน *M. geometrizans* มีจำนวนตุ่มหนามเกิดใหม่มากที่สุด ในขณะที่การพ่น  $GA_3$  ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้ *A. asterias* มีความสูงลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด และใน *M. geometrizans* ที่พ่นด้วย  $GA_3$  ความเข้มข้น 100 ppm ทำให้มีความสูงลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด ในขณะที่การพ่น  $GA_3$  ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้ *T. alonsoi* มีความยาวหนาม และจำนวนรากมากที่สุด แต่ทำให้ *A. asterias* และ *E. grusonii* มีอาการเน่าบริเวณโคนต้นและแสดงอาการเป็นพิษต่อพืชทั้ง 2 ชนิด หลังจากการปลูกเป็นเวลา 2 เดือน และเนื่องจากการพ่นด้วย  $GA_3$  ทำให้ต้นกล้ายืดยาว ส่งผลให้ดัชนีทรงต้นไม่ตรงตามสกุลของกระบองเพชร แต่การพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm ทำให้กระบองเพชรทั้ง 4 สกูล มีดัชนีทรงต้นของกระบองเพชรเหมาะสม ดังนั้นการพ่นด้วย IBA ความเข้มข้น 150 ppm เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระบองเพชร

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เมล็ดกระบองเพชรที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ ควรกระตุ้นด้วยการแช่น้ำกลั่น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือการให้แสงสีขาว เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นในระยะต้นกล้าควรใช้ IBA ความเข้มข้น 150 ppm หรือการให้แสงสีขาวเป็นเวลา 12 ชั่วโมง/วัน ซึ่งช่วยเร่งการเจริญเติบโตของกระบองเพชรเพื่อให้ได้ผลผลิตมาจำหน่ายได้เร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาในด้านของความเข้มแสงที่ใช้ในการเพาะเมล็ดและการเร่งการเจริญเติบโตของกระบองเพชรต่อไป เพื่อให้เกษตรกรหรือผู้ปลูกเลี้ยงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเลือกสกุลและความเข้มแสงของหลอดไฟได้อย่างเหมาะสมกับกระบองเพชรสกุลอื่นๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กิตติพันธุ์ ฤทธิเดชรัตน์. 2565. ผลของวัสดุปลูกและความเข้มข้นของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกระบองเพชร 4 สกุล. ปัญหาพิเศษปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชสวนและภูมิทัศน์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กระท่อมลุงจรณ์. 2553. ความเป็นมาของกระบองเพชรในประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.uncle-chorn.com/>.
- กรมวิชาการเกษตร. 2559. สารควบคุมการเจริญเติบโตพืชและแนวทางการใช้กับผลไม้. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยพืชสวน.
- กษิติเดช อ่อนศรี, ณัฐพงศ์ จันจุฬา และจิรภัทร ลดาวัลย์. 2563. อิทธิพลของแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด 4 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย. 9(4): 529-538.
- ศรีรัฐสพล หนูพรหม. 2560. ผลของตาข่ายพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งอินทรีย์. หน้า 156-161. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางในพืช. นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2526. หลักการกลุกรรม: บทปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะเกษตร ภาควิชาพืชไร่.
- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐมาศ พรหมเดช. 2565. การประเมินการออก การเจริญเติบโต การออกดอกและปริมาณแอนโทไซยานินในดอกไม้กินได้ที่ผลิตภายใต้สภาพโรงเรือนทางภาคใต้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ชัยพร อนุวงศ์, ณภัทร สำราญ และสุริยา ก่อสินวัฒนา. 2565. ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของกระบองเพชร. แก่นเกษตร. 4: 1019-1032.
- ชานนท์ ลากจิตร. 2560. ผลของหลอดไฟแอลอีดีขาว แดง และน้ำเงิน ต่อการเจริญเติบโตของผักบุงจิ้นที่ปลูกในระบบอะควาโพนิก. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 4: 26-32.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชาวแคคตัส. 2566. การกราฟแคคตัสบนตอบลู (*Myrtillocactus geometrizans*). [ออนไลน์].  
เข้าถึงได้จาก : <https://chowcactus.blogspot.com/2016/05/myrtillocactus-geometrizedans.html>.
- दनัย บุญยเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาของพืช. เชียงใหม่ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- दनัย บุญยเกียรติ. 2544. สรีรวิทยาของพืช. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- दनัย บุญยเกียรติ. 2547. สรีรวิทยาของพืช. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- दनัย บุญยเกียรติ. 2563. การพักตัวของพืช. เชียงใหม่ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จิตาวดี ดิษฐปาน, นุรฮิเตาะห์ บาระตายะ, สุวรรณ ปาจารย์ และวรางคณา เรียงสุทธิ. 2564. ผลของวัสดุปลูกและแสงที่มีต่อการเจริญของกระบองเพชร. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 13(3): 764-777.
- ธนากร กาวดิลก. 2560. ผลของการแช่และพอกเมล็ดร่วมกับฮอร์โมนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี.
- นภัทร วัฒนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี. 2560. ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25: 158-176.
- นพดล จรัสสัมฤทธิ์. 2537. ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. กรุงเทพฯ : ไร่เขียว.
- ประยงค์ ต้นแล, รักษ์สา จันทาศรี, เกรียงศักดิ์ ไพรวรรณ และพินดา อะริมัตทสี. 2558. ผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ของบัวบกสายพันธุ์สารคามก้านเขียว. วารสารเกษตรพระวรุณ. 12(1): 9-16.
- พีรเดช ทองอำไพ. 2537. ฮอร์โมนพืชและการสังเคราะห์ แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : ไตนามิคการพิมพ์.
- พวงผกา สุนทรชัยนาคแสง. 2557. กายวิภาคและสัณฐานวิทยาของพืชมีดอก. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.
- ภวพล ศุภนนทนานนท์. 2562. แคคตัส CACTUS. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง.
- ภานุพล หงษ์ภักดี. 2565. สรีรวิทยาไม้ดอก. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภูวนาถ นนทรีย์. 2532. การใช้ฮอร์โมนกับไม้ผลบางชนิด. กรุงเทพฯ : โครงการหนังสือเกษตรชุมชน.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2561. วัสดุปลูกไม้ประดับ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บ้านและสวน อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง.
- รักแคคตัส. 2566. ราคาต้นพันธุ์กระบองเพชร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [www.facebook.com/groups/123116038374692](http://www.facebook.com/groups/123116038374692).
- วัลลภ สันติประชา. 2540. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. พิมพ์ครั้งที่ 3. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- สุจิตา รอกกระโทก. 2563. ผลของแสง LED ต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระของพืช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุนทรี สมแสง. 2550. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของลิ้นจี่(พันธุ์กวางเจา) ที่ถนอม ด้วยความดันสูงยิ่งและความร้อน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุมาลี ชุกำแพง. 2564. เอกสารคำสอนวิชาสรีรวิทยาพืช. มหาสารคาม: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สุมาลี ชุกำแพง. 2566. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการและแนวคิด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรเดช สดคมขำ. 2562. ปลูกกระบองเพชรเป็นอาชีพเสริม ทำรายได้มากกว่า 1 ทศวรรษ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [https://www.technologychaoban.com/flower-and-decorating-plants/article\\_118609](https://www.technologychaoban.com/flower-and-decorating-plants/article_118609).
- อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงแสง. 2556. เมทาบอลิซึมและคุณประโยชน์ของแคโรทีนอยด์ในการเพิ่มความเข้มสีไข่แดง. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 5(4): 112-121.
- Abebe, A.T. and Modi, A.T. 2009. Hydro-Priming in Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Research Journal of Seed Science*. 2(2): 23-31.
- Al-Ansari, F. and Ksiksi, T. 2016. A Quantitative Assessment of Germination Parameters the Case of *Crotalaria Persica* and *Tephrosia apollinea*. *Open Ecology Journal*. 9: 13-21.
- Alcorn, S.M. and Kurtz, E.B. 1959. Some Factors Affecting the Germination of Seed of the Saguaro Cactus (*Carnegiea gigantea*). *American Journal of Botany*. 46: 526-529.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Arias, I. and Lemus, L. 1984. Interaction of Light, Temperature and Plant Hormones in the Germination of Seeds of *Melocactus caesi*us Went (Cactaceae). **Acta Científica Venezolana**. 35: 151–155.
- Arizona. 2012. **Myrtillocactus geometrizans**. [Online]. Available : <https://apps.cals.arizona.edu/arboretum/taxon.aspx?id=991>.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**. 59(2): 206-216.
- Bajguz, A., and Hayat, S. 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**. 47(1): 1-8.
- Bárbara, E.P., Silva, A.A., Souza, M.M., Gurgel, Z.E., Marchi, M.N. and Bellintani, M.C. 2015. Germinação e Criopreservação de Sementes de Cactos Nativos da Bahia. **Gaia Scientia**. 9(2): 91-96.
- Bareke, T. 2018. Biology of Seed Development and Germination Physiology. **Advances in plants and Agriculture Research**. 8(4): 336-346.
- Barthlott, W. and Hunt, D. 2000. **Seed diversity in the Cactaceae subfamily**. Millborne : Cactoideae Port: DH Books.
- Barrios, D., Sánchez, J.A., Flores J. and Jurado, E. 2020. Seed traits and germination in the Cactaceae family: A review across Americas. **Botanical Sciences**. 98(3): 417-440.
- Bates, L., Waldren, R.P., Teare, I.D. 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. **Plant and Soil**. 39: 205-207.
- Benítez-Rodríguez, J.L., Orozco-Segovia, A. and Rojas-Aréchiga, M. 2004. Light Effect on Seed Germination of Four *Mammillaria* Species from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. **The Southwestern Naturalist**. 49(1): 11-17.
- Bernfeld, P. 1955. Amylase  $\alpha$  and  $\beta$ . **Meth Enzymol**. 1: 149-158.
- Bethke, P.C., Schuurink, R. and Jones, R.L. 1997. Hormonal signaling in cereal aleurone. **Journal of Experimental Botany**. 48: 1337-1356.
- Bewley, J.D. and Black, M. 1994. **Seeds: Physiology of Development and Germination**. New York: Springer.

- Bijewar, A.L., Gajbhiye, R.P., Panchbhai, D.M., Thakare, A.A. and Ladhi, D.P. 2021. Effect of Media and GA<sub>3</sub> on Growth of Adenium. **Journal of Soils and Crops**. 31(1): 134-138.
- Björkman, O. and Demmig, B. 1987. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 k among vascular plants of diverse origins. **Planta**. 170(4): 489-504.
- Bradford, K. 1990. A water relation analysis of seed germination rates. **Plant Physiology**. 94: 840-849.
- Bradford, K.J., Chen, F. and Cooley, M.B. 2000. Gene Expression Prior to Radicle Emergence in Imbibed Tomato Seeds. 18-30 in Black, M., Bradford, K.J. and Vazquez-Ramos, J. **Proceedings of the Sixth International Workshop on Seeds**. Mérida : Seed Biology Advances and Applications.
- Bregman, R. and Bouman, F. 1983. Seed Germination in Cactaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**. 89: 357-374.
- Britannica. 2020. **Cactus**. [Online]. Available : <https://www.Britannica.com/plant/cactus>.
- Cacti in Depth. 2024. **Special consideration for seedlings**. [Online]. Available : <https://cactiguide.com/article/?article=article17.php>.
- Cactus art nursery. 2024. **Turbinicus alonsoi - Xichu, Guanajuato, Mexico**. [Online]. Available : [https://www.cactus-art.biz/schede/TURBINICARPUS/Turbinicus\\_alonsoi/Turbinicus\\_alonsoi/Turbinicus\\_alonsoi.htm](https://www.cactus-art.biz/schede/TURBINICARPUS/Turbinicus_alonsoi/Turbinicus_alonsoi/Turbinicus_alonsoi.htm).
- Cactus plant nursery. 2023. **Quality cactus & succulents from Thailand. *Astrophytum asterias nudum***. [Online]. Available : <https://www.cactusplantnursery.com/product/astrophytum-asterias-nudum/>.
- Casal, J.J. and Yanovsky, M.J. 2005. Regulation of gene expression by light. **International Journal of Developmental Biology**. 49(5-6): 501-511.
- Charles, G. 2014. **Cacti and succulents: an illustrated guide to the plants and their cultivation**. Ramsbury : Crowood.
- Cleland, R.E. 1995. Auxin and Cell Elongation. **Plant Physiology**. 43(9): 539-548.
- Copeland, L.O. and McDonald, M.C. 1995. **Seed Science and Technology**. 3<sup>rd</sup> ED. New York : Chapman & Hall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Critchley, C. 1981. Studies on the Mechanism of Photoinhibition in Higher Plants. **Plant Physiology**. 67: 1161-1165.
- Cruz, L.S., Pournavab, R.F., Díaz, L.J., Hernández-Piñero, J.L., Parra, A.C. and Cárdenas Avila, M.L. 2014. Seed Germination and Seedling Survival of Six Cacti Species Using Natural Zeolite as Substrate. **International journal of current research and academic review**. 2(98): 81-91.
- Dangudom, K., Wandee, Y., Chatpangta, W., Boonyaras, P. and Boonpang, S. 2022. Effect of Light Spectrum on Cactus Germination and Growth. **PSRU Journal of Science and Technology**. 7(2): 114-125.
- Del Castillo, R.F. 1986. Semillas, Germinacion y Establecimiento De *Ferocactus histrix*. **Cactáceas y Suculentas Mexicanas**. 31: 5-11.
- Delouche, J.C., Still, T.W., Raspel, M. and Lienhard, M. 1962. The Tetrazolium Test for Seed Viability. **Mississippi State University Agricultural Experiment Station Technical Bulletin**. 51: 1-63.
- Demmig-Adams, B. and Adams, W.W. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. **Trends in Plant Science**. 1(1): 21-26.
- Fearn, B. 1974. An Investigation into the Effect of Temperature on the Seed Germination of Nine Species of Cacti Using Thermal Gradient Bars. **Cactus and Succulent Journal**. 46: 215-219.
- Fearn, B. 1981. Seed Germination: The Modern Approach. **Cactus and Succulent Journal**. 43: 13-16.
- Filner, P. and Varner, J.E. 1967. A Test for De Novo Synthesis of Enzymes: Density Labeling with  $H_2O_{18}$  of Barley Alpha-amylase Induced by Gibberellic Acid. **BIOCHEMISTRY**. 58(4): 1520-1526.
- Flores, J., Jurado, E. and Arredondo, A. 2006. Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan desert, Mexico. **Seed Science Research**. 16: 149-155.
- Gacomelli, G.A. 1998. **Greenhouse Glazing and Solar Radiation Transmission**. Arizona: Center for Controlled Environment Agriculture, Rutgers University Cook College.

- Gardening Know How. 2023. **Grafted Cactus Care: Tips for Grafting Cactus Plants.** [Online]. Available : <https://www.gardeningknowhow.com/ornamental/cacti-succulents/scgen/graftingcactusplants.htm>.
- Gill, S.S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry.** 48(12): 909-930.
- Glennie, C.W., Harris, J. and Liebenberg, N.V.D.W. 1983. Endosperm modification in germination Sorghum grain. **Cereal chemistry.** 60(1): 27-31.
- Gonzalez-Cortés, A., Reyes-Valdés, M.H., Robledo-Torres, V., Villarreal-Quintanilla J.A. and Ramirez-Godina, F. 2018. Pre-germination Treatments in Four Prickly Pear Cactus (*Opuntia* sp.) Species from Northeastern Mexico. **Afghan Journalists Safety Committee.** 12(10): 1676-1684.
- Graeber, K., Nakabayashi, K., Miatton, E., Leubner-metzger, G. and Soppe, J. 2012. Molecular mechanisms of seed dormancy. **Plant, Cell & Environment.** 35: 1769.
- Hauagge, R. 2004. Effects of light intensity on plant growth. **International Journal of Plant Science.** 165(6): 1002-1011.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J. and Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments: A review. **Plant Signaling & Behavior.** 7(11): 1456-1466.
- Hedden, P. and Thomas, S.G. 2012. Gibberellin biosynthesis and its regulation. **Biochemical Journal.** 444(1): 11-25.
- Hernández-Lopez, D., Vaillant, F., Reynoso-Camacho, R. and Guzman-Maldonado, S. 2008. *Myrtillocactus* (Cactaceae): Botanical, Agronomic, Physicochemical and Chemical Characteristics of Fruits. **Fruits.** 63: 269-276.
- Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F. and Prange, R.K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Planta.** 207(4): 604-611.
- Hojnik, M., Skerget, M. and Knez, Z. 2007. Isolation of Chlorophylls from Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). **Separation and Purification Technology.** 57: 37-46.

- Hopkins, W.G. 1999. **Introduction to Plant Physiology**. 2<sup>nd</sup> ed. New York : John Wiley and Sons.
- Horibe, T., Iwagawa, Y., Kondo, H. and Yamada, K. 2016. Hydroponics Culture of Edible *Opuntia* 'Maya': Effect of Constant Red and Blue Lights on Daughter Cladodes Growth and Spine Development. **Environmental Control Biology**. 54(4): 165-169.
- Horibe, T., Imai, S. and Matsuoka, T. 2018. Effects of Light Wavelength on Daughter Cladode Growth and Quality in Edible Cactus *Nopalea cochenillifera* Cultured in a Plant Factory with Artificial Light. **Journal of horticultural Research**. 26(2): 71-80.
- Huner, N.P.A., Oquist, G. and Sarhan, F. 1998. Energy Balance and Acclimation to Light and Cold. **Trends Plant Science**. 3: 224-230.
- Idleman, U., Annis, J., O'Brien, J., Samarajeewa, D., Coons, J., Moore, J., Hughes, M. and Tuegel, E. 2013. Effect of Presoaks with Sulfuric Acid and Gibberellic Acid on Seed Germination of *Ferocactus wislizeni*. 106. In Jacksonville Illinois College (editor) **Illinois State Academy of Sciences 105<sup>th</sup> Annual Meeting**. Illinois: Jacksonville Illinois College.
- Isikawa, S. 1954. Light sensitivity against the germination. I. "Photoperiodism" of seeds. **The Botanical magazine**. 67: 51-56.
- Izzo, L., Mele, B.H., Vitale, L., Vitale, E., Arena, C. 2020. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. **Environmental and Experimental Botany**. 179: 104195.
- Jinny tent. 2023. **My cactus & succulent**. [Online]. Available : <https://www.bloggang.com/m/viewdiary>.
- Jones, L.W. and Kok, B. 1966. Photoinhibition of Chloroplast Reactions. I. Kinetics and Action Spectra. **Plant Physiology**. 41: 1037-1043.
- Kader, M. A. 2005. A comparison of Seed Germination Calculation Formulae and the Associated Interpretation of Resulting Data. **Journal and proceedings of the Royal Society of New South Wales**. 138: 65-75.
- Kami, C., Larrain, S., Hornitschek, P. and Fankhauser, C. 2010. Light-regulated plant growth and development. **Current Opinion in Plant Biology**. 13(1): 21-27.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kelly, J. 2008. **How to propagate Agaves and cacti from cuttings and seed.** Arizona: The University of Arizona. College of Agriculture and Life Sciences.
- Kent, N.L. 1983. **Technology of cereals: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture.** 3<sup>rd</sup> ed. USA : Pergamon Oxford.
- Kim, H.H., Wheeler, R.M., Sager, J.C., Yorio, N.C. and Goins, G.D. 2005. Light-emitting diodes as an illumination source for plants: A review of research at Kennedy Space Center. **Habitation.** 10(2): 71-78.
- Kosinwattana, S. and Anuwong, C. 2023. Increased Growth of Caladium by Tuber Section and Plant Growth Regulators. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports.** 26(2): 20-29.
- Krishna, A. 2018. Effect of Pre-sowing Treatments on Seed Germination in *Impatiens talbotii* an Endemic and Endangered Ephemeral of the Western Ghats. **Indian journal of applied research.** 8(9): 405-407.
- Kumari, A., Joshi, P.K., Arya, M.C. and Ahmed, Z. 2011. Enhancing Seed Germination of *Jatropha curcas* L. Under Central-Western Himalayas of Uttarakhand, India. **Plant Archives.** 11(2): 871-874.
- Lal, N. and Sachan, P. 2017. Effect of different visible light wavelengths on seed germination and photosynthetic pigment contents in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **International Journal of Biosciences.** 4(2): 132-136.
- Lalitha, K.R., Tank, R.V., Chawla, S.L. and Jena, S. 2020. Effect of Chemicals on Seed Germination and Seedling Growth of Aonla (*Embllica officinalis* Gaertn.). **The Pharma Innovation Journal.** 9(12): 239-243.
- Leist, N., Kramer, S., Jonitz, A. and International Seed Testing Association. 2003. **ISTA working sheets on tetrazolium testing.** Switzerland : International Seed Testing Association Bassersdorf.
- Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. 2001. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry.** Hoboken : John Wiley and Sons.
- Lima, A.T. and Meiado, M.V. 2017. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research.** 27: 292-302.

- Lorin Martin. 2019. **What Are the Roles of Chlorophyll A & B?**. [Online]. Available : <https://sciencing.com/what-are-the-roles-of-chlorophyll-a-b-12526386.html>.
- Marshall, J.J. and Lauda, C.M. 1975. Assay of  $\alpha$ -Amylase Inhibitor Activity in Legumes. **Starch – Stärke**. 27(8): 274-278.
- McCollum, T.G. and McDonald, R.E. 1991. Electrolyte leakage, respiration, and ethylene production as indices of chilling injury in tomato fruit. **HortScience**. 17(2): 162-165.
- McDonough, W. 1964. Germination responses of *Carnegieia gigantea* and *Lemaireocereus thurberi*. **Ecology**. 45: 155–159.
- Melissa, P. 2022. **Chlorophyll**. [Online]. Available : <https://www.britannica.com/science/chlorophyll>.
- Miransari, M. and Smith, D.L. 2014. Plant Hormones and Seed Germination. **Environmental and Experimental Botany**. 99: 110-121.
- Murdoch, A.J. and Ellis, R.H. 1992. Longevity viability and dormancy. 193-229. in Fenner, M. (ed.). **The Ecology of Regeneration in Plant Communities**. UK: Centre for Agriculture and Bioscience International.
- Nagao, M., Esashi, Y., Tanaka, T., Kumagai, T. and Fukumoto, S. 1959. Effects of photoperiod and gibberellin on the germination of seeds of *Begonia evansiana* andr. **Plant and Cell Physiology**. 1(1): 39-47.
- Nargaraja, C. and Farooqi, A.A. 1989. Studies on Seed Germination as Influenced by Various Pre-treatments in *Bursera*. **Indian Perfumer**. 33(1): 48-53.
- Niyogi, K.K. 1999. Photoprotection revisited: Genetic and molecular approaches. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 50: 333-359.
- Nobel, P.S. 1989. Temperature, Water Availability, and Nutrient Levels at Various Soil Depths - Consequences for Shallow-Rooted Desert Succulents, Including Nurse Plant Effects. **American Journal of Botany**. 76: 1486–1492.
- Nonogaki, H., Bassel, G.W. and Derekbewley, J. 2010. Germination-still a mystery. **Plant science**. 179(6): 574-581.
- Ochoa, M.J., González-Flores, L.M., Cruz-Rubio, J.M., Portillo, L. and Gómez-Leyva, J.F. 2015. Effect of Substate and Gibberellic Acid (GA<sub>3</sub>) on Seed Germination in Ten

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cultivars of *Opuntia* spp. **Journal of the Professional Association for Cactus Development.** 17: 50-60.
- Oh, H.J., Shin, U.S., Lee, S.Y., Kim, S.Y. and Jeong, M.J. 2021. Non-deep Physiological Dormancy in Seeds of *Euphorbia jolkinii* Boiss. Native to Korea. **Journal of Ecology and Environment.** 45: 20.
- Oonsivilai, R., Chaijareonudomrourng, N., Huantanom, Y. and Oonsivilai, A. 2010. Extraction Condition of *Echinocactus grusonii*. **World Academy of Science, Engineering and Technology Journal.** 70: 366-369.
- Paleg, L.G. 1960. Physiological Effects of Gibberellic Acid. II. On Starch Hydrolyzing Enzymes of Barley Endosperm. **Plant Physiology.** 35(6): 902-906.
- Parys, E., Romanowska, E. and Poskuta, J. 1983. Amylase Activities in Attached and Excised Cotyledons and in Embryonic Axes of *Pisum sativum* L. **Plant and Cell Physiology.** 21: 181-188.
- Pilcher, B.L. 1970. Germination of Seeds of Four Species of *Opuntia*. **Cactus and Succulent Journal.** 42: 281-282.
- Potter, R.L., Petersen, J.L., Ueckert, D.N. 1984. Germination Responses of *Opuntia* spp. to Temperature, Scarification, and Other Seed Treatments. **Weed Science.** 32: 106-110.
- Rabinowitch, E. and Govindjee. 1969. **Photosynthesis.** USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Ramteke, V., Paithankar, D.H., Baghel, M.M. and Kurrey, V.K. 2016. Impact of GA<sub>3</sub> and Propagation Media on Growth Rate and Leaf Chlorophyll Content of Papaya Seedlings. **Research Journal of Agricultural Sciences.** 7(1): 169-171.
- Richter, R., Behringer, C., Müller, I.K. and Schwechheimer, C. 2010. The GAI/RGA and DELLAs modulate the expression of light-harvesting chlorophyll a/b-binding protein genes. **Plant Physiology.** 153(4): 1777-1789.
- Ritthidechrat, K. and Anuwong, C. 2022. Effects of Different Potting Media on the Growth of Commercial Cacti. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports.** 25(4): 59-67.
- Roberts, E.H. 1972. Dormancy: A factor affecting seed survival in the soil. 321-359. In Roberts, E.H. (ed.). **Viability of seeds.** London: Chapman and Hall.

- Rojas-Aréchiga, M., Vaézquez-Yanes, C. and Orozco-Segovia, A. 1998. Seed Response to Temperature of Two Life Forms of Mexican Cacti Species: An Ecophysiological Interpretation. **Plant Ecology**. 135: 207–214.
- Rojas-Aréchiga, M. and Vázquez-Yanes, C. 2000. Cactus Seed Germination: A Review. **Journal of Arid Environments**. 44: 85–104.
- Rojas-Aréchiga, M. and García-Morales, E. 2022. Dormancy and viability of *Ferocactus peninsulæ* (Cactaceae) seeds. **Plant Species Biology**. 37(2): 1-9.
- Rusdy, M. 2016. Improvement of seed germination and early seedling growth of *Leucaena leucocephala* by cold Water, mechanical and acid scarification pretreatment. **International journal of research and science publication**. 1(1): 1-6.
- Sandeep, R., Sashikala, B. and Neelam, K. 2016. Impact of GA<sub>3</sub> Seed Pre-Treatment on Seeding Growth in *Delonix Regia*. **Research Journal of Recent Sciences**. 5(11): 47-49.
- Sghaier, H.A., Tarnawa, A., Khaeim, H., Kovács, G.P., Gyuricza, C. and Kende, Z. 2022. The Effects of Temperature and Water on The Seed Germination and Seedling Development of Rapeseed (*Brassica napus* L.). **Plants**. 11(21): 2819.
- Shinomura, T., Nagatani, A., Hanzawa, H., Kubota, M., Watanabe, M., Furuya, M. 1996. Action spectra for phytochrome A-and B-specific photoinduction of seed germination in *Arabidopsis thaliana* **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 93(15): 8129-8133.
- Simão, E., Nakamura, A.T. and Takaki, M. 2010. The germination of seeds of *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. (Cactaceae) is controlled by phytochrome and by nonphytochrome related process. **Biota Neotropica**. 10(1): 115-119.
- Smith, G.E. 2018. **The Cactus and Succulent Handbook: Basic Growing Techniques and a Directory of More Than 140 Common Species**. Zurich : Fox Chapel Publishing.
- Soliman, K. and Vaya, J. 2010. **Fig, Carob, Pistachio, and Health**. 245-263. in Watson, R.R. (editor). London : Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Sosa-Pivatto, M., Funes, G., Ferreras AE, *et al.* 2014. Seed mass, germination and seedling traits for some central Argentinian cacti. **Seed Science Research**. 24: 71–7.

- Steyn, W.J., Wand, S.J.E., Holcroft, D.M. and Jacobs, G. 2002. Anthocyanin in Vegetative Tissue: A Proposed Unified Function in Photoprotection. **New Phytologist**. 155: 349-361.
- Succulentsbox. 2023. **How to graft a cactus plant**. [Online]. Available : <https://succulentsbox.com/blogs/blog/how-to-graft-a-cactus>.
- Maoka, T. 2020. Carotenoids as Natural Functional Pigments. **Journal of Natural Medicines**. 74(1): 1-16.
- Molassiotis, A., Fotopoulos, V., Dimassi-Theriou, K., and Diamantidis, G. 2006. Oxidative and osmotic stress responses in Citrus plants subjected to NaCl stress. **Journal of Plant Physiology**. 163(11): 1107-1118.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2015. **Plant physiology**. 3<sup>rd</sup> ed. Sunderland : Sinauer Associates.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M. and Murphy, A. 2015. **Plant Physiology and Development** 6<sup>th</sup> ed. Sunderland : Sinauer Associates.
- The plant three company. 2023. **Myrtillocactus geometrizans. blue myrtle cactus**. [Online]. Available : <https://www.thepalmtreecompany.com/product-page/myrtillocactus-geometrizans-blue-myrtle-cactus>.
- The Plant List. 2010. **Cactaceae**. [Online]. Available : <http://www.theplantlist.org/browse/A/Cactaceae/>.
- The ruth bancroft garden and nursery. 2003. **Echinocactus grusonii. plant highlights**. [Online]. Available : <https://www.ruthbancroftgarden.org/plants/echinocactus-grusonii/>.
- Tossi, V., Lamattina, L. and Cassia, R. 2012. An increase in the antioxidant capacity of plants in response to light stress. **Plant Signal & Behavior**. 7(9): 1138-1144.
- Tran, V.N. and Cavanagh, A..K. 1984. Structural aspects of dormancy. 1-44. In Murray, D.E. (ed.). **Seed Physiology**. Vol. 2 Australia: Academic Press.
- Tigabü, M. and Odén, P.C. 2001. Effect of Scarification, Gibberellic Acid and Temperature on Seed Germination of Two Multipurpose *Albizia* species from Ethiopia. **Seed Science and Technology**. 29: 11-20.
- Ting, I.P. 1985. Crassulacean acid metabolism. **Annual Review of Plant Physiology**. 36(1): 595-622.

- Unacademy, 2023. **Acid scarification.** [online] Available : <https://unacademy.com/content/neet-ug/study-material/biology/acid-scarification/>.
- Vegetable Academy. 2020. **A Definitive Grow Light Study.** [Online] Available : <https://www.vegetableacademy.com/post/a-definitive-grow-light-study>.
- Wang, Y., Wang, D.M. and Liang, H.G. 1977. Effect on Plumular Axis on the Amylase Activity in Cotyledons of Germinating Pea Seeds. **Acta Phytophysiology Sinica.** 14(3): 244-249.
- Wang, G., Chen, Y., Fan, H. and Huang, P. 2021. Effects of light-emitting diode (LED) red and blue light on the growth and photosynthetic characteristics of *Momordica charantia* L. **Journal of Agricultural Chemistry and Environment.** 10(1): 1-15.
- Wikimedia commons. 2023. **Myrtillocactus geometrizans.** file: **Garambullo (Myrtillocactus geometrizans).** [Online] Source : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Garambullo\\_%28Myrtillocactus\\_geometrizans%29-Flor.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Garambullo_%28Myrtillocactus_geometrizans%29-Flor.jpg).
- Wrolstad, R.E. 2000. Anthocyanins. 103-109. in Francis, F.J. and Lauro, G.J. (editors). **Natural Food Colorants.** New York : Marcel Dekker.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล(ภาษาไทย) นาย กิตติพันธ์ ฤทธิเดชรัตน์  
 ชื่อ-นามสกุล(ภาษาอังกฤษ) Mr. Kittiphan Ritthidechrat  
 วัน เดือน ปีเกิด 2 เมษายน 2542  
 ที่อยู่ 125 หมู่ที่ 4 ถ. เกาะโพธิ์-สามแยก ต. ท่าบุญมี อ. เกาะจันทร์  
 จ. ชลบุรี 20240  
 โทรศัพท์ 065-8848375  
 E-mail address fluk4.2@gmail.com  
 ประวัติการศึกษา (2564) วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ เกรตเฉลี่ย 3.42  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ผลงานวิจัย

1. Ritthidechrat, K. and Anuwong, C. 2022. Effects of different potting media on the growth of commercial cacti. Asean journal of scientific and technological reports 25(4): 59 – 67.
2. Ritthidechrat, K. and Anuwong, C. 2025. Methods of breaking seed dormancy for four species of ornament cacti. Current Applied Science and Technology 25(2): 1 - 15.
3. Ritthidechrat, K. and Anuwong, C. 2025. The impact of different colors of light-emitting diodes on cacti germination and seedling growth. Asean journal of scientific and technological reports 28(2): 1 – 11.