กากตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจากการบำบัดน้ำเสียและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

CALCIUM PHOSPHATE SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT AND ITS APPLICATION IN AGRICULTURE

มลิวัลย์ เนตรสุวรรณ์
ศศิภา คงเหลี่ยม
สบหทัย ป้องหลักคำ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALCIUM PHOSPHATE SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT AND ITS APPLICATION IN AGRICULTURE

MALIWAN NETSUWAN
SASIPA KONGLIAM
SOBHATHAI PONGLAKKHOM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	กากตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจากการบำบัดน้ำเสียและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร Calcium Phosphate Sludge from Wastewater Treatment and Its Application in Agriculture
ชื่อนักศึกษา	นางสาวมลิวัลย์ เนตรสุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 62050429 นางสาวศศิภา คงเหลี่ยม รหัสนักศึกษา 62050449 นางสาวสบหทัย ป้องหลักคำ รหัสนักศึกษา 62050454
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ กากตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจากการบำบัดน้ำเสียและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ชื่อนักศึกษา นางสาวมลิวัลย์ เนตรสุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 62050429
นางสาวศศิภา คงเหลี่ยม รหัสนักศึกษา 62050449
นางสาวสบหทัย ป้องหลักคำ รหัสนักศึกษา 62050454

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจากการบำบัดน้ำเสียมาผลิตเป็นปุ๋ยน้ำเพื่อใช้บำรุงพืช โดยเตรียมตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจากการตกตะกอนตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร 200 มิลลิลิตรด้วยสารประกอบแคลเซียมที่ได้จากการเผาเปลือกหอยแครงที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง จำนวน 2 กรัม ปั่นกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที และปั่นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนที่ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ จากนั้น เตรียมปุ๋ยน้ำโดยละลายตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตในกรดซิตริกเข้มข้น 0.2% โดยแปรค่าปริมาณตะกอนตั้งแต่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 750 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้น นำไปฉีดพ่นต้นดาวเรืองอายุ 18 วัน ปริมาณ 3 มิลลิลิตรต่อครั้ง โดยให้ปุ๋ยทุกๆ 7 วัน จนครบ 21 วัน วัดอัตราการเจริญเติบโตของดาวเรืองโดยใช้ความสูงของต้น ความยาวราก และจำนวนใบ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ยืนยันว่าตะกอนที่เกิดขึ้นมีโครงสร้างของแคลเซียมฟอสเฟต จากผลการศึกษาพบว่า ต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยน้ำมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความสูง จำนวนใบ และความยาวราก ตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำ โดยต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยน้ำ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสูงของลำต้น และความยาวของราก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต ดาวเรือง การบำบัดน้ำเสีย

Title	Calcium Phosphate Sludge from Wastewater Treatment and Its Application in Agriculture
Students	Miss Maliwan Netsuwan Student ID 62050429
	Miss Sasipa Kongliam Student ID 62050449
	Miss Sobhathai Ponglakkham Student ID 62050454
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
School	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2022
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

This special project examined the feasibility study for the use of calcium phosphate sludge from wastewater treatment to produce liquid fertilizer for plant nourishment. Calcium phosphate sludge was prepared by precipitating 200 ml of orthophosphate solution 100 µg/mL (as synthetic wastewater) with 2 g of cockle shells burned at 700 °C for 5 hours. The mixture was fast agitated at 100 rpm for 2 min and slow stirred at 30 rpm for 15 min. Chemical compositions of the sludge was determined by X-ray Diffractometry. Liquid fertilizer was prepared by dissolving calcium phosphate in citric acid 0.2% w/v. Its concentration was ranged from 300 to 750 mg/L. To study growth rate of plant, marigolds aged 18 days were sprayed liquid fertilizer 3 ml per time every 7 days for 21 days. Plant height, leaf number and root length were measured at the same periods. The results from X-ray Diffractometry confirmed the presence of calcium phosphate in the sludge. The experimental results indicated that the growth of marigolds receiving liquid fertilizer tended to increase following the increase of fertilizer concentration. The growth rate of marigolds receiving 600 mg/L of liquid fertilizer was not significantly different from that of 15-15-15 NPK liquid fertilizer.

Keywords: Calcium phosphate liquid fertilizer, Marigolds, Wastewater treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมาจากการได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนอย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และรศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่มีความกรุณาเสียสละเวลาที่คอยชี้แนะ แนะนำแนวทาง ให้คำปรึกษาต่างๆ ที่มีประโยชน์ รวมทั้งช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ในการทำโครงงานพิเศษ จนกระทั่งผลงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่เข้าร่วมเป็นกรรมการสอบโครงงานพิเศษนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการสาขาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการจัดการด้านการเงิน ทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้กลุ่มผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจเป็นแรงผลักดัน แรงบันดาลใจ และคอยสนับสนุนทางดานการศึกษาตลอดมา ทำให้กลุ่มของผู้วิจัยสามารถทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

มลิวัลย์ เนตรสุวรรณ์
ศศิภา คงเหลี่ยม
สบหทัย ป้องหลักคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 หอยแครง 4
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของหอยแครง 4
2.1.2 ส่วนประกอบของเปลือกหอย 5
2.2 การตกตะกอนทางเคมี 6
2.3 ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต 6
2.3.1 ประเภทของสารประกอบฟอสฟอรัส 7
2.4 ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต 7
2.4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต 7
2.4.2 การผลิตแคลเซียมฟอสเฟต 8
2.4.3 การนำปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟตไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตร 8
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช 9
2.5.1 ดิน 9
2.5.2 น้ำ 9
2.5.3 ธาตุอาหาร 9
2.5.4 แสงอาทิตย์หรือแสงแดด 10
2.5.5 อากาศ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.6 อุณหภูมิ 11
2.6 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช 12
2.6.1 มหธาตุ 12
2.6.2 จุลธาตุ 13
2.7 ดาวเรือง 15
2.7.1 ลักษณะทั่วไปของดาวเรือง 15
2.7.2 ชนิดของดาวเรือง 15
2.7.3 การขยายพันธุ์ดาวเรือง 16
2.7.4 ระยะเวลาปลูก 17
2.7.5 การเตรียมดิน 17
2.7.6 การปลูกดาวเรือง 17
2.7.7 การดูแลรักษาดาวเรือง 18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 21
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 21
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 21
3.1.2 สารเคมี 22
3.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง 22
3.3 การตกตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต 23
3.3.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ 23
3.3.2 การตกตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต 23
3.4 การเตรียมปุ๋ยน้ำจากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำ 24
3.4.1 สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ 24
3.4.2 การเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต 24
3.5 การศึกษาผลของความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืช 24
3.5.1 การวางแผนการทดลอง 25
3.5.2 ขั้นตอนการทดลองพืช 25
3.5.3 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 27
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกหอยและตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต 27
4.1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดออร์โธฟอสเฟต 29
4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต 29
4.2.1 ความสามารถในการละลาย (Solubility) 29
4.2.2 พีเอช (pH) 30
4.2.3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) 31
4.2.4 แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Calcium) 32
4.3 ผลการเจริญเติบโตของพืช 32
4.3.1 ความสูงของพืช 32
4.3.2 จำนวนใบของพืช 33
4.3.3 ความยาวของรากพืช 34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 37
5.1 สรุปผลการวิจัย 37
5.2 ข้อเสนอแนะ 37
เอกสารอ้างอิง 38
ภาคผนวก 41
ภาคผนวก ก 42
ภาคผนวก ข 50
ภาคผนวก ค 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอย..... 23

3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต 24

3.3 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)... 25

4.1 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยและตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต 27

ข-1 ร้อยละผลผลิตของเปลือกหอยแครงบดละเอียดที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 50

ข-2 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตของเปลือกหอยแครงผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต..... 50

ข-3 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลือในน้ำ..... 50

ข-4 ร้อยละผลผลิตของตะกอนหลังการบำบัด..... 51

ข-5.1 ความสามารถในการละลายของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต..... 51

ข-5.2 พีเอชของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต..... 51

ข-5.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์..... 52

ข-5.4 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ 52

ข-5.5 ความสูงของพืชในแต่ละสัปดาห์..... 52

ข-5.6 จำนวนใบของพืชในแต่ละสัปดาห์ 53

ข-5.7 ความยาวรากของพืชเมื่อครบ 21 วัน 54

ค-1 Factor Information 55

ค-2 Analysis of Variance (ความสูง สัปดาห์ที่1)..... 55

ค-3 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons 55

ค-4 Analysis of Variance (ความสูง สัปดาห์ที่ 2) 56

ค-5 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons 56

ค-6 Analysis of Variance (ความสูง สัปดาห์ที่ 3) 56

ค-7 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons 57

ค-8 Analysis of Variance (จำนวนใบ สัปดาห์ที่ 1)..... 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ค-9 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons 57
ค-10 Analysis of Variance (จำนวนใบ สัปดาห์ที่ 2)..... 58
ค-11 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons 58
ค-12 Analysis of Variance (จำนวนใบ สัปดาห์ที่ 3) 58
ค-13 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons 59
ค-14 Analysis of Variance (ความยาวราก)..... 59
ค-15 ผลการเปรียบเทียบความยาวรากของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 เปลือกหอยแครง 4

2.2 วัฏจักรของแคลเซียมคาร์บอเนต..... 5

2.3 ดาวเรือง 15

3.1 การจัดวางชุดการทดลองของต้นดาวเรือง 26

4.1 เปลือกหอยแครงบดเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ก) ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต (ข)..... 27

4.2 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของสารประกอบแคลเซียมที่ใช้ในการศึกษา (ก) ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต (ข)..... 28

4.3 ความสามารถในการละลายของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละความเข้มข้น 30

4.4 พีเอชของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละความเข้มข้น..... 31

4.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละความเข้มข้น 31

4.6 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยน้ำในแต่ละความเข้มข้น..... 32

4.7 ความสูงของพืชในแต่ละสัปดาห์ (NC หมายถึงชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย, TX หมายถึงชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และ PC ชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ย NPK สูตร 15-15-15) 33

4.8 จำนวนใบของพืชแต่ละสัปดาห์ (NC หมายถึงชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย, TX หมายถึงชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และ PC ชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ย NPK สูตร 15-15-15) 34

4.9 ความยาวของรากพืชแต่ละชุดการทดลอง (NC หมายถึงชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย, TX หมายถึงชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และ PC ชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ย NPK สูตร 15-15-15)..... 35

4.10 ลักษณะของดางเรืองในชุดการทดลองต่างๆ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
mg /L	มิลลิกรัมต่อลิตร
°C	องศาเซลเซียส
mg $CaCO_3$/g Shell	มิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกรัมของเปลือกหอย
µg/L	ไมโครกรัมต่อลิตร
mL	มิลลิลิตร
cm	เซนติเมตร
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
XRD	เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ แต่เมื่อปริมาณของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมากเกินไป ทำให้สาหร่ายและแพลงค์ตอนพืชในแหล่งน้ำเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว ปกคลุมหนาแน่นบริเวณผิวน้ำ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่ายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หรือสาหร่ายสะพรั่ง ปรากฏการณ์นี้ส่งผลกระทบอย่างต่อเนื่องในระบบนิเวศ โดยเฉพาะเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง และเกิดการย่อยสลายของซากของพืชและสาหร่ายด้วยการดึงออกซิเจนจากแหล่งน้ำมาใช้ในปริมาณมาก ทำให้แหล่งน้ำมีปริมาณของออกซิเจนต่ำมาก ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง จนอาจเกิดภาวะขาดออกซิเจนได้ (คัดคณัฐ ชื่นวงศ์อรุณ และณภัทรดนัย, 2563) เป็นที่ยอมรับกันว่าปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในน้ำเสียชุมชน มาจากการใช้ซักล้างในครัวเรือน ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่พบในน้ำเสียชุมชนมีปริมาณระหว่าง 2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร (มั่นสินและมั่นรักษ์, 2545 อ้างถึงในชีระวิทย์, 2548) ดังนั้นการระบายน้ำเสียชุมชนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆ จึงส่งผลต่อสมดุลของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำและอาจสร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหายูโทรฟิเคชัน ทำให้การลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงเป็นแนวทางที่จำเป็นในการป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งรองรับน้ำทิ้งต่างๆ

วิธีการตกตะกอนทางเคมี จัดเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย เนื่องจากทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าวิธีการบำบัดทางชีวภาพ (ชีระวิทย์, 2548) งานวิจัยของเอกวิทย์และชุติมา (2561) ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ของเปลือกหอยแครงที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 90 ในการตกตะกอนฟอสฟอรัสในน้ำ ผลการศึกษาพบว่าสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยจะจับตัวกับฟอสเฟตในน้ำเกิดเป็นผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต ธนบดีและคณะ (2564) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยแมลงภู่ในการตกตะกอนออร์โธฟอสเฟตในน้ำ ผลการศึกษาพบว่าสารประกอบแคลเซียมที่ได้จากการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ที่ 700 องศาเซลเซียส สามารถตกตะกอนฟอสฟอรัสได้สูงถึง 99.3% ตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียมีแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่การนำตะกอนของเกลือแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการเกษตรยังมีการศึกษาอยู่อย่างจำกัด โครงงานพิเศษนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ของการนำตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจากการบำบัดน้ำเสียออร์โธฟอสเฟตด้วยสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยแครงมาใช้เป็นปุ๋ยบำรุงพืช

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ ตะกอนที่ได้จากการบำบัดสารละลายออโธร์ฟอสเฟตด้วยสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยแครง

1.1 สารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยแครง เตรียมได้โดยการบดและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง อ้างอิงตามงานวิจัยของธนบดี และคณะ (2564)

1.2 ศึกษาคุณสมบัติของสารประกอบแคลเซียม ได้แก่ ร้อยละผลผลิต ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต และโครงสร้างของสารประกอบแคลเซียม

1.3 สภาวะที่ใช้ในการตกตะกอน คือ สารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยต่อสารละลายฟอสเฟตเท่ากับ 1:100 ระยะเวลาในการปั่นกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 2 นาที ปั่นกวนช้าที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติของตะกอนและสารละลายหลังบำบัด

2.1 ศึกษาวิเคราะห์สมบัติของตะกอนที่ได้ ได้แก่ โครงสร้างผลึกของตะกอน

2.2 วิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลือในสารละลาย

3. ศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยน้ำ

3.1 พืชที่ใช้ในการทดลองคือ ต้นดาวเรืองอายุ 18 วัน

3.2 ตัวแปรอิสระ คือ ความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต (300, 450, 600 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร)

- ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความสามารถในการละลาย (Solubility), ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(Available Phosphorus) และแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Calcium)
- ติดตามการเจริญเติบโตของพืชทดลองด้วยวัดจากความสูงที่เพิ่มขึ้นของลำต้น จำนวนใบ และความยาวของรากพืช

3.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่

- รดน้ำ 50 มิลลิลิตร ทุกๆ วัน วันละ 1 ครั้ง
- ให้ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตด้วยวิธีการพ่น ปริมาณ 3 มิลลิลิตรต่อ 1 ต้น สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถนำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม
2) เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หอยแครง

“หอยแครง” (ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Anadara granosa*) ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า “Cockle shell" เป็นหอยสองฝา โดยฝามีลักษณะค่อนข้างกลม มีเปลือกหนา ภายนอกของเปลือกทั้งสองฝั่งของเปลือกมีสันนูนจากด้านหลังไปยังปลายขอบของเปลือกหอย เส้นสีของเปลือกหอยอาจจะมีอาจจะมีสีขาวหรือสีแดงปนดำหรือสีแดงปนน้ำตาลดังรูปที่ 2.1 ซึ่งโดยปกติแล้วเปลือกของหอยแครงนั้นจะมีสีขาวแต่เนื่องจากการถูกดินโคลนจับจนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 6-7 เซนติเมตร พบได้บริเวณชายฝั่งทะเลที่เป็นหาดโคลนและเลน เปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 97 และจากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเปลือกหอยแครง พบว่า มีโครงสร้างเป็นทั้งอะราโกไนต์และแคลไซต์

รูปที่ 2.1 เปลือกหอยแครง
ที่มา : สุภกร (2558)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของหอยแครง

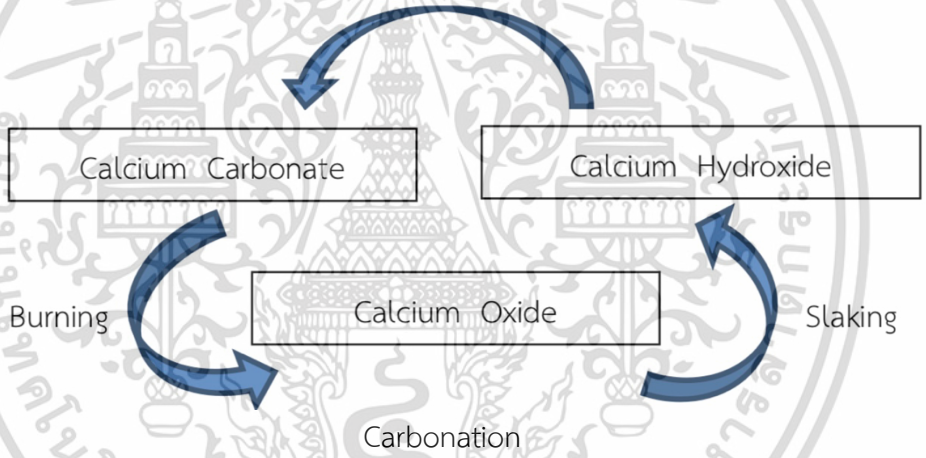
หอยแครง เป็นหอย 2 ฝา มีขนาดและลักษณะที่เหมือนกันทั้ง 2 ฝา เปลือกค่อนข้างกลม มีสัน และร่องในแนวตั้งเห็นชัดเจนทำให้ตามขอบ เปลือกเป็นรอยหยักไปด้วยดังรูปที่ 2.1ไม่มีแผงฟัน (radula) เหงือกขนาดใหญ่มีไว้สำหรับหายใจและกรองอาหารเป็นแบบ lamellibranch มีแมนเติลคลุมตัว ขอบของแมนเติลซ้ายและขวาไม่เชื่อมติดกัน หรืออาจเชื่อมเฉพาะจุด ฝาทั้งสองยึดติดกันด้วยบานพับ หอยแครงมีทั้งเพศผู้และเพศเมียซึ่งผสมพันธุ์แบบภายนอกตัวและระยะที่เป็นตัวอ่อนเป็นแพลงค์ตอนสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของหอยแครงเป็นพื้นที่ดินบริเวณหาดเลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียดบริเวณปากแม่น้ำหรือป่าชายเลนจนถึงแนวที่อยู่ห่างจากฝั่งออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร หอยแครงมักจะฝังตัวอยู่ตามผิวดินโคลนลึกตั้งแต่ 1-12 นิ้ว ซึ่งบริเวณดังกล่าวควรเป็นอ่าวที่กำบังคลื่นลมได้ดีแม่น้ำลำคลองไหลลงสู่อ่าว เพื่อพัดพาธาตุอาหารที่เป็นอาหารของหอยแครงไปกองรวมกัน สามารถเห็นรอยการเคลื่อนที่เพื่อหาอาหารและจะฝังตัวใต้ผิวดินเพื่อป้องกันน้ำออกจากภายในตัวหอย หอยจะมีการเปิดฝาเล็กน้อย โดยจะยังมีสภาวะการไหลเวียนของน้ำและการหายใจเกิดขึ้นเป็นปกติ ภายในเปลือกหอย และในเลือดมีสารอีโมโกลบบิล (haemoglobin) ซึ่งเมื่อรวมกับอากาศจะเป็นสีแดง จึงได้ชื่อว่า blood clam

2.1.2 ส่วนประกอบของเปลือกหอย

จุดที่สามารถหลอมละลายจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งจะสามารถดูดความชื้นในอากาศได้ดีและยัง สามารถเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้โดยวัฏจักรของแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังภาพที่ 2.2 (สุภากร, 2550)



รูปที่ 2.2 วัฏจักรของแคลเซียมคาร์บอเนต
ที่มา : สุภกร (2558)

ในธรรมชาติพบวัสดุหลายชนิดที่มีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เช่น ปะการัง เปลือกไข่ เปลือกหอย ซึ่งมีรายงานว่าเปลือกหอยจะประกอบด้วยสารจากพวกแคลเซียมคาร์บอเนตมาก ถึงร้อยละ 95-99 และมีโปรตีนเป็นสารเชื่อมต่อประมาณร้อยละ 0.1-5.0 โดยน้ำหนักโดยเปลือกหอยจะมีชั้นผนึกแคลเซียมคาร์บอเนต (prismatic layer) ซึ่งเป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุดประกอบด้วยสารประกอบ แคลเซียมคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแคลไซต์ (สุภกร, 2558)

เปลือกหอยแครงเมื่อนำไปเผาจะสามารถนำมาผลิตปูนขาวหรือผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเปลือกหอยแครงกว่าร้อยละ 95 จะประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เหลือจะเป็นแคลเซียมฟอสเฟต, แมกนีเซียมฟอสเฟส, แมกนีเซียมซิลิเกต, แมกนีเซียมคาร์บอเนต, โปรตีนประเภท คอนไคโอลิน (conchinolim)

2.2 การตกตะกอนทางเคมี

การตกตะกอนทางเคมีหรือกระบวนการตกผลึก เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการเติมสารเคมีเพื่อช่วยตกตะกอนโดยสารเคมีที่เรียกว่า รีแอกแตนท์ (Reactant) เข้าทำปฏิกิริยา (Reaction) กับสารที่ละลายอยู่ในน้ำเกิดกลุ่มตะกอน (Precipitate) ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ปฏิกิริยาการกำจัดความกระด้าง เนื่องจากแคลเซียมไบคาร์บอนเนต ($Ca(HCO_3)_2$) ด้วยปูนขาวหรือน้ำปูนใสหรือเกลือของแคลเซีย ($Ca(OH)_2$) เมื่อแคลเซียมไบคาร์บอนเนตอยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปแคลเซียมไอออนและไบคาร์บอเนต ซึ่งแคลเซียมไอออนนี้เป็นสาเหตุของความกระด้าง เมื่อเติมน้ำปูนใสซึ่งเป็นรีแอกแตนท์ลงไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ (Product) เกิดขึ้น คือตะกอนผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ไม่ละลายน้ำหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไอออนประจุบวกและประจุลบรวมกันเกิดเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนแคลเซียมไอออนที่ละลายน้ำจะหมดไป น้ำจึงไม่กระด้างอีก ดังสมการที่ (2.1)

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2\,CaCO_3 + 2H_2O \qquad (2.1)$$

2.3 ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต

ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) เป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่เป็นสาเหตุของปัญหามลพิษทางน้ำในปัจจุบัน ซึ่งมาจากกิจกรรมในด้านต่างๆที่เป็นสาเหตุของการปล่อยฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานงานอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้กิจกรรมจากการซักล้างในครัวเรือน การใช้ปุ๋ยเคมีจากภาคการเกษตรล้วนเป็นสาเหตุของการปล่อยฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัสตามธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เมื่อมีการปล่อยฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสจะกลายเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อพืชน้ำ (Aquatic plants), สาหร่าย (Algae) และแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) ซึ่งจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นอย่างหนาแน่น เรียกว่า ปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) การแพร่กระจายปกคลุมผิวน้ำของผู้ผลิตเหล่านี้ทำให้แสงสว่างไม่สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำได้ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง พืชน้ำและสัตว์น้ำไม่สามารถหายใจได้เนื่องจากความเข้มแสงไม่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์แสงส่งผลให้พืชที่อยู่ใต้น้ำตายลง อีกทั้งยังส่งผลถึงปริมาณออกซิเจนในน้ำที่จำเป็นต่อกระบวนหายใจของสิ่งมีชีวิตใต้น้ำลดลงหรือเกิดภาวะขาดออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ประเภทของสารประกอบฟอสฟอรัส

สารประกอบฟอสฟอรัสที่พบในน้ำ มี 3 ประเภท ดังนี้

1) ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) หรืออาจจะเรียกอีกอย่างว่า ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) ได้แก่ ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4), ไดโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4), โมโนโซเดียมฟอสเฟต ($NaHPO_4$) และ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$)

2) คอนเดนส์ฟอสเฟต (Condentphosphate) หรือ โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) เป็นสารประกอบที่พบได้มากในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาดเมื่อแตกตัวจะให้ออร์โธฟอสเฟตออกมา ได้แก่ โซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต ($Na_3(PO_4)_6$), โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ($Na_5P_3O_{10}$) และเตตระโพลีฟอสเฟต ($Na_4P_2O_7$) คอนเดนส์ฟอสเฟตเป็น Dehydrate Phosphate ดังนั้นจะถูกไฮโดรไลส์ในน้ำกลับไปเป็นออร์โธฟอสเฟตตามเดิม อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและพีเอชที่ต่ำ และจะเกิดในน้ำสกปรกรวดเร็วกว่าน้ำบริสุทธิ์

3) อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphate) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดนิวคลีอิค (Nucleic Acid) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) น้ำตาลฟอสเฟต (Sugar Phosphate) (เสาวภา, 2558)

2.4 ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต

ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟตมีธาตุอาหารสำหรับพืชอันประกอบด้วยธาตุแคลเซียม และฟอสฟอรัส สามารถอธิบายบทบาทและหน้าที่ได้ดังนี้

1. แคลเซียม (Ca) เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ ซึ่งจำเป็นและมีหน้าที่สำคัญต่อการแบ่งเซลล์ ช่วยให้ผนังเซลล์แข็งแรง เป็นองค์ประกอบที่สำคัญและกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์หลายชนิด ทำหน้าที่ลดพิษของกรดอินทรีย์ในพืช ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก การผสมเกสร และการงอกของเมล็ด

2. ฟอสฟอรัส (P) มีความสำคัญต่อยีนส์ การแบ่งเซลล์ และการสร้างเซลล์ในพืช นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของฟอสฟอไลปิด (Phospholipid), NADP และ ATP เป็นตัวถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่อสารในระบบต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ การเคลื่อนย้ายสาร ช่วยในการเจริญเติบโตของราก จำเป็นสำหรับการออกดอกติดเมล็ด และการพัฒนาของเมล็ดหรือผล

2.4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต

1) ทางกายภาพ : ทำให้ดินร่วน โปร่งพรุน อากาศในดินถ่ายเทได้สะดวก น้ำไม่ขัง จุลินทรีย์ดินมีการเจริญเติบโตดี และมีกิจกรรมต่อเนื่องส่งผลให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดี

2) ทางเคมี : ทำให้ดินเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกเพิ่มความสามารถในการสรรหาและปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทางชีวภาพ : ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารพืช หรือลดการถูกตรึง (Fixation) ของธาตุอาหารในดินกรดจัด เช่น เป็นปุ๋ยที่เหมาะกับไม่ดอกไม้ประดับ ไม้กระถาง นาข้าว และพืชอื่นๆที่ขาดแคลเซียม โดยปกติแนะนำให้เกษตรผู้ปลูกพืชไร่ใช้ปรับปรุงดินในบริเวณพื้นที่ลาดชันที่มีธาตุเหล็กมาก (ดินสีแดง) เพื่อลดความเป็นกรดของดิน และส่วนประกอบที่เป็นสารฟอสเฟตทำหน้าที่ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสงให้พลังงานแก่พืชได้ดี

2.4.2 การผลิตแคลเซียมฟอสเฟต

การผลิตแคลเซียมฟอสเฟตมักนิยมใช้วิธีการสังเคราะห์เป็นหลัก เนื่องจากสามารถผลิตได้ในปริมาณมากในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีวิธีการผลิตหลายวิธี เช่น

- การตกตะกอนร่วมทางเคมี (Chemical Precipitation)

กระบวนการตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการที่ใช้สารในการตกตะกอน ซึ่งในหลักการนี้จะนำเกลือของแคลเซียม ($Ca(OH)_2$) ทำปฏิกิริยากับเกลือฟอสเฟตเป็นหลักภายใต้การควบคุมสภาวะที่เหมาะสม ดังสาการที่ (2.2)

$$5Ca(NO_3)_2 + 3(NH_4)3PO_4 + NH_4OH = Ca_5(OH)(PO_4)_3 + 10NH_4NO_3 \qquad (2.2)$$

2.4.3 การนำปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟตไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตร

ข้อมูลจากกลุ่มวิจัยปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน กรมวิชาการเกษตร พบว่า ปุ๋ยฟอสเฟตมีธาตุอาหารรองประเภทแคลเซียมซึ่งมีคุณลักษณะที่ปลดปล่อยตัวเองในสภาวะกรดอ่อนๆ (pH ประมาณ 5.5 หรือต่ำกว่า) โดยมีคุณสมบัติที่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น

1) ใช้ปรับปรุงดินโดยตรง มีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยปรับปรุงดินเหมาะสมกับการเพาะปลูกซึ่งเป็นลักษณะเด่นของปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของแคลเซียม โดยสามารถใช้กับดินที่มีอินทรียวัตถุสูง (pH ต่ำกว่า 5.5) ดินกรด ดินเปรี้ยวดินแน่น ดินเหนียว เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ผลการทดสอบตัวอย่างปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต พบว่า ในปริมาณปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต 100 กรัม พบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในปริมาณต่ำ และพบปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารรองในปริมาณสูง สามารถใช้เป็นปุ๋ยแคลเซียมในการปรับปรุงคุณภาพดินได้

2) ใช้ผสมร่วมกับปุ๋ยเคมี ข้อมูลจากกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ระบุให้ใช้ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต ผสมปุ๋ยชนิดต่างๆ เช่น ใช้ร่วมกับปุ๋ยคอก, ปุ๋ยฟอสเฟตชนิดละลายเร็ว ปุ๋ยไนโตรเจน (ประเภทแอมโมเนียม/ไนเตรต/ยูเรีย), ปุ๋ยมูลสัตว์ที่มีธาตุไนโตรเจนสูง, ปุ๋ยโพแทสเซียม ในอัตราส่วนเท่าๆ กัน ใช้ร่วมกับวัสดุเหลือใช้ที่เป็นกรด ได้แก่ กากน้ำตาลและน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉีดทางใบแก่พืชหรือผสมร่วมกับ น้ำส่าเหล้าเพื่อใช้สำหรับลองก้นหลุมก่อนปลูกพืชในอัตราส่วนที่เหมาะสม

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ได้ย่อมต้องการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม สภาพของสิ่งแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่

2.5.1 ดิน

ดินเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากดินเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานในการดำรงชีวิตของพืช ดินที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ ดินอุดมสมบูรณ์ โดยประกอบด้วยแร่ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช เป็นที่ยึดเกาะของรากพืช ช่วยยึดลำต้นให้แน่น และยังทำหน้าที่ในการกักเก็บน้ำ ให้อากาศแก่รากพืชเพื่อใช้ในการหายใจ โดยชั้นดินมีส่วนในการเอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูกพืชโดยเฉพาะดินชั้นบน องค์ประกอบและสัดส่วนของดินในอุดมคติต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ อนินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุ น้ำหรือสารละลาย และอากาศ ซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับ 45, 5, 25 และ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณหรือปริมาตร ปัจจุบันยังพบดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชแล้เป็นพิษต่อพืช ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงบำรุงดินให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ไม่ขาดธาตุอาหารหรือมีธาตุอาหารเยอะจนเกินไปเพื่อให้เหมาะสมแก่การเพาะปลูกพืช

2.5.2 น้ำ

น้ำ มีความสำคัญต่ออย่างมากการเจริญเติบโตของพืชอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งน้ำมีส่วนช่วยในการละลายแร่ธาตุอาหารในดินเพื่อให้รากสามารถดูดอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆของพืช อีกทั้งยังนำไปใช้ในการทำงานของกระบวนการต่างๆในพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis), การสร้างอาหารของพืช, การหล่อเลี้ยงเซลล์และช่วยให้เซลล์เต่งตึง

น้ำ เป็นตัวกลางสำหรับทำปฏิกิริยาทางเคมีในดิน โดยจะพบอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรืออนุภาคดิน (pore space) ซึ่งปริมาณน้ำในดินมีคามเกี่ยวข้องกับขนาดช่องว่างในดิน เนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และโครงสร้างของชั้นดิน หากดินขาดน้ำเป็นระยะเวลายาวนาน น้ำที่พบในช่องว่างในดินหมดไป พืชไม่สามารถดูดน้ำได้ทำให้พืชมีอาการเหี่ยว

2.5.3 ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารเป็นสิ่งที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโต ดียิ่งขึ้น ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมี 16 ธาตุ แต่ธาตุที่พืชต้องการมากและในดินมักมีไม่เพียงพอ คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารเหล่านี้จะต้องอยู่ในรูปสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้และต้องมีปริมาณ ที่พอเหมาะ จึงจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปด้วยดี แต่ถ้ามีไม่เพียงพอต้องเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชในรูปของปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชมี 16 ธาตุ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม

1) คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เป็นส่วนประกอบประมา 94-99.5% ของน้ำหนักสดของพืช และพืชได้รับจากอากาศและน้ำ

2) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโปตัสเซียม (K) มักเรียกธาตุอาหารหลักหรือปุ๋ยเพราะพืชต้องการใช้มาก และดินมักจะขาดธาตุเหล่านี้ จึงมักใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชในไร่นาทั่วไป

3) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เรียกว่าธาตุรอง เพราะพืชต้องการใช้มากรองจาก N, P, K

4) เหล็ก (F) แมงการนีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองดอง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) พืชต้องการในปริมาณน้อยมากแต่ก็ขาดไม่ได้ จึงเรียกกลุ่มนี้ว่า จุลธาตุ

ธาตุอาหารเหล่านี้จะต้องอยู่ในรูปสารละลายที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และต้องมีสัดส่วนที่พอเหมาะ ถ้าสัดส่วนมากเกินไปหรือน้อยเกินไปย่อมเกิดผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์สารต่างๆทำให้การเจริญเติบโตในพืชผิดปกติหรือพืชอาจตายได้ แต่ถ้าไม่เพียงพอต้องเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชในรูปของปุ๋ยซึ่งในพืชแต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์และในสภาพแวดล้อมอื่นๆต้องการธาตุอาหารต่างๆในสัดส่วนปละปริมาณที่แตกต่างกัน และยิ่งไปกว่านั้นตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตต่างๆของพืชยังมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกันอีกด้วย

2.5.4 แสงอาทิตย์หรือแสงแดด

แสง มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก อิทธิพลของแสงที่มีต่อพืชโดยตรงและสำคัญมาก คือ พืชจะใช้แสงในขบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เพื่อปรุงอาหารสำหรับพืชนั้นๆ ขบวนการสังเคราะห์แสงเป็นการปรุงอาหารของพืช โดยการทำปฏิกิริยาทางเคมีของ carbon-dioxide และน้ำ ซึ่งมีแสงเป็นตัวเร่งในการทำปฏิกิริยานี้ เกิดเป็นแป้งหรือน้ำตาลและ oxygen พืชจะคาย oxygen ที่เกิดขึ้นออกทางใบ ในการสังเคราะห์แสงนั้นอาหารที่พืชสร้างขึ้นก่อนคือ glucose หรือ fructose แล้วเกิดเป็นแป้งหรือน้ำตาลภายหลัง ปริมาณของพลังงานแสงที่พืชได้รับขึ้นอยู่กับความมากน้อยของแสงแดด

ความเข้มแสง (Light intensity) เป็นปัจจัยที่สำคัญของการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช หากพืชได้รับแสงที่มีความเข้มน้อยหรือแสงถูกบดบัง พืชจะหยุดการเจริญเติบโตชั่วคราว ผลร่วง โดยในพืชแต่ละชนิดมีความต้องการความเข้มแสงที่แตกต่างกันไปตามขนิดของพืช

ช่วงแสง (Light duration) ความยาวของช่วงแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน เช่น พืชบางชนิดเมื่อได้รับช่วงแสงที่มากเกินไปอาจทำให้พืชชนิดนั้นไม่ออกดอกหรือพืชบางชนิดหากได้รับแสงน้อยกว่าค่าความยาแสงวิกฤติอาจจะทำให้ออกดอกเร็ว เช่น เบญจมาศมีค่าความยาวแสงวิกฤติที่ 13.5 ชั่วโมง หากเบญจมาศได้รับแสงน้อยกว่านี้จะออกดอก เราจึงจัดเบญจมาศเป็นพืชวันสั้น จึงมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลูกพืชในโรงเรือนเพื่อเพิ่มช่วงแสงในกรณีที่ในช่วงการปลูกนั้นอยู่ในช่วงพัฒนาต้น หากสภาพแสงไม่เหมาะสม จำเป็นต้องเปิดไฟเพื่อควบคุมไม่ให้เบญจมาศออกดอก ในทางกลับกันม่านพรางแสงจะใช้เพื่อลดช่วงแสงและช่วยกระตุ้นให้เบญจมาศหยุด

คุณภาพแสง แสงที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างกันย่อมทำให้มีคุณภาพต่างกัน โดยมากแล้วพืชมักต้องการแสงสีน้ำเงินและแดงเป็นหลัก แต่สัดส่วนของแสงสีน้ำเงินต่อแดงที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับชนิดพืชเป็นหลัก โดยทั่วไปพืชจะใช้แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงในการสังเคราะห์แสงในปริมาณที่พอๆกัน แต่เนื่องจากแสงสีแดงถูกดูดซับจากน้ำได้ง่ายกว่าสีน้ำเงิน ช่วงของแสงสีแดงที่พืชใช้มากที่สุดคือช่วง 650-675 nm

2.5.5 อากาศ

ในอากาศมีแก๊สหลายชนิด แต่แก๊สที่พืชต้องการมาก คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารและหายใจ โดยสิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจนโดยจะเข้าไป Oxidize substrate แล้วปล่อยพลังงานออกมาใช้ สำหรับกระบวนการต่างๆของสิ่งมีชีวิตส่วนที่อยู่เหนือดินของพืชจะได้ออกซิเจนจากอากาศ ออกซิเจนจำเป็นสำหรับการหายใจ ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นอาจจะขาดแคลนได้บ้าง แต่ถ้าขาดมากเกินไปพืชจะไม่มีการสังเคราะห์แสงจึงไม่มีอาหารพอที่จะเติบโตต่อไปได้ อีกทั้งแก๊สทั้งสองชนิดนี้มีอยู่ในดินด้วย ดินนั้นจะมีออกซิเจนน้อยกว่าเหนือดิน คาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะมากกว่าในบรรยากาศตั้งแต่ 10 เท่าขึ้นไป ในการปลูกพืชเราจึงควรทำให้ดินโปร่งร่วนซุยอยู่เสมอ เพื่อให้อาหารที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีถ่ายเทได้

2.5.6 อุณหภูมิ

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิเพื่อใช้ในการเจริญเติบแตกต่างกันไป โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการต่างๆของพืช ตั้งแต่การเริ่มงอกของเมล็ด แล้วเจริญเติบโต อุณหภูมิที่พืชต้องการก็จะเปลี่ยนแปลงได้อยู่เสมอ อีกทั้งยังมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งในกระบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกคะตะไลต์โดยเอนไซม์ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิของพืชสูงเกิน 35 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์แสงจะลดลงเนื่องจากพืชมีการนำแป้งและน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงมาใช้ในการหายใจ

อุณหภูมิอากาศ เป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณความชื้น เนื่องจากอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความชื้นในอากาศ ถ้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณไอน้ำ และไอน้ำในอากาศจะควบคุมการระเหยน้ำไปจากต้นพืชและการระเหยน้ำจากดิน นอกจากนี้ความชื้นในดินยังมีผลต่ออุณหภูมิภายในต้นพืชและการหยั่งรากของพืช ถ้าความชื้นต่ำจะมีผลทำให้เซลล์พืชเหี่ยวแห้ง ถ้าความชื้นสูงจะมีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินเน่าเปื่อยได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมี 17 ชนิด โดย 3 ชนิด พืชได้รับมาจากน้ำและอากาศ ประกอบด้วยคาร์บอน (C) พืชได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) พืชได้จากน้ำ ส่วนที่เหลืออีก 14 ชนิด เป็นแร่ธาตุที่อยู่ในดิน แบ่งตามความต้องการของพืชได้ ดังนี้

2.6.1 มหธาตุ

มหธาตุ คือ ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก สูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มี 9 ธาตุ แบ่งเป็นธาตุที่ได้จากน้ำและอากาศ 3 ธาตุได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไฮโดรเจน ธาตุหลัก 3 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเฟต โพแทสเซียม และ ธาตุรอง 3 ธาตุได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน

2.6.1.1 ธาตุหลัก

1) ไนโตรเจน (N) ช่วยให้พืชเจริญได้เร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต เสริมใบและลำต้นให้มีสีเขียว และเพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่พืชที่ใช้เป็นพืชอาหาร เช่น ข้าว เป็นต้น อีกทั้งยังช่วยในเรื่องการออกดอกออกผล เพิ่มผลผลิต

- อาการของพืชที่ขาดธาตุไนโตรเจน : ใบจะเหลือง ลำต้นผอม กิ่งก้านลีบเล็กและมีใบน้อย พืชจะไม่เติบโต หรือโตช้ามาก
- อาการของพืชที่มีไนโตรเจนมากเกินไป : รากเจริญเติบโตได้น้อย ออกดอกยากและช้า ผลแก่ช้า คุณภาพผลผลิตไม่ดี

2) ฟอสฟอรัส (P) ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากฝอยและรากแขนง ช่วยเร่งให้พืชแก่เร็ว ช่วยในการออกดอก และสร้างเมล็ดของพืช ต้านทานต่อโรค และลำต้นแข็งแรง

- อาการของพืชที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส : ลำต้นแคระแกรน เนื้อไม้จะแข็งแต่เปราะหักง่าย รากเจริญเติบโตได้ช้าลง ดอกและผลหลุดล่วงได้ง่าย
- อาการของพืชที่มีฟอสฟอรัสมากเกินไป : สังกะสีและเหล็กไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำให้พืชขาดธาตุอาหารทั้งสองชนิดนี้ เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ไม่ถูกชะล้างได้ด้วยน้ำ

3) โพแทสเซียม (K) ทำหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต มีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและคุณภาพทำให้พืชมีความต้านทานโรคและสภาพอากาศ ช่วยเพิ่มคุณภาพของพืชผักและผลไม้ โดยทำให้พืชมีสีสัน ขนาด ความหวาน และคงทนต่อสภาวะแวดล้อมได้

- อาการของพืชที่ขาดธาตุโพแทสเซียม : พืชหยุดการเจริญเติบโต ใบพืชมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนสี ในพืชบางชนิดจะพบจุดสีน้ำตาลไหม้กระจายทั่วทั้งใบหรือพบจุดสีแดงหรือเหลืองระหว่างเส้นใบในใบอ่อน ถ้าอาการรุนแรงใบจะแห้งและร่วงก่อนกำหนด พบมากในไม้ผล

- อาการของพืชที่มีโพแทสเซียมมากเกินไป : ดูดซับธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมของพืชได้น้อยลง

2.6.1.2 ธาตุรอง

1) แคลเซียม (Ca) เป็นธาตุที่ต้นพืชนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตในตัวพืช ช่วยส่งเสริมการนำธาตุไนโตรเจนจากดินมาใช้ให้เป็นประโยชน์มากขึ้น ในระยะออกดอกและระยะที่สร้างเมล็ดพืชจะมีความจำเป็นมาก เพราะธาตุแคลเซียมจะมีส่วนในการเคลื่อนย้ายและเก็บรักษาคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในพืช เพื่อนำไปใช้ในการสร้างผลและเมล็ดต่อไป อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวให้ยาวนานขึ้น

- อาการของพืชที่ขาดธาตุแคลเซียม : มักเกิดขึ้นในบริเวณยอด และปลายราก ยอดอ่อนจะแห้งตาย และใบจะมีการการม้วนงอไปข้างหน้าและขาดเป็นริ้ว ๆ ซึ่งจะเกิดที่ใบอ่อนก่อน

- อาการของพืชที่มีแคลเซียมมากเกินไป : มีผลต่อการดูดใช้แมกนีเซียมและโพแทสเซียม

2) แมกนีเซียม (Mg) เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลด์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและมีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลภายในต้นพืช

- อาการของพืชที่ขาดธาตุแมกนีเซียม : พบได้ที่ใบพืชที่เหลืองซีดบริเวณเส้นกลางใบที่อยู่ใกล้กับผล จะทำให้ผลผลิตลดน้อยลงและต้นพืชทรุดโทรม

- อาการของพืชที่มีแมกนีเซียมมากเกินไป : ส่งผลต่อการดูดโพแทสเซียมและแคลเซียม

3) กำมะถัน (S) กำมะถันมีความจำเป็นต่อการสร้างโปรตีนพืช เป็นองค์ประกอบของวิตามินบางตัวที่มีผลทางอ้อมต่อการสร้างสีเขียวของพืช ซึ่งจะช่วยให้เกิดการหายใจและการปรุงอาหารพืช พืชที่ขาดกำมะถันจะมีเสียเขียวอ่อน หรือเหลืองคล้ายๆ อาการขาดไนโตรเจน

- อาการของพืชที่ขาดธาตุกำมะถัน : ใบมีขนาดเล็ก ยอดของพืชชะงักการเจริญเติบโต ลำต้นและกิ่งก้านลีบ ดินที่มักพบเสมอว่าขาดธาตุกำมะถันคือ ดินทราย ซึ่งมีอินทรียวัตถุน้อย

2.6.2 จุลธาตุ

จุลธาตุ เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง แต่พืชจะขาดไม่ได้เช่นกัน ประกอบด้วย เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) คลอรีน (Cl) โบรอน(B) โมลิบดินัม (Mo) และนิเกิล (Ni) ธาตุอาหารเหล่านี้มีความสำคัญเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองที่พืชจะขาดไม่ได้ แต่ความเป็นประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ จุลธาตุโดยเฉพาะเหล็กและสังกะสี จะเปลี่ยนตามค่าความเป็นกรดและด่างของดิน (pH) และความเข้มข้นของธาตุบางชนิด

1. เหล็ก (Fe) ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสง และช่วยกระตุ้นให้การหายใจและการปรุงอาหารของพืชเป็นไปอย่างสมบูรณ์

- อาการของพืชที่ขาดธาตุเหล็ก : ขนาดใบจะเล็กลงกว่าปกติและจะร่วงไปก่อนใบแก่เต็มที่ กิ่งแห้งตาย ผลผลิตจะลดลง ขนาดของผลเล็กและผิวไม่สวย

2. แมงกานีส (Mn) ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง อีกทั้งมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction) ในขบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ (สุมิตรา, 2545)

- อาการของพืชที่ขาดธาตุแมงกานีส : ใบอ่อนจะมีสีเหลืองในขณะที่เส้นใบยังเขียว ต่อมาใบที่มีอาการดังกล่าวจะเหี่ยวแล้วร่วงหล่น

3. สังกะสี (Zn) มีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์สาร AA (Indole acetic acid) ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของเซลล์พืช และยังมีบทบาทเกี่ยวกับการสร้างแป้งในพืช

- อาการของพืชที่ขาดธาตุสังกะสี : ใบอ่อนมีสีเหลือง รากสั้นไม่เจริญเติบโตตามปกติ หากปล่อยทิ้งจะแห้งตาย

4. ทองแดง (Cu) ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ซึ่งมีส่วนในการช่วยเพิ่มโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และป้องกันการถูกทำลายส่วนสีเขียว อีกทั้งยังช่วยให้ต้นพืชสามารถดูดเอาธาตุเหล็กที่อยู่ในดินนำมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

- อาการของพืชที่ขาดธาตุทองแดง : ใบอ่อนของพืชมีสีเหลือง หากขาดในปริมาณเป็นระยะเวลายาวนานพืชจะชะงักการเจริญเติบโต

5. คลอรีน (Cl) คอลรีนมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง มีผลทำให้พืชแก่เร็วขึ้น ส่วนใหญ่เป็นพิษต่อพืชหากความเข้มข้นสูงเกิน 1%

- อาการของพืชที่ขาดธาตุคลอรีน : ใบจะซีดเหี่ยว และบางส่วนแห้งตาย

6. โบรอน (B) มีบทบาทเกี่ยวข้องต่อการดูดดึงธาตุอาหารพืช ช่วยในการออกดอกและการผสมเกสร มีบทบาทสำคัญในการติดผลและการเคลื่อนย้ายน้ำตาล

- อาการของพืชที่ขาดธาตุโบรอน : ติดผลไม่ดี ลำต้นไม่สูงขึ้น ใบเล็ก กิ่งก้านฯโค้งและเปราะหักง่าย

7. โมลิบดินัม (Mo) ช่วยให้พืชนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์และเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน โมลิบดินัมมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว

- อาการของพืชที่ขาดธาตุโมลิบดินัม : ใบโค้ง พบจุดเหลืองบริเวณใบ

8. นิเกิล (Ni) ช่วยในการทำให้ไนโตรเจนอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ และยังเป็นองค์ประกอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอนไซม์หลายชนิด (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้ยังจำเป็นต่อกระบวนการดูดซับธาตุเหล็ก รวมทั้งช่วยในการงอกของเมล็ดหลายชนิด

- อาการของพืชที่ขาดธาตุนิเกิล : ผลผลิตน้อย ต้นแคระแกรน ใบมีสีเหลืองซีด ตาใบเจริญเติบโตลดลง

2.7 ดาวเรือง

รูปที่ 2.3 ดาวเรือง

ที่มา : www.thongchaloem.com

2.7.1 ลักษณะทั่วไปของดาวเรือง

ดาวเรือง เป็นดอกไม้ที่นิยมปลูกกันมากเนื่องจากเมล็ดมีขนาดใหญ่ปลูกง่าย งอกเร็ว ต้นโตเร็ว และแข็งแรงไม่ค่อยมีโรคหรือแมลงมารบกวน ให้ดอกเร็ว ดอกดก มีหลายชนิดและหลายสี รูปทรงของดอกก็มีความสวยงาม สีสันสดใส บานทนนานหลายวันให้ดอกในระยะเวลาสั้นคือประมาณ 60-70 วันหลังปลูก ดังนั้นในการปลูกดาวเรืองสามารถกำหนดระยะเวลาการออกดอกให้ตรงกับเทศกาลสำคัญได้จึงมีผู้นิยมปลูกและใช้ดาวเรืองกันมาก นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ตลอดปี และปลูกได้ทุกจังหวัดในประเทศไทย ดาวเรืองเป็นไม้ดอกที่ทำรายได้ให้กับผู้ปลูกสูง ในปัจจุบัน การปลูกดาวเรืองนอกจากปลูกเพื่อตัดดอกขายแล้วยังปลูกเพื่อเป็นไม้ประดับอีกด้วย

2.7.2 ชนิดของดาวเรือง

ดาวเรืองที่ปลูกกันอยู่โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) ดาวเรืองอเมริกัน (American Marigolds) เป็นดาวเรืองที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปอเมริกา ลำต้นสูงตั้งแต่ 10-40 นิ้ว ดอกสีเหลือง ส้ม ทอง และขาว กลีบ ดอก ซ้อนกันแน่น ดอกมีขนาดใหญ่ประมาณ 3-4 นิ้ว ดาวเรืองชนิดนี้มีหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เตี้ย สูงประมาณ 10-14 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ปาปาย่า (papaya), ไพน์แอปเปิล (pineaple), ปัมพ์กิน (Pumpkin) พันธุ์สูงปาน กลาง สูงประมาณ 14-16 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์อะพอลโล (Apollo), ไวกิ่ง (Ziking), มูนช๊อต (Moonshot) พันธุ์สูง สูงประมาณ 16-36 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ดับเบิล อีเกิล (Double Egle), ดับบลูน (Doubloon), ซอฟเวอร์เรน (Sovereign)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ดาวเรืองฝรั่งเศส (French marigold) เป็นดาวเรืองต้นเตี้ย สูง ประมาณ 15-30 ซม. ดอกขนาด 3-5 ซม. สีเหลือง สีทอง สีส้ม สีแดง และสีน้ำตาลอมแดง นิยมปลูกในแปลงเพื่อตัดดอก เติบโตได้ดีในฤดูหนาว หากปลูกในฤดูอื่นมักออกดอกน้อย

3) Triploid marigold และ Diploid marigold เป็นดาวเรืองพันธุ์ผสมของอเมริกันกับ ฝรั่งเศสโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำลักษณะความ แข็งแรง ดอกใหญ่ และมีกลีบซ้อนมากของดาวเรืองอเมริกัน รวมเข้ากับลักษณะต้นเตี้ยทรงพุ่มกะทัดรัด ของดาวเรืองฝรั่งเศส ดาวเรืองลูกผสมให้ดอกเร็วมาก คือเพียง 5 สัปดาห์หลังจากเพาะเมล็ดดอกมีขนาด 2-3 นิ้ว ดอกดกและอยู่กับต้นได้ดี ดาวเรืองชนิดนี้มีข้อเสียก็คือเมล็ดจะลีบ ไม่สามารถนำมาเพาะให้เป็น ต้นใหม่ได้จึงเรียกว่า ดาวเรืองล่อ เช่นเดียวกับการผสมม้ากับลา มีลูกออกมาเรียกว่า ล่อ ซึ่งเป็นหมัน จึง ทำให้เมล็ดมีราคาแพงมาก และการปลูกดาวเรืองด้วยเมล็ดชนิดนี้ จึงควรใช้เมล็ดเป็นปริมาณ 2 เท่าของ จำนวนที่ต้องการ เนื่องจากเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำ

2.7.3 การขยายพันธุ์ดาวเรือง

1) การใช้เมล็ด เมล็ดดาวเรืองมีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับเมล็ดไม้ดอกชนิด อื่น ๆ มีรูปร่างยาว และมีหาง การขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดนี้ทำได้ง่ายและสะดวกมาก เพียงแต่เตรียมแปลงปลูกในที่ ๆ ต้องการปลูก หยอดเมล็ดลงในหลุมปลูกโดยตรงหลุมละ 1-2 เมล็ด แต่เนื่องจากเมล็ดดาวเรืองพันธุ์ดี ๆ เช่น "ดาวเรืองเกษตร" จะเป็นเมล็ดลูกผสมชั่วแรก ซึ่งมีราคาแพงมาก จึงควรเพาะเมล็ดในบริเวณที่ดูแลรักษาได้สะดวก ปลอดภัยจากมด และ จิ้งหรีด แทนการหยอดเมล็ดลงในหลุมปลูกโดยตรง หรือเพาะเมล็ดในตะกร้า รดน้ำด้วยหัวบัวละเอียด ๆ จนโชก 2-3 ครั้งในวันแรกที่เพาะ ดินจะยุบตัวเสมอปากถุงพอดี ปิดด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์รายวันเพื่อชวยรักษาความชื้น ในวันที่ 2-3 รดน้ำ 2 ครั้ง เช้า - บ่าย ถ้าเมล็ดมีคุณภาพดี เมล็ดจะงอกภายใน 3 วัน นับจากวันเพาะ ดังนั้นในเย็นวันที่ 3 หรือ วันที่ 4 เปิดกระดาษออกเพื่อให้ต้นกล้าได้รับแสงแดดเต็มที่ ถ้ารดน้ำมากไป รากจะเน่าเป็นเหตุให้ต้นตายได้ การเพาะเมล็ดลงในถุงพลาสติกหรือภาชนะขนาดเล็กดังกล่าวมานี้ มีผลดีตรงที่เมื่อ เมล็ดงอกแล้วไม่จำเป็นย้ายกล้า สามารถเลี้ยงดูต้นกล้าดาวเรืองให้เจริญเติบโตอยู่ในถุงจนกว่าจะมีใบจริง 5-6 คู่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 23-23 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด ซึ่งพร้อมที่จะเด็ดยอดให้เหลือใบจริง 4 คู่ หลังจาก เด็ดยอดเรียบร้อยแล้วจึงย้ายปลูกลงแปลงทันที ซึ่งสะดวกสบายและประหยัดทั้งเวลาและแรงงาน

2) การใช้ยอดปักชำ การขยายพันธุ์โดยวิธีนี้ ปกติจะไม่นิยมทำแต่เนื่องจากเมล็ดดาวเรืองพันธุ์ดีมีราคาแพง ประจวบกับการปลูกดาวเรืองในช่วงฤดูร้อน ต้นดาวเรืองจะเจริญเติบโตดีมากและออกดอกช้าลงด้วย ดังนั้นการเด็ด ยอดช้าลง 2-3 วัน เพื่อให้สวนยอดที่จะเด็ดออกมีความยาวประมาณ 3-4 เซนติเมตร เพื่อนำไปปักชำได้สะดวกจะไม่มี ผลกระทบต่อคุณภาพของดอกของต้นเดิมและต้นที่ได้ ไม่ควรขยายพันธุ์โดยวิธีนี้กับต้นดาวเรืองที่ปลูกในฤดูหนาวดาเรืองจะไม่มคุณภาพ ทั้งนี้เพราะยอดดาวเรืองที่เด็ดจาก ต้นแล้วจะเหี่ยวภายใน4-5นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ระยะห่างการปลูก

1) ถ้าปลูกต้นดอกแบบติดก้านยาวสำหรับทำเป็นดอกไม้กำ ระยะระหว่างต้นระหว่างแถว 40 คูณ 40 เซนติเมตร ถ้าแปลงกว้าง 1.10 เมตร จะปลูกได้ 3 ต้นต่อแถว หรือร่องกว้าง 4.50 เมตร จะปลูกได้ 11 ต้น ต่อแถว

2) ถ้าปลูกแบบเด็ดดอกใสถุงสาหรับร้อยพวงมาลัย ระยะระหว่างต้นระหว่างแถว70 คูณ 70 เซนติเมตร ถ้าแปลงกว้าง 1.10 เมตร จะปลูกได้ 2 ต้นต่อแถว หรือรองกว้าง 4.50 เมตร จะปลูกได้ 6 ต้นตอแถว

3) ถ้าปลูกใส่กระถางทำเป็นไม้ดอกกระถางควรปลูกในกระถางขนาด 6 หรือ 8 นิ้ว กระถางล่ะ 1 ต้นโดยย้ายกล้าลงปลูกภายหลังเด็ดยอดแล้วเมื่อมีการแตกกิ่งข้างยาวประมาณ 1-2 นิ้ว ควรวางกระถางให้ห่างกันหนึ่งเว้นหนึ่ง กระถาง มิเช่นนั้นพุ่มต้นจะชะลูดการแตกกิ่งข้างจะไม่พร้อมกันอีก ทั้งมีดอกน้อยไม่ครบ 8 ดอก ตามต้องการ

2.7.5 การเตรียมดิน

ดาวเรืองต้องการแสงแดดจัด จึงต้องปลูกดาวเรืองกลางแจ้งให้ได้รับแสงแดดโดยตรง อย่างน้อย วันละ 6 ชั่วโมง ที่สำคัญคือไม่ควรปลูกซ้ำที่เดิมตลอดเวลา ควรจะหาพืชอื่นปลูกสลับ แล้วจึงเวียนกลับมา ปลูกดาวเรืองใหม่ แม้ดาวเรืองจะสามารถเจริญเติบโตได้ในดินแทบทุกชนิดก็ตาม แต่ถ้าจะให้ได้ดาวเรืองที่มีพุ่มต้นสมบูรณ์ ดอกใหญ่และมีคุณภาพดี ดินควรจะมีธาตุอาหารครบถ้วนในปริมาณที่เพียงพอมีการ ระบายน้ำดี กักเก็บความชื้นไว้พอควรความเป็นกรดด่างประมาณ 6.5 การเตรียมดิน คือ เตรียมโดยปุ๋ยคอกเก่าหรือปุ๋ย กทม. หรือปุ๋ยหมัก ร่วมกับ อินทรียวัตถุอื่น ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น ที่หาง่าย ราคาถูก อาทิ แกลบดิบ เปลือกถั่ว ชานอ้อย ซึ่งวัสดุดังกล่าวมานี้ไม่ว่าจะผสมลงไปในดินเหนียวหรือดินทรายร่วนก็ตามจะช่วยทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น กล่าวคือ ถ้าใส่ลงไปในดินเหนียว อินทรียวัตถุจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาคของดินทำให้เม็ดดินจับตัวกันเป็นก้อนไม่จั7บกันแน่น มีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทและมีการระบายน้ำดีขึ้น ตลอดจนอุ้มน้ำดีด้วย แต่ถ้าใส่ลงไ7ปในดินทรายซึ่งตามปกติดินทรายจะระบายน้ำดีเกินไปและถ่ายเทอากาศดีมากแต่ไม่มีความสามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารต่าง อีกทั้งในตัวมันเองมีธาตุอาหารน้อยมาก อินทรียวัตถุที่เติมลงไปจะเป็นตัวเชื่อมทำให้อนุภาคของทรายเชื่อมกันแข็งแรง ช่วยในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารดีขึ้น

2.7.6 การปลูกดาวเรือง

1) เตรียมดินโดยการนำดินผสมกับวัสดุเพาะ เช่น ปุ๋ยคอก แกลบดิบ ชานอ้อย เป็นต้น โดยอัตราดินร่วน 1 ส่วน ต่อวัสดุเพาะ 1 ส่วน วางไว้ในพื้นที่ที่แดดส่องถึงอย่างน้อย 6 ชั่วโมง และรดน้ำวันละครั้ง

2) เพาะต้นดาวเรืองจากเมล็ดโดยใช้ถาดหลุ่มเป็นภาชนะในการปลูก นำดินที่เตรียมไว้ใส่ลงในถาดหลุ่ม จากนั้นหยอดเมล็ดดาวเรืองหลุมละ 1 เมล็ด กลบด้วยดินหนาประมาณ 1 เซนติเมตร รดน้ำ 2-3 ครั้งในวันแรกที่เพาะ ในวันถัดไปรดน้ำ 2 ครั้ง เช้า-บ่าย เมล็ดจะงอกภายใน 3 วัน นับจากวันเพาะ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำต้นกล้าที่มีอายุ 7-10 วัน (นับจากวันเพาะเมล็ด) โดยแยกต้นกล้าให้มีวัสดุเพาะ หรือดินหุ้มติดรากมาด้วย เพื่อป้องกันรากกระทบกระเทือน นำมาปลูกในแต่ละหลุมที่เตรียมไว้ รดน้ำให้ชุ่ม

4) หลังจากนั้น ต้องรดน้ำเช้า-เย็น ประมาณ 7 วัน ซึ่งต้นกล้า จะตั้งตัวได้ดีแล้วจึงรดน้ำเพียงวันละ 1 ครั้ง ในตอนเช้าในช่วงที่ดอกดาวเรืองเริ่มบานไม่ควรรดน้ำให้โดนดอก เพื่อ ป้องกันดอกเป็นโรค

5) เมื่อดาวเรืองอายุ 15 และ 25 วัน ควรใส่ปุ๋ย 15-15-15 ในอัตรา 1 ช้อน: ต้น เมื่ออายุ 35 และ 45 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 ในอัตราเดียวกัน โดยวิธีฝังลงในดินตื้นๆ ประมาณนิ้ว ห่างโคนต้น 6 นิ้ว แล้วรดน้ำให้ชุ่มทุกครั้งที่ใส่ปุ๋ย

6) ช่วงดาวเรืองอายุ 21-25 วัน ซึ่งเป็นระยะที่ต้นมีใบจริงขนาดใหญ่ ประมาณ 4 คู่ และส่วนยอดมีใบเล็ก 1-2 คู่ จะต้องปลิดยอดทิ้งเพื่อให้แตกกิ่งข้างโดยใช้มือซ้ายจับคู่ใบบนสุดที่ จะเหลือไว้ แล้วใช้มือขวาดึงส่วนยอดลงทางด้านข้างจนหลุดออกมา หลังจากนั้น 5-7 วันตาข้าง จะเริ่มแตกและเจริญเป็นกิ่งใหม่ ซึ่งจะติดตุ่มดอกทั้งที่ตายอดปลายกิ่งและตาข้าง

7) หลังจากปลูก 40-45 วันในแต่ละกิ่ง เมื่อดอกยอดมีขนาดเท่าเมล็ดข้าวโพดดอก ข้างมีขนาดเท่าเมล็ดถั่วเขียว ต้องรีบปลิดดอกข้างออกให้หมดภายใน 2-3 วัน คงเหลือดอกยอด ไว้ดอกเดียว เพื่อให้ดอกมีขนาดใหญ่

8) หลังจากนั้นประมาณ 20 วัน (อายุ 60-65 วัน) ก็ตัดดอกไปจาหน่ายได้ ซึ่งจะได้ประมาณ 10-12 ดอก/ต้น

2.7.7 การดูแลรักษาดาวเรือง

1) หลังจากย้ายปลูกลงแปลงครบ 10 วันหรือสังเกตจากดาวเรืองมีใบจริงจานวน 3 คู่ ให้เด็ด ยอดดาวเรืองออก เพื่อให้เกิดการแตกของกิ่งข้างของดาวเรือง โดยวิธีการเด็ดยอดคือ ใช้นิ้วชี้และนิ้วโป้ง จับตรงโคนของยอดดาวเรือง ยอดบนสุด แล้วเด็ดยอดออกพยายามเด็ดยอดให้ชิดโคนยอดและให้ยอด หลุดอย่าให้เกิดบาดแผลจาก การเด็ดยอด (การเด็ดยอดดาวเรืองควรเด็ดยอดในช่วงเช้าเนื่องจากดาวเรือง จะอวบน้ำอยู่ และหลังจากเด็ดยอดควรพ่นยาป้องกันกำจัดเชื้อรากลุ่ม ไดเทน

2) หลังจากเด็ดยอดแล้ว ให้ใส่ปุ๋ยสูตร 15-0-0 อัตรา 2 กรัม (1 ช้อนชา) ต่อต้น โดยหว่านปุ๋ย รอบโคนต้นห่างจากโคนต้นประมาณ 20 ซม. (หนึ่งฝามือ) พร้อมกับพูนโคนและกำจัดวัชพืช (ในช่วง นี้หากเป็นฤดูฝนให้เริ่มทำค้างสำหรับป้องกันต้นดาวเรืองล้ม เพราะหากทำค้างดาวเรืองเกินไปจากช่วงนี้ไป รากของดาวเรืองจะเจริญเติบโตมาก จะทำให้ในการทำไม้หลักปักค้างดาวเรือง โดนใส่รากดาวเรือง

3) หลังจากย้ายปลูก 35-40 วัน (เริ่มเห็นตุ่มดอก) ให้ใส่ปุ๋ยสูตร 15-0-0 อัตรา 2 กรัม (1 ช้อนชา) ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยสูตร 0-0-60 อัตรา 1 กรัม (ครึ่งช้อนชาต่อต้น) โดยหว่านปุ๋ยรอบโคนต้นห่าง จากโคนต้นประมาณ 20 ซม. (หนึ่งฝามือ) พร้อมกับพูนโคนและกำจัดวัชพืช ในกรณีที่ต้องใช้ปุ๋ยสองสูตร รวมกันให้ผสมก่อนแล้วค่อยใส่ลงในแปลงเช่น ผสมปุ๋ย 15-0-0 อัตรา 1,000 กรัม (1 กิโลกรัม) รวมกับปุ๋ย สูตร 0-0-16 อัตรา 500 กรัม (ครึ่งกิโลกรัม) สามารถนำไปใช้กับต้นดาวเรืองได้

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ...

ทั้งหมด 500 ต้น ต้นละ 3 กรัมในกรณีที่ไม่สามารถหาปุ๋ยสูตร 15-0-0 หรือ 0-0-60 ได้ให้ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 16-16-16 แทนโดยใช้ในอัตรา 3 กรัม (ครึ่งช้อนโต๊ะ) ต่อต้นทั้งสองระยะ หลังการให้ปุ๋ยจะต้องให้น้ำตาม ทุกครั้งเสมอ

4) การพ่นปุ๋ยทางใบและอาหารเสริม ช่วงหลังจากย้ายปลูก 35-40 วัน (ช่วงเป็นตุ่มดอก) ให้เริ่มพ่นอาหารเสริมพวก แคลเซียม – โบรอน และอาหารเสริมต่างๆ ยกเว้นธาตุอาหารเสริมกลุ่มที่เป็นธาตุ เหล็ก (Fe) โดยพ่นทุกๆ 3-4 วันก่อนที่ตุ่มดอกจะเริ่มเห็นสีดอก ช่วงหลังจากย้ายปลูกแล้วประมาณ 70-75 วัน (เก็บดอกแล้วประมาณ 3-4 มีด) ให้พ่นปุ๋ยทางใบสูตร 2:2:3 (N:P:K) เช่นปุ๋ยทางใบสูตร 20:20:30 โดยพ่นทุก 5-7 วันประมาณ 2-3 ครั้ง หลังจากพ่นครั้งแรก

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภกร และคณะ (2558) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย โดยเตรียมตัวอย่างที่ใช้คือเปลือกหอยแมลงภู่ หอยหวาน และหอยแครงในรูปแบบผง นำไปเผาในช่วงอุณหภูมิที่ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่ว โมง บดและกรองผ่านตะแกรงคัดกรองขนาด 100 ไมโครเมตร พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตที่สะสมอยู่ในเปลือกหอยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วยการนำมาวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmelt-Teller (BET) ผลการวิเคราะห์พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยทุกชนิดประกอบไปด้วยโครงสร้างอะราโกไนต์ เมื่อุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์อย่างสมบูรณ์ การเผาเปลือกหอยแมลงภู่จะเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ดีกว่าเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยหวาน ตามลำดับ นอกจากนี้แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกหอยแครงยังมีความไวต่อความชื้นซึ่งเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ง่าย

ธนบดี และคณะ (2564) โครงงานพิเศษนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยหอยแมลงภู่ในการตกตะกอนออร์โธฟอสเฟตในน้ำ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบแคลเซียมในเปลือกหอยด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่วิธีการเตรียมเปลือกหอยและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ผลการศึกษาพบว่าเปลือกหอยบดที่ล้างด้วยน้ำประปามีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 85.06 แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยบดมีปริมาณลดลงเมื่อล้างด้วยน้ำประปาร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าเปลือกหอยที่บดผ่านการล้างทั้งสองวิธีประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปอะราโกไนต์ การเผาที่อุณหภูมิ 500 และ 700℃ ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบแคลไซต์ ซึ่งเกิดการสลายตัวเป็น

เอกสารนี้เป็นการสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมออกไซด์เมื่อนำเปลือกหอยไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตของสารประกอบแคลเซียมที่เตรียมได้จากเปลือกหอย พบว่าการตกตะกอนฟอสเฟตเกิดขึ้นได้มากสุดเมื่อใช้สารประกอบแคลเซียมที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 900°C น้ำที่ผ่านการบำบัดมีพีเอชและความกระด้างสูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต

แสงสุดา และคณะ (2560) การศึกษาผลของแคลเซียมออกไซด์(CaO)ต่อการเจริญเติบโตของต้นสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตโดยการฉีดพ่น แคลเซียมออกไซด์ความเข้มข้น 0, 150, 300, 450 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังปลูกไปแล้วเป็นเวลา 1 เดือน โดยทำการฉีดพ่นสัปดาห์ละ 1 ครั้งเป็นเวลา 8 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์จำนวน 20 ซ้ำจากการทดลองพบว่าต้นสับปะรดที่ได้รับแคลเซียมออกไซด์ในทุกระดับความเข้มข้น ส่งผลให้ความยาวใบความสูงทรงพุ่ม น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งต้นสดดีกว่าต้นที่ไม่ได้รับแคลเซียมออกไซด์ดังนั้นการให้แคลเซียมออกไซด์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น MS204TS บริษัท Metter Toledo
2. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น MS1602TS บริษัท Metter Toledo
3. เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง รุ่น L9/12P บริษัท CHAVACHOTE
4. เตาให้ความร้อน (Hot plate) รุ่น THS-1003 บริษัท LMS
5. เครื่องกวนผสม (Jar Test) รุ่น FLOC-6C บริษัท Trad Raypa
6. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลส้เปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น UV 1503 บริษัท LabTech
7. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น JSOS-500 บริษัท JSR
8. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) รุ่น FE20 FiveEasy pH บริษัท Metter Toledo
9. ตู้อบ (Oven) รุ่น UN 55 บริษัท Memmert
10. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer) รุ่น SmartLab บริษัท Rigaku
11. ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช
12. ครกหินบด
13. ครูซิเบิล
14. คีมคีบ (Forcep)
15. ชามระเหย
16. โถดูดความชื้น (Desiccator)
17. กระดาษกรองใยแก้วเบอร์ 42
18. กระดาษกรอง เบอร์ 42
19. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

1. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Univar ประเทศออสเตรเลีย
2. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. แอมโมเนียมโมลิบเดท ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \bullet 4H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
4. แอมโมเนียมเมตาวานาเดท (NH_4VO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Univar ประเทศออสเตรเลีย
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) 37% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. กรดซิตริก ($C_6H_{10}O_8$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
7. สารละลายไดโซเดียมซอลอีดีทีเอ ($C_{10}H_{16}N_2O_8$) เกรดห้องปฏิบัติการ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. อิริโอโครม แบลคที (Eriochrome Black T, EBT) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
9. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10
10. น้ำปราศจากไอออน (Deionize water)

3.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง

1. นำเปลือกหอยที่ล้างด้วยน้ำสะอาดมาตากให้แห้ง และทำการบดให้ละเอียดด้วยครกหินบด จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช
2. นำเปลือกหอยบดที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 มาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาที่กำหนดให้ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. นำเปลือกหอยบดที่ผ่านการเผาไปวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.1 และเก็บรักษาสารประกอบแคลเซียมที่เตรียมได้จากเปลือกหอยไว้ในเดซิเคเตอร์ก่อนนำไปวิเคราะห์การตกตะกอนฟอสเฟตในน้ำด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอย

พารามิเตอร์	**เครื่องมือและวิธีวิเคราะห์**
ร้อยละผลผลิต	การชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง
ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต	เทคนิคการไทเทรตด้วยอีดีทีเอ (EDTA Titrimetric Method 2340 C, AWWA, 2017)
โครงสร้างผลึกของเปลือกหอย	เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

3.3 การตกตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต

3.3.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการตกตะกอนคือ สารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เข้มข้น 100 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร โดยเตรียมได้จากการชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 439 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.3.2 การตกตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต

1. ตวงสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.1 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ จากนั้นนำบีกเกอร์ทั้ง 3 ใบ วางในเครื่องปั่นกวน (Jar Test)
2. ชั่งสารประกอบแคลเซียมที่เตรียมได้ในข้อที่ 3.2 มา 2 กรัม
3. เทสารประกอบแคลเซียมที่ชั่งได้ในข้อที่ 2 ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 พร้อมๆ กัน จากนั้นทำการปั่นกวนเร็วที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ปั่นกวนช้าที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 30 นาที (ธนบดี และคณะ, 2564)
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วเบอร์ 42
5. นำกระดาษกรองที่มีตะกอนใส่ในถ้วยระเหยแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ก่อนนำไปนำไปวิเคราะห์โครงสร้างของแคลเซียมฟอสเฟตโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) และ เตรียมปุ๋ยน้ำในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมปุ๋ยน้ำจากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำ

3.4.1 สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v)

ชั่งกรดซิตริก 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนกรดซิตริกละลายหมด แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึง 1,000 มิลลิลิตร

3.4.2 การเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต

1. ชั่งตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่เตรียมได้ในข้อที่ 3.3 มา 300 มิลลิกรัม จากนั้นละลายด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาจนถึง 1,000 มิลลิลิตร จะได้ปุ๋ยน้ำที่มีความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. นำปุ๋ยน้ำที่เตรียมมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 3.2
3. ทำข้อที่ 1-2 ซ้ำ แต่เปลี่ยนจากชั่งตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต 300 มิลลิกรัม เป็น 450, 600 และ 750 มิลลิกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต

พารามิเตอร์	**เครื่องมือและวิธีวิเคราะห์**
ความสารมารถในการละลาย	การละลายในน้ำและชั่งน้ำหนักตะกอนที่เหลืออยู่ (รายละเอียดในภาคผนวก ก-2)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เครื่องวัด pH (pH Meter)
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)	UV-Visible Spectrophotometer (Colorimetric Method 4500-P C, AWWA, 2017) (รายละเอียดในภาคผนวก ก-3)
แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Calcium)	เทคนิคการไทเทรตด้วยอีดีทีเอ (EDTA Titrimetric Method 2340 C, AWWA, 2017) (รายละเอียดในภาคผนวก ก-4)

3.5 การศึกษาผลของความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยน้ำที่เตรียมจากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียในแต่ละความเข้มข้น เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง พร้อมกับเปรียบเทียบผลการทดลองกับชุดควบคุม ได้แก่ ชุดทดลองที่ไม่เติมปุ๋ยน้ำ (NC) และชุดทดลองที่มีการเติมปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15 (PC) ใช้ระยะเวลาการทดลองตั้งแต่วันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ 2565 ถึง 23 พฤศจิกายน พ.ศ 2565 โดยทำการกำหนดชื่อชุดการทดลอง และทำการวางแผนการทดลองในขั้นต่อไป ซึ่งชุดการทดลองทั้งหมดมี 6 ชุด จำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NC1, NC2, NC3 คือ ไม่ใส่ปุ๋ย

T300R1, T300R2, T300R3 คือ ใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตความเข้มข้น 300 mg/L

T450R1, T450R2, T450R3 คือ ใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตความเข้มข้น 450 mg/L

T600R1, T600R2, T600R3 คือ ใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตความเข้มข้น 600 mg/L

T750R1, T750R2, T750R3 คือ ใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตความเข้มข้น 750 mg/L

PC1, PC2, PC3 คือ ใส่ปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15

T หมายถึง ชุดการทดลองที่ความเข้มข้นต่างๆ

R1, R2, R3 หมายถึง การทำซ้ำครั้งที่ 1 2 และ 3

3.5.1 การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้มีจำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 6 ชุด ได้แก่ NC, T300, T450, T600, T750 และ PC โดยจัดให้มีจำนวนซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง ดังนั้นจะมีหน่วยการทดลองทั้งหมด 6x3 = 18 หน่วยการทดลอง ทำการจัดชุดทดลองด้วยวิธีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ซึ่งทำได้โดยวิธีจับฉลาก ได้ผลการจัดวางชุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

แถว	**ชุดการทดลอง (Treatment)**					
1	PC3	T750R3	NC2	T450R1	T600R3	T300R1
2	T300R3	T750R2	PC2	NC3	T600R2	T450R3
3	T750R1	T600R1	T450R2	PC1	NC1	T300R2

3.5.2 ขั้นตอนการทดลองพืช

1. ต้นดาวเรืองที่มีอายุ 18 วัน ลงในถุงเพาะชำโดยเลือกความสูงเท่าๆ กันในแต่ละชุดการทดลอง แล้วทำการจัดวางตามแผนการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.1
2. รดน้ำต้นดาวเรืองปริมาตร 25 มิลลิลิตรต่อครั้ง วันละ 2 ครั้ง (เช้า/เย็น) เป็นเวลา 7 วัน หลังจากย้ายลงในถุงเพาะชำ
3. หลังจากครบ 7 วัน เปลี่ยนจากการรดน้ำวันละ 2 ครั้ง เป็น 1 ครั้งต่อวัน โดยใช้ปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อต้นในตอนเช้า
4. ให้ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตแต่ละความเข้มข้น และปุ๋ยน้ำ NPK สูตร15-15-15 ต้นละ 3 มิลลิลิตร สัปดาห์ละ 1 ครั้ง พร้อมติดตามการเจริญเติบโตของพืชด้วยการวัดความสูงของลำต้น และนับจำนวนใบทุกๆ 7 วัน จนครบ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อครบ 21 วัน ถอนลำต้นออกจากถุงเพาะชำ แล้วนำมาแช่ในน้ำเพื่อละลายดินออกจากรากก่อนทำการวัดความยาวของรากพืช

รูปที่ 3.1 การจัดวางชุดการทดลองของต้นดาวเรือง

3.5.3 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

การทดลองผลความแตกต่างความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองกับปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15 โดยวิเคราะห์ความสูงของลำต้นซึ่งวัดเหนือจากหน้าผิวดินขึ้นไป 1 เซนติเมตร จำนวนใบ(นับเฉพาะใบที่สมบูรณ์ไม่รวมยอดและใบอ่อน) และความยาวของรากพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการใช้ประโยชน์ของตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียเพื่อเป็นปุ๋ยบำรุงพืช โดยผลิตจากการตกตะกอนสารละลายออร์โธฟอสเฟตด้วยสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยแครงที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกหอยและตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต

สารประกอบแคลเซียมที่ใช้เป็นสารเคมีในการตกตะกอนฟอสฟอรัสในน้ำ เตรียมขึ้นโดยการเผาเปลือกหอยแครง ซึ่งบดและร่อนผ่านจะแกรงขนาด 100 เมช ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผลผลิตมีลักษณะเป็นผงสีค่อนข้างขาว ดังรูปที่ 4.1 มีร้อยละผลผลิตอยู่เท่ากับ 94.66 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในสารประกอบแคลเซียมที่ได้จากการเผาปลือกหอยด้วยเทคนิค EDTA Titrimetric method พบว่า สารประกอบแคลเซียมที่ได้มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตโดยเฉลี่ยเท่ากับ 162±0.11 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

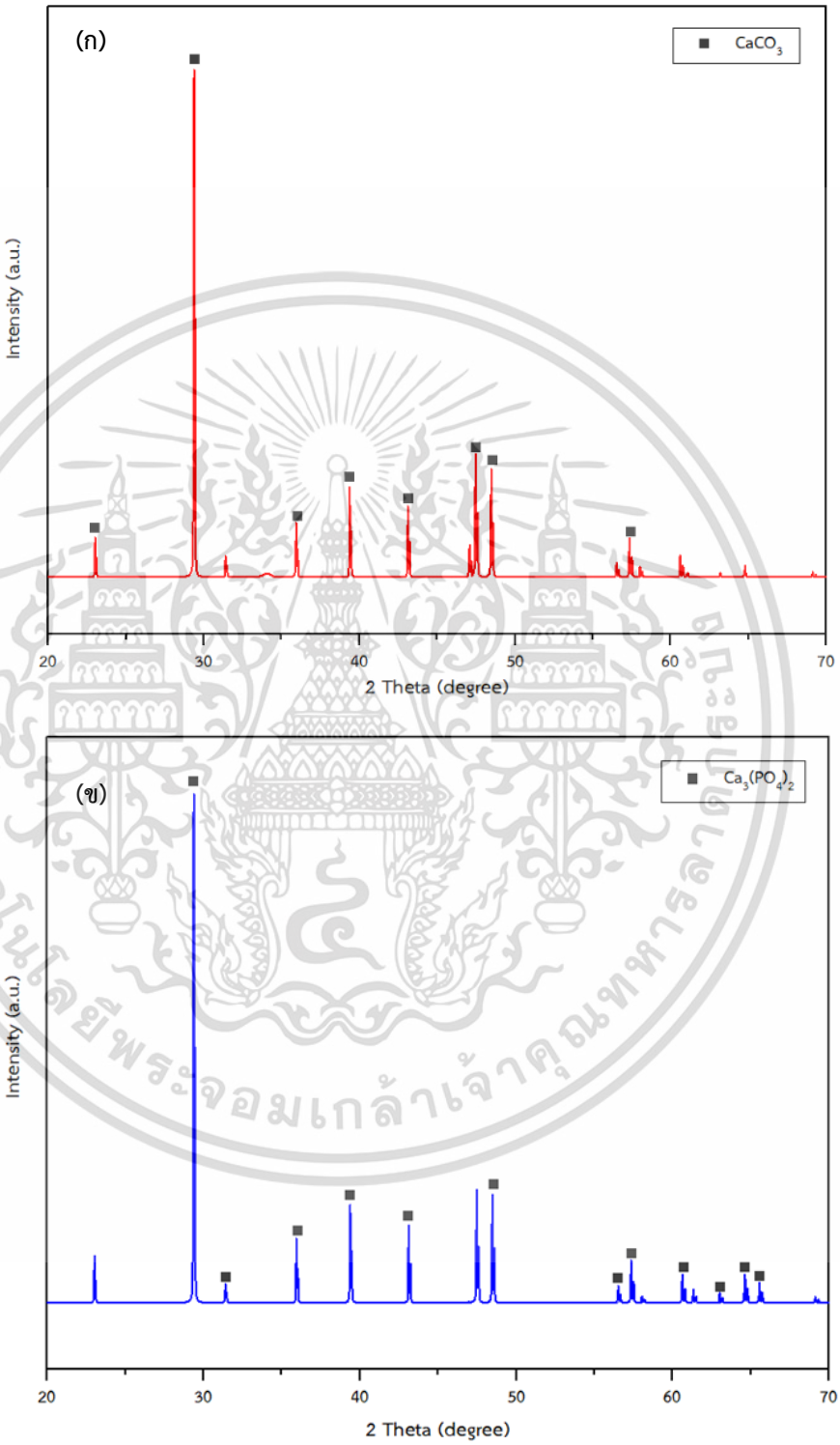
รูปที่ 4.1 เปลือกหอยแครงบดเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ก) ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต (ข)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยและตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต

	เปลือกหอยบดเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	**ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต**
ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($mgCaCO_3/g$)	162±3.92	104.34±0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมและตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของสารประกอบแคลเซียมที่ใช้ในการศึกษา (ก) ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต (ข)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 (ก) พบว่าสารประกอบแคลเซียมที่ได้จากการเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะมีโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีผลึกเป็นแบบแคลไซต์เป็นหลัก โดยสามารถตรวจพบตำแหน่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงอย่างเห็นได้ชัดที่ 2θ (มุมของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์) คือพีคที่ตำแหน่ง 23.01°, 29.48°, 35.96°, 39.44°, 43.17°, 47.72°, 48.62° และ 57.38° เทียบกับพีคมาตรฐานของ $CaCO_3$ (Calcite) ฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 72-1651 ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของธนบดีและคณะ (2564)

จากรูปที่ 4.2 (ข) พบว่าในตกตะกอนสารละลายออร์โธฟอสเฟตด้วยสารประกอบแคลเซียมที่ได้จากเผาเปลือกหอยแครง มีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละการผลิตโดยเฉลี่ยเท่ากับ 94.34±2.58 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่าตะกอนที่เกิดเป็นเกลือของแคลเซียมฟอสเฟตที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Whitlockite โดยสามารถตรวจพบพีคของแคลเซียมฟอสเฟตที่ตำแหน่ง 29.66°, 31.03°, 35.91°, 39.80°, 43.56°, 48.40°, 56.59°, 57.44°, 61.57°, 64.68° และ 65.24° (เปรียบเทียบฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 9-016)

4.1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดออร์โธฟอสเฟต

เมื่อนำสารประกอบแคลเซียมที่ได้จากการเผาเปลือกหอยแครงไปใช้ในการตกตะกอนสารละลายออร์โธฟอสเฟตในอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 1:100 พบว่า ปริมาณออร์โธฟอสเฟตมีค่าลดลงจากเริ่มต้น 96.95±0.30 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร เหลือ 1.10 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตได้ถึง 98.87 เปอร์เซ็นต์

4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต

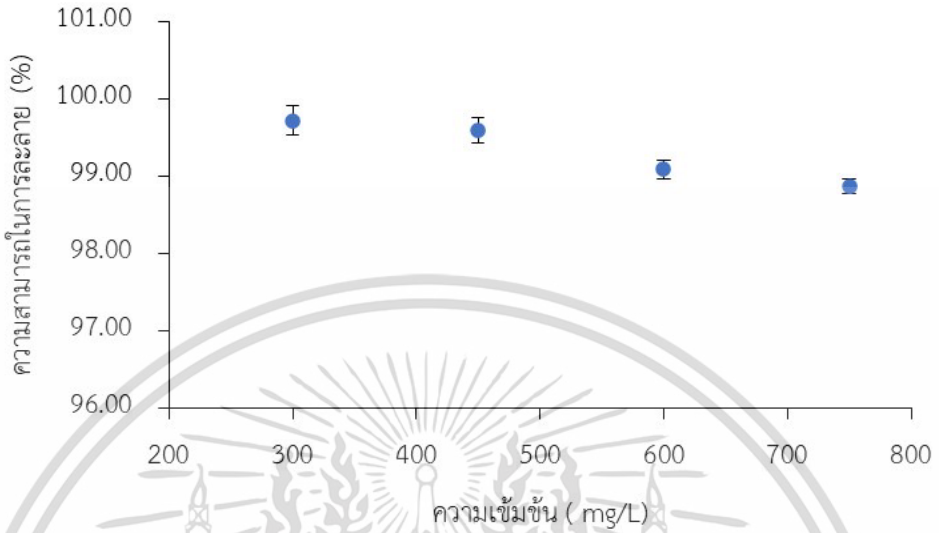
ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการบำบัดน้ำถูกเตรียมให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 300, 450, 600 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารละลายกรดซิตริก 0.2 เปอร์เซนต์ เพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำสำหรับการปลูกต้นดาวเรือง ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเป็นดังนี้

4.2.1 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ผลการทดสอบการละลายของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการบำบัดน้ำ ด้วยการชั่งตะกอนที่ทราบปริมาณแตกต่างกัน 4 ระดับ และนำไปละลายในสารละลายกรดซิตริกเจือจางเข้มข้น 0.2 เปอร์เซนต์ พบว่าตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตละลายได้ง่าย และละลายได้เกิน 90% ในทุกความเข้มข้นที่เตรียม นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตในการผลิตปุ๋ยน้ำส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลงจาก 99.80 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 99.76, 99.22 และ 98.96 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข-5.1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมเกียรติ (2562)

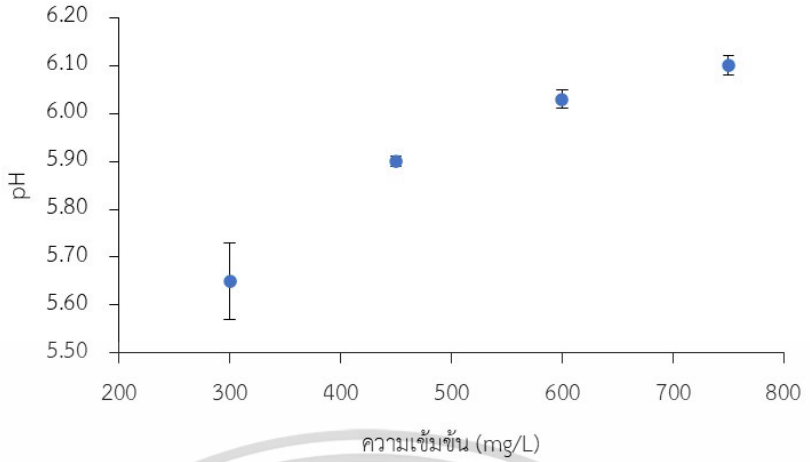


รูปที่ 4.3 ความสามารถในการละลายของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละความเข้มข้น

4.2.2 พีเอช (pH)

การเพิ่มปริมาณตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตในการผลิตปุ๋ยน้ำ ทำให้พีเอชของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.4 จาก 5.65 เป็น 5.90, 6.03 และ 6.11 ตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตจาก 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 450, 600 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข-5.2) ซึ่งปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตแต่ละความเข้มข้นมีสภาวะเป็นกรดปานกลางถึงกรดอ่อน (pH 5.5-6.5) เนื่องจากมีการละลายตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตในสารละลายกรดซิตริก ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของพีเอชเป็นผลเนื่องมาจากในปุ๋ยน้ำมีสารประกอบแคลเซียม และฟอสเฟตที่มีค่าความเป็นด่างในตัว จึงส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตในการผลิตปุ๋ยมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

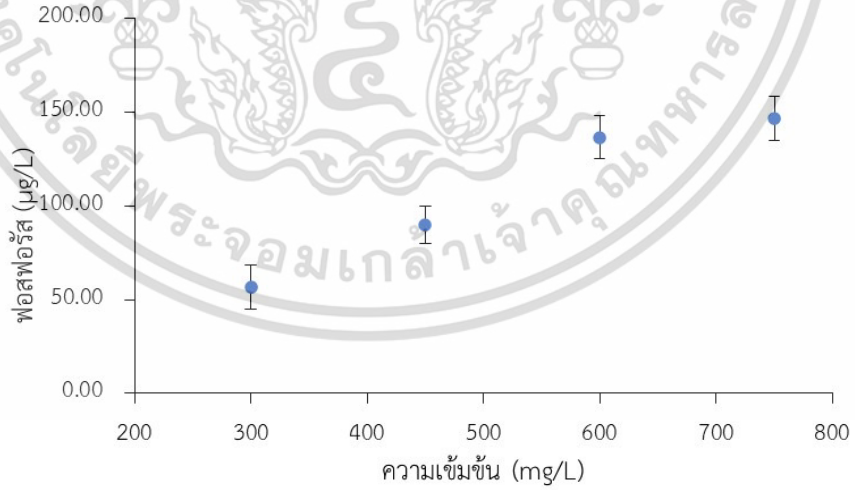
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 พีเอชของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละความเข้มข้น

4.2.3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

ผลการวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยเทคนิค Vanadomolybdophosphoric Acid Method พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น โดยที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2.36±0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 450, 600 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเป็น 3.64±0.41, 5.41±0.40 และ 5.93±0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข-5.3)

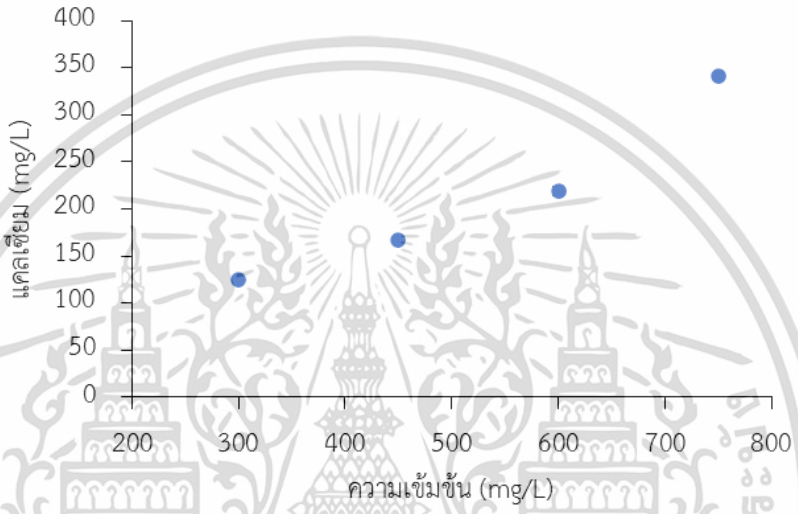


รูปที่ 4.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Calcium)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ด้วยเทคนิค EDTA Titrimetric Method พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก 125.51±0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 166.42±0.41, 218.68±4.42 และ 341.52±1.23 มิลลิกรัมกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข-5.4) ทั้งนี้ในตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้มีสารประกอบแคลเซียมที่ได้จากเปลือกหอยเป็นหลัก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณตะกอนในการผลิตปุ๋ยมากขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.6 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยน้ำในแต่ละความเข้มข้น

4.3 ผลการเจริญเติบโตของพืช

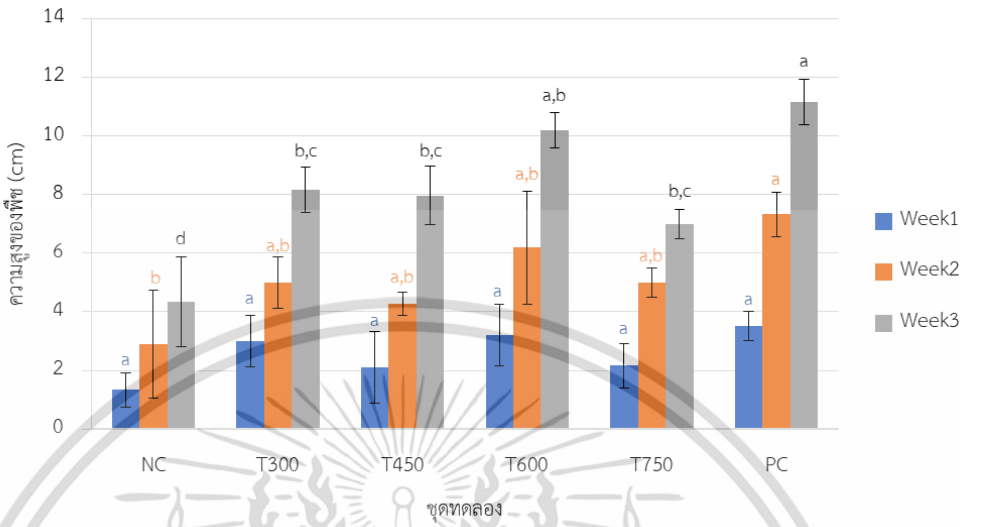
ในการให้ปุ๋ยแต่ละครั้งจะทำการเก็บข้อมูลของพืชหลังจากการให้ปุ๋ยทุกๆ 7 วัน เป็นเวลา 21 วัน โดยวัดความสูง และจำนวนใบ ในส่วนของรากจะทำการเก็บข้อมูลหลังจากครบ 21 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ความสูงของพืช

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นปุ๋ยน้ำที่เตรียมจากการละลายตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ต่อการเติบโตของต้นดาวเรืองเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมสิ่งใด (NC) และชุดควบคุมที่เติมปุ๋ยเคมี N-P-K สูตร 15-15-15 (PC) พร้อมทั้งติตตามการเติบโตด้วยการวัดความสูงของต้นดาวเรืองทุกๆ 7 วัน จนครบ 21 วัน พบว่า ปุ๋ยน้ำที่เตรียมจากแคลเซียมฟอสเฟต ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข-5.5) จะเห็นได้จากต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยมีความสูงแตกต่างจากชุดควบคุมที่ไม่ได้รับปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-7) ซึ่งในสัปดาห์ที่ 3 ชุดการทดลองที่ได้รับปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร(T600) มีความสูงที่เพิ่มขึ้นไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ได้รับปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15 (PC) แต่แตกต่างทางสถิติกับชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (NC) ซึ่งมีความสูงที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด คือ 4.33 เซนติเมตร

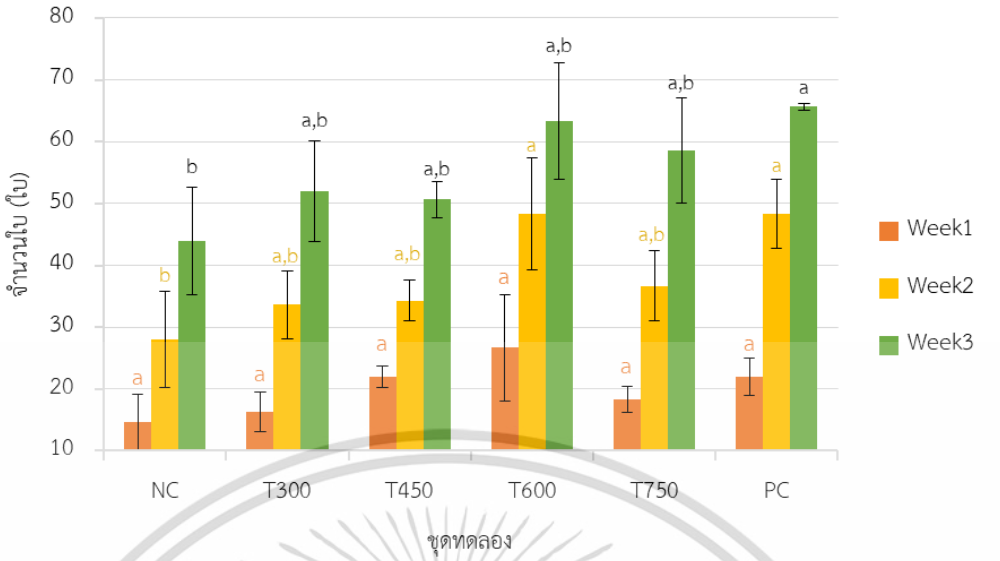


รูปที่ 4.7 ความสูงของพืชในแต่ละสัปดาห์ (NC หมายถึงชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย, TX หมายถึงชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และ PC ชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ย NPK สูตร 15-15-15)

4.3.2 จำนวนใบของพืช

จากผลการนับจำนวนใบของพืชทั้ง 6 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต และปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15 (PC) มีการเพิ่มขึ้นของชั้นใบได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยน้ำ (NC) เนื่องจากปุ๋ยน้ำมีฟอสฟอรัส และแคลเซียมจะมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสง ควบคุมการออกดอก ส่งเสริมเจริญเติบโตของลำต้น ใบและรากพืช จึงส่งผลให้จำนวนใบโดยเฉลี่ยของพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข-5.6) ทั้งนี้ลักษณะใบในชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย(NC) และมีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต (T300 T450 T600 และ T750) ใบจะมีลักษณะเป็นสีเขียวปนเหลือง เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15 (PC) ชี้ให้เห็นว่าการขาดธาตุอาหารไนโตรเจน(N) ส่งผลให้พืชมีลักษณะใบเป็นสีเหลือง เนื่องจากธาตุไนโตรเจนเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ทำให้พืชมีสีเขียว และช่วยเร่งการเจริญเติบโตทางใบของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

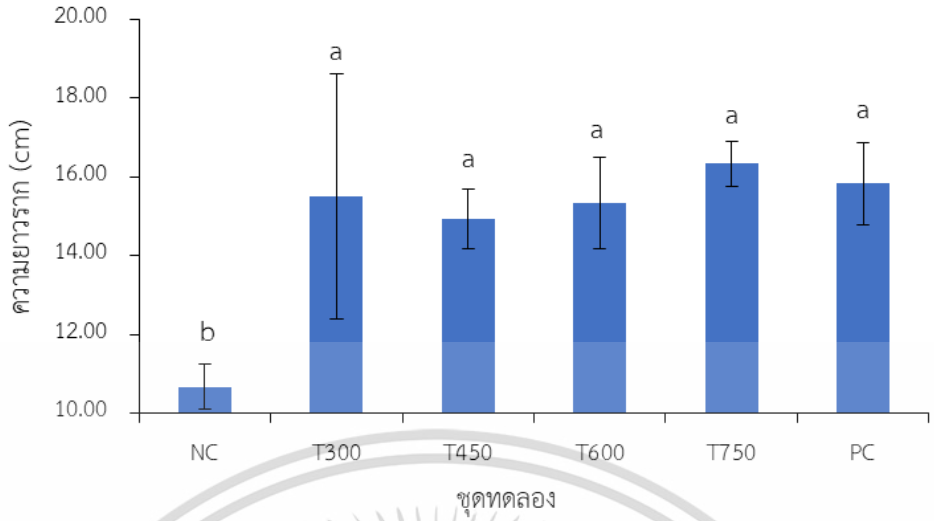


รูปที่ 4.8 จำนวนใบของพืชแต่ละสัปดาห์ (NC หมายถึงชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย, TX หมายถึงชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และ PC ชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ย NPK สูตร 15-15-15)

4.3.3 ความยาวของรากพืช

จากผลการวัดความยาวของรากพืชพบว่า ต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15 เป็นเวลา 21 วัน ส่งผลให้ต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร(T750) มีความยาวรากมากที่สุด คือ 16.33 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ดูรายละเอียดใยภาคผนวก ข-5.7) ซึ่งไม่แตกต่างกันกันทางสถิติกับต้นที่ได้รับความเข้มข้นอื่นๆ แต่แตกต่างกันทางสถิติกับต้นที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (NC) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-15) ซึ่งให้ความยาวรากน้อยที่สุดคือ 10.97 เซนติเมตร ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารจำพวก ฟอสฟอรัส และแคลเซียมที่เป็นสารอาหารช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความยาวของรากพืชแต่ละชุดการทดลอง(NC หมายถึงชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย, TX หมายถึงชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และ PC ชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ย NPK สูตร 15-15-15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 ลักษณะของดางเรืองในชุดการทดลองต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการนำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซึ่งมีแคลเซียมและฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบหลักมาใช้เป็นปุ๋ยบำรุงพืช รวมทั้งศึกษาผลของความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำที่เตรียมขึ้นจากการละลายตะกอนดังกล่าวต่อการเจริญเติบโตของพืช ผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบความสามารถในการละลายของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต เมื่อนำมาเตรียมเป็นปุ๋ยน้ำ พบว่าตะกอนดังกล่าวละลายน้ำได้ดีในทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ คิดเป็นร้อยละการละลายระหว่าง 98.96-99.80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ความสามารถในการละลายของตะกอนมีแนวโน้มลดลง จาก 99.80% เป็น 99.76, 99.22 และ 98.96% เมื่อปุ๋ยน้ำที่เตรียมจากการละลายตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 450, 600 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ
2. ผลการทดสอบการนำปุ๋ยน้ำจากการละลายตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตไปใช้กับต้นดาวเรืองที่มีอายุ 18 วัน พบว่า ปุ๋ยที่เตรียมขึ้นสามารถช่วยส่งเสริมให้ต้นดาวเรืองเจริญเติบโตขึ้นเมื่อเทียบกับชุดทดลองที่ไม่มีการให้ปุ๋ย และชุดทดลองที่มีการให้ปุ๋ยน้ำ NPK สูตร 15-15-15 ต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตมีความสูงที่เพิ่มขึ้น และจำนวนรากที่ยาวกว่าต้นดาวเรืองที่ไม่ได้รับปุ๋ย การใช้ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้ความสูง จำนวนใบและความยาวของราก ในต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกับต้นดาวเรืองที่ได้รับปุ๋ยน้ำ NPK ซึ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเป็นปุ๋ยบำรุงพืช คือ ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความสูงที่เพิ่มขึ้นเป็น 10.20 เซนติเมตร, จำนวนใบ 63 ใบ และความยาวรากเมื่อครบ 21 วัน เป็น 15.33 เซนติเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มระยะเวลาการติดตามการเจริญเติบโตให้นานขึ้นเพื่อให้เห็นผลในระยะที่พืชออกดอก
2. ควรศึกษาการนำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียจริงมาใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. **ดาวเรืองตัดดอก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.pattanilocal.go.th/datacenter/doc_download/a_090617_.pdf

กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี. 2558. **การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในแร่ยิปซัมโดยใช้ KMnO4 กับ EDTA เป็นตัวไทเทรต**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://library.dmr.go.th/elib/opacexe.exe?op=mmvw&db=Main&sid=&skin=u&usid=&mmid=3444&bid=40348

กัญญาลักษณ์ เรืองรัมย์ และวิไลวรรณ พิมพ์จันทร์. 2559. **การศึกษาทดลองที่มีผลต่อกาเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตดาวเรืองในกระถางปลูก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://dspace.bru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/3105/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%201-5%20%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%87%20%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%81.pdf?sequence=3&isAllowed=y

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน. 2561. **ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/executive%20summary.pdf

กระทรวงสาธารณะสุข. 2563. **การบำบัดน้ำเสีย**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://medi.moph.go.th/km/2560/SBR/SBR4.pdf

คัดคณัฐ ชื่นวงศ์อรุณ และณภัทรดนัย. 2563. **ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication).** [Online]. เข้าถึงได้จาก https://ngthai.com/science/30735/eutrophication/

เจนจิรา ชุมภูค, รัฐพล ฉัตรบรรยงค์ และแสงสุดา กบค้าง. 2561. **ผลของแคลเซียมออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://li01.tcithaijo.org/index.php/tjst/article/download/159466/115344/438649

เจนจิรา รักเจริญ, นิลวรรณ มาแจ้ง และเนตรนภา เสือโนนม่วง. 2562. **การลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าโดยใช้เปลือกไข่ไก่และหอยแมลงภู่**. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

ชีระวิทย์ รัตนพันธ์. 2548. **การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชยพร แอคะรัจน์. 2561. **ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.gotoknow.org/posts/644375

ชุติมา แกมกิจ และเอกวิทย์ เพียรอนุรักษ์. 2561. **การเตรียมนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ณิฎฐา คุ้มโต. 2549. **การผลิตน้ำแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือกไข่และเปลือกหอย**. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. มหาวิยาลัยแม่โจ้

ธนบดี กลิ่นสาลี, เพ็ญพิชชา รอดทอง และลัดดาวัลย์ คุตพันธ์ . 2564. **การบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแมลงภู่**. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นิษฐิดา ลาวิลาศ, พรรณปพร ทองเกิด และพิจิตรา เปรมกิจ. 2560. **การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ**. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นุษรา สินบัวทอง. 2564. **กระบวนการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการตกตะกอนหนัก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2564/coagulation_method.pdf

เบญญา เชิดหิรัญกร, มณฑา มาลัยทอง, สุภกร บุญยืน, อิสรพงษ์ เชื้อสันเทียะ, และอภิสิทธิ์ โพธิ์แก้ว. 2558. **การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/download/35520/29518/80744

ปราโมทย์ พรสุริยา. 2557. **การวางแผนการทดลองทางพืชศาสตร์**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://arit.rmutto.ac.th/e-book/admin/book_file/66bookfile.pdf

ปิตุพร พิมพาเพชร. 2564. **ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.trueplookpanya.com/learning/detail/33764

พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ และ รัฐชา ชัยชนะ. 2557. **ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kuengj/article/download/79575/63542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืชวัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า**. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. บริษัท ดับบลิว.เจ พร็อพเพอตี้ จำกัด

สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. **ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/s_prop_nutri02.html

สมเกียรติ สีสนอง. 2562. **การสังเคราะห์แคลเซียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยเชอรี่(Pomacea canaliculate) และใช้ทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสในการปลูกอ้อย(Saccharum spp.)**. ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สยามรูมเมท. 2563. **แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) การผลิต และการใช้ประโยชน์**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://siamroommate.com/แคลเซียมฟอสเฟต/

สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2563. **ดอกดาวเรืองพื้นบ้าน**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://adeq.or.th/%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%94%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%9A%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99/

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2563. **ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.opsmoac.go.th/angthong-article_prov-preview-421891791858

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

ก-1 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงบดเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตทำโดยวิธี EDTA Titrimetric Method โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
2. ชุดกรองลดความดัน
3. ชุดไทเทรต
4. กระดาษกรองเบอร์ 42
5. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
7. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
8. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
9. กระบอกตวงขนาด 10, 100 มิลลิลิตร
10. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. กรดไฮโดคลอริก 1 N (HCl)
2. กรดไฮโดคลอริก 6 N (HCl)
3. สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิแคลเซียมคาร์บอเนต เข้มข้น 0.01 M
   - ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต (Primary Standard) ที่อบแห้งไล่ความชื้นแล้ว มาประมาณ 0.1000 g ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ลงในบีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริก 6 N จนแคลเซียมคาร์บอเนตละลายหมด จะได้สารละลายใส พยายามใช้กรดให้น้อยที่สุด ค่อยๆเติมน้ำลงไป 20 mL ต้มจนเดือด 2-3 นาที เพื่อไล่ CO_2 จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น เติมเมทิลเรด 2-3 หยด (ช่วง pH 4.2-6.2 มีสีแดง-เหลือง) ถ้าไม่เป็นสีส้มอ่อนให้หยด NH_4OH 0.1 N หรือ HCl 0.1 N เจือจางจนได้สีส้มอ่อน จากนั้นเทลงขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ปรับปริมาตรจนถึงขีดด้วยน้ำกลั่น นำไปไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอ
5. สารละลายมาตรฐานเอทิลีนไดเอมีนเตตระแอซีติก (Ethylenediaminetetraacetic acid) หรือ อีดีทีเอ (EDTA) ความเข้มข้น 0.01 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารสะลายมาตรฐานอีดีทีเอ (EDTA) ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ สามารถเตรียมได้โดยชั่งน้ำหนักอีดีทีเอไดโซเดียมซอลท์ (Na_2EDTA) 3.723 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตร ลงในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บสารละลายในขวดแก้ว

6. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10
7. อินดิเคเตอร์อิริโอโครม แบลค ที

การทดลอง

ตอนที่ 1 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอ 0.01 M

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิแคลเซียมคาร์บอเนตมา 10 mL เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 ลง 1 mL เติมอินดิเคเตอร์อิริโอโครม แบลค ที 200 mg (หรือตักปริมาณเท่าเมล็ดถั่วเขียว)
2. จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอ พร้อมเขย่าสารละลายตลอดเวลาจนสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงองุ่นเป็นสีน้ำเงิน (ไม่มีสีแดงเจือปน) การไทเทรตต้องทำให้เสร็จภายใน 5 นาที หลังจากใส่บัฟเฟอร์ มิฉะนั้นอาจเห็นจุดยุติไม่ชัดเจน ซ้ำอีก 2 ครั้ง ถ้าปริมาณต่างเกิน 0.01 mL ให้ตัดค่านั้นทิ้งและทำซ้ำ

ตอนที่ 2 หาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต

1. ชั่งเปลือกหอยแครงบดที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จำนวน 10 มิลลิกรัม
2. แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 1 N 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำสารละลายกรองด้วยชุดกรองลดความดัน
4. เตรียมสารละลายมาตรฐาน EDTA ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ เพื่อใช้ในการไทเทรต
   - ปิเปตสารละลายมาตรฐาน EDTA เข้มข้น 0.01 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
5. ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองลดความดันมา 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ปิเปตสารลายจากข้อที่ 5 มา 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
7. ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 จำนวน 1 มิลลิลิตร และใส่อินดิเคเตอร์อิริโอโครม แบลค ที 200 มิลลิกรัม (ขนาดเท่าเมล็ดถั่วเขียว)
8. จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ สารละลายในขวดรูปชมพู่จะเปลี่ยนจากสีแดงองุ่นเป็นสีน้ำเงิน
9. บันทึกผลปริมาณสารละลายอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

1. คำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายมาตรฐาน EDTA
   จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ $CaCO_3$ (0.01M)

V_1 = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ $CaCO_3$ (mL)

C_2 = ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายมาตรฐาน EDTA (M)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ไป (mL)

2. คำนวณปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากสมการดังต่อไปนี้

$$CaCO_3\,(mg/L) = \frac{[(V(EDTA)_{Sample} - V(EDTA)_{Blank}) \times M \times 1000 \times 100.01]}{V_{Sample}}$$

เมื่อ M = ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายมาตรฐาน

$V(EDTA)_{Sample}$ = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารตัวอย่าง (mL)

$V(EDTA)_{Blank}$ = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (mL)

V_{Sample} = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (mL)

แปลงหน่วยจาก (mg/L) เป็น (mg $CaCO_3$/g)

จากสมการ $\dfrac{a\ x \frac{mg}{L}\ x\ \frac{100\ mL}{1000 \frac{mL}{L}}}{b}$

เมื่อ a = ปริมาณของ $CaCO_3$ (mg/L) ในสมการก่อนหน้านี้

b = น้ำหนักเปลือกหอยแครงบดละเอียดก่อนละลายในกรดไฮโดรคลอริก (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (Solubility)

การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายทำได้โดยวิธี Gravimetric Method โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
2. กระจกนาฬิกา
3. ตู้อบ (Oven)
4. เครื่องกวนสารระบบแม่เหล็ก
5. เครื่องเขย่า (Shaker)
6. ชุดกรองลดความดัน
7. กระดาษกรองเบอร์ 42
8. บีกเกอร์ขนาด 25, 2000 มิลลิลิตร
9. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
10. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
11. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
12. คีมคีบ (Forcep)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 2 %
   - เตรียมสารละลายกรดซิตริกที่มีความเข้มข้น 2% โดยชั่งกรดซิตริก 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนกรดซิตริกละลายหมด และปรับปริมาตรจนครบ 1000 มิลลิลิตร

การทดลอง

1. นำกระดาษกรองไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการบำบัดมา 300 มิลลิกรัม จากนั้นละลายด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 2.0 % 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาจนถึง 1,000 มิลลิตร จะได้ปุ๋ยน้ำความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. เทสารลายลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารระบบแม่เหล็กด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที
4. ทำการตวงสารละลาย 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วทำการปิดด้วยพาราฟิล์มบนปากขวด
5. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Shaker) ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยชุดกรองลดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำตะกอนที่ได้มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง
7. ทำข้อที่ 1-6 ซ้ำ แต่เปลี่ยนจากชั่งตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต 300 มิลลิกรัม เป็น 450, 600 และ 750 มิลลิกรัม ตามลำดับ

การคำนวณ

ความสามารถในการละลาย (%) = $\frac{(A-B)}{A} x100$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตก่อนทำการละลาย (mg)

B = น้ำหนักของตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตหลังการละลาย (mg)

ก-3 การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตทำได้โดยวิธี Colorimetric Method ใช้วิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Method โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
3. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 , 1000 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (Volumetric Pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร
5. บีกเกอร์ ขนาด 25, 600 มิลลิลิตร
6. กระบอกตวงขนาด 10 100 มิลลิลิตร
7. คิวเวต

สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์
4. สารละลายวานาเดต-โมลิบเดต (Vanadate – molyboldate reagent)
   - สารละลาย A ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต $[(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ 25 กรัม ในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร
   - สารละลาย B ละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต (NH_4VO_3) 1.25 กรัม โดยการต้มให้เดือดในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ทำให้เย็น แล้วค่อยๆเติมกรดเกลือเข้มข้น 330 มิลลิลิตร
   - เทสารละลาย A ลงในสารละลาย B แล้ว ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต
   - ละลายสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต KH_2PO_4 (anhydrous) 219.5 มิลลิกรัม ละลายด้วยน้ำและปรับปริมาตรจนครบ 1000 มิลลิลิตร (1มิลลิตรของสารละลายมี 50 ไมโครกรัมฟอสฟอรัส)

การทดลอง

1. การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต
   - ปิเปตสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0, 2, 5, 10, 30 และ 40 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายแวนาเดตโมลิบเดต 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
   - นำสารละลายแต่ละขวดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร อ่านค่าที่ได้และนำไปพล็อตกราฟหาสมการเส้นตรง
2. ชั่งตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการบำบัดมา 300 มิลลิกรัม
3. ละลายด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 2 % แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ปิเปตปุ๋ยน้ำในข้อที่ 2 มา 40 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายแวนาโดโมลิบเดต 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที
5. นำสารละลายแต่ละขวดมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร อ่านค่าที่ได้แล้วนำมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน
6. ทำข้อที่ 2-5 ซ้ำ แต่เปลี่ยนจากชั่งตะกอน 300 มิลลิกรัม เป็น 450, 600 และ 750 ตามลำดับ

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ จากสมการเส้นตรง $y = 0.0472x - 0.0024$

y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

x = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (µg/mL)

เมื่อค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.0982 จะได้ $x = \frac{0.0982+0.0024}{0.0472}$

$x = 2.13$ µg/mL หรือ 2.13 mg/L

ก-4 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์

การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตทำโดยวิธี EDTA Titrimetric Method โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
2. ชุดกรองลดความดัน
3. ชุดไทเทรต
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
5. บีกเกอร์ขนาด 25, 100 มิลลิลิตร
6. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
7. กระบอกตวงขนาด 10, 100 มิลลิลิตร
8. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน EDTA ความเข้มข้น 0.01 M
2. สารสะลายมาตรฐานอีดีทีเอ (EDTA) ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์
   - สามารถเตรียมได้โดยชั่งน้ำหนักอีดีทีเอไดโซเดียมซอลท์ (Na2EDTA) 3.723 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตร ลงในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
3. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10
4. อินดิเคเตอร์อิริโอโครม แบลค ที

การทดลอง

1. ชั่งตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการบำบัดมา 300 มิลลิกรัม
2. ละลายด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 2 % แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ปิเปตปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟตในข้อที่ 2 มา 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 ลง 1 มิลิลิตร จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์อิริโอโครม แบลค ที 200 มิลลิกรัม (หรือตักเท่าปริมาณเมล็ดถั่วเขียว)
4. นำไปไทเทรตกับสารละลาย EDTA เข้มข้น 0.001 โมลาร์ พร้อมเขย่าตลอดเวลาจนสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงองุ่นเป็นสีน้ำเงิน การไทเทรตต้องทำให้เสร็จภายใน 5 นาทีหลังจากใส่บัฟเฟอร์
5. ทำข้อที่ 1-4 ซ้ำ แต่เปลี่ยนจากชั่งตะกอน 300 มิลลิกรัม เป็น 450, 600 และ 750 ตามลำดับ

การคำนวณ

1. คำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายมาตรฐาน EDTA
   จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ $CaCO_3$ (0.01M)

V_1 = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ $CaCO_3$ (10 mL)

C_2 = ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายมาตรฐาน EDTA (M)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ไป (mL)

2. คำนวณปริมาณแคลเซียม จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Ca (mg/L)} = \frac{[(V(EDTA)_{Sample} - V(EDTA)_{Blank}) \times M \times 1000 \times 40.1]}{V_{Sample}}$$

เมื่อ M = ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายมาตรฐาน

$V(EDTA)_{Sample}$ = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารตัวอย่าง (mL)

$V(EDTA)_{Blank}$ = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (mL)

V_{Sample} = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข-1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกหอย

ตารางที่ ข-1 ร้อยละผลผลิตของเปลือกหอยแครงบดละเอียดที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักก่อนอบ(g)	น้ำหนักหลังอบ(g)	ร้อยละผลผลิต
700	150.04	142.03	94.66

ข-2 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตของเปลือกหอยและตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต

ตารางที่ ข-2 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตของเปลือกหอยแครงผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต

ชนิดของวัสดุ	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($mgCaCO_3/g$)			$\bar{X}$ ± S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เปลือกหอยบดที่อุณหภูมิ 700 (°C)	161.90	158.67	166.48	162±3.92
ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต	104.68	103.67	104.68	104.34±0.58

ข-3 สมบัติของสารละลายหลังบำบัด

ตารางที่ ข-3 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลือน้ำ

ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (mg/L)		
ครั้งที่	ก่อนบำบัด (mg/L)	หลังบำบัด (mg/L)
1	95.93	0.84
2	95.60	1.40
3	96.95	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-4 สมบัติของตะกอนหลังการบำบัด

ตารางที่ ข-4 ร้อยละการผลิตของตะกอนหลังการบำบัด

ตะกอนหลังการบำบัด			
ครั้งที่	**เริ่มต้น (g)**	**หลังบำบัด (g)**	**ร้อยละการผลิต (%)**
1	2.10	1.92	91.42
2	2.03	1.96	96.55
3	2.03	1.93	95.07
		$\bar{X}$ ± S.D.	94.34±2.58

ข-5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต

ตารางที่ ข-5.1 ความสามารถในการละลายของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต

$Ca_3(PO_4)_2$ (mg/L)	**ความสามารถในการละลาย (%)**			**$\bar{X}$ ± S.D.**
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	
300	99.90	99.70	99.57	99.72 ± 0.16
450	99.76	99.56	99.44	99.59 ± 0.16
600	99.22	99.07	98.98	99.09 ± 0.12
750	98.96	98.85	98.79	98.87 ± 0.08

ตารางที่ ข-5.2 พีเอชของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต

$Ca_3(PO_4)_2$ (mg/L)	**pH**			**$\bar{X}$ ± S.D**
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	
300	5.65	5.73	5.58	5.65 ± 0.08
450	5.91	5.89	5.90	5.90 ± 0.01
600	6.05	6.01	6.04	6.03 ± 0.02
750	6.11	6.13	6.10	6.11 ± 0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

$Ca_3(PO_4)_2$ (mg/L)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/L)			$\bar{X}$ ± S.D
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
300	2.13	2.83	2.13	2.13 ± 0.40
450	3.41	4.11	3.39	3.64 ± 0.41
600	5.18	5.88	5.18	5.41 ± 0.40
750	5.71	6.37	5.72	5.93 ± 0.38

ตารางที่ ข-5.4 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์

$Ca_3(PO_4)_2$ (mg/L)	ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/L)			$\bar{X}$ ± S.D
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
300	125.91	124.71	125.91	125.91 ± 0.69
450	166.01	166.42	166.82	166.42 ± 0.41
600	214.13	222.18	218.95	218.68 ± 4.42
750	342.86	341.25	340.45	341.52 ± 1.23

ตารางที่ ข-5.5 ความสูงของพืชในแต่ละสัปดาห์

ความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต (mg/L)	ความสูง (cm)			
	ครั้งที่	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
0	1	1	2.2	4
	2	2	5	6
	3	1	1.5	3
300	1	2.5	4.5	7.5
	2	4	6	9
	3	2.5	4.5	8
450	1	1.5	4.5	7
	2	1.3	3.8	7.9
	3	3.5	4.5	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.5 ความสูงของพืชในแต่ละสัปดาห์

ความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต (mg/L)	ความสูง (cm)			
	ครั้งที่	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
600	1	3.6	7.6	10.6
	2	2	4	9.5
	3	4	7	10.5
750	1	1.5	4.5	6.5
	2	3	5.5	7.5
	3	2	5	7
NPK สูตร 15-15-15	1	3	8	11
	2	4	6.5	12
	3	7.5	7.5	10.5

ตารางที่ ข-5.6 จำนวนใบของพืชในแต่ละสัปดาห์

ความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต (mg/L)	จำนวนใบ (ใบ)			
	ครั้งที่	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
0	1	15	33	48
	2	19	32	50
	3	10	19	34
300	1	14	30	45
	2	20	40	61
	3	15	31	50
450	1	20	32	49
	2	23	38	54
	3	23	33	49
600	1	36	58	73
	2	25	47	63
	3	19	40	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5.6 จำนวนใบของพืชในแต่ละสัปดาห์

ความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต (mg/L)	จำนวนใบ (ใบ)			
	ครั้งที่	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
750	1	16	35	50
	2	19	43	67
	3	20	32	59
NPK สูตร 15-15-15	1	19	43	65
	2	25	54	66
	3	22	48	66

ตารางที่ ข-5.7 ความยาวรากของพืชเมื่อครบ 21 วัน

ความเข้มข้นของปุ๋ยน้ำแคลเซียมฟอสเฟต (mg/L)	ความยาวราก (cm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	10	11	11
300	19	13	14.5
450	15.8	14.5	14.5
600	14	16	16
750	17	16	16
NPK สูตร 15-15-15	15.5	15	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบความสูงและจำนวนใบของดาวเรืองในแต่ละความเข้มข้น โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA

ตารางที่ ค-1 Factor Information

Factor	Levels	Values
Concentration	6	NC, T300, T450, T600, T750, PC

ตารางที่ ค-2 Analysis of Variance (ความสูง สัปดาห์ที่1)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concentration	5	10.07	2.01	2.68	0.075
Error	12	9.03	0.75		
Total	17	19.11			

ตาราง ค-3 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Concentration	N	Mean	Grouping
PC (NPK 15-15-15)	3	3.50	A
T600 (600 mg/L)	3	3.20	A
T300 (300 mg/L)	3	3.00	A
T750 (750 mg/L)	3	2.17	A
T3000 (300 mg/L)	3	2.10	A
NC (0 mg/L)	3	1.33	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 Analysis of Variance (ความสูง สัปดาห์ที่ 2)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concentration	5	33.95	6.789	4.67	0.013
Error	12	17.43	1.453		
Total	17	51.38			

ตาราง ค-5 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Concentration	N	Mean	Grouping	
PC (NPK 15-15-15)	3	7.33	A	
T600 (600 mg/L)	3	6.20	A	B
T750 (750 mg/L)	3	5.00	A	B
T300 (300 mg/L)	3	5.00	A	B
T450 (450 mg/L)	3	4.27	A	B
NC (0 mg/L)	3	3.00		B

ตารางที่ ค-6 Analysis of Variance (ความสูง สัปดาห์ที่ 3)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concentration	5	87.68	17.5352	20.54	0.000
Error	12	10.25	0.8539		
Total	17	97.92			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-7 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Concentration	N	Mean	Grouping		
PC (NPK 15-15-15)	3	11.17	A		
T600 (600 mg/L)	3	10.20	A	B	
T300(300 mg/L)	3	8.17		B	C
T450(450 mg/L)	3	7.98		B	C
T750(750 mg/L)	3	7.00		B	C
NC (0 mg/L)	3	4.33			D

ตาราง ค-8 Analysis of Variance (จำนวนใบ สัปดาห์ที่ 1)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concentration	5	291.3	58.27	2.88	0.062
Error	12	242.7	242.7		
Total	17	534.0			

ตาราง ค-9 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Concentration	N	Mean	Grouping
T600 (600 mg/L)	3	26.67	A
PC (NPK 15-15-15)	3	22.00	A
T450 (450 mg/L)	3	22.00	A
T750 (750 mg/L)	3	18.33	A
T3000 (300 mg/L)	3	16.33	A
NC (0 mg/L)	3	14.67	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-10 Analysis of Variance (จำนวนใบ สัปดาห์ที่ 2)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concentration	5	1032.9	206.59	5.07	0.01
Error	12	488.7	40.72		
Total	17	1521.6			

ตาราง ค-11 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Concentration	N	Mean	Grouping	
PC (NPK 15-15-15)	3	48.33	A	
T600 (600 mg/L)	3	48.33	A	
T750(750 mg/L)	3	36.67	A	B
T450(450 mg/L)	3	34.33	A	B
T300(300 mg/L)	3	34.00	A	B
NC (0 mg/L)	3	28.00		B

ตาราง ค-12 Analysis of Variance (จำนวนใบ สัปดาห์ที่ 3)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concentration	5	1026.9	205.39	3.92	0.024
Error	12	628.7	52.39		
Total	17	1655.6			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-13 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Concentration	N	Mean	Grouping	
PC (NPK 15-15-15)	3	65.667	A	
T600 (600 mg/L)	3	63.33	A	B
T750(750 mg/L)	3	58.67	A	B
T300(300 mg/L)	3	52.00	A	B
T450(450 mg/L)	3	50.67	A	B
NC (0 mg/L)	3	44.00		B

ตาราง ค-14 Analysis of Variance (ความยาวราก)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concentration	5	63.87	12.773	5.72	0.006
Error	12	26.79	2.233		
Total	17	90.66			

ตาราง ค-15 ผลการเปรียบเทียบความยาวรากของดาวเรืองแต่ละความเข้มข้น โดยใช้ Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Concentration	N	Mean	Grouping	
T700 (750 mg/L)	3	16.33	A	
PC (NPK 15-15-15)	3	15.83	A	
T300 (300 mg/L)	3	15.50	A	
T600 (600 mg/L)	3	15.33	A	
T450 (450 mg/L)	3	14.93	A	
NC (0 mg/L)	3	10.67		B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่.....8.....เดือน.....มีนาคม.....พ.ศ..2566..

ข้าพเจ้า ~~นาย~~/~~นาง~~/นางสาว.....มลิวัลย์.....เนตรสุวรรณ์..... รหัสประจำตัว.....62050429.....

~~นาย~~/~~นาง~~/นางสาว.....ศศิภา.....คงเหลี่ยม..... รหัสประจำตัว.....62050449.....

~~นาย~~/~~นาง~~/นางสาว.....สบหทัย.....ป้องหลักคำ..... รหัสประจำตัว.....62050454.....

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา.....เคมีสิ่งแวดล้อม.....ภาควิชา.....เคมี.....

ขอรับรองว่าโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย.....กากตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตจากการบำบัดน้ำและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร.....

.....

ชื่อภาษาอังกฤษ..... Calcium phosphate sludge from wastewater treatment and its application in agriculture.....

ปีการศึกษา.....2565.....

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์.....1.84.....% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ.....มลิวัลย์..... ลงชื่อ.....ศศิภา..... ลงชื่อ.....สบหทัย.....

(นางสาวมลิวัลย์ เนตรสุวรรณ์) (นาวสาวศศิภา คงเหลี่ยม) (นางสาวสบหทัย ป้องหลักคำ)

นักศึกษา นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า ~~ศ.~~ / รศ. / ~~ผศ.~~ / ดร. / ~~อ~~.....สุวรรณี.....จรรยาพูน..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงชื่อ.....

อาจารย์ที่ปรึกษา