

ผลของการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท และแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลาย
ธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของ
พรรณไม้น้ำพรหมิ (*Bacopa monnieri*) ในระบบปลูกพืชไร้ดิน

EFFECTS OF AMMONIUM NITRATE AND MAGNESIUM SULFATE
ENRICHMENT IN KMITL 2 NUTRIENT SOLUTION ON GROWTH AND
PHYTOCHEMICALS OF BRAHMI (*Bacopa monnieri*)
IN HYDROPONICS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการจัดการทรัพยากรทางน้ำ
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2567

KMITL-2024-AG-M-081-437

EFFECTS OF AMMONIUM NITRATE AND MAGNESIUM SULFATE
ENRICHMENT IN KMITL 2 NUTRIENT SOLUTION ON GROWTH AND
PHYTOCHEMICALS OF BRAHMI (*Bacopa monnieri*)
IN HYDROPONICS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN
AQUACULTURAL TECHNOLOGY AND AQUATIC RESOURCE MANAGEMENT
SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2024

KMITL-2024-AG-M-081-437



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


ใบรับรองวิทยานิพนธ์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท และแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิ (*Bacopa monnieri*) ในระบบปลูกพืชไร้ดิน
EFFECTS OF AMMONIUM NITRATE AND MAGNESIUM SULFATE ENRICHMENT IN KMITL 2 NUTRIENT SOLUTION ON GROWTH AND PHYTOCHEMICALS OF BRAHMI (*Bacopa monnieri*) IN HYDROPONICS

ชื่อนักศึกษา นางสาววรารัตน์ น้าผึ้ง
รหัสประจำตัว 65046035
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการจัดการทรัพยากรทางน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.นงนุช เสาหะวิสุทธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.สมเกียรติ สีสนอง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.มณีนรีรัตน์	หวังวิบูลย์กิจ	
ผศ.ดร.อัฉริ	เรืองเดช	
ดร.สุวรีย์	กิตติเขี้ยว	
รศ.ดร.สมเกียรติ	สีสนอง	
รศ.ดร.นงนุช	เสาหะวิสุทธิ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 13 พฤศจิกายน 2567
สถานที่สอบ A 208 ชั้น 2 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร


(ผศ.ดร.ธงชัย พุ่มทองศิริ)
คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
วันที่ 21 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท และแมกนีเซียมซัลเฟต
ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการเจริญเติบโต และ
สารพิษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิ (*Bacopa monnieri*)
ในระบบปลูกพืชไร้ดิน

นักศึกษา

นางสาววรารัตน์ น้าผึ้ง

รหัสประจำตัว

65046035

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการจัดการทรัพยากรทางน้ำ

พ.ศ.

2567

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.นงนุช เลาหะวิสุทธิ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.สมเกียรติ สีสนอง

บทคัดย่อ

พรรณไม้น้ำพรมมิ (*Bacopa monnieri*) เป็นพืชสมุนไพรที่มีบทบาทในด้านสุขภาพของมนุษย์ โดยมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาในการรักษาโรค บำรุงสมอง ความทรงจำ และต้านอนุมูลอิสระ ในปัจจุบันสารพิษเคมีจากธรรมชาติได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นสารที่ไม่สังเคราะห์ การเพาะเลี้ยงในรูปแบบการปลูกพืชในระบบไร้ดินเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการควบคุมคุณภาพ และลดความปนเปื้อนจากดิน การปลูกพืชแบบไร้ดินนี้ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยให้พืชดูดซึมธาตุอาหารได้อย่างเต็มที่ส่งผลให้เจริญเติบโตได้เร็ว และสามารถผลิตสารพิษเคมีได้ดีขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) และแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และปริมาณสารพิษเคมีทางการแพทย์ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ จากการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม) 0.5, 1 และ 2 mEq/L พบว่า ความยาวต้น จำนวนกิ่ง จำนวนข้อ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความเข้มข้น 1 และ 2 mEq/L มีการเจริญเติบโตมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้านปริมาณสารพิษเคมีการสกัดพรมมิด้วย 95 % เอทานอล ให้ปริมาณที่มากกว่าทั้งในปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณซาโปนินทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 mEq/L มีปริมาณมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อมาทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทที่เหมาะสมต่อปริมาณสารพิษเคมีในพรมมิร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 4 ระดับๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม) 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L พบว่าการใช้แอมโมเนียมไนเตรท (ความเข้มข้น 0.5 mEq/L) ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 2.5 mEq/L มีความเหมาะสมมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อ

ความยาวต้น จำนวนข้อ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับด้านปริมาณสารพิษเคมีการสกัด
พรมิด้วย 95 % เอทานอล ให้ปริมาณที่มากกว่าทั้งในปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์
ทั้งหมด ปริมาณซาโปนินทั้งหมด ซึ่งการจัดการธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างสมดุล
ระหว่างการเจริญเติบโต และการผลิตสารพิษเคมีของพืชให้เกิดประสิทธิภาพขั้นสูงสุด ดังนั้น
การเติมแอมโมเนียมไนเตรท ความเข้มข้น 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟต ความเข้มข้น 2.5 mEq/L
ลงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกระตุ้นการเจริญเติบโต และ
การสร้างสารพิษเคมีของพรรณไม้พรมิในระบบปลูกแบบไร้ดิน



Thesis	Effects of ammonium nitrate and magnesium sulfate enrichment in KMITL 2 nutrient solution on growth and phytochemicals of brahmi (<i>Bacopa monnieri</i>) in hydroponics
Student	Wararat Nampung
Student ID.	65046035
Degree	Master of Science
Program	Aquacultural Technology and Aquatic Resource Management
Year	2024
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Nongnuch Laohavisuti
Thesis Co-advisor	Assoc. Prof. Dr. Somkiat Seesanong

Abstract

Brahmi (*Bacopa monnieri*) is a medicinal herb that plays a crucial role in human health. Pharmacological properties such as treatment of disease, enhancing brain tonic, memory enhancer and antioxidant properties. Natural antioxidants have gained significant attention as non-synthetic and important for cultivation. Growing plants in a hydroponics system is an excellent option for controlling quality and reducing contamination from soil. This method allows plants to absorb nutrients efficiently, leading to faster growth and enhanced production of antioxidants. This can be achieved by adjusting the components of the nutrient solution. The purpose of this research was to investigate the effects of concentrations of ammonium nitrate (NH_4NO_3) and magnesium sulfate (MgSO_4) in KMITL 2 nutrient solution on growth and increase phytochemicals for beneficial medicine in hydroponics systems over 8 weeks. NH_4NO_3 was increased at four different concentrations, with three replications each: 0 (control group), 0.5, 1 and 2 mEq/L. The results showed that plant length, number of branches, number of nodes, fresh weight and dry weight had statistical significance ($p \leq 0.05$) at 1 and 2 mEq/L of NH_4NO_3 . As for phytochemicals, Brahmi extracted with 95 % ethanol, including total phenolic content, total saponin content and antioxidant activity (DPPH and ABTS assay), had statistical significance ($p \leq 0.05$) at a concentration of 0.5 mEq/L of NH_4NO_3 . Next, the optimal NH_4NO_3 concentration for phytochemicals in Brahmi was studied in combination with four different MgSO_4 concentrations, with three replications each: 1 (control group), 1.5, 2 and 2.5 mEq/L. The results showed

that a concentration of NH_4NO_3 (0.5 mEq/L) and MgSO_4 at a concentration of 2.5 mEq/L had statistical significance ($p \leq 0.05$) for plant length, number of nodes, fresh weight, dry weight, as well as Brahmi extracted with 95 % ethanol, including total phenolic content, total flavonoid content, total saponin content. Nutrient management is essential in balancing plant growth and production of phytochemicals for maximum efficiency. Therefore, the combination of NH_4NO_3 0.5 mEq/L with MgSO_4 2.5 mEq/L in KMITL 2 nutrient solution was found to be the most effective for stimulating the growth and phytochemicals of Brahmi in hydroponics systems.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.นงนุช เลหาหะวิสุทธิ์ และรศ.ดร.สมเกียรติ สีสนอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ทุนการวิจัย และโอกาสต่างๆ พร้อมทั้งให้แนวทางแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาด ตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ดร.มณีนีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อัฉริ เรืองเดช และดร.สุวรีย์ กิติเชียว กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ ที่ให้คำปรึกษาสำหรับการทดลอง ตั้งแต่การเตรียมสารเคมี ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ผู้เป็นแรงผลักดันในเบื้องหลังความสำเร็จนี้ พร้อมทั้งส่งเสริม และสนับสนุนการศึกษาจนสำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณกัญญารัตน์ พูลทะจิตร คุณปรีดา ไวยเจริญ คุณเบญญากร หล้าบรรเทา และคุณทรงธรรม เรืองเดช ที่ให้การช่วยเหลือด้านการทดลอง เป็นกำลังใจที่ตติจวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

นางสาววรารัตน์ น้ำผึ้ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พรรณไม้ น้ำพรมมิ.....	5
2.1.1 สรรพคุณของพรมมิทางการแพทย์.....	6
2.2 สารพฤษเคมีในพืชสมุนไพร.....	7
2.2.1 องค์ประกอบพฤษเคมีของพรมมิ.....	8
2.3 ระบบปลูกพืชแบบไร้ดิน.....	12
2.4 สารละลายธาตุอาหาร.....	14
2.4.1 ผลของสารประกอบไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	15
2.4.2 ผลของสารประกอบไนโตรเจนต่อสารพฤษเคมีของพืช.....	17
2.4.3 ผลของสารประกอบแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	19
2.4.4 ผลของสารประกอบแมกนีเซียมต่อสารพฤษเคมีของพืช.....	20
2.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และสารพฤษเคมีของพรมมิ.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 พรรณไม้.....	25
3.2 อุปกรณ์ และสารเคมี.....	25
3.2.1 การเลี้ยงพรรณไม้ น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	25
3.2.2 การวิเคราะห์สารพฤษเคมีของพรรณไม้ น้ำพรมมิ.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 แผนผังการทดลอง.....	27
3.4 วิธีดำเนินการ.....	28
3.4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทที่ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิ ในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	28
3.4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับ ระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	31
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
3.6 สถานที่ทำการวิจัย.....	33
3.6 ระยะเวลาในการทำวิจัย.....	33
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล.....	34
4.1 การศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำ พรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	34
4.1.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำพรมมิ....	34
4.1.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิ.....	38
4.2 การศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับระดับความเข้มข้น ของแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อ การเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน	48
4.2.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อ การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำพรมมิ.....	48
4.2.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อสารพฤกษเคมี ของพรรณไม้น้ำพรมมิ.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	69
ประวัติผู้เขียน.....	74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การวิเคราะห์โดยวิธี GC-MS จากสารสกัดเมทานอลของพรมมิ.....	10
2.2	ผลของการเพิ่มสารประกอบไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	17
2.3	ผลของการเพิ่มสารประกอบไนโตรเจนต่อสารพฤษเคมีของพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	18
2.4	ผลของการเพิ่มสารประกอบแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	20
2.5	ผลของการเพิ่มสารประกอบแมกนีเซียมต่อสารพฤษเคมีของพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	22
3.1	สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เพิ่มแอมโมเนียมไนเตรทในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ในการทดลอง).....	29
3.2	สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟตในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ในการทดลอง).....	32
4.1	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวต้น (เซนติเมตร) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	34
4.2	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนกิ่ง (กิ่ง/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	35
4.3	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนข้อ (ข้อ/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	36
4.4	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวราก (เซนติเมตร) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	36
4.5	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	37
4.6	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	40

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.7	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	41
4.8	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	43
4.9	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	44
4.10	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	46
4.11	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวต้น (เซนติเมตร) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	48
4.12	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนกิ่ง (กิ่ง/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	49
4.13	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนข้อ (ข้อ/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	50
4.14	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวราก (เซนติเมตร) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	50
4.15	ผลของแอมโมเนียมไนเตรตร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.16	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	54
4.17	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	55
4.18	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล.....	57
4.19	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล	59
4.20	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล	61

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	พรรณไม้ น้ำพรมมิ <i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst.....	5
2.2	โครงสร้างทางเคมีของ bacoside A ₃ (A), bacoside X (B), bacosidesaponin C (C), bacoside I (D) และ bacoside II (E)	8
2.3	ระบบการปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT.....	13
2.4	พรมมิที่ปลูกในดิน (กลุ่มควบคุม), ระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ NFT และแบบ DFT	14
3.1	แผนผังการทดลองเรื่องผลการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท และแมกนีเซียมซัลเฟต ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของ พรรณไม้ น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน.....	27
4.1	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด (TPC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลาย น้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	39
4.2	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลาย น้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	40
4.3	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมด (TSC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลาย น้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	41
4.4	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	42
4.5	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	43
4.6	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด (TPC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	50
4.7	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินเป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	51

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมด (TSC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	52
4.9	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B).....	53
4.10	ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)	54



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ความผิดปกติทางระบบประสาทของมนุษย์เป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้การเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศต่างๆ ลดลง ตามรายงานขององค์การอนามัยโลก (WHO) คาดการณ์ถึงเรื่องความผิดปกติทางระบบประสาทจะเพิ่มขึ้นเป็น 12 % ภายในปี ค.ศ. 2030 ด้วยโรคอัลไซเมอร์ และสภาวะสมองเสื่อมอื่นๆ (Bhardwaj *et al.*, 2016) ซึ่งการใช้ยารักษาอาจมีผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์และไม่สามารถป้องกันการลุกลามของโรคในระยะยาวได้ ในปัจจุบันพฤกษศาสตร์ของพืชสมุนไพรได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้นเนื่องจากพบสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolites) (Bocso and Butnariu, 2022) สร้างโดยสารเมตาโบไลต์ปฐมภูมิ (Primary metabolite) จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิของพืชสมุนไพรเป็นแหล่งสำคัญของสารประกอบทางยาที่เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับมนุษย์ (Jauhari *et al.*, 2019) โดยพืชสมุนไพรที่จะสามารถนำมารักษา หรือบรรเทาอาการโรคที่เกิดจากความผิดปกติทางระบบประสาทนี้ จึงมีความสำคัญทั้งด้านสุขภาพ และเศรษฐกิจ (กรรณก อิงคินันท์, 2561) โดยสารสกัดที่ได้จากพืชสมุนไพรอุดมไปด้วยสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเสริมสร้างศักยภาพของร่างกายอีกทั้งเป็นทางเลือกจากธรรมชาติที่ปลอดภัย

พรรณไม้พรมมิ (*Bacopa monnieri* (L.) Wettst.) จัดอยู่ในวงศ์ Plantaginaceae พบได้ทั่วไปในเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน (Saran *et al.*, 2022) ในประเทศไทยสามารถพบได้ทุกภูมิภาค พรมมิเป็นพืชชายน้ำ ชอบขึ้นในที่ชื้นแฉะ หรือริมน้ำ มีลักษณะลำต้นเกลี้ยง อวบน้ำ แตกกิ่งก้านมาก ลำต้นเลื้อยทอดไปตามพื้นดินที่ชุ่มชื้น หรือมีน้ำขัง และชูปลายยอดขึ้นเหนือน้ำ มีรากออกตามข้อ ใบเดี่ยวออกแบบตรงข้าม ปลายใบมน ดอกเดี่ยวออกที่ซอกใบ กลีบดอกติดกันแบ่งเป็น 5 กลีบมีสีขาวหรือสีม่วงอ่อน สามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย (กรรณก อิงคินันท์, 2561) พรมมิจัดเป็นพืชสมุนไพรที่นิยมเป็นอย่างมากในการแพทย์อายุรเวทของอินเดีย พบรายงานทางวิทยาศาสตร์พิสูจน์ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่บ่งชี้ว่าพรมมิสามารถผลิตสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ได้หลายกลุ่ม เช่น ไกลโคไซด์ (Glycoside) อัลคาลอยด์ (Alkaloid) ซาโปนิน (Saponin) และฟีนอล (Phenols) (Subashri and Koilpillai, 2012) อีกทั้งพรมมียังพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิด Bacoside A ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการป้องกันระบบประสาทที่สำคัญ รวมถึงมีฤทธิ์เพิ่มความทรงจำของมนุษย์ (Naik *et al.*, 2017) โดยสารสกัดจากพรมมิได้รับการยอมรับว่าเป็นพืชสมุนไพรบำรุงสมอง ฟันฟูความทรงจำ สามารถนำมารักษา หรือบรรเทาอาการโรคได้ (Sharma *et al.*, 2021) จากงานวิจัยพบการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพรมมิหลายด้าน เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์แก้ปวด ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านจุลชีพ ฤทธิ์ต้านมะเร็ง ฤทธิ์ต้านเบาหวาน การรักษาโรคอัลไซเมอร์

ฤทธิ์ด้านพืช ฤทธิ์ต่อระบบทางเดินอาหาร การเพิ่มความทรงจำ ฤทธิ์ต้านอาการซึมเศร้า ฤทธิ์ต้านความวิตกกังวล ฤทธิ์ต้านพาร์กินสัน และคุณสมบัติต้านอาการชัก เป็นต้น (Saloni *et al.*, 2022) จึงมีศักยภาพเหมาะสมในการนำมาพัฒนาต่อเป็นสารพฤกษเคมีสำหรับการใช้ทางการแพทย์

ระบบปลูกพืชไร้ดินเป็นเทคโนโลยีทางการเกษตรที่สามารถควบคุมคุณภาพของพืชได้ดีทำให้พืชมีคุณภาพสูงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา และอาหารเสริม โดยสามารถลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารพิษจากดิน ยาฆ่าแมลง และโลหะหนัก รวมถึงลดระยะเวลาในการเพาะปลูกเนื่องจากพืชใช้รากดูดซึมแร่ธาตุที่จำเป็นได้โดยตรงจากสารละลายธาตุอาหารทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็วกว่า (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) อีกทั้งยังได้ผลผลิตที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปลูกพืชในดิน และเพิ่มการสะสมสารพฤกษเคมีของพรมมิได้ (Maneepley *et al.*, 2018) ดังนั้นการปลูกพืชด้วยระบบปลูกพืชไร้ดินเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการปลูกพรมมิในเชิงพาณิชย์ และอุตสาหกรรม ซึ่งในการเพาะปลูกพืชด้วยระบบปลูกพืชไร้ดินสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์สารพฤกษเคมีได้จากการควบคุมองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร (Kiferle *et al.*, 2013) เนื่องด้วยการเพาะปลูกพืชด้วยระบบปลูกพืชไร้ดินมีปัจจัยหลักที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีจากการได้รับธาตุอาหารตามปริมาณความต้องการของพืชแต่ละชนิด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) โดยบทบาทธาตุอาหารไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบอินทรีย์ที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดอะมิโน โปรตีน เอนไซม์ และกรดนิวคลีอิก (Chrysargyris *et al.*, 2016) ถือเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการปริมาณมากในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการสังเคราะห์สารพฤกษเคมี ซึ่งพืชสามารถได้รับในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) (Khammar *et al.*, 2021) อีกหนึ่งธาตุอาหารที่สำคัญคือแมกนีเซียม (Mg) มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ถือเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และสามารถกระตุ้นสารพฤกษเคมีได้ (Paulus *et al.*, 2022) ดังนั้นการศึกษาผลการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท และแมกนีเซียมซัลเฟตลงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรมมิไม่น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินจะส่งเสริมด้านผลผลิตให้สูงขึ้นทั้งปริมาณ และคุณภาพ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของพืชสมุนไพรต่อการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตยา และอาหารเสริมตอบสนองความต้องการของตลาดในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรมมิไม่น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ Deep Flow Techniques (DFT)

1.2.2 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดิน ได้แก่ สารละลายธาตุอาหาร เนื่องจากพืชใช้รากดูดซึมแร่ธาตุที่จำเป็นได้โดยตรง และสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์สารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิได้จากการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร ดังนั้นการปลูกพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินภายใต้การได้รับสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมจะสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต และกระตุ้นการสร้างสารพฤษเคมีเพิ่มมากยิ่งขึ้น

1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ธาตุอาหารพืช หรือธาตุอาหารจำเป็น (Plant nutrients หรือ Essential nutrient elements) หมายถึง ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญ และพัฒนาของพืช ซึ่งแต่ละธาตุอาหารมีหน้าที่ และบทบาทแตกต่างกันโดยบทบาทของธาตุอาหารไนโตรเจน และแมกนีเซียมถือเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (Macronutrient elements) ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบภายในของพืช ดังนั้นแอมโมเนียมไนเตรท และแมกนีเซียมซัลเฟตมีความเหมาะสมในการเพิ่มลงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพื่อการปลูกพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้ประกอบด้วย การเพิ่มปริมาณระดับแอมโมเนียมไนเตรทลงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นนำระดับที่เหมาะสมมาศึกษาต่อ โดยการเพิ่มปริมาณระดับแมกนีเซียมซัลเฟต เพื่อหาระดับความเข้มข้นร่วมกันที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการสร้างสารพฤษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการศึกษานี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่

1.6.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาการเพิ่มสารแอมโมเนียมไนเตรทที่ระดับ 0.5-2 mEq/L ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และการสร้างสารพฤษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT

1.6.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาการเพิ่มปริมาณสารแมกนีเซียมซัลเฟตที่ระดับ 1-2.5 mEq/L ร่วมกับความเข้มข้นที่เหมาะสมของแอมโมเนียมไนเตรท จากการทดลองที่ 1 ในสารละลายธาตุอาหาร KM1L 2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และการสร้างสารพฤษเคมีของพรรณไม้ น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT

โดยในระหว่างการทดลองจะบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของพรรณไม้ น้ำพรมมิทุกสัปดาห์ จนถึงสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ด้านสารพฤษเคมีจะนำพรรณไม้ น้ำพรมมิทุก 4 สัปดาห์ มาอบแห้ง จากนั้นปั่นให้ละเอียดแล้วนำไปสกัดด้วย 2 ตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล หลังจากนั้นนำสารสกัดพรมมิที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารพฤษเคมี และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ แล้วนำข้อมูลผลการเจริญเติบโต สารพฤษเคมี และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป



บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับพรรณไม้น้ำพรมมิเพิ่มมากขึ้นต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม การผลิตยา โดยพรมมิถือเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีสารประกอบทางยาที่เป็นประโยชน์อย่างมาก สำหรับมนุษย์ พบรายงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 พรรณไม้น้ำพรมมิ

พรรณไม้น้ำพรมมิ หรือต้นพรมมิ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Plantaginaceae ชื่ออื่นๆที่เรียกในประเทศไทย ได้แก่ ผักมิ (ภาพที่ 2.1) มีชื่อใน ภาษาฮินดี คือ Brahmi มาจากคำว่าพระพรหม ซึ่งมีความหมายถึงผู้ให้กำเนิดโลก และสรรพสิ่ง (Saran *et al.*, 2022) สำหรับชื่อภาษาอังกฤษ คือ Baby's tears, Bacopa, Brain plant และ Water hyssop เป็นต้น ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพรมมิ คือ เป็นพืชล้มลุกอายุมากกว่า 1 ปี (Perennial herb) ชอบขึ้นในที่ชื้นแฉะ หรือริมน้ำ มีลักษณะลำต้นเลื้อยทอดไปตามพื้นดินที่ชุ่มชื้น และชูปลายยอดขึ้นเหนือน้ำ แตกกิ่งก้านมาก มีรากออกตามข้อ ใบเดี่ยวออกแบบตรงข้าม ปลายใบมน ไม่มีก้านใบที่ชัดเจน ดอกเดี่ยวออกที่ซอกใบ ก้านดอกยาว 1-2 เซนติเมตร วงกลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอก ติดกันแบ่งเป็น 5 กลีบมีสีขาว หรือสีม่วงอ่อน ภายในดอกประกอบด้วยเกสรตัวผู้ 4 อันยื่นยาว เกสรตัวเมีย 1 อัน เมล็ดมีขนาดประมาณ 0.5x0.3 มิลลิเมตร สามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย และพบได้ทั่วไป ในเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน ในประเทศไทยสามารถพบทั่วทุกภูมิภาค (กรรณก อิงคินันท์, 2561)



ภาพที่ 2.1 พรรณไม้น้ำพรมมิ *Bacopa monnieri* (L.) Wettst.

พรมมิได้รับการยอมรับว่าเป็นพืชสมุนไพรที่มีบทบาทสำคัญในการฟื้นฟูสติปัญญาของมนุษย์ ส่งผลให้มีความต้องการทางการค้าของพืชชนิดนี้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากศักยภาพในการใช้ในอุตสาหกรรมยา และระบบการแพทย์อายุรเวทในการรักษาโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ (Saran *et al.*, 2022)

2.1.1 สรรพคุณของพรมมิทางการแพทย์

ปัจจุบันมีการใช้ผลิตภัณฑ์สมุนไพรเป็นทางเลือกในการดูแลสุขภาพ โดยพืชสมุนไพรหลายชนิดที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากสามารถปกป้องร่างกายมนุษย์จากอนุมูลอิสระได้ ในทางการแพทย์พรมมิเป็นสมุนไพรที่เป็นทั้งอาหาร และยาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยคุณสมบัติเชิงหน้าที่ และการรักษาของพรมมิได้รับการพิสูจน์ในรูปแบบต่างๆ ทั้งจากหลอดทดลอง ร่างกายของสัตว์ทดลองรวมไปถึงมนุษย์ ซึ่งพรมมิประกอบด้วยสารซาโปนินเป็นสารทุติยภูมิ (Dutta and Chakraborty, 2020) ออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิด Bacoside A ถือเป็นองค์ประกอบในการป้องกันระบบประสาทที่สำคัญ รวมถึงมีฤทธิ์เพิ่มความทรงจำของมนุษย์ (Naik *et al.*, 2017) สามารถใช้เป็นยาป้องกันระบบประสาทเนื่องจากมีผลต่อโรคทางระบบประสาทหลายชนิด โดยพบสรรพคุณทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านการอักเสบฤทธิ์ต้านจุลชีพ ฤทธิ์ต้านมะเร็ง ฤทธิ์ต้านเบาหวาน ฤทธิ์ต่อระบบทางเดินอาหาร ฤทธิ์แก้ปวด ฤทธิ์ต้านพิษ การรักษาโรคอัลไซเมอร์ การเพิ่มความทรงจำ ฤทธิ์ต้านอาการซึมเศร้า ฤทธิ์ต้านความวิตกกังวล ฤทธิ์ต้านพาร์กินสัน และคุณสมบัติต้านอาการชัก เป็นต้น (Saloni *et al.*, 2022) เนื่องด้วยอุตสาหกรรมอาหารจำเป็นต้องพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระจากสารประกอบธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารจากความต้องการของผู้บริโภค (Warrier, 2021) เพราะผลิตภัณฑ์จากธรรมชาตินั้นค่อนข้างบริสุทธิ์มีความปลอดภัย พบงานวิจัยให้การยอมรับว่ามีประสิทธิภาพทำให้ได้รับความสนใจในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากธรรมชาติทดแทนสารสังเคราะห์ที่มีความเสี่ยง (Jain *et al.*, 2017) โดยในประเทศอินเดียเกือบ 80 % ของประชากรนิยมการใช้จ่ายแผนโบราณ พบยอดขายสุทธิประมาณ 1.5 เท่าของยาแผนปัจจุบัน (Warrier, 2021) โดยสารสกัดพรมมิได้รับการเพิ่มเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่น เครื่องดื่มสมุนไพร โปรตีนบาร์ อาหารเข้าซีเรียล บิสกิต และเครื่องดื่มชูกำลัง เป็นต้น (Shankar *et al.*, 2018) ในประเทศเวียดนาม ใช้รักษาภายนอก แก้วผิวหนังบวมแดง ตีชาน แก้วไอ และในประเทศศรีลังกา ใช้ทั้งต้นเป็นยาระบาย ใช้ล้างรักษาแผลฝีหนอง (สันตชัย ณ นคร, 2564) สำหรับปริมาณการบริโภคสารสกัดจากพรมมิ แบ่งเป็นปริมาณสำหรับผู้ใหญ่ คือ 200-400 มก./วัน และสำหรับเด็ก คือ 100-200 มก./วัน (Shankar *et al.*, 2018) การแพทย์แผนไทยมีการบันทึกสรรพคุณของพรมมิไว้ดังนี้ “ต้น” ใช้ขับโลหิต ขับพิษร้อน บำรุงไขมันในร่างกาย บำรุงกำลังทำให้ร่างกายแข็งแรง บำรุงไขข้อ แก้วปวดตามข้อ เปลือกต้น บำรุงไขมัน บำรุงตับ “ใบ” ขับเสมหะ ขับพิษไข้หัว แก้วพิษฝีดาษ แก้วร้อนในกระหายน้ำ “ดอก” แก้วโลหิตระดูใสดั่งสีน้ำตาลหมาก “ทั้งต้น” ขับพิษไข้หัว แก้วร้อนในกระหายน้ำ ขับพิษร้อน แก้วไข้ ขับปัสสาวะ บำรุงประสาท ขับเสมหะ ขับพยาธิ บำรุงหัวใจ แก้วหืด แก้วปวดประสาท แก้วลมบ้าหมู รักษาโรคผิวหนัง ไม้ระบุส่วนที่ใช้ แก้วใช้ สวิงสวย แก้วหืดไอ แก้วริดสีดวง ขับพิษไข้กาฬ ขับพิษร้อน ทั้งปวง บำรุงกำลัง ช่วยเส้นเอ็นให้แข็งแรง

บำรุงประสาท บำรุงหัวใจ แก้ลมบ้าหมู และแก้เสียงแหบแห้ง อีกทั้งพรมมิเป็นองค์ประกอบของ “ยาเขียวประทานพิษ” ซึ่งเป็นหนึ่งในยาตำรับยาแผนโบราณของคัมภีร์แพทย์ศาสตร์สงเคราะห์ซึ่งมีบันทึกไว้ 3 ตำรับ ได้แก่ ยาเขียวมหาพรหม ยาเขียวน้อย และยาเขียวประทานพิษ มีสรรพคุณสำหรับลดไข้ (สันตชัย ณ นคร, 2564)

จากงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์พิสูจน์ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา และความปลอดภัยของพรมมิทั้งในระดับหลอดทดลอง สัตว์ทดลอง และมนุษย์ รวมทั้งมีการรายงานด้านองค์ประกอบทางเคมี ทำให้พรมมิจัดเป็นสมุนไพรที่มีศักยภาพในการนำไปใช้เพื่อป้องกันโรคที่เกิดจากความเสื่อม โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท และสมอง จึงมีศักยภาพเหมาะสมในการนำมาพัฒนาต่อเป็นสารพฤกษเคมีสำหรับการใช้ทางการแพทย์

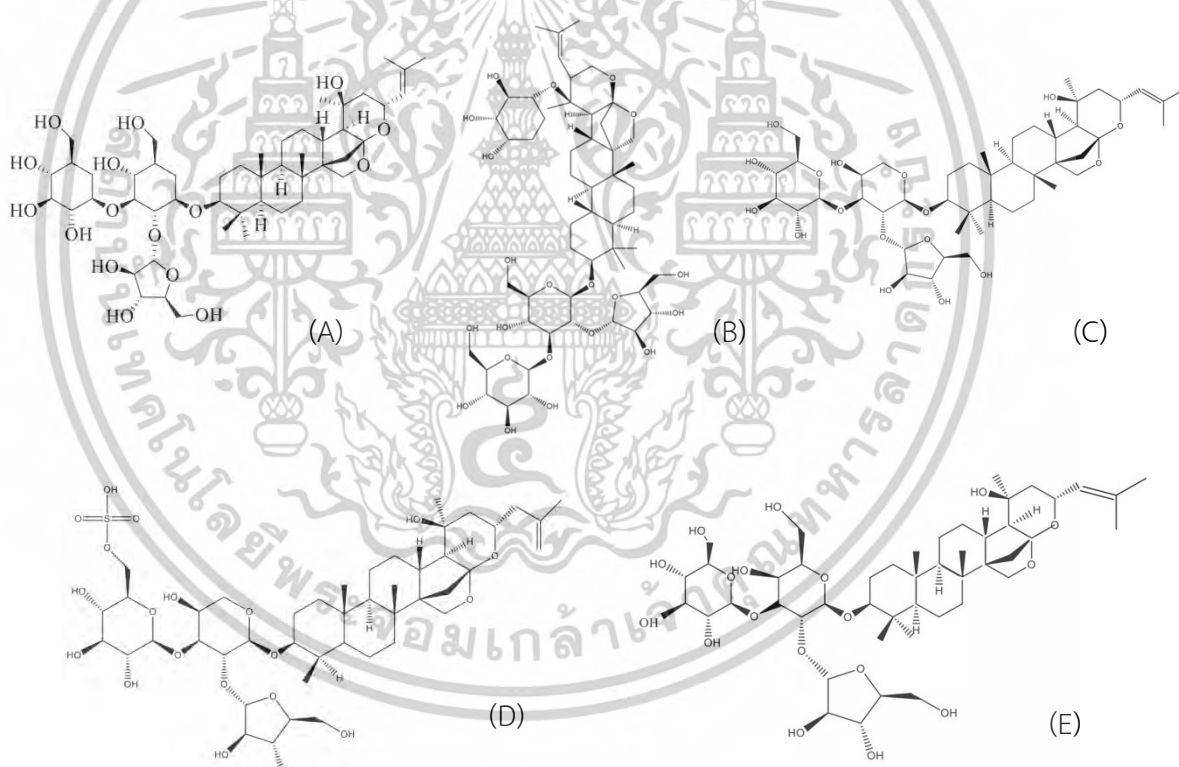
2.2 สารพฤกษเคมีในพืชสมุนไพร

สารพฤกษเคมี เป็นสารกลุ่มใหญ่ที่พบได้ในพืชสมุนไพร โดยส่วนมากมักเป็นสารทุติยภูมิที่พืชสังเคราะห์ขึ้น องค์ประกอบทางเคมีของพืชเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างภายในกับสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยการปรับตัวคือความสามารถของสิ่งมีชีวิตในการเจริญเติบโต และการพัฒนาในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (Bocso and Butnariu, 2022) ในเซลล์ของพืชมีกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ เรียกว่า เมแทบอลิซึม (Metabolism) กระบวนการทางชีวเคมีในเซลล์แบ่งเป็น 2 แบบ คือ การสังเคราะห์ (Synthesis) สารซึ่งมีโมเลกุลใหญ่จากสารที่มีโมเลกุลเล็ก และการสลาย (Degradation) สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง ในปัจจุบันพฤกษศาสตร์ของพืชสมุนไพรได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากพบสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolites) สร้างโดยสารเมตาโบไลต์ปฐมภูมิ (Primary metabolite) จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) โดยสารเมตาโบไลต์ในพืชเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆตามโครงสร้างทางเคมี และคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน (Bocso and Butnariu, 2022) ซึ่งในกลุ่มพืชสมุนไพร สารพฤกษเคมีที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญจากสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิ ได้แก่ สารกลุ่มอัลคาลอยด์ (Alkaloids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และไกลโคไซด์ (Glycosides) เป็นต้น (ยงยุทธ โอสภสกา, 2558) มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ ต้านออกซิเดชัน เพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย เป็นต้น อีกหนึ่งคุณสมบัติที่สำคัญคือเป็นสารพฤกษเคมีที่มีประสิทธิภาพ มีส่วนช่วยลดความเครียดที่เกิดจากการออกซิเดชัน (Oxidative stress) เพื่อปกป้องเซลล์ และเนื้อเยื่อจากการทำลายของอนุมูลอิสระ จากปฏิกิริยาออกซิเจนเป็นอันตรายต่อโมเลกุลทางชีวภาพ ซึ่งอนุมูลอิสระที่ได้จากโมเลกุลออกซิเจน เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide) ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxyl radicals) และไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) ถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องภายในร่างกายซึ่งนำไปสู่โรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง โรคพาร์กินสัน โรคสมองเสื่อม และโรคเส้นเลือดตีบ เป็นต้น แม้ว่าจะไม่สามารถหลีกเลี่ยงการผลิตอนุมูลอิสระได้ แต่สามารถป้องกันได้โดยใช้สารต้านอนุมูลอิสระบางชนิด (Mehta, 2023)

ซึ่งสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิของพืชสมุนไพรเป็นแหล่งสำคัญของสารประกอบทางยาที่เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับมนุษย์ โดยสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่อุดมไปด้วยเมตาโบไลต์ทุติยภูมิเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเสริมสร้างศักยภาพของร่างกายอีกทั้งเป็นทางเลือกจากธรรมชาติที่ปลอดภัย

2.2.1 องค์ประกอบพฤกษเคมีของพรมมิ

ส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญของพรมมิ ได้แก่ สารกลุ่มซาโปนินไกลโคไซด์ (Saponin glycosides) ซึ่งมีหน้าที่ในการสร้าง และหลั่งสารสื่อประสาทแอสทิลโคลีน (Acetylcholine) ที่ช่วยเสริมสร้างความทรงจำ ลดอาการหลงลืม และยับยั้งอะซิทิลโคลีนเอสเตอเรส (Acetylcholinesterase; AchE) สารที่ทำลายสารสื่อประสาทที่เป็นสาเหตุในการทำลายเซลล์ประสาท และสมอง (Limpeanchob *et al.*, 2008) โดยสารหลักที่พบ ได้แก่ bacoside A₃, bacoside X, bacosidesaponin C, bacoside I และ bacoside II (ภาพที่ 2.2) นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และฟีนีลเอทานอยด์ไกลโคไซด์ (Phenylethnoid glycosides) (กรรณก อิงคินันท์, 2561)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ bacoside A₃ (A), bacoside X (B), bacosidesaponin C (C), bacoside I (D) และ bacoside II (E)

ที่มา: Dadhich *et al.* (2022)

โดยพรมมีจัดเป็นพืชสมุนไพรที่มีศักยภาพเหมาะสมในการนำมาพัฒนาต่อเป็นสารพฤกษเคมีสำหรับการใช้ทางการแพทย์ โดยเฉพาะในการแพทย์อายุรเวทของอินเดีย พบรายงานทางวิทยาศาสตร์พิสูจน์ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่บ่งชี้ว่าพรมมีสามารถผลิตสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิที่เป็นสารพฤกษเคมีได้หลายกลุ่ม เช่น ไกลโคไซด์ (Glycoside) อัลคาลอยด์ (Alkaloid) ซาโปนิน (Saponin) และฟีนอล (Phenols) (Subashri and Koilpillai, 2012) สอดคล้องกับรายงานของ Dutta and Chakraborty (2020) ตรวจสอบคุณสมบัติทางพฤกษเคมี และการต้านอนุมูลอิสระของสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิของพรมมีในตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตต คลอโรฟอร์ม บิวทานอล เมทานอล และน้ำ ใช้ส่วนใบของพรมมีจากทางตะวันออกของเมืองโกลกาตา ประเทศอินเดีย ผ่านวิธีการสกัดโดยการหมัก (Maceration) พบสารอัลคาลอยด์ สเตียรอยด์ ฟลาโวนอยด์ ซาโปนินมีอยู่ในทุกส่วนของสารสกัดใบพรมมี และแทนนินมีอยู่ในทุกชั้น ยกเว้นเฮกเซน ไม่พบกรดอะมิโน แอนทราควิโนน และไตรเทอร์พีนอยด์ในทุกชั้น โดยปริมาณฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดใบพรมมี วิเคราะห์จากวิธี Folin-ciocalteu โดยใช้เส้นกราฟของกรดแกลลิก ผลที่ได้อยู่ในช่วง 17.43-46.24 มก./กรัม โดยสูงสุดพบในตัวอย่างละลายคลอโรฟอร์ม และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ผลที่ได้อยู่ในช่วง 20.37-38.53 % โดยสูงสุดพบในตัวอย่างละลายเมทานอล รวมทั้งประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในตัวอย่างละลายคลอโรฟอร์ม นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณฟีนอล และไกลโคไซด์ สารสกัดพรมมีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถใช้เป็นสารพฤกษเคมีในการเตรียมยาเพื่อรักษาโรคต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงาน Jain *et al.* (2017) พบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิดจาก การตรวจสอบคุณสมบัติทางพฤกษเคมี ได้แก่ แทนนิน โพลีฟีนอล ซาโปนิน สเตียรอยด์ ฟลาโวนอยด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ ฟีนอล คาร์โบไฮเดรต และอัลคาลอยด์ อย่างไรก็ตามไม่พบแอนทราควิโนน และเทอร์พีนอยด์ การวิเคราะห์โดยวิธี GC-MS โดยตัวอย่างละลายเมทานอลสามารถแสดงการมีอยู่ของสารประกอบของพรมมีทั้งหมด 37 ชนิด (ตารางที่ 2.1) รวมทั้งแสดงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบการยับยั้ง 94 % สอดคล้องกับรายงานของ Mehta (2023) ศึกษาคุณสมบัติประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP ของพรมมีจากธรรมชาติ เปรียบเทียบกับพรมมีจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยสกัดในตัวอย่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำ, 30 % เอทานอล และ 30 % เมทานอล ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าในสารสกัด 30 % เมทานอล จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีระดับสูงสุดของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ 89 % และผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ FRAP พบว่าในสารสกัด 30 % เมทานอล จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีระดับสูงสุดของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ 346.09 มิลลิโมลาร์ Fe²⁺/ลิตร จากการตรวจสอบพรมมีมีสารประกอบของสารพฤกษเคมีซึ่งสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์โดยวิธี GC-MS จากสารสกัดเมทานอลของพรมมิ

Peak	R.Time	Area	Area %	Name of phytochemicals	Mol. Wt.	Mol. formula
1	5.749	205662	0.27	Dodecane	170	C ₁₂ H ₂₆
2	8.269	331802	0.44	Phenol, 2-methoxy-4-(2-Propenyl)-	164	C ₁₀ H ₁₂ O ₂
3	8.714	294251	0.39	Tridecane	184	C ₁₃ H ₂₈
4	11.543	394558	0.53	3A(1H)-Azulenol, 2,3,4,5,8,8A-hexahydro-6,8A-dimethyl-3-(1-M	222	C ₁₅ H ₂₆ O
5	13.191	1127805	1.5	9-Octadecenoic acid (Z)-	282	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
6	13.509	524636	0.7	2-Nonenal, 2-Pentyl-	210	C ₁₄ H ₂₆ O
7	13.696	355047	0.47	2-Cyclohexen-1-one, 4-hydroxy-3,5,5-trimethyl-4-(3-oxo-1-butenyl)-	222	C ₁₃ H ₁₈ O ₃
8	14.011	1073495	1.43	2,6,10-Trimethyl, 14-ethylene-14-Pentadecne	278	C ₂₀ H ₃₈
9	14.084	740370	0.99	2-Pentadecanone, 6,10,14-Trimethyl-	268	C ₁₈ H ₃₆ O
10	14.266	618070	0.82	3,7,11,15-Tetramethyl-2-Hexadecen-1-ol	296	C ₂₀ H ₄₀ O
11	14.458	497286	0.66	3,7,11,15-Tetramethyl-2-Hexadecen-1-ol	296	C ₂₀ H ₄₀ O
12	14.892	1268940	1.69	Hexadecanoic acid, methyl ester	270	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
13	15.166	575567	0.77	Benzenepropanoic acid, 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy-, methyl ester	292	C ₁₈ H ₂₈ O ₃
14	15.297	17931857	23.91	N-Hexadecanoic acid	256	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
15	16.131	873112	1.16	Octadec-9-enoic acid	282	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
16	16.628	306770	0.41			
17	16.731	1893715	2.53	Phytol	296	C ₂₀ H ₄₀ O
18	16.981	13927443	18.57	Cis-9-Hexadecenal	238	C ₁₆ H ₃₀ O
19	17.162	5924911	7.9	Octadecanoic acid	284	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
20	17.418	777619	1.04	Octadecanoic acid, ethyl ester	312	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
21	17.958	198633	0.26	Cis-10-Nonadecenoic acid	296	C ₁₉ H ₃₆ O ₂
22	18.062	253208	0.34	Hahnfett	9999	
23	18.308	174581	0.23	Heneicosane	296	C ₂₁ H ₄₄
24	18.76	1772162	2.36			
25	18.894	1295754	1.73	Icosanoic acid	312	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
26	19.937	336854	0.45	Nonacosane	408	C ₂₉ H ₆₀
27	20.13	731915	0.98	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl) ethyl ester	330	C ₁₉ H ₃₈ O ₄
28	20.431	365323	0.49	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	278	C ₁₆ H ₂₂ O ₄
29	20.505	460983	0.61	Octadecanoic acid	284	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
30	23.082	363017	0.48	2-Cyclohexen-1-one, 3-(3-hydroxybutyl)-2,4,4-trimethyl-	210	C ₁₃ H ₂₂ C ₂
31	25.323	390311	0.52	17-(1,5-Dimethyl-hex-2-enyl)-10,13-dimethyl-2,3,4,9,10,11,12,13	382	C ₂₇ H ₄₂ O
32	26.174	352212	0.47	Cholesta-4,6-dien-3-ol, (3-B)-	384	C ₂₇ H ₄₄ O
33	26.915	429707	0.57	Vitamin E	430	C ₂₈ H ₅₀ O ₂
34	28.977	1040523	1.39	Ergost-5-en-3-ol, (3-f-,24R)-	400	C ₂₈ H ₄₈ O
35	29.654	12415658	16.55	Stigmasterol	412	C ₂₉ H ₄₈ O
36	31.001	2579540	3.44	Stigmast-5-en-3-ol, (3-f)-	414	C ₂₉ H ₅₀ O
37	37.928	2193847	2.93	2,6,10-trimethyl, 14-ethylene-14-Pentadecne	278	C ₂₀ H ₃₈

ที่มา: ดัดแปลงจาก Jain *et al.* (2017)

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพืชสมุนไพรเชิงปริมาณโดยวิธีโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) ได้รับการพัฒนาและนำไปใช้อย่างแพร่หลาย โดย HPLC เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งด้านความละเอียดในการวิเคราะห์ (Resolution) ความไว (Sensitivity) ความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) (กรกนก อิงคินันท์, 2561) ซึ่งในการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในพรมมิพบรายงานของ Naik *et al.* (2017) ศึกษาศักยภาพในการเพิ่มมวลชีวภาพ และปริมาณของ Bacoside A จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรมมิในอาหารต่างๆ ได้แก่ MS, B5, NN และ N6 ที่ความเข้มข้นของอาหาร และแหล่งคาร์บอนแตกต่างกัน จากการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC พบปริมาณ Bacoside A สูงสุดที่ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MS และแหล่งคาร์บอน กลูโคส และฟรุคโตส สูงสุดที่ปริมาณ 15.588 มก./กรัมน้ำหนักแห้ง เนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของเซลล์พืช การขาดไนโตรเจนจึงขัดขวางการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอาหารเลี้ยงเชื้อ MS มีไนเตรตต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างสูงจึงอาจส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโต รวมไปถึงน้ำตาลประเภทต่างๆ (ซูโครส ฟรุคโตส มอลโตส ซอร์บิทอล และกลูโคส) ที่ใช้ในอาหารเลี้ยงเชื้ออาจส่งผลกระทบต่อมวลชีวภาพ และการสะสมสารทุติยภูมิ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาส่วนผสมของน้ำตาลที่เหมาะสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อให้ได้สารทุติยภูมิในระดับที่สูงขึ้น และพบรายงานของ Saran *et al.* (2022) ศึกษาปริมาณ Bacosides A ของพรมมิจาก 5 แหล่งในประเทศอินเดีย จากการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC ซึ่งถูกสกัดในตัวทำละลายเมทานอลพบว่า มีปริมาณ Bacosides A อยู่ระหว่าง 1.82-3.65 % ซึ่งเหมาะสมสำหรับเป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมเภสัชมีคุณภาพสำหรับการใช้แนวทางทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนเพื่อสร้างการพัฒนาอุตสาหกรรมต่อมามีการพัฒนาเพาะเลี้ยงพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินโดย Maneeply *et al.* (2018) ศึกษาการสะสมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินแบบสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (NFT) และแบบสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (DFT) โดยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในพรมมิ คือ Bacoside A ซึ่งประกอบด้วย bacoside A₃, bacopaside II, bacoside X และ bacopasaponin C จากการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC พบปริมาณสูงในพรมมิที่เพาะเลี้ยงในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT ปริมาณ 194.93 มก./ต้น มากกว่าการปลูกพืชในดิน ปริมาณ 26.90 มก./ต้น ซึ่งการสะสมของสารออกฤทธิ์ทั้งหมดของ Bacoside A สำหรับพรมมิที่ปลูกภายใต้ระบบปลูกพืชไร้ดินนั้นสูงกว่าการปลูกพืชในดินโดยประมาณ 15 เท่า จากผลการวิจัยบ่งชี้ว่าระบบปลูกพืชไร้ดินเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตชีวมวลของพรมมิ ซึ่งการปลูกพืชไร้ดินจะให้ผลผลิตพรมมิที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสะสมสูง และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อย่างรวดเร็ว

ผลทางเภสัชวิทยาของพรมมิทำให้เกิดความต้องการสูงเพื่อใช้เป็นยาสมุนไพร และผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าพรมมิเป็นพืชที่น่าสนใจที่จะมีการพัฒนาต่อไปเนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูก และขยายพันธุ์ได้ง่ายภายในประเทศไทย ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาบริโภคเป็นพืชผักอาหาร และนำไปพัฒนาเป็นยาที่มีผลทางการรักษา หรือบรรเทาอาการโรคทางระบบประสาท

ส่วนกลาง เช่น ภาวะสมองเสื่อม อาการวิตกกังวล และอาการซึมเศร้า เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะพบในผู้สูงอายุ หรือผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุทางสมองซึ่งนับวันประชากรภายในประเทศ และประชาคมโลก กำลังย่างเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอินเดีย รวมทั้งประเทศไทย ได้มีการนำพรมมิมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Supplement food) อย่างแพร่หลาย และยังคงพัฒนาต่อไปเพื่อเป็นยาแผนปัจจุบันในอนาคต (ชาญชัย สาดแสงจันทร์, 2556)

2.3 ระบบปลูกพืชแบบไร้ดิน

การปลูกพืชแบบไร้ดิน (Soilless culture) หรือไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics) เป็นการปลูกพืชโดยใช้แร่ธาตุในสารละลายธาตุอาหารที่ละลายในน้ำ เพื่อให้พืชใช้รากสัมผัสสารละลายธาตุอาหาร ดูดซึมแร่ธาตุที่จำเป็นโดยตรง คำว่า Hydroponics มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก 2 คำ “Hydro” แปลว่า น้ำ รวมกับคำว่า “Ponos” แปลว่า งาน เมื่อรวมกันจึงหมายถึง การทำงานของน้ำ หรือสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช โดยปกติแล้วการที่พืชจะเจริญเติบโตได้นั้นต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น แสงแดด อุณหภูมิของน้ำ และธาตุอาหารพืช การที่พืชจะนำธาตุอาหารพืชไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องคำนึงถึงเรื่องความเป็นกรด-ด่าง (pH) หรือสารละลายธาตุอาหารใช้ปลูกพืช โดยสรุปการปลูกพืชแบบไร้ดินเป็นการเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน ซึ่งจะปลูกแบบมีวัสดุปลูก หรือไม่มีก็ได้เพื่อพืชจะได้รับสารอาหารโดยตรงจากสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) และ pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ตลอดเวลา (ดิเรก ทองอร่าม, 2546 ; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ระบบการปลูกพืชไร้ดินที่นิยมในประเทศไทย โดยกรมส่งเสริมการเกษตร (2558) แบ่งตามประเภทที่อยู่ของรากพืช ดังนี้

2.3.1 การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (Nutrient Film Technique; NFT) เป็นการให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ปลูกบนรางตามความลาดชันของรางปลูก เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ประมาณ 1-3 มิลลิเมตร พืชที่ปลูกได้ดีเป็นที่นิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักกินใบจำพวกผักสลัด มีอายุยาวประมาณ 45-50 วัน

2.3.2 การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (Deep Flow Technique; DFT) การปลูกผักโดยวิธีนี้เหมือนการปลูกแบบลอยน้ำ โดยรากของพืชจะแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลา โดยวิธีนี้จะมีช่องว่างระหว่างแผ่นปลูกกับสารละลายธาตุอาหารประมาณ 3-5 เซนติเมตร เพื่อให้รากผักบางส่วนถูกอากาศ และบางส่วนอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งสามารถปลูกได้ดีในที่ที่มีแดดจัด ผักที่ปลูกได้ดีเป็นที่นิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักไทย (ผักกินใบที่มีอายุสั้นประมาณ 20-30 วัน) เช่น ผักคะน้า ผักบุ้ง และผักโขม เป็นต้น

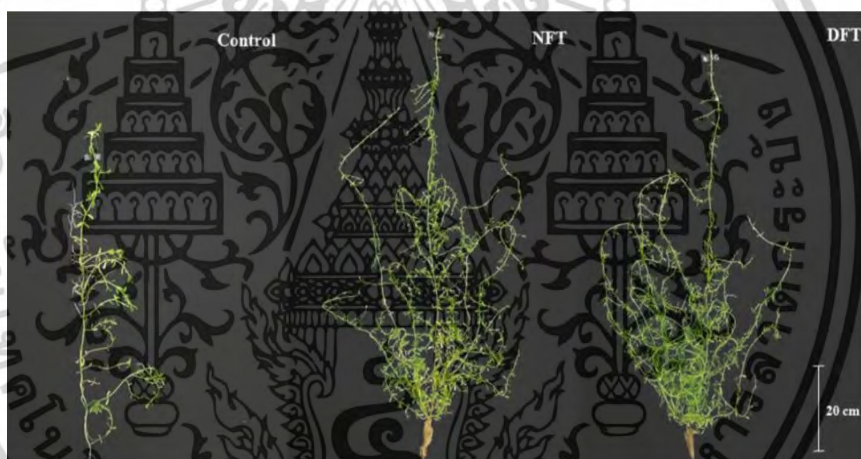
2.3.3 การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหาร และอากาศไหลวนผ่านรากพืชในสภาพปลูกระดับลึก (Dynamic Root Floating Technique; DRFT) ระบบนี้พัฒนามาจากระบบ DFT โดยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศ และสารละลายธาตุอาหาร ผักที่ปลูกได้ดีเป็นที่นิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักไทย

ระบบปลูกพืชไร้ดินมีข้อได้เปรียบหลักๆ 2 เรื่อง โดยนงนุช เลหาหะวิสุทธิ์ และคณะ (2556) เรื่องแรก คือ ช่วยให้ควบคุมสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะในระดับรากพืชสามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหาร pH และอุณหภูมิ เป็นต้น แทนที่จะเป็นการใช้ดินอย่างเดิมสามารถกำจัดตัวแปรที่ไม่ทราบออกไป เช่น ศัตรูพืช วัชพืช และการปนเปื้อนของดิน เป็นต้น เรื่องต่อมาคือพืชหลายชนิดจะให้ผลผลิตได้มากในเวลาน้อยกว่าเดิม รวมไปถึงการปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่อง และในบางครั้งก็มีคุณภาพที่ดีกว่าเดิม การปลูกพืชแบบไร้ดินสามารถสร้างผลผลิตให้แก่เกษตรกรมากขึ้น ด้วยการปลูกที่ไม่ใช้ดินจึงทำให้พืชไม่มีโรคที่เกิดในดิน ไม่มีวัชพืช ไม่ต้องจัดการดินและยังสามารถปลูกพืชใกล้กันมากได้ ด้วยเหตุนี้พืชจึงให้ผลผลิตในปริมาณที่มากกว่าเดิมขณะที่ใช้พื้นที่จำกัด นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำน้อยมากเพราะมีการใช้ราง หรือระบบหมุนเวียนน้ำ เมื่อเทียบกับการเกษตรแบบดั้งเดิม หรือการปลูกแบบใช้ดินแล้วนับว่าใช้น้ำเพียงส่วนน้อยเท่านั้น และข้อเสียเปรียบในระบบปลูกพืชไร้ดินคือเป็นระบบที่ใช้ต้นทุนสูง เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงผู้ปลูกต้องมีความชำนาญ และประสบการณ์ในการดูแลควบคุมอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการปลูกในระบบไร้ดินสามารถควบคุมคุณภาพของพืชได้ อีกทั้งสามารถลดปัญหาการเกิดโรค หรือการปนเปื้อนในดิน ควบคุมความสะอาดได้ง่าย ควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และศัตรูพืชได้ (Kiferle *et al.*, 2013) ซึ่งระบบการปลูกที่ได้รับความนิยม คือระบบปลูกพืชไร้ดินแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (ภาพที่ 2.3) เนื่องจากความลึกประมาณ 2-3 เซนติเมตร ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารเปลี่ยนแปลงได้ช้าอีกทั้งยังมีการเติมอากาศและสารละลายสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ในระบบได้ เป็นระบบที่อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารค่อนข้างคงที่ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นสูง หรือต่ำลงเป็นไปอย่างช้าๆ ลดปัญหารากแห้งหรือความเสียหายของพืชหากเกิดปัญหาในกรณีที่ไฟดับ เนื่องจากรากพืชสามารถแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา



ภาพที่ 2.3 ระบบการปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT

ผลทางเภสัชวิทยาของพรมมิทำให้เกิดความต้องการสูงเพื่อใช้เป็นยาสมุนไพร และผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยมีรายงานของ Maneeply *et al.* (2018) ศึกษาการเจริญเติบโตของพรมมิ ในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (NFT) และแบบสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (DFT) รวมถึงการผลิต Bacosides ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามวลชีวภาพของพรมมิเพิ่มขึ้นในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ NFT และ DFT ซึ่งกระตุ้นการเจริญเติบโตของพรมมิสูงกว่าการเพาะเลี้ยงในดินแบบดั้งเดิม (กลุ่มควบคุม) โดยระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT มีศักยภาพในการผลิตสูงสุด (ภาพที่ 2.4) มีน้ำหนักสด 106 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้ง 8.48 กรัม/ต้น สามารถบ่งชี้ได้ว่าธาตุอาหารมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช ซึ่งวิธีการปลูกพืชไร้ดินโดยให้ธาตุอาหารที่จำเป็นทั้งหมดที่พืชต้องการในตัวทำละลายน้ำ ดังนั้นพรมมิที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดินจึงสามารถดูดซึมสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตชีวมวลของพรมมิ ให้ผลผลิตคุณภาพสูงมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสะสมสูง และให้ผลผลิตเร็ว



ภาพที่ 2.4 พรมมิที่ปลูกในดิน (กลุ่มควบคุม), ระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ NFT และแบบ DFT ที่มา: Maneeply *et al.* (2018)

2.4 สารละลายธาตุอาหาร

การเพาะปลูกพืชด้วยระบบปลูกพืชไร้ดินมีปัจจัยหลักที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีจากการได้รับสารละลายธาตุอาหาร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ที่มาจากการละลายของปุ๋ยเคมี หรือสารเคมีในน้ำที่ให้ธาตุอาหาร เป็นการจัดการในการให้สารละลายธาตุอาหารต่างๆ เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน โดยที่ธาตุอาหารจะถูกนำเอาไปใช้สำหรับกระบวนการสร้างสารอาหาร ซึ่งกระบวนการหลักสำหรับการสร้างสารอาหารแก่พืชคือกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถจำแนกธาตุอาหารตามปริมาณความต้องการในการใช้ของพืชที่ปริมาณแตกต่างกัน โดยธาตุอาหารพืช

หรือธาตุอาหารจำเป็น (Plant nutrients หรือ Essential nutrient elements) หมายถึง ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญ และพัฒนาของเซลล์พืช ซึ่งแต่ละธาตุมีหน้าที่ และบทบาทแตกต่างกัน ดังนั้นการจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสม และเพียงพอต่อความต้องการของพืชสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี หากสังเกตพืชมีอาการผิดปกติอาจเกิดจากได้รับสารละลายธาตุอาหารไม่เพียงพอ หรือมากเกินไปจนความเป็น (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) โดยสารละลายธาตุอาหารพืชมีทั้งหมด 17 ธาตุ ประกอบไปด้วย 3 ธาตุ ได้จากน้ำ และอากาศ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) อีก 14 ธาตุ ได้จากการดูดซึมผ่านทางราก โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (Macronutrient elements) มีทั้งหมด 6 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) และธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (Micronutrient elements) มีทั้งหมด 8 ธาตุ ได้แก่ สังกะสี (Zn) โบรอน (B) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) คลอรีน (Cl) และนิกเกิล (Ni) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ธาตุอาหารที่ใช้สำหรับการปลูกพืชไร้ดินควรเป็นสารประกอบของธาตุที่มีความสามารถในการละลายสูง (Lab grade หรือ Greenhouse grade) เพื่อพืชได้นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะมีราคาสูงกว่าที่ใช้กันโดยทั่วไป (Commercial grade หรือ Standard grade) (ดิเรก ทองอร่าม, 2546)

2.4.1 ผลของสารประกอบไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหารไนโตรเจน (N) คือ ธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก ซึ่งพืชสามารถได้รับในรูปของแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ส่วนใหญ่ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งเป็นรูปที่มีประสิทธิภาพมากกว่าไนโตรเจนอื่น โดยไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ โปรตีน และฮอร์โมนบางชนิด ไนโตรเจนประมาณ 70 % อยู่ในคลอโรพลาสต์ พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะมีการเจริญเติบโตมีความแข็งแรงใบมีสีเขียวเข้ม (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) ในกรณีที่พืชได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอจะก่อให้เกิดสภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ หรืออาการคลอโรซิส (Chlorosis) แสดงอาการใบแก่มีสีเหลืองปนส้ม เริ่มจากปลายใบ เมื่อขาดรุนแรงใบแก่จะแห้งตาย การแตกใบอ่อนไม่ดี แต่ในกรณีที่พืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้ใบของพืชมีการเจริญเติบโตมาก มีการขยายเพิ่มขนาด ใบมีสีเขียวเข้ม ใบไม่ผลออกดอกยาก และช้า พืชไม่ต้านทานต่อโรค และแมลง (ดิเรก ทองอร่าม, 2546 ; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) โดยมีรายงานของ Kiferle *et al.* (2013) ศึกษาผลของธาตุอาหารไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตในต้นโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) ที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดิน ประกอบด้วยถาด Polystyrene plug ที่ลอยบนสารละลายธาตุอาหารขนาด 60 ลิตร ซึ่งสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของไนเตรทที่แตกต่างกันคือ 0.5, 5.0 และ 10.0 โมล/ลบ.ม. เมื่อครบระยะเวลาทดลอง 7 สัปดาห์ จึงถูกเก็บเกี่ยวเพื่อวัดการเจริญเติบโตของต้น (รวมถึงช่อดอก) น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนของใบ และจำนวนราก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโหระพาทั้งหมดพัฒนาได้ตามปกติ และแข็งแรงไม่มีอาการขาดธาตุไนโตรเจน หรือความเป็นพิษของแอมโมเนียม เช่น ผลใหม่ที่ยอด ใบเหลือง หรือผลใหม่ที่ปลายราก ในขณะที่การเจริญเติบโตชีวมวลของใบ และยอดแปรผัน

ตามความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหาร แม้ว่าความแตกต่างของน้ำหนักราก หรือน้ำหนักแห้งของยอด และความสูงของโหลจะไม่มีนัยสำคัญ แต่การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนช่วยเพิ่มการสร้างใบ และน้ำหนักแห้งของรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.5 โมล/ลบ.ม. เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ สอดคล้องกับรายงานของ Khammar *et al.* (2021) ศึกษาการเจริญเติบโตต้นเสจ (*Salvia officinalis* L.) ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดินที่ระดับไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ดังนี้ 0, 5, 10 และ 14.6 มิลลิโมลาร์ หลังจาก 10 สัปดาห์ เก็บผลการเจริญเติบโตโดยสุ่มคัดเลือกพืชเพื่อประเมินการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช รวมถึงความสูงของพืช จำนวนกิ่ง พื้นที่ใบ น้ำหนักสดของใบ น้ำหนักแห้งของใบ และราก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของพืชมีนัยสำคัญ การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ระดับสูงสุด 14.6 มิลลิโมลาร์ และการขาดธาตุไนโตรเจนจากสารละลายธาตุอาหารทำให้พืชเสจมีความสูงของต้นลดลง จำนวนกิ่ง พื้นที่ใบ น้ำหนักสดของใบ น้ำหนักแห้งของใบ และรากลดลงเมื่อเทียบกับพืชที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่สมบูรณ์ อีกหนึ่งรายงานของ Chrysargyris *et al.* (2016) ศึกษาต้นสเปียร์มินต์ (*Mentha spicata* L.) ตรวจสอบผลของความเข้มข้นของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้น 5 ระดับ ดังนี้ 150, 175, 200, 225 และ 250 มก./ลิตร ค่า pH คือ 5.8 และค่า EC คือ 2.1 mS/cm หลังจาก 8 สัปดาห์ของการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกันนำต้นสเปียร์มินต์มาวิเคราะห์การเจริญเติบโต โดยความสูงของต้น จำนวนใบ ความยาวใบ ความหนาของลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง พบว่าอัตราส่วนสูงสุดของชีวมวลรากอยู่ที่ 250 มก./ลิตร เนื่องจากการทดลองนั้นมีน้ำหนักสดของรากที่ต่ำ ไม่มีความแตกต่างสำหรับความสูงของพืช ความยาวใบ ความหนาของลำต้น น้ำหนักสดของชีวมวล ชีวมวลใบแห้ง และความยาวราก สอดคล้องกับรายงานของ Chrysargyris *et al.* (2017) ศึกษาต้นสเปียร์มินต์ (*Mentha spicata* L.) ในการตอบสนองต่อปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกันในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT ตรวจสอบผลของระดับไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้น 5 ระดับ ดังนี้ 150, 175, 200, 225 และ 250 มก./ลิตร ค่า pH คือ 5.8 และค่า EC คือ 2.1 mS/cm หลังจาก 5 สัปดาห์ นำมาวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช โดยความสูงของต้น จำนวนใบ ความหนาของลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ระดับไนโตรเจน 200 มก./ลิตร ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งชีวมวลของพืชสูงซึ่งทำให้การเก็บเกี่ยวทำได้ง่ายขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างของความหนาลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักราก และความยาวรากของต้นสเปียร์มินต์

จากการรวบรวมข้อมูลผลของสารประกอบไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ พบว่า การเพิ่มสารประกอบไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในบางส่วนของพืช (ตารางที่ 2.2) สามารถกระตุ้นการเกิดราก ซึ่งทำให้การดูดซึมของรากเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และยังช่วยเพิ่มความสามารถของพืชในการดูดซับไอออนจากสารละลายธาตุอาหารอื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมสารประกอบไนโตรเจนต่างๆ ให้เพียงพอเพื่อให้พืชแต่ละชนิดได้รับประโยชน์อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.2 ผลของการเพิ่มสารประกอบไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ผลของ สารประกอบ ไนโตรเจน	พืช			
	ต้นโหระพา (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	ต้นลาเวนเดอร์ (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)	ต้นสเปียร์มินต์ (<i>Mentha spicata</i> L.)	ต้นเสจ (<i>Salvia officinalis</i> L.)
ความสูง	-	-	+	+
ใบ	+	-	-	+
ลำต้น	ND	-	-	ND
ราก	+	+	-	+
ปริมาณ	5 โมล/ลบ.ม.	200 มก./ลิตร	200 มก./ลิตร	14.6 มิลลิโมลาร์
อ้างอิง	Kiferle <i>et al.</i> (2013)	Chrysargyris <i>et al.</i> (2016)	Chrysargyris <i>et al.</i> (2017)	Khammar <i>et al.</i> (2021)

หมายเหตุ: + แสดงถึงส่งผล, - แสดงถึงไม่ส่งผล และND แสดงถึงไม่มีข้อมูล

2.4.2 ผลของสารประกอบไนโตรเจนต่อสารพฤกษเคมีของพืช

การเพาะเลี้ยงพืชแบบไร้ดินสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์สารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิได้ โดยการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร (Kiferle *et al.*, 2013) ซึ่งสารพฤกษเคมีเป็นสารกลุ่มใหญ่ที่พบได้ในพืชสมุนไพร เช่น สารประกอบฟีนอลิกเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากวัสดุจากพืชที่มีฟีนอลสูงสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของเนื้อเยื่อ โดยการต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน ดังนั้นสารที่มีระดับฟีนอลสูงจึงมีความสามารถในการป้องกันความเสียหายของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากอนุมูลอิสระ (Chrysargyris *et al.*, 2017) โดยมีรายงานของ Khammar *et al.* (2021) ศึกษาองค์ประกอบของต้นเสจ (*Salvia officinalis* L.) ที่ปลูกในระดับไนโตรเจนที่แตกต่างกันในระบบปลูกพืชไร้ดินมีการตอบสนองต่อระดับไนโตรเจน โดยจะเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงซึ่งทำให้เกิดการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสารทุติยภูมิ ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สารประกอบฟีนอลทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในต้นเสจดีขึ้นเช่นกัน ซึ่งไนโตรเจนเกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ในการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ไนโตรเจนเป็นปัจจัยองค์ประกอบที่สำคัญ และอาจเชื่อมโยงได้ว่าไนโตรเจนเป็นหนึ่งในองค์ประกอบเม็ดสีของคลอโรฟิลล์เป็นโครงสร้างโมเลกุลโพรไพริน (Prophyrin) สอดคล้องกับ Chrysargyris *et al.* (2016) ศึกษาระดับไนโตรเจนที่ส่งผลต่อการต้านอนุมูลของต้นลาเวนเดอร์ (*Lavandula angustifolia* Mill.) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจน ส่งผลต่อการต้านอนุมูลอิสระของต้นลาเวนเดอร์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ได้แก่ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และFRAP ที่ความเข้มข้นมากกว่า 200 มก./ลิตร โดยผลของไนโตรเจนสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ อีกหนึ่งรายงานของ Kiferle *et al.* (2013) ศึกษาผลของธาตุอาหารไนโตรเจนต่อต้นโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) พบว่าปริมาณการสะสมของกรดโรสมารินิก (Rosmarinic acid) ซึ่งเป็นฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenylpropanoid) ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยแอมโมเนียมอาจเปลี่ยนแปลงค่า pH ภายในเซลล์และอาจส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์หลายอย่าง รวมถึงกระบวนการสังเคราะห์ฟีนิลโพรพานอยด์ การผลิตสารชีวมวลของกรดโรสมารินิกสะสมมากในส่วนยอดใบ และรากของใบโหระพา ซึ่งได้รับอิทธิพลอย่างมากจากธาตุอาหารไนโตรเจน จากระดับความเข้มข้นที่ 0.5 โมล/ลบ.ม. ซึ่งการสะสมกรดโรสมารินิกมีความสัมพันธ์กับการสะสมของเมตาโบไลต์ทุติยภูมิในส่วนยอดใบอาจเกิดจากการป้องกันความเครียดจากสิ่งมีชีวิต เนื่องด้วยกรดโรสมารินิกมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย และต้านไวรัส ซึ่งยอดใบมีโครงสร้างที่อ่อนมีปริมาณน้ำตาล และโปรตีนสูง ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงต่อศัตรูพืช และเชื้อโรคต่างๆมากกว่าใบแก่ ต่อมารายงานของ Chrysargyris *et al.* (2017) ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระของต้นสเปียร์มินต์ (*Mentha spicata* L.) ในการตอบสนองต่อปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกันในระบบปลูกพืชไร้ดิน ระดับไนโตรเจนไม่ได้เปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอล และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระDPPH และ FRAP ให้สูงขึ้น ในขณะที่ไนโตรเจนความเข้มข้น 175 และ 250 มก./ลิตร ส่งผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์

จากการรวบรวมข้อมูลผลของสารประกอบไนโตรเจนต่อสารพฤกษเคมีของพืชชนิดต่างๆ พบว่า การเพิ่มสารประกอบไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสารพฤกษเคมี(ตารางที่ 2.3) ดังนั้นไนโตรเจนถือเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืช ซึ่งมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์หลายชนิด

ตารางที่ 2.3 ผลของการเพิ่มสารประกอบไนโตรเจนต่อสารพฤกษเคมีของพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ผลของ สารประกอบ ไนโตรเจน	พืช			
	ต้นโหระพา (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	ต้นลาเวนเดอร์ (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)	ต้นสเปียร์มินต์ (<i>Mentha spicata</i> L.)	ต้นเสจ (<i>Salvia officinalis</i> L.)
ฟีนอล	ND	+	-	+
ฟลาโวนอยด์	ND	+	+	ND
DPPH	ND	+	-	+
FRAP	ND	+	-	ND
กรดโรสมารินิก	+	ND	ND	ND
ปริมาณ	5 โมล/ลบ.ม.	200 มก./ลิตร	200 มก./ลิตร	14.6 มิลลิโมลาร์
อ้างอิง	Kiferle <i>et al.</i> (2013)	Chrysargyris <i>et al.</i> (2016)	Chrysargyris <i>et al.</i> (2017)	Khammar <i>et al.</i> (2021)

หมายเหตุ: + แสดงถึงส่งผล, - แสดงถึงไม่ส่งผล และND แสดงถึงไม่มีข้อมูล

2.4.3 ผลของสารประกอบแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช

แมกนีเซียม (Mg) ถือเป็นสารอาหารหลักสำหรับพืช เป็นองค์ประกอบสำคัญของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ เนื่องจากเป็นอะตอมกลางของโมเลกุลคลอโรฟิลล์แมกนีเซียมจึงมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืช (Xuan *et al.*, 2022) นอกจากนี้ยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงมีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลภายในพืช รวมทั้งการสร้างน้ำมันในพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) ในกรณีที่พืชได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอจะแสดงอาการเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบ ขอบใบแก่จะมีสีเหลือง แต่เส้นใบเป็นสีเขียวปกติ (Interveinal chlorosis) อาการดังกล่าวจะเกิดจากปลาย และขอบใบแล้วจะลุกลามไปยังกลาง และโคนใบ ใบจะหักเปราะง่ายร่วงก่อนกำหนด แต่ในกรณีที่พืชได้รับแมกนีเซียมมากเกินไปจะมีผลต่อการดูดใช้โพแทสเซียม และแคลเซียม (ดิเรก ทองอร่าม, 2546 ; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) โดยมีรายงานของ Paulus *et al.* (2022) ศึกษาผลของธาตุอาหารแมกนีเซียมซัลเฟตต่อการเจริญเติบโตในต้นหอมจีน (*Alium schoenoprasum*) ที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ NFT ซึ่งมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันคือ 0.40, 0.42, 0.44, 0.46 และ 0.48 กรัม/ลิตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแมกนีเซียมซัลเฟตส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นหอมจีน โดยให้จำนวนใบ และคุณภาพการมองเห็นของใบสูงขึ้น เมื่อเทียบกับปริมาณแมกนีเซียมที่ต่ำกว่า คุณภาพ และจำนวนใบเป็นตัวแปรสำคัญในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ในแง่นี้จำนวนใบต่อต้นทำให้ได้ข้อที่ใหญ่ขึ้น สามารถดึงดูดผู้ซื้อ ความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 0.48 กรัม/ลิตร โดยคุณภาพการมองเห็นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลายธาตุอาหารทำให้พืชมีสีเขียวเพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และการสังเคราะห์แสง เนื่องจากทำหน้าที่ในเนื้อเยื่อพืช ทำให้เกิดการปรับปรุงการมองเห็น (ใบสีเขียว) ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปสู่ความน่าดึงดูดในการบริโภคผัก เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับความเข้มของสีเขียว และคุณค่าทางโภชนาการ สอดคล้องกับ Zhang *et al.* (2023) ศึกษาผลของแมกนีเซียมในต้นชา (*Camellia sinensis*) ที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดิน โดยระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่แตกต่างกันคือ 0, 0.4 และ 0.8 มิลลิโมล/ลิตร ผลการทดลองพบว่าแมกนีเซียม 0.4 มิลลิโมล/ลิตร สามารถส่งผลต่อผลผลิตใบชาเพิ่มขึ้น โดยส่งผลในการสังเคราะห์แสง เนื่องจากแมกนีเซียมอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์ DNA และ RNA ซึ่งแมกนีเซียมเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ถ้าเกิดการขาดแมกนีเซียมจะส่งผลให้ความสามารถในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งสามารถส่งผลต่อผลผลิตที่ลดลง และการควบคุมแมกนีเซียมอย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการเจริญเติบโตของพืชมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช อีกหนึ่งรายงานของ Akter *et al.* (2023) ศึกษาการเจริญเติบโตของผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica*) ในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ NFT โดยเพิ่มธาตุอาหารแมกนีเซียมซัลเฟต แบ่งออกเป็นในสารละลายธาตุอาหาร (373 กก./เฮกตาร์) และการฉีดพ่นทางใบ (5 กรัม/มล.) พบว่าแมกนีเซียมซัลเฟตสามารถเพิ่มผลผลิตของผักบุ้งได้ และมีคุณภาพดีขึ้น โดยการฉีดพ่นทางใบได้ผลดี ได้แก่

น้ำหนักใบ ความสูง ความยาวราก และผลผลิต เนื่องจากการฉีดพ่นทางใบลงบนใบ และลำต้นโดยตรง จึงอาจมีผลในเชิงบวกมากกว่าการใช้แค่สารละลายธาตุอาหาร ซึ่งต้องอาศัยรากในการส่งแร่ธาตุไปยังส่วนอื่นๆของพืช สอดคล้องกับ Xuan *et al.* (2022) ศึกษาการปรับปรุงความทนต่อดินเค็มในต้นข้าว (*Oryza sativa* L.) โดยการเสริมแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ จากการฉีดพ่นทางใบในระยะการเจริญเติบโต และการสืบทอดยังช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวภายใต้ดินเค็ม แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารหลักของพืช พืชต้องการแมกนีเซียมจำนวนมากสำหรับส่วนประกอบทางโครงสร้างที่สำคัญ โดยแมกนีเซียมในใบ 75 % เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และ 15-20 % ของแมกนีเซียมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเม็ดสโตลโรฟิลล์

จากการรวบรวมข้อมูลผลของสารประกอบแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ พบว่า การเพิ่มสารประกอบแมกนีเซียมเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ 2.4) สามารถกระตุ้นการสังเคราะห์แสง และมีศักยภาพอย่างมากในการเพิ่มผลผลิตพืช ดังนั้นการควบคุมสารประกอบแมกนีเซียมอย่างเพียงพอมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 2.4 ผลของการเพิ่มสารประกอบแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบปลูกพืชไร่ดิน

ผลของ สารประกอบ แมกนีเซียม	พืช			ใบชา (<i>Camellia sinensis</i>)
	ต้นหอมจีน (<i>Alium schoenoprasum</i>)	ต้นข้าว (<i>Oryza sativa</i> L.)	ผักบุ้ง (<i>Ipomoea aquatica</i>)	
ความสูง	+	+	+	ND
ใบ	+	ND	+	+
ลำต้น	+	ND	+	ND
ราก	ND	+	+	ND
น้ำหนัก	+	+	+	+
ปริมาณ	0.48 กรัม/ลิตร	0.5 มิลลิโมลาร์	5 กรัม/มล.	0.4 มิลลิโมล/ลิตร
อ้างอิง	Paulus <i>et al.</i> (2022)	Xuan <i>et al.</i> (2022)	Akter <i>et al.</i> (2023)	Zhang <i>et al.</i> (2023)

หมายเหตุ: + แสดงถึงส่งผล, - แสดงถึงไม่ส่งผล และND แสดงถึงไม่มีข้อมูล

2.4.4 ผลของสารประกอบแมกนีเซียมต่อสารพฤษเคมีของพืช

แมกนีเซียมยังเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด และการรักษาเสถียรภาพโครงสร้างของเนื้อเยื่อ เนื่องจากเป็นสารเมตาโบไลต์เฉพาะทางของพืช (Xuan *et al.*, 2022) ซึ่งการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตมีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และชีวเคมีของพืช เนื่องจากกระตุ้นเอนไซม์ส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีน และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต เพิ่มการดูดซึมสารอาหาร การถ่ายโอนพลังงาน และการงอกของเมล็ด (Akter *et al.*, 2023) พบรายงานของ

Paulus *et al.* (2022) ศึกษาผลของธาตุอาหารแมกนีเซียมซัลเฟตต่อสารประกอบฟีนอลิกในต้นหอมจีน (*Alium schoenoprasum*) ที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดิน ซึ่งความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในต้นหอมจีน โดยความเข้มข้น 0.48 กรัม/ลิตร ส่งผลต่อสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น 50.6 % อาจเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของเมตาบอลิซึมของพืชเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมอื่นๆ แมกนีเซียมที่ความเข้มข้นสูงกว่าอาจจะสนับสนุนการผลิตโฟโตแอสซิมิเลต (Photoassimilates) เพิ่มขึ้น ทำให้ได้สารตั้งต้น และน้ำตาลในปริมาณที่มากขึ้นสำหรับเมตาโบไลต์ทุติยภูมิ นอกจากนี้แมกนีเซียมยังกระตุ้นการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกอาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลอะลานีน แอมโมเนีย ไลเอส (Phenylalanine ammonia lyase; PAL) เป็นเอนไซม์ในพืชที่ควบคุมการก่อให้เกิดการสังเคราะห์ของสารประกอบฟีนอลิก สอดคล้องกับ Xuan *et al.* (2022) ศึกษาการปรับปรุงความทนต่อดินเค็มในต้นข้าว (*Oryza sativa* L.) โดยการเสริมแมกนีเซียมซัลเฟตจากการฉีดพ่น พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์เมตาโบไลต์ทุติยภูมิ โดยต้านอนุมูลอิสระได้เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิก และปริมาณฟลาโวนอยด์ของต้นกล้าข้าวภายใต้ดินเค็ม จากแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ซึ่งการกระตุ้นการสังเคราะห์ทางชีวภาพที่กระตุ้นการสังเคราะห์กรดฟีนอลิกเป็นสาเหตุหนึ่งของระบบต้านอนุมูลอิสระของพืชที่กระตุ้นการสะสมของกรดฟีนอลิกจากภายนอกถูกกำหนดให้เป็นกลไกในการทนของพืชต่อความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตในพืชหลายชนิดรวมทั้งต้นข้าว จากการควบคุมยีนที่สำคัญอย่าง PAL และชาลโคน ซินเทส (Chalcone synthase; CHS) การสังเคราะห์ฟีนอลิกจะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นข้าวทนต่อความเครียดจากสิ่งมีชีวิตได้ดีขึ้น รวมถึงความเค็ม เช่นเดียวกันกับรายงานของ Zhang *et al.* (2023) ศึกษาผลของแมกนีเซียมในใบชาที่ปลูกในระบบไร้ดิน ผลการทดลองพบว่าแมกนีเซียมส่งผลกระทบบต่อความสามารถในการสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์สารทุติยภูมิของต้นชา ได้แก่ คลอโรฟิลล์ โพลีฟีนอล และฟลาโวนอยด์ โดยมีแนวโน้มเพิ่มตามความเข้มข้นของแมกนีเซียม

จากการรวบรวมข้อมูลผลของสารประกอบแมกนีเซียมต่อสารพิษเคมีของพืชชนิดต่างๆ พบว่า การเพิ่มสารประกอบแมกนีเซียมเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสารพิษเคมี (ตารางที่ 2.5) สามารถเพิ่มการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสารทุติยภูมิ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทำให้พืชแสดงความเข้มข้นของสีเขียว ดังนั้นแมกนีเซียมถือเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืช ซึ่งมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์หลายชนิด

ตารางที่ 2.5 ผลของการเพิ่มสารประกอบแมกนีเซียมต่อสารพิษเคมีของพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ผลของสารประกอบ แมกนีเซียม	พืช		
	ต้นหอมจีน (<i>Allium schoenoprasum</i>)	ต้นข้าว (<i>Oryza sativa</i> L.)	ใบชา (<i>Camellia sinensis</i>)
ฟีนอล	+	+	+
ฟลาโวนอยด์	ND	+	+
คลอโรฟิลล์	+	ND	+
DPPH	ND	+	ND
ABTS	ND	+	ND
ปริมาณ	0.48 กรัม/ลิตร	0.5 มิลลิโมลาร์	0.4 มิลลิโมล/ลิตร
อ้างอิง	Paulus <i>et al.</i> (2022)	Xuan <i>et al.</i> (2022)	Zhang <i>et al.</i> (2023)

หมายเหตุ: + แสดงถึงส่งผล, - แสดงถึงไม่ส่งผล และ ND แสดงถึงไม่มีข้อมูล

2.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และสารพิษเคมีของพรมมิ

สิ่งสำคัญในการปลูกพืชด้วยระบบปลูกพืชไร้ดินคือการจัดการสารละลายธาตุอาหาร โดยการควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งแสดงถึงปริมาณความเข้มข้น ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณการแตกตัวของไอออนในสารละลายธาตุอาหาร โดยทั่วไปเมื่อพืชยังเล็กจะมีความต้องการค่า EC ที่ต่ำ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีความเจริญเติบโตที่มากขึ้น พืชแต่ละชนิดมีความต้องการความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารแตกต่างกัน โดยทั่วไปค่า EC ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5-2.0 mS/cm (นงนุช เลหาะวิสุทธิ์ และคณะ, 2556) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมค่า EC ในสารละลายธาตุอาหารเพื่อให้ทราบว่ามีปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในสารละลายมีปริมาณมากเพียงพอตามที่พืชต้องการ (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) เช่นเดียวกับการควบคุมค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารเกี่ยวข้องกับประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชจะนำไปใช้ เนื่องจากรากพืชจะดูดซึมธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าความเป็นไอออนของธาตุอาหารในรูปที่แตกต่างกัน เมื่อค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารสูง หรือต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดการตกตะกอน หรืออยู่ในรูปสารแขวนลอย ธาตุอาหารเหล่านั้นพืชจะไม่สามารถนำไปใช้ได้ โดยค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมควรมีค่าเป็นกลางๆ อยู่ระหว่าง 6.5-7.5 (นงนุช เลหาะวิสุทธิ์ และคณะ, 2556) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมปรับค่า pH ในสารละลายธาตุอาหารเพื่อให้รากพืชสามารถดูดซึมแร่ธาตุที่อยู่ในสารละลายได้ดี (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) พบรายงานของอัจฉรี เรืองเดช และนงนุช เลหาะวิสุทธิ์ (2555) ศึกษาผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต และการต้านอนุมูลอิสระของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT โดยสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่ระดับค่า EC แตกต่างกันได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mS/cm โดยระดับค่า pH ที่ 6.5-7.5 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยพรมมิที่

เลี้ยงในสายละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 0.5 mS/cm แสดงปริมาณสูงสุด ได้แก่ ความสูง 21.68 เซนติเมตร น้ำหนักสด 6.66 กรัม/ต้น ปริมาณฟีนอลทั้งหมด 30.77 $\mu\text{gGAE/g}$ ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH 54.93 % และค่าคลอโรฟิลล์รวม 34.50 SPAD unit แสดงถึงการเพาะเลี้ยงพรมมิเพื่อให้สารพฤกษเคมีสูงควรใช้ปริมาณธาตุอาหารน้อย และตัวทำละลายเอทานอลจะให้ปริมาณสารสกัดหายบสูงสุด ซึ่งแตกต่างกับรายงานของชุตีพร มณีพลาย (2561) ศึกษาการเจริญเติบโตของพรมมิที่เหมาะสม ภายใต้ระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT โดยสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ที่ระดับค่า EC แตกต่างกันได้แก่ 1.0, 1.5 และ 2.0 mS/cm เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยพรมมิที่เลี้ยงในสายละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 mS/cm แสดงปริมาณสูงสุด ได้แก่ น้ำหนักสด 107.16 กรัม/ต้น น้ำหนักแห้ง 8.63 กรัม/ต้น ความยาวต้น 150.40 เซนติเมตร จำนวนยอด 43.42 ยอด/ต้น จำนวนใบ 1090.60 ใบ/ต้น พื้นที่ใบ 802.71 ตารางเซนติเมตร/ต้น และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์รวม 6.42 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด และแคโรทีนอยด์ 2.05 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด จากนั้นศึกษาระดับค่า pH แตกต่างกันได้แก่ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยพรมมิที่เลี้ยงในสายละลายที่มีค่า pH 6.5 แสดงปริมาณสูงสุด ได้แก่ น้ำหนักสด 92.18 กรัม/ต้น น้ำหนักแห้ง 6.11 กรัม/ต้น ความยาวต้น 130.27 เซนติเมตร จำนวนยอด 47.09 ยอด/ต้น จำนวนใบ 993.09 ใบ/ต้น พื้นที่ใบ 818.43 ตารางเซนติเมตร/ต้น และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์รวม 8.02 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด และแคโรทีนอยด์ 2.25 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด สามารถสรุปได้ว่าพรมมิที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT ที่ระดับค่า EC 1.5 mS/cm และ pH 6.5 ส่งผลต่อการเจริญเติบโตสูงสุด จากนั้นนำค่าที่ได้ศึกษาระยะเวลาเก็บเกี่ยว ได้แก่ 2, 4 และ 6 สัปดาห์ ต่อปริมาณการสะสมสาร Bacoside A โดยเทคนิค HPLC พบว่าพรมมิที่เลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์มีปริมาณการสะสมสารสูงสุด ได้แก่ 166.50 มก./ต้น

สารละลายธาตุอาหารเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีจากการได้รับสารละลายธาตุอาหาร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ที่มาจากการละลายของปุ๋ยเคมี หรือสารเคมีในน้ำที่ให้ธาตุอาหารเพื่อทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน โดยที่ธาตุอาหารจะถูกนำไปใช้สำหรับกระบวนการสร้างสารอาหาร พบรายงานของปิยธิดา อุณหคงคา (2563) ศึกษาการเจริญเติบโต และสารต้านอนุมูลอิสระของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT โดยสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ในระดับความเข้มข้นโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) แตกต่างกันได้แก่ 3.40, 3.90, 4.40, 4.90 และ 5.40 mEq/L ที่ระดับค่า EC 1.5 mS/cm และ pH 6.5-7 เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยระดับความเข้มข้น 3.4 mEq/L แสดงปริมาณสูงสุด ได้แก่ น้ำหนักสด 11.26 กรัม/ต้น น้ำหนักแห้ง 0.76 กรัม/ต้น ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (ตัวทำละลายน้ำกลั่น) 10.22 mgGAE/g ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล) 60.75 mgQE/g ปริมาณซาโปนินทั้งหมด (ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล) 1154.07 mgSaponin/g ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ตัวทำละลายน้ำกลั่น) 53.67 % และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (ตัวทำละลายน้ำกลั่น) 95.63 % อีกทั้งยังศึกษาเช่นเดียวกันในระดับความเข้มข้นโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) แตกต่างกันได้แก่ 0, 0.5, 1 และ 1.5 mEq/L โดย

ระดับความเข้มข้น 1.5 mEq/L แสดงปริมาณสูงสุด ได้แก่ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (ตัวทำละลายน้ำกลั่น) 9.36 mgGAE/g ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (ตัวทำละลายน้ำกลั่น) 35.88 mgQE/g ปริมาณซาโปนินทั้งหมด (ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล) 1017.73 mgSaponin/g ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ตัวทำละลายน้ำกลั่น) 19.83 % และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (ตัวทำละลายน้ำกลั่น) 96.60 % อีกหนึ่งรายงานของศศิธร พินภริมย์ (2563) ศึกษาการเจริญเติบโตในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT โดยสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของฟอสฟอรัส (P) ได้แก่ ลดปริมาณฟอสฟอรัสลง ½ เท่า (½ P), ชุดควบคุม (P) และเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสขึ้น 2 เท่า (2 P) ค่า EC 1.5 mS/cm และ pH 6.5-7 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยอัตราส่วน P แสดงปริมาณสูงสุด ได้แก่ จำนวนกิ่ง 29.40 กิ่ง/ต้น น้ำหนักสด 10.40 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้ง 710 มิลลิกรัม/ต้น สามารถสรุปได้ว่าการปลูกพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินสามารถช่วยให้พืชดูดซึมธาตุอาหารได้อย่างเต็มที่ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้เร็ว และสามารถผลิตสารพฤกษเคมีได้ดีขึ้น จากการควบคุมองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของพรมมิต่อการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตยา และอาหารเสริมตอบสนองความต้องการของตลาดในอนาคต



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พรรณไม้

พรรณไม้พรมมิ (*Bacopa monnieri*) ต้นพันธุ์ได้รับจากกองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด

3.2 อุปกรณ์ และสารเคมี

3.2.1 การเลี้ยงพรรณไม้พรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

3.2.1.1 อุปกรณ์ในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (DFT) ได้แก่ ถ้วยปลูกพืช และพยาง้ำต้นด้วยฟองน้ำ ปลูกลงในรางปลูกแบบ DFT ความยาว 1 เมตร รางด้านบนเจาะช่องปลูก รางละ 12 ช่องปลูก โดยแต่ละการทดลองใช้รางจำนวน 16 ราง พร้อมถังใส่สารละลายธาตุอาหาร ปริมาตร 10 ลิตร จำนวน 16 ถัง และใส่ปั้มน้ำ AP1200 กำลัง 600 L/h จำนวน 1 เครื่อง/ราง ปรับสารละลายธาตุอาหาร โดยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH meter) และเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC meter)

3.2.1.2 อุปกรณ์สำหรับการอบแห้ง ได้แก่ เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง, พอยล์อลูมิเนียม และตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.2.1.3 สารเคมี ได้แก่ สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2, แอมโมเนียมไนเตรท, แมกนีเซียมซัลเฟต, 10 % กรดไนตริก (10 % HNO₃) และ 10 % โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10 % KOH)

3.2.2 การวิเคราะห์สารพฤกษเคมีของพรรณไม้พรมมิ

3.2.2.1 การสกัดพรรณไม้พรมมิ

(1) อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องปั่นสแตนเลส, เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง, ขวดรูปชมพู ขนาด 50 มิลลิลิตร, กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร, พอยล์อลูมิเนียม, กรวยแก้ว, กระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) และขวดสีชา

(2) สารเคมี ได้แก่ น้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

3.2.2.2 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total Phenolic Content; TPC)

(1) อุปกรณ์ ได้แก่ ตะแกรงวางหลอดทดลอง ขนาด 5x10 ช่อง, หลอดทดลอง ขนาด 10 มิลลิลิตร, ขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร, ไมโครปิเปต ขนาด 100 และ 1000 ไมโครลิตร, เครื่องผสมสารละลาย, เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง และคิวเวตแก้ว

(2) สารเคมี ได้แก่ น้ำกลั่น, โฟลินซิโอแคลตู (Folin-ciocalteu reagent), 7 % โซเดียมคาร์บอเนต (7 % Na₂CO₃) และกรดแกลลิก (Gallic acid; GAE)

3.2.2.3 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoid Content; TFC)

(1) อุปกรณ์ ได้แก่ ตะแกรงวางหลอดทดลอง ขนาด 5x10 ช่อง, หลอดทดลอง ขนาด 10 มิลลิลิตร, ขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร, ไมโครปิเปต ขนาด 100 และ 1000 ไมโครลิตร, เครื่องผสมสารละลาย, เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง และคิเวตแก้ว

(2) สารเคมี ได้แก่ น้ำกลั่น, 10 % อะลูมิเนียมคลอไรด์ (10 % $AlCl_3$), 1 M โพแทสเซียมอะซิเตท (1 M CH_3CO_2K) และเคอเวอซิทีน (Quercetin; QE)

3.2.2.4 ปริมาณซาโปนินทั้งหมด (Total Saponin Content; TSC)

(1) อุปกรณ์ ได้แก่ ตะแกรงวางหลอดทดลอง ขนาด 5x10 ช่อง, หลอดทดลอง ขนาด 10 มิลลิลิตร, ขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร, ไมโครปิเปต ขนาด 100 และ 1000 ไมโครลิตร, เครื่องผสมสารละลาย, อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ, เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง และ คิเวตแก้ว

(2) สารเคมี ได้แก่ น้ำกลั่น, 5 % วานิลลิน (5 % Vanillin), 70 % กรดเปอร์คลอริก (70 % Perchloric acid reagent), กรดแอซติก (Acetic acid reagent) และซาโปนิน (Saponin)

3.2.2.5 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

(1) อุปกรณ์ ได้แก่ ตะแกรงวางหลอดทดลอง ขนาด 5x10 ช่อง, หลอดทดลอง ขนาด 10 มิลลิลิตร, ไมโครปิเปต ขนาด 100 ไมโครลิตร และ 10 มิลลิลิตร, เครื่องผสมสารละลาย, เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง และคิเวตแก้ว

(2) สารเคมี ได้แก่ 0.002 % DPPH และ 95 % เอทานอล

3.2.2.6 ประสิทธิภาพต้านอนุมูลอิสระ 2, 2'-azinobis-[3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid] (ABTS)

(1) อุปกรณ์ ได้แก่ ตะแกรงวางหลอดทดลอง ขนาด 5x10 ช่อง, หลอดทดลอง ขนาด 10 มิลลิลิตร, กระจกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร, ไมโครปิเปต ขนาด 1000 ไมโครลิตร และ 10 มิลลิลิตร, เครื่องผสมสารละลาย, เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง และคิเวตแก้ว

(2) สารเคมี ได้แก่ น้ำกลั่น, 7mM ABTS, 140 mM โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (140 mM $K_2S_2O_8$) และ 99 % เอทานอล

3.3 แผนผังการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่ถูกเพิ่มลงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 หลังจากนั้นนำความเข้มข้นที่เหมาะสมไปศึกษาต่อในผลของแมกนีเซียมซัลเฟตที่ถูกเพิ่มระดับในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ในระบบปลูกพืชไร้ดินเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังการทดลองเรื่องผลการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท และแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

3.4 วิธีดำเนินการ

3.4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤษเคมีของพรรณไม้ น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยศึกษาการเพิ่มระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 (ตารางที่ 3.1) ในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ถ้วยปลูก ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่ไม่เพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L
- ชุดการทดลองที่ 3 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท 1 mEq/L
- ชุดการทดลองที่ 4 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพิ่มแอมโมเนียมไนเตรท 2 mEq/L

3.4.1.1 นำพรรณไม้ น้ำพรมมิ มาคัดเลือกเฉพาะส่วนยอดของลำต้นให้มีความยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร ตัดราก และกิ่งออก จากนั้นปลูกพรมมิ 2 กิ่ง/ถ้วยปลูก พยุงลำต้นด้วยฟองน้ำ และนำไปอนุบาลแช่น้ำในกล่องระบบปิด 7 วัน

3.4.1.2 หลังจากนั้นย้ายถ้วยปลูกพรมมิลงปลูกบนรางในระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT โดยให้สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทแตกต่างกัน ปรับสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า pH อยู่ที่ 6.5-7.0 และปรับค่า EC อยู่ที่ 1.50 mS/cm โดยมีการปรับค่า EC ทุกๆสองวัน เริ่มจาก 0.5 ไปจนถึง 1.50 mS/cm ควบคุมแอมโมเนียมไนเตรทในสูตรสารละลายธาตุอาหารให้มีความคงที่ โดยการวัดค่า EC และ pH ทุก 2 วัน เมื่อครบ 1 สัปดาห์ จะถ่ายเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่เข้าไปทดแทน 2 ใน 3 ของความจุถังใส่สารละลาย ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ และก่อนการทดลองนำต้นพรมมิมาชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำพรมมิที่อบแห้งแล้วมาทำการชั่งน้ำหนักแห้ง

3.4.1.3 เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำพรรณไม้ น้ำพรมมิทุกชุดการทดลองมาทำการชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำพรมมิที่อบแห้งแล้วมาทำการชั่งน้ำหนักแห้ง

3.4.1.4 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของพรรณไม้ น้ำพรมมิทุก 2 สัปดาห์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ของการทดลอง ดังนี้

- (1) ความยาวต้น โดยใช้ไม้บรรทัดวัดจากส่วนของลำต้นที่เหนือจากวัสดุปลูกไปจนถึงส่วนยอดของต้นหลักพรมมิ
- (2) จำนวนกิ่ง นับจำนวนกิ่งทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากต้นหลักพรมมิ
- (3) จำนวนข้อ นับจำนวนข้อทั้งหมดที่เกิดขึ้นบริเวณลำต้นของต้นหลักพรมมิ

(4) ความยาวราก โดยใช้ไม้บรรทัดวัดความยาวจากโคนรากของต้นหลักพรมมิ (สัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8)

(5) เก็บพรมมิทั้งต้นรวมราก นำมาชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบแห้งสำหรับชั่งน้ำหนักแห้ง (สัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8)

ตารางที่ 3.1 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เพิ่มแอมโมเนียมไนเตรทในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ในการทดลอง)

สารเคมี	NH ₄ NO ₃ (mEq/L)			
	0 (ชุดควบคุม)	0.5	1	2
สารละลาย A				
(Ca(NO ₃) ₂ • 4H ₂ O (kg)	3.767	3.767	3.767	3.767
Fe-EDDHA (kg)	0.303	0.303	0.303	0.303
NH ₄ NO ₃ (g)	0	80	160	320
สารละลาย B				
KNO ₃ (kg)	1.796	1.796	1.796	1.796
KH ₂ PO ₄ (kg)	0.653	0.653	0.653	0.653
MgSO ₄ • 7H ₂ O (kg)	1.037	1.037	1.037	1.037
ZnSO ₄ (g)	4.756	4.756	4.756	4.756
CuSO ₄ • 5H ₂ O (g)	1.016	1.016	1.016	1.016
MnSO ₄ • H ₂ O (g)	14.194	14.194	14.194	14.194
H ₃ BO ₃ (g)	8.894	8.894	8.894	8.894
(NH ₄) ₂ MoO ₄ (g)	0.343	0.343	0.343	0.343
NH ₄ NO ₃ (g)	0	80	160	320
% (mEq) K : Ca : Mg	36.2 : 50.3 : 13.5			

หมายเหตุ: mEq = milliequivalents

3.4.1.5 สารพฤษเคมี

(1) ขั้นตอนการสกัดพรมมิให้น้ำพรมมิ นำพรมมิที่อบแห้งจากการเก็บในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8 มาบั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นสแตนเลส เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์สารพฤษเคมี และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณ 0.20 กรัม มาสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยแช่เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้

ในอุณหภูมิห้อง เมื่อครบระยะเวลา นำมารองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 พร้อมทั้งปรับปริมาตรให้ครบ 20 มิลลิลิตร เก็บรักษาสารสกัดพรมมิในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 °C (ดัดแปลงจาก Chang *et al.*, 2002)

(2) การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี

(2.1) ปริมาณฟีนอลทั้งหมด นำตัวอย่างสารสกัดพรมมิ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม Folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นเติม 7 % NaCO₃ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และผสมน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 90 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (mgGAE/g) (Shirazi *et al.*, 2014)

(2.2) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด นำตัวอย่างสารสกัดพรมมิ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติม 10 % AlCl₃ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติม 1 M CH₃CO₂K ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 2.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับสารละลายมาตรฐานควอซิทิน (mgQE/g) (Karimi *et al.*, 2022)

(2.3) ปริมาณซาโปนินทั้งหมด นำตัวอย่างสารสกัดพรมมิ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติม 5 % Vanillin ปริมาตร 200 ไมโครลิตร และเติม 70 % Perchloric acid ปริมาตร 800 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำหลอดทดลองไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 70 °C ทิ้งไว้ 15 นาที นำออกมาแช่ในอ่างน้ำแข็ง 30 วินาที เติม Acetic acid 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับสารละลายมาตรฐานซาโปนิน (mgSaponin/g) (ดัดแปลงจาก สุภัทรา ขบวนการ และปวีณา สาลีทอง, 2565)

(3) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ

(3.1) การวิเคราะห์โดยวิธี DPPH ของ Shirazi *et al.* (2014) โดยเตรียม 0.002 % DPPH ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 15 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (หลอดควบคุม) จากนั้นนำตัวอย่างสารสกัดพรมมิ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติม 0.002 % DPPH ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 15 นาที ต่อมาจึงนำสารละลายที่ได้มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง และนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสูตร

$$\text{DPPH (\% Inhibition)} = \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม} - \text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดตัวอย่าง}}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม}} \times 100$$

(3.2) การวิเคราะห์โดยวิธี ABTS ของ Leite *et al.* (2018) โดยเตรียม 7mM ABTS 5 มิลลิลิตร ร่วมกับ 140mM K₂S₂O₈ 88 ไมโครลิตร ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ตั้งทิ้งไว้ในที่มีदनาน 16 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาจึงนำสาร ABTS 2 มิลลิลิตร มาเจือจางด้วย 99 % เอทานอล ปริมาตร 150 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (หลอดควบคุม) นำตัวอย่างสารสกัด พรหมมี ปริมาตร 300 ไมโครลิตร เติมน้ำสาร ABTS ที่เจือจางแล้ว ปริมาตร 2.7 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้ว ตั้งทิ้งไว้ในที่มีदनาน 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง และนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสูตร

$$\text{ABTS (\% Inhibition)} = \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม} - \text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดตัวอย่าง}}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม}} \times 100$$

3.4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรหมมีน้ำพรหมมีในระบบปลูกพืชไร้ดิน

จากผลการทดลองที่ 1 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทที่เหมาะสม (0.5 mEq/L) ถูกนำมาศึกษาต่อโดยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 (ตารางที่ 3.2) ในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ถ้วยปลูก ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 1 (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 1.5 mEq/L
- ชุดการทดลองที่ 3 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 2 mEq/L
- ชุดการทดลองที่ 4 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 2.5 mEq/L

3.4.2.1 นำพรหมมีน้ำพรหมมีมาคัดเลือกเฉพาะส่วนยอดของลำต้นให้มีความยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร ตัดราก และกิ่งออก จากนั้นปลูกพรหมมี 2 กิ่ง/ถ้วยปลูก พยุงลำต้นด้วยฟองน้ำ และนำไปอนุบาลแช่น้ำในกล่องระบบปิด 7 วัน

3.4.2.2 หลังจากนั้นย้ายถ้วยปลูกพรหมมีลงปลูกบนรางในระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT โดยให้สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่มีความเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรทที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตแตกต่างกัน ปรับสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า pH อยู่ที่ 6.5-7.0 และปรับค่า EC ให้อยู่ที่ 1.50 mS/cm โดยมีการปรับค่า EC ทุกๆสองวัน เริ่มจาก 0.5 ไปจนถึง 1.50 mS/cm ควบคุมแมกนีเซียมซัลเฟตในสูตรสารละลายธาตุอาหารให้มีความคงที่ โดยการวัดค่า EC และ pH ทุก 2 วัน เมื่อครบ 1 สัปดาห์ จะถ่ายเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่เข้าไปทดแทน 2 ใน 3 ของความจุถังใส่สารละลาย ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ และก่อน

การทดลองนำต้นพรมมิมาซึ่งน้ำหนักสด และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำพรมมิที่อบแห้งแล้วมาทำการชั่งน้ำหนักแห้ง

3.4.2.3 เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำพรมมิไม้น้ำพรมมิทุกชุดการทดลองมาทำการชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำพรมมิที่อบแห้งแล้วมาทำการชั่งน้ำหนักแห้ง

3.4.2.4 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของพรมมิไม้น้ำพรมมิทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ของการทดลอง วิธีการเก็บข้อมูลดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อ 3.4.1.4

3.4.2.5 วิเคราะห์สารพฤกษเคมี และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8 ของการทดลอง วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อ 3.4.1.5

ตารางที่ 3.2 สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟตในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ในการทดลอง)

สารเคมี	MgSO ₄ (mEq/L)			
	1 (ชุดควบคุม)	1.5	2	2.5
สารละลาย A				
(Ca(NO ₃) ₂ • 4H ₂ O (kg)	3.767	3.767	3.767	3.767
Fe-EDDHA (kg)	0.303	0.303	0.303	0.303
NH ₄ NO ₃ (g)	80	80	80	80
สารละลาย B				
KNO ₃ (kg)	1.796	1.796	1.796	1.796
KH ₂ PO ₄ (kg)	0.653	0.653	0.653	0.653
MgSO₄ • 7H₂O (kg)	1.037	1.490	1.987	2.489
ZnSO ₄ (g)	4.756	4.756	4.756	4.756
CuSO ₄ • 5H ₂ O (g)	1.016	1.016	1.016	1.016
MnSO ₄ • H ₂ O (g)	14.194	14.194	14.194	14.194
H ₃ BO ₃ (g)	8.894	8.894	8.894	8.894
(NH ₄) ₂ MoO ₄ (g)	0.343	0.343	0.343	0.343
NH ₄ NO ₃ (g)	80	80	80	80
% (mEq/L) K:Ca:Mg	36.2:50.4:13.5	34.1:47.6:18.3	32.2:44.8:23.0	30.4:42.4:27.2

หมายเหตุ: mEq = milliequivalents

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลผลการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรหมมี มาวิเคราะห์ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความเข้มข้นของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) และเปรียบเทียบระยะเวลาการทดลองของค่าเฉลี่ยทั้งสองตัวทำละลายระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS version 16.0

3.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ และโรงเรือนเพาะเลี้ยงพรรณไม้น้ำ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการจัดการทรัพยากรทางน้ำ อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

3.7 ระยะเวลาในการทำวิจัย

มกราคม-ธันวาคม 2566



บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพิษเคมีของพรรณไม้ น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

4.1.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ น้ำพรมมิ

จากการทดลองเพิ่มระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 สามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ น้ำพรมมิ ดังนี้

4.1.1.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อความยาวต้นของพรรณไม้ น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ความยาวต้นเฉลี่ยตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เริ่มมีความแตกต่าง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความยาวต้นเฉลี่ย 35.93, 37.43, 42.82 และ 44.36 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้น 2 mEq/L มีความยาวต้นเฉลี่ยมากกว่าชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวต้น (เซนติเมตร) ของพรรณมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	NH ₄ NO ₃ (mEq/L)				p-value
	0 (ชุดควบคุม)	0.5	1	2	
0	4.76±0.09	4.61±0.15	4.54±0.14	4.37±0.14	ns
2	12.84±0.33 ^a	12.82±0.75 ^a	13.07±0.64 ^a	11.57±0.34 ^b	0.039
4	20.32±0.29	20.01±2.02	21.00±1.39	18.96±1.02	ns
6	27.62±0.60	28.25±3.48	30.97±1.22	29.78±3.25	ns
8	35.93±2.56 ^c	37.43±3.92 ^{bc}	42.83±1.71 ^{ab}	44.36±4.27 ^a	0.037

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

p-value < 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.1.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อจำนวนกิ่งของพรรณไม้น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า จำนวนกิ่งเฉลี่ยตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 เริ่มมีความแตกต่าง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนกิ่งเฉลี่ย 9.97, 15.14, 18.02 และ 16.78 กิ่ง/ต้น ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นต่างๆสามารถส่งผลให้จำนวนกิ่งเฉลี่ยเพิ่มมากกว่าชุดควบคุม ($p \leq 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนกิ่ง (กิ่ง/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	NH ₄ NO ₃ (mEq/L)				p-value
	0 (ชุดควบคุม)	0.5	1	2	
0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	ns
2	3.80±0.33	4.61±0.55	5.03±0.55	3.94±0.55	ns
4	4.61±0.40	5.36±0.56	5.63±1.05	4.36±1.23	ns
6	8.83±0.50 ^b	11.94±1.70 ^{ab}	15.41±3.17 ^a	14.74±1.66 ^a	0.014
8	9.97±0.77 ^b	15.14±1.73 ^a	18.02±3.86 ^a	16.78±3.29 ^a	0.029

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 p -value ≤ 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
 ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.1.3 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อจำนวนข้อของพรรณไม้น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนข้อเฉลี่ย 23.77, 25.53, 26.83 และ 28.39 ข้อ/ต้น ตามลำดับ โดยแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้น 2 mEq/L มีจำนวนข้อเฉลี่ยมากที่สุดซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนข้อ (ข้อ/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	NH ₄ NO ₃ (mEq/L)				p-value
	0 (ชุดควบคุม)	0.5	1	2	
0	4.26±0.04	4.25±0.14	4.16±0.08	4.19±0.04	ns
2	10.36±0.31	10.58±0.14	10.80±0.63	10.30±0.26	ns
4	14.52±0.50	14.36±0.47	14.66±0.80	14.08±0.72	ns
6	18.53±0.42	18.30±0.55	19.39±0.84	18.50±1.12	ns
8	23.77±0.17 ^d	25.53±0.31 ^c	26.83±0.22 ^b	28.39±0.48 ^a	0.000

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

p-value ≤ 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.1.4 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อความยาวรากของพรมมิไม่มีน้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความยาวรากเฉลี่ย 8.48, 8.11, 9.19 และ 9.44 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวราก (เซนติเมตร) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	NH ₄ NO ₃ (mEq/L)				p-value
	0 (ชุดควบคุม)	0.5	1	2	
0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	ns
4	8.00±0.71	7.64±0.59	8.66±0.81	8.80±1.23	ns
8	8.48±0.17	8.11±0.92	9.19±0.89	9.44±1.72	ns

หมายเหตุ: ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.1.5 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อน้ำหนักของพรมมิไม้พรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 3.92, 5.64, 7.88 และ 6.81 กรัม/ต้น ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 0.31, 0.39, 0.58 และ 0.50 กรัม/ต้น ตามลำดับ ทั้งน้ำหนักสดเฉลี่ย และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของพรมมิที่ปลูกด้วยการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรตระดับความเข้มข้นต่างๆสามารถส่งผลให้มีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าชุดควบคุม ($p \leq 0.05$) โดยที่พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เพิ่มแอมโมเนียมไนเตรต 1 และ 2 mEq/L ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

NH ₄ NO ₃ (mEq/L)	0 สัปดาห์		4 สัปดาห์		8 สัปดาห์	
	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)
0 (ชุดควบคุม)	0.14±0.00	0.006±0.00	1.50±0.46	0.15±0.05	3.92±0.69 ^b	0.31±0.05 ^c
0.5	0.14±0.00	0.006±0.00	1.54±0.14	0.11±0.00	5.64±0.55 ^{ab}	0.39±0.04 ^{bc}
1	0.14±0.00	0.006±0.00	1.93±0.22	0.14±0.01	7.88±1.93 ^a	0.58±0.11 ^a
2	0.14±0.00	0.006±0.00	1.78±0.20	0.13±0.01	6.81±0.94 ^a	0.50±0.07 ^{ab}
p-value	ns	ns	ns	ns	0.016	0.012

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

p-value ≤ 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การเจริญเติบโตของพรมมิไม้พรมมิที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันภายใต้สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ในระบบปลูกพืชไร้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรตที่ระดับ 0.5, 1 และ 2 mEq/L สามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพรมมิเพิ่มมากขึ้นทั้งด้านความยาวต้น จำนวนกิ่ง จำนวนข้อ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยระดับความเข้มข้น 1-2 mEq/L สามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 194.4 และ 218.4 mgN/L ซึ่งการให้ไนโตรเจนอาจมีส่วนช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้งของพรมมิ เนื่องจากการใช้ประโยชน์จากแสงที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีขึ้น (Tei *et al.*, 2002) การใช้ไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะมิโน โปรตีน เอนไซม์ และกรดนิวคลีอิก (Chrysargyris *et al.*, 2016) การเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกันต้องใช้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสม

ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นสเปียร์มินต์ (*Mentha spicata* L.) โดยระดับความเข้มข้นของไนเตรท 200 มก./ลิตร สามารถเพิ่มความสูงของพืชได้อย่างเหมาะสม (Chrysargyris *et al.*, 2017) และการเจริญเติบโตของต้นเสจ (*Salvia officinalis* L.) พบว่าระดับความเข้มข้นของไนเตรท 14.6 มิลลิโมลาร์ สามารถเพิ่มความสูง รวมถึงน้ำหนักใบของพืชได้อย่างเหมาะสม (Khammar *et al.*, 2021) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของต้นโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) พบว่าระดับความเข้มข้นของไนเตรท 5 โมล/ลบ.ม. ส่งผลให้เกิดการสร้างใบ (Kiferle *et al.*, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้จากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตให้ผลผลิตพรมมิสูง ดังนั้นผลการกระตุ้นของแอมโมเนียมไนเตรทอาจเกี่ยวข้องกับบทบาทธาตุอาหารไนโตรเจนที่สำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือกระบวนการเผาผลาญของสารประกอบอินทรีย์ในพืชที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต (Khammar *et al.*, 2021) โดยรวมพรมมิสามารถพัฒนาได้ตามปกติ แข็งแรงดี ไม่มีอาการขาดธาตุไนโตรเจน หรือความเป็นพิษของแอมโมเนียม เช่น แผลไหม้ที่ยอด ใบเหลือง หรือแผลไหม้ที่ปลายราก (Kiferle *et al.*, 2013) ส่วนการทดลองโดยความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) KMITL 2 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mS/cm ต่อการเจริญเติบโตของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน พบว่าจากการลดความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกชนิดในสารละลายธาตุอาหารลงส่งผลต่อการเจริญเติบโตดีที่สุดที่ EC 0.5 mS/cm (อัจฉรี เรืองเดช และนนุช เลาหะวิสุทธิ, 2555)

4.1.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อสารพิษเคมีของพรมมิในน้ำพรมมิ

จากการทดลองเพิ่มระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 โดยพรมมิถูกสกัดด้วยตัวทำละลายแตกต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล วิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8 สามารถส่งผลกระทบต่อสารพิษเคมีของพรมมิ ดังนี้

4.1.2.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพรมมิในน้ำพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟีนอลทั้งหมดเฉลี่ย 5.01, 5.23, 4.69 และ 4.70 mgGAE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1 และตารางผนวกที่ 1) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 6.04, 6.20, 5.73 และ 5.61 mgGAE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1 และตารางผนวกที่ 2) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

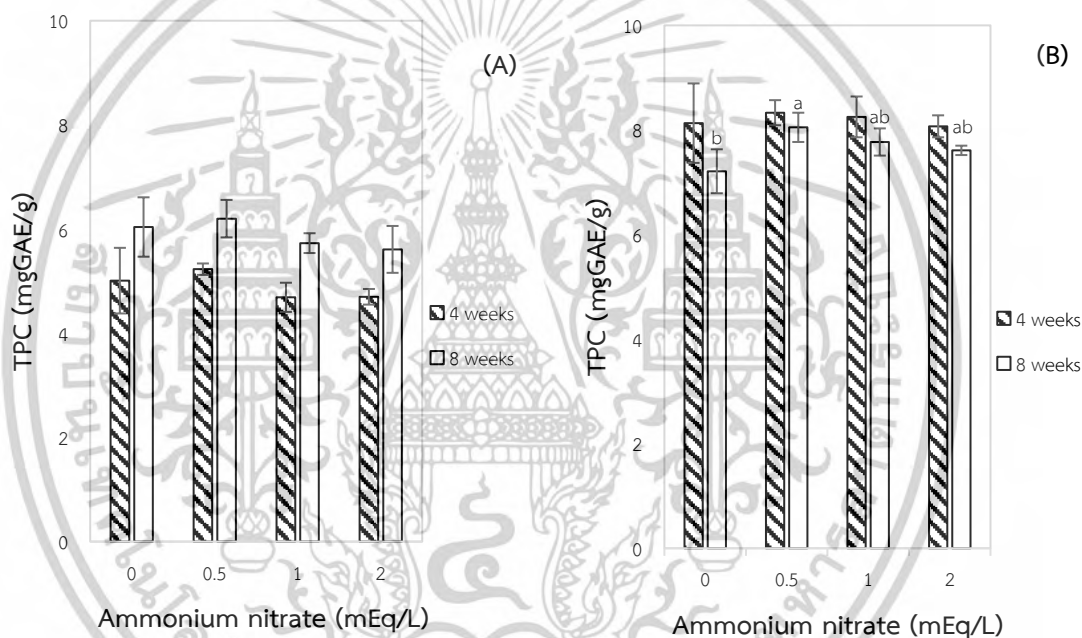
(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟีนอลทั้งหมดเฉลี่ย 8.13, 8.33, 8.25 และ 8.07 mgGAE/g ตามลำดับ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1 และตารางผนวกที่ 1) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่

8 สัปดาห์ เฉลี่ย 7.21, 8.05, 7.77 และ 7.61 mgGAE/g ตามลำดับ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1 และ ตารางผนวกที่ 2) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบปริมาณฟีนอลทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่ระดับ แอมโมเนียมไนเตรท 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2 mEq/L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล ความเข้มข้น 0, 0.5, 1 mEq/L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นความเข้มข้น 2 mEq/L ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงใน ตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด (TPC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

NH ₄ NO ₃ (mEq/L)	ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mgGAE/g)					
	น้ำกลั่น		t-test	95 % เอทานอล		t-test
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	
0 (ชุดควบคุม)	5.01±0.63	6.04±0.57	ns	8.13±0.76	7.21±0.42	ns
0.5	5.23±0.11	6.20±0.36	*	8.33±0.24	8.05±0.28	ns
1	4.69±0.28	5.73±0.19	*	8.25±0.39	7.77±0.26	ns
2	4.70±0.15	5.61±0.45	*	8.07±0.21	7.61±0.09	*

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.2.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของ

พรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเฉลี่ย 5.65, 5.94, 6.70 และ 6.56 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 และตารางผนวกที่ 1) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 6.60, 7.27, 6.89 และ 6.75 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 และตารางผนวกที่ 2) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

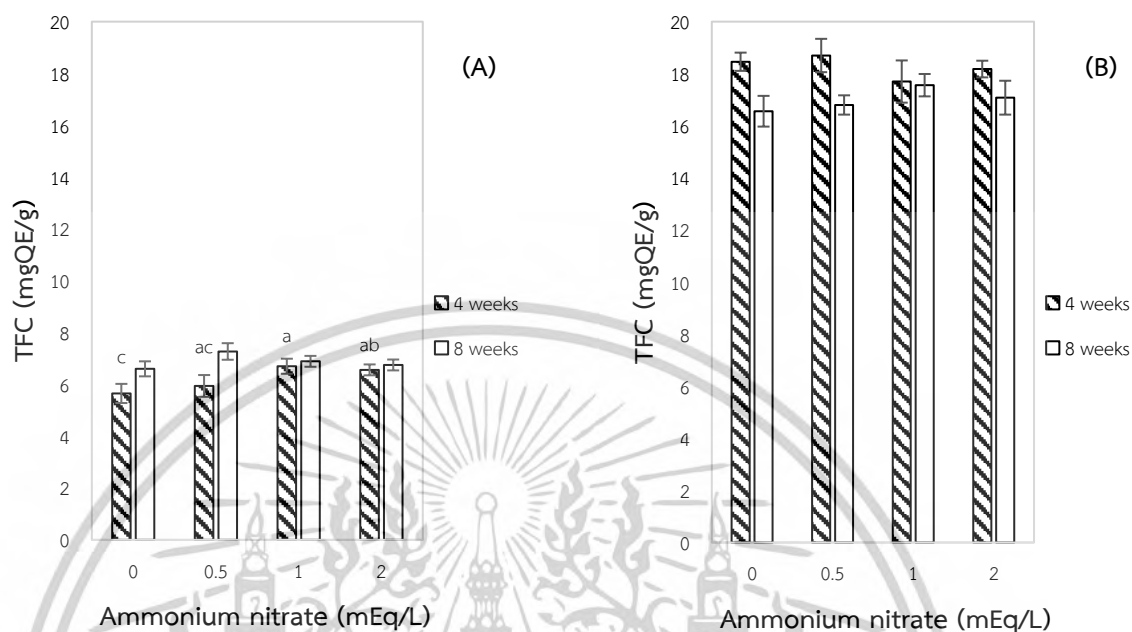
(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเฉลี่ย 18.46, 18.70, 17.70 และ 18.18 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 และตารางผนวกที่ 1) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 16.56, 16.80, 17.56 และ 17.08 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 และตารางผนวกที่ 2) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่ระดับแอมโมเนียมไนเตรท 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล ความเข้มข้น 0 และ 0.5 mEq/L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ยกเว้น ความเข้มข้น 1 และ 2 mEq/L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงในตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

NH ₄ NO ₃ (mEq/L)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mgQE/g)					
	น้ำกลั่น			95 % เอทานอล		
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	t-test	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	t-test
0 (ชุดควบคุม)	5.65±0.37	6.60±0.29	*	18.46±0.35	16.56±0.59	*
0.5	5.94±0.42	7.27±0.32	*	18.70±0.64	16.80±0.37	*
1	6.70±0.29	6.89±0.21	ns	17.70±0.81	17.56±0.43	ns
2	6.56±0.21	6.75±0.21	ns	18.18±0.32	17.08±0.65	ns

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.1.2.3 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมดของ พรรณไม้้ำพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

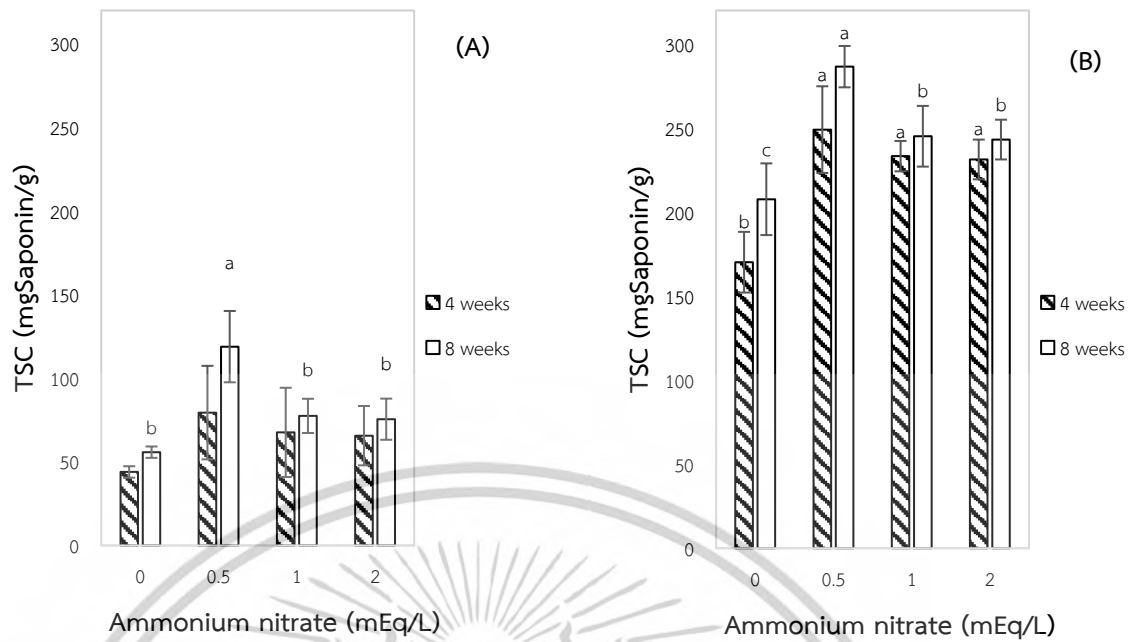
จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณซาโปนินทั้งหมดเฉลี่ย 43.98, 79.48, 67.65 และ 65.68 mgSaponin/g ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4.3 และตารางผนวกที่ 1) ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 55.81, 118.93, 77.51 และ 75.54 mgSaponin/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3 และตารางผนวกที่ 2) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณซาโปนินทั้งหมดเฉลี่ย 170.21, 249.11, 233.33 และ 231.36 mgSaponin/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3 และตารางผนวกที่ 1) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 207.69, 286.58, 245.16 และ 243.19 mgSaponin/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3 และตารางผนวกที่ 2) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบปริมาณซาโปนินทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่ระดับแอมโมเนียมไนเตรต 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่นชุดควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ยกเว้นความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2 mEq/L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทุกชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.8



ภาพที่ 4.3 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมด (TSC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

NH ₄ NO ₃ (mEq/L)	ปริมาณซาโปนินทั้งหมด (mgSaponin/g)					
	น้ำกลั่น		t-test	95 % เอทานอล		t-test
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	
0 (ชุดควบคุม)	43.98±3.41	55.81±3.41	*	170.21±18.07	207.69±21.33	ns
0.5	79.48±27.96	118.93±21.34	ns	249.11±25.79	286.58±12.31	ns
1	67.65±26.68	77.51±10.24	ns	233.33±9.03	245.16±18.07	ns
2	65.68±17.75	75.54±12.31	ns	231.36±11.83	243.19±11.83	ns

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.2.4 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เฉลี่ย 4.58, 5.67, 5.19 และ 4.46 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4 และตารางผนวกที่ 1) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 5.19, 4.38, 3.66 และ 3.74 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4 และตารางผนวกที่ 2) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เฉลี่ย 11.95, 13.92, 14.45 และ 13.20 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4 และตารางผนวกที่ 1) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 8.17, 8.29, 6.68 และ 7.40 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4 และตารางผนวกที่ 2) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่ระดับแอมโมเนียมไนเตรท 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2 mEq/L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิ

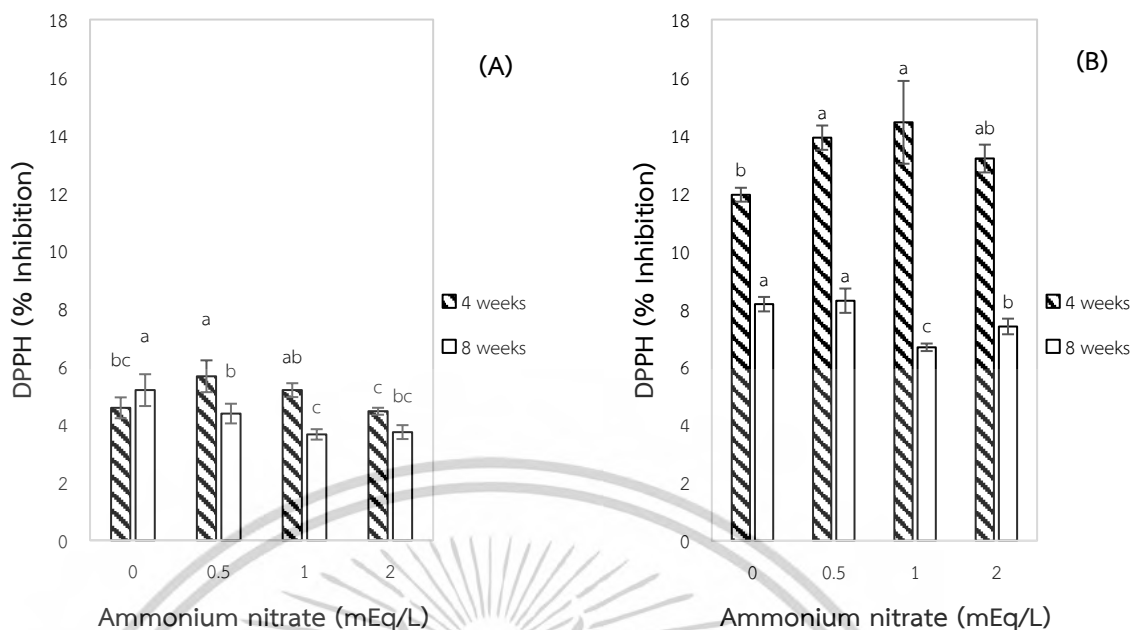
ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์

โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

NH ₄ NO ₃ (mEq/L)	ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% Inhibition)					
	น้ำกลั่น		t-test	95 % เอทานอล		t-test
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	
0 (ชุดควบคุม)	4.58±0.36	5.19±0.55	ns	11.95±0.24	8.17±0.25	*
0.5	5.67±0.55	4.38±0.34	*	13.92±0.42	8.29±0.42	*
1	5.19±0.24	3.66±0.18	*	14.45±1.43	6.68±0.13	*
2	4.46±0.12	3.74±0.24	*	13.20±0.48	7.40±0.27	*

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.4 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิ ในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.2.5 ผลของแอมโมเนียมไนเตรตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิ

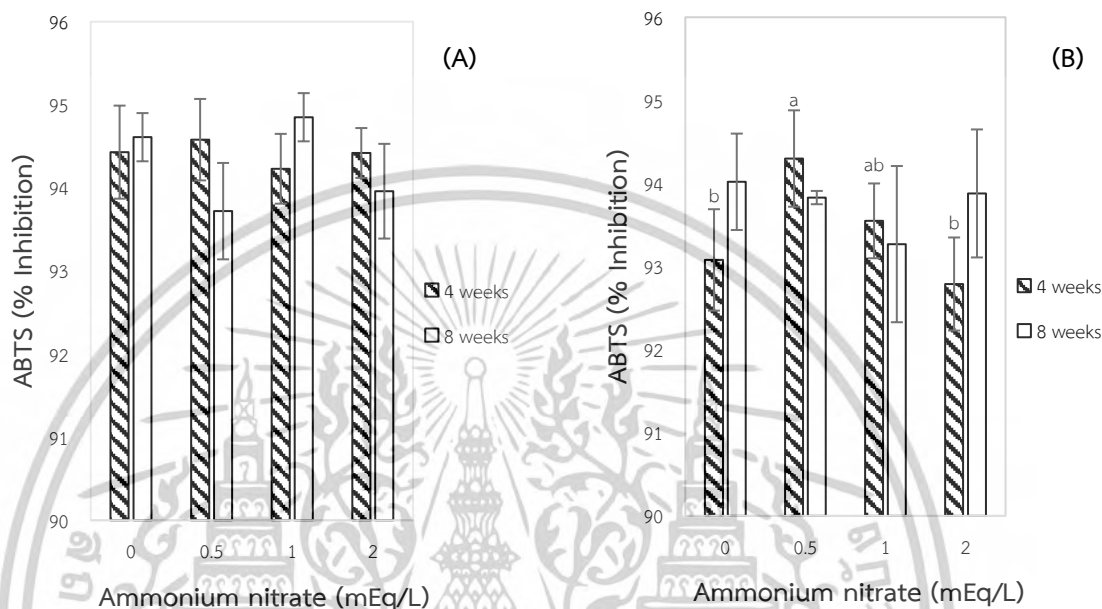
(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เฉลี่ย 94.43, 94.58, 94.23 และ 94.42 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5 และตารางผนวกที่ 1) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 94.61, 93.72, 94.85 และ 93.96 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5 และตารางผนวกที่ 2) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เฉลี่ย 93.08, 94.30, 93.55 และ 92.79 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5 และตารางผนวกที่ 1) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์ เฉลี่ย 94.02, 93.83, 93.27 และ 93.88 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5 และตารางผนวกที่ 2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8 จากการทดลองปลูกพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่ระดับแอมโมเนียมไนเตรท 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1 และ 2 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทุกชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.10



ภาพที่ 4.5 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.10 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

NH ₄ NO ₃ (mEq/L)	ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (% Inhibition)					
	น้ำกลั่น		t-test	95 % เอทานอล		t-test
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	
0 (ชุดควบคุม)	94.43±0.56	94.61±0.29	ns	93.08±0.61	94.02±0.58	ns
0.5	94.58±0.49	93.72±0.58	ns	94.30±0.58	93.83±0.08	ns
1	94.23±0.42	94.85±0.29	ns	93.55±0.45	93.27±0.94	ns
2	94.42±0.30	93.96±0.57	ns	92.79±0.56	93.88±0.77	ns

หมายเหตุ: ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรทในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันภายใต้สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ในระบบปลูกพืชไร้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การสกัดพรมมิด้วยตัวทำละลาย 95 % เอทานอล พบปริมาณสารพฤกษเคมีสูง โดยปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณซาโปนินทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยระดับความเข้มข้น 0.5 mEq/L สามารถส่งผลต่อสารพฤกษเคมีได้ดีที่สุด ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 190.40 mgN/L แตกต่างกับรายงานของอัจฉรี เรืองเดช และนนุช เลหาหะวิสุทธิ์ (2555) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการต้านอนุมูลอิสระของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน พบว่าการปลูกพรมมิให้มีคุณภาพสารต้านอนุมูลอิสระสูงควรใช้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ลดลง โดยปริมาณไนโตรเจน 57 mgN/L ส่งผลดีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เนื่องจากการขาดสารอาหารมีผลให้พืชเกิดความเครียด และปรับตัวเพื่อรักษาสมดุลของเมตาโบไลต์ นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีบทบาทในการควบคุมกระบวนการสังเคราะห์สารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิ เช่น สารฟลาโวนอยด์ กลูโคซิเนต และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น การให้ไนโตรเจนส่งผลต่อการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์ในพืช พบรายงานการขาดไนโตรเจนส่งผลให้ฟลาโวนอยด์ในมะเขือเทศเพิ่มขึ้น (Bongue-Bartelsman and Phillips, 1995) ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มไนโตรเจนส่งผลให้ฟลาโวนอยด์ในเกรปฟรุ้ตลดลง (Patil and Alva, 1999) ระดับไนโตรเจนต่ำ และสูงก่อให้เกิดความเครียดออกซิเดชันซึ่งพืชตอบสนองโดยกระตุ้นระบบป้องกัน เช่น เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (SOD, POD) และการผลิตสารฟีนอล (Chrysargyris *et al.*, 2024) พืชที่มีปริมาณฟีนอลสูงสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของเนื้อเยื่อจากการกำจัดอนุมูลอิสระ และยับยั้งลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (Chrysargyris *et al.*, 2017) การเพิ่มสารประกอบไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสารพฤกษเคมี ดังนั้นไนโตรเจนถือเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืช ซึ่งมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาต้นเสจ (*Salvia officinalis* L.) การใช้ระดับความเข้มข้นของไนเตรท 14.6 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้น (Khammar *et al.*, 2021) ขณะที่ต้นลาเวนเดอร์ (*Lavandula angustifolia* Mill.) ที่ปลูกด้วยระดับความเข้มข้นของไนเตรท 200 มก./ลิตร ส่งผลต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Chrysargyris *et al.*, 2016) โดยผลของไนโตรเจนสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้เช่นเดียวกับการศึกษานี้ สามารถแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มไนโตรเจนในรูปแบบแอมโมเนียมไนเตรทสามารถกระตุ้นการสร้างสารพฤกษเคมี อย่างไรก็ตามปริมาณสารพฤกษเคมีจะลดลงตามการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน (Liu *et al.*, 2010) ซึ่งการประยุกต์ใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนในระบบปลูกพืชไร้ดินไม่เพียงแต่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต แต่ยังสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง และการสะสมคาร์โบไฮเดรต ซึ่งส่งผลต่อการสร้างสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (Barzgar *et al.*, 2020) สรุปได้ว่าไนโตรเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการพัฒนาคุณภาพ และผลผลิตของพืชอย่างชัดเจน

4.2 การศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

4.2.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำพรมมิ

จากการทดลองที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรมมิได้ดี ซึ่งในระดับ 0.5 mEq/L มีผลต่อการแตกกิ่ง และสารพฤกษเคมีต่างๆ โดยเฉพาะปริมาณสารซาโปนินทั้งหมดมากที่สุดถือเป็นสารพฤกษเคมีหลักของพรมมิ จึงนำระดับนี้มาศึกษาต่อร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ซึ่งสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำพรมมิ ดังนี้

4.2.1.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อความยาวต้นของพรรณไม้น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ความยาวต้นเฉลี่ยตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เริ่มมีความแตกต่าง เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความยาวต้นเฉลี่ย 55, 59.63, 58.10 และ 67.20 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 2.5 mEq/L มีความยาวต้นเฉลี่ยมากที่สุดซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวต้น (เซนติเมตร) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	MgSO ₄ (mEq/L)				p-value
	1 (ชุดควบคุม)	1.5	2	2.5	
0	4.46±0.05	4.40±0.05	4.40±0.08	4.30±0.05	ns
2	14.21±0.05 ^c	14.35±0.37 ^c	15.58±0.57 ^b	16.38±0.42 ^a	0.000
4	31.50±0.56	32.40±2.92	30.98±1.27	35.31±1.95	ns
6	41.41±0.41 ^b	42.11±1.63 ^b	42.66±1.96 ^b	47.45±3.42 ^a	0.032
8	55.00±0.86 ^b	59.63±4.56 ^b	58.10±2.65 ^b	67.20±4.87 ^a	0.018

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่าง ($p \leq 0.05$)

p-value ≤ 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.1.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อจำนวนกิ่งของพรรณไม้น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนกิ่งเฉลี่ย 21.50, 22.56, 21.33 และ 21.73 กิ่ง/ต้น ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนกิ่ง (กิ่ง/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	MgSO ₄ (mEq/L)				p-value
	1 (ชุดควบคุม)	1.5	2	2.5	
0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	ns
2	6.23±0.56	6.40±0.10	7.23±0.98	7.73±1.00	ns
4	11.43±0.81	13.43±1.41	13.60±0.70	13.26±2.18	ns
6	15.70±0.55	17.16±1.72	15.43±2.51	16.43±1.76	ns
8	21.50±0.55	22.56±1.06	21.33±4.17	21.73±2.20	ns

หมายเหตุ: ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.1.3 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อจำนวนข้อของพรรณไม้น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ความยาวต้นเฉลี่ยตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 เริ่มมีความแตกต่าง เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนข้อเฉลี่ย 24.46, 24.83, 24.66 และ 27.63 ข้อ/ต้น ตามลำดับ โดยแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 2.5 mEq/L มีจำนวนข้อเฉลี่ยมากที่สุดซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลาย
ธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อจำนวนข้อ (ข้อ/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	MgSO ₄ (mEq/L)				p-value
	1 (ชุดควบคุม)	1.5	2	2.5	
0	3.83±0.05	3.70±0.10	3.70±0.10	3.86±0.05	ns
2	9.50±0.40	9.43±0.45	9.53±0.45	10.13±0.20	ns
4	14.83±0.57	15.16±0.51	14.70±0.36	15.40±0.62	ns
6	18.26±0.40 ^b	19.06±1.16 ^{ab}	18.30±0.75 ^b	20.33±0.70 ^a	0.043
8	24.46±0.11 ^b	24.83±1.11 ^b	24.66±0.32 ^b	27.63±1.60 ^a	0.013

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่าง ($p \leq 0.05$)

p-value ≤ 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.1.4 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อความยาวรากของ พรมมิไร้น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความยาวรากเฉลี่ย 10.80, 12.50, 12.26 และ 12.96 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลาย
ธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อความยาวราก (เซนติเมตร) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	MgSO ₄ (mEq/L)				p-value
	1 (ชุดควบคุม)	1.5	2	2.5	
0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	ns
4	8.25±0.22 ^b	9.00±1.13 ^{ab}	10.33±1.23 ^a	10.50±0.60 ^a	0.043
8	10.80±0.36	12.50±0.79	12.26±1.40	12.96±0.25	ns

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่าง ($p \leq 0.05$)

p-value ≤ 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.1.5 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อน้ำหนักของพรรณไม้น้ำพรมมิ

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 10.40, 10.63, 11.12 และ 14.30 กรัม/ต้น ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.45, 1.46, 1.50 และ 1.68 กรัม/ต้น ตามลำดับ โดยที่พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 2.5 mEq/L มีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุดซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง แสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกันในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน

MgSO ₄ (mEq/L)	0 สัปดาห์		4 สัปดาห์		8 สัปดาห์	
	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)
1 (ชุดควบคุม)	0.13±0.00	0.008±0.00	3.15±0.10	0.64±0.05	10.40±0.36 ^b	1.45±0.03 ^b
1.5	0.13±0.00	0.008±0.00	3.50±0.35	0.68±0.06	10.63±1.18 ^b	1.46±0.07 ^b
2	0.13±0.00	0.008±0.00	3.63±0.57	0.64±0.02	11.12±1.34 ^b	1.50±0.02 ^b
2.5	0.13±0.00	0.008±0.00	3.18±0.35	0.57±0.06	14.30±0.84 ^a	1.68±0.11 ^a
p-value	ns	ns	ns	ns	0.005	0.015

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่าง ($p < 0.05$)

p-value ≤ 0.05 แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำพรมมิที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ภายใต้สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ในระบบปลูกพืชไร้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟตที่ระดับ 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L สามารถส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพรมมิเพิ่มมากขึ้นทั้งด้านความยาวต้น จำนวนชอน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยระดับความเข้มข้น 2.5 mEq/L สามารถส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ซึ่งการเพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์แสง (Xuan *et al.*, 2022) และมีศักยภาพอย่างมากในการเพิ่มผลผลิตพืช ดังนั้นการควบคุมแมกนีเซียมซัลเฟตอย่างเพียงพอมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นหอมจีน (*Alium schoenoprasum*) โดยแมกนีเซียมซัลเฟตที่ 0.48 กรัม/ลิตร สามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นหอมจีน โดยให้จำนวนใบ และคุณภาพการมองเห็นของใบสูงขึ้น เมื่อเทียบกับปริมาณแมกนีเซียมที่ต่ำกว่า (Paulus *et al.*, 2022) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของแมกนีเซียมในต้นชา (*Camellia sinensis*) โดยแมกนีเซียมที่ 0.4 มิลลิโมล/ลิตร สามารถส่งผลต่อผลผลิตใบชาเพิ่มขึ้น เนื่องจากส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์ DNA และ RNA ซึ่งแมกนีเซียมเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และการขาดแมกนีเซียมทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งสามารถส่งผลต่อผลผลิตที่ลดลง และการควบคุมแมกนีเซียมอย่างมีประสิทธิภาพมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Zhang *et al.*, 2023) ซึ่งจากรายงานต่างๆ สอดคล้องกับผลการศึกษานี้ โดยรวมพรมมิสามารถพัฒนาได้ตามปกติ แข็งแรงดี ไม่มีอาการขาดแมกนีเซียมที่แสดงอาการใบซีด แต่เส้นใบสีเขียวปกติ ใบจะหักเปราะง่ายร่วงก่อนกำหนด หรืออาการของแมกนีเซียมที่มากเกินไปไม่สมดุลธาตุอาหารโพแทสเซียม และแคลเซียม ซึ่งจะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายภายในพืชทำให้พืชเจริญเติบโตช้า (ดิเรก ทองอร่าม, 2546 ; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

4.2.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อสารพิษเคมีของพรมมิแม่น้ำพรมมิ

จากการทดลองที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโต และสารพิษเคมีของพรมมิ ซึ่งในระดับ 0.5 mEq/L มีผลต่อการแตกกิ่ง และสารพิษเคมีต่างๆ โดยเฉพาะปริมาณสารซาโบนินทั้งหมดมากที่สุดถือเป็นสารพิษเคมีหลักของพรมมิ จึงนำระดับนี้มาศึกษาต่อร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 โดยพรมมิถูกสกัดด้วยตัวทำละลายแตกต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล วิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 4 และ สัปดาห์ที่ 8 สามารถส่งผลต่อสารพิษเคมีของพรมมิแม่น้ำพรมมิ ดังนี้

4.2.2.1 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพรมมิแม่น้ำพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

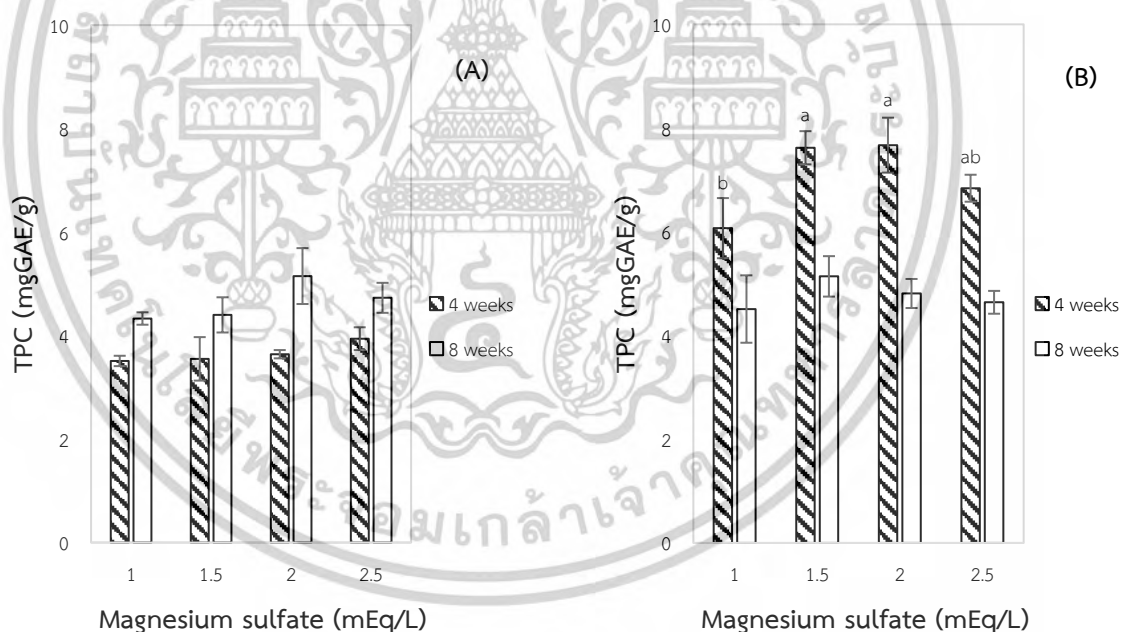
จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟีนอลทั้งหมดเฉลี่ย 3.51, 3.55, 3.64 และ 3.94 mgGAE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 และตารางผนวกที่ 3) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 4.33, 4.40, 5.15 และ 4.73 mgGAE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 และตารางผนวกที่ 4) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟีนอลทั้งหมดเฉลี่ย 6.07, 7.62, 7.67 และ 6.84 mgGAE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 และตารางผนวกที่ 3) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 4.51, 5.14, 4.81 และ 4.64 mgGAE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 และตารางผนวกที่ 4) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบปริมาณฟีนอลทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่แอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับระดับแมกนีเซียมซัลเฟต 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L พบว่าตัวทำละลายน้ำกลั่น ความเข้มข้น 1, 2 และ 2.5 mEq/L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความเข้มข้น 1.5 mEq/L ($p > 0.05$) ในขณะที่ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.16



ภาพที่ 4.6 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด (TPC) ของพรมมิ ในระบบปลูกพืชไร้ดินเป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

MgSO ₄ (mEq/L)	ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mgGAE/g)					
	น้ำกลั่น		t-test	95 % เอทานอล		t-test
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	
1 (ชุดควบคุม)	3.51±0.10	4.33±0.12	*	6.07±0.58 ^b	4.51±0.65	*
1.5	3.55±0.42	4.40±0.34	ns	7.62±0.32 ^a	5.14±0.39	*
2	3.64±0.08	5.15±0.54	*	7.67±0.53 ^a	4.81±0.28	*
2.5	3.94±0.22	4.73±0.29	*	6.84±0.26 ^{ab}	4.64±0.22	*

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.2.2 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของพรมมิในน้ำพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเฉลี่ย 1.17, 0.93, 1.12 และ 1.50 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7 และตารางผนวกที่ 3) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 3.46, 2.79, 2.79 และ 3.46 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7 และตารางผนวกที่ 4) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

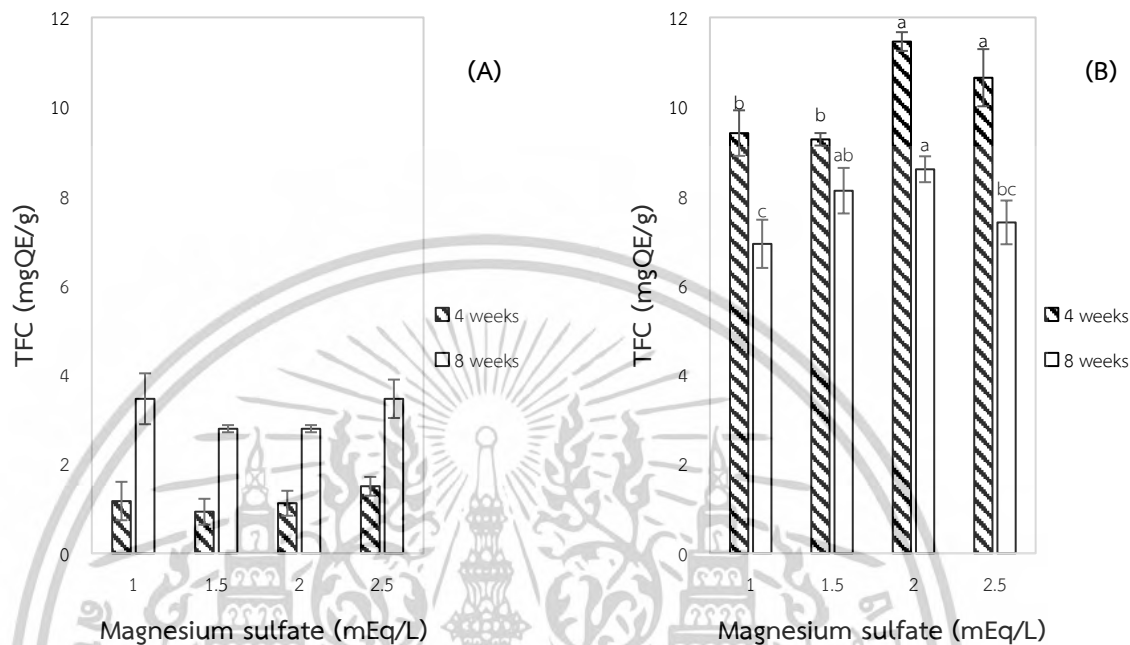
(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเฉลี่ย 9.41, 9.27, 11.46 และ 10.65 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7 และตารางผนวกที่ 3) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 6.93, 8.12, 8.60 และ 7.41 mgQE/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7 และตารางผนวกที่ 4) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่แอมโมเนียมไนเตรท

0.5 mEq/L ร่วมกับระดับแมกนีเซียมซัลเฟต 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทุกชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.17



ภาพที่ 4.7 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.17 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

MgSO ₄ (mEq/L)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mgQE/g)					
	น้ำกลั่น		t-test	95 % เอทานอล		t-test
	4 น้ำกลั่น	8 น้ำกลั่น		4 น้ำกลั่น	8 น้ำกลั่น	
1 (ชุดควบคุม)	1.17±0.43	3.46±0.57	*	9.41±0.51	6.93±0.54	*
1.5	0.93±0.29	2.79±0.08	*	9.27±0.14	8.12±0.51	*
2	1.12±0.28	2.79±0.08	*	11.46±0.21	8.60±0.29	*
2.5	1.50±0.21	3.46±0.43	*	10.65±0.64	7.41±0.49	*

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.2.3 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมดของพรรณไม้้ำพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

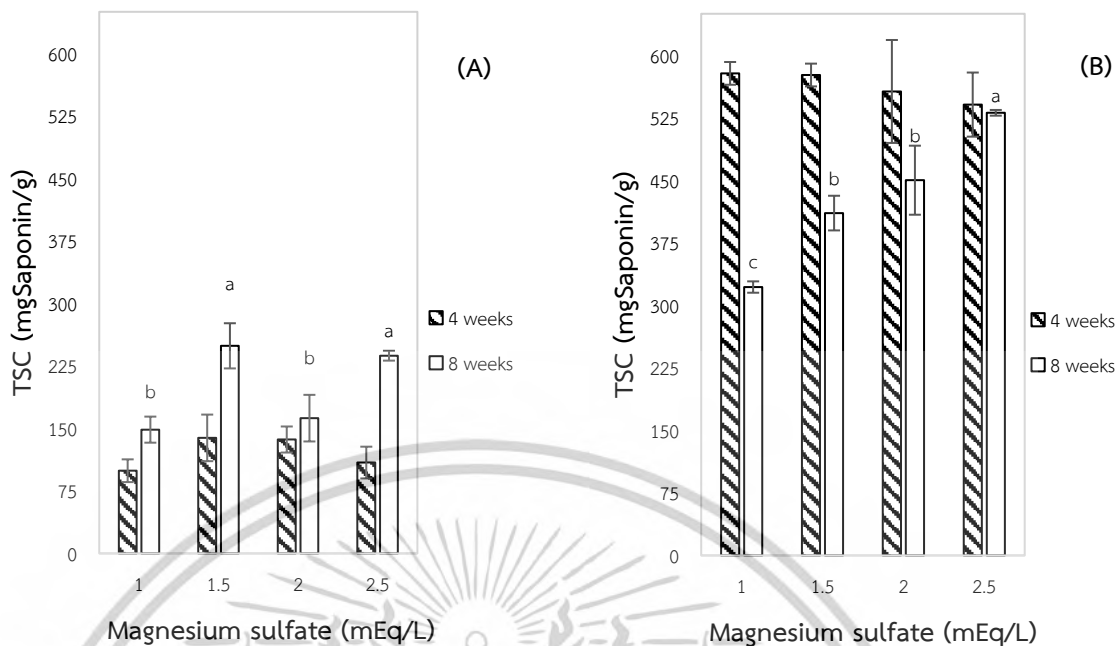
จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณซาโปนินทั้งหมดเฉลี่ย 99.21, 138.65, 136.68 และ 109.07 mgSaponin/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8 และตารางผนวกที่ 3) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 148.52, 249.11, 162.32 และ 237.27 mgSaponin/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8 และตารางผนวกที่ 4) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณซาโปนินทั้งหมดเฉลี่ย 578.50, 576.52, 556.80 และ 541.02 mgSaponin/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8 และตารางผนวกที่ 3) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 322.09, 410.84, 450.29 และ 531.16 mgSaponin/g ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8 และตารางผนวกที่ 4) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบปริมาณซาโปนินทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่แอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับระดับแมกนีเซียมซัลเฟต 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L พบว่าตัวทำละลายน้ำกลั่น ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2.5 mEq/L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ยกเว้นความเข้มข้น 2 mEq/L ($p>0.05$) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล ความเข้มข้น 1 และ 1.5 mEq/L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ยกเว้นความเข้มข้น 2 และ 2.5 mEq/L ($p>0.05$) แสดงในตารางที่ 4.18



ภาพที่ 4.8 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมด (TSC) ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร่ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลาย น้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อปริมาณซาโปนินทั้งหมด ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

MgSO ₄ (mEq/L)	ปริมาณซาโปนินทั้งหมด (mgSaponin/g)					
	น้ำกลั่น			95 % เอทานอล		
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	t-test	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	t-test
1 (ชุดควบคุม)	99.21±13.66	148.52±15.65	*	578.50±13.66	322.09±6.83	*
1.5	138.65±27.96	249.11±27.11	*	576.52±13.66	410.84±20.78	*
2	136.68±15.65	162.32±27.96	ns	556.80±61.77	450.29±41.42	ns
2.5	109.07±19.02	237.27±5.91	*	541.02±38.49	531.16±3.41	ns

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.2.4 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรรณไม้้ำพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

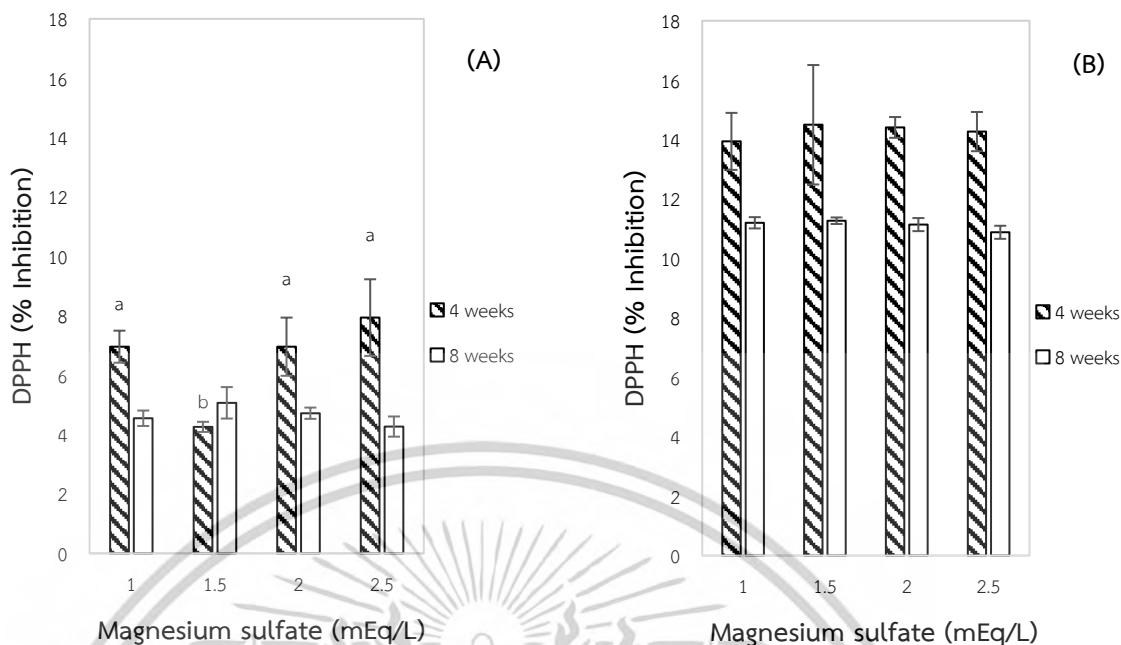
จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เฉลี่ย 6.96, 4.26, 6.96 และ 7.94 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9 และตารางผนวกที่ 3) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 4.55, 5.07, 4.72 และ 4.27 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4. และตารางผนวกที่ 4) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เฉลี่ย 13.94, 14.50, 14.41 และ 14.27 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9 และตารางผนวกที่ 3) เช่นเดียวกับ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 11.20, 11.27, 11.14 และ 10.88 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9 และตารางผนวกที่ 4) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่แอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับระดับแมกนีเซียมซัลเฟต 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล ความเข้มข้น 1, 2 และ 2.5 mEq/L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความเข้มข้น 2.5 mEq/L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทั้งสองตัวทำละลาย แสดงในตารางที่ 4.19



ภาพที่ 4.9 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

MgSO ₄ (mEq/L)	ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% Inhibition)					
	น้ำกลั่น		t-test	95 % เอทานอล		t-test
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์		4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	
1 (ชุดควบคุม)	6.96±0.54	4.55±0.26	*	13.94±0.96	11.20±0.19	*
1.5	4.26±0.17	5.07±0.53	ns	14.50±2.01	11.27±0.11	ns
2	6.96±0.98	4.72±0.19	*	14.41±0.35	11.14±0.22	*
2.5	7.94±1.29	4.27±0.34	*	14.27±0.66	10.88±0.22	*

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.2.5 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรรณไม้้ำพรมมิ

(1) ตัวทำละลายน้ำกลั่น

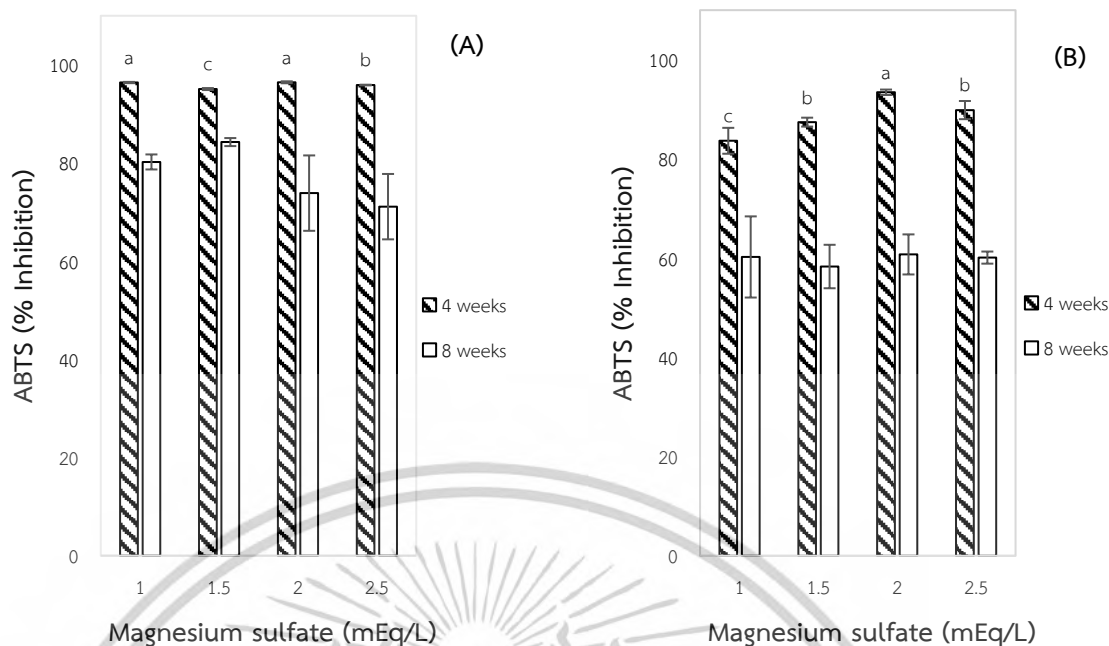
จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เฉลี่ย 96.40, 95.07, 96.45 และ 95.89 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10 และตารางผนวกที่ 3) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 80.22, 84.27, 73.87 และ 71.11 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10 และตารางผนวกที่ 4) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(2) ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล

จากการทดลองนำพรมมิเลี้ยงในแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เฉลี่ย 83.67, 87.43, 93.45 และ 89.86 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10 และตารางผนวกที่ 3) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง ในขณะที่ 8 สัปดาห์เฉลี่ย 60.25, 58.32, 60.76 และ 60.12 % ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10 และตารางผนวกที่ 4) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

(3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 8

จากการทดลองปลูกพรมมิเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่แอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับระดับแมกนีเซียมซัลเฟต 1 (ชุดควบคุม), 1.5, 2 และ 2.5 mEq/L พบว่า ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกชุดการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.20



ภาพที่ 4.10 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในระบบปลูกพืชไร่ดิน เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น (A) และ 95 % เอทานอล (B)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในระยะเวลาดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.20 ผลของแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของพรมมิในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ 95 % เอทานอล

MgSO ₄ (mEq/L)	ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (% Inhibition)					
	น้ำกลั่น			95 % เอทานอล		
	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	t-test	4 สัปดาห์	8 สัปดาห์	t-test
1 (ชุดควบคุม)	96.40±0.13	80.22±1.53	*	83.67±2.61	60.25±8.18	*
1.5	95.07±0.20	84.27±0.82	*	87.43±0.90	58.32±4.38	*
2	96.45±0.20	73.87±7.68	*	93.45±0.55	60.76±4.04	*
2.5	95.89±0.07	71.11±6.66	*	89.86±1.83	60.12±1.22	*

หมายเหตุ: * = significant แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns = non-significant แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สารพฤกษเคมีของพรรณไม้ น้ำพรมที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับ แมกนีเซียมซัลเฟตในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันภายใต้สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ในระบบ ปลูกพืชไร่น้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การสกัดพรมมีด้วยตัวทำละลาย 95 % เอทานอล พบปริมาณสารพฤกษเคมีสูง โดยปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณซาโปนิน ทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยระดับความเข้มข้น 2.5 mEq/L สามารถส่งผลต่อสารพฤกษเคมีได้ดีที่สุด เนื่องจากแมกนีเซียมซัลเฟตมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้น การสังเคราะห์ทางชีวภาพของสารทุติยภูมิ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระในพืช ตัวอย่างเช่น การศึกษาผลของต้นหอมจีน (*Alium schoenoprasum*) ความเข้มข้นของ แมกนีเซียมซัลเฟต 0.48 กรัม/ลิตร สามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกได้ถึง 50.6 % โดย เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์เมตาโบไลต์ทุติยภูมิ แมกนีเซียมใน ระดับความเข้มข้นสูงช่วยสนับสนุนการผลิตโฟโตแอสซิมิเลต (Photoassimilates) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น สำคัญในกระบวนการสร้างสารทุติยภูมิ โดยเพิ่มปริมาณน้ำตาล และสารตั้งต้นที่จำเป็นต่อ กระบวนการนี้ นอกจากนี้แมกนีเซียมยังมีบทบาทในการกระตุ้นการสร้าง RNA ซึ่งควบคุมการ สังเคราะห์เอนไซม์ฟีนิลอะลานีน แอมโมเนีย ไลเอส (Phenylalanine ammonia lyase) ซึ่งเป็น เอนไซม์สำคัญที่ควบคุมกระบวนการสังเคราะห์ของสารประกอบฟีนอลิกในพืช และมีบทบาทในการเร่ง ปฏิกิริยาการสร้างสารฟีนอลิก (Paulus *et al.*, 2022) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของต้นข้าว (*Oryza sativa* L.) พบว่าการฉีดพ่นแมกนีเซียมซัลเฟตทางใบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ เมตาโบไลต์ทุติยภูมิของสารพฤกษเคมีได้เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิก และปริมาณ ฟลาโวนอยด์ของต้นกล้าข้าวในสภาพดินเค็ม โดยความเข้มข้นแมกนีเซียมซัลเฟต 0.5 มิลลิโมลาร์ สามารถกระตุ้นการสังเคราะห์ฟีนอลิก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในระบบต้านอนุมูลอิสระ และช่วยให้พืชทน ต่อความเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น (Xuan *et al.*, 2022) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของ ต้นชา (*Camellia sinensis*) พบว่าแมกนีเซียมส่งผลต่อการสังเคราะห์แสง และกระบวนการสร้าง สารทุติยภูมิ เช่น คลอโรฟิลล์ โพลีฟีนอล และฟลาโวนอยด์ โดยมีแนวโน้มเพิ่มตามความเข้มข้นของ แมกนีเซียม (Zhang *et al.*, 2023) จากผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับการทดลองในพรมมีที่ แสดงให้เห็นว่าการเสริมแมกนีเซียมซัลเฟตช่วยเพิ่มปริมาณสารประกอบต้านอนุมูลอิสระตาม ธรรมชาติ ดังนั้นสารสกัดจากพรมมีถือได้ว่ามีศักยภาพสูงในการใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อ สุขภาพจากธรรมชาติ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดิน พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรท 1 และ 2 mEq/L เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และด้านปริมาณสารพฤกษเคมี พบว่า การสกัดพรมมิด้วย 95 % เอทานอลให้ปริมาณที่มากกว่าทั้งในปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณซาโปนินทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L

การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรท 0.5 mEq/L ร่วมกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟต 2.5 mEq/L ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และปริมาณสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิ

ดังนั้นการเพิ่มแอมโมเนียมไนเตรทความเข้มข้น 0.5 mEq/L ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 2.5 mEq/L ลงในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 มีประสิทธิภาพกระตุ้นการเจริญเติบโต และการสร้างสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบปลูกพืชไร้ดินเหมาะสมที่สุด ซึ่งการจัดการธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างสมดุลระหว่างการเจริญเติบโต และการผลิตสารพฤกษเคมีของพืชให้เกิดประสิทธิภาพขั้นสูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านการฉีดพ่นสารแมกนีเซียมซัลเฟตทางใบร่วมกับการเลี้ยงในระบบปลูกแบบไร้ดิน เพื่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และปริมาณสารพฤกษเคมีของพรรณไม้น้ำพรมมิขั้นสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- กรกนก อิงคินันท์. 2561. **พรมมิ สมุนไพรบำรุงความจำ**. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558. **การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์**. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ชาญชัย สาดแสงจันทร์. 2556. พรมมิสมุนไพรเพื่อสุขภาพสมอง. **ธรรมศาสตร์เวชสาร**. 13(4) : 554-560.
- ชุตติพร มณีพลาย. 2561. การเจริญเติบโต และการสะสมสารบาโคไซด์ เอ ของพรมมิ (*Bacopa monnieri* (L.) Wettst.) ภายใต้การปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ดิเรก ทองอร่าม. 2546. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย**. ราชบุรี: ธรรมรักษ์การพิมพ์.
- นงนุช เลาะห์วิสุทธิ อธิสุนทร นันทกิจ สมเกียรติ สีสนอง มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และวราภรณ์ กาซิม. 2556. **การผลิตพรมมิไม้้ำสกุลอนุเบียส (*Anubias* sp.)**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปิยธิดา อุดมทองคำ. 2563. **การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นพรมมิด้วยไทโตแอสซอน และการใช้โพแทสเซียมไนเตรทและโพแทสเซียมคลอไรด์ ต่อการเจริญเติบโต และสารต้านอนุมูลอิสระในระบบปลูกแบบไร้ดิน**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2558. บทบาทของอีลิซิเตอร์ด้านสรีระของพืช. **วารสารดิน และปุ๋ย**. 1-37.
- ศศิธร พินภิรมย์. 2563. **ผลของปริมาณธาตุอาหาร และระดับฟอสฟอรัสในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารในระบบปลูกไร้ดินต่อการเจริญเติบโต และการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นพรมมิ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สันตชัย ณ นคร. 2564. **พรมมิ**. สำนักยาและวัตถุเสพติด กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://ccpe.pharmacycouncil.org/showfile.php?file=1109>.
- สุภัทรา ขบวนฉลาด และปวีณา สาลีทอง. 2565. การวิเคราะห์ปริมาณสารซาโปนิน และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของเท้ายายม่อม. **วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี**. 3(2) : 21-34.

- อัจฉรี เรืองเดช และนงนุช เลาะห์วิสุทธิ. 2555. ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต และการต้านอนุมูลอิสระของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิในระบบปลูกแบบไร้ดิน. หน้า 182-189. ใน **การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 10**. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Akter, U., Hashem, S., Farhad, F. B., Rana, K. S., Haque, M. M. and Salam, M. A. 2023. Effects of epsom (magnesium sulfate) salt on growth performance of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in nutrient film technique and media-based aquaponics systems. **Aquaculture International**. 1-17.
- Barzegar, T., Mohammadi, S. and Ghahremani, Z. 2020. Effect of nitrogen and potassium fertilizer on growth, yield and chemical composition of sweet fennel. **Journal of Plant Nutrition**. 43(8) : 1189-1204.
- Bhardwaj, P., Jain, C. K. and Mathur, A. 2016. Comparative and quantitative analysis of phytochemicals in five different herbal formulation of *Bacopa monnieri*. **International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research**. 8(4) : 675-682.
- Bocso, N. S. and Butnariu, M. 2022. The biological role of primary and secondary plants metabolites. **Journal of Nutrition and Food Processing**. 5(3) : 1-7.
- Bongue-Bartelsman, M. and Phillips, D. A. 1995. Nitrogen stress regulates gene expression of enzymes in the flavonoid biosynthetic pathway of tomato. **Plant Physiology Biochemistry**. 33 : 539-546.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M. and Chern, J. C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. **Journal of Food and Drug Analysis**. 10(3) : 178-182.
- Chrysargyris, A., Nikolaidou, E., Stamatakis, A. and Tzortzakis, N. 2017. Vegetative, physiological, nutritional and antioxidant behavior of spearmint (*Mentha spicata* L.) in response to different nitrogen supply in hydroponics. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**. 6 : 52-61.
- Chrysargyris, A., Panayiotou, C. and Tzortzakis, N. 2016. Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). **Industrial Crops and Products**. 83 : 577-586.
- Chrysargyris, A., Xylia, P., Zengin, G. and Tzortzakis, N. 2024. Purslane (*Portulaca oleracea* L.) growth, nutritional, and antioxidant status under different nitrogen levels in hydroponics. **Horticulturae**. 10(9) : 1007.

- Dadhich, A., Dhiman, M., Sharma, L., Kumar, R., Jain, R. and Sharma, M. M. 2022. Unveiling the interaction of divergent abiotic stresses and their consequences in terms of bacosides in *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants.** 31 : 100423.
- Dutta, S. and Chakraborty, S. 2020. Estimation of phytochemical characteristics and antioxidant property of secondary metabolites of a memory enhancing medicinal herb *Bacopa monnieri* of east kolkata wetland. **International Journal Pharmaceutical Sciences and Research.** 11(6) : 2860-2867.
- Jain, P., Sharma, H. P., Basri, F., Priya, K. and Singh, P. 2017. Phytochemical analysis of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. and their anti-fungal activities. **Indian Journal of Traditional Knowledge.** 16(2) : 310-318.
- Jauhari, N., Bharadwaj, R., Sharma, N. and Bharadvaja, N. 2019. Assessment of bacoside production, total phenol content and antioxidant potential of elicited and non-elicited shoot cultures of *Bacopa monnieri* (L.). **Environmental Sustainability.** 2 : 441-453.
- Karimi, M., Ahmadi, N. and Ebrahimi, M. 2022. Red LED light promotes biomass, flowering and secondary metabolites accumulation in hydroponically grown *Hypericum perforatum* L. (cv. Topas). **Industrial Crops and Products.** 175 : 114239.
- Khammar, A. A., Moghaddam, M., Asgharzade, A. and Sourestani, M. M. 2021. Nitrate composition, growth, biochemical traits, essential oil content and compositions of *Salvia officinalis* L. grown in different nitrogen levels in soilless culture. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition.** 21 : 3320-3332.
- Kiferle, C., Maggini, R. and Pardossi, A. 2013. Influence of nitrogen nutrition on growth and accumulation of rosmarinic acid in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) grown in hydroponic culture. **Australian Journal of Crop Science.** 7(3) : 321-327.
- Leite, K. C. D. S., Garcia, L. F., Lobón, G. S., Thomaz, D. V., Moreno, E. K. G., Carvalho, M. F. D., Rocha, M. L., Santos, W. T. P. D. and Gil, E. D. S. 2018. Antioxidant activity evaluation of dried herbal extracts: an electroanalytical approach. **Revista Brasileira de Farmacognosia.** 28 : 325-332.

- Limpeanchob, N., Jaipan, S., Rattanakaruna, S., Phrompittayarat, W. and Ingkaninan, K. 2008. Neuroprotective effect of *Bacopa monnieri* on beta-amyloid-induced cell death in primary cortical culture. **Journal of Ethnopharmacology**. 120 : 112-117.
- Liu, D., Liu, W., Zhu, D., Geng, M., Zhou, W. and Yang, T. 2010. Nitrogen effects on total flavonoids, chlorogenic acid, and antioxidant activity of the medicinal plant *Chrysanthemum morifolium*. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. 173(2) : 268-274.
- Maneeply, C., Sujipuli, K. and Kunpratun, N. 2018. Growth of brahmi *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. by NFT and DFT hydroponic systems and their accumulation of saponin bacosides. **International Journal of Science**. 15(2) : 114-124.
- Mehta, A. 2023. DPPH and FRAP assays for different extracts of in vitro and in vivo grown plantlets of *Bacopa monnieri* L. **Vegetos**. 1-6.
- Naik, P. M., Godbole, M., Nagella, P. and Murthy, H. N. 2017. Influence of different media, medium strength and carbon sources on adventitious shoot cultures and production of bacoside A in *Bacopa monnieri* (L.). **Ceylon Journal Science**. 46(4) : 97-104.
- Patil, B. S. and Alva, A. K. 1999. Enhancing citrus nutraceuticals through variable nutrient rates. **Hort Science**. 34(3) : 520-520.
- Paulus, D., Barbieri, L., Febrario, A. M. D. O. and Becker, D. 2022. Growth and quality of chives in hydroponic system with concentrations of magnesium sulfate. **Horticultura Brasileira**. 40(3) : 311-320.
- Saloni, S. M., Rai, D. C., Panda, P. and Kumar, S. 2022. A comprehensive review on *Bacopa monnieri* (L.) pennell (brahmi): utilization as a functional food ingredient and health-promoting attributes. **Annals of Phytomedicine**. 11(1) : 142-150.
- Saran, P. L., Damor, H. I., Lodaya, D. H., Suthar, M. K., Kalariya, K. A., and Roy, S. 2022. Identification of potential accessions of *Bacopa monnieri* L. for herbage yield and bacosides A content. **Industrial Crops and Products**. 176 : 114348.
- Shankar, P. S., Preeti, B., Santanu, B., Gajanan, D. and Rupesh, D. 2018. Brahmi (*Bacopa monnieri*) as functional food ingredient in food processing industry. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. 7(3) : 189-194.

- Sharma, S., Sonkar, K., Singh, V., Roy, A. and Ghotekar, S. 2021. Bacosides: A pharmaceutically important compound. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences.** 91(4) : 753-759.
- Shirazi, O. U., Khattak, M. M. A. K. and Shukri, N. A. M. 2014. Determination of total phenolic, flavonoid content and free radical scavenging activities of common herbs and spices. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry.** 3(3) : 104-108.
- Subashri, B. and Koilpillai, Y. J. 2012. Phytochemical analysis and in vitro antioxidant activity from the extract of *Bacopa monnieri* (L.) pennel—a multipurpose medicinal plant. **International Journal of Pharma and Bio Sciences.** 3(2) : 698-702.
- Tei, F., P. Benincasa. and M. Guiducci. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. **European Journal of Agronomy.** 18 : 45-55.
- Warrier, R. R. 2021. Authentication of herbal products to attract global markets. **Annals of Phytomedicine.** 10(2) : 1-3.
- Xuan, T. D., Huong, C. T., Quan, N. V., Anh, L. H., Khanh, T. D. and Rayee, R. 2022. Improvement of salinity tolerance in rice seedlings by exogenous magnesium sulfate application. **Soil Systems.** 6 : 69.
- Zhang, Y., Zhang, Q., Wang, Y., Lin, S., Chen, M., Cheng, P., Wang, Y., Du, M., Jia, X., Wang, H. and Ye, J. 2023. Effects of magnesium on transcriptome and physicochemical index of tea leaves. **Plants.** 12 : 1810.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรทในสูตรสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการวิเคราะห์สารพฤกษเคมีของพรรณไม้ น้ำพรมมิ 4 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน

ปัจจัย		NH ₄ NO ₃ (mEq/L)			
		0 (ชุดควบคุม)	0.5	1	2
TPC (mgGAE/g)	น้ำกลั่น	5.01±0.63	5.23±0.11	4.69±0.28	4.70±0.15
	95 % เอทานอล	8.13±0.76	8.33±0.24	8.25±0.39	8.07±0.21
TFC (mgQE/g)	น้ำกลั่น	5.65±0.37 ^c	5.94±0.42 ^{ac}	6.70±0.29 ^a	6.56±0.21 ^{ab}
	95 % เอทานอล	18.46±0.35	18.70±0.64	17.70±0.81	18.18±0.32
TSC (mgSaponin/g)	น้ำกลั่น	43.98±3.41	79.48±27.96	67.65±26.68	65.68±17.75
	95 % เอทานอล	170.21±18.07 ^b	249.11±25.79 ^a	233.33±9.03 ^a	231.36±11.83 ^a
DPPH (% Inhibition)	น้ำกลั่น	4.58±0.36 ^{bc}	5.67±0.55 ^a	5.19±0.24 ^{ab}	4.46±0.12 ^c
	95 % เอทานอล	11.95±0.24 ^b	13.92±0.42 ^a	14.45±1.43 ^a	13.20±0.48 ^{ab}
ABTS (% Inhibition)	น้ำกลั่น	94.43±0.56	94.58±0.49	94.23±0.42	94.42±0.30
	95 % เอทานอล	93.08±0.61 ^b	94.30±0.58 ^a	93.55±0.45 ^{ab}	92.79±0.56 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 2 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรทในสูตรสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการวิเคราะห์สารพฤกษเคมีของพรรณไม้ น้ำพรมมิ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน

ปัจจัย		NH ₄ NO ₃ (mEq/L)			
		0 (ชุดควบคุม)	0.5	1	2
TPC (mgGAE/g)	น้ำกลั่น	6.04±0.57	6.20±0.36	5.73±0.19	5.61±0.45
	95 % เอทานอล	7.21±0.42 ^b	8.05±0.28 ^a	7.77±0.26 ^{ab}	7.61±0.09 ^{ab}
TFC (mgQE/g)	น้ำกลั่น	6.60±0.29	7.27±0.32	6.89±0.21	6.75±0.21
	95 % เอทานอล	16.56±0.59	16.80±0.37	17.56±0.43	17.08±0.65
TSC (mgSaponin/g)	น้ำกลั่น	55.81±3.41 ^b	118.93±21.34 ^a	77.51±10.24 ^b	75.54±12.31 ^b
	95 % เอทานอล	207.69±21.33 ^c	286.58±21.31 ^a	245.16±18.07 ^b	243.19±11.83 ^b
DPPH (% Inhibition)	น้ำกลั่น	5.19±0.55 ^a	4.38±0.34 ^b	3.66±0.18 ^c	3.74±0.24 ^{bc}
	95 % เอทานอล	8.17±0.25 ^a	8.29±0.42 ^a	6.68±0.13 ^c	7.40±0.27 ^b
ABTS (% Inhibition)	น้ำกลั่น	94.61±0.29	93.72±0.58	94.85±0.29	93.96±0.57
	95 % เอทานอล	94.02±0.58	93.83±0.08	93.27±0.94	93.88±0.77

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 3 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตในสูตร

สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการวิเคราะห์สารพฤกษเคมีของพรรณไม้ น้ำ
พรมมิ 4 สปีดาร์ โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน

ปัจจัย		MgSO ₄ (mEq/L)			
		1 (ชุดควบคุม)	1.5	2	2.5
TPC (mgGAE/g)	น้ำกลั่น	3.51±0.10	3.55±0.42	3.64±0.08	3.94±0.22
	95 % เอทานอล	6.07±0.58 ^b	7.62±0.32 ^a	7.67±0.53 ^a	6.84±0.26 ^{ab}
TFC (mgQE/g)	น้ำกลั่น	1.17±0.43	0.93±0.29	1.12±0.28	1.50±0.21
	95 % เอทานอล	9.41±0.51 ^b	9.27±0.14 ^b	11.46±0.21 ^a	10.65±0.64 ^a
TSC (mgSaponin/g)	น้ำกลั่น	99.21±13.66	138.65±27.96	136.68±15.65	109.07±19.02
	95 % เอทานอล	578.50±13.66	576.52±13.66	556.80±61.77	541.02±38.49
DPPH (% Inhibition)	น้ำกลั่น	6.96±0.54 ^a	4.26±0.17 ^b	6.96±0.98 ^a	7.94±1.29 ^a
	95 % เอทานอล	13.94±0.96	14.50±2.01	14.41±0.35	14.27±0.66
ABTS (% Inhibition)	น้ำกลั่น	96.40±0.13 ^a	95.07±0.20 ^c	96.45±0.20 ^a	95.89±0.07 ^b
	95 % เอทานอล	83.67±2.61 ^c	87.43±0.90 ^b	93.45±0.55 ^a	89.86±1.83 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรทร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตในสูตร

สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 ต่อการวิเคราะห์สารพฤกษเคมีของพรรณไม้ น้ำ
พรมมิ 4 สปีดาร์ โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน

ปัจจัย		MgSO ₄ (mEq/L)			
		1 (ชุดควบคุม)	1.5	2	2.5
TPC (mgGAE/g)	น้ำกลั่น	4.33±0.12	4.40±0.34	5.15±0.54	4.73±0.29
	95 % เอทานอล	6.07±0.58	7.62±0.32	7.67±0.53	6.84±0.26
TFC (mgQE/g)	น้ำกลั่น	3.46±0.57	2.79±0.08	2.79±0.08	3.46±0.43
	95 % เอทานอล	6.93±0.54 ^c	8.12±0.51 ^{ab}	8.60±0.29 ^a	7.41±0.49 ^{bc}
TSC (mgSaponin/g)	น้ำกลั่น	148.52±15.65 ^b	249.11±27.11 ^a	162.32±27.96 ^b	237.27±5.91 ^a
	95 % เอทานอล	322.09±6.83 ^c	410.84±20.78 ^b	450.29±41.42 ^b	531.16±3.41 ^a
DPPH (% Inhibition)	น้ำกลั่น	4.55±0.26	5.07±0.53	4.72±0.19	4.27±0.34
	95 % เอทานอล	11.20±0.19	11.27±0.11	11.14±0.22	10.88±0.22
ABTS (% Inhibition)	น้ำกลั่น	80.22±1.53	84.27±0.82	73.87±7.68	71.11±6.66
	95 % เอทานอล	60.25±8.18	58.32±4.38	60.76±4.04	60.12±1.22

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 การวิเคราะห์สารพฤกษเคมีเริ่มต้นของพรรณไม้น้ำพรมมิ

ตัวทำละลาย	TPC (mgGAE/g)	TFC (mgQE/g)	TSC (mgSaponin/g)	DPPH (% Inhibition)	ABTS (% Inhibition)
น้ำกลั่น	5.20±0.27	0.79±0.08	156.41±32.58	20.67±2.17	96.90±0.44
95 % เอทานอล	12.01±0.27	10.41±0.24	278.69±25.79	38.75±1.42	96.03±0.15

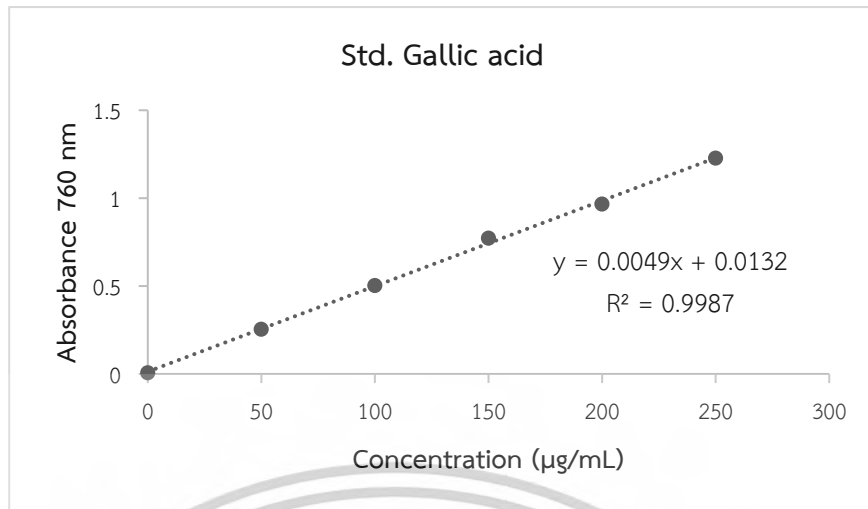
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย (Mean±SD)



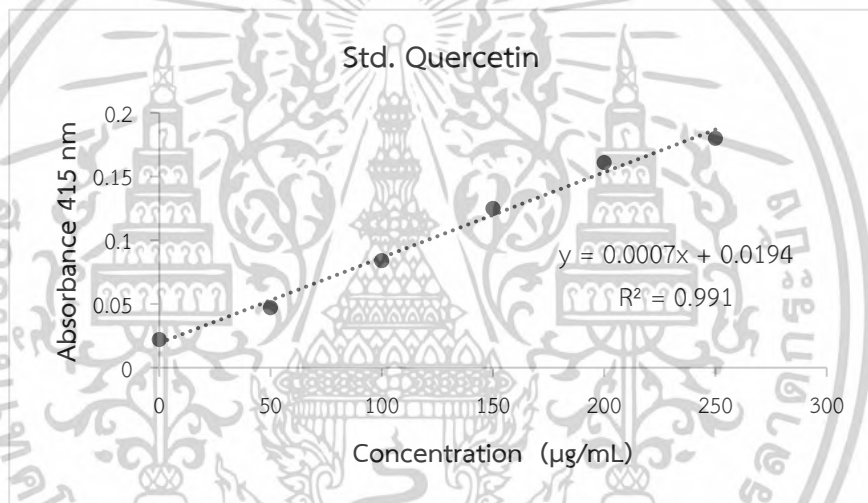
ภาพผนวกที่ 1 การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำพรมมิในระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0 mEq/L (Control), 0.5 mEq/L (A), 1 mEq/L (B) และ 2 mEq/L (C) ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์



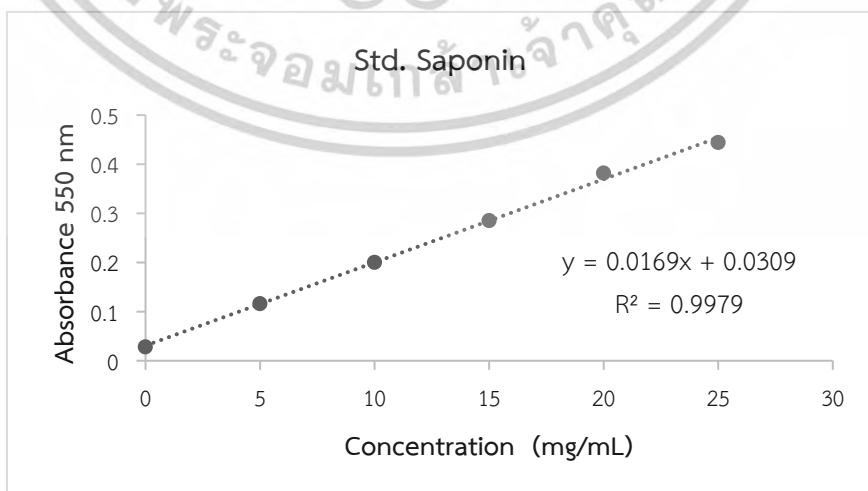
ภาพผนวกที่ 2 การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำพรมมิในความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรท ร่วมกับระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 mEq/L (Control), 1.5 mEq/L (A), 2 mEq/L (B) และ 2.5 mEq/L (C) ในสารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์



ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพรมมิ



ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานเคออสทีนในการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของพรมมิ



ภาพผนวกที่ 5 กราฟมาตรฐานซาโปนินในการวิเคราะห์ปริมาณซาโปนินทั้งหมดของพรมมิ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวรารัตน์ น้ำผึ้ง
วัน เดือน ปีเกิด	16 มิถุนายน 2542
ที่อยู่	159 ม.4 ต.บ้านระกาศ อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2565 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

