

การพัฒนาระบบให้สารละลายปุ๋ยอัตโนมัติ
เพื่อการเจริญเติบโตของพืทุเนียบในระบบกึ่งปิด



ปานชนก นิ่มทับทิม

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพืชสวน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

การพัฒนาระบบให้สารละลายปุ๋ยอัตโนมัติ
เพื่อการเจริญเติบโตของพืชเนียบในระบบกึ่งปิด



ปานชนก นิ่มทับทิม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพืชสวน

สำนักบริหารและพัฒนาวិชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การพัฒนาระบบให้สารละลายปุ๋ยอัตโนมัติ
เพื่อการเจริญเติบโตของพืชเนยในระบบกึ่งปิด

ปานชนก นิมทับทิม

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชสวน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ สาครวาสี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริดา นาเทเวศน์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.ประนอม ยังก้ามั่น)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรนุช เจริญกิจ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาระบบให้สารละลายปุ๋ยอัตโนมัติ เพื่อการเจริญเติบโตของพืช ทุเรียนในระบบกึ่งปิด
ชื่อผู้เขียน	นางสาวปานชนก นิ่มทับทิม
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ สาครวาสี

บทคัดย่อ

น้ำ และ ปุ๋ยมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชในทุกกระบวนการปลูก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและ วิธีการให้สารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชทุเรียนในระบบกึ่งปิด โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Completely Block Design) แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การศึกษาระยะเวลาการให้สารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในพืชทุเรียนสายพันธุ์ Red และ Purple การทดลองนี้ให้สารละลายปุ๋ยครั้งละ 200 มิลลิลิตรต่อต้น ในความถี่ที่แตกต่างกัน หลังการทดลอง 30 วัน พบว่า การให้สารละลายปุ๋ยในปริมาณน้อยส่งผลให้มีการเจริญเติบโตส่วนราก การทดลองที่ 2 ผลของความถี่ในการให้สารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชทุเรียนสายพันธุ์ Coral ในการทดลองนี้แบ่งการให้ปุ๋ยออกเป็น 4 สิ่งทดลอง โดยมีการแปรผันทั้งปริมาณและความถี่ในการให้ หลังการทดลอง 60 วัน พบว่า พืชทุเรียนที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 100 มิลลิลิตร 2 ครั้งต่อวัน มีอัตราการสังเคราะห์แสง และ อัตราการนำไหลของปากใบสูงที่สุด อีกทั้งพบว่า มีปริมาณ Malondialdehyde ในเนื้อเยื่อใบ และ จำนวนดอกมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักแห้งต้น และ รากระหว่างต้นพืชทุเรียนจาก 4 สิ่งทดลอง ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การให้สารละลายปุ๋ย 100 มิลลิลิตร 2 ครั้งต่อวัน อาจมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชทุเรียนสายพันธุ์ Coral ในระบบกึ่งปิด การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นและระดับ pH ของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชทุเรียนสายพันธุ์ Purple โดยทำการแปรผันค่าความเข้มข้นปุ๋ยและค่า pH รวม 9 สิ่งทดลอง พบว่า ค่า pH 5.2 มีผลให้น้ำหนักแห้งของต้นพืชทุเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองที่ 4 ศึกษาการใช้ น้ำของพืช โดยการชั่งน้ำหนักรายชั่วโมงเพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในแต่ละชั่วโมง ระหว่าง 06.00 – 22.00 น. โดยทำการทดลองในพืชทุเรียน 2 สายพันธุ์ คือ Purple และ Coral โดยปลูกในสภาวะที่มีคุณภาพแสงแตกต่างกัน 4 รูปแบบ พบว่า ในแต่ละช่วงอายุของพืชทุเรียนมีรูปแบบการใช้ น้ำในรอบวันที่แตกต่างกัน และสายพันธุ์ Coral มีอัตราการใช้น้ำน้อยที่สุดเมื่อปลูกใน หลอดไฟ LED Shigyo (R:B 2:1) ซึ่งเป็นหลอดไฟที่ให้แสงสีแดง และสีน้ำเงินเป็นหลัก

คำสำคัญ : สารละลาย, ระบบกึ่งปิด, พิพุนี, การสังเคราะห์แสง



Title	OPTIMIZATION OF FERTIGATION SYSTEM FOR PETUNIA GROWN UNDER SEMI-CLOSED PLANT PRODUCTION SYSTEM
Author	Miss Parnchanok Nimthapthim
Degree	Master of Science in Horticulture
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Siriwat Sakhonwasee

ABSTRACT

Water and fertilizer are important for plant growth in all kinds of cultivation system. The objective of this research is to optimize the amount and method for feeding fertilizer solution to petunia plants grown under semi-closed plant cultivation system. The experimental design was CRD (Completely Randomized Design) with 4 experiments. The first experiment investigated the effect of time-based irrigation on Red and Purple petunia grown. In this experiment, petunia plants were irrigated with 200 ml of fertilizer solution per plant with different frequency. After 30 days in experiments, it was found that low amounts of irrigation support petunia root growth. The second experiment investigated the effect of time-based fertigation on petunia Coral plants. The amount and frequency of irrigations were varied into 4 treatments. After 60 days, it was found that petunia plants received fertilizer solution for 100 ml 2 times a day had higher rate of Photosynthesis and Stomatal conductance than plants in other treatments. Moreover, it was found that petunia plants in this treatment had higher amount of Malondialdehyde in leaf tissue and number of flowers than plants on other treatments. There were no difference in dry weight of shoots and roots of petunia plants among the 4 treatments. These results indicated that the feeding of fertilizer solution at 100 ml for 2 times per day may be appropriate for cultivating petunia 'Coral' plants in a semi-closed plant factory systems. Experiment 3 studied the concentration and pH level of fertilizer solution suitable for the growth of Purple petunias by experimenting with 3 levels of fertilizer concentration and pH making 9 treatments in total. Results showed that the pH 5.2

increased shoot dry weight. The fourth experiment studied the water use of plants. By hourly weighing to study the amount of water lost in each hour between 06.00 - 22.00 hrs. By experimenting in 2 species of petunias, Purple and Coral, planted under 4 different light quality. It was found that the pattern of water usage of petunias is varied by age. Coral species have a low water consumption rate when planted under LED Shigyo (R: B 2: 1) which emit red and blue lights.

Keywords : fertilizer solution, semi-closed plant factory systems, *Petunia hybrida*, photosynthesis



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ สาครวาสี อาจารย์ ดร. ประนอม ยงค์คำมัน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีดา นาเทเวศร์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง ในการศึกษาวิจัย ทั้งในเรื่องของการค้นคว้าข้อมูล การวางแผนการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนการเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จ

ขอขอบคุณสาขาพืชสวน และสาขาพืชผัก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท เอ เอฟ เอ็ม ฟลาวเวอร์ ซีดส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์พุดเนย เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา และมารดาที่ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนการศึกษามาตลอดเวลา ทั้งในด้านทุนการศึกษา สถานที่พัก ยานพาหนะในการเดินทาง กำลังใจ และคำปรึกษา อีกทั้งเปิดโอกาสให้มีอิสระทางความคิดทั้งในเรื่องของการดำเนินชีวิต และการศึกษา ซึ่งสิ่งเหล่านี้ ส่งผลให้ข้าพเจ้ามีความมุ่งมั่น และตั้งใจทำหน้าที่ของตน จนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ได้ด้วยดี

ปานชนก นิมทับทิม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	4
โรงงานผลิตพีซี	6
อิทธิพลของแสงต่อพีซี	7
อิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อพีซี	8
อิทธิพลของความเป็นกรด ต่างของสารละลายปุ๋ยต่อพีซี	9
บทที่ 3 วิธีวิจัย	10
การเตรียมต้นพืชเนื้อสำหรับการทดลองในห้องควบคุมสภาพแวดล้อม	10
การเก็บข้อมูลทางสรีรวิทยา.....	16
การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต	18
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	19
สถานที่ดำเนินงานวิจัย.....	19

ระยะเวลาในการวิจัย.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	20
การทดลองที่ 1 การทดลองให้ระบบน้ำอัตโนมัติ โดยแบ่งตามจำนวนวันในการให้สารละลายปุ๋ย Modified Hoagland ต่อสัปดาห์.....	20
การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความถี่ และปริมาณการให้สารละลายปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำสายพันธุ์ Coral	25
การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นและระดับ pH ของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำสายพันธุ์ Purple	28
การทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชน้ำสายพันธุ์ Purple และ Coral ภายใต้คุณภาพแสงที่แตกต่างกัน.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	40
บรรณานุกรม.....	41
ประวัติผู้วิจัย.....	50



สารบัญญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของต้นพืชนียที่ใช้ในการทดลอง (a) พืชนียสายพันธุ์ตั้งตรง Red (b) สายพันธุ์ต้นเลื้อย Coral และ (c) สายพันธุ์ต้นเลื้อย Purple ตามลำดับ (d) ลักษณะดอกและเกสร ของพืชนีย (e) ลักษณะใบ และ (f) ลักษณะฝัก และ (g) เมล็ดของพืชนีย	5
ภาพที่ 2 6 องค์ประกอบของ Plant factory	6
ภาพที่ 3 แสดงผลงานฟอตอนที่เป็นปฏิภาคกลับกับความยาวคลื่นแสง ช่วงความยาวคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้	7
ภาพที่ 4 ภาพเครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยความต่างศักย์ของไฟฟ้าและหัววัด (Senser).....	11
ภาพที่ 5 การเรียงใบเพื่อประเมินกตขนิพื้นที่ใบ หรือ Leaf Area Index (LAI).....	18
ภาพที่ 6 (a) กราฟมาตรฐานจากเซ็นเซอร์วัดค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้าและความชื้นในวัสดุปลูกช่วงความชื้น ตั้งแต่ 0 ถึง 60 %RH และ (b) ช่วงความชื้น ตั้งแต่ 0 ถึง 30 %RH (c) ค่าความชื้นในวัสดุปลูกพืชนียที่มีการให้น้ำ 4 รูปแบบ	21
ภาพที่ 7 (a) ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่ 2 (Φ_{PSII}) และ (b) ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของ (F_v / F_m) ของพืชนียพันธุ์ Red และ Purple ที่ 30 วัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 8) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05).....	23
ภาพที่ 8 (a) ปริมาณ Malondialdehyde (MDA) (b) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (c) อัตราการสังเคราะห์แสงและ (d) อัตราการนำไหลของปากใบ ของพืชนียพันธุ์ Coral แถบแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 8) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติวิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05).....	26
ภาพที่ 9 การประเมินปริมาณ (a) คลอโรฟิลล์ในภาพรวมการทดลองตลอด 4 สัปดาห์ โดยชุดข้อมูลทางด้านซ้ายคือการทดสอบในใบอ่อน และด้านขวาคือการทดสอบในใบแก่ (b) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 1 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (d) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 3 (e) คลอโรฟิลล์ ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชนียพันธุ์ Purple แถบแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 4) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05).....	29
ภาพที่ 10 การประเมินปริมาณ (a) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในภาพรวมการทดลองตลอด 4 สัปดาห์ โดยชุดข้อมูลทางด้านซ้ายคือการทดสอบในใบอ่อน และด้านขวาคือการทดสอบในใบแก่ (b) คลอโรฟิลล์ช่วง	

สัปดาห์ที่ 1 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (d) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 3 (e) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชน้ำชนิด Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 4) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)	31
ภาพที่ 11 การประเมินปริมาณ (a) อัตราการรั่วไหลของไอออนในภาพรวมการทดลองตลอด 4 สัปดาห์ (b) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 1 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (d) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 3 (e) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชน้ำชนิด Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 4) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)	32
ภาพที่ 12 การประเมิน (a) ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่ 2 ภาพรวมการทดลอง 4 สัปดาห์ (b) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 1 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (d) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 3 (e) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชน้ำชนิด Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 4) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)	33
ภาพที่ 13 การประเมินน้ำหนักสด (a) และน้ำหนักแห้ง (b) ของพืชน้ำชนิด Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)	34
ภาพที่ 14 กราฟแสดงการสูญเสียน้ำของต้นพืชน้ำชนิด สายพันธุ์ Purple และ Coral ในแต่ละชั่วโมง ช่วงเวลา 6.00 – 22.00 น.	37
ภาพที่ 15 ปริมาณการสูญเสียน้ำของต้นพืชน้ำชนิด สายพันธุ์ Purple และ Coral ในแต่ละวัน ในแต่ละช่วงอายุ โดยคำนวณจากผลรวมของการสูญเสียน้ำในแต่ละชั่วโมง แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 12) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)	37
ภาพที่ 16 อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบและพื้นที่ทรงพุ่ม (Leaf Area Index หรือ LAI) ในแต่ละช่วงอายุของต้นพืชน้ำที่ปลูกภายใต้แสงที่มีคุณภาพแตกต่างกัน แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)	38
ภาพที่ 17 (a) อัตราการนำไหลของปากใบ และ (b) อัตราการสังเคราะห์แสงของต้นพืชน้ำ แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 8) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)	39

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การเตรียมสารละลาย Modified Hoagland ความเข้มข้น 100 เท่า.....	12
ตารางที่ 2 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 1 การศึกษาปริมาณสารละลายปุ๋ย Modified Hoagland ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิด พืชน้ำ 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Red และ Purple.....	13
ตารางที่ 3 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความถี่ในการให้สารละลายปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิดพันธุ์ Coral ที่ความเข้มแสง $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	14
ตารางที่ 4 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นและระดับ pH ของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิดพันธุ์ Purple	15
ตารางที่ 5 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 4 ศึกษาการใช้น้ำของพืช โดยการชั่งน้ำหนักรายชั่วโมงเพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในแต่ละชั่วโมง ระหว่าง 06.00 – 22.00 น. และ ศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (water use efficacy)	16
ตารางที่ 6 แผนการศึกษาทดลอง	19
ตารางที่ 7 ค่าดัชนีด้านการเจริญเติบโตและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นพืชน้ำชนิดพันธุ์ Purple และ พันธุ์ Red ที่ได้รับสารละลายปุ๋ยในปริมาณที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติวิเคราะห์โดยวิธี Duncan ($P < 0.05$)	24
ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ Two way ANOVA หรือวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของปริมาณ และความถี่ในการให้สารละลายปุ๋ย	27
ตารางที่ 9 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ Two way ANOVA หรือวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย	33

บทที่ 1

บทนำ

พิทูเนีย (*Petunia hybrida* Vilm.) เป็นพืชตระกูล Solanaceae ตระกูลเดียวกับพริก มันฝรั่ง และยาสูบ มีแหล่งกำเนิดบริเวณแถบทวีปอเมริกาใต้ ในธรรมชาติพบพิทูเนียได้ประมาณ 40 สายพันธุ์ ใบของพิทูเนียมีลักษณะคล้ายใบยาสูบ (นันทิยา, 2535) ต้นมีลักษณะเป็นพุ่มเตี้ย ค่อนข้างเลื้อย จัดเป็นไม้เนื้ออ่อน มีขนปกคลุมตามผิวใบ ดอกมีหลายลักษณะและมีสีสรรที่สวยงามทำให้ได้รับความนิยมอย่างมากในการปลูกเป็นไม้กระถาง หรือเป็นไม้ประดับตกแต่งสถานที่ ลักษณะเมล็ดกลม ให้เมล็ดประมาณ 100 - 300 เมล็ดต่อฝัก (สมเพียร, 2526) พิทูเนียจัดเป็นไม้กระถางที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ราคาขายในตลาดอยู่ที่ประมาณ 70 บาท ต่อกระถาง ราคาเมล็ดเฉลี่ย 0.3 - 5 บาทต่อเมล็ด ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง เช่นในฤดูฝนจะมักพบอาการลำต้นเน่า ซึ่งจะมีอาการกิ่งเหี่ยวและเน่า เนื่องจากเชื้อสาเหตุ *Phytophthora parasitica*. ที่อาศัยอยู่ในดิน โดยสามารถแพร่กระจายอย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง และมีน้ำขัง (Le berre 2007)

การผลิตเมล็ดพันธุ์พิทูเนียในประเทศไทยมักกระทำบนพื้นที่สูง และมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้สามารถผลิตได้เพียง 1 รอบต่อปีเท่านั้น ทั้งยังได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของสภาพอากาศ รวมถึงโรคและแมลงที่มารบกวน ทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ได้มีความแปรปรวน การผลิตเมล็ดพันธุ์พิทูเนียที่มีคุณภาพจึงจำเป็นต้องใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และผู้ดูแลเป็นจำนวนมาก ส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

การปลูกพืชในระบบโรงงานผลิตพืช หรือ Plant factory คือการปลูกพืชในสภาวะที่มีการควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ และปริมาณน้ำ อย่างเข้มงวดทำให้พืชมีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอ สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ให้ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่สูง เนื่องจากการปลูกในรูปแบบแนวตั้ง (Kozai, 2007) ทั้งยังมีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ทำให้ผู้บริโภคและผู้ปฏิบัติงานมีความปลอดภัย (Che Hu et al. 2014) สภาพแวดล้อมในโรงงานผลิตพืชจะต้องมีความสะอาด เริ่มตั้งแต่ วัสดุปลูก อุปกรณ์ ผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงน้ำที่ใช้ โดยน้ำที่ให้กับพืชในโรงงานผลิตพืชจะต้องเป็นน้ำที่ผ่านการกรองหรือฆ่าเชื้อ

ไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดไฟแอลอีดี (Light-emitting diode ; LED) เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอด สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้ จึงมีการใช้หลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการปลูกพืช และเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิด (ณัฐสิทธิ์ 2560) เพื่อทดแทนการใช้แสงอาทิตย์จากธรรมชาติ ในปัจจุบันมีการผลิตหลอด LED สเปกตรัมแสงในช่วงคลื่นต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการทางการเกษตรมากขึ้น

เช่น แสงสีน้ำเงิน แดง ขาว เหลือง ม่วง และอื่นๆซึ่งช่วงแสงที่รังควัตถุคลอโรฟิลล์ของพืชสามารถดูดกลืนและนำมาใช้สังเคราะห์แสงได้ดี คือ 400 - 500 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) และ 600 -700 นาโนเมตร (สีแดง) Denbaars et al., 2013, Gupta and Jatothu, 2013, Kozai 2007)

น้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งในเชิงของการเป็นตัวกลางส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ เป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์แสง การควบคุมการเปิดปิดของปากใบ และเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์พืช โดยเป็นส่วนประกอบประมาณ 85 – 90% ของน้ำหนักสด พืชมีการสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลา เช่น ในการสังเคราะห์แสงปากใบของพืชจะเปิดเพื่อตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ในขณะเดียวกันก็มีการสูญเสียน้ำด้วยเนื่องจากปากใบเป็นเส้นทางในการแลกเปลี่ยนแก๊สและคายระเหยน้ำพร้อมๆกัน พืชกลุ่ม C3 จะมีการสูญเสียน้ำ ประมาณ 500 โมเลกุลต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล (Nobel, 1999) ธาตุอาหารภายในต้นพืช มีการเคลื่อนที่จากรากไปหล่อเลี้ยงยังส่วนต่างๆได้เนื่องจากแรงดึงที่เกิดจากการคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ ในการให้น้ำกับพืชในระบบโรงงานผลิตพืชมักจะเป็นการให้ไปพร้อมกับสารละลายปุ๋ย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการทดสอบการให้น้ำแบบอัตโนมัติในโรงงานผลิตพืชโดยใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นตัวควบคุมการจ่ายน้ำโดยจะจะใช้ เครื่องตั้งเวลา (Timer) หรือเซ็นเซอร์วัดความชื้นในการควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) นอกจากนี้จะได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นปุ๋ย และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืทูเนี่ยด้วย วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยคือการพัฒนาาระบบให้สารละลายปุ๋ยอัตโนมัติที่เหมาะสมสำหรับการปลูกต้นพืทูเนี่ยในโรงงานผลิตพืชแบบกึ่งปิด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณและวิธีการให้สารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืทูเนี่ยในโรงงานผลิตพืชแบบกึ่งปิด
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นและค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืทูเนี่ยในโรงงานผลิตพืชแบบกึ่งปิด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวทางการให้น้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในแต่ละระยะของพืทุเนยในระบบโรงงานผลิตพืชแบบกึ่งปิด
2. ทราบความเข้มข้นและความเป็นกรด-ด่างของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืทุเนยในโรงงานผลิตพืชแบบกึ่งปิด

ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต รวมถึงความเข้มข้นและความเป็นกรด-ด่างของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืทุเนยในระบบกึ่งปิด ณ ห้องควบคุมสภาพแวดล้อม สาขาพืชผัก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ การทดลองนี้ทำการทดสอบในพืทุเนย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พืทุเนยพันธุ์ต้นเลื้อย และพันธุ์ต้นตั้งตรง

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

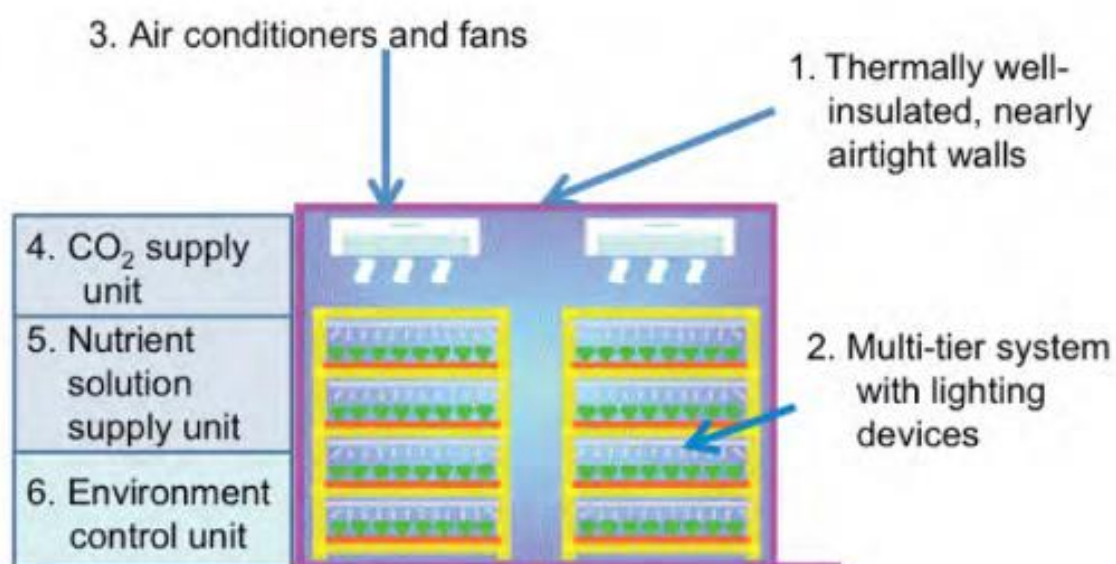
พิทูเนีย (*Petunia hybrida*) เป็นพืชฤดูเดียวที่ได้รับความนิยมในการใช้เป็นไม้ประดับ พันธุ์การค้าที่ขายกันอยู่ในปัจจุบันเกิดจากการผสมข้ามอย่างน้อยสองสายพันธุ์คือ *P. inflata* และ *P. axillaris* (Bombarely et al., 2016) พิทูเนียจัดเป็นไม้เนื้ออ่อนการแบ่งประเภทของพิทูเนียจะแบ่งตามลักษณะต้น และลักษณะดอก มีทั้งสายพันธุ์ต้นแบบตั้งตรงและแบบเลื้อย ความยาวข้อเฉลี่ย 3-4 เซนติเมตร โดยเฉลี่ยความสูงประมาณ 30-40 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และความสมบูรณ์ของต้น ลำต้นมีสีเขียว และมีขนปกคลุม กิ่งแข็ง เปรราะหักได้ง่าย (ภาพที่ 1a-1c) ดอกพิทูเนียมีความหลากหลาย มีทั้งลักษณะดอกเดี่ยว และดอกซ้อน การแบ่งประเภทตามลักษณะดอกจะแยกได้ 5 ประเภท ได้แก่ ดอกชั้นเดียว ขนาดใหญ่ (Grandiflora singles) ดอกขนาดเล็ก ชั้นเดียว (Multiflora singles) ดอกขนาดใหญ่ กลีบซ้อน (Grandiflora double) ดอกขนาดเล็ก กลีบซ้อน (Multiflora double) ดอกขนาดใหญ่พิเศษ กลีบซ้อน หรือชั้นเดียว (Superbissima หรือ California Giants) พันธุ์ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ดอกเดี่ยว ไม่มีกลีบซ้อน กลีบดอกมี 5 แฉก คอหลอดยาว เป็นดอกสมบูรณ์เพศ โดยมีเกสรตัวผู้ 5 อัน เกสรตัวเมีย 1 อัน บริเวณกลางดอก (ภาพที่ 2d) ใบของพิทูเนียมีลักษณะคล้ายใบยาสูบ แต่มีขนาดเล็กกว่า กว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 8 เซนติเมตร เนื้อใบอ่อน ขอบใบเรียบ (Furnel form) มีขนปกคลุมบริเวณด้านบนและด้านล่างของใบ ลักษณะทรงรีรูปไข่ (Ovate) ปลายใบแหลม (Acute) ทรงของใบ ความหนาและขนาดของใบ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และความสมบูรณ์ของต้น (ภาพที่ 1e) การขยายพันธุ์นิยมขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด เมล็ดของพิทูเนียมีขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 – 0.6 มิลลิเมตร มีสีน้ำตาลปนดำ แต่ละฝักจะมีเมล็ดประมาณ 100 – 300 เมล็ด โดย 1 มิลลิกรัมจะมีเมล็ดประมาณ 11,000 เมล็ด ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (ภาพที่ 1f) ฝักของพิทูเนียจะมีลักษณะปลายแหลม เปลือกสีเขียว มีขนปกคลุมคล้ายกับใบ เมื่อสุกแก่จะมีสีน้ำตาล ระยะเวลาสุกแก่ประมาณ 25-30 วันหลังผสม (ภาพที่ 1g) (สมเพียร, 2526; Gunn, 1974)



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของต้นพืชนียที่ใช้ในการทดลอง (a) พืชนียสายพันธุ์ต้นตั้งตรง Red (b) สายพันธุ์ต้นเลื้อย Coral และ (c) สายพันธุ์ต้นเลื้อย Purple ตามลำดับ (d) ลักษณะดอกและเกสรของพืชนีย (e) ลักษณะใบ และ (f) ลักษณะฝัก และ (g) เมล็ดของพืชนีย

โรงงานผลิตพืช

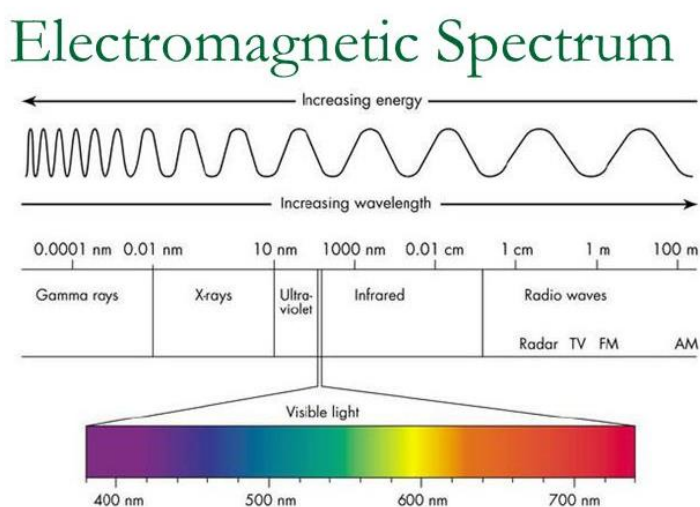
โรงงานผลิตพืช (Plant Factory) เป็นระบบการปลูกแบบควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ธาตุอาหาร แสงและความเร็วลม อย่างเข้มงวด (Kozai et al., 2016 , Ueno and Kawamitsu 2017) โดยทั่วไป โรงงานผลิตพืชประกอบด้วย 6 ส่วนหลักคือ 1. ห้องปลูกโครงสร้างทึบแสง 2. ชั้นปลูกติดตั้งระบบแสงสว่าง ที่มีการซ้อนชั้นในแนวตั้ง 3. ระบบปรับอากาศและหมุนเวียนอากาศ 4. ระบบเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ 5. ระบบให้สารละลายปุ๋ย และ 6.ระบบสังเกตการณ์และควบคุมสภาพแวดล้อม (ภาพที่ 2) (Kozai 2007) ระบบนี้สามารถผลิตพืชโดยไม่ต้องคำนึงถึงฤดูกาล ทั้งยังได้ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูงกว่าปกติโดยใช้ระยะเวลาการผลิตสั้นลง อีกทั้งได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ และปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการผลิตที่ปลูกในสภาพทั่วไป (Dong et al.,2015 : Kozai 2007)



ภาพที่ 2 6 องค์ประกอบของ Plant factory
ที่มา Kozai (2007)

อิทธิพลของแสงต่อพืช

พืชสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ที่เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ โดยมีรงควัตถุ คลอโรฟิลล์ ทำหน้าที่กักเก็บและปรับเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี เพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของพืช (สมบุญ 2548 วันเพ็ญ 2547) คุณภาพของแสงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น ในต้นเยอร์บีร่าที่เลี้ยงในขวดทดลอง พบว่า การให้แสงสีแดง 70% และ แสงสีน้ำเงิน 30% (RB2) ทำให้มีปริมาณรงควัตถุคลอโรฟิลล์ a b และ คาร์โรทีนอยด์ เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3) โดยรงควัตถุเหล่านี้มีประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวที่แตกต่างกัน โดยคลอโรฟิลล์ a ดูดกลืนแสงได้มากช่วงแสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 428 ถึง 453 nm และ คลอโรฟิลล์ b ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงแสงสีแดงที่ความยาวคลื่น 661 ถึง 642 nm (Lichtenthaler and Buschmann, 2001) นอกจากนี้มีรายงานว่าคุณภาพแสงเทียมมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพิทูเนีย เช่น การปลูกพิทูเนียภายใต้แสงสีแดงสีเดียว ทำให้ต้นไม่ออกดอก ทั้งยังส่งผลให้มีลำต้นที่สั้นลง ในขณะที่ การปลูกภายใต้แสงสีน้ำเงินเพียงสีเดียว กระตุ้นการออกดอก แต่ยับยั้งการแตกยอดด้านข้าง (Fukuda et al., 2002 and 2009)



ภาพที่ 3 แสดงพลังงานโฟตอนที่เป็นปฏิภาคกลับกับความยาวคลื่นแสง ช่วงความยาวคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้

ที่มา: Vanninen et al. (2010)

อิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อพืช

การสูญเสียน้ำจากวัสดุปลูกพืชเกิดขึ้นจาก 2 กระบวนการหลัก คือ 1. การสูญเสียน้ำจากการระเหยออกทางผิวดิน 2. การสูญเสียน้ำจากการคายระเหยของพืชผ่านทางปากใบ (Evapotranspiration) โดยการสูญเสียน้ำในกระบวนการดังกล่าวนี้ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นแสง ความเร็วลม และความกดอากาศ เป็นต้น เมื่อพืชสูญเสียน้ำจากการคายระเหยทางปากใบ รากพืชจะดูดน้ำจากดิน ผ่านบริเวณปลายราก และรากขน ด้วยกระบวนการ ออสมosis (Osmosis) น้ำจะเคลื่อนที่เข้าสู่พืชผ่านท่อลำเลียงน้ำไปทดแทนบริเวณที่สูญเสียน้ำจากการคายน้ำ ทั้งนี้พืชจะมีการคายน้ำของใบแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิด ช่วงการเจริญเติบโตของพืช และสภาพแวดล้อมในบริเวณที่พืชเจริญเติบโต (ภาณุพงศ์ 2557) น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของเซลล์พืช ดังนั้น สภาพะชาตน้ำจึงส่งผลกระทบต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช เช่น มีงานวิจัยพบว่าการขาดน้ำส่งผลให้ ขนาด และจำนวนใบของต้นพีลาโกเนียม (*Pelargonium sidoides*) ลดลง (Mofokeng et al., 2015) และยังส่งผลต่อกระบวนการทางสรีระวิทยาอย่างเช่น การสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโต (Lotfi and Khodaei. 2015) สภาพะชาตน้ำส่งผลให้พืชลดการเปิดปากใบ เพื่อลดการสูญเสียน้ำที่ระเหยออกทางปากใบ (Bunce and Morgenstern. 1997)

ในทางกลับกันการให้น้ำในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดสภาวะน้ำท่วมขังและส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน เช่น ในมะเขือเทศพบว่าค่าอัตราการสังเคราะห์แสงมีการลดลงมากกว่า 50% เมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา 3 วัน (Bhatt et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสภาวะน้ำท่วมขังจะส่งผลให้รากขาดออกซิเจน ลดอัตราการคายน้ำ และการนำไหลของปากใบ (Kozlowski, 1948 ; Ploetz et al. 1989) สภาพน้ำท่วมขังทำให้ออกซิเจนหมดไปจากดินอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วัน ส่งผลให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจของราก จึงทำให้รากเปลี่ยนกลไกการหายใจไปเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน และมีการสังเคราะห์แอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืช และได้พลังงานน้อยกว่าการหายใจแบบปกติ (รวี, 2553) ในภาพรวมพืชชนิดต่างๆมีความต้องการน้ำในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน การให้น้ำน้อย หรือมากเกินไปล้วนส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างของสารละลายปุ๋ยต่อพืช

ค่า pH หรือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่งผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืชในสองส่วนหลักคือ

1. ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่อพืชในดิน ระดับของ pH มีผลต่อการละลายของธาตุอาหาร สภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5 ถึง 6.5) ส่งเสริมการละลายของธาตุอาหารบางชนิด เช่น ซัลเฟต ฟอสเฟต คาร์โบเนต และยังส่งเสริมการสลายตัวของหินเพื่อปลดปล่อย K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} (Lambers and Pons, 2008) ในขณะที่ค่า pH ที่สูงกว่า 8 ส่งผลให้ ธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) ตกตะกอนอยู่ในรูป Ferric hydroxide ($Fe(OH)_3$)
2. การแลกเปลี่ยนประจุของธาตุอาหารผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membranes) ของราก ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น มีการศึกษาพบว่าค่า pH มีผลต่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตของต้น Switchgrass (Zhang et al., 2015) และยังส่งผลต่อปริมาณ ธาตุอาหารภายในใบ และรากของต้นลูกเดือย และขนาดของดอกพีโอนี (Jampeetong et. al., 2013)



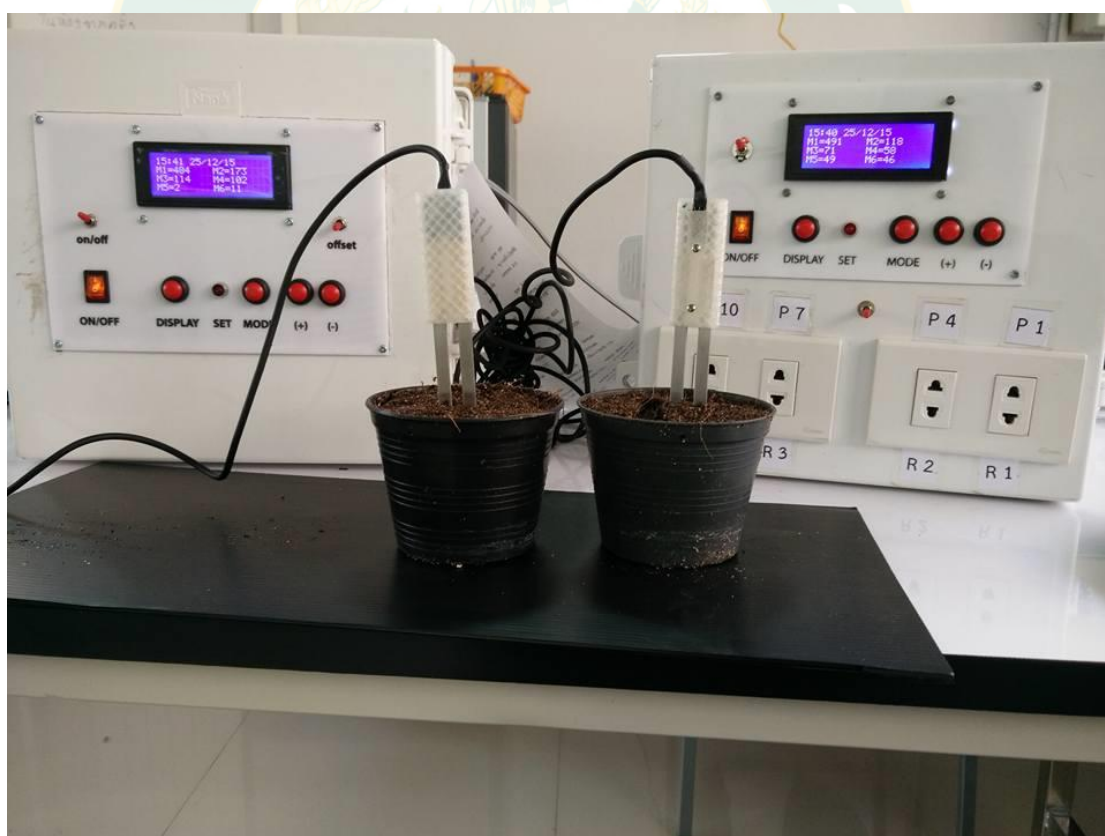
บทที่ 3 วิธีวิจัย

การเตรียมต้นพืชเนยสำหรับการทดลองในห้องควบคุมสภาพแวดล้อม

เมล็ดพืชเนยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เอ เอฟ เอ็ม ฟลาวเวอร์ซีดส์ (ไทยแลนด์) จำกัด ในการทดลองใช้ 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ตั้งตรง (Red และ Coral) และ สายพันธุ์เลื้อย (Purple) ถูกเพาะในกล่องพลาสติกใสใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูกเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นย้ายลงภาตหลุมขนาด 200 หลุมและทำการห่อปิดวัสดุปลูกด้วยพลาสติกใสเพื่อควบคุมความชื้น ให้สารละลายปุ๋ย Modified Hoagland เข้มข้น 0.25 เท่า (Epstein and Bloom, 2005) โดยมีค่า EC 0.5 mS pH 5.8 หลังจากต้นกล้ามีอายุ ครบ 14 วัน ย้ายลงกระถางขนาด 3 นิ้ว วัสดุปลูก ประกอบด้วย ขุยมะพร้าว พีทมอส และทรายหยาบ ในอัตราส่วน 1:1:1 ให้สารละลายปุ๋ย Modified Hoagland เข้มข้น 1 เท่า pH 5.8 เมื่อต้นกล้าอายุ 21 วันจึงย้ายลง กระถางขนาด 6 นิ้ว ต้นกล้าทั้งหมดปลูกภายใต้ห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงจากหลอดไฟ LED ที่มีอุณหภูมิสี 6500 K : 3200 K อัตราส่วน 1:1 ความเข้มแสง $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ความชื้นประมาณ 90 ± 10 เปอร์เซ็นต์ (ทำโดยการใช้พลาสติกปิดภาตต้นกล้า)

การเก็บข้อมูลความชื้นในวัสดุปลูกโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นวัสดุปลูกในกระถาง

การวัดความชื้นในดินโดยใช้ความต่างศักย์ของไฟฟ้าที่มีวัสดุปลูกเป็นตัวกลาง และมีความชื้นหรือน้ำในวัสดุปลูกเป็นตัวนำ และอ่านค่าโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานเป็นค่าความชื้นในดิน โดยในกรณีที่มีความชื้นในดินสูง จะสามารถส่งผ่านกระแสไฟได้ง่าย ค่าที่เครื่องอ่านได้จะมีสูงขึ้นตาม โดยลักษณะหัววัด (senser) จะมีขาเหล็กสองข้าง ที่ขาด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งที่จะส่งกระแสไฟ 5 โวล ส่วนขาอีกด้านทำหน้าที่เป็นตัวรับ ทั้งนี้ในการทดลองใช้สารละลายปุ๋ยแทนการใช้น้ำในระบบ แทน ดังนั้นในการทำกราฟมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบระหว่าง ค่าที่เครื่องอ่านได้กับความชื้นในวัสดุปลูกจึงใช้สารละลายปุ๋ยในการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยวิธีการดังนี้ อบรมวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดลอง 80 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน หลังจากนั้นนำชั่งน้ำหนักวัสดุปลูก 1 กิโลกรัม เติมสารละลายปุ๋ยครั้งละ 100 มิลลิลิตร โดยการพ่นด้วยสเปรย์ ทั้งนี้การสร้างกราฟมาตรฐานจะทำแยกแต่ละหัววัด เพื่อความสม่ำเสมอ



ภาพที่ 4 ภาพเครื่องวัดความชื้นโดยอาศัยความต่างศักย์ของไฟฟ้าและหัววัด (Senser)

ตารางที่ 1 การเตรียมสารละลาย Modified Hoagland ความเข้มข้น 100 เท่า

	ปุ๋ย	g/l
สารละลาย A	KNO ₃	60.6
	FeEDTA	3.0
	CaNO ₃	94.46
สารละลาย B	NH ₄ H ₂ PO ₄	23.02
	MgSO ₄	24.65
	H ₃ BO ₃	0.15
	MnCl ₂	0.03
	ZnSO ₄	0.05
	CuSO ₄	0.012
	NaMoO ₄	0.008
	KCl	0.37
	NiSO ₄	0.013

ที่มา: Epstein and Bloom (2005)

งานวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ทุกการทดลองวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) โดยมีรายละเอียดแต่ละการทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาปริมาณสารละลายปุ๋ย Modified Hoagland ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืทูเนีย ใช้พืทูเนีย 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Red และ Purple โดยให้สารละลายปุ๋ยครั้งละ 200 ml แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ตามจำนวนวันที่ให้ คือ ทุกวัน สามวัน สองวัน และหนึ่งวันต่อสัปดาห์ ทำการบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยาโดยการวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง (Φ_{PSII}) ค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (F_v/F_m) ค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (A) ค่าอัตราการคายระเหยของน้ำ (E) และ ค่าอัตราการนำไหลของปากใบ (g_s) ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ และปริมาณน้ำสัมพันธ์ ทุกๆ 7 วันหลังเข้าการทดลอง ดำรับการทดลองทั้งหมดมีดังนี้

ตารางที่ 2 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 1 การศึกษาปริมาณสารละลายปุ๋ย Modified Hoagland ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืทูเนีย ใช้พืทูเนีย 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Red และ Purple

สิ่งทดลอง	การให้สารละลายปุ๋ย	สายพันธุ์
1	ทุกวัน	RED
2		Purple
3	สามวันต่อสัปดาห์	RED
4		Purple
5	สองวันต่อสัปดาห์	RED
6		Purple
7	หนึ่งวันต่อสัปดาห์	RED
8		Purple

การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความถี่ และปริมาณการให้สารละลายปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืชเนียบสายพันธุ์ Coral ที่ความเข้มแสง $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ทำการบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยา โดยการวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง ค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (Fv/Fm) ค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (A) ค่าอัตราการคายระเหยของน้ำ (E) และ ค่าอัตราการนำไหลของปากใบ (gs) ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ทุกๆ 14 วันหลังเข้าการทดลอง ดำรับการทดลองทั้งหมดมีดังนี้

ตารางที่ 3 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความถี่ในการให้สารละลายปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืชเนียบสายพันธุ์ Coral ที่ความเข้มแสง $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

สิ่งทดลอง	การให้สารละลายปุ๋ย (มิลลิลิตร)	จำนวนครั้งต่อวัน
1	50	2
2	100	1
3	100	2
4	200	1

การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นและระดับ pH ของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชเนียบสายพันธุ์ Purple ทำการบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยาโดยการวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง ค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง ค่าอัตราการสังเคราะห์แสง ค่าอัตราการคายระเหยของน้ำ และ ค่าอัตราการนำไหลของปากใบ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ดำรับการทดลองทั้งหมดมีดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นและระดับ pH ของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมะเขือเทศ Purple

สิ่งทดลอง	pH	Electric Conductivity (EC)
1	5.2	0.4
2		0.8
3		1.6
4	5.8	0.4
5		0.8
6		1.6
7	6.4	0.4
8		0.8
9		1.6

การทดลองที่ 4 ศึกษาการใช้น้ำของพืช โดยการชั่งน้ำหนักรายชั่วโมงเพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในแต่ละชั่วโมง ระหว่าง 06.00 – 22.00 น. และ ศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (water use efficacy) โดยการชั่งน้ำหนักแห้งรวมเทียบกับการใช้น้ำตลอดช่วงอายุของพืช โดยจะแบ่งเป็น 3 ช่วงอายุได้แก่ 1 , 2 และ 3 เดือน ทำการบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยาโดยการวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง ค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง ค่าอัตราการสังเคราะห์แสง ค่าอัตราการคายระเหยของน้ำ และ ค่าอัตราการนำไหลของปากใบ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ดำรับการทดลองทั้งหมดมีดังนี้

ตารางที่ 5 ตารางแสดงสิ่งทดลองในการทดลองที่ 4 ศึกษาการใช้น้ำของพืช โดยการชั่งน้ำหนักราย ชั่วโมงเพื่อศึกษาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในแต่ละชั่วโมง ระหว่าง 06.00 – 22.00 น. และ ศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (water use efficacy)

สิ่งทดลอง	ชนิดของหลอด LED	สายพันธุ์
1	3200 K (Warm white)	Coral
2		Purple
3	6500 K (Day light)	Coral
4		Purple
5	3200 : 6500 K (1 : 1)	Coral
6		Purple
7	Shigyo (R:B 2:1)	Coral
8		Purple

การเก็บข้อมูลทางสรีรวิทยา

การวัดค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ

ทำการวัดดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซได้แก่ ค่า A, E และ g_s โดยใช้เครื่อง LCi-SD (BioScientific Ltd., Hertfordshire, UK) วัดที่ความเข้มแสง $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ โดย

ค่า A คือ ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงบ่งบอกถึงการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบที่ทำการวัด มีหน่วยเป็น $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

ค่า E คือ ค่าอัตราการคายระเหยของน้ำจากผิวใบ มีหน่วยเป็น $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

ค่า g_s คือ ค่าอัตราการนำไพลของปากใบบ่งบอกถึงการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางปากใบไปยังศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ มีหน่วยเป็น $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Relative Water Content , RWC)

ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Karlidag et al. (2011) โดยเลือกใช้ใบอ่อนที่สุดที่ขยายตัวเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ตัดใบชั่งน้ำหนักสด (Fresh Weight หรือ FW) จากนั้นนำไปแช่น้ำในสภาพสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องนาน 16 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักเต่งหรือ Turgid weight หรือ TW) นำใบไปอบแห้งโดยเก็บใบที่อุณหภูมิ 70 °c นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry Weight หรือ DW) และนำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์โดยใช้สมการดังนี้

$$RWC (\%) = [(FW - DW)/(TW - DW)] \times 100.$$

การประเมินปริมาณ Malondialdehyde (MDA)

ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Kiarostami et al. (2010) และ Hodges et al. (1999) ทำโดยใช้ใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ชั่งน้ำหนักใบประมาณ 50 กรัม บดใบใน Trichloroacetic acid (TCA) 0.1 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยง 20 นาที โดยใช้ความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที จากนั้นดูดเฉพาะส่วนใสปริมาตร 550 มิลลิลิตร แล้วเติม Thiobarbituric Acid (TBA) 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลาย TCA 20 เปอร์เซ็นต์ หลอดละ 550 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 °c นาน 30 นาที ทำให้เย็นที่ระดับอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ระดับความเร็ว 5000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 532 และ 600 นาโนเมตร คำนวณปริมาณมาลอนดีอัลดีไฮด์ได้จากสูตร

$$MDA (\mu\text{mol/g FW}) = [(A_{532}-A_{600})-(A_{440}-A_{600})](MA \text{ of sucrose at } 532\text{nm}/MA \text{ of sucrose at } 440 \text{ nm})] / 157000 \times 10^6$$

การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์

ดัดแปลงวิธีการมาจาก Loranger and Shipley (2010) ตัดใบชั่งน้ำหนักประมาณ 30 – 40 mg จากนั้นเติม Dimethyl sulphoxide (DMSO) 1 ml ต่อหลอดทดลอง นำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 °c นาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง Spectrophotometer วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์โดยใช้สูตร

$$Chl a (\text{g l}^{-1}) = 0.0127 \times A_{663} - 0.00269 \times A_{645}$$

$$Chl b (\text{g l}^{-1}) = 0.0229 \times A_{645} - 0.00468 \times A_{663}$$

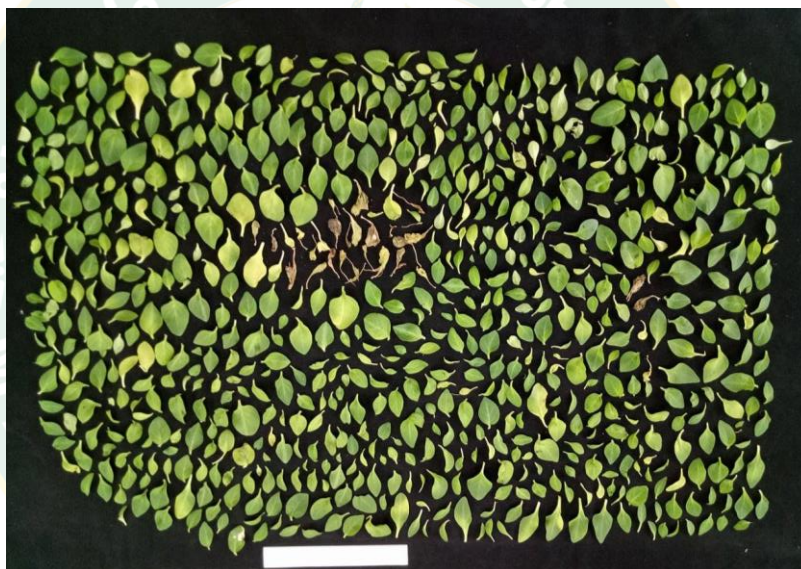
$$\text{Tot Chl (g l}^{-1}\text{)} = 0.0202 \times A_{645} + 0.00802 \times A_{663}$$

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

การประเมินดัชนีพื้นที่ใบ หรือ Leaf Area Index (LAI)

วิธีการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ดัดแปลงจากวิธีการของ Williams (1946) โดยเด็ดใบทุกใบวางเรียง (L1) จากนั้นถ่ายภาพ (ภาพที่.5) และถ่ายภาพทรงพุ่มของต้น (L2) ใช้โปรแกรม imageJ เพื่อวัดพื้นที่ใบ และพื้นที่ทรงพุ่ม โดยจะคำนวณเป็นหน่วยพื้นที่ตารางเซนติเมตร (cm²) คำนวณหาพื้นที่ใบ โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Leaf Area Index (LAI)} = L1 / L2$$



ภาพที่ 5 การเรียงใบเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบ หรือ Leaf Area Index (LAI)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและตรวจสอบความแตกต่างในแต่ละสิ่งทดลองทำโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 16.0

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการระบบโรงงานพืช ณ ห้องควบคุมสภาพแวดล้อม สาขาพืชผัก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ระยะเวลาในการวิจัย

เริ่มทำการศึกษาข้อมูลและทดลอง ในปีการศึกษา 2558 ถึง ปีการศึกษา 2559 โดยมีแผนการศึกษาทดลองดังนี้

ตารางที่ 6 แผนการศึกษาทดลอง

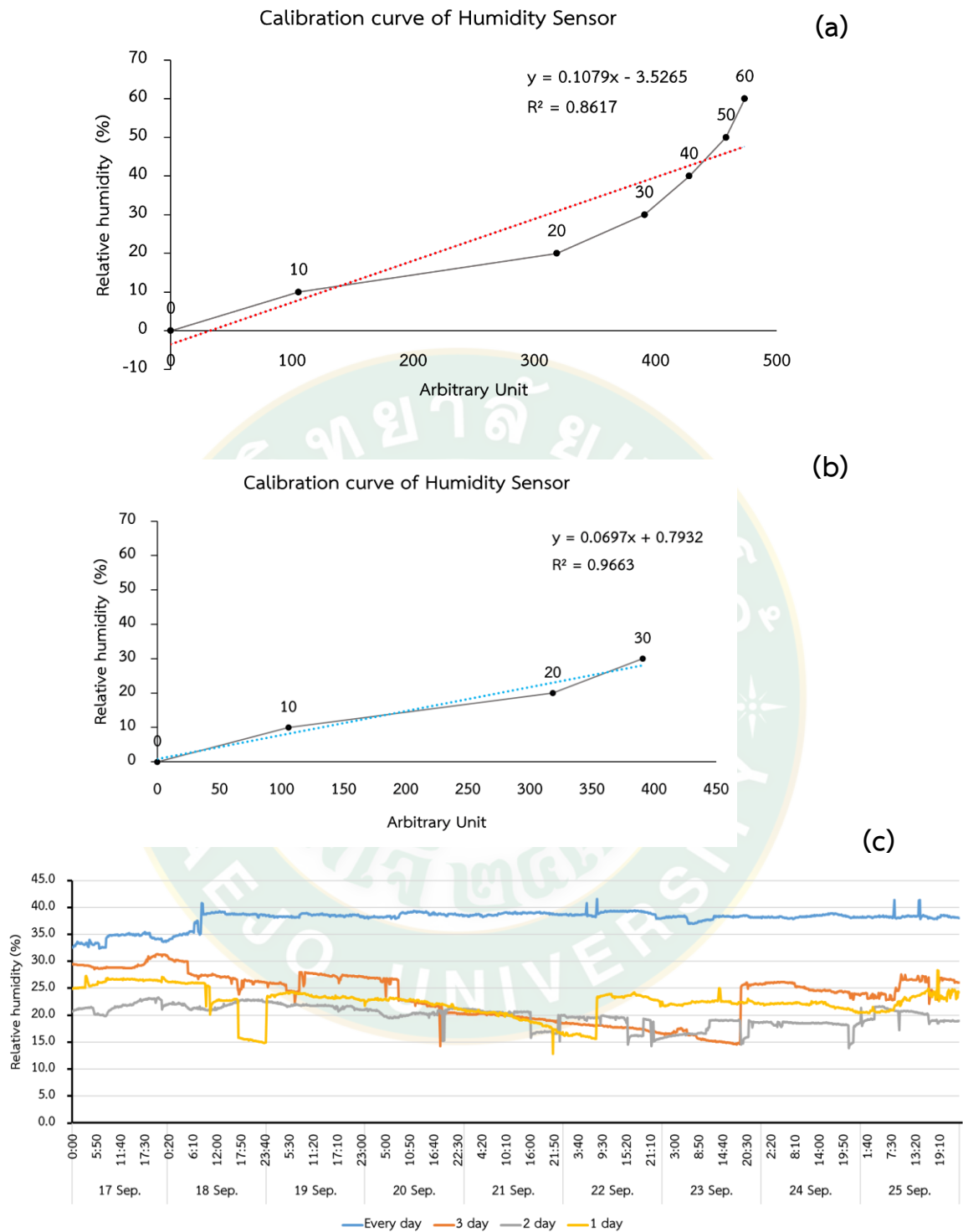
กิจกรรม	ปีที่ 1 (พ.ศ. 2558)		ปีที่ 2 (พ.ศ. 2559)	
	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12
1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	↔			
2. ทดลองตามแผนการทดลองที่ 1	↔			
3. ทดลองตามแผนการทดลองที่ 2	↔			
4. ทดลองตามแผนการทดลองที่ 3	↔			
5. ทดลองตามแผนการทดลองที่ 4	↔			

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

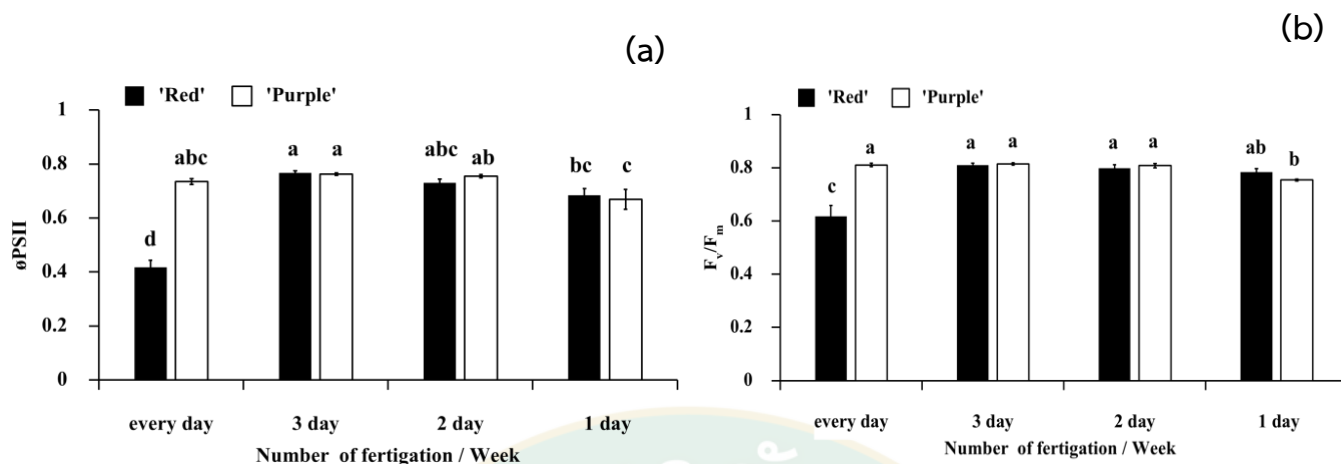
การทดลองที่ 1 การทดลองให้ระบบน้ำอัตโนมัติ โดยแบ่งตามจำนวนวันในการให้สารละลายปุ๋ย Modified Hoagland ต่อสัปดาห์

จากการทดลองพบว่า การวัดความชื้นในดินโดยใช้หัวเซ็นเซอร์วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เทียบกับกราฟมาตรฐานสามารถวัดความชื้นในวัสดุปลูกได้ในระดับที่ไม่เกิน 30% หากเกินกว่านี้ไปจะไม่สามารถแยกความแตกต่างของความชื้นในวัสดุปลูกได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 6a และ b) เมื่อนำมาใช้ในการทดลองอ่านค่าความชื้นในวัสดุปลูกช่วงสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง พบว่าการให้สารละลายปุ๋ย 200 มิลลิลิตร ทุกวัน และสองวันต่อสัปดาห์มีค่าความชื้นในดินสม่ำเสมอที่ระดับ 35 – 40% และ 15 - 20% ตามลำดับตลอดช่วงหนึ่งสัปดาห์ที่ทำการวัดค่า ในขณะที่การให้น้ำ สามวัน และหนึ่งวันต่อสัปดาห์ พบว่าในช่วงปลายของสัปดาห์ (วันที่ 20 -23 ก.ย. ตามกราฟ) มีแนวโน้มการลดลงของความชื้นในดินอย่างชัดเจน ทั้งนี้ในช่วงดังกล่าว เป็นช่วงที่ต้นพืชนียมมีการออกดอก (ภาพที่ 6b)



ภาพที่ 6 (a) กราฟมาตรฐานจากเซ็นเซอร์วัดค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้าและความชื้นในวัสดุปลูกช่วงความชื้น ตั้งแต่ 0 ถึง 60 %RH และ (b) ช่วงความชื้น ตั้งแต่ 0 ถึง 30 %RH
(c) ค่าความชื้นในวัสดุปลูกพืชมุขีที่มีการให้น้ำ 4 รูปแบบ

ด้านการประเมินสุขภาพของต้นพืชผ่านดัชนีทางสรีรวิทยาของพิทูเนียสายพันธุ์ Red และ Purple ได้ทำการวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง (Φ_{PSII}) และ ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (F_v/F_m) ซึ่งมักถูกใช้เป็นตัวชี้วัดความเครียดภายในพืช ในสภาวะที่พืชเป็นปกติ ค่า F_v/F_m จะอยู่ที่ประมาณ 0.8 แต่เมื่อพืชตกอยู่ภายใต้สภาวะเครียดจะทำให้ค่า F_v/F_m ลดลงซึ่งอาจบ่งชี้ถึงความเสียหายของระบบแสงที่สอง (Cui et al., 2006; Johnson et al., 1993; Maxwell and Johnson, 2000) จากการทดลองพบว่าพิทูเนียสายพันธุ์ Red และ Purple ที่ได้รับสารละลายเพียง 1 วันต่อสัปดาห์มีค่า Φ_{PSII} และค่า F_v/F_m ต่ำกว่าต้นที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 2 และ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการได้รับสารละลายปุ๋ยน้อยเกินไป จนทำให้เกิดสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ และ ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่ระบบแสงที่สอง ในพิทูเนียสายพันธุ์ Red ที่ได้รับสารละลายปุ๋ยทุกวันพบว่าการลดลงของค่า Φ_{PSII} และค่า F_v/F_m อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสายพันธุ์ Purple ที่ได้รับสารละลายปุ๋ยทุกวัน และในสายพันธุ์ Red ที่ได้รับสารละลายปุ๋ยในสิ่งทดลองอื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากพืชตกอยู่ภายใต้สภาวะเครียดจากน้ำท่วม เพราะการให้สารละลายปุ๋ย 200 มิลลิลิตร ในทุกๆวัน ทำให้มีสารละลายปุ๋ยตกค้างในภาชนะรองรับปริมาณมาก จึงมีลักษณะคล้ายกับสภาวะน้ำท่วม ซึ่งอาจชักนำให้เกิดสภาพการขาดออกซิเจนในบริเวณราก และ ส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การสังเคราะห์แสง การแลกเปลี่ยนก๊าซ และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (Jing et al., 2009) ซึ่งในพืชหลายชนิดจะแสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่า Φ_{PSII} และค่า F_v/F_m เมื่อตกอยู่ในสภาวะน้ำท่วม เช่น มะเขือเทศ ข้าว และถั่วลันเตา (Else et al., 2008; Mishra et al., 2008; Jackson and Kowalewska, 1983) (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 (a) ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่ 2 (ϕ_{PSII}) และ (b) ประสิทธิภาพการทำงานของสูงสุดของ (F_v / F_m) ของพืชมะเขือเทศสายพันธุ์ Red และ Purple ที่ 30 วัน แถบคลาดเคลื่อนแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($n = 8$) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan ($P < 0.05$)

ในช่วงระยะเวลา 30 วันหลังการทดลอง พบว่า การให้สารละลายปุ๋ยทุกวันทำให้ต้นพืชมะเขือเทศสายพันธุ์ Red มีน้ำหนักแห้งของต้นน้อยกว่าต้นที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 3 วันต่อสัปดาห์ และ ต้นที่มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด คือ ต้นพืชมะเขือเทศที่ได้รับสารละลายปุ๋ยเพียง 1 วันต่อสัปดาห์ ในสายพันธุ์ Purple ต้นที่ได้รับน้ำทุกวันมีน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมา คือ 3 วัน 2 วัน และ 1 วันต่อสัปดาห์ จากการทดลองเป็นที่น่าสนใจว่าในพืชมะเขือเทศทั้งสองสายพันธุ์ที่ได้รับน้ำ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ มีการสร้างชีวมวลในส่วนรากมากกว่าต้นที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 2 และ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (ตารางที่ 7) สอดคล้องกับรายงานใน ข้าวโพด อุ่น Arabidopsis ที่มีการตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำโดยกระตุ้นการเจริญเติบโตในส่วนของรากเช่นกัน โดยอาจเป็นผลมาจากสารควบคุมการเจริญเติบโตกรดแอบไซซิก ABA (Abscisic Acid) ที่มีส่วนในการชักนำให้มีการเจริญเติบโตในส่วนของรากมากขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณการดูดน้ำให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของส่วนต้น (Xiong *et al.*, 2006; Sharp *et al.*, 2004; Vandeleur *et al.*, 2009)

ตารางที่ 7 ค่าดัชนีด้านการเจริญเติบโตและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นพิทูเนียพันธุ์ Purple และพันธุ์ Red ที่ได้รับสารละลายปุ๋ยในปริมาณที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติวิเคราะห์โดยวิธี Duncan ($P < 0.05$)

Morphology of plant Purple petunia	Irrigation per week			
	every day	three time	two time	one time
Width of plant	43.67 a	34.33 ab	28.67 bc	19.67 c
Plant height	16.33 a	9.00 b	8.67 b	6.67 b
Shoot fresh weight	41.69 a	32.01 a	13.04 b	7.46 b
Shoot dried weight	3.03 a	2.35 a	0.93 b	0.91 b
Root dried weight	0.49 ab	0.32 ab	0.13 b	0.59 a

Morphology of plant Red petunia	Irrigation per week			
	every day	three time	two time	one time
Width of plant	29.33 b	29.00 b	11.00 c	14.33 c
Plant height	19.00 a	20.00 a	13.00 bc	11.67 abc
Shoot fresh weight	20.46 cb	26.38 bc	9.50 e	7.64 e
Shoot dried weight	1.29 cd	1.96 bc	0.88 d	0.81 d
Root dried weight	0.11 b	0.10 b	0.17 b	0.39 ab

การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความถี่ และปริมาณการให้สารละลายปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืชเนี่ยสายพันธุ์ Coral

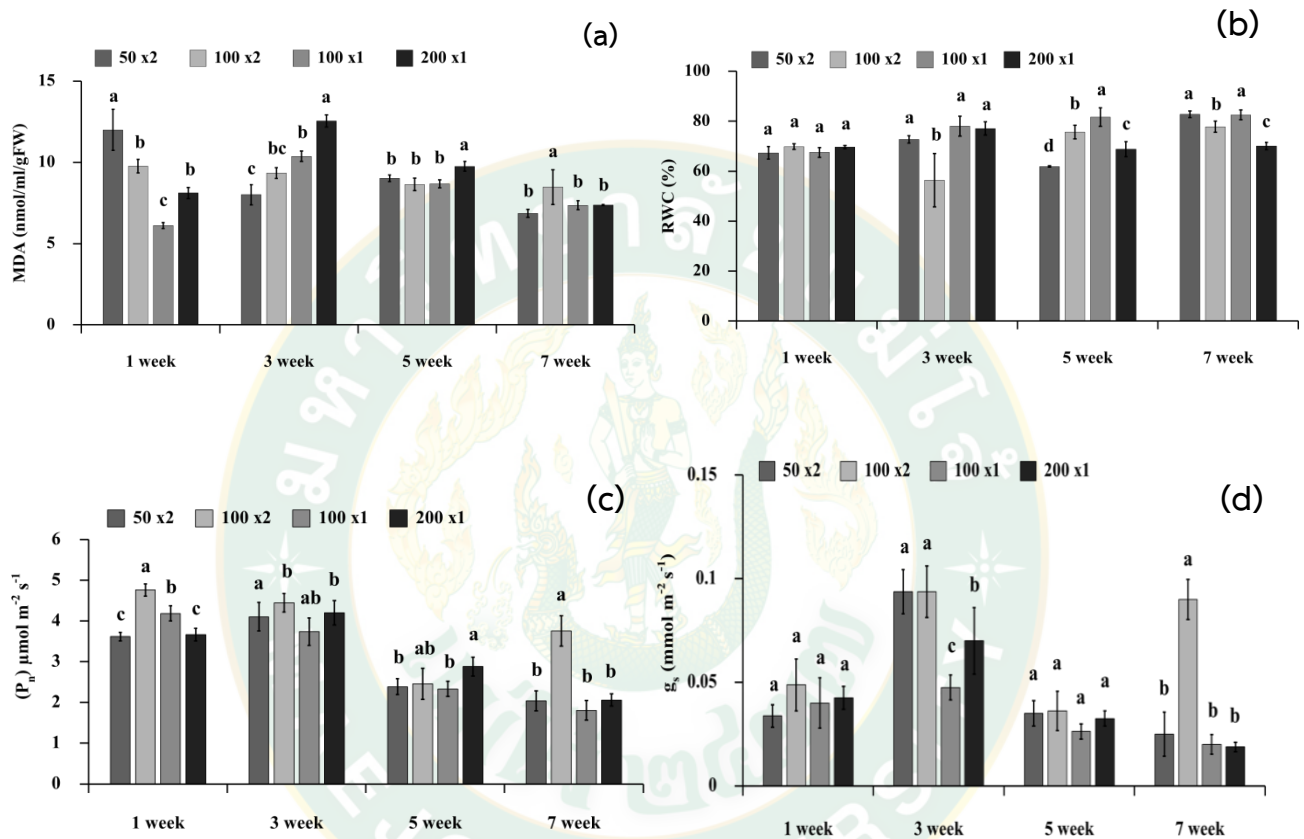
การทดลองนี้มีการแปรผันความถี่ และปริมาณการให้สารละลายปุ๋ย เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ โดยทั่วไปแล้วการตอบสนองที่เร็วที่สุดของพืชต่อสภาวะขาดน้ำคือ การปิดปากใบ เพื่อลดการคายน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ นำไปสู่การลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสง (Efeoglu et al., 2009) การทดลองนี้จึงมีการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงควบคู่ไปกับการทดลองด้วย

ในสภาวะที่พืชได้รับความเครียดจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิสูง น้ำท่วม หรือขาดน้ำ จะเหนี่ยวนำให้เกิด Reactive Oxygen Species (ROS) ซึ่ง ROS สามารถออกซิไดซ์ไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ และได้ผลิตภัณฑ์เป็น Malondialdehyde (MDA) (Yan et al., 1996) การประเมินปริมาณ MDA จึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดความเครียดภายในพืชอย่างแพร่หลาย ในการทดลองนี้พบว่าในพืชที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 100 มิลลิลิตรต่อวัน มี MDA ลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 5 และ 7 ของการทดลอง จึงอาจเป็นไปได้ว่า พืชมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมทำให้มีปริมาณของ ROS ลดลง โดยมีรายงานการปรับตัวของพืชในสภาวะเครียด เช่น ใน Arabidopsis พบว่า มีการปรับตัวให้ใช้น้ำน้อยลงหลังจากอยู่ในสภาวะขาดน้ำเป็นระยะเวลาหนึ่ง (Xiong et al., 2006) สำหรับการให้สารละลายปุ๋ย 100 มิลลิลิตร 2 ครั้งต่อวัน ทำให้มีปริมาณ MDA สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณสารละลายปุ๋ยที่พืชได้รับมีมากเกินไปที่พืชจะดูดซึมนำไปใช้ได้ทันจึงทำให้เกิดการการท่วมขังในบริเวณรากพืช และมีผลทำให้พืชเกิดสภาวะเครียด ปริมาณ MDA จึงเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 8a)

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Relative Water Content หรือ RWC) บ่งบอกถึงปริมาณน้ำ และสภาวะของกระบวนการเมตาบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่นิยมใช้ในการประเมินสภาวะการขาดน้ำของพืช (Anjum et al., 2011) จากการทดลองพบว่า ในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง มีการเพิ่มขึ้นของ RWC ในต้นที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 50 มิลลิลิตร 2 ครั้งต่อวัน 100 มิลลิลิตร 2 ครั้งต่อวัน และ 100 มิลลิลิตร 1 ครั้งต่อวัน 12.71, 7.74 และ 12.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 200 มิลลิลิตร 1 ครั้งต่อวัน (ภาพที่ 8b)

ในส่วนของดัชนีที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซในสัปดาห์ที่ 7 ของการทดลอง พบว่าต้นพืชเนี่ยที่ได้รับสารละลายปุ๋ย 100 มิลลิลิตร 2 ครั้งต่อวัน มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงและค่าอัตราการนำไหลสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการให้สารละลายในตำรับอื่น ซึ่งอาจ

เป็นไปได้ว่าในสิ่งทดลองอื่น ๆ ที่มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำกว่ามีสาเหตุมาจากการการกรหรีปากใบ ส่งผลให้เกิดการจำกัดการไหลผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้การหรีของปากใบอาจเกิดขึ้นจากการขาดน้ำ (Taiz and Zeiger, 1991) (ภาพที่ 8c)



ภาพที่ 8 (a) ปริมาณ Malondialdehyde (MDA) (b) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (c) อัตราการสังเคราะห์แสงและ (d) อัตราการนำไหลของปากใบ ของพืชมุขนิยพันธุ์ Coral แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 8) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติวิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P < 0.05)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง โดยมีตัวแปรต้นที่ 1 คือ ปริมาณสารละลายปุ๋ยที่ให้ในแต่ละวัน และตัวแปรต้นที่ 2 คือ จำนวนครั้งที่ให้ในแต่ละวัน พบว่า ปริมาณสารละลายมีผลต่อจำนวนดอกของพิทูเนียและน้ำหนักสดของต้นพิทูเนียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับจำนวนครั้งที่ให้ต่อวันมีผลต่อน้ำหนักแห้งของราก นอกจากนี้พบว่าปริมาณและจำนวนครั้งในการให้สารละลายปุ๋ยมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทำให้เกิดความแปรปรวนของจำนวนดอกของต้นพิทูเนีย ทั้งนี้การให้น้ำกับต้นพิทูเนียโดยแบ่งเป็น 2 ครั้งต่อวัน ช่วยรักษาความชื้นให้มีความสม่ำเสมอ จากรายงานของ Marc et.al. (2010) การรักษาความชื้นในดินให้มีความสม่ำเสมอนี้มีผลทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่การให้น้ำ 50 มิลลิตร 2 ครั้งต่อวัน อาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ 8)

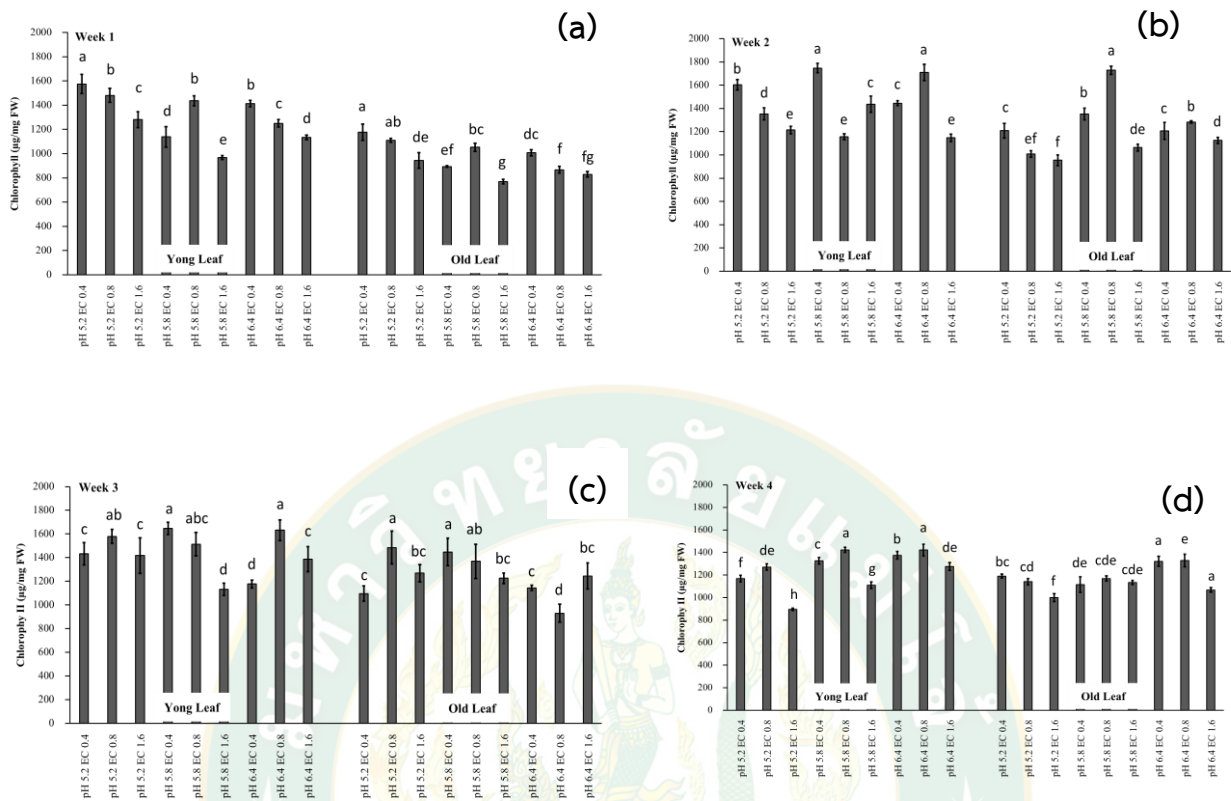
ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ Two way ANOVA หรือวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของปริมาณ และความถี่ในการให้สารละลายปุ๋ย

Dependent variables	Independent variables		
	Amount of Irrigation (a)	Frequency of Irrigation (b)	A × B
Number flowers	<0.01	0.81	<0.01
Shoot Fresh weight	<0.01	0.34	0.17
Shoot dried weight	0.65	0.22	0.67
Root dried weight	0.55	<0.01	0.32

การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นและระดับ pH ของสารละลายปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำสายพันธุ์ Purple

การทดลองนี้แปรผันความเข้มข้นปุ๋ย และ ค่า pH อย่างละ 3 ระดับโดยไม่มีการเปลี่ยนสูตรปุ๋ย ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นกรดต่างของ วัสดุปลูกมีผลต่อการละลายของธาตุอาหารและส่งผลต่อความพร้อมใช้งานของธาตุอาหารพืช โดยพืชจะดูดซึมธาตุอาหารได้ดีก็ต่อเมื่อธาตุอาหารมีการละลายน้ำที่ดี ในสภาวะที่ค่า pH ของดินลดลง B, Cu, Fe, Mn และ Zn มักจะมีการละลายเพิ่มขึ้นในขณะที่ Mo จะมีการละลายลดลงซึ่งส่งผลต่อการดูดซึมเข้าสู่ลำต้นของพืช (Fageria et al. 2011 , Fageria 2014)

จากการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ ในสัปดาห์ที่ 4 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง พบว่ามีแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อใบของสิ่งทดลองที่ 5 (ความเข้มข้นปุ๋ย 0.8 mS pH 5.8) มากที่สุด โดยพบว่าสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นพืชน้ำที่ได้รับปลูกในสิ่งทดลองที่ 3 (ความเข้มข้นปุ๋ย 1.6 mS pH 5.2) สิ่งทดลองที่ 6 (ความเข้มข้นปุ๋ย 1.6 mS pH 5.8) และ สิ่งทดลองที่ 9 (ความเข้มข้นปุ๋ย 1.6 mS pH 6.2) มีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยกว่าสิ่งทดลองที่ 5 (ความเข้มข้นปุ๋ย 0.8 mS pH 5.8) โดยคิดเป็น 36.98, 21.98 และ 10.36% ในใบอ่อน และ 14.44, 3.00 และ 8.65% ในใบแก่ ตามลำดับ (ภาพที่ 9) ในการทดลองนี้ใช้ปุ๋ยสูตร Modified Hongland (ตาราง 2) ซึ่งเป็นปุ๋ยสูตรที่มีส่วนผสมของไนโตรเจนสูง ทั้งนี้ระดับและรูปแบบของไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต โดยมักจะนิยมใช้ปริมาณของคลอโรฟิลล์ในการประเมินการดูดซึมไนโตรเจน งานวิจัยหลายชิ้นก่อนหน้านี้ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจน กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (Shadchina and Dmitrieva, 1995, Stramkale et al., 2008, Castelli et al., 1996). ปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นหนึ่งในดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ซึ่งการลดลงของคลอโรฟิลล์ ยังเป็นดัชนีชี้วัดการเสื่อมสภาพของใบพืชด้วย (Janušauskaite et al., 2016, Stramkale et.al, 2008)

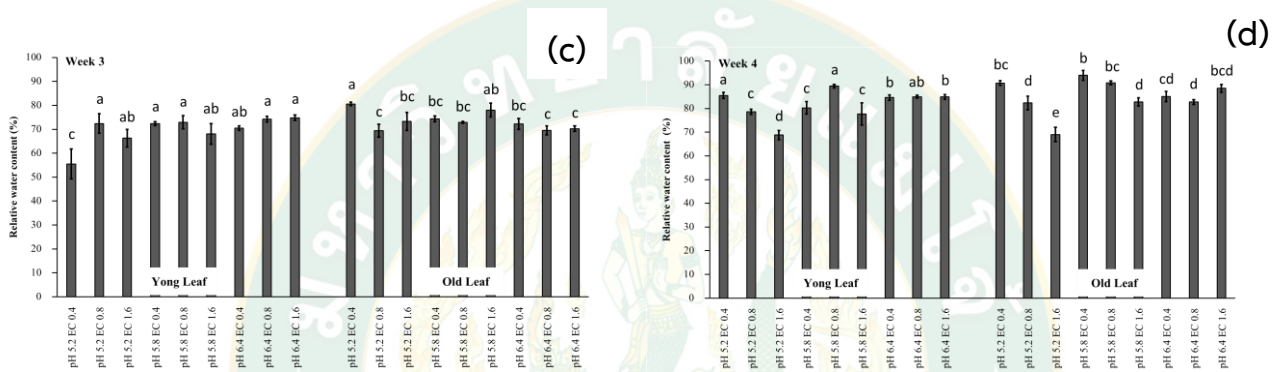
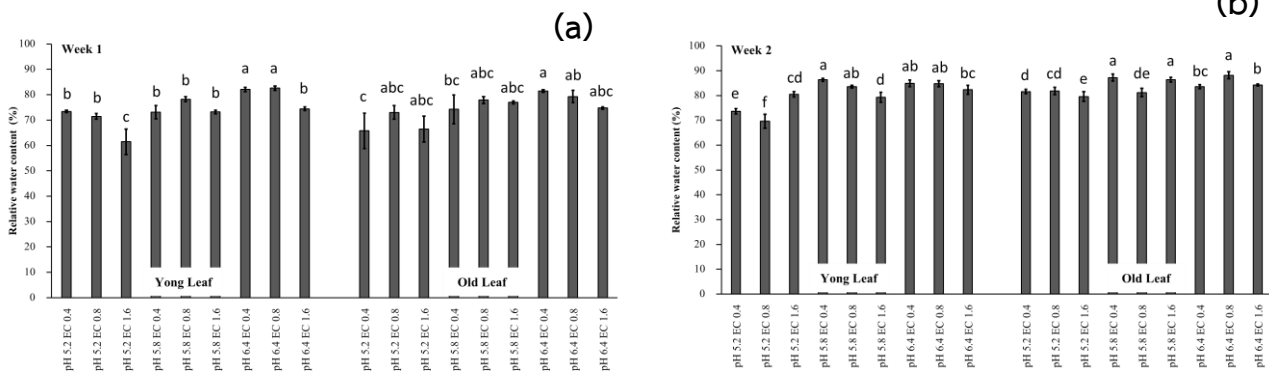


ภาพที่ 9 การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในภาพรวมการทดลองตลอด 4 สัปดาห์ โดยชุดข้อมูล ทางด้านซ้ายคือการทดสอบในใบอ่อน และด้านขวาคือการทดสอบในใบแก่ (a) คลอโรฟิลล์ช่วง สัปดาห์ที่ 1 (b) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 3 (d) คลอโรฟิลล์ ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชมะเขือม่วงพันธุ์ Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ($n = 4$) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน บ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติวิเคราะห์โดยวิธี Duncan ($P < 0.05$)

การปลูกพืชโดยใช้ปุ๋ยความเข้มข้นสูงอาจส่งผลให้เกิดการตกค้างของปุ๋ยในวัสดุปลูก ซึ่งอาจส่งผลให้พืชตกอยู่ในสภาวะเครียดเกลือ เมื่อใช้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบอ่อนในช่วงสัปดาห์ที่ 4 เป็นตัวเปรียบเทียบจะเห็นว่าพืชมียุ่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบน้อยลง ทั้งนี้อาจมาจากการที่รากสามารถดูดน้ำได้น้อยลง เนื่องจากเกลือในสารละลายปุ๋ยทำให้ค่า Osmotic potential ลดลง ทำให้รากพืชดูดซึมน้ำได้ยากขึ้นจึงส่งผลให้น้ำในเซลล์ลดลง (Taiz and Zeiger 2006) โดยจากการทดลอง เมื่อใช้ pH 5.8 EC 0.8 เป็นตัวเปรียบเทียบพบว่า EC 1.6 mS และ pH ที่ระดับ 5.2 5.8 และ 6.4 มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ 20.6 11.71 และ 4.55% ตามลำดับ (ภาพที่ 10) และ ปริมาณการรั่วไหลของไอออนเพิ่มขึ้น 11.11 4.79 และ 1.17% ซึ่งในกรณีที่วัสดุปลูกมีความเค็มอาจส่งผลให้เกิดสภาวะเครียดต่อองค์ประกอบต่างๆของเซลล์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์ และมีการรั่วไหลของไอออน (Luo et.al., 2005)(ภาพที่11)



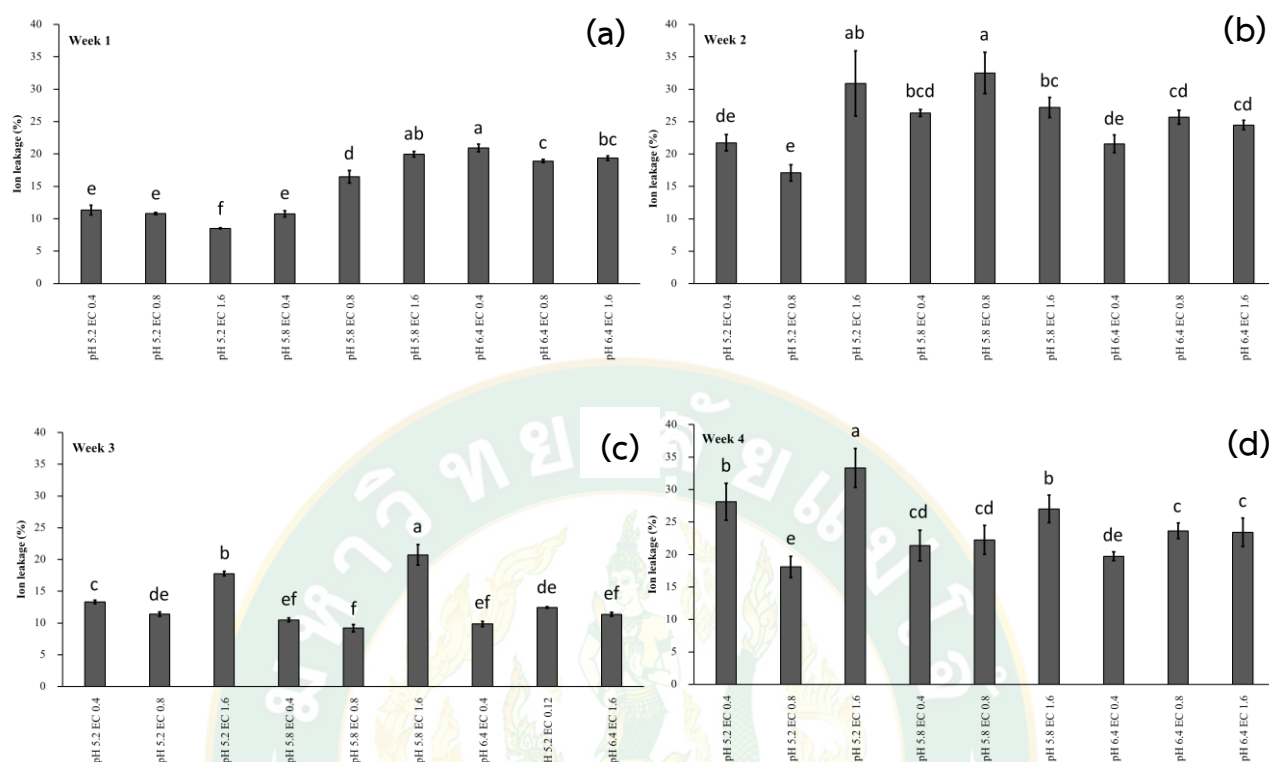
(b)



ภาพที่ 10 การประเมินปริมาณปริมาณน้ำสัมพันธ์ในภาพรวมการทดลองตลอด 4 สัปดาห์ โดยชุดข้อมูลทางด้านซ้ายคือการทดสอบในใบอ่อน และด้านขวาคือการทดสอบในใบแก่ (a) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 1 (b) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 3 (d) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชเนยพันธุ์ Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 4)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)

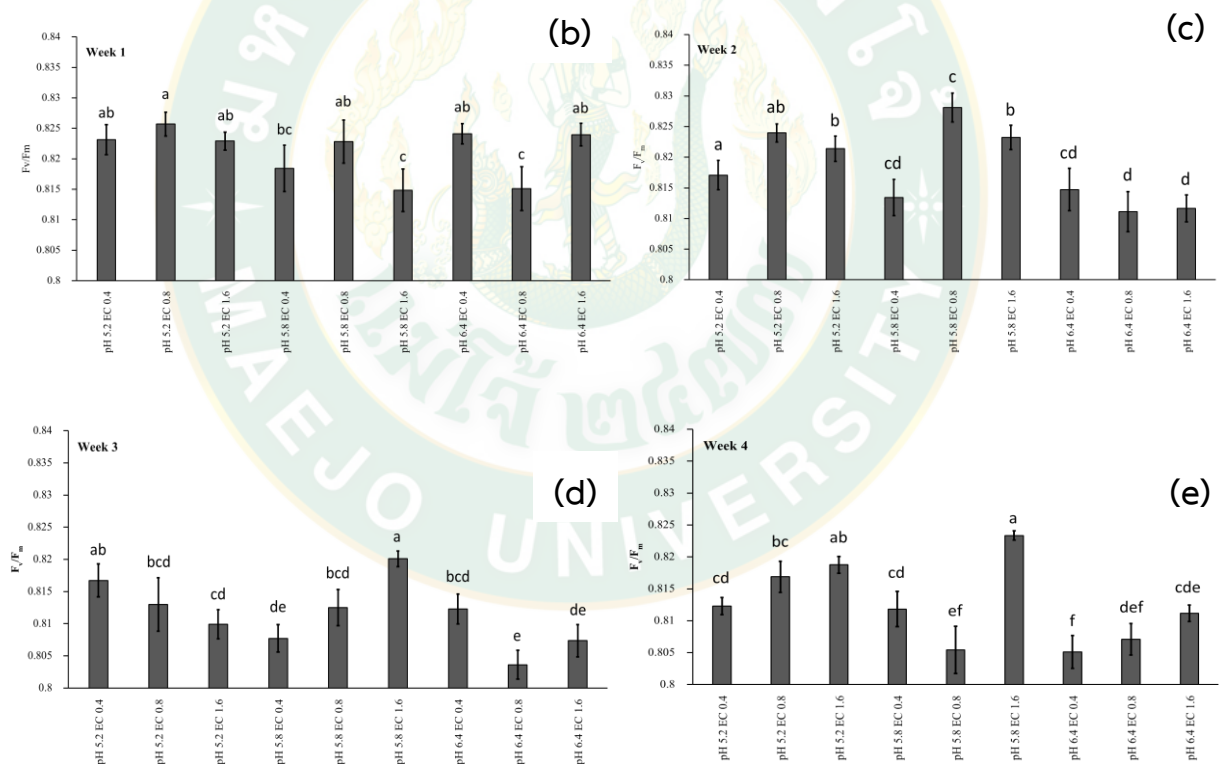


ภาพที่ 11 การประเมินปริมาณอัตราการรั่วไหลของไอออนในภาพรวมการทดลองตลอด 4 สัปดาห์ (b) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 1 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (d) คลอโรฟิลล์ช่วง สัปดาห์ที่ 3 (e) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชมะเขือเทศ Purple แถบแสดงค่าความ คาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 4) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P <0.05)

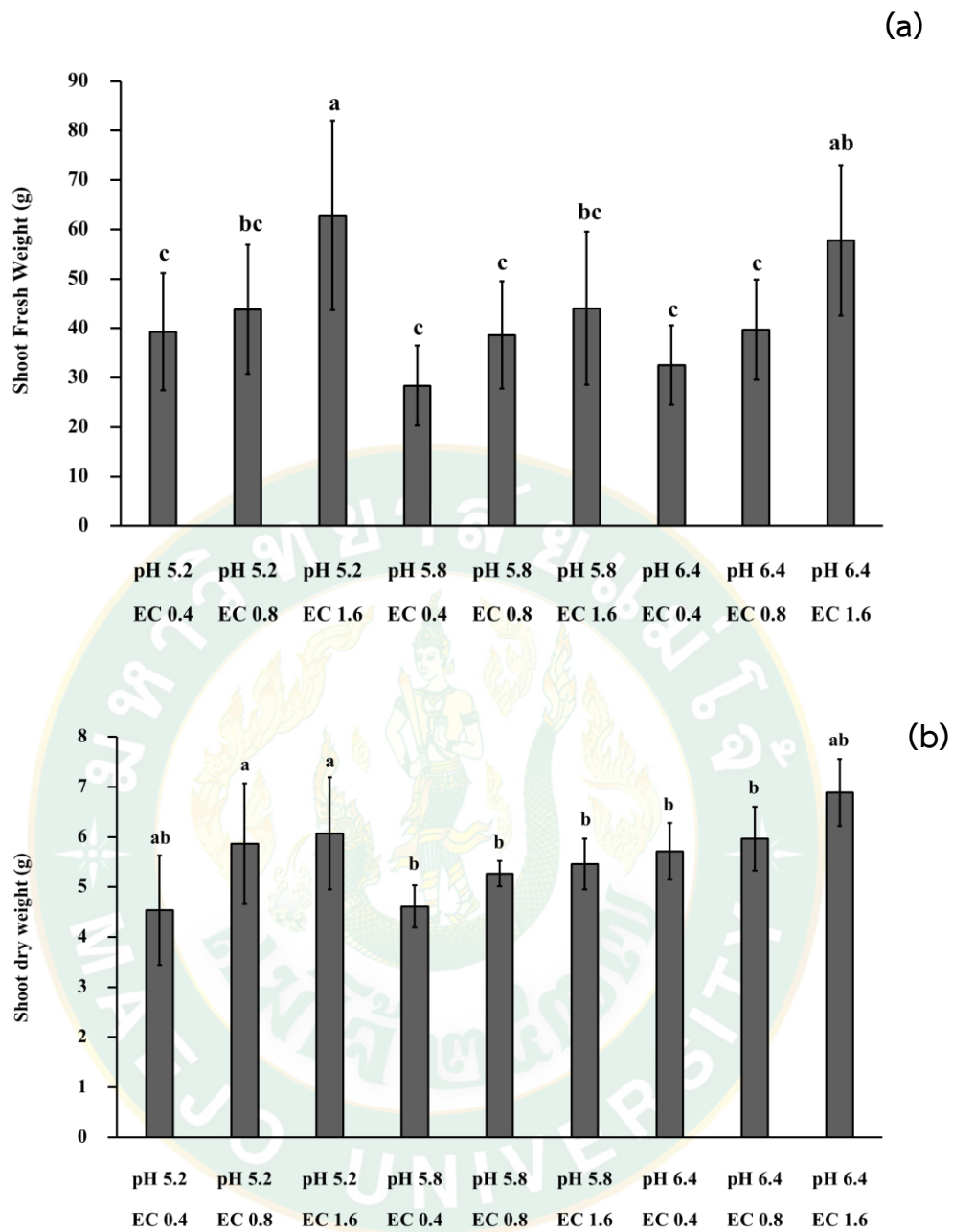
ในขณะที่ค่า F_v/F_m มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.42 2.22 และ 0.71% ตามลำดับ ทั้งนี้ ค่ามาตรฐานของ F_v/F_m ในพืชที่มีความแข็งแรงอยู่ที่ประมาณ 0.832 ± 0.004 จากการทดสอบในพืชกว่า 40 ชนิดของ Björkman and Demmig (1987) (ภาพที่ 12) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Two – Way ANOVA) (ตาราง 9) พบว่า ค่า pH มีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่า EC และ pH ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันในการทำให้เกิดความแปรปรวนของจำนวนดอก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของต้น และน้ำหนักแห้งราก ในต้นพืชมะเขือเทศ

ตารางที่ 9 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ Two way ANOVA หรือวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย

Dependent variables	Independent variables		
	pH	EC	pH × EC
Number flowers	0.39	0.65	0.28
Shoot Fresh weight	0.15	0.82	0.57
Shoot dried weight	<0.01	0.92	0.19
Root dried weight	0.66	0.37	0.18



ภาพที่ 12 การประเมินประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่ 2 ภาพรวมการทดลอง 4 สัปดาห์ (b) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 1 (c) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 (d) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 3 (e) คลอโรฟิลล์ช่วงสัปดาห์ที่ 4 ของพืชมะเขือม่วง Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ($n = 4$) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติวิเคราะห์โดยวิธี Duncan ($P < 0.05$)



ภาพที่ 13 การประเมินน้ำหนักสด (a) และน้ำหนักแห้ง (b) ของพืชมะเขือม่วง Purple แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ($n = 3$) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan ($P < 0.05$)

การทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชเนี่ยสายพันธุ์ Purple และ Coral ภายใต้คุณภาพแสงที่แตกต่างกัน

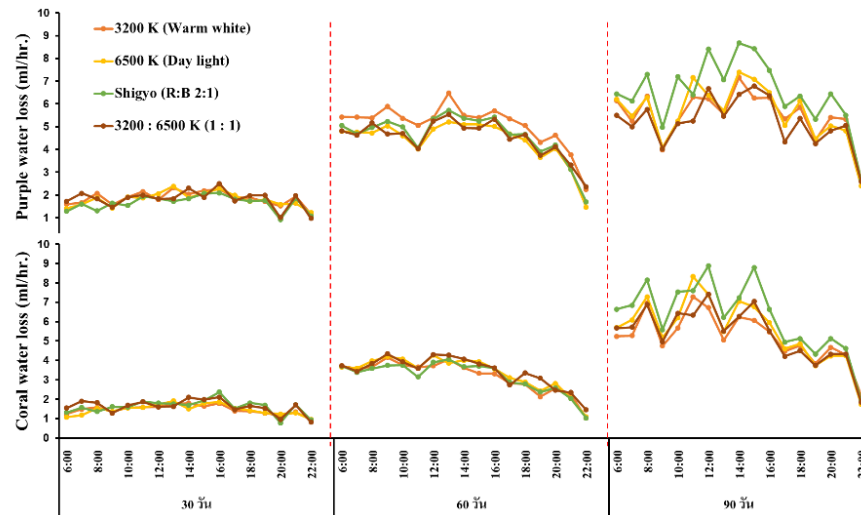
ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำของพืชโดยการชั่งน้ำหนักที่หายไปจากกระถางที่มีการปลูกพืชในสภาพแวดล้อมแบบควบคุม การเกษตรถือเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่มีการใช้น้ำมากที่สุดของมนุษย์ การตรวจสอบปริมาณ และประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช เป็นวิธีหนึ่งในการได้มาซึ่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนจัดการน้ำได้อย่างคุ้มค่า และเหมาะสมต่อพืช

จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีการคิดค้นวิธีการตรวจสอบการใช้น้ำของพืชขึ้นหลายวิธี เช่น คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_0) โดยใช้ค่าต่างๆจากสภาพแวดล้อม เช่น ค่าความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และความเข้มแสง หรือวัดความชื้นในอากาศที่เพิ่มขึ้นที่พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เป็นช่วงเวลา รวมทั้งวิธีการที่ได้รับความนิยม และการยอมรับอย่างมาก คือ Weighing lysimeter โดยเป็นการตรวจสอบการสูญเสียน้ำของพืชโดยการชั่งน้ำหนัก ซึ่งวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมานั้นเป็นการตรวจสอบการสูญเสียน้ำของพืชร่วมกับดิน หรือวัสดุปลูกทั้งสิ้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำในภาคการเกษตรส่วนใหญ่เป็นการสูญเสียจากการระเหยออกทางผิวดิน อีกวิธีหนึ่งที่สามารถวัดการใช้น้ำของพืชได้คือการวัดค่าการคายระเหยน้ำของพืช โดยวัดเป็นหน่วย $mmol/m^2/s$ ซึ่งจะทำการวัดที่ใบพืช ซึ่งวิธีการเหล่านี้ไม่อาจบ่งบอกได้ถึงการสูญเสียน้ำของพืชที่เกิดจากการคายน้ำของต้นพืชทั้งต้นอย่างแท้จริง ในการทดลองนี้จึงจะได้ทำการวัดการสูญเสียน้ำของต้นพืชด้วยการชั่งน้ำหนัก โดยมีการห่อหุ้มกระถาง และผิวหน้าของวัสดุปลูกทั้งหมดเพื่อให้ค่าการสูญเสียน้ำที่วัดได้เป็นปริมาณน้ำที่พืชทั้งต้นสูญเสียไปอย่างแท้จริง

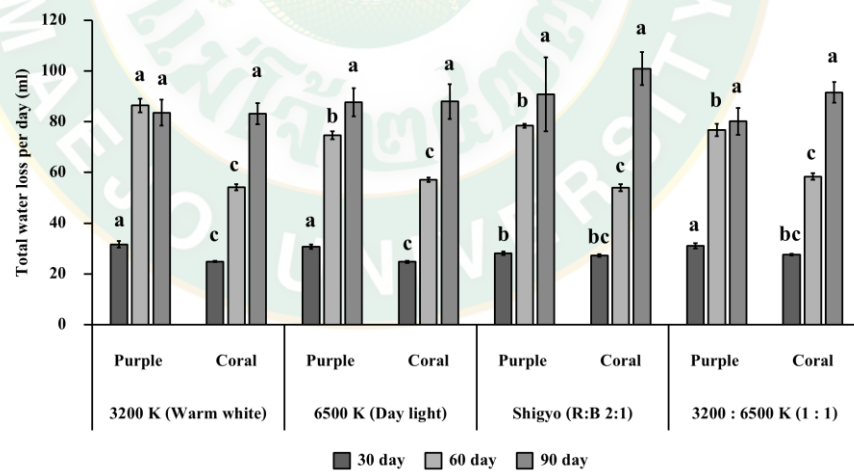
จากการทดลองพบว่าต้นพืชเนี่ยมีช่วงเวลาที่มีการคายน้ำมาก และมีอัตราการใช้น้ำที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุ เริ่มจากเมื่อต้นมีอายุ 60 วัน จะมีช่วงเวลาที่สูญเสียน้ำมากในช่วง 13.00 น. หรือหลังต้นพืชเนี่ยได้รับแสง 8 ชั่วโมง ในขณะที่เมื่อต้นพืชเนี่ยอายุ 90 วัน ช่วงเวลาที่มีการสูญเสียน้ำมาก อยู่ในช่วงเวลา 14.00 น. หรือหลังต้นพืชเนี่ยได้รับแสง 9 ชั่วโมง ในสายพันธุ์ Coral จะเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนในช่วงอายุ 90 วัน โดยจะมีช่วงเวลากการใช้น้ำมากในช่วง 15.00 น. หรือหลังต้นพืชเนี่ยได้รับแสง 10 ชั่วโมง (ภาพที่ 14) ซึ่งจะเห็นความต่างที่เกิดขึ้นในพืชเนี่ย 2 สายพันธุ์ได้อย่างชัดเจน ในขณะที่เห็นความแตกต่างระหว่างต้นที่ปลูกในคุณภาพแสงแตกต่างกันได้น้อย แนวโน้มของกราฟการสูญเสียน้ำที่ได้มีลักษณะคล้ายกันกับการทดสอบในแปลงอุณหภูมิโดยพบว่าการคายน้ำมากในช่วงเที่ยงวัน และหลังจากนั้นการคายน้ำมีแนวโน้มลดลง ซึ่งพฤติกรรมการใช้น้ำเหล่านี้ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงเวลา (Johnson et al. 2005)

โดยสรุปการสูญเสียน้ำในแต่ละวันของพืช (ภาพที่ 15) พบว่าต้นพิทูเนียทั้ง 2 สายพันธุ์ที่อายุ 30 มีอัตราการสูญเสียน้ำโดยรวมใกล้เคียงกัน เมื่อต้นมีอายุมากขึ้นพบว่าต้นพิทูเนียทั้งสองสายพันธุ์มีการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้นในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยการสูญเสียน้ำของต้นพิทูเนียที่อายุ 60 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากต้นพิทูเนียที่อายุ 30 วัน ในชนิดไฟ 3200 K ไฟ 6500 K ไฟ Shigyo และไฟ 3200 : 6500 K ในพิทูเนียพันธุ์ Purple โดยคิดเป็น 172.90, 179.18, 118.04 และ 97.76% ตามลำดับ ส่วนในพันธุ์ Coral คิดเป็น 142.75, 147.16, 130.68 และ 111.62% ตามลำดับ ในขณะที่การสูญเสียน้ำของต้นพิทูเนียที่อายุ 90 วัน พบว่ามีอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากต้นพิทูเนียที่อายุ 60 ในชนิดไฟ 3200 K ไฟ 6500 K ไฟ Shigyo และไฟ 3200 : 6500 K ในพิทูเนียพันธุ์ Purple โดยคิดเป็น -3.30 , 17.50, 15.91 และ 4.59 ตามลำดับ ส่วนในพันธุ์ Coral คิดเป็น 53.40, 54.01, 87.16 และ 56.85% ตามลำดับ



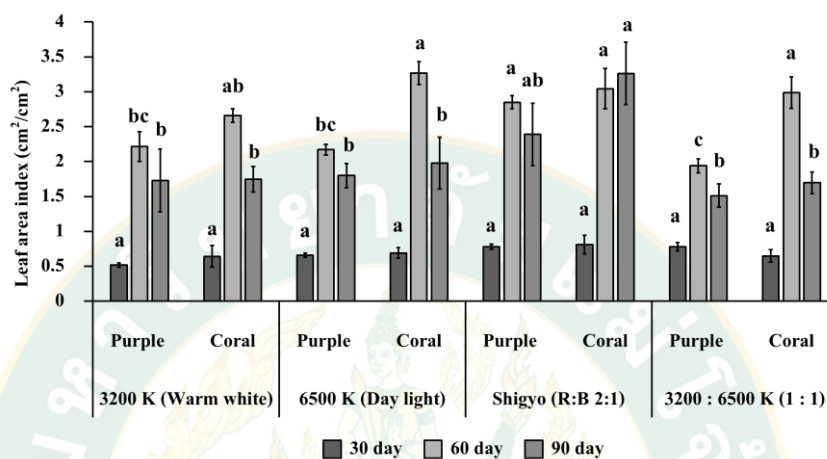


ภาพที่ 14 กราฟแสดงการสูญเสียน้ำของต้นฟิวเนีย สายพันธุ์ Purple และ Coral ในแต่ละชั่วโมง ช่วงเวลา 6.00 – 22.00 น.



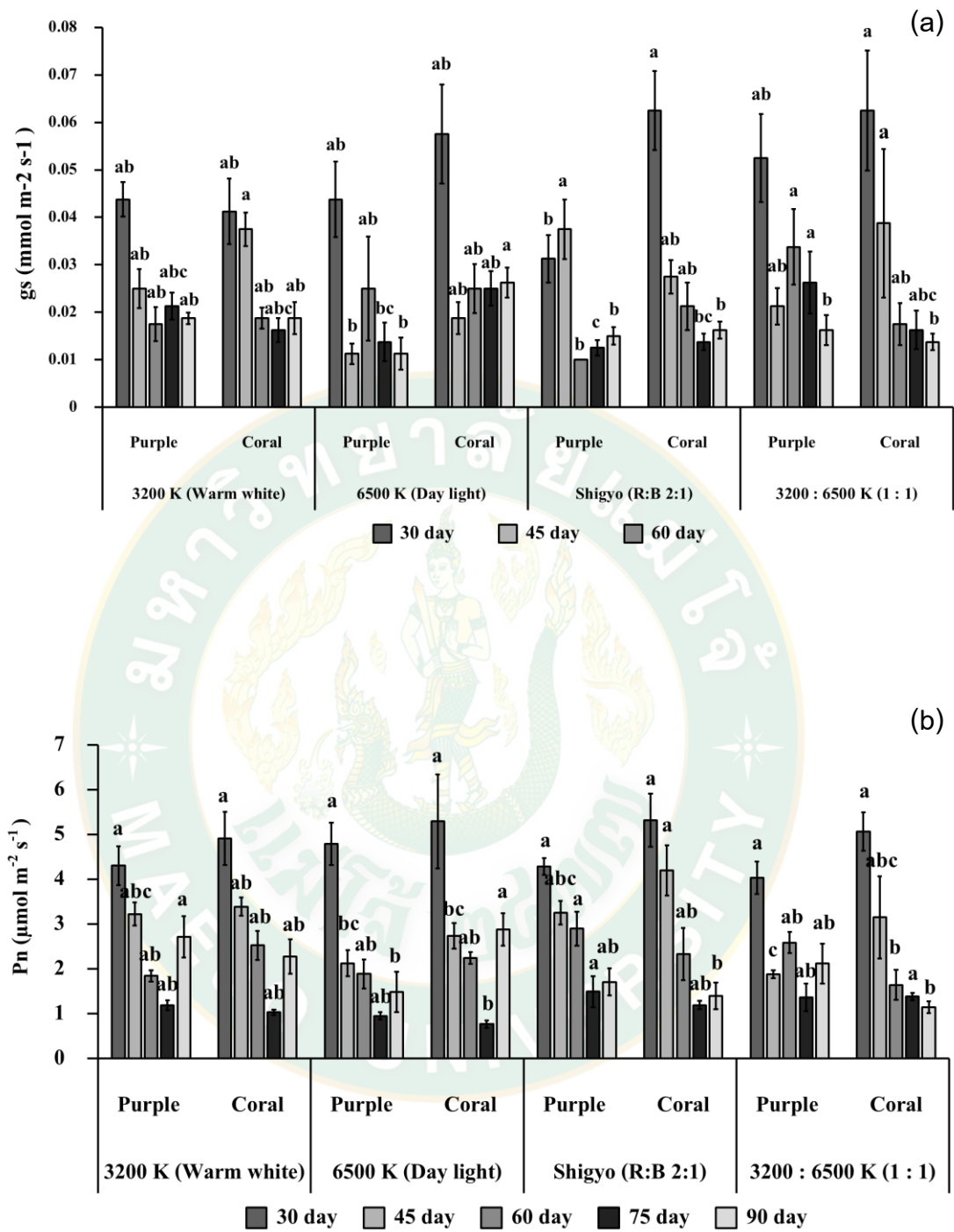
ภาพที่ 15 ปริมาณการสูญเสียน้ำของต้นฟิวเนีย สายพันธุ์ Purple และ Coral ในแต่ละวัน ในแต่ละช่วงอายุ โดยคำนวณจากผลรวมของการสูญเสียน้ำในแต่ละชั่วโมงแถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 12) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P < 0.05)

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบและพื้นที่ทรงพุ่ม (Leaf Area Index หรือ LAI) พบว่าค่า LAI ของต้นพืชมุขนิยสายพันธุ์ purple อายุ 90 วัน มีพื้นที่ใบน้อยกว่าต้นพืชมุขนิยอายุ 60 วัน ที่ปลูกในไฟชนิดเดียวกัน ชนิดไฟ 3200 K ไฟ 6500 K ไฟ Shigyo และไฟ 3200 : 6500 โดยคิดเป็น 21.99, 17.02, 16.16 และ 22.03% ตามลำดับ (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบและพื้นที่ทรงพุ่ม (Leaf Area Index หรือ LAI) ในแต่ละช่วงอายุของต้นพืชมุขนิยที่ปลูกภายใต้แสงที่มีคุณภาพแตกต่างกัน แถบแสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ($n = 3$) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan ($P < 0.05$)

ปากใบ (Stomata) เป็นอวัยวะที่ควบคุมการคายน้ำของพืช และมีการทำงานตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม ปากใบในพืชแต่ละชนิดและสายพันธุ์อาจมีความแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของ จำนวน ขนาด และพฤติกรรม的开ปิดของปากใบ (ฉัตรจิตตา และคณะ 2562). จากการวัดอัตราการนำไหลของปากใบพบว่า มีอัตราการนำไหลปากใบ และอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงในต้นพืชมุขนิยอายุ 90 วัน อาจเนื่องมาจาก พืชอาจมีการตอบสนองต่อสภาวะความเครียดจากขาดออกซิเจนในวัสดุปลูก เนื่องจากการห่อหุ้มกระถางอาจทำให้ออกซิเจนในดินลดลง และเกิดอาการรากเน่าตามมา (Mark et al., 2009) โดยการห่อหุ้มปากใบลงเพื่อลดการคายน้ำ เนื่องจากประสิทธิภาพการดูดน้ำไม่เพียงพอต่อน้ำที่สูญเสียไปจากกระบวนการคายน้ำ นอกจากนี้การห่อหุ้มปากใบยังทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (ภาพที่ 17a และ b)



ภาพที่ 17 (a) อัตราการนำไหลของปากใบ และ (b) อัตราการสังเคราะห์แสงของต้นพืทูเนี่ย แถบ แสดงค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (n = 8) ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วิเคราะห์โดยวิธี Duncan (P < 0.05)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าต้นพิทูเนียสายพันธุ์ Red และ Purple ที่ได้รับน้ำน้อยจะมีการเจริญเติบโตในส่วนรากเพิ่มมากขึ้น ในการทดลองแปรผันปริมาณและความถี่ในการให้น้ำกับต้นพิทูเนียสายพันธุ์ Coral พบว่า ต้นพิทูเนียที่ได้รับน้ำ 100 มิลลิลิตร 2 ครั้งต่อวัน มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด ซึ่งจำนวนครั้งที่ให้ผลต่อจำนวนดอก และน้ำหนักสดของต้นพิทูเนีย ส่วนความถี่ที่ให้ผลต่อน้ำหนักแห้งของรากพิทูเนีย นอกจากนี้จำนวนครั้งและความถี่ในการให้สารละลายปุ๋ยมีปฏิสัมพันธ์ต่อการก่อให้เกิดความแปรปรวนของจำนวนดอกพิทูเนียอีกด้วย นอกจากนี้พบว่าระดับ pH 5.2 ของสารละลายปุ๋ย มีผลให้น้ำหนักแห้งของต้นสูงกว่าระดับ pH อื่นๆ ในการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำของพิทูเนียในระบบกึ่งปิด พบว่า ต้นพิทูเนียมีปริมาณการใช้น้ำสูงขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เริ่มได้รับแสงจนมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 15.00 น และจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง การสูญเสียน้ำรวมในช่วงอายุ 60 วัน ถึง 90 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สวนทางกับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบและพื้นที่ทรงพุ่มที่มีแนวโน้มลดลง

บรรณานุกรม

- จักรกฤษ แยมสุดใจ, ธีัญญา เตชะศีลพิทักษ์, พัฒนา สุขประเสริฐ, สุวิสา พัฒนเกียรติ, และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ. (2561). การ คัดเลือก และปรับปรุงพันธุ์พืชเนียดอกใหญ่โดยวิธีการผสมข้าม และทดสอบลูกผสมโดยการปักชำ. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(3), 249-260.
- ณัฐสิทธิ์ จำรัสฉาย. ผลของอุณหภูมิสีของหลอดแอลอีดีขาว และการออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเชิง แสงแบบอากาศยกต่อการเติบโตและการผลิตแคโรทีนอยด์ในจุลสาหร่าย *Chlorococcum humicola* (Doctoral dissertation, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- นันทิยา สมานนท์. (2535). คู่มือการปลูกไม้ดอก. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ภาณุพงศ์ บรรเทาทุกข์. (2557). รูปแบบ การใช้ ที่ดิน เพื่อ การเกษตร และ ระบบ การ ผลิต ปาล์ม น้ำมัน: กรณี ศึกษา ตำบล คลอง พลุ อำเภอกอนนongใหญ่ จังหวัด ชลบุรี.
- ระวี เจียร วิชา. (2558). การ ประเมิน การ เก็บ กัก คาร์บอน และ ราย ได้ จาก การ ชดเชย คาร์บอน ใน สวน ยางพารา. *Burapha Science Journal (วารสาร วิทยาศาสตร์ บุรพา)*, 17(2), 91-102.
- วันเพ็ญ ภูติจันทร์. (2547). พฤกษศาสตร์. กรุงเทพฯ: โอ เอส.พรี้นติ้ง เฮ้าส์.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2548)ก. ชีววิทยาพืช. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- สมเพียร เกษมทรัพย์. (2525). การปลูกไม้ดอก. ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟีนนี่พับบลิชชิง, กรุงเทพฯ.
- สมเพียร เกษมทรัพย์. (2526). ไม้ดอกกระถาง. กรุงเทพฯ: อักษรพิทยา.
- สมเพียร เกษมทรัพย์. (2526). ไม้ดอกกระถาง. อักษรพิทยา, กรุงเทพฯ.
- หทัยชนก หมั่นกล้า. (2556). พลังหลอดไฟ LED (Light emitting diode). *Science and technology nakhon sawan rajabhat university journal*, 5(5), 36-40.

- Alem, P., Thomas, P. A., and van Iersel, M. W. (2015). Substrate water content and fertilizer rate affect growth and flowering of potted petunia. *HortScience*, 50(4), 582-589.
- Arnon, D. I., and Stout, P. R. (1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant physiology*, 14(2), 371.
- Arunothai Jampeetonga, Dennis Konnerup, Narumol Piwpuang, Hans Brix. (2013). Interactive effects of nitrogen form and pH on growth, morphology, N uptake and mineral contents of *Coix lacryma-jobi* L. *Aquatic Botany* 111, 144–149
- Ashraf, M. A. (2012). Waterlogging stress in plants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 7(13), 1976-1981.
- Bhatt, S., Weiss, D. J., Cameron, E., Bisanzio, D., Mappin, B., Dalrymple, U., and Wenger, E. A. (2015). The effect of malaria control on *Plasmodium falciparum* in Africa between 2000 and 2015. *Nature*, 526(7572), 207-211.
- Bombarely, A., Moser, M., Amrad, A., Bao, M., Bapaume, L., Barry, C. S., ... and Bucher, M. (2016). Insight into the evolution of the Solanaceae from the parental genomes of *Petunia hybrida*. *Nature plants*, 2(6), 16074.
- Bunce, C. M., Cruden, D. M., and Morgenstern, N. R. (1997). Assessment of the hazard from rock fall on a highway. *Canadian Geotechnical Journal*, 34(3), 344-356.
- Cui, H. F., Ye, J. S., Liu, X., Zhang, W. D., and Sheu, F. S. (2006). Pt–Pb alloy nanoparticle/carbon nanotube nanocomposite: a strong electrocatalyst for glucose oxidation. *Nanotechnology*, 17(9), 2334.
- Cui, Y., Braudrick, C., Dietrich, W. E., Cluer, B., and Parker, G. (2006). Dam removal express assessment models (dream) part 2: Sample runs/sensitivity tests. *Journal of Hydraulic Research*, 44(3), 308-323.
- Daqiu Zhao, Zhaojun Hao, Jing Wang, Jun Tao. (2013). Effects of pH in irrigation water on plant growth and flower quality in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) *Scientia Horticulturae* 154, 45–53

- Dariusz Kurzatkowski, Christoph Leuschner, Jürgen Homeier.(2015).Effects of flooding on trees in the semi-deciduous transition forests of the Araguaia floodplain, Brazil *Acta Oecologica* 69,21e30
- DenBaars, S. P., Feezell, D., Kelchner, K., Pimputkar, S., Pan, C. C., Yen, C. C., ... and Iza, M. (2013). Development of gallium-nitride-based light-emitting diodes (LEDs) and laser diodes for energy-efficient lighting and displays. *Acta Materialia*, 61(3), 945-951
- Dong, Q., Fang, Y., Shao, Y., Mulligan, P., Qiu, J., Cao, L., and Huang, J. (2015). Electron-hole diffusion lengths > 175 μm in solution-grown $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ single crystals. *Science*, 347(6225), 967-970.
- Dragovic, S., Spalevic, V., Radojevic, V., Cicmil, M., and Uscumlic, M. (2009). Importance of chemical and microbiological water quality for irrigation in organic food production. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 55(1-4), 83.
- Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y. A. S. E. M. İ. N., and Çiçek, N. U. R. A. N. (2009). Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, 75(1), 34-42.
- Else, M. A., Janowiak, F., Atkinson, C. J., and Jackson, M. B. (2008). Root signals and stomatal closure in relation to photosynthesis, chlorophyll a fluorescence and adventitious rooting of flooded tomato plants. *Annals of botany*, 103(2), 313-323.
- Epstein, E., and Bloom, A. J. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates. Petunia. pp. 361-366. In VI International Symposium on Light in Publishing House (P) Ltd., Coimbatore, India, 2 March, pp. E3-E10.
- Fukada, S. I., Miyagoe-Suzuki, Y., Tsukihara, H., Yuasa, K., Higuchi, S., Ono, S., ... and Yamamoto, H. (2002). Muscle regeneration by reconstitution with bone marrow or fetal liver cells from green fluorescent protein-gene transgenic mice. *Journal of cell science*, 115(6), 1285-1293.

- Fukuda, N., Ajima, C., Yukawa, T., and Olsen, J. E. 2016. Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 102-111.
- Fukuda, N., Ishii, Y., Ezura, H., and Olsen, J. E. (2009, November). Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia. In VI International Symposium on Light in Horticulture 907 (pp. 361-366).
- Gunn, C. R. 1974. Seed characteristics of 42 economically important species of Solanaceae in the United States (No. 1471). Maryland: US Department of Agriculture
- Gupta, S. D., and Jatothu, B. (2013). Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, 7(3), 211-220..
- 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.
- Hongjuan Zhang, Quanzhen Wang, Yuan Liu, Jian Cui, Xiaomin Ma, Muyu Gu, Maolin Xia.(2015).Coupling effects of water availability and pH on switchgrass and the optimization of these variables for switchgrass productivitydetermined by response surface methodology. *Biomass and Bioenergy* 83, 393e402
- J. Miralles-Crespo and M W.van Iersel. (2015). A Calibrated Time Domain Transmissometry Soil Moisture Sensor Can Be Used for Precise Automated Irrigation of Container-grown Plants. *Hortscience* 46(6):889–894. 2011
- Jackson, M. B., Hall, K. C., and Kowalewska, A. K. B. (1983). Responses of pea plants to soil waterlogging. *Journal of the Science of Food and Agriculture (UK)*.
- Jampeetong, A., Konnerup, D., Piwpuan, N., and Brix, H. (2013). Interactive effects of nitrogen form and pH on growth, morphology, N uptake and mineral contents of *Coix lacryma-jobi* L. *Aquatic botany*, 111, 144-149.

- Jing, Y. X., Li, G. L., Gu, B. H., Yang, D. J., Xiao, L., Liu, R. X., and Peng, C. L. (2009). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Melaleuca alternifolia* seedlings to flooding and subsequent recovery. *Photosynthetica*, 47(4), 595-601.
- Johnson, G. N., Young, A. J., Scholes, J. D., and Horton, P. (1993). The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant, Cell and Environment*, 16(6), 673-679.
- Kang, J. G., and Van Iersel, M. W. (2009). Managing fertilization of bedding plants: A comparison of constant fertilizer concentrations versus constant leachate electrical conductivity. *HortScience*, 44(1), 151-156.
- Karlidag, H., Yildirim, E., and Turan, M. (2011). Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Scientia horticulturae*, 130(1), 133-140.
- Khamphirapaeng, P., Cheewangkoon, R., McGovern, R. J., Wong, S., and To-Anun, C. (2017). Detection of Tobacco mosaic virus in Petunia and Tobacco By Light Microscopy Using a Simplified Inclusion Body Staining Technique. *International Journal of Agricultural Technology*, 13(2), 163-168.
- Kiarostami, K., Mohseni, R., and Saboora, A. (2010). Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 6(3).
- Kim, J., van Iersel, M. W., and Burnett, S. E. (2011). Estimating daily water use of two petunia cultivars based on plant and environmental factors. *HortScience*, 46(9), 1287-1293.
- Kozai, T. (2007). Propagation, grafting and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialization in Japan. *Propagation of Ornamental Plants*, 7(3), 145-149.
- Kozai, T. (2016). Why LED Lighting for Urban Agriculture?. In *LED lighting for urban agriculture* (pp. 3-18). Springer, Singapore.

- Kozai, T., Niu, G., and Takagaki, M. (Eds.). 2015. *Plant factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production*. London: Academic Press.
- Kozłowski, R. (1948). *Les graptolithes et quelques nouveaux groupes d'animaux du Tremadoc de la Pologne*. Państowe Wydawn.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., and Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. Springer Science and Business Media.
- Le Berre, J. F., Gauvin, R., and Demopoulos, G. P. (2007). Characterization of poorly-crystalline ferric arsenate precipitated from equimolar Fe (III)-As (V) solutions in the pH range 2 to 8. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 38(5), 751-762.
- Loranger, J., and Shipley, B. (2010). Interspecific covariation between stomatal density and other functional leaf traits in a local flora. *Botany*, 88(1), 30-38.
- Lotfi, H., and Khodaei, A. (2015). AC versus DC microgrid planning. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(1), 296-304.
- M.M. Mofokeng, J.M. Steyn, C.P. du Plooy, G. Prinsloo, H.T. Araya.(2015).Growth of *Pelargonium sidoides* DC. in response to water and nitrogen level. *South African Journal of Botany* 100,183–189
- Maxwell, K., and Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of experimental botany*, 51(345), 659-668.
- Mishra, P., and Koehler, M. J. (2008, March). Introducing technological pedagogical content knowledge. In *annual meeting of the American Educational Research Association* (pp. 1-16).
- Mishra, S. K., Patro, L., Mohapatra, P. K., and Biswal, B. (2008). Response of senescing rice leaves to flooding stress. *Photosynthetica*, 46(2), 315.
- Nobel, P. S. (1999). *Physicochemical and environmental plant physiology*: Academic press
- Norman Q. Arancon, Clive A. Edwards, Andrei Babenko, John Cannon,cPaola Galvis, James D. Metzger.(2008). Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *applied soil ecology* 9 1 – 9 9

- Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka, H., and Fujita, K. (2006). Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum*, 50(1), 138-141.
- Pawłowska, B., Żupnik, M., Szewczyk-Taranek, B., and Cioć, M. (2018). Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown in vitro. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59(1), 115-123.
- Plaut, M., Lichtenstein, L. M., Gillespie, E., and Henney, C. S. (1973). Studies on the mechanism of lymphocyte-mediated cytotoxicity: IV. Specificity of the histamine receptor on effector T cells. *The Journal of Immunology*, 111(2), 389-394.
- Plotz, P. H., Dalakas, M., Leff, R. L., Love, L. A., Miller, F. W., and Cronin, M. E. (1989). Current concepts in the idiopathic inflammatory myopathies: polymyositis, dermatomyositis, and related disorders. *Annals of internal medicine*, 111(2), 143-157.
- Ramin Lotfi, Mohammad Pessarakli, Puriya Gharavi-Kouchebagh, Hossein Khoshvaghti.(2015)Physiological responses of Brassica napus to fulvic acid under water stress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. *The crop journal* 3, 4 3 4 – 4 3 9
- Ravindra Mohan Bhatt, Kaushal K. Upreti, M.H. Divya, Srilakshmi Bhat,C.B. Pavithra, A.T. Sadashiva (2015)Interspecific grafting to enhance physiological resilience to floodingstress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.).*Scientia Horticulturae* 182.8–17
- Rouphael Y. Cardarelli, M. Rea, E. Colla, G. 2008 The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature *Sci. Hort.* 118:328-337
- Sharp, R. E., and Davies, W. J. (1979). Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. *Planta*, 147(1), 43-49.
- Sharp, R. E., Poroyko, V., Hejlek, L. G., Spollen, W. G., Springer, G. K., Bohnert, H. J., and Nguyen, H. T. (2004). Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of experimental botany*, 55(407), 2343-2351.

- Sivanappan, R. K., Sivanappan, R. K., Padmakumari, O., and Kumar, V. (1987). *Drip irrigation*. Keerth Publishing House..
- Ueno, M., and Kawamitsu, Y. (2017). Design of a plant factory suitable for Okinawa. *Engineering and Applied Science Research*, 44(3), 182-188.
- Van Iersel, M. W., Dove, S., Kang, J. G., and Burnett, S. E. (2010). Growth and water use of petunia as affected by substrate water content and daily light integral. *HortScience*, 45(2), 277-282.
- Vandeleur, R. K., Mayo, G., Sheldon, M. C., Gilliam, M., Kaiser, B. N., and Tyerman, S. D. (2009). The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant physiology*, 149(1), 445-460.
- Vandeleur, R. K., Mayo, G., Sheldon, M. C., Gilliam, M., Kaiser, B. N., and Tyerman, S. D. (2009). The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant Physiology*, 149(1), 445-460.
- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., and Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(9), 2263-2278.
- Wenjun Zhanga, Xiaokun Li, Fang Chen, Jianwei Lu (2012). Accumulation and distribution characteristics for nitrogen, phosphorus and potassium in different cultivars of *Petunia hybrida* Vilm. *Scientia Horticulturae* 141.83–90
- Xiong, L., Wang, R. G., Mao, G., and Koczan, J. M. (2006). Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid. *Plant physiology*, 142(3), 1065-1074.
- Yan, B., Dai, Q., Liu, X., Huang, S., and Wang, Z. (1996). Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant and soil*, 179(2), 261-268.
- Yen, H. C., Oberley, T. D., Vichitbandha, S., Ho, Y. S., and St Clair, D. K. (1996). The protective role of manganese superoxide dismutase against adriamycin-

induced acute cardiac toxicity in transgenic mice. *The Journal of clinical investigation*, 98(5), 1253-1260.

Zhang, Y., and Wallace, B. (2015). A sensitivity analysis of (and practitioners' guide to) convolutional neural networks for sentence classification. *arXiv preprint arXiv:1510.03820*.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ปานชนก นิ่มทับทิม
เกิดเมื่อ	22 มิถุนายน 2536
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548-2553 มัธยมศึกษาตอนต้น-ปลาย โรงเรียนศึกษานารีวิทยา จังหวัดกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2554-2557 ปริญญาตรี สาขาพืชศาสตร์ (พืชผัก) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2558 ปริญญาโท สาขาวิชาพืชสวน คณะผลิตกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

