

การใช้ประโยชน์และการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัส
ในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย

THE UTILIZATION AND ENHANCED EFFICIENCY OF
PHOSPHORUS IN ALUM SLUDGE AFTER DRENCHED
WITH WASTEWATER



วาสนา ประเสริฐ
เสาวลักษณ์ ระวีโรจน์
โสธญา จำปาทอง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE UTILIZATION AND ENHANCED EFFICIENCY OF
PHOSPHORUS IN ALUM SLUDGE AFTER DRENCHED
WITH WASTEWATER



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

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การใช้ประโยชน์และการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัส
ในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย
The Utilization and Enhanced Efficiency of Phosphorus
in Alum Sludge after Drenched with Wastewater

ชื่อนักศึกษา

นางสาววาสนา ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 55050996
นางสาวเสาวลักษณ์ ระวีโรจน์ รหัสนักศึกษา 55051027
นางสาวโสรญา จำปาทอง รหัสนักศึกษา 55051028

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ประโยชน์และการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสในดินตะกอน สารส้มหลังผ่านน้ำเสีย
ชื่อนักศึกษา	นางสาววาสนา ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 55050996 นางสาวเสาวลักษณ์ ระวีโรจน์ รหัสนักศึกษา 55051027 นางสาวโสธญา จำปาทอง รหัสนักศึกษา 55051028
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์และเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย โดยนำดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์มาผสมกับดินธรรมชาติในอัตราส่วนที่ต่างกัน จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (1:3) ผลการวิจัยพบว่า ในสัปดาห์ที่ 3 ใบของต้นดาวเรืองเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองอ่อน เนื่องจากการขาดธาตุไนโตรเจน แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ย ปรากฏว่า ต้นดาวเรืองมีการเจริญเติบโตและความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกอัตราส่วน รวมถึงเริ่มมีการผลิดอกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 โดยอัตราส่วนที่ให้จำนวนดอกมากที่สุด คือ S2 รองลงมาคือ S1 ส่วนระบบรากมีการเจริญเติบโตอย่างปกติในทุกอัตราส่วน หลังจากนั้นจึงนำดินทั้ง 4 อัตราส่วนมาวิเคราะห์ปริมาณของไอออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการปลูกต้นดาวเรือง ผลปรากฏว่า อัตราส่วน S1 มีปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนปลูกมากที่สุด ขณะที่ฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้กลับมีปริมาณน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งตรงข้ามกับในดินหลังปลูกที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลง แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้เพิ่มสูงขึ้นในทุกอัตราส่วน สำหรับปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแบบแลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเหล็กจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่อลูมิเนียมจะถูกนำไปสะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ โดยไม่เป็นพิษต่อต้นดาวเรือง ส่วนปริมาณของเจลาตูล์ไนโตรเจนในดินก่อนปลูก ถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินอัตราส่วน C และ S3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งต่างจากอัตราส่วน S1 และ S2 ที่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมาได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสที่ถูกเติมลงในดินตะกอนสารส้ม โดยใช้สารสกัดจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริกจากสับปะรด ผลการวิจัยพบว่า กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสของฟอสฟอรัสในดินตะกอนมากกว่ากรดซิตริกจากสับปะรด โดยพบฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้และฟอสฟอรัสรูปแบบละลายน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็กและอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น รวมถึงมีผลต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินตะกอนและในสารละลายที่ได้จากการสกัดที่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าต่ำลง ส่วนน้ำกลั่นไม่มีผลต่อการเปลี่ยน

เอกสารรูปของฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอน การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
คำสำคัญ : กรดซิตริก ดินตะกอนสารส้ม ต้นดาวเรือง น้ำสับปะรด ฟอสฟอรัส เหล็ก อลูมิเนียม

Title	The Utilization and Enhanced Efficiency of Phosphorus in Alum sludge after Drenched with Wastewater		
Student	Miss Wasana	Prasert	Student ID 55050996
	Miss Saowaluk	Rawirod	Student ID 55051027
	Miss Soraya	Jompatong	Student ID 55051028
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst. Prof. Pitsamai Chairatu-tai		

Abstract

The utilization of phosphorus in alum sludge after being flowed through a wastewater was studied by mixing with soil with different ratios to find the suitable ratio for marigold growth. In this study, 4 ratios of alum sludge: soil, such as C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1), S3 (1:3) were used in planting marigold. In the 3rd week, the research's result showed that the leaves of marigold changed from green to yellow color. However, after adding fertilizer the rapid growth with green leaves and flowering of the marigold in every ratio was observed. The ratio that provided the most flower is S2, followed by S1, while rooting system showed normal growth in every ratio. The alum sludge and alum mixture were analyzed to measure the ions before and after planting marigold. The result showed that S1 showed the highest level of the total phosphorus before plantation, but contain the lowest exchangeable phosphorus. Comparison to other ratio, the total phosphorus would be fewer than the exchangeable phosphorus. After plantation, every soil ratios show decreasing level of total phosphorus but increased in exchangeable phosphorus. Meanwhile the level of exchangeable iron and aluminium has significantly decreased because iron was used during marigold growth, while aluminium is not harmfully in various part of marigold. The level of Kjeldahl nitrogen is the lowest before plantation, while pH level in ratio C and S3 increase significantly. On the other hand pH level in ratio S1 and S2 decrease after plantation. A further study on enhancing efficiency of phosphorus in alum sludge was conducted by applying 3 kinds of solvents; which are distilled water, 7% citric acid and citric acid squeezed from pineapple. The results showed that 7% citric acid has more effects to change phosphorus form in sludge than citric acid in pineapple.

Exchangeable form of phosphorus, soluble phosphorus, exchange ions of iron and aluminium were increased with 7% citric acid. The concentration of hydrogen ion in

soil and extracted solution were increased. Distilled water had no effects on change from of phosphorus and ion form in sludge.

Key words : Citric acid, Alum sludge, Marigold, Pineapple juice, Phosphorus, Iron, Aluminium



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดีด้วยความกรุณาชี้แนะแนวทาง ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษจาก ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ นอกจากนี้ยังให้กำลังใจและการดูแลอย่างดี ทำให้โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงมาได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และดร.กลั่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ เพื่อนำไปแก้ไขโครงการพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาในระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีทุกท่าน ได้แก่ พี่สาคร พี่ชัชชัย พี่ณัฐพล และพี่ปราณีที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทดลอง และขอบคุณพี่สุรินทร์ สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงผลิตน้ำประปาบางเขนทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการเก็บตะกอนสารส้มเพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณนายพิสิฐ วีระพันธ์ ที่คอยให้ทำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำโครงการพิเศษ จนสำเร็จผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งให้คำปรึกษา ให้ข้อคิด ให้สติและให้ความรู้สัปดาห์ตลอดการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณบิดา มารดาของเราทั้งสามคน ตลอดจนครอบครัวที่เป็นแรงผลักดัน แรงบันดาลใจ ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนทางด้านการศึกษาตลอดมา ทั้งยังสอนให้มีความมุ่งมั่น พยายามต่ออุปสรรคต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้ประสบความสำเร็จ

วาสนา ประเสริฐ

เสาวลักษณ์ ระวีโรจน์

โสธญา จำปาทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฐ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ดินตะกอนสารส้ม.....	3
2.1.1 แหล่งที่มาของดินตะกอนสารส้ม.....	3
2.1.2 องค์ประกอบของดินตะกอนสารส้ม.....	3
2.1.3 คุณสมบัติของดินตะกอนสารส้ม.....	4
2.1.4 ประโยชน์ของดินตะกอนสารส้ม.....	4
2.2 น้ำเสียชุมชน.....	5
2.2.1 ความหมายของน้ำเสียชุมชน.....	5
2.2.2 ลักษณะการเกิดน้ำเสียชุมชน.....	5
2.2.3 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน.....	6
2.2.4 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของน้ำเสียชุมชน.....	7
2.3 ฟอสฟอรัส.....	8
2.3.1 ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน.....	8
2.3.1.1 แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน.....	8
2.3.1.2 ผลกระทบของฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน.....	9
2.3.1.3 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน.....	9
2.3.2 ฟอสฟอรัสในดิน.....	11
2.3.2.1 รูปแบบของฟอสฟอรัสในดิน.....	11
2.3.2.2 กระบวนการเปลี่ยนรูปแบบของฟอสฟอรัสในดิน.....	12
2.3.2.3 กระบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดิน.....	13
2.3.2.4 กระบวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 สัปประรด.....	17
2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสัปประรด.....	17
2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสัปประรด.....	18
2.5 ต้นดาวเรือง.....	18
2.5.1 ลักษณะโดยทั่วไปของต้นดาวเรือง.....	18
2.5.2 การขยายพันธุ์ของต้นดาวเรือง.....	19
2.5.3 การเตรียมแปลงปลูกต้นดาวเรือง.....	19
2.5.4 การปลูกต้นดาวเรือง.....	19
2.5.5 การดูแลรักษาต้นดาวเรือง.....	20
2.5.6 การปลิดยอดของต้นดาวเรือง.....	20
2.5.7 การปลิดดอกทิ้งของต้นดาวเรือง.....	20
2.5.8 การตัดดอกของต้นดาวเรือง.....	20
2.5.9 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง.....	20
2.6 ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน.....	23
2.6.1 ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน.....	23
2.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน.....	24
2.7 แร่ธาตุในดิน.....	25
2.7.1 แร่ธาตุทั้งหมด.....	25
2.7.2 แร่ธาตุที่เป็นธาตุอาหารหลัก.....	27
2.7.3 แร่ธาตุที่เป็นจุลธาตุ.....	29
2.7.4 แร่ธาตุที่เป็นธาตุเสริมประโยชน์.....	30
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	35
3.2 สารเคมีที่ใช้ทดลอง.....	36
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	41
4.1 ผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง.....	42
4.1.1 ลักษณะทั่วไปของใบดาวเรือง.....	42
4.1.2 ความสูงของต้นดาวเรือง.....	42
4.1.3 จำนวนดอกของต้นดาวเรือง.....	47
4.1.4 ลักษณะทั่วไปของรากต้นดาวเรือง.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลของไอออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ในดินตะกอนที่มีต่อการเจริญเติบโต ของต้นดาวเรือง.....	48
4.2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้.....	48
4.2.2 ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้.....	50
4.2.3 ปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจน.....	52
4.2.4 ความเป็นกรด-ด่าง.....	53
4.3 ผลของสารสกัดจากกรดซิตริกที่มีต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของอนุมูล ฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียชุมชน.....	54
4.3.1 ฟอสฟอรัส.....	54
4.3.1.1 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้ม.....	54
4.3.1.2 ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	54
4.3.1.3 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัด ดินตะกอนสารส้ม.....	57
4.3.1.4 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการสกัด ดินตะกอนสารส้ม.....	57
4.3.2 ความเข้มข้นของไฮโดรเจน.....	59
4.3.3 เหล็ก.....	60
4.3.1.1 เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	60
4.3.1.2 เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัด ดินตะกอนสารส้ม.....	60
4.3.4 อลูมิเนียม.....	62
4.3.4.1 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	62
4.3.4.2 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัด ดินตะกอนสารส้ม.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์น้ำและดิน.....	73
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ.....	79
ภาคผนวก ค ตารางและกราฟของสารมาตรฐาน.....	82
ภาคผนวก ง ผลการทดลอง.....	88
ภาคผนวก จ ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบในดินตะกอนสารส้ม..... 4
2.2	ปริมาณของน้ำเสียชุมชนจากอาคารประเภทต่างๆ..... 5
2.3	องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน..... 7
2.4	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน..... 8
2.5	สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย..... 8
2.6	สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนน้ำเสีย..... 10
2.7	กรดอินทรีย์ในน้ำสับประรด 100 มิลลิลิตร..... 18
2.8	แร่ธาตุต่างๆ ในน้ำสับประรด 100 มิลลิลิตร..... 18
2.9	สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ของดาวเรืองตัดดอก..... 21
2.10	องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน..... 24
2.11	ธาตุที่พืชสูงแล้วจำเป็นต่อพืช 16 ธาตุ..... 25
2.12	หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารพืชและอาการที่เกิดขึ้นเมื่อพืชขาดแคลน..... 25
2.13	ระดับของปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน..... 27
2.14	ระดับของปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน..... 28
2.15	ระดับของปริมาณความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนในดิน..... 29
3.1	การบันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง..... 38
3.2	ไอออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ในดินตะกอนที่ใช้ในการปลูกต้นดาวเรือง..... 38
3.3	รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้ม ที่ทำการศึกษา..... 39
3.4	รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในสารละลายที่ได้จาก การสกัดดินตะกอนสารส้มที่ทำการศึกษา..... 40
4.1	ลักษณะทั่วไปของใบที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ..... 43
4.2	จำนวนดอกของต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ..... 47
4.3	ความเข้มข้นของไฮโดรเจน..... 59
ค-1.1.1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร..... 82
ค-1.2.1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร..... 83
ค-1.3.1	ค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต..... 84
ค-2.1	ค่าการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานเหล็ก ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร..... 86
ค-3.1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานอลูมิเนียม ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร..... 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ง-1.1	ความสูงของต้นดาวเรือง..... 88
ง-2.1	ความเป็นกรด-ด่าง..... 90
ง-2.2	ฟอสฟอรัสทั้งหมด..... 91
ง-2.3	ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้..... 92
ง-2.4	เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้..... 93
ง-2.5	อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้..... 94
ง-2.6	เจลดาห์ลไนโตรเจน..... 95
ง-3.1	ความเป็นกรด-ด่าง..... 96
ง-3.2	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน..... 97
ง-3.3	ฟอสฟอรัสทั้งหมด..... 98
ง-3.4	ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้..... 99
ง-3.5	ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้..... 99
ง-3.6	เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้..... 100
ง-3.7	อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้..... 101
ง-3.8	เปอร์เซ็นต์ความชื้น..... 102
ง-4.1	การไทเทรตหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 103
ง-4.2	การหาความเข้มข้นของกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกในน้ำสัปะรด..... 103
จ-1.1	การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C..... 104
จ-1.2	การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1..... 104
จ-1.3	การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2..... 105
จ-1.4	การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3..... 106
จ-2.1	การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C..... 106
จ-2.2	การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1..... 107
จ-2.3	การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2..... 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
จ-2.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3.....	108
จ-3.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน C.....	109
จ-3.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S1.....	110
จ-3.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S2.....	110
จ-3.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S3.....	111
จ-4.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C.....	112
จ-4.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1.....	112
จ-4.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2.....	113
จ-4.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3.....	114
จ-5.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน C.....	114
จ-5.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S1.....	115
จ-5.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S2.....	116
จ-5.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S3.....	116
จ-6.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน C.....	117
จ-6.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S1.....	118
จ-6.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S2.....	118
จ-6.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S3.....	119
จ-7.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเนียมในดินตะกอน.....	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
จ-7.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยolumิเนียมในสารละลาย ที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม.....	121
จ-8.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	121
จ-8.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ เหล็กในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม.....	122
จ-9.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้ม.....	123
จ-9.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม.....	124
จ-9.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	125
จ-9.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณ ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม.....	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การตรึงฟอสฟอรัสที่โครงสร้างของแร่ดินเหนียว.....	14
4.1	ความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ.....	46
4.2	ลักษณะทั่วไปของรากต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ ในระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	48
4.3	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ.....	49
4.4	ปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติ ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	50
4.5	ปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ.....	51
4.6	ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติ ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	52
4.7	ปริมาณเจลดาห์ลโนโตรเจนในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่าง.....	53
4.8	ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ.....	54
4.9	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้ม.....	56
4.10	ปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	57
4.11	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม.....	58
4.12	ปริมาณฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม.....	58
4.13	ปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	62
4.14	ปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม.....	62
4.15	ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม.....	64
4.16	ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัด ดินตะกอนสารส้ม.....	64
ค-1.1.2	กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟต ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร.....	82
ค-1.2.2	กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟต ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร.....	83
ค-1.3.2	กราฟค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต.....	84
ค-1	กราฟมาตรฐานของฟอสเฟตที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี.....	85
ค-2.2	กราฟการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานเหล็ก ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร.....	86
ค-3.2	กราฟการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานอลูมิเนียม ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
TP	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
TKN	เจลดาร์ลไนโตรเจน
OP	ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ
SD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
C	ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 0:1
S1	ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 1:0
S2	ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 1:1
S3	ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 1:3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำดินตะกอนสารส้มมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็ก ซึ่งสามารถดูดซับกับไอออนต่างๆ ในน้ำได้ เช่น โครเมียม ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และฟอสฟอรัส เป็นต้น โดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่กัลยาวดี และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ พบว่า ปฏิกริยาจะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 1 ชั่วโมง โดยพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ คือ พีเอช 4 และเมื่อเพิ่มปริมาณของดินตะกอนจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการดูดซับยังไม่มีการศึกษาถึงการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ขณะที่กรณิกา และคณะ (2556) ได้อธิบายถึงรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนว่าฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอลูมิเนียมและเหล็กออร์โธฟอสเฟต ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชค่อนข้างน้อย (อาภารัตน์, 2549) แต่อย่างไรก็ตาม พืชยังสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ หากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืชเป็นกลุ่มที่ผลิตเอ็นไซม์หรือกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก แลคติก ฟอรั่มิก อะซิติก และซักซินิก เป็นต้น ซึ่งเอ็นไซม์หรือกรดอินทรีย์เหล่านี้สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (เกตนันนิภา, 2556) โดยเฉพาะกรดซิตริกที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง (สมเกียรติ, 2551) นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการลดความเป็นพิษของเหล็กและอลูมิเนียมได้ด้วย (Jian Feng Ma., 2000)

จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำดินตะกอนสารส้มไปดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำเสียตามสภาวะการทดลองของชนิษฐา และคณะ (2555) แล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์โดยการปลูกต้นดาวเรือง ซึ่งเป็นไม้ตัดดอกที่มีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณมาก พร้อมทั้งศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยน้ำสับประรดเหลือทิ้งตามท้องตลาด ซึ่งมีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับกรดซิตริกที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น รวมถึงมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด ถือเป็นการนำของเสียทั้งดินตะกอนสารส้มและสับประรดเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง
- 2) เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยสารสกัดจากกรดซิตริก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ จนมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง โดยอัตราส่วนที่ศึกษา มีจำนวน 4 อัตราส่วน คือ ดินตะกอนผสมดินธรรมชาติอัตราส่วน C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (3:1) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยสารสกัดจากกรดซิตริกที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปฟอรัมของฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียชุมชน ได้แก่ ไฮโดรเจน อลูมิเนียมและเหล็ก ซึ่งกรดซิตริกที่ใช้มีจำนวน 2 ชนิด คือ กรดซิตริกเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริกจากสับปะรด โดยมีน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุมของการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถใช้ประโยชน์จากดินตะกอนสารส้ม ซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำประปาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้
- 2) ได้ดินตะกอนสารส้มที่อุดมไปด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชหลังจากนำไปบำบัดน้ำเสียชุมชน
- 3) สามารถใช้ประโยชน์จากสับปะรดเหลือทิ้งตามท้องตลาดในการเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

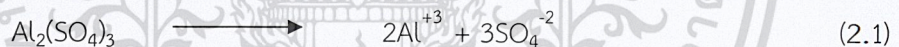
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินตะกอนสารส้ม

2.1.1 แหล่งที่มาของดินตะกอนสารส้ม

กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาเขตบางเขนใน 1 วัน จะมีการเติมสารเคมีต่างๆ ในขั้นตอนการตกตะกอน เช่น ปูนขาว (CaO) สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) หรือสารโพสลิเล็กโพลไคต์ เพื่อช่วยในการรวมตะกอนและตกตะกอนอนุภาคของแข็งในน้ำดิบ ทำให้ได้น้ำที่ใส หรืออาจใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) หรือเฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ร่วมกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตน้ำประปามีของเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการตกตะกอนที่เรียกว่า ตะกอนสารส้ม ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 75,000-105,000 กิโลกรัมต่อวัน หรือประมาณ 75-105 ตันต่อวัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น (การประปานครหลวง, 2555) ส่วนใหญ่กากตะกอนเหล่านี้ จะถูกปล่อยทิ้งตากแดดและยังไม่มีหรือนำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร ทำให้มีปริมาณของตะกอนเพิ่มขึ้นจนพื้นที่ตากตะกอนไม่เพียงพอ และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการกับตะกอนเหล่านี้เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ลักษณะของตะกอนที่ได้จากกระบวนการตกตะกอนจะมีสารเคมีบางส่วนปะปนอยู่ โดยเฉพาะสารส้มและเหล็ก ซึ่งสารส้มที่ใช้ในการผลิตน้ำประปามีสูตรโมเลกุล คือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ ซึ่ง X มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อสารส้มละลายน้ำจะมีการแตกตัวของไอออนบวกและลบดังสมการที่ 2.1



อลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ซึ่งไอออนที่ประกอบด้วยโลหะและน้ำเรียกว่า อะควาเมทัลไอออน (Aqua metal ion) ส่วนโมเลกุลของน้ำที่ล้อมนั้น เรียกว่า ลิแกนด์ (ligand) แต่เพื่อความสะดวกในการเขียน บางครั้งจึงตัดโมเลกุลของน้ำออกให้เหลืออยู่เพียงอลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) เนื่องจากอลูมิเนียมเป็นกรดที่สามารถให้โปรตอนได้ (H^+) จึงพร้อมที่จะเกิดการไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียม โดยมีไอออนของ OH^- , F^- หรือ SO_4^{2-} เป็นลิแกนด์ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอลูมิเนียมซัลเฟตและไฮดรอกไซด์ แต่อลูมิเนียมซัลเฟตจะพบมากที่สุด (วาดวัน และคณะ, 2556)

2.1.2 องค์ประกอบของดินตะกอนสารส้ม

ดินตะกอนสารส้มที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจะมีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบในดินตะกอนสารส้ม

Chemical composition	Unit	Amount
Aluminum (as Al ₂ O ₃)	mg/g	458-463
Iron (as Fe ₂ O ₃)	mg/g	11.9-12.3
Calcium (as CaO)	mg/g	11.6-11.7
Magnesium (as MgO)	mg/g	7.4-7.6
Humic acid (as TOC)	mg/g	96.4-98.5
Cl ⁻	mg/g	16.0-16.2
SO ₄ ²⁻	mg/g	8.2-8.4
SiO ₄ ²⁻	mg/g	10.6-11.8
H ₂ O at 105°C (moisture content)	%	10.2
H ₂ O at 1000°C	mg/g	260-270

ที่มา : (การประปานครหลวง, 2555)

2.1.3 คุณสมบัติของดินตะกอนสารส้ม (ชัยวัฒน์, 2547)

- 1. อุดมด้วยสารอนินทรีย์
- 2. ขาดสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช
- 3. ขาดสารกลุ่มเส้นใย (fiber)
- 4. มีปริมาณสารอลูมิเนียมสูงกว่าดินทั่วไป เนื่องจากการใช้สารส้มเป็นตัวตกตะกอน
- 5. ปริมาณมวลสารที่มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน
- 6. มีตะกอนดินในปริมาณมากพอที่จะเป็นวัตถุดิบในเชิงอุตสาหกรรม
- 7. ตะกอนดินมีคุณสมบัติเป็นเนื้อดินเบา อุ่มน้ำ และจะพองตัวได้เมื่อชุ่มน้ำ

2.1.4 ประโยชน์ของดินตะกอนสารส้ม (ชัยวัฒน์, 2547)

ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา ไม่เหมาะสำหรับการใช้ถมที่โดยทั่วไป เนื่องจากคุณสมบัติของการเป็นเนื้อดินที่เบา จะพองตัวเมื่อชุ่มน้ำ แต่สามารถทำประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้ดังนี้

- 1. ปรับแต่งด้วยอินทรีย์สารหรือปุ๋ยในกลุ่มปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใย และแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช ในประเทศญี่ปุ่นมีโครงการในลักษณะนี้ คือทำให้กลายเป็นดินวิทยาศาสตร์ที่มีความต้องการของตลาด โดยเฉพาะตลาดปลูกไม้ดอกไม้ประดับ
- 2. นำมาเป็นสารเติมแต่ง (additive) ในการปรับปรุงของเสีย (waste) หรือของเสียจากชุมชน หรือโรงงานน้ำตาลให้เป็นดินที่มีคุณภาพ เนื่องจากกากของเสียที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน หรือโรงงานน้ำตาล จะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงเกินไป และบางครั้งส่งกลิ่นเหม็นเน่า เนื่องจากผ่านขบวนการหมักไม่สมบูรณ์ การนำกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปามารวมกับของเสียจากชุมชน หรือโรงงานน้ำตาล จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยเพิ่มคุณค่าให้ดินตะกอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คุณสมบัติของตะกอนดินที่ขาดสารกลุ่มเส้นใย กากใย และขาดสารอินทรีย์ ทำให้มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา แม้จะมีปริมาณของมวลสารอลูมิเนียมผสมอยู่ก็สามารถทำเครื่องปั้นดินเผาได้

2.2 น้ำเสียชุมชน

2.2.1 ความหมายของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสารใดๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาเจือปนอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไป จนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน ผงซักฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็น และเชื้อโรคต่างๆ

2.2.2 ลักษณะการเกิดน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ภายในชุมชนและการประกอบอาชีพ ได้แก่ บ้านพักอาศัย ภัตตาคาร โรงพยาบาล โรงแรม โรงเรียน ตลาด เป็นต้น ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การอุปโภคบริโภค การชำระล้างร่างกาย การซักล้าง และการประกอบอาหาร เป็นต้น โดยทั่วไปมักจะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่เป็นของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำ นอกจากนี้ยังมีน้ำมัน ไขมัน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส รวมทั้งโลหะหนักที่เป็นอันตราย และเชื้อแบคทีเรียต่างๆ ปะปนมาด้วย ทั้งนี้ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของน้ำเสียชุมชนจากอาคารประเภทต่างๆ

ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่าง ๆ		
ประเภทอาคาร	หน่วย	ลิตร/วัน-หน่วย
อาคารชุด/บ้านพัก	ยูนิต	500
โรงแรม	ห้อง	1,000
หอพัก	ห้อง	80
สถานบริการ	ห้อง	400
หมู่บ้านจัดสรร	คน	180
โรงพยาบาล	เตียง	800
ภัตตาคาร	ตารางเมตร	25
ตลาด	ตารางเมตร	70
ห้างสรรพสินค้า	ตารางเมตร	5

เอกสารที่นำ : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)านเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว น้ำกล้วยเตี่ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ซึ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลง และเกิดการเน่าเหม็นได้ ทั้งนี้ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย
 2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ซึ่งไม่ทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ เช่น คลอไรด์ และซัลเฟต เป็นต้น
 3. โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ โดยสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ เช่น โปรท โคเรียม และทองแดง ซึ่งพบได้ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น
 4. น้ำมันและสารลอยน้ำต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ
 5. ของแข็ง เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ จะทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน และทำให้แหล่งน้ำเกิดการตื้นเขิน มีความขุ่นสูง รวมถึงมีผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสัตว์น้ำ
 6. สารก่อให้เกิดฟองหรือสารชักฟอง ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
 7. จุลินทรีย์ ในน้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานผลิตอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงและเกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล
 8. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลง และจะลดต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ
 9. กลิ่นที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน หรือกลิ่นอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น
- ทั้งนี้องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชนทั้ง 9 ข้อ ได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนักและสารพิษ น้ำมันและสารแขวนลอย ของแข็ง สารก่อฟอง จุลินทรีย์ ธาตุอาหาร และกลิ่นจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน

องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน				
พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1.ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	350	720	1200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)		250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)		100	220	350
2.ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล	5	10	20
3.ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand;BOD)	มก./ล.	110	220	400
4.ค่าซีโอดี (chemical Oxygen Demand;COD)	มก./ล.	250	500	1000
5.ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มก./ล.	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)		8	15	35
แอมโมเนีย (Free ammonia)		12	25	50
ไนไตรต์ (Nitrites)		0	0	0
ไนเตรต (Nitrate)		0	0	0
6.ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มก./ล.	4	8	15
สารอินทรีย์ (Organic)		1	3	5
สารอนินทรีย์ (Inorganic)		3	5	10
7.คลอไรด์ (Chloride)	มก./ล.	30	50	100
8.ซัลเฟต (Sulfate)	มก./ล.	20	30	50
9.สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	200
10.ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150

ที่มา : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)

2.2.4 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนจัดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทหนึ่งที่มีแหล่งกำเนิดไม่แน่นอน ทำให้ยากต่อการจัดการ แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับสถานประกอบการหรือพื้นที่ชุมชนขนาดใหญ่ กฎหมายกำหนดให้มีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน เพื่อควบคุมการปล่อยน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมปี 2553

โดยมีค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งแสดงดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	หน่วย
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5-9.0	-
2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 20	มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 30	มิลลิกรัมต่อลิตร
4. น้ำมันและไขมัน (Fat , Oil Grease)	ไม่เกิน 5	มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	ไม่เกิน 2	มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	ไม่เกิน 20	มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

ที่มา : (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553)

2.3 ฟอสฟอรัส

2.3.1 ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน

2.3.1.1 แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน

สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน มาจากอาหารที่บริโภคและ ผงซักฟอก โดยค่าความสกปรกหรือมลสารที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสอันเกิดจากการดำเนิน ชีวิตของประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เท่ากับ 0.38, 0.50 และ 1.20 กรัม ต่อคนต่อวัน สำหรับการขับถ่าย การซักรีด และการอาบน้ำ-คร้ว ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความสกปรก หรือมลสารที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสอันเกิดจากการดำเนินชีวิตของประชากรที่อาศัยอยู่ใน จังหวัดอื่นนอกจากกรุงเทพฯ และปริมณฑล มีค่าเท่ากับ 0.38, 0.35 และ0.71 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ โดยปริมาณการปล่อยฟอสฟอรัสจากน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย แสดงได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย

กิจกรรม	กทม.และปริมณฑล		จังหวัดอื่นนอกจาก กทม. และปริมณฑล	ทั้งประเทศ	
	ตัน P ต่อปี	ร้อยละ	ตัน P ต่อปี	ตัน P ต่อปี	ร้อยละ
การขับถ่าย	1,064.1	20.0	68,364.4	7,900.5	25.3
การซักรีด	1,400.1	26.3	6,296.7	7,696.8	24.6
อาบน้ำ-คร้ว	2,856.2	53.7	12,773.3	15,629.5	50.0

ที่มา : (ธงชัย และคณะ, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ผลกระทบของฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน (นภา, 2544)

ฟอสฟอรัสจัดเป็นสารอาหารที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต (Growth Limiting Nutrient) ของพืชน้ำและเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่ส่งผลให้สาหร่ายเซลล์เดียว เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และสาหร่ายสีเขียวเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการระบายน้ำทิ้งที่ยังมีสารประกอบของฟอสฟอรัสลงไปในน้ำเป็นจำนวนมาก อาจจะไปกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่ายอย่างรวดเร็วจนไปปิดบังผิวน้ำด้านบน ทำให้แสงแดดส่องไม่ถึงยังพื้นน้ำด้านล่าง เป็นเหตุให้แหล่งน้ำมีสีเขียวขุ่น และมีความตื้นเขิน จนในที่สุดจะเกิดภาวะการขาดก๊าซออกซิเจน โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ไม่มีการไหลเวียนหรือช่วงเวลากลางคืน ที่ออกซิเจนในน้ำจะมีค่าลดลงอย่างมาก ทำให้สัตว์น้ำขาดอากาศหายใจ และเริ่มตายลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำและจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ที่นอกจากจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดมากขึ้นแล้ว ยังอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของมนุษย์อีกด้วย

ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับห่วงโซ่อาหาร คือ สาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, อนินทรีย์ไนโตรเจน, ออร์โธฟอสเฟต และแร่ธาตุต่างๆ ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ สาหร่ายเหล่านี้เป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) ซึ่งเป็นการถ่ายทอดธาตุอาหารเป็นห่วงโซ่โดยสาหร่ายจะเป็นอาหารของสัตว์น้ำขนาดเล็ก และสัตว์น้ำขนาดเล็กจะเป็นอาหารของสัตว์น้ำขนาดใหญ่ ซึ่งการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารและความสมดุลในห่วงโซ่นั้นจะถูกควบคุมโดยปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ แต่เมื่อปริมาณอาหารในแหล่งน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารและห่วงโซ่อาหาร จนปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้แหล่งน้ำมีความขุ่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สาหร่ายบางส่วนที่เกิดการย่อยสลายในน้ำนั้นจะจมตัวลงสู่ใต้แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณของออกซิเจนละลายมีค่าลดน้อยลง จนส่งผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำในแหล่งนั้นๆ

2.3.1.3 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน

1. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนโดยวิธีทางชีวภาพ

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนจะถูกกำจัดโดยวิธีทางชีวภาพ ด้วยการดูดซับอยู่ในรูปเนื้อเยื่อของเซลล์จุลินทรีย์ โดยฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับจะอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต และโพลีฟอสเฟต มีหลักการว่า ในสภาวะไร้อากาศซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูง จุลินทรีย์จะใช้พลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบโพลีฟอสเฟต และจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาจากเซลล์ จนได้เป็นสารอินทรีย์ที่ใช้ได้ง่าย คือ กรดไขมัน แต่เมื่อจุลินทรีย์ถูกป้อนเข้าสู่บริเวณที่มีออกซิเจน (aerobic reactor) ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดออกจากรูปของตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้หลักการสร้างสภาวะที่เปลี่ยนแปลงระหว่างไร้อากาศและใช้อากาศ การที่ระบบจะทำงานต่อเนื่องได้นั้น จะต้องมีการเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์ไปพร้อมกับน้ำเสียที่จะบำบัดในถังที่สร้างสภาวะต่างกัน ดังนั้นการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีวภาพจึงต้องใช้ร่วมกับระบบเดิมที่เป็นระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ (activated sludge) แต่ไม่สามารถใช้กับระบบโปรยกรอง (tricking-filter) ได้ ซึ่งระบบการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพนี้ สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้จนมีระดับความเข้มข้นอยู่ที่ 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร (เพ็ญ, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนโดยวิธีทางกายภาพ

การกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพส่วนใหญ่ จะใช้กระบวนการดูดซับ (adsorption process) โดยการใช้สารดูดซับ (adsorbent) เป็นตัวดูดซับฟอสเฟต ซึ่งสารดูดซับที่ใช้ เช่น activated alumina โดยรูปแบบการดูดซับเป็นการทำให้การเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้า และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับทางกายภาพ ได้แก่ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล การกระจายตัว และการเหนี่ยวนำ นอกจากนี้ยังมีการใช้ตัวดูดซับชนิดอื่นๆ มากำจัดฟอสฟอรัส ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและเป็นทางเลือกที่สำคัญที่จะประยุกต์ใช้การกำจัดฟอสฟอรัสในการน้ำเสียชุมชนได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)

3. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนโดยวิธีทางเคมี

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนประกอบด้วยสารประกอบในรูปออร์โธฟอสเฟต และโพลีฟอสเฟตรวมกันประมาณร้อยละ 70-90 ฟอสฟอรัสที่เหลือจะรวมอยู่กับสารอินทรีย์ในรูปต่างๆ ในการกำจัดฟอสฟอรัส อาจใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีได้ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนสารในรูปของสารละลายให้อยู่ในรูปของตะกอน โดยมีสภาวะสมดุลทางเคมี เป็นปัจจัยที่จะส่งผลต่อการละลายของสารนั้นๆ ในการตกตะกอนทางเคมีจะเติมสารเคมีลงไปในน้ำ เพื่อให้สารนั้นทำปฏิกิริยากับน้ำ จนเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นตะกอนที่ใหญ่และหนัก ทำให้สามารถจมตัวได้ดี ทั้งนี้กระบวนการทางเคมีจะเกิดขึ้นร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งเป็นการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้สิ่งสกปรกที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ ในทางปฏิบัติของการตกตะกอนทางเคมี จึงมักถูกเรียกรวมๆ ว่าเป็นโคแอกกูเลชัน โดยสารที่นิยมใช้ในการตกตะกอนมีหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สารเคมีที่ใช้ในตกตะกอนน้ำเสีย

สารเคมี	สูตรเคมี	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น (ปอนด์ต่อลบ.ฟุต)	
			น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักเปียก
สารส้ม	Al ₂ (SO ₄) ₃ •18H ₂ O	666.7	60-75	78-80(49%)
	Al ₂ (SO ₄) ₃ •14H ₂ O	594.3	60-75	83-85(49%)
เฟอริกคลอไรด์	FeCl ₃	162.1		84-93
เฟอริกซัลเฟต	Fe ₂ (SO ₄) ₃	400		
	Fe ₂ (SO ₄) ₃ •3H ₂ O	454		70-72
เฟอรัสซัลเฟต	FeSO ₄ •7H ₂ O	278	62-66	
ปูนขาว	Ca(OH) ₂	56 ในรูป CaO	35-50	

ที่มา : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ฟอสฟอรัสในดิน

2.3.2.1 รูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดิน (ปีทมา, 2543)

1. อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (inorganic phosphorus)

1.1) ฟอสฟอรัสในสารละลายดินฟอสฟอรัสในสารละลายดินจัดได้ว่าเป็นฟอร์มที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันทีหรือละลายน้ำได้ดี ได้แก่ ไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^-) และโมโนไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) ที่อยู่ในสารละลายดินและเกลือฟอสเฟตซึ่งจะแตกตัวให้ไอออนทั้งสองนี้ได้ง่ายฟอสเฟตไอออนอยู่ในสารละลายดินจะง่ายและว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาการตรึงทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและเป็นด่างโดยจะทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับเหล็กและอะลูมิเนียมในดินกรดและทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตที่มีการละลายน้ำยากขึ้นในดินด่าง ทำให้สูญเสียความเป็นประโยชน์ต่อพืชไปและการแตกตัวของฟอสเฟตจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายดิน กรณีที่ดินมีค่าพีเอชเป็นกลางจะพบไอออนทั้งสองนี้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่หากดินเป็นกรดอ่อนๆ (pH 6–8) จะพบไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^-) ในสัดส่วนที่สูงกว่า ส่วนในสารละลายของดินด่าง (pH 6.8–7.2) จะพบโมโนไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) สูงกว่าอีกเช่นกัน

1.2) ฟอสฟอรัสรูปที่ถูกดูดซับคือ ไอออนฟอสเฟตที่ถูกนำออกมาจากสารละลายดิน โดยที่ผิวของคอลลอยด์นั้นจะถูกดูดซับไว้ (Adsorbed P) เมื่อเวลาผ่านไปจะเคลื่อนที่แทรกเข้าไปในโครงสร้างส่วนที่เป็นช่องแข็งของคอลลอยด์ดิน เรียกกระบวนการนี้ว่าการยึดภายในโครงสร้างคอลลอยด์ดิน ปริมาณการดูดซับฟอสฟอรัสที่พื้นผิวหรือภายในโครงสร้างนั้นไม่สามารถระบุได้ง่ายจึงเรียกรวมกันว่า การดูดซับ (sorption)

1.3) ฟอสฟอรัสรูปที่ตกตะกอนธาตุอลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียมฟอสเฟต ถือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของฟอสเฟตที่ตกตะกอนในดิน โดยฟอสเฟตจะยึดเกาะที่พื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต เหล็กหรืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ สารประกอบเหล่านี้สามารถแตกตัวละลายออกมาได้ถ้าฟอสเฟตไอออนในสารละลายของดินลดลงเพื่อรักษาสภาวะสมดุลทางเคมี แต่ในเวลาต่อมา ความเป็นประโยชน์ของสารประกอบฟอสเฟตเหล่านี้จะลดลง เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวมีผลึกขนาดใหญ่ขึ้น ความสามารถในการละลายของฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะน้อยลงและเมื่อเกิดการแทรกตัวของเหล็กและอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ระหว่างอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต และสารประกอบฟอสเฟตเกิดการตกตะกอน ทำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยากขึ้น

2. อินทรีย์ฟอสฟอรัส (organic phosphorus)

สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสจะพบมากในดินชั้นบนที่มีการทับถมของเศษซากพืชหรือตะกอนที่ถูกพัดพามารูปฟอร์มของสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน ได้แก่ อินอซิทอลฟอสเฟต (inositol phosphates) ซึ่งพบประมาณร้อยละ 30–45 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินกรดนิวคลีอิก (nucleic acids) ซึ่งโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ฟอสโฟไลปิด (phospholipids) พบปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และอินทรีย์ฟอสฟอรัสอื่นๆ (unidentified organic phosphorus) ที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารประกอบชนิดใดซึ่งพบเป็นปริมาณมากกว่าร้อยละ 62 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอินทรีย์นี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่ฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ปรากฏอยู่ในดินนั้นมีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากเกิดการสลายตัวได้ง่ายเมื่อมีการย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์โดยจุลินทรีย์ในจะดินปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สู่ดินได้ 2 รูป คือ ในรูปของ

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการตัดสินใจใดๆ ได้ และหากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

สารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ มีโมเลกุลเล็กเหมาะต่อการดูดไปใช้ของรากพืช และรูปฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน

2.3.2.2 กระบวนการเปลี่ยนรูปฟอรัมของฟอสฟอรัสในดิน (มุกดา, 2544)

1. กระบวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Mineralization)

กระบวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีที่บริเวณรากพืช มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสในต้นพืช พืชจะเร่งการดูดใช้ฟอสฟอรัสมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลในการเร่งให้เกิดกิจกรรมการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากดิน และในธรรมชาติของอินทรีย์ฟอสฟอรัสก็มีส่วนควบคุมการเปลี่ยนรูปโดยกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) จะเปลี่ยนรูปได้ง่ายที่สุด ส่วนไฟติน (phytin) จะเปลี่ยนรูปได้ยากที่สุด

2. กระบวนการดูดซึมฟอสฟอรัส (Immobilization of phosphorus)

กระบวนการดูดซึมฟอสฟอรัสเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสามารถที่จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเพื่อเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชดูดซึมไปใช้ได้และบางส่วนจุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ ปริมาณที่จุลินทรีย์จะดูดซึมไปใช้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุหรืออัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและฟอสฟอรัส เช่น ช่วง 300:1 หรือมีฟอสฟอรัสต่ำ จะเกิดกระบวนการดึงฟอสฟอรัสจากดินไปใช้ในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์มากกว่าการย่อยสลายให้ได้อินทรีย์ฟอสฟอรัส

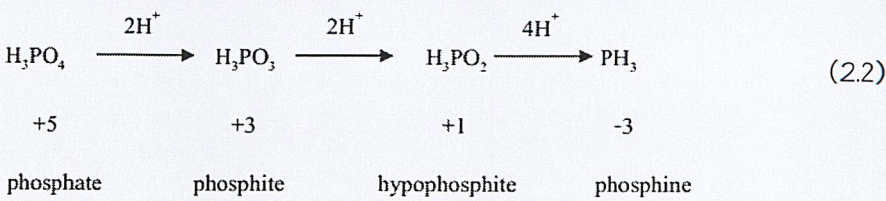
3. กระบวนการละลายได้ของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ (solubility of inorganic phosphorus)

กระบวนการละลายของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นอนินทรีย์สารมักจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยมาก สารประกอบที่พบก็มีตั้งแต่ประเภทที่ละลายน้ำได้บ้าง คือ โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งมีอยู่ในสารละลายดินในปริมาณที่น้อยมาก และพวกที่ละลายน้ำได้น้อยมาก คือ ฟลูอออแอปพาไทต์ (fluorapatite) และไฮดรอกซีแอปพาไทต์ (hydroxyapatite) ในสภาวะที่ดินเป็นกรดจะพบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่รวมตัวเป็นสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมส่วนในดินด่างจะพบในรูปฟอรัมสารประกอบของแคลเซียม จุลินทรีย์ในดินมีบทบาทในการทำให้อนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นได้ ทำให้เกิดกรดอนินทรีย์และกรดอินทรีย์กรดต่างๆเหล่านี้มีผลไปละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส โดยทำให้ฟอสฟอรัสละลายน้ำได้ง่ายขึ้นและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

4. กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชันของสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (oxidation and reduction of inorganic phosphorus)

กระบวนการออกซิเดชันและรีดักชันของสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สามารถเปลี่ยนเลขออกซิเดชัน (Oxidation state) ได้ตั้งแต่ -3 ถึง +5 โดยเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดที่เพิ่มออกซิเจนให้แก่ phosphite (HPO_3^{2-}) เป็น phosphate (HPO_4^{2-}) ดังสมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.3.2.3 กระบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

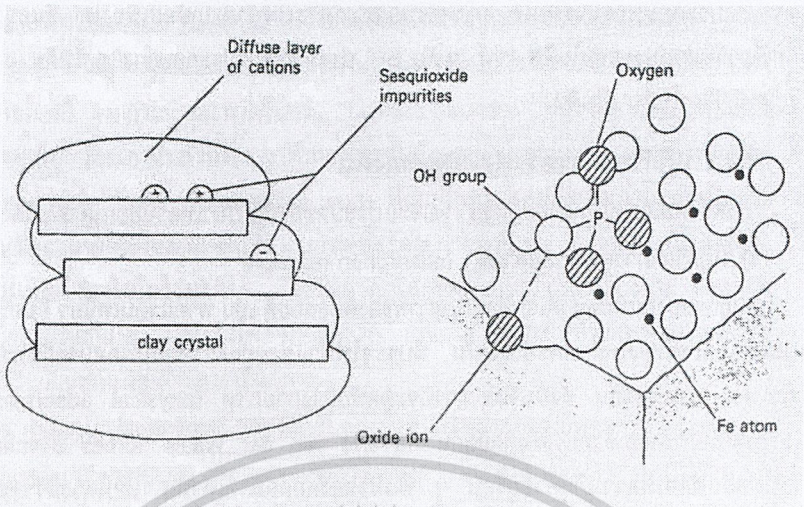
การตรึงฟอสฟอรัสในดิน เป็นกระบวนการที่สารประกอบของฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุ ไอออนและสารประกอบต่างๆในดินแล้วกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยากและมีประโยชน์ต่อพืชน้อยลง ซึ่งการตรึงฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการเกิดปฏิกิริยาในดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบในดิน

1. ปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัสในดิน (มุกดา, 2544)

การตรึงฟอสเฟตในดินแบ่งชนิดของปฏิกิริยาได้ 3 ชนิดด้วยกัน

1.1) ปฏิกิริยาการดูดซับที่ผิว (adsorption reaction) อนุภาคของดินที่มีขนาดเล็กอยู่ในสภาพคอลลอยด์ เช่น พวกรั้วดินเหนียว อินทรีย์วัตถุและออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมจะมีประจุไฟฟ้าแฝงอยู่ และไอออนฟอสเฟตก็มีประจุไฟฟ้าแฝงอยู่เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) ซึ่งเป็นการดูดซับภายนอกด้วยแรงดึงดูดยึดติดกัน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals' forces) ซึ่งจะมีผลทำให้ไอออนฟอสเฟตรวมอัดตัวอยู่รอบๆพื้นผิวของคอลลอยด์เท่านั้น โดยโครงสร้างของคอลลอยด์ไม่เปลี่ยนแปลง

1.2) การดูดซับด้วยพันธะทางเคมี (chemical adsorption) ไอออนของฟอสเฟตจับกับสารคอลลอยด์ด้วยพันธะเคมี หรือจับตัวกันด้วยแขนของไอออนบวกต่อไอออนลบ ทำให้เกิดโมเลกุลของสารขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นได้เพราะสารคอลลอยด์เหล่านี้มีไฮดรอกซิล (hydroxyl) และซิลิเกต (silicate) ซึ่งอาจหลุดออกไปเหลือแค่ตำแหน่งที่จะต้องทำให้สมดุลด้วยไอออนลบ แล้วไอออนฟอสเฟตก็อาจเข้ามาอยู่ในตำแหน่งนี้ได้ จึงก่อให้เกิดการจับตัวด้วยพันธะเคมี โดยสภาพของโครงสร้างและผลึกจะคงตัวเป็นรูปร่างที่คงที่ แต่เมื่อไอออนของฟอสเฟตเข้ามาแทนที่ไฮดรอกซิลหรือซิลิเกต ไอออนฟอสเฟตที่ถูกดูดซับอยู่โดยรอบพื้นผิวของแร่ดินเหนียวจะเคลื่อนตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างผลึกต่อผลึกของแร่ดินเหนียวและไอออนฟอสเฟตบางไอออนจะเปลี่ยนจากสภาพที่ถูกดูดซับอยู่เป็นการเข้าแทนที่ไอออนลบของผลึก ทำให้ไอออนฟอสเฟตจับตัวกับแร่ดินเหนียวด้วยพันธะเคมีโครงสร้างของผลึกที่ไม่คงที่เพราะไอออนฟอสเฟตกับไอออนที่ถูกแทนที่มีขนาดไม่เท่ากัน เป็นผลให้ผลึกของเคลย์คอลลอยด์ (clay colloid) ที่มีไอออนฟอสเฟตอยู่ถูกจัดเรียงตัวใหม่เพื่อให้ได้โครงสร้างและรูปร่างผลึกที่คงที่ ไอออนฟอสเฟตจึงถูกจับติดแน่นเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวชนิดใหม่อย่างถาวร ดังนั้นฟอสเฟตจึงถูกตรึงโดยที่ไม่มีโอกาสหลุดออกมาอยู่ในสารละลายดิน ดังรูปที่ 2.1



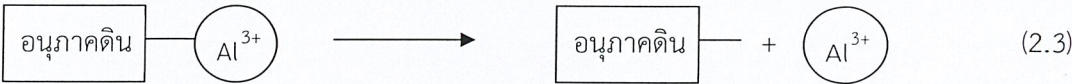
รูปที่ 2.1 การตรึงฟอสฟอรัสที่โครงสร้างของแร่ดินเหนียว

1.3) ปฏิกิริยาการแตกตัวและย่อยสลาย (double decomposition)

สารประกอบฟอสเฟตที่ละลายและแตกตัวให้อิออนฟอสเฟตและอิออนอื่นๆในดินมีสารประกอบ เช่น เหล็กออกไซด์ เหล็กไฮดรอกไซด์ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนต เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สารประกอบเหล่านี้จะละลายและแตกตัวให้อิออนบวก เช่น อิออนของเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่อยู่ในชั้นสารละลายดิน และเมื่ออิออนฟอสเฟตกับอิออนบวกเหล่านี้ทำปฏิกิริยากันจะเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายได้ยากขึ้น เช่น เกิดเป็นเหล็กฟอสเฟต อลูมิเนียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟต และเป็นสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลซับซ้อนยิ่งขึ้น เมื่อเกิดสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายยากจึงเกิดการตรึงฟอสเฟตอย่างช้าๆ แต่การตรึงฟอสเฟตด้วยกระบวนการนี้มีปริมาณต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการดูดซับอยู่ตามผิวอนุภาคดิน

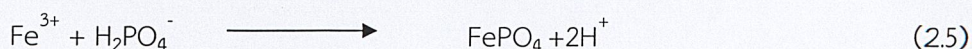
2. ปัจจัยที่มีผลต่อการตรึงฟอสฟอรัสในดิน (อาภารัตน์, 2549)

2.1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน ในดินกรดจัดคือดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.5 และดินด่างคือดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.0 ซึ่งเป็นปัจจัยก่อให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสได้ง่าย ในกรณีดินกรดในสารละลายดินจะมีอิออนพวกเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีส ละลายอยู่ในสารละลายดินมาก โดยเฉพาะอลูมิเนียมที่อยู่ในโครงสร้างของอนุภาคดินจะหลุดออกมา และทำปฏิกิริยากับน้ำหลายขั้นตอน ผลจากการทำปฏิกิริยาจะเกิดโปรตอน (H^+) และสารประกอบของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminium hydroxide) ซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลง ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 (พัชรี, 2550)



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นฟอสเฟตไอออนที่อยู่ในดินจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบของอลูมิเนียมและเกิดเป็นสารประกอบอลูมิเนียมฟอสเฟตซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ยากและแลกเปลี่ยนไอออนได้น้อย ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6



ส่วนในดินที่เป็นต่าง ชั้นสารละลายดินจะมีแคลเซียม แมกนีเซียม และคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม ละลายอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าว จะช่วยรักษาระดับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในช่วงประมาณ 7.0-8.0 ได้ดังสมการที่ 2.7 (พัชร, 2550)



ต่อมาฟอสเฟตไอออนที่อยู่ในดินจะเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมหรือแมกนีเซียมและเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบที่ตกตะกอน ทำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ดังสมการที่ 2.8



2.2) องค์ประกอบของแร่ในดินในดินที่มีแร่ดินเหนียวมอนต์โมริลโลไนต์ (montmorillonite) และเคโอลิไนต์ (kaolinite) แร่ดินเหนียวเหล่านี้จะมีองค์ประกอบของออกไซด์และไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออน โดยฟอสเฟตไอออนจากสารละลายดินเข้าแทนที่ไฮดรอกไซด์ที่อยู่รอบๆ ผิวของอนุภาคของแร่ดินเหนียวโดยการเกิดพันธะทางเคมี และที่เป็นองค์ประกอบของแร่ดินอื่นๆ ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตไอออนลดลง

2.3) ประเภทของลักษณะเนื้อดิน จากปัจจัยของแร่ดินเหนียวที่มีอิทธิพลต่อการตรึงฟอสฟอรัสในดิน พบว่า ดินเนื้อละเอียดหรืออนุภาคของดินเหนียวที่มีมาก จะมีตรึงไอออนฟอสเฟตได้มากกว่าดินเนื้อหยาบที่มีอนุภาคดินเหนือน้อยกว่า

2.4) ลักษณะพื้นที่ผิวของสารประกอบที่ปลดปล่อยฟอสเฟตไอออนในการใส่ปุ๋ยที่มีอนุภาคเล็กซึ่งจะมีพื้นผิวมากและละลายน้ำดี แม้ว่าฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะถูกปล่อยออกมาได้รวดเร็ว แต่ก็ง่ายต่อการถูกตรึง เนื่องจากฟอสเฟตไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมามีปริมาณมากและทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นได้อีกด้วย

2.5) ระยะเวลาที่ฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับดิน และระยะเวลาของการตรึงปุ๋ยฟอสเฟตที่อยู่ในดิน ถ้ามีเวลายาวนาน โอกาสถูกตรึงจะยิ่งมากและแนบแน่นมากขึ้น ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุจะสลายตัวและค่อยๆ ปลดปล่อยฟอสเฟตไอออน ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมา กรดคาร์บอนิก และกรดอินทรีย์ต่างๆ ได้จากการสลายตัวและปลดปล่อยออกมาของสารอินทรีย์ จะทำให้สารประกอบฟอสเฟตละลายได้มาก โดยฟอสเฟตไอออนที่มีการถูกตรึงตามผิวอนุภาคแร่ดินเหนียวแล้วบางส่วน จะมีการละลายปลดปล่อย ฟอสเฟตกลับคืนออกมา ซึ่งสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ โดยไอออนของกรดอินทรีย์ในดิน ได้แก่ กรดซิตริก และกรดออกซาลิก จะเข้าไปทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน นอกจากนี้ฮิวมัสในดินอาจเคลือบผิว อนุภาคออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม ทำให้มีผลในการป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตไอออนเข้าทำปฏิกิริยา และตกตะกอนกับสารเหล่านั้นได้ง่ายเกินไป

2.7) จุลินทรีย์ในดิน การละลายอินทรีย์ฟอสเฟตจากรูปฟอสฟอรัส ที่ไม่ละลายน้ำ โดยจุลินทรีย์จะสามารถผลิตกรดขึ้นมาละลายหินฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของฟอสเฟตที่ ละลายน้ำได้ และอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงเรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่า phosphate-dissolving microorganism

2.3.2.4 กระบวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน (เกตนันนิภา, 2556)

1. การปลดปล่อยอินทรีย์ฟอสฟอรัส

เกิดจากจุลินทรีย์ในดินบางชนิดที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูป ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกรณีของ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปของฟิทินและกรดฟอสฟอรัส จุลินทรีย์ในดินจะสร้างเอนไซม์ Phytase, Phosphatase, Nucleotidases และ Glycerophosphatase เพื่อแปรสภาพของอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ที่เรียกว่า ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) ซึ่งเป็นพวกโมโนและไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าว ได้แก่ แบคทีเรีย สกุล *Bacillus* sp. ราสกุล *Aspergillus* sp., *Thiobacillus*, *Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น

2. การปลดปล่อยอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

เกิดจากจุลินทรีย์ในดินบางชนิดที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูป พอร์มของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของหินฟอสเฟต ซึ่งพืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จะมีจุลินทรีย์ในดิน บางชนิดในสกุล *Bacillus* sp. และ *Aspergillus* sp. ที่สามารถผลิตกรดออกมาละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ นอกจากนี้เชื้อราไมคอร์ไรซายังมีบทบาทในการละลายและส่งเสริม การดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสอีกด้วย โดยกรดที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นมี 2 ชนิด คือ กรดอินทรีย์ (organic acids) ได้แก่ กรดซิตริก พอร์มิก อะซิติก โปรปิโอนิก แลคติก โกลโคลิก ฟูมาริก และกรดซัคซินิก เป็นต้น ซึ่ง ส่วนมากถูกสร้างมาจากจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ โดยจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาจำนวน หนึ่งเสมอในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกรดอินทรีย์บางชนิดอาจเกิดคีเลตกับแคลเซียม เหล็ก และอลูมิเนียม ทำให้การละลายของฟอสฟอรัส มีมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะกรดซิตริก ซึ่งแตกตัวให้ ซิเตรทไอออนที่เป็นประจุลบ ทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างซิเตรทไอออนของกรดซิตริกและฟอสเฟต ในการเข้าทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะประจุบวกต่างๆ ในดิน ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และ อลูมิเนียม เป็นต้น ส่วนกรดอนินทรีย์ (inorganic acids) ได้แก่ กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก จะเกิด จากกิจกรรมของ *Nitrobacter* และ *Thiobacillus* ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง และเกิดการละลายของฟอสเฟตมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สับปะรด (จินดารัฐ, 2541)

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรด

ชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name) : *Ananas comosus* (L.) Merr.

ชื่อสามัญ (Common name) : pineapple

วงศ์ (Family) : Bromeliaceae

จีนัส (Genus) : *Ananas*

สปีชีส์ (Species) : *comosu*

ราก : สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีอายุหลายปี เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วพุ่มใบกว้างและสูงประมาณ 100 เซนติเมตร รากเป็นระบบรากฝอยประกอบด้วยราก adventitious root เป็นจำนวนมาก เกิดจากจุดกำเนิดราก ซึ่งมีอยู่ทั่วไปตามมุมใบของลำต้นทั้งส่วนที่อยู่ใต้ผิวดินและส่วนที่อยู่เหนือผิวดิน

ลำต้น : ลำต้นของสับปะรดมีลักษณะสั้นและหนาคัลยกระบองมีความยาว 20-30 เซนติเมตร ส่วนที่กว้างที่สุดจะกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ลำต้นส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมักจะตั้งตรง ส่วนที่อยู่ใต้ผิวดินจะโค้งเล็กน้อย โดยเฉพาะลำต้นสับปะรดนั้นขยายพันธุ์มาจากส่วนของหน่อหรือตะเกียง ส่วนต้นที่ขยายพันธุ์มาจากจุกส่วนใหญ่จะมีลำต้นตั้งตรง ตามลำต้นมีลักษณะเป็นข้อและปล้องสั้นตามรอยต่อของใบที่หลุดออกไปจากลำต้น (leaf scar)

ใบ : ใบสับปะรดมีลักษณะเรียวยาวและเป็นร่องโค้งช่วยให้ใบมีความแข็งแรงและทนทานต่อการหักพับได้ดีเป็นพิเศษ การเรียงตัวของใบเป็นแบบเวียนรอบลำต้นมีรอบการเรียงตัว (phyllotaxy) เท่ากับ $5/13$ หรือจำนวนใบที่เกิดเวียนรอบลำต้นไปได้ 5 รอบจะมีจำนวนใบเท่ากับ 13 ใบและใบที่ 14 จะเกิดตรงกับตำแหน่งของใบที่ 1 ลักษณะของใบเรียวยาวเป็นร่องโค้งและเรียงตัวเวียนรอบลำต้นสับปะรดแบบนี้มีความสำคัญในการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำน้อย

ช่อดอกและดอก : ลักษณะช่อดอกของสับปะรดแต่ละช่อดอกมีดอกย่อย 100-200 ดอก และแกนกลางของช่อดอกเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากแกนช่อดอกซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญที่เป็นการต่อเนื่องรูปแบบการเกิดใบ อย่างไรก็ตามจะมองเห็นการเรียงตัวของดอกย่อยจากโคนผลไปสู่ปลายผลได้เป็น 2 แถว แนวหนึ่งเรียงไปทางขวาอีกแนวหนึ่งเรียงไปทางซ้าย การเรียงตัวของดอกย่อยทั้งสองแนวนี้มีความเอียงไม่เท่ากัน ในช่อดอกปกติจำนวนแถวของดอกย่อยในแต่ละแนวจะมีจำนวนคงที่

ผล : ผลสับปะรดเป็นผลรวม (multiple fruit) เกิดจากการเชื่อมติดกันของผนังรังไข่และส่วนประกอบของดอกย่อยที่เรียงตัวอยู่ติดกันบนแกนกลางของช่อดอก ที่ส่วนบนสุดของผลจะเป็นกลุ่มของใบซึ่งจะเจริญไปพร้อมๆ กับผลและพัฒนาเป็นจุกต่อไป ผลสับปะรดที่มีขนาดใหญ่จะมีรูปร่างเป็นแบบกรวย (conical) คือ ส่วนโคนมีความกว้างมากกว่าปลายผล ถ้าผลมีขนาดปานกลางมักจะมีรูปร่างแบบทรงกระบอก (cylindrical) คือ ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายผลมีความกว้างใกล้เคียงกัน และถ้าผลมีขนาดเล็กมักจะมีรูปร่างเป็นแบบทรงกลม (spherical) คือ ส่วนกลางของผลมีความกว้างมากกว่าส่วนโคนและส่วนปลาย

2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสัปะรด

1. กรดอินทรีย์ในน้ำสัปะรด

การวิเคราะห์ชนิดของกรดอินทรีย์ที่พบในน้ำสัปะรด แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 กรดอินทรีย์ในน้ำสัปะรด 100 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
กรดซิตริก	0.864	กรัมต่อน้ำสัปะรด 100 มิลลิลิตร
กรดมาลิก	0.461	กรัมต่อน้ำสัปะรด 100 มิลลิลิตร

ที่มา : (M. Camara *et al.*, 1994)

2. แร่ธาตุในน้ำสัปะรด

การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในน้ำสัปะรด แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แร่ธาตุต่างๆ ในน้ำสัปะรด 100 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
เถ้า	0.386	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โซเดียม	2.24	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โพแทสเซียม	124	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แคลเซียม	11.5	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แมกนีเซียม	15.4	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ฟอสฟอรัส	3.16	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ทองแดง	0.059	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เหล็ก	0.265	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แมงกานีส	0.295	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
สังกะสี	0.074	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

ที่มา : (M. Camara *et al.*, 1994)

2.5 ต้นดาวเรือง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

2.5.1 ลักษณะโดยทั่วไปของต้นดาวเรือง

ดาวเรืองจัดเป็นพืชอายุสั้นประมาณ 1 ปี หรือบางชนิดอาจจะมีอายุหลายปี ลักษณะ ดอกเป็นแบบดอกรวม ประกอบด้วยดอกย่อย ๆ เป็นจำนวนมากอัดแน่นอยู่บนฐานรองดอก ดอกจะมี สีเหลือง สีส้ม หรือบางชนิดอาจจะมีสีแดงประปรายบริเวณกลีบดอก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การขยายพันธุ์ของต้นดาวเรือง

1. การเพาะเมล็ด

นำเมล็ดดาวเรืองมาเพาะในกระบะเพาะ ซึ่งมีวัสดุเพาะ คือ ขุยมะพร้าวสับ ทราย ขี้เถ้าแกลบ ปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 1:1:1:1 หรือแปลงเพาะที่มีดินร่วนซุย ค่อนข้างละเอียด ความลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร และทำเป็นร่อง แต่ละร่องห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร หลังจากนั้นหยอดเมล็ดลงร่องให้ห่างกัน 1-2 นิ้ว แล้วกลบแต่ละร่องด้วยวัสดุเพาะหรือดินละเอียดและรดน้ำให้ชุ่ม แล้วคลุมกระบะเพาะด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์หรือคลุมแปลงเพาะด้วยฟางข้าวหรือหญ้าแห้ง เพื่อช่วยรักษาความชื้น ควรรดน้ำวันละ 2 ครั้ง ทั้งเช้าและเย็น โดยเมล็ดดาวเรืองจะงอกภายใน 3-5 วัน หากมีเมล็ดดาวเรืองที่ยังไม่พร้อมจะปลูก ควรเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นของช่องแช่ผักจะช่วยให้เมล็ดดาวเรืองมีเปอร์เซ็นต์การงอกลดลงไม่มากนัก

2. การปักชำ

เป็นวิธีที่ไม่ค่อยนิยมทำกันเพราะได้จำนวนน้อย แต่ที่ทำกันเพราะเป็นผลพลอยได้จากการเด็ดส่วนยอดที่มีความยาว 1-2 นิ้ว ให้นำไปปักชำในกระบะพลาสติกแต่ต้องพยายามรักษาความชุ่มชื้นให้มากที่สุดไม่ให้ยอดหรือใบเหี่ยว จะออกรากภายใน 7-10 วัน ดอกที่ได้จะมีสีเหมือนเดิม แต่ขนาดดอกอาจจะเล็กกว่าเดิม ซึ่งเป็นการประหยัดการซื้อพันธุ์ได้ส่วนหนึ่ง สำหรับวัสดุที่ปักชำ คือ ขี้เถ้าแกลบ เพราะเก็บความชื้นได้ดีโดยนำเอาขี้เถ้าแกลบใส่ลงในกระบะแล้วจึงนำกิ่งอ่อนปักชำลงไป ห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร ทิ้งไว้ในที่ร่มประมาณ 3-4 วัน จากนั้นนำไปวางไว้ในที่แดดส่องต่ออีก 3-4 วัน จึงย้ายลงแปลงปลูกต่อไป ถ้าปักชำในแปลงปลูกเลยเปอร์เซ็นต์การรอดจะน้อยกว่าที่ปักชำอยู่ในกระบะ เพราะการเก็บรักษาความชื้นในแปลงปลูกทำได้ยาก

2.5.3 การเตรียมแปลงปลูกต้นดาวเรือง

การเตรียมแปลงปลูก ควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักในขณะเตรียมดินไปด้วยดินปลูกที่เหมาะสมควรเป็นดินที่ระบายน้ำได้ดี เก็บความชื้นได้สูง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.5-7.5 แปลงปลูกควรมีขนาดกว้าง 1 เมตร ปลูก 3 แถว ระยะห่างกัน 30 เซนติเมตร ให้มีระยะระหว่างต้น 30 เซนติเมตร

2.5.4 การปลูกต้นดาวเรือง

ก่อนย้ายต้นกล้าลงแปลงปลูก ควรรดน้ำแปลงไว้ล่วงหน้า 1 วัน แล้วจึงขุดหลุมกว้างประมาณ 15 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยทริบเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต หรือสูตร 15-15-15 ประมาณ 1 ช้อนชา ร่องกันหลุม แล้วเกลี่ยดินข้างหลุมมากลบปุ๋ยเล็กน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้รากดาวเรืองสัมผัสกับปุ๋ยโดยตรง นำต้นกล้าที่มีอายุ 7-10 วัน โดยแยกต้นกล้าให้มีวัสดุเพาะหรือดินหุ้มติดรากมาด้วย ป้องกันไม่ให้รากกระทบกระเทือนมาก แล้วจึงนำมาปลูกในแต่ละหลุมที่เตรียมไว้ เสร็จแล้วรดน้ำให้โชกและควรรย้ายกล้าปลูกในตอนเย็น เพราะช่วงเวลากลางคืน ต้นไม้จะตั้งตัวได้ดีกว่าในช่วงเวลากลางวัน

2.5.5 การดูแลรักษาต้นดาวเรือง

1. การให้น้ำ

หลังย้ายกล้างแปลงปลูกแล้ว ต้องรดน้ำเช้าและเย็น ประมาณ 7 วัน ต้นกล้าก็จะตั้งตัวได้ดี หลังจากนั้นจึงรดน้ำเพียงวันละ 1 ครั้ง ในตอนเช้า ส่วนในช่วงที่ดอกเริ่มบานไม่ควรรดน้ำให้โดนดอก เพราะจะทำให้คุณภาพของดอกไม้ดี เป็นโรคได้ง่าย แต่ควรรดเฉพาะบริเวณโคนต้นแทน

2. การใส่ปุ๋ย

เมื่อดาวเรืองมีอายุได้ 15 วัน และ 25 วัน ควรใส่ ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 1 ช้อนชาต่อต้น และใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 ในอัตรา 1 ช้อนชาต่อต้น เมื่อดาวเรืองอายุ 35 และ 45 วัน วิธีใส่ปุ๋ยนั้นจะใช้วิธีการฝังลงในดินตื้นๆ ประมาณครึ่งนิ้ว เสร็จแล้วรดน้ำให้โชกทุกครั้งที่มีการใส่ปุ๋ย ควรมีการพรวนดินรอบๆ โคนต้น แล้วกลบที่โคนต้นไว้ เนื่องจากดาวเรืองมักมีรากแตกออกจากโคนต้นอีก

2.5.6 การปลิดยอดของต้นดาวเรือง

เมื่อดาวเรืองอายุได้ 21-25 วัน ซึ่งเป็นระยะที่ต้นมีใบจริงขนาดใหญ่ประมาณ 4 คู่ และส่วนยอดมีใบเล็กๆ อยู่ประมาณ 1-2 คู่ จะต้องปลิดยอดทิ้งเพื่อให้แตกกิ่งข้าง โดยปกติดอกของดาวเรืองที่ต้องการดอกขนาดใหญ่ แต่ละต้นจะให้มีดอกไม่เกิน 8 ดอก

2.5.7 การปลิดดอกทิ้งของต้นดาวเรือง

หลังจากปลิดยอดแล้วประมาณ 5-7 วัน ตาข้างจะเริ่มแตกและเจริญเป็นกิ่งใหม่ ซึ่งจะเกิดตุ่มดอกทิ้งที่ตายอดปลายกิ่งและตาข้าง การปลิดดอกข้างจะทำให้หลังปลูกประมาณ 40-45 วัน เมื่อดอกยอดมีขนาดเท่าเมล็ดข้าวโพด และดอกข้างมีขนาดประมาณเมล็ดถั่วเขียว ให้เหลือไว้เฉพาะดอกยอดเพียงดอกเดียว หลังจากนั้นประมาณ 20 วัน ดอกก็พร้อมที่จะตัดเพื่อจำหน่ายได้

2.5.8 การตัดดอกของต้นดาวเรือง

ก่อนตัดดอกจำหน่าย 2-3 วัน ควรใช้น้ำผสมน้ำตาลทราย 2 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 15 ลิตร พ่นเฉพาะใบดาวเรืองทั้งด้านบนและด้านล่าง จะช่วยทำให้ก้านดอกแข็งขึ้น สามารถทยอยตัดดอกขายได้ ตั้งแต่ดาวเรืองที่มีอายุ 55-65 วัน ในการตัดดอกควรตัดให้ชิดโคนต้นมากที่สุด และตัดดอกที่ยังมีกลีบดอกตรงกลางดอกเป็นสีเขียว จะดีกว่าตัดดอกที่บานหมดจนตรงกลางไม่มีสีเขียว เพราะจะทำให้อายุการปักแจกันสั้นลง

2.5.9 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

การปลูกดาวเรืองเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่เหมาะสมต่อการเพราะปลูกซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของดาวเรืองตัดดอก

สภาพแวดล้อม	ความเหมาะสม
1.สภาพภูมิอากาศ	
1.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ด	22- 27 C°
1.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการออกดอก	กลางวัน 14.5-28.6 C° กลางคืน 15.5-18.3 C°
1.3 แสงแดด	อย่างน้อย 8 ชั่วโมงต่อวัน
1.4 คาร์บอนไดออกไซด์	การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ 800-1,000 ppm ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้มากขึ้น ควรเพิ่มอุณหภูมิในช่วงกลางวัน 1.11-1.66 C° ร่วมด้วย
1.5 ความเข้มของแสง	450-700 แรงเทียน
1.6 ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	50-80%
2.สภาพพื้นที่	
2.1 ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล	0- 200 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล
2.2 ความลาดเอียงของพื้นที่	ไม่เกิน 0-2%
3.สภาพดิน	
3.1 ลักษณะดิน	1. ดินร่วนถึงดินร่วนปนทรายแบ่งแต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ดินร่วนปนทรายที่อุดมสมบูรณ์ 2. หน้าดินลึกมีการอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดี 3. ดินด่างและดินกรดไม่เหมาะสมในการปลูก
3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)	6.2-7.5
4.ธาตุอาหาร	
4.1 ค่าเฉลี่ยความต้องการธาตุอาหารต่อต้นจากค่าวิเคราะห์ใบ	ธาตุอาหารหลัก N : P : K (5.5 : 0.67 : 2.19) เปอร์เซ็นต์ ธาตุอาหารรอง Ca, Mg, S (2.74, 1.56, 0.88) เปอร์เซ็นต์ จุลธาตุอาหาร Fe 454, Mn 385, B 39, Cu 143, Zn 236, Mo 0.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
5.สภาพน้ำ	
5.1 ปริมาณ	มีน้ำเพียงพอตลอดฤดูกาลปลูก
5.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	ไม่เกิน 1.5 มิลลิโหมห์ต่อเซนติเมตร

ที่มา : (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.10 โรคและแมลงที่สำคัญ (บริษัททองเฉลิมโกลด์ จำกัด, 2551)

1. โรคใบจุด *Alternaria* sp.

อาการ: ใบเริ่มมีอาการใบจุดสีขาวแล้วเนื้อเยื่อตรงกลางแผล จะแห้งและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนหรือสีเนื้อ ใบที่มีแผลหลายแผลจะค่อยๆ แห้งร่วงหล่น ทำให้ต้นทรุดโทรม (ระบาดในช่วงฤดูฝนและในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง)

การป้องกันและกำจัด :

1. เก็บใบที่ร่วงหล่นเผาทำลาย เพื่อป้องกันการสะสมของเชื้อ
2. รมด้วยสารป้องกันเชื้อรา เพราะเชื้อสามารถแพร่กระจายไปกับละอองน้ำจากต้นที่เป็นโรคไปยังต้นที่ปกติ

2. โรคดอกเน่า *Colletotrichum* sp.

อาการ: ดอกที่เกิดโรคจะเน่าเป็นสีน้ำตาล โดยเฉพาะถ้าหากเกิดในระยะที่ดอกกำลังเริ่มเป็นดอกตูมจะทำให้ดอกไม่สามารถบานได้ หากเชื้อเข้าทำลายในระยะที่ดอกบานจะพบว่ากลีบดอกจะมีสีน้ำตาลลามเข้าไปทางโคนกลีบ ทำให้ดอกมีสีน้ำตาลดำ เชื้อเข้าทำลายจากดอกลามสู่ลำต้น (ระบาดในช่วงฤดูฝนและในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง)

การป้องกันและกำจัด :

1. หากพบว่ามีอาการของโรคภายในแปลงปลูก ให้เก็บแล้วเผาทำลาย เพื่อป้องกันการระบาดของโรคไปยังต้นอื่นๆ
2. ให้รมด้วยสารป้องกันเชื้อรา อย่าให้ชุ่มมากเกินไป โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีอากาศร้อน นอกจากนี้ในแปลงปลูก หากสามารถใช้ระบบน้ำหยดจะสามารถลดการเปียกของต้น ทำให้ลดการระบาดของโรคได้เป็นอย่างมาก

3. โรคเหี่ยวเหลือง *Fusarium* sp.

อาการ: เริ่มจากใบดาวเรืองที่อยู่บริเวณโคนต้นแสดงอาการใบเหลือง แล้วแห้งลามขึ้นมาสู่ส่วนบนจนในที่สุดใบจะเหลืองและแห้งตายไปทั้งต้น ส่วนของลำต้นจะมีลักษณะแบนสับและเหี่ยวไปด้วย ลำต้นบริเวณเหนือดินเล็กน้อย มักมีสีแดงหรือสีคล้ำกว่าส่วนอื่น ท่อน้ำเลี้ยงแห้งเป็นสีน้ำตาล (เชื้อโรคนี้อาจเริ่มเข้าทำลายในช่วงหลังจากย้ายปลูก 40-45 วัน หลังอยู่ในช่วงเป็นตุ่มตาดอก)

การป้องกันและกำจัด :

1. เมื่อพบต้นเป็นโรค ให้ถอนทิ้งและเผาทำลาย ห้ามทิ้งในแปลงเด็ดขาด
2. หลังจากถอนต้นทิ้งชุดดินบริเวณนั้นตากแดด
3. ปรับเปลี่ยนวิธีการให้น้ำในแปลง อย่าให้น้ำไหลผ่านบริเวณที่เป็นโรคไปยังต้นอื่น (ถึงแม้ถอนต้นที่เป็นโรคทิ้งแล้วก็ตามเพราะเชื้อตัวนี้สามารถแพร่กระจายไปกับน้ำได้)
4. การดูแลรักษาแปลงปลูก ในช่วงที่พืชกำลังเจริญเติบโตและก่อนออกดอกให้หมั่นตรวจแปลง ถ้าพบต้นมีอาการผิดปกติ หรือแสดงอาการเป็นโรคให้เห็น ให้รีบถอนทิ้งและทำลายพร้อมชุดดินส่วนนั้นฝังแดดทิ้งไว้ ในการกำจัดต้นที่เป็นโรคในแปลงปลูก ควรกำจัดทิ้งรากออกให้หมด ในกรณีที่ต้นเป็นโรคอยู่ในระยะช่วงที่กำลังลูกกลมหรือต้นแสดงอาการเหี่ยวแล้ว เชื้ออาจลุกลามไปยังต้นใกล้เคียงได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นวิธีการกำจัดจึงต้องถอนต้นที่อยู่ใกล้เคียงกับต้นที่เป็นโรคทิ้งไปด้วย

แม้ต้นนั้นจะยังไม่แสดงอาการก็ตาม ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โรคเหี่ยวเหี่ยว *Rastunia*

อาการ: เริ่มจากใบดาวเรืองที่อยู่บริเวณยอดด้านบนแสดงอาการเหี่ยวสลด แล้วใบจะลู่ลงเหมือนอาการขาดน้ำ หลังจากนั้น 2-3 วัน ต้นที่เป็นโรคจะแสดงอาการเหี่ยวอย่างเห็นได้ชัด และอีก 4-5 วันต้นดาวเรืองจะตายโดยใบยังมีสีเขียวอยู่ (เชื้อโรคนี้อาจจะเริ่มเข้าทำลายในช่วงหลังจากย้ายปลูก 40-45 วันหลังย้ายปลูกช่วงดาวเรืองเป็นตุ่มตาดอก)

การป้องกันกำจัด : ทำเช่นเดียวกับโรคเหี่ยวเหลือง

5. โรคใบหงิก

จะเกิดกับดาวเรืองในระยะกำลังเจริญเติบโตเต็มที่และเริ่มออกดอกเช่นเดียวกันกับโรคเหี่ยว โดยเกิดกับใบยอดก่อน ใบจะแสดงอาการหงิกม้วน และกรอบ แผ่นใบจะไม่แผ่กางเต็มที่เหมือนใบปกติ ทำให้ดอกเล็กและบางครั้งดอกจะไม่บาน จากการตรวจสอบ พบว่า มีสาเหตุมาจากเชื้อไมโครพลาสมา ซึ่งรักษาไม่ได้แต่ป้องกันไม่ให้แพร่ระบาด โดยการขุดต้นที่เป็นโรคเผาทั้งต้นที่

6. เพลี้ยไฟ

จะดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบในช่วงที่ดาวเรืองมีอายุ 15-45 วัน และจะระบาดมากในช่วงฤดูร้อน

การป้องกันกำจัด : ควรฉีดพ่นสารเคมีกำจัดแมลง เช่น โดกุโรออน อัตรา 30 ซีซี ต่อน้ำ 20 ลิตร สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในตอนเช้าติดต่อกัน ประมาณ 4-5 สัปดาห์

7. หนอนกระทู้หอม

จะเข้าทำลายดอกดาวเรืองในขณะที่ดอกเริ่มบานโดยวางไข่ ในขณะที่ยังเป็นดอกตูม ไข่จะฟักออกมาเป็นตัวหนอนและเจริญเติบโตกัดกินกลีบดอก ทำให้แหล่งเสียหาย

การป้องกันกำจัด : ควรฉีดพ่นด้วยเชื้อไวรัส NPV หรือสารกำจัดแมลงแคสแคด ในอัตรา 20-40 ซีซี ต่อน้ำ 20 ลิตร

2.6 ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

2.6.1 ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีลักษณะเป็นเม็ดร่วนละเอียด มีสีดำออกน้ำตาล เนื้อดินโปร่งมีความพรุน ระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก มีความจุความชื้นสูงและมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่ไส้เดือนดินดูดกินเข้าไปภายในลำไส้และด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้และน้ำย่อยของไส้เดือนดินจะช่วยให้ธาตุอาหารหลายชนิดที่อยู่ในอินทรีย์วัตถุถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น เปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของไนเตรทหรือแอมโมเนีย เปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ และนอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชชนิดอื่นและจุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อดิน รวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ของไส้เดือนดินด้วย การใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการปลูกพืชจะส่งผลให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้นคือ ทำให้ดินกักเก็บความชื้นได้มากขึ้น มีความโปร่งร่วนซุย รากพืชสามารถชอนไชและแพร่กระจายได้กว้าง ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดี ทำให้จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์บริเวณ

เอกสารนี้เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รากพืชสามารถสร้างเอนไซม์และกรดอินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของพืชได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะฟอสฟอรัส (อานันท์, 2550) นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ปะปนออกมากับมูลของไส้เดือนดินยังเป็นกลุ่มที่สามารถสร้างเอนไซม์ฟอสฟาเตส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัส และกลุ่มที่สร้างกรดอินทรีย์ เช่น กลุ่มบาซิลลัส (*Bacillus* sp.) และซูโดโมนาส (*Pseudomonas* sp.) ที่สามารถละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น (อานันท์, 2555)

2.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ปริมาณ
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.78
2. อินทรีย์วัตถุ	22.9 เปอร์เซ็นต์
3. ไนโตรเจน (TN)	1.15 เปอร์เซ็นต์
4. ฟอสฟอรัสในรูปของกรดฟอสฟอริก (P ₂ O ₅)	2.03 เปอร์เซ็นต์
5. โพแทสเซียมรูปละลายน้ำ (K ₂ O)	2.50 เปอร์เซ็นต์
6. แคลเซียม	3.32 เปอร์เซ็นต์
7. แมกนีเซียม	0.61 เปอร์เซ็นต์
8. เหล็ก	0.47 เปอร์เซ็นต์
9. สังกะสี	108.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
10. โบรอน	15.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา : (วีณา, 2557)

- 2.6.3 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (อานันท์, 2550)
- 1. ส่งเสริมการเกิดเม็ดดิน
 - 2. เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุแก่ดิน
 - 3. เพิ่มช่องว่างในดินให้การระบายน้ำและอากาศดียิ่งขึ้น
 - 4. ส่งเสริมความพรุนของผิวหน้าดิน ลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน
 - 5. ช่วยให้ระบบรากพืชสามารถแพร่กระจายตัวในดินได้กว้าง
 - 6. เพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่ดินโดยตรงและเป็นแหล่งอาหารของสัตว์และจุลินทรีย์
 - 7. เพิ่มศักยภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน
 - 8. ช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารพืชบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป เช่น อลูมิเนียม และแมงกานีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แร่ธาตุในดิน

2.7.1 แร่ธาตุทั้งหมด

แร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในดิน แล้วมีความจำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อการเจริญของพืชมีทั้งหมด 16 ธาตุ และจะแสดงอาการที่เกิดขึ้นเมื่อพืชขาดแคลนดังตารางที่ 2.11 และ 2.12

ตารางที่ 2.11 ธาตุที่พิสูจน์แล้วว่าจำเป็นต่อพืช 16 ธาตุ

ธาตุ	สัญลักษณ์
คาร์บอน	C
ไฮโดรเจน	H
ออกซิเจน	O
ไนโตรเจน	N
ฟอสฟอรัส	P
โพแทสเซียม	K
กำมะถัน	S
แมกนีเซียม	Mg
แคลเซียม	Ca
เหล็ก	Fe
แมงกานีส	Mn
ทองแดง	Cu
สังกะสี	Zn
โมลิบดีนัม	Mo
โบรอน	B
คลอรีน	Cl

ที่มา : (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

ตารางที่ 2.12 หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารพืชและอาการที่เกิดขึ้นเมื่อพืชขาดแคลน

ธาตุ	หน้าที่สำคัญ	อาการขาดธาตุ
ไนโตรเจน	เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืชส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อนใบและกิ่ง	โตช้า ใบล่างมีสีเหลืองซีดทั้งแผ่นใบ ต่อมากลายเป็นสีน้ำตาลแล้วร่วงหล่น หลังจากนั้นใบด้านบนก็มีสีเหลือง
ฟอสฟอรัส	ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืชเป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ	ใบล่างเริ่มมีสีม่วงตามแผ่นใบ ต่อมาใบเริ่มมีสีน้ำตาลและร่วงหล่น ลำต้นแกร็น ไม่ผลิดอกออกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุ	หน้าที่สำคัญ	อาการขาดธาตุ
โพแทสเซียม	ช่วยสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบ ไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง มีความต้านทานโรค	ใบล่างมีอาการเหลือง แล้วกลายเป็นสีน้ำตาลตามขอบใบแล้วลุกลามเข้ามาเป็นหย่อมๆ ตามแผ่นใบอาจพบว่าแผ่นใบโค้งเล็กน้อย รากเจริญช้ำ ลำต้นอ่อนแอ ผลไม่เติบโต
แคลเซียม	เป็นองค์ประกอบในสารที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกัน ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด และช่วยให้เอนไซม์บางชนิดทำงานได้ดี	ใบที่เจริญใหม่ๆ หัก ดายอดไม่เจริญ อาจมีสีดำที่เส้นใบ รากสั้น ผลแตก และมีคุณภาพไม่ดี
แมกนีเซียม	เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไขมัน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรด-ด่างในเซลล์พอเหมาะในการงอกของเมล็ด	ใบแก่จะเหลือง ยกเว้นเส้นใบ และใบล่างหล่นเร็ว
กำมะถัน	เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน และวิตามิน	ใบทั้งบนและล่างมีสีเหลืองซีด และต้นอ่อนแอ
โบรอน	ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้โปรตีน และแป้ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด	ตายอดตายแล้วเริ่มมีตาข้าง แต่ตาข้างจะตายอีก ลำต้นไม่ค่อยยืดตัว กิ่งและใบจึงชิดกัน ใบเล็ก หนาโค้งและเปราะ
ทองแดง	ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้ประโยชน์และแป้ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด	ตายอดชะงักการเจริญเติบโตและกลายเป็นสีดำ ใบอ่อนเหลือง พืชทั้งต้นชะงักการเจริญเติบโต
คลอรีน	มีบทบาทเกี่ยวกับฮอร์โมนพืช	พืชเหี่ยวง่าย ใบสีซีดบางส่วนแห้งตาย
เหล็ก	ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสง และหายใจ	ใบอ่อนมีสีขาวยซีด ขณะที่ใบแก่ยังเขียวสด
แมงกานีส	ช่วยในการสังเคราะห์แสง และการทำงานของเอนไซม์บางชนิด	
โมลิบดีนัม	ช่วยให้พืชใช้ในเตรตให้เป็นประโยชน์ในการสังเคราะห์โปรตีน	พืชมีอาการคล้ายขาดไนโตรเจน ใบมีลักษณะโค้งคล้ายถ้วย ปรากฏจุดเหลืองๆ ตามแผ่นใบ
สังกะสี	ช่วยในการสังเคราะห์ออกซิน (ฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่ง) คลอโรฟิลล์	ใบอ่อนมีสีเหลืองซีด และปรากฏสีขาวประปรายตามแผ่นใบ รากสั้นไม่เจริญตามปกติ

ที่มา : (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 แร่ธาตุที่เป็นธาตุอาหารหลัก (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

1. ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส (P) : เป็นธาตุพบในพืชประมาณ 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่าไนโตรเจนประมาณ 10 เท่า ฟอสฟอรัสมีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งเป็นขบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญอย่างยิ่ง พลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและเมตาโบลิซึมของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตจะถูกเก็บไว้ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต (อะดีโนซีน-ไตรฟอสเฟต, ATP) สำหรับใช้ในการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของพืช นอกจากนั้นฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์และฟอสโฟไลปด์อีกด้วย ความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของพืชคือช่วยทำให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาการของส่วนประกอบที่เจริญเติบโตของพืช (ยอดและราก) เป็นไปได้ดี นอกจากนี้ยังช่วยให้พืชออกดอกและแก่เร็ว ทำให้พืชมีความแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลง

กรณิชาดฟอสฟอรัส : พืชจะมีขนาดของต้นเล็ก ลำต้นและใบแคระแกร็น แตกกิ่งก้านไม่ดี การเจริญเติบโตของระบบรากน้อย ใบแก่ของพืชจะมีสีเขียวเข้มหรือสีม่วง เนื่องจากการสะสมคาร์โบไฮเดรตมากเกินไป อาการขาดฟอสฟอรัสที่รุนแรงไม่ค่อยพบในไม้ผล

กรณิฟอสฟอรัสมากเกินไป : ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ไม่ถูกชะล้างโดยน้ำที่รดให้พืช ถ้ามีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างสม่ำเสมอจะทำให้เกิดการสะสมฟอสฟอรัสขึ้นในดิน ฟอสฟอรัสที่มากเกินไปจะทำให้จุลธาตุ โดยเฉพาะสังกะสีและเหล็กให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำให้พืชขาดธาตุอาหารทั้งสองชนิดนี้ได้ โดยระดับของปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Available phosphorus: avail.P) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 ระดับของปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ต่ำมาก (very low)	<3
ต่ำ (low)	3-10
ปานกลาง (medium)	11-15
สูง (high)	16-45
สูงมาก (very high)	>45

ที่มา : (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547)

2. โพแทสเซียม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

โพแทสเซียม (K) : ธาตุโพแทสเซียมมีอยู่ในพืชประมาณ 1.25-3.00 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นมากต่อการสังเคราะห์โปรตีน และการโบไฮเดรต การทำงานของคลอโรพลาสต์และเอ็นไซม์หลายชนิด นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายและน้ำตาลในพืชและควบคุมการเปิดปิดของปากใบพืชสามารถดูดใช้โพแทสเซียมที่มีในดินได้ โดยการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างโพแทสเซียมที่ยึดติดอยู่กับประจุลบในอนุภาคดินกับโปรตอน หากในดินมีไอออนเนียมไอออนอยู่ด้วย การแลกเปลี่ยนไอออนของโพแทสเซียมจะยิ่งเกิดขึ้นได้ดีกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีโพแทสเซียมมากเกินไป: การดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมของพืชลดลง เนื่องจากโพแทสเซียมจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับแคลเซียม และแมกนีเซียมแทนทำให้การดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมของพืชไปอย่างช้าๆ เนื่องจากถูกตรึงอยู่กับอนุภาคของดิน ซึ่งต่างจากแคลเซียมและแมกนีเซียมที่อยู่ในชั้นของสารละลายดิน ที่พืชนำไปใช้ได้รวดเร็วกว่า

กรณีขาดโพแทสเซียม : อาการขั้นแรกคือ พืชจะชะงักการเจริญเติบโต ต่อมาใบแก่จะมีสีเหลืองซีด โดยเริ่มจากปากใบและปลายใบ ในพืชบางชนิดจะพบจุดสีน้ำตาลกระจายทั่วทั้งใบหรือพบจุดสีแดง หรือเหลืองระหว่างเส้นใบในใบอ่อน ถ้ามีอาการรุนแรง ใบจะแห้งและร่วงก่อนกำหนดโดยระดับของปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Available potassium: avail. K) แสดงดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 ระดับของปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ต่ำมาก (very low)	<30
ต่ำ (low)	30-60
ปานกลาง (medium)	61-90
สูง (high)	91-120
สูงมาก (very high)	>120

ที่มา : (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547)

3. ไนโตรเจน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ไนโตรเจน (N) : เป็นธาตุอาหารที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.5-5 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) และคลอโรพลาสต์ สารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืช เมื่อได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ พืชจะมีใบเขียวเข้ม โตเร็ว และทำให้การออกดอกเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้ไนโตรเจนรูปที่พืชสามารถนำไปประโยชน์ได้ง่าย ได้แก่ ไนเตรต ไนไตรต์ และแอมโมเนียม เป็นต้น ขณะที่อินทรีย์ไนโตรเจนยังป็นรูปที่ยังใช้ประโยชน์ไม่ได้ ต้องผ่านการกระบวนการมินิเอร์ไลเซชัน (mineralization) โดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ก่อน

กรณีขาดไนโตรเจน : ไนโตรเจนเป็นธาตุที่จ้ตัวเคลื่อนที่ได้ในพืช ดังนั้นเมื่อส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต (ใบและยอดอ่อน) ได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอ ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในส่วนที่เป้นใบแก่จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังส่วนที่เป็นใบอ่อน ทำให้พืชแสดงอาการผิดปกติที่บริเวณใบแก่ คือจะแสดงอาการใบเหลือง นอกจากนี้ยังมีลำต้นจะแคระแกร็น โตช้า รวมถึงการออกดอกจะเกิดขึ้นช้า ทั้งนี้การขาดไนโตรเจนจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันก็สามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว โดยการใส่ปุ๋ยให้พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีมีไนโตรเจนมากเกินไป : เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตทางใบมาก การออกดอกจะเกิดขึ้นได้ยากและช้า โดยระดับของปริมาณความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนในดินแสดงดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ระดับของปริมาณความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนในดิน

ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช	ความเข้มข้น (%)
ต่ำมาก (very low)	<0.1
ต่ำ (low)	0.1-0.3
ปานกลาง (medium)	0.3-0.6
สูง (high)	0.6-1.0
สูงมาก (very high)	>1.0

ที่มา : (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547)

2.7.3 แร่ธาตุที่เป็นจุลธาตุ

แร่ธาตุที่เป็นจุลธาตุ (Micronutrient elements) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย แต่จะขาดไม่ได้ ได้แก่ เหล็ก, แมงกานีส, สังกะสี, ทองแดง, โบรอน, โมลิบดีนัม, คลอรีน และนิเกิล โดยเฉพาะธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นธาตุที่พบได้โดยมาก

เหล็ก : เป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากและใบในดินกรดเขตร้อนชื้นที่มีการระบายน้ำดี ไม่เกิดการท่วมขังของน้ำ เหล็กจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนได้เป็นสารประกอบเฟอร์ริกออกไซด์ ซึ่งมีสีแดงทำให้สมบัติทางกายภาพโดยสังเกตจากสีของดินที่มีธาตุเหล็กนั้นเกิดเป็นสีแดงอิฐ แต่ถ้าดินมีสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ จะหมายถึง ดินที่มีอินทรีย์วัตถุในปริมาณมาก และมีเหล็กอยู่น้อย เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสสูงกว่า 6.0 เหล็กจะเริ่มถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสลดลง เหล็กจะสามารถละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชได้มากขึ้น โดยเฉพาะความเป็นกรด-เบสของดินที่ต่ำกว่า 6.0 ความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายดินจะเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัว ซึ่งไอออนของเหล็ก (Fe^{3+}) ในสารละลายจะอยู่ในสภาพไอออนที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบ คือ $Fe(H_2O)_6^{3+}$ ขณะที่ปริมาณของไฮโดรเจนไอออนที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสของเฟอร์ริกไอออนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณเฟอร์ริกไอออนซึ่งถูกควบคุมโดยชนิดของแร่เหล็กออกไซด์ ทั้งนี้ปริมาณของเหล็กที่ละลายได้ ยังมีประโยชน์ในการส่งเสริมการดูดซึมแร่ธาตุต่างๆ ของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) แต่หากมีปริมาณที่มากเกินไป ก็จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยระดับของเหล็กที่เป็นพิษขึ้นอยู่กับชนิดหรือรูปฟอร์มของเหล็กในดินที่มีธาตุเหล็กละลายอยู่ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะเริ่มมีผลเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก (เจริญ และคณะ, 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 แร่ธาตุที่เป็นธาตุเสริมประโยชน์ (เจริญ และคณะ, 2540)

ธาตุเสริมประโยชน์ (Beneficial mineral elements) หมายถึง ธาตุที่ช่วยกระตุ้น (stimulate) การเจริญเติบโตของพืชบางชนิด ธาตุที่จัดเป็นธาตุเสริมประโยชน์ เช่น ซิลิคอน โซเดียม โคบอลต์ ซิลิเนียมและอลูมิเนียม โดยเฉพาะอลูมิเนียมที่หากมีมากเกินไปจะกลายเป็นพิษต่อพืชได้

อลูมิเนียม : ถ้าดินมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 5 อลูมิเนียมที่ละลายได้มีปริมาณสูง โดยปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายได้จะมีค่าเป็นปฏิภาคกลับกันกับค่าความเป็นกรด-เบสกล่าวคือ เมื่อความเป็นกรด-เบสมีค่าลดลง 1 หน่วย ปริมาณอลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า โดยพิษของอลูมิเนียมมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชเกิดการชะงัก อาการเริ่มแรกของความเป็นพิษเนื่องจากอลูมิเนียมจะเกิดกับระบบราก คือรากจะแคระแกร็น สั้นอ้วน มีรากขนอ่อนแตกออกมาน้อยและมีสีน้ำตาล เนื่องจากอลูมิเนียมในเนื้อเยื่อของรากพืชจะยังยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ ทำให้รากไม่สามารถงอกยาวขึ้นได้ นอกจากนั้นยังไปยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผนังเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตของรากแขนงถูกยั้ง และสามารถสะสมอยู่ในรากพืชได้โดยจะยังยั้งการดูดใช้ และการเคลื่อนย้ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสในดิน ดังนั้นถึงแม้ว่าจะมีฟอสฟอรัสมากเพียงพอ แต่ถ้าปริมาณอลูมิเนียมสูงก็จะทำให้พืชแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสได้ เนื่องจากอลูมิเนียมจะไปจับกับฟอสฟอรัสแล้วตกตะกอนกลายเป็นอลูมิเนียมฟอสเฟต ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก และทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของฟอสฟอรัสลดลง สำหรับระดับอลูมิเนียมที่ทำให้เกิดอาการเป็นพิษต่อพืช คือ มากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 กรณิกา ใจเขียว และคณะ (2556) ศึกษารูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในคอลัมน์ตะกอนสารส้มหลังจากผ่านการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ชุดคอลัมน์ 3 ชุด คือ ทRAY ดินตะกอน และดินตะกอนผสมสารส้ม พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ลักษณะของน้ำก่อนและหลังผ่านคอลัมน์ สมบัติทางเคมีของดินตะกอนที่ใช้ในการทดลองและรูปฟอร์มฟอสฟอรัสที่ได้จากการสกัดแบบลำดับชั้น 6 ขั้นตอน ที่ระดับความลึก 0-5, 11-15, 26-30 เซนติเมตร รูปฟอร์มฟอสฟอรัสที่พบประกอบด้วยรูปที่ดูยึดติดแบบหลวมๆ รูปสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่แลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่อยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ในดิน โดยที่ทั้ง 2 รูปนี้ เป็นรูปที่สลายตัวได้ง่ายหรือเป็นประโยชน์ต่อพืช ขณะที่อีก 3 รูปจัดอยู่ในกลุ่มที่ย่อยสลายได้ยาก ประกอบด้วยรูปที่ยึดกับเหล็กและอลูมิเนียม รูปที่ยึดกับแคลเซียมและแมกนีเซียมและรูปที่ตกค้างในดิน ผลการศึกษาพบว่า น้ำหลังผ่านคอลัมน์ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มมีค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าซีไอดี และออร์โธฟอสเฟตมีค่าลดลง และเมื่อนำดินตะกอนหลังจากการผ่านการบำบัดน้ำเสียมาวิเคราะห์พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง ส่วนความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง และปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับสูง ขณะที่ผลการสกัดแบบลำดับชั้นเพื่อบอกรูปฟอร์มฟอสฟอรัสพบว่า รูปฟอร์มที่พบมากที่สุด在地ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มที่ระดับความลึก 0-5 ซม. คือรูปที่ยึดกับเหล็กและอลูมิเนียม

2.8.2 กัลยาณี และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับฟอสเฟตด้วยดินตะกอนสารส้ม ซึ่งดินตะกอนสารส้มที่ใช้ทดลอง นำมาจากลานตากตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน โดยให้ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเสียเป็น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร และทำการศึกษากวาระที่เหมาะสมต่อการดูดซับ คือ พีเอช ปริมาณดินตะกอน และระยะเวลาที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการดูดซับ ผลการทดลองพบว่า พีเอช 4 เป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับฟอสเฟตมากที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอน จะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาที่ใช้ คือ 60 นาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการศึกษาถึงไอโซเทอรั่มของการดูดซับฟอสเฟตด้วยดินตะกอนสารส้ม พบว่า มีความสอดคล้องกับสมการของแลงเมียร์ และจลนพลศาสตร์ของการดูดซับเป็นไปตามแบบ Pseudo-second order

2.8.3 เกตนันนิภา วันชัย (2556) ศึกษาการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ตรึงอยู่บนวัสดุชนิดต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพดินนาข้าวที่เกิดอุทกภัย กรณีศึกษาของอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยทดสอบผลของเชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่แยกได้ต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข47 ผลการวิจัยพบว่า สามารถแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์มาละลายฟอสเฟตจากดินนาข้าวได้ 2 ชนิด คือ *Burkholderia* sp. และ *Pantoea dispersa* โดยละลายฟอสเฟตได้ 179.8 และ 187.0 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ตามลำดับ แล้วจึงนำเชื้อทั้งสองชนิดมาตรึงบนวัสดุตรึง 3 ชนิด คือ ไคโตซาน ขี้เถ้าแกลบ และภูไมท์ เพื่อทดสอบผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 47 จากผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข47 โดยต้นข้าวมีเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง จำนวนใบ ความยาวของราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นในแต่ละต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของวัสดุตรึง พบว่า ขี้เถ้าแกลบที่ทำการตรึงเชื้อทั้งสองชนิดจะให้ผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า *Burkholderia* sp. มีความสามารถในการผลิตกรดอินทรีย์ออกมาละลายฟอสเฟตจากดินได้ดีกว่า *Pantoea dispersa*

2.8.4 ขนิษฐา เซะวิเศษ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษานำตะกอนสารส้มจากโรงผลิตน้ำประปามำกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสภาวะที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช ปริมาณตะกอนสารส้ม และระยะเวลา ผลการศึกษาพบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟอสเฟต คือ พีเอช 4.0 โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตสูงถึง 98 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนสารส้ม พบว่า สามารถกำจัดฟอสเฟตในสารละลายได้มากขึ้น สำหรับผลการศึกษาการกำจัดไอออนฟอสเฟต ที่ระยะเวลา 1, 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลปรากฏว่า ฟอสเฟตในสารละลายจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ไอออนคลอไรด์ ซัลเฟต และพีเอชของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ที่ผิวของตะกอนสารส้ม (ligand exchange) ของไอออนต่างๆ ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) คลอไรด์ (Cl^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และอินทรีย์วัตถุ

2.8.5 จิระพร เขยชิต (2556) ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเร่งการเจริญเติบโตของรากและการแตกตาข้างของมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ โดยใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่เจือจาง 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า การแช่ท่อนพันธุ์ด้วยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เจือจาง 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้การงอกของรากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 41.69 และ 36.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแช่ด้วยน้ำเปล่าที่ระยะเวลา 21 วัน และสามารถช่วยในการเร่งการเกิดตาข้างของมันสำปะหลังได้ ตั้งแต่ระยะเวลา 7-21 วัน หลังปลูกโดยทำให้เกิดตาข้างเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 44.09 และ 44.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้การแช่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสามารถช่วยในการเจริญเติบโตของรากมันสำปะหลังได้อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

2.8.6 พหลรัก ส้ารวง และคณะ (2555) ศึกษาการใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินนครักษ์ที่มีปูนตกค้าง พบว่า การใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเช่นเดียวกับการใส่ฟอสฟอรัสในอัตรา 802 มิลลิกรัมต่อไร่ส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตและให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หินฟอสเฟตหรือการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใส่ฟอสฟอรัสในอัตราอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติรวมทั้งมีแนวโน้มลดการดูดซับฟอสฟอรัสของดิน โดยการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตอัตรา 3.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะให้น้ำหนักเมล็ดข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 264.9 กรัมต่อกระถาง แต่เมื่อใส่หินฟอสเฟตในอัตราที่ให้ฟอสฟอรัสเท่ากันกลับส่งให้น้ำหนักเมล็ดลดลงอย่างชัดเจน (20.1 กรัมต่อกระถาง) และการไม่ให้ฟอสฟอรัสจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวต่ำที่สุด (7.5 กรัมต่อกระถาง)

2.8.7 วาดวัน สิงหพงษ์ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาในการกำจัดตะกั่วซีโอไซด์และของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำเสียชุมชนซึ่งมีการเติมตะกั่ว 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 25 มิลลิกรัมต่อลิตรและเติมซูโครสเพื่อให้มีค่าซีโอไซด์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์จำนวน 3 ชุด ได้แก่ คอลัมน์ทรายดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้ม ที่มีการปล่อยน้ำเสียผ่านคอลัมน์ทุกวันเป็นเวลา 71 วัน ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของคอลัมน์ทรายดินตะกอนและดินตะกอนสารส้มโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 98.31, 99.01 และ 99.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยตะกั่วจะฟอร์มตัวจับกับฟอสเฟตหรือสารประกอบอื่นๆ อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและถูกกำจัดขึ้นแรกด้วยการกรอง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตะกั่วจะถูกไฮโดรไลซ์ให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ซึ่งสามารถถูกดูดซับบนดินหรือบนโลหะไฮดรอกไซด์ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นสำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์พบว่าคอลัมน์ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มมีค่ามากกว่าทรายตามลำดับคือ 50.65, 50.85 และ 32.09 เปอร์เซ็นต์ โดยซีโอไซด์จะถูกกำจัดด้วยการกรองและกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและสุดท้ายคือประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งจะถูกกำจัดด้วยการกรองพบว่า คอลัมน์ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยมากกว่าคอลัมน์ทรายคือ 73.42, 72.23 และ 63.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.8.8 สมเกียรติ เกื้อหนุน (2551) ศึกษาการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาโดยใช้เชื้อ *Ustilago* sp. AR101 และ PM103 เพื่อส่งเสริมการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวพบว่า กระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส เป็นกระบวนการสลายตัวของอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากซากพืช ซากสัตว์ และอินทรีย์วัตถุ รวมถึงเซลล์ที่เป็นองค์ประกอบในจุลินทรีย์ กระบวนการนี้เกิดเมื่อสัดส่วนคาร์บอนกับฟอสฟอรัสในดิน (C : Pratio) มีปริมาณ 300 : 1 โดยจุลินทรีย์จะผลิตกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะกรดซิตริก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัสต่างๆ ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสได้

2.8.9 อัจจิมา ทวีกุล และคณะ (2556) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยดินตะกอนสารส้มจากกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้ชุดคอลัมน์ จำนวน 3 ชุด ซึ่งน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนที่มีการเติมตะกั่วและฟอสเฟตในปริมาณ 30 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมซูโครสเพื่อให้มีค่าซีโอไซด์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์ทรายดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มในการบำบัดน้ำเสียที่ปล่อยลงคอลัมน์ทุกๆ สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของคอลัมน์ทราย ดินตะกอน และดินตะกอนผสมสารส้มมีค่าเท่ากับ 93.06, 98.45 และ 98.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่า 92.44, 99.86 และ 99.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยฟอสเฟตอาจถูกจับอยู่ที่อนุภาคของดิน และบางส่วนอาจอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนหรือห่อหุ้มเป็นผลึกคอลลอยด์ สำหรับผลการศึกษาในการชะละลายของโอออนซิลเฟต คลอไรด์ รวมทั้งชนิดหรือรูปต่างๆ ของไนโตรเจน พบว่า คอลัมน์ดินตะกอน และดินตะกอนผสมสารส้มมีปริมาณซิลเฟตและคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น

เอกราช กิ่งแก้ว และคณะ (2556) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของดินนาโดยใช้ประโยชน์จากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.10 อานูช แก้ววงศ์ (2548) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากดินตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยการนำดินตะกอนหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนมาทำการหมักเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชเนื่องจากในดินตะกอนดังกล่าวจะประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจนฟอสฟอรัสและแร่ธาตุต่างๆ ในปริมาณที่เป็นปุ๋ยได้ รวมทั้งมีสารอินทรีย์ที่มีผลในการปรับปรุงลักษณะกายภาพเคมี และชีวภาพของดิน อีกทั้งยังทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) ของดินเพิ่มขึ้น โดยสามารถยืดประจุบวกต่างๆที่เป็นธาตุอาหารของพืชไว้ได้ดีทำให้การสูญเสียธาตุอาหารของดินจากการชะล้างของน้ำลดลง

2.8.11 อุษา ศรีใส (2552) ศึกษาผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพาราในดินชุดท่าแซะ พบว่าผลผลิตเฉลี่ยในการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมีค่าสูงสุดทั้ง 3 ปีการทดลอง (361.2, 331.2 และ 318.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีในปีที่ 1 ปีที่ 2 และปีที่ 3 ตามลำดับ) และมีค่าใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งอัตราร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และน้ำหมักชีวภาพ (331.1, 322.5 และ 303.7 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีในปีที่ 1 ปีที่ 2 และปีที่ 3 ตามลำดับ) ในขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด (202.0, 198.2 และ 217.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีในปีที่ 1 ปีที่ 2 และปีที่ 3 ตามลำดับ) ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส กำมะถัน และจำนวนจุลินทรีย์รวมของดินสูงขึ้นกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งความเป็นประโยชน์ของธาตุไนโตรเจนในดินอยู่ได้นานกว่าการใส่ปุ๋ยสูตรอื่นๆ

2.8.12 Davood *et al.* (2012) ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยชีวภาพและปริมาณฟอสฟอรัสต่อคุณภาพของดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta* L.) พบว่า ปุ๋ยชีวภาพ และฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อลักษณะของดอกดาวเรืองอย่างมาก แต่ความสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยชีวภาพและฟอสฟอรัสไม่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญต่อการศึกษาฟอสฟอรัสในลำต้นและและจำนวนของใบต่อดัน โดยการให้ฟอสฟอรัส 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และปุ๋ยชีวภาพ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้พืชสูงที่สุดโดยเฉลี่ย 26.87 เซนติเมตร จำนวนใบต่อดันโดยเฉลี่ย คือ 56.27 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดอก คือ 84.420 มิลลิเมตร น้ำหนักลำต้นสด 19.94 กรัม และฟอสฟอรัสในลำต้น 0.353 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การให้ฟอสฟอรัส 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่มีปุ๋ยชีวภาพร่วมด้วย ทำให้น้ำหนักสดลำต้นลดลงโดยเฉลี่ย คือ 19.86 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ย คือ 0.235 เปอร์เซ็นต์

2.8.13 F.Fodor *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดความเป็นพิษของแคดเมียมและเหล็กที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นป๊อบลาร์ (*Populus Alba* L.) ด้วยซิเตรทไอออนและอิตีทีเอ ผลการทดลองพบว่า แคดเมียมมีผลต่อการลดระดับคลอโรฟิลล์ในใบและอัตราการสังเคราะห์แสงของต้นป๊อบลาร์ รวมถึงลดปริมาณของเหล็กที่มีอยู่ในลำต้น แต่เมื่อเติมซิเตรทไอออนและอิตีทีเอลงในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมและเหล็กค่อนข้างสูง อิตีทีเอและซิเตรทไอออนจะไปจับกับแคดเมียมและเหล็กเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งช่วยลดความเป็นพิษของแคดเมียมที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นป๊อบลาร์ โดยเฉพาะระบบรากและใบ อีกทั้งยังช่วยลดความเป็นพิษของเหล็กที่มากเกินไปในลำต้นของต้นป๊อบลาร์ได้อีกด้วย เมื่อเทียบกับสารประกอบของเหล็กในรูปไอออนอิสระ คือ เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) โดยอิตีทีเอจะให้ผลที่ดีกว่าซิเตรทไอออน

2.8.14 Jian Feng Ma (2000) ทำการศึกษาเกี่ยวกับบทบาทของกรดอินทรีย์ที่มีต่อการลดความเป็นพิษของอลูมิเนียม ผลการทดลองพบว่า การเติมอลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) และปรับค่าพีเอชของดินให้มีสภาพเป็นกรด ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินดังกล่าว เนื่องจากค่าพีเอชที่ลดลงของดิน ทำให้อลูมิเนียมสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น โดยจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบราก ทำให้รากพืชหดสั้นลง ขณะเดียวกันดินที่มีการเติมซีตเรทไออนร่วมกับอลูมิเนียมในสภาวะที่เป็นกรด พบว่า การงอกและการแตกแขนงของรากเป็นไปตามปกติเมื่อเทียบกับรากพืชที่ได้รับอลูมิเนียมเพียงอย่างเดียว เนื่องจากซีตเรทไออนที่ได้จากการแตกตัวของกรดซิตริก ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่ใช้ทดลองจะไปจับกับอลูมิเนียมและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอลูมิเนียมซีตเรทที่สามารถลดความเป็นพิษของอลูมิเนียมที่มีต่อระบบรากได้ เช่นเดียวกับพืชที่ปลูกในดินที่มีแต่การเติมซีตเรทไออนที่ระบบรากเจริญเติบโตอย่างปกติ

2.8.15 Manoj *et al.* (2012) ทำการศึกษาเกี่ยวกับความหนาแน่นของพืชที่ปลูกในพื้นที่จำกัดที่มีผลต่อระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมทั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรืองสายพันธุ์แอฟริกา ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของดอกดาวเรืองที่ปลูกในพื้นที่ขนาด 50 x 40 เซนติเมตร ทำให้ระดับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลง และส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดอกดาวเรือง คือ ทำให้ใบของต้นดาวเรืองลดลง และให้ดอกที่มีน้ำหนักสดโดยเฉลี่ย 12.20 กรัม ขณะที่น้ำหนักสดของดอกต่อต้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 286.7 กรัม โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของดอกสูงสุดไม่เกิน 143.35 คิวต่อเฮกตาร์ ทั้งนี้เมื่อเพิ่มพื้นที่ปลูกเป็น 50 x 50 เซนติเมตร พบว่า ผลผลิตของดอกดาวเรืองจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.8.16 M. Camara *et al.* (1994) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสับปะรด พบว่า ในเนื้อและน้ำคั้นสับปะรดมีกรดอินทรีย์ที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดซิตริก มาลิก ทาร์ทาริก และกรดออกซาลิก เป็นต้น โดยเฉพาะกรดซิตริกที่มีปริมาณสูงกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งโพแทสเซียมที่ตรวจพบมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแร่ธาตุชนิดอื่นๆ ทั้งในเนื้อและในน้ำ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) แสดงให้เห็นว่า ระดับของกรดอินทรีย์และโพแทสเซียมเป็นดัชนีชี้วัดขององค์ประกอบหลักที่มีปริมาณมากที่สุดในสับปะรด

2.8.17 M. Raja Naik (2015) ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการออกดอกของดอกดาวเรืองแอฟริกัน โดยระดับของไนโตรเจนที่ทำการศึกษามี 4 ระดับ ได้แก่ 0, 100, 150 และ 200 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ผลการทดลองพบว่า การใส่ฟอสฟอรัสร่วมกับไนโตรเจนที่ระดับสูงสุดคือ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตของดอกดาวเรืองมากที่สุด คือ มีจำนวนวันต่ำสุดที่มีการออกดอกสมบูรณ์อยู่ที่ 50.66 วัน และมีจำนวนของดอกต่อต้นโดยเฉลี่ย 28.42 ดอก ขนาดของดอกโดยเฉลี่ยวัดได้ 5.59 เซนติเมตร น้ำหนักสดของดอกโดยเฉลี่ย 71.2 กรัม และมีผลผลิต 11.11 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนวันที่มีการออกดอกอย่างเต็มที่ คือ 51.41 วัน ขณะที่มีการใส่ไนโตรเจน แต่ไม่มีการใส่ฟอสฟอรัสร่วมด้วย พบว่า มีจำนวนดอกต่อต้นโดยเฉลี่ย 28.30 ดอก ขนาดของดอกโดยเฉลี่ย 5.74 เซนติเมตร น้ำหนักสดของดอกโดยเฉลี่ย 69.65 กรัม และมีผลผลิต 10.80 ตันต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าการให้ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสมีผลการออกดอกและเพิ่มผลผลิตของดาวเรืองดีกว่าการให้แต่ไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Analyst 200
2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo รุ่น Genesys 10s UV-Vis
3. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatography) ยี่ห้อ Metrohm
4. เครื่องให้ความร้อน (Heating mantle) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น Fisher stirring hotplate
5. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conductivity meter) ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
6. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
7. เครื่องย่อย (Digester) ยี่ห้อ BUCHI รุ่น K-425
8. เครื่องกลั่น (Distillatory) ยี่ห้อ BUCHI รุ่น B-232
9. เครื่องเขย่า (Orbital Shaker) ยี่ห้อ WiseShake รุ่น SHO-1D
10. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Centurion รุ่น 1000 Series
11. ตู้อบ (Incubator) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น IsoTEMP
12. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AVX220
13. เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
 - 13.1 ปิเปต (Pipette) พร้อมลูกยาง (Rubber bulb)
 - 13.2 บิวเรต (Burette)
 - 13.3 ปีกเกอร์ (Beaker)
 - 13.4 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) พร้อมจุกยางสีดำ (Rubber Cork)
 - 13.5 ขวดปริมาตร (Volume metric flask)
 - 13.6 หลอดทดลอง (Test tube)
 - 13.7 กระบอกตวง (Cylinder)
 - 13.8 กระจกนาฬิกา (Watch glass)
 - 13.9 หลอดย่อย (Kjeldahl digestion flask)
14. อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง
 - 14.1 หลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง (Centrifuge tube)
 - 14.2 ครกและสาก (Mortar and Pestle)
 - 14.3 กระดาษกรอง (Filter paper) what man GF/C เบอร์ 42
 - 14.4 กระถางต้นไม้ (Jardinière)
 - 14.5 กระบะสำหรับเพาะกล้า (Seeding Tray)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมีที่ใช้ทดลอง

1. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์
2. สารละลายกรดไนตริก (Nitric acid, HNO_3) เข้มข้น 65% เกรดวิเคราะห์
3. สารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) เข้มข้น 95% เกรดวิเคราะห์
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เข้มข้น 35% เกรดวิเคราะห์
5. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide, NH_4OH) เข้มข้น 27% เกรดวิเคราะห์
6. สารละลายกรดแอซิติก (Acetic acid, CH_3COOH) เข้มข้น 12% เกรดวิเคราะห์
7. สารละลายเอทานอล (Ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) เข้มข้น 95% เกรดวิเคราะห์
8. สารละลายกรดไทโอไกลิโกลิก (Thioglycolic acid, $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{S}$) เข้มข้น 1% เกรดวิเคราะห์
9. สารละลายมาตรฐานเหล็กและโพแทสเซียมสำหรับวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของอะตอม
10. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนไอออน
11. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate, NaHCO_3) เกรดวิเคราะห์
12. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห์
13. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate, Na_2SO_4) เกรดวิเคราะห์
14. แอมโมเนียมอะซิเตต (Ammonium acetate, $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$) เกรดวิเคราะห์
15. แอมโมเนียมออริโนไตรคาร์บอกซิลิก แอซิด
(Ammonium-aurintricarboxylic acid, $\text{C}_{22}\text{H}_{14}\text{O}_9\text{N}_3$) เกรดวิเคราะห์
16. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต
(Antimony Potassium Tartrate, $\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์
17. แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์
18. โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl) เกรดวิเคราะห์
19. โพแทสเซียมฟลูออไรด์ (Potassium fluoride, KF) เกรดวิเคราะห์
20. โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium nitrate, KNO_3) เกรดวิเคราะห์
21. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate, $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$) เกรดวิเคราะห์
22. โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟตโดเดคาไฮเดรต
(Potassium aluminium sulfate dodecahydrate, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์
23. ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein, $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) เกรดวิเคราะห์
24. กัมอะคาเซีย (Gum acacia) เกรดวิเคราะห์
25. กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์
26. กรดซิตริก (Citric acid, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์
27. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) เกรดวิเคราะห์
28. เมทิลเรด (Methyl red, $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$) เกรดวิเคราะห์
29. โบโรโมคริสซอลกรีน (Bromocresol green, $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{Br}_4\text{O}_5\text{S}$) เกรดวิเคราะห์
30. ซีลีเนียม (Selenium, Se) เกรดวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31. คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรท (Copper sulfate pentahydrate, $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เกรตวิเคราะห์
32. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride, CaCl_2) เกรตวิเคราะห์
33. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอะอะมีนเตตระอะซิติก แอซิด (diSodium Ethylene diamine tetra-acetic acid, Na_2EDTA) เกรตวิเคราะห์
34. ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine, $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) เกรตวิเคราะห์
35. น้ำกลั่น (Distilled water)

3.3 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

1. การเตรียมต้นดาวเรืองสำหรับปลูก

เตรียมดินสำหรับปลูกพืชผสมกับขุยมะพร้าวสับละเอียด แล้วใส่ลงในกระบะสำหรับเพาะ ขนาด 40×60 เซนติเมตร ให้เหลือพื้นที่ด้านบนของแต่ละหลุมสำหรับหยอดเมล็ดประมาณ 1-2 เซนติเมตร จากนั้นหยอดเมล็ดดาวเรืองพันธุ์พื้นเมืองที่แช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน จำนวน 1-2 เมล็ด ต่อ 1 หลุม แล้วจึงใส่ดินปิดทับ ตามด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ และรดน้ำให้ชุ่มทั้งเช้าและเย็นประมาณ 1 สัปดาห์ เมื่อต้นดาวเรืองเริ่มงอก ให้เอากระดาษหนังสือพิมพ์ออก และรดน้ำทั้งเช้าและเย็น จนกระทั่งเริ่มมีใบจริงประมาณ 4-5 ใบ จึงคัดเลือกต้นที่แข็งแรงและมีขนาดใกล้เคียงกันมาปลูกใส่กระถางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร กระถางละ 1 ต้น หลังจากนั้นให้รดน้ำเฉพาะช่วงเช้า และรอจนต้นดาวเรืองมีอายุประมาณ 20 วัน จึงจะย้ายไปทำการทดลอง

2. การเตรียมอัตราส่วนดินตะกอนสำหรับปลูก

นำดินตะกอนสารส้มจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมาผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นบดให้มีขนาดเล็ก และนำดินตะกอนสารส้มที่ได้มาผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมฟอสฟอรัสละลายน้ำ ให้มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร พร้อมทั้งปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เป็น 4 และปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (กัลยาวิดี และคณะ, 2556) โดยใช้ดินตะกอนต่อน้ำเสียสังเคราะห์อัตราส่วน 2:1 แล้วจึงนำดินตะกอนดังกล่าวมาผสมกับดินธรรมชาติที่ผึ่งลมจนแห้งและบดให้มีขนาดเล็กแล้วเช่นกัน จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (1:3) แล้วใส่ลงในกระถางพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร และความสูง 10 เซนติเมตร

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 การทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง

วิธีการทดลอง

1. คัดเลือกต้นดาวเรืองพันธุ์พื้นเมืองที่มีขนาดใกล้เคียงกันที่ได้จากขั้นตอนเตรียมการทดลองข้อ 1. (การเตรียมต้นดาวเรืองสำหรับปลูก) จำนวน 20 ต้น
2. เตรียมดินตะกอนสำหรับปลูกต้นดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 4 อัตราส่วน ตามขั้นตอนเตรียมการทดลองข้อ 2. (การเตรียมอัตราส่วนดินตะกอนสำหรับปลูก) และปลูกต้นดาวเรือง ดังนี้

โดยแต่ละชุดการทดลองจะปลูกต้นดาวเรืองชุดละ 5 กระถาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดควบคุม C ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 0:1 + ต้นดาวเรือง 1 ต้น
- ชุดทดลอง S1 ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 1:0 + ต้นดาวเรือง 1 ต้น
- S2 ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 1:1 + ต้นดาวเรือง 1 ต้น
- S3 ดินตะกอนสารส้ม + ดินธรรมชาติ อัตราส่วน 1:3 + ต้นดาวเรือง 1 ต้น

3. ทำการทดลองในสภาวะเปิด และรดน้ำครั้งละ 100 มิลลิลิตร ทั้งเช้าและเย็น

4. ใส่ปุ๋ย จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ ในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองโดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ คือ ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ปริมาณ 30 กรัม ส่วนปุ๋ยอนินทรีย์ คือ ปุ๋ยน้ำสูตร 15-0-15 (N: P: K) ความเข้มข้น 0.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร

5. ทำการทดลองจนครบ 6 สัปดาห์ แล้วจึงบันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของใบและราก ความสูงของลำต้น และจำนวนดอก ซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง แสดงดังตารางที่ 3.1

6. นำดินตะกอนทั้ง 4 อัตราส่วน ทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกดาวเรืองมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไอออนหรือแร่ธาตุๆ ในดินตะกอน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ และปริมาณเจดดาห์ลไนโตรเจน (TKN) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามพัซรี (2554) และกรมพัฒนาที่ดิน (2553) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1 การบันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
ลักษณะทั่วไปของใบและราก	สังเกตด้วยตา
ความสูงของลำต้น	วัดความสูงจากพื้นดินขึ้นมาถึงกิ่งที่อยู่บนสุดหรือที่เรียกว่า “ยอด”
จำนวนดอก	ใช้วิธีการนับจำนวนดอกที่ผลิออกจากกิ่ง ทั้งดอกตูมและดอกบาน

ตารางที่ 3.2 ไอออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ในดินตะกอนที่ใช้ปลูกต้นดาวเรือง

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH-value : pH)	ใช้อัตราส่วนของตัวอย่างดินและน้ำ คือ 1:5 และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์
2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate : TP)	ย่อยตัวอย่างดินด้วยกรดซัลฟูริกและไนตริก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับกรดแอสคอบิก
3. ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable P)	สกัดตัวอย่างดินด้วยน้ำยาสกัด Olsen และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับกรดแอสคอบิก
4. อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al)	สกัดตัวอย่างดินด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับบัฟเฟอร์อลูมินอน
5. เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe)	สกัดตัวอย่างดินด้วยอีดีทีเอ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS)
6. เจดดาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)	ย่อยตัวอย่างดินและนำสารละลายที่ได้ไปกลั่นหาปริมาณแอมโมเนียด้วยการไทเทรต ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทดลองเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินตะกอน
สารส้มด้วยสารสกัดจากกรดซิตริก

วิธีการทดลอง

- นำดินตะกอนสารส้มจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมาผึ่งลมให้แห้ง และบดดินให้มีขนาดเล็ก
ลง จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช แล้วจึงนำดินตะกอนดังกล่าวไปผ่านน้ำเสียชุมชนที่
เก็บตัวอย่างมาจากคลองประเวศบุรีรมย์ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีการเติมฟอสฟอรัสรูป
ละลายน้ำ จนมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร พร้อมทั้ง
ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เป็น 4 และปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (กัลยาดี และคณะ,
2556) โดยใช้ดินตะกอนต่อน้ำเสียชุมชนอัตราส่วน 2:1
- ชั่งตัวอย่างดินตะกอนจากข้อ 1 ปริมาณ 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
- เติมสารสกัด จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ โดยมวลต่อปริมาตร
และกรดซิตริกจากสับปะรด จากนั้นทำการทดลองดังนี้ โดยในแต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ
ชุดควบคุม ดินตะกอนสารส้ม + น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
ชุดทดลอง ดินตะกอนสารส้ม + กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร
ดินตะกอนสารส้ม + กรดซิตริกจากสับปะรด 100 มิลลิลิตร
- นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- เมื่อครบเวลาที่กำหนด ให้ถ่ายสารละลายทั้งหมด (ทั้งน้ำและดิน) ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ
2500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที
- แยกสารละลายส่วนใสออกจากดินตะกอน พร้อมทั้งวัดปริมาตรสุดท้าย และนำดินตะกอน
หลังผ่านการสกัด ไปผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช
- นำดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านการสกัดใน
ข้อ 6 ไปวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ ความเข้มข้นของ
ไฮโดรเจนไอออน เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ และอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดย
วิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามพัชรี (2554) และกรมพัฒนาที่ดิน (2553) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดง
ดังภาคผนวก ก ส่วนสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้มด้วยสารสกัดทั้ง 3 ชนิด ให้นำไป
วิเคราะห์ผลดังตารางที่ 3.4 โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม APHA-AWWA (2012) ซึ่งรายละเอียด
การวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก เช่นกัน
- นำตัวอย่างของน้ำคั้นสับปะรดไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริก โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ
ซึ่งวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม AOAC (2005) และรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.3 รูปแบบของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate : TP)	ทำเช่นเดียวกับตารางที่ 3.2
2. ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable P)	
3. ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (ความเป็นกรด-ด่าง : pH)	
4. อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al)	
5. เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe)	

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้มที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate : TP)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (IC)
2. ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho phosphate : OP)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (IC)
3. ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (ความเป็นกรด-ด่าง : pH)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์
4. อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับบัฟเฟอร์อลูมินอน
5. เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS)

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

- 1. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณไอออนและแร่ธาตุต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มผสมดินธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูก โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent sample T-test)
- 2. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนในดินตะกอน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance (ANOVA) : Single factor)
- 3. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้มด้วยสารสกัดต่างชนิดกัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance (ANOVA) : Single factor)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์และเพิ่มประสิทธิภาพดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียที่มีการเติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ โดยแบ่งการวิจัยเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง และตอนที่ 2 เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่เติมลงในดินตะกอนสารส้ม สำหรับตอนที่ 1 จะทำการวิจัยโดยพิจารณาจากผลการทดลองในขั้นต้น (Preliminary test) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสและการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำตามสภาวะการทดลองของกัลยาวิ และคณะ (2556) จนมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วจึงวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณของฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกต้นดาวเรืองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยในระหว่างทำการปลูก ผลการทดลองพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนหลังปลูกมีค่าลดลงกว่าก่อนปลูกเล็กน้อย แสดงว่า ต้นดาวเรืองสามารถนำฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินตะกอนไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ แต่ใช้น้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เพราะผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีปริมาณค่อนข้างน้อย ส่งผลให้ต้นดาวเรืองไม่สามารถนำฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินตะกอนไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ จึงปรากฏลักษณะของลำต้นที่แคระแกร็น มีการแตกกิ่งก้านน้อย และให้ขนาดของดอกที่เล็กกว่าปกติ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) นอกจากนี้ยังพบอาการใบเหลืองและปลายใบมีอาการไหม้ร่วมด้วย ขณะที่ระบบรากยังคงเจริญเติบโตได้อย่างปกติ แต่มีการแตกแขนงของรากค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจเกิดจากในดินตะกอนมีธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองหรืออาจมีปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมที่มากเกินไป จนทำให้ต้นดาวเรืองแสดงอาการผิดปกติดังกล่าว ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้นำดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์มาผสมกับดินจากธรรมชาติในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (1:3) แล้วจึงนำไปปลูกต้นดาวเรืองเป็นเวลา 6 สัปดาห์เช่นเดิม แต่เพิ่มการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน) และปุ๋ยอนินทรีย์ (ปุ๋ยน้ำสูตร 15-0-15) ในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลอง พร้อมทั้งบันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของใบและราก ความสูงของลำต้น และจำนวนดอก นอกจากนี้ยังทำการศึกษาค่าผลของปริมาณไออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ในดินตะกอนทั้ง 4 อัตราส่วน ทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกดาวเรืองเพิ่มเติมจากการศึกษาฟอสฟอรัสเพียงชนิดเดียวโดยดินก่อนปลูก หมายถึง ดินตะกอนสารส้มที่ผสมดินธรรมชาติในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการปลูกต้นดาวเรือง ขณะที่ดินหลังปลูก หมายถึง ดินตะกอนที่ผ่านการปลูกต้นดาวเรืองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ จนกระทั่งต้นดาวเรืองออกดอก โดยไออนที่ทำการศึกษประกอบด้วยความค่าเป็นกรด-ด่าง ฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ และเจลดาทัลไนโตรเจน (ไนโตรเจนรูปอินทรีย์และแอมโมเนียมไออน) ขณะที่ตอนที่ 2 จะนำดินตะกอนสารส้มมาผ่านน้ำเสียชุมชนที่มีการเติมฟอสฟอรัสเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แล้วเพิ่ม

ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินตะกอน ด้วยการนำดินตะกอนดังกล่าวไปทำการสกัดด้วยสารสกัด จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดซिटริกเข้มข้น 7 เปอร์เซนต์ และกรดซिटริกจากน้ำสัปปะรด เพื่อศึกษาผลของสารสกัดที่มีต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารลั้หลังผ่านน้ำเสียชุมชน

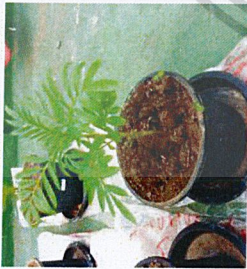
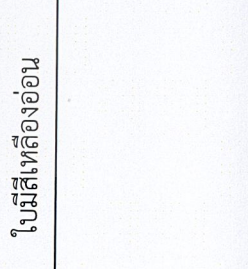
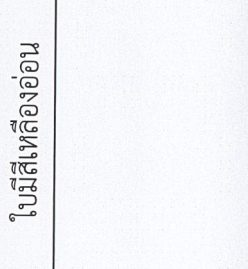
ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินตะกอนสารลั้หลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง

4.1 ผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง

4.1.1 ลักษณะทั่วไปของใบดาวเรือง

จากตารางที่ 4.1 บันทึกลักษณะทั่วไปของใบดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน โดยวิธีการสังเกตด้วยตาเปล่า ซึ่งลักษณะทั่วไปของใบดาวเรืองตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ใบมีสีเขียวอ่อน บางต้นมีอาการปลายใบเหลืองและไหม้ร่วมด้วย ทั้งนี้ลักษณะอาการที่ปรากฏอาจเกิดจากการขาดธาตุไนโตรเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเจลดาคัลไนโตรเจนในดินก่อนปลูกทั้ง 4 อัตราส่วน (รูปที่ 4.7) ที่มีไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำมาก ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของต้นดาวเรือง ขณะที่สัปดาห์ที่ 4-6 พบว่า ใบของต้นดาวเรืองเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนไปเป็นสีเขียวเข้ม เนื่องจากต้นดาวเรืองนำไนโตรเจนในดินก่อนปลูกและไนโตรเจนจากการเติมปุ๋ยในสัปดาห์ที่ 4 คือ ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน) และปุ๋ยอนินทรีย์ (ปุ๋ยสูตร 15-0-15) ไปใช้ในการเจริญเติบโต เพราะปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดนี้ มีปริมาณของไนโตรเจนค่อนข้างสูง สอดคล้องกับคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ที่อธิบายถึงการได้รับธาตุไนโตรเจนอย่างเพียงพอ จะทำให้พืชมีใบสีเขียวโตเร็ว และทำให้การออกดอกเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าพืชขาดไนโตรเจน ลำต้นจะแคระแกร็น โตช้า ใบเหลือง รวมถึงการออกดอกจะเกิดขึ้นช้า ทั้งยังสอดคล้องกับปริมาณเจลดาคัลไนโตรเจนในดินหลังปลูกที่มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญดังรูปที่ 4.7

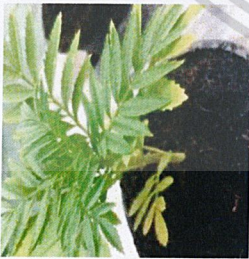
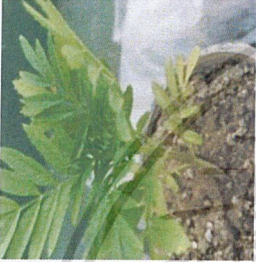
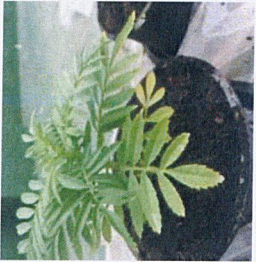
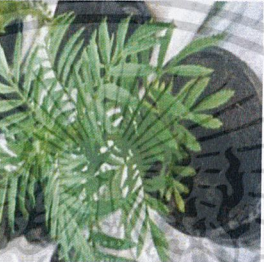
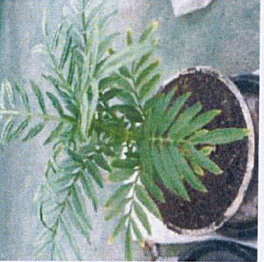
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของใบที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ

วัน/ เดือน / ปี	C (0:1)	S1 (1:0)	S2 (1:1)	S3 (1:3)
ตั้งแต่ปลูก (19 ก.พ. 2559)	 ใบมีสีเขียวอ่อน	 ใบมีสีเขียวอ่อน	 ใบมีสีเขียวอ่อน	 ใบมีสีเขียวอ่อน
	 ใบมีสีเหลืองอ่อน	 ใบมีสีเหลืองอ่อน	 ใบมีสีเหลืองอ่อน	 ใบมีสีเหลืองอ่อน
สัปดาห์ที่ 1 (20-26 ก.พ. 2559)	 ใบมีสีเหลืองอ่อน	 ใบมีสีเหลืองอ่อน	 ใบมีสีเหลืองอ่อนและไหม้	 ปลายใบมีสีเหลืองอ่อน
	 ใบมีสีเหลืองอ่อน	 ใบมีสีเหลืองอ่อน		

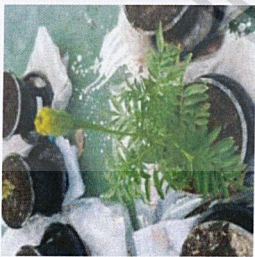
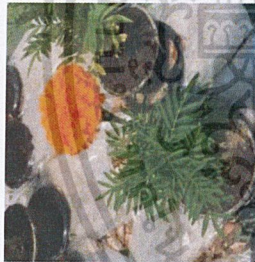
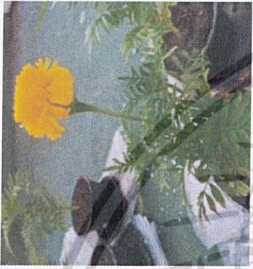
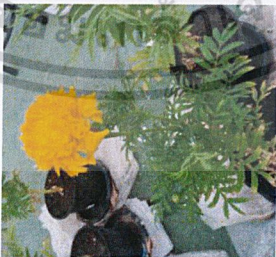
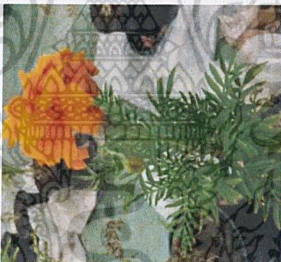
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของใบที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ (ต่อ)

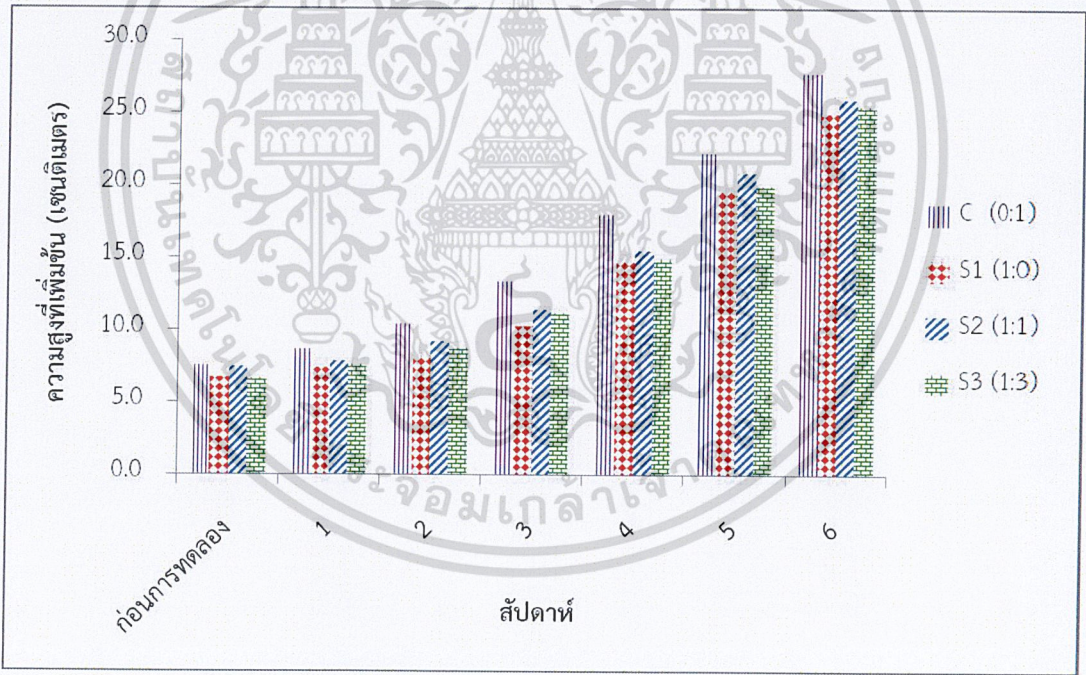
วัน/ เดือน / ปี	C (0:1)	S1 (1:0)	S2 (1:1)	S3 (1:3)
สัปดาห์ที่ 3 (5 – 11 มี.ค. 2559)	 ใบล่างปลายใบเหลือง	 ใบล่างปลายใบเหลือง	 ใบล่างปลายใบเหลือง	 ใบล่างปลายใบเหลือง
	 ใบมีสีเขียวเข้ม	 ใบมีสีเขียวเข้มและเริ่มผลิดอก	 ใบมีสีเขียวเข้ม	 ใบมีสีเขียวเข้ม
สัปดาห์ที่ 4 (12 – 18 มี.ค. 2559)				

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทั่วไปของใบที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ (ต่อ)

วัน/ เดือน / ปี	C (0:1)	S1 (1:0)	S2 (1:1)	S3 (1:3)
สัปดาห์ที่ 5 (19-25 มี.ค. 2559)	 ใบสีเขียวเข้มและเริ่มออกดอก	 ใบสีเขียวเข้มและดอกเริ่มบาน	 ใบสีเขียวเข้มและเริ่มออกดอก	 ใบสีเขียวเข้มและเริ่มออกดอก
สัปดาห์ที่ 6 (26 มี.ค.-1เม.ย.2559)	 ใบสีเขียวเข้มและดอกบานมาก	 ใบสีเขียวเข้มและดอกบานมาก	 ใบสีเขียวเข้มและดอกบานมาก	 ใบสีเขียวเข้มและดอกบานมาก

4.1.2 ความสูงของต้นดาวเรือง

ในการวัดความสูงจากพื้นดินขึ้นมาถึงกิ่งที่อยู่บนสุดหรือที่เรียกว่า “ยอด” ของต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนสารส้มผสมดินธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (1:3) พบว่า ความสูงของต้นดาวเรืองตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงสัปดาห์ที่ 3 มีค่าโดยเฉลี่ย 13.5 ± 1.6 , 10.3 ± 0.9 , 11.4 ± 1.2 และ 11.2 ± 1.6 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งดินอัตราส่วน S1 ให้ความสูงของต้นดาวเรืองต่ำที่สุด สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในรูปที่ 4.4 ที่มีฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าอัตราส่วนอื่นๆ และปริมาณของเจลตาห์ลโนโตรเจนที่อยู่ในระดับต่ำมาก (รูปที่ 4.7) ทำให้ต้นดาวเรืองแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน คือ มีลำต้นที่เตี้ยและแคระแกร็น แต่เมื่อมีการเติมปุ๋ยในสัปดาห์ที่ 4 ปรากฏว่า ต้นดาวเรืองมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ยังเตี้ยกว่าที่ปลูกในดินอัตราส่วนอื่นๆ แสดงว่า ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีส่วนช่วยให้ฟอสฟอรัสในดินทั้ง 4 อัตราส่วน มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง เนื่องจากมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถเปลี่ยนรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ รวมถึงมีปริมาณของไนโตรเจนสูงถึง 1.15 เปอร์เซ็นต์ (วิภา, 2557) ซึ่งเป็นระดับที่สูงมาก สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ และปริมาณเจลตาห์ลโนโตรเจนดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ

4.1.3 จำนวนดอกของต้นดาวเรือง

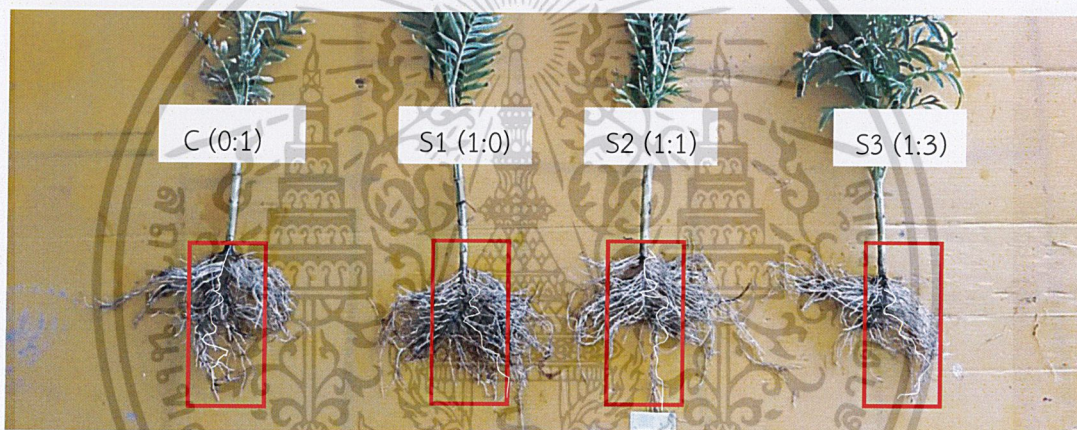
ในการบันทึกจำนวนดอกของต้นดาวเรืองจะใช้วิธีการนับจำนวนดอกที่ผลิออกมาทั้งหมด ทั้ง ดอกตูมและดอกบาน ซึ่งจำนวนดอกของดาวเรืองตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ดินอัตราส่วน C (0:1) และ S3 (1:3) ไม่มีการผลิตดอก ในขณะที่ S1 (1:0) และ S2 (1:1) มีการผลิตดอกก่อนอัตราส่วนอื่นๆ อัตราส่วนละ 1 ดอก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากต้นดาวเรืองสามารถนำธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะ ฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าอัตราส่วนอื่นๆ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หลัก รุปแลกเปลี่ยนได้ (รูปที่ 4.5) ในดินอัตราส่วน S1 และ S2 ที่มีปริมาณมากกว่าอัตราส่วน C และ S3 รวมทั้งสอดคล้องกับคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ที่อธิบายถึงบทบาทของเหล็กในดินที่มีส่วน ช่วยในการดูดซึมธาตุอาหารของพืชไว้ในลักษณะเดียวกัน และเมื่อเติมปุ๋ยลงในดินทั้ง 4 อัตราส่วน พบว่า จำนวนดอกของต้นดาวเรืองมีการผลิตดอกเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วน โดยอัตราส่วนที่ให้จำนวน ดอกสูงที่สุด คือ S2 จำนวน 5 ดอก รองลงมา คือ S1 จำนวน 4 ดอก ส่วน C และ S3 มีจำนวนเท่ากัน คือ 3 ดอก หรือโดยเฉลี่ย (C,S1,S2 และS3) มีจำนวน 2, 3, 3 และ 1 ดอก ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 ทั้งนี้อาจเกิดจากการได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน) และปุ๋ยอนินทรีย์ (ปุ๋ย สูตร 15-0-15) อย่างเพียงพอต่อความต้องการ จึงส่งผลให้ต้นดาวเรืองสามารถผลิตดอกได้ในดินตะกอน ทุกอัตราส่วน สำหรับอัตราส่วน S1 และ S2 ที่ให้ดอกมากที่สุดนั้น ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากการ ปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับอยู่กับสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็กโดยจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือนดิน ทำให้ฟอสฟอรัสถูกแลกเปลี่ยนออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น ส่งผลให้ต้น ดาวเรืองสามารถนำไปใช้ในการออกดอกได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดิน ตะกอนทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกต้นดาวเรืองที่แสดงดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 จำนวนดอกของต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ

สัปดาห์	จำนวนดอกที่มากที่สุด (ดอก)				จำนวนดอกโดยเฉลี่ย (ดอก)			
	C	S1	S2	S3	C	S1	S2	S3
ก่อนปลูก	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0
3	0	1	1	0	0	0	0	0
4	0	1	2	1	0	0	0	0
5	3	3	5	2	1	1	1	0
6	3	4	5	3	2	3	3	1

4.1.4 ลักษณะทั่วไปของรากต้นดาวเรือง

การบันทึกลักษณะทั่วไปของรากต้นดาวเรือง หลังผ่านการปลูกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในดินตะกอนสารสัผสมดินธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน โดยวิธีการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า รากแก้วและรากแขนงสามารถเจริญเติบโตได้อย่างปกติในดินตะกอนทุกอัตราส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ทั้งนี้เนื่องจากในดินตะกอนมีธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีปริมาณของฮิวมัสที่เป็นพืชต่อระบบรากค่อนข้างน้อย คือ ไม่เกิน 1-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ฮิวมัสรูปแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งยังไม่ถึงระดับของฮิวมัสที่จะแสดงความเป็นพืชต่อรากพืช สอดคล้องกับเจริญและคณะ (2540) ที่อธิบายถึงความเป็นพืชต่อระบบราก คือ ฮิวมัสจะส่งผลให้รากแคระแกร็น สั้นอ้วน มีรากแขนงแตกออกมาค่อนข้างน้อย และมีสีน้ำตาล เนื่องจากจะไปยังยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตของรากแขนงถูกยั้งยั้งและไม่สามารถงอกยาวขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการใช้ประโยชน์และการเคลื่อนย้ายธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในดิน ทำให้พืชไม่สามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตได้



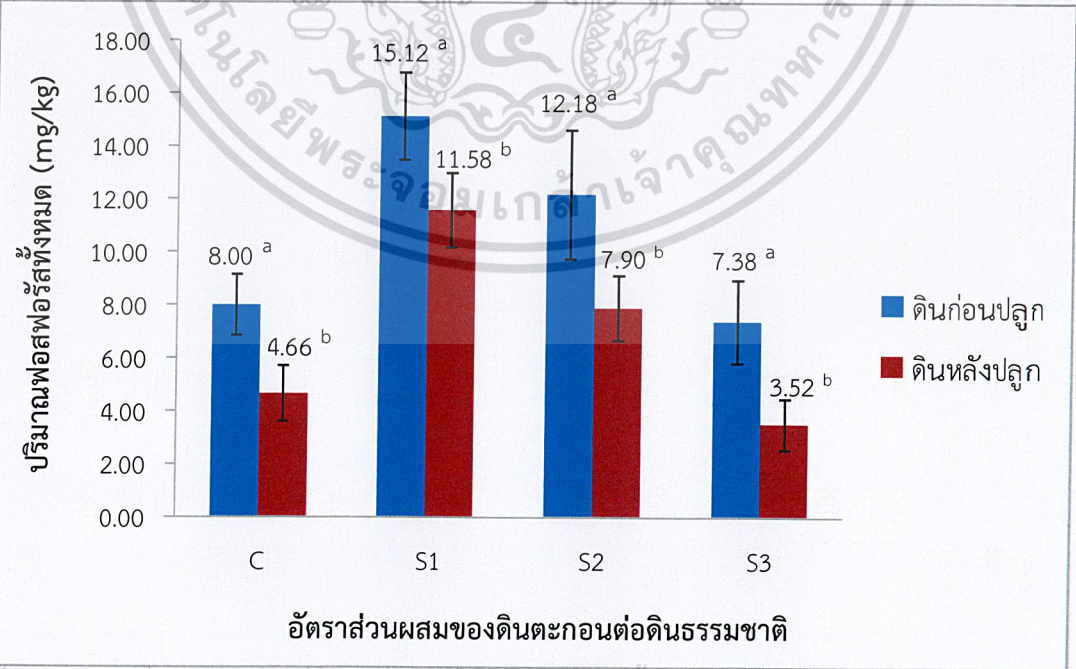
รูปที่ 4.2 ลักษณะทั่วไปของรากดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนอัตราส่วนต่างๆ ในระยะเวลา 6 สัปดาห์

4.2 ผลของโอออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ในดินตะกอนที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

4.2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate: TP) และปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable P)

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารสัผสมดินจากธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (1:3) ทั้งก่อนและหลังการปลูกดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนก่อนปลูกมีค่าโดยเฉลี่ย 8.00 ± 1.15 , 15.12 ± 1.64 , 12.18 ± 2.43 และ 7.38 ± 1.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) โดยอัตราส่วน S1 (ดินตะกอนสารสั) มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้น้อยที่สุด โดยเฉลี่ย 0.66 ± 0.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่อัตราส่วน C, S2 และ S3 มีปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้โดยเฉลี่ย 2.08 ± 0.35 , 1.50 ± 0.39 และ 1.53 ± 0.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) แสดงว่า รูปฟอสฟอรัสไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

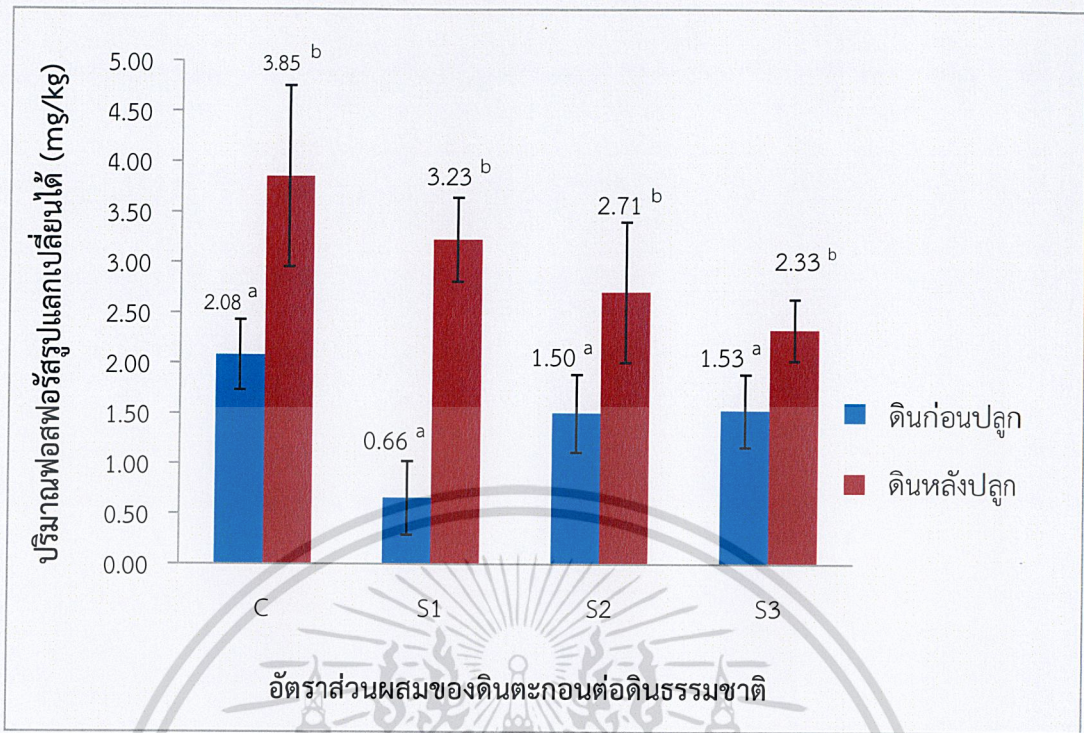
ของฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ ในดินตะกอนทุกอัตราส่วนจัดอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะอัตราส่วน S1 ที่มีฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ถูกดูดซับอยู่กับสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็ก เกิดเป็นอลูมิเนียมและเหล็กออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยากและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้น้อย ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งเรียกฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปนี้ว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัส นอกจากนี้ยังมีฟอสฟอรัสบางส่วนที่ถูกดูดซับอยู่กับซิลิโคนออกไซด์ แต่ลักษณะของการดูดซับที่เกิดขึ้นจะไม่ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของฟอสฟอรัสเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ขณะที่อัตราส่วน C อาจพบฟอสฟอรัสทั้งที่อยู่ในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ เนื่องจากเป็นดินที่มาจากธรรมชาติ โดยปริมาณของฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินทั้ง 4 อัตราส่วน ถือเป็นระดับที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำมาก คือ น้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) และเมื่อผ่านการปลูกดาวเรืองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ปรากฏว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนทุกอัตราส่วนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยเฉลี่ย 4.66 ± 1.05 , 11.58 ± 1.41 , 7.90 ± 1.22 และ 3.52 ± 0.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ที่มีความเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในดินทุกอัตราส่วนโดยเฉลี่ย 3.85 ± 0.90 , 3.23 ± 0.42 , 2.71 ± 0.70 และ 2.33 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเตส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช รวมถึงจุลินทรีย์ในกลุ่มบาซิลลัส (*Bacillus* sp.) และซูโดโมนาส (*Pseudomonas* sp.) ที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ออกมาละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัสได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสจากรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น (อาณัฐ, 2555) ส่งผลให้ต้นดาวเรืองสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้แสดงดังรูป 4.3 และ 4.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุแต่เพียงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของสิทธิ์ที่ทำการนำไปใช้

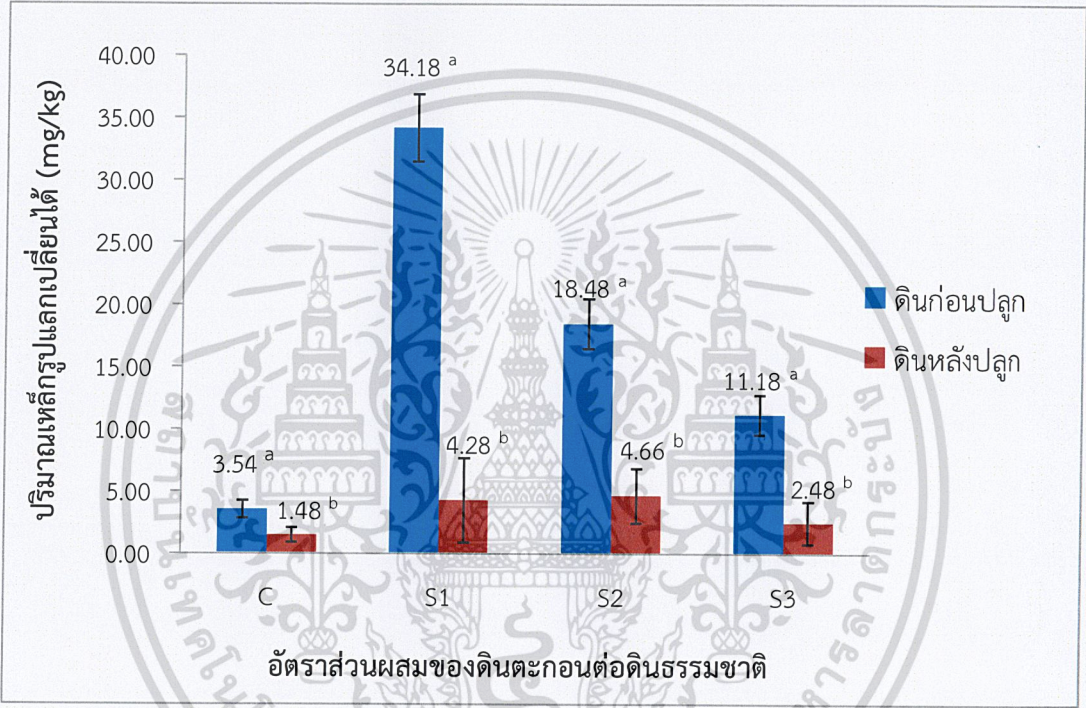


รูปที่ 4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ

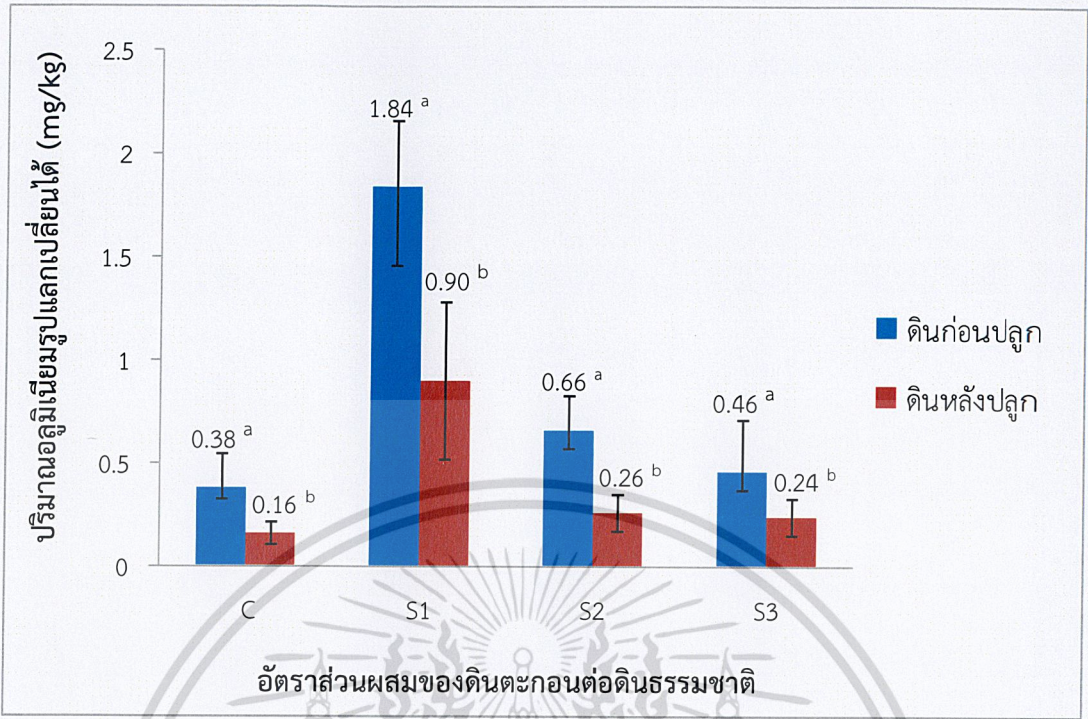
4.2.2 ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe and Al)

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารผสมดินจากธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน ทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง พบว่า ก่อนปลูกดาวเรือง ดินตะกอนอัตราส่วน S1 (1:0) มีปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้สูงที่สุดโดยเฉลี่ย 34.18 ± 2.70 และ 1.84 ± 0.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งรูปฟอร์มดังกล่าวอาจเป็นสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมที่ยังไม่เกิดการดูดซับกับฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ เหล็กและอลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ และ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมฟอสเฟต (FePO_4 หรือ AlPO_4) ที่เกิดจากการดูดซับ ร่องลงมา คือ อัตราส่วน S2 (1:1) โดยเฉลี่ย 18.48 ± 2.00 และ 0.66 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และอัตราส่วน S3 (1:3) โดยเฉลี่ย 11.18 ± 1.60 และ 0.46 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่อัตราส่วน C (0:1) มีปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้น้อยที่สุดโดยเฉลี่ย 3.54 ± 0.70 และ 0.38 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของดินตัวอย่าง C ที่มีสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ แสดงว่า มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุอยู่เป็นจำนวนมาก และมีสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมในรูปของเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้มองไม่เห็นสีแดงอิฐ ซึ่งเป็นสีแดงของเหล็กออกไซด์ หรือสีขาวของอลูมิเนียมออกไซด์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เมื่อผ่านการปลูกต้นดาวเรืองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ปรากฏว่า ปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินทุกอัตราส่วน (C, S1, S2 และ S3) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณของเหล็กมีค่าโดยเฉลี่ย 1.48 ± 0.60 , 4.28 ± 3.40 , 4.66 ± 2.20 และ 2.48 ± 1.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) ส่วนอลูมิเนียมมีค่าโดยเฉลี่ย 0.16 ± 0.05 , 0.90 ± 0.38 , 0.26 ± 0.09 และ 0.24 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) แสดงว่า ต้นดาวเรืองสามารถนำเหล็กรูปแลกเปลี่ยนไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ทั้งนี้

ปริมาณของเหล็กที่พบในดินตะกอนทุกอัตราส่วนมีค่าไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ทำให้เกิดความพิษต่อพืช เช่นเดียวกับปริมาณของอลูมิเนียมที่มีค่าไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับอลูมิเนียมจะไม่ถูกใช้ในการเจริญเติบโต แต่ต้นดาวเรืองจะนำไปสะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ แทน (เจริญ และคณะ, 2540) นอกจากนี้เหล็กที่มีอยู่ในดินยังเป็นประโยชน์ต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยเฉพาะในดินอัตราส่วน S1 ที่มีปริมาณของเหล็กมากที่สุด จึงส่งผลให้ต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินดังกล่าวมีการดูดซึมไอออนและแร่ธาตุต่างๆ ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเพียงพอจนออกดอกเร็วกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมรูปแบบเปลี่ยนแปลงได้แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



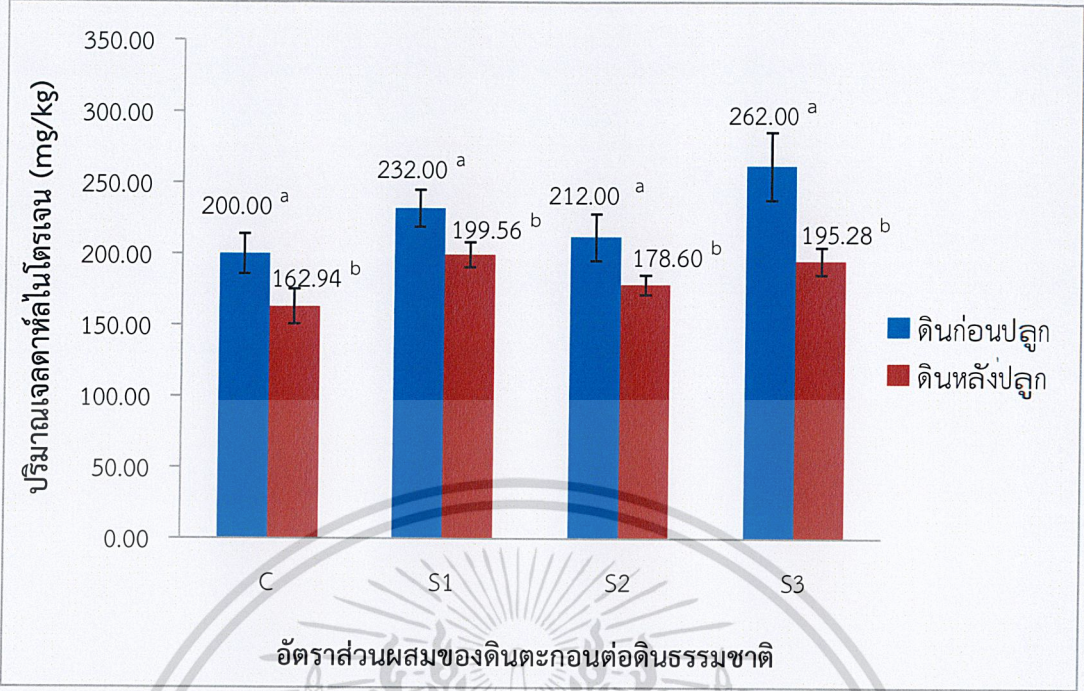
รูปที่ 4.5 ปริมาณเหล็กรูปแบบเปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.6 ปริมาณอูมิเนียรูปลูกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ

4.2.3 ปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)

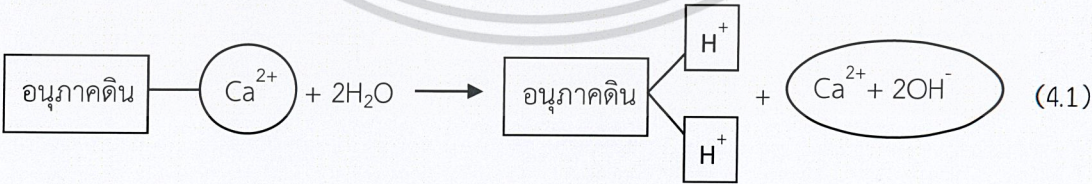
การวิเคราะห์ปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจนในดินตะกอนสารผสมดินธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน (C,S1,S2,S3) ทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง พบว่า ดินตะกอนทุกอัตราส่วน มีปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจนก่อนการปลูกโดยเฉลี่ย 200.00 ± 14.14 , 232.00 ± 13.04 , 212.00 ± 16.43 และ 262.00 ± 23.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 0.020, 0.023, 0.021 และ 0.026 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณของไนโตรเจนที่พบในดินทั้ง 4 อัตราส่วน ถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำมาก คือ น้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) สำหรับปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจนที่พบในดินตะกอนสารส้ม (อัตราส่วน S1) ส่วนใหญ่อาจมีที่มาจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนประเภทกรดฮิวมิกที่มีอยู่สูงถึง 96.4-98.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (การประปานครหลวง, 2555) ขณะที่หลังการปลูกมีปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเฉลี่ย 162.94 ± 12.19 , 199.56 ± 8.72 , 178.60 ± 6.80 และ 195.28 ± 9.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงว่าต้นดาวเรืองสามารถนำไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินทั้ง 4 อัตราส่วน ทั้งก่อนและหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน) และปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยน้ำสูตร 15-0-15) ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด เป็นปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีปริมาณของไนโตรเจนสูงถึง 1.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่สูงมาก (วิณา, 2557) ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณเจลดาทัลไนโตรเจนแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ปริมาณเจลดาท์ไนโตรเจนในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ

4.2.4 ความเป็นกรด-ด่าง

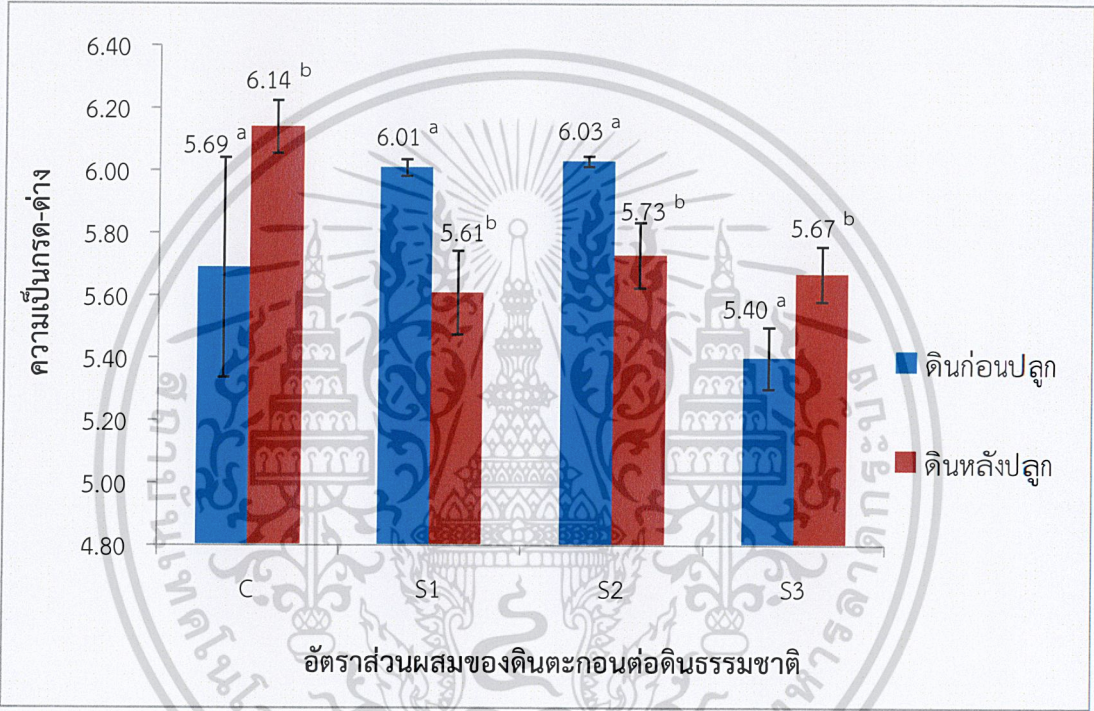
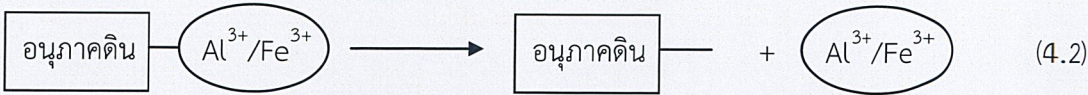
จากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนสารผสมดินจากธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน ทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง พบว่า ก่อนการปลูก ดินอัตราส่วน C และ S3 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเฉลี่ย 5.69 ± 0.35 และ 5.40 ± 0.10 ตามลำดับ ส่วนหลังการปลูก มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉลี่ย 6.14 ± 0.08 และ 5.76 ± 0.19 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำที่ใช้รดต้นดาวเรืองกับไอออนบวกที่เป็นด่างในดิน คือ แคลเซียมและแมกนีเซียม โดยน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งไฮโดรเจนไอออนจะเข้าไปแทนที่แคลเซียมและแมกนีเซียมที่ยึดติดอยู่กับอนุภาคของดิน จากนั้นไฮดรอกไซด์ไอออนจะเข้าไปจับกับแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ถูกปลดปล่อยออกมา เกิดเป็นแคลเซียมและแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น (พัชร, 2550) ดังสมการที่ 4.1



ขณะที่ดินอัตราส่วน S1 และ S2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนปลูกดาวเรือง โดยเฉลี่ย 6.01 ± 0.03 และ 6.03 ± 0.02 ตามลำดับ ส่วนหลังผ่านการปลูกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉลี่ย 5.16 ± 0.13 และ 5.73 ± 0.10 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในดินตะกอนสารส้ม (อัตราส่วน S1) มีสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็กที่ยังไม่ถูกดูดซับกับฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งสามารถละลายน้ำและแลกเปลี่ยนไอออนได้ เมื่อรดน้ำเป็นประจำทุกวัน น้ำจะทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมและเหล็กที่อยู่ในรูปของไอออน เกิดเป็นอลูมิเนียมและเหล็กไฮดรอกไซด์ และมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรสำคัญที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลง ดังสมการที่ 4.2 และ 4.3 (พัชรี, 2550) โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8



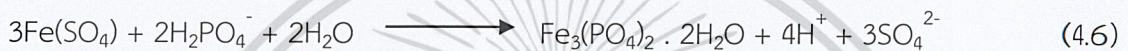
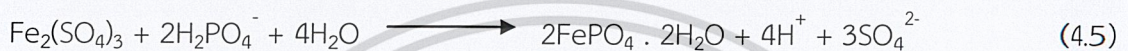
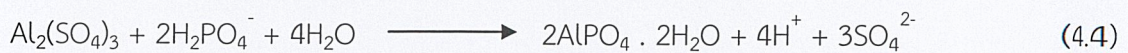
รูปที่ 4.8 ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนผสมดินธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ

ตอนที่ 2 ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่เติมลงในดินตะกอนสารส้มด้วยสารสกัดจากกรดซิตริก

- 4.3 ผลของสารสกัดจากกรดซิตริกที่มีต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียชุมชน
- 4.3.1 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)
- 4.3.1.1 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP) ในดินตะกอนสารส้ม
- 4.3.1.2 ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable P) ในดินตะกอนสารส้ม

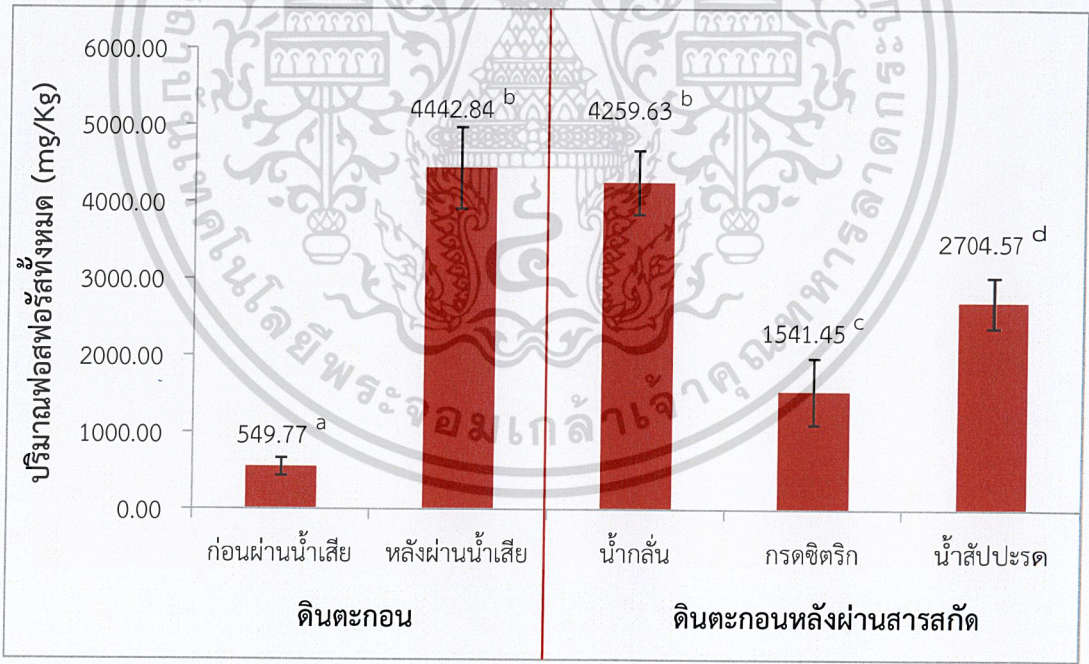
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสรูป แลกเปลี่ยนได้ โดยการนำดินตะกอนสารส้มมาผ่านน้ำเสียชุมชนที่เติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำจนมี ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า ดิน ตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (4442.84 ± 530.95^b มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สูงกว่าในดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสีย (549.77 ± 115.52^a มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนถูก ดูดซับไว้ในอนุภาคดินตะกอน โดยการตรึงร่วมกับสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียม เกิดเป็นเหล็ก และอลูมิเนียมออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยาก (กรณิกา และคณะ, 2556) ดังสมการที่ 4.4 - 4.6

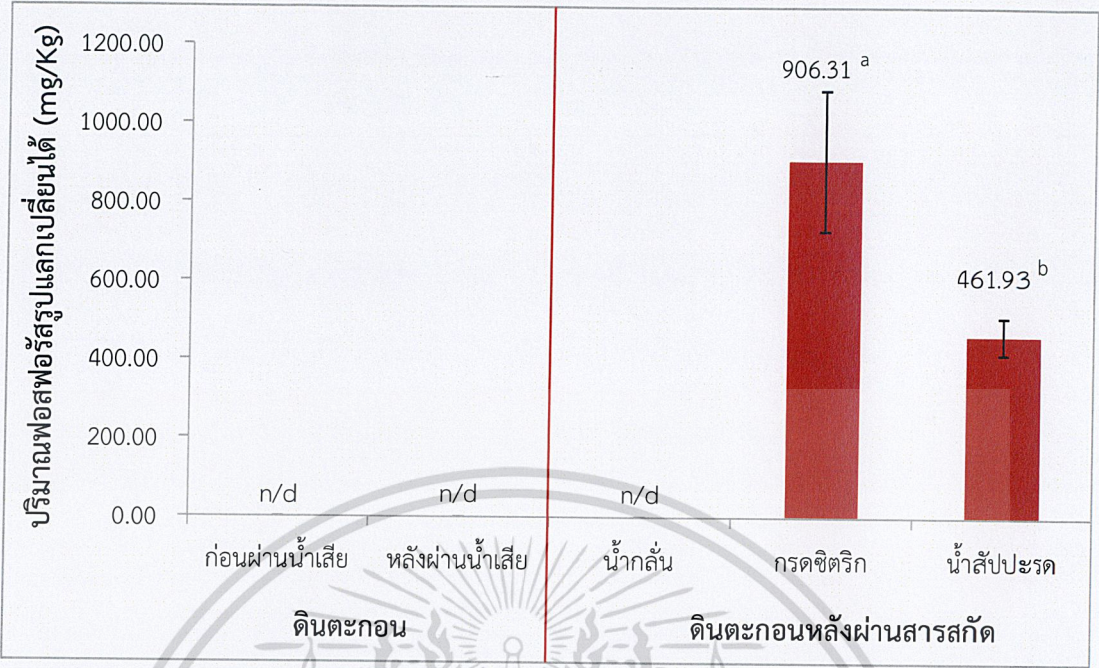


และทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของฟอสฟอรัสในดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียมีค่าน้อย มากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ เช่นเดียวกับผลของดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสียที่ตรวจวิเคราะห์ไม่ พบเช่นกัน เนื่องจากฟอสฟอรัสในดินตะกอนที่มีอยู่เดิมและฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนที่ถูกเติมลงใน ดินตะกอนถูกตรึงไว้กับสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็กในข้างต้น ทำให้ความสามารถในการแลก เปลี่ยนไอออนของฟอสฟอรัสลดลง เมื่อนำดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนไปทำการสกัดด้วยสารสกัด จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริกจากสับปะรด ปรากฏว่า ปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าใกล้เคียงกับดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสีย ชุมชน โดยเฉลี่ย 4259.63 ± 415.98^b มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (95 เปอร์เซ็นต์) แสดงว่า ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในดินตะกอนสามารถละลายน้ำออกมาได้น้อยมาก จนไม่เกิดความแตกต่างระหว่างดินตะกอนที่ผ่านการสกัดและไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำกลั่น เช่นเดียวกับ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของฟอสฟอรัสหลังผ่านการสกัดที่ไม่แตกต่างจากก่อนสกัด ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิตริกทั้ง 2 ชนิด มีค่าลดลง อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉลี่ย 1541.45 ± 433.46^c และ 2704.57 ± 328.84^d มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการสกัด ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในดินตะกอนได้ดีกว่ากรดซิตริกจากสับปะรด โดยกรดซิตริกจะแตกตัวให้ซิเตรท ไอออนและไฮโดรเจนไอออน เมื่อนำไปสกัดดินตะกอนที่มีการตรึงของฟอสฟอรัสร่วมกับสารประกอบ ของอลูมิเนียมและเหล็ก ซิเตรทไอออนจะเข้าไปแย่งจับกับอลูมิเนียมและเหล็ก เกิดเป็นสารประกอบ เชิงซ้อนอลูมิเนียมและเหล็กซิเตรท ทำให้ฟอสเฟตถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสารละลาย ขณะที่บางส่วน ยังคงตกค้างอยู่ในดินตะกอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของไอออนซิเตรทที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับ อลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟตมีไม่เพียงพอ จึงไม่สามารถเข้าแทนที่และปลดปล่อยฟอสเฟตใน ดินตะกอนออกมาอยู่ในสารละลายได้ทั้งหมด นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนที่ได้จากการแตกตัวของกรด ซิตริกยังสามารถเข้าไปแทนที่สารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียมและเหล็กซิเตรท และปลดปล่อย สารประกอบเชิงซ้อนในข้างต้น ให้ออกมาอยู่ในสารละลาย แต่อาจมีบางส่วนที่ไม่สามารถแทนที่ได้อีก จึงยังคงเหลือยึดติดกับอนุภาคดินตะกอน หรือไฮโดรเจนไอออนอาจเข้าไปแทนที่สารประกอบของบ

อลูมิเนียมและเหล็กฟอสเฟตที่มีอยู่ในดินตะกอน แล้วปลดปล่อยสารประกอบดังกล่าวออกมาอยู่ในสารละลาย จากนั้นซีดเรทไออนอนจึงจะเข้าไปจับกับอลูมิเนียมและเหล็กแทนที่ฟอสเฟต ทำให้เกิดการปลดปล่อยฟอสเฟตในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเกตนันนิภา (2556) ที่ทำการศึกษาถึงบทบาทของกรดอินทรีย์ที่ได้จากจุลินทรีย์บางชนิด เพื่อนำมาใช้ในการละลายฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ในดินได้ ขณะที่ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของฟอสฟอรัสหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิตริกทั้ง 2 ชนิด เป็นไปในลักษณะเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด คือ กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้สูงกว่ากรดซิตริกจากสับปะรด โดยเฉลี่ย คือ 906.31 ± 178.65^b และ 461.93 ± 47.08^c มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (95 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากกรดซิตริกจากสับปะรดมีปริมาณกรดซิตริกอยู่เพียง 0.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่ากรดซิตริกที่มาจากสารเคมีเกรดวิเคราะห์ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดของกรดซิตริกจากสับปะรดต่ำกว่ากรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม แม้การสกัดฟอสฟอรัสด้วยสารเคมีจะให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ในปริมาณที่สูงกว่าการสกัดด้วยสารจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดด้านราคาและชนิดของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ขณะที่สับปะรดไม่มีข้อจำกัดในข้างต้น เพราะมีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่าย โดยการรับซื้อจากร้านขายผลไม้ที่มีเหลือทิ้งตามท้องตลาด รวมทั้งยังมีธาตุอาหารสำคัญหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น (M. Camara *et al.*, 1994) ด้วยเหตุนี้จึงควรเลือกใช้กรดซิตริกที่มาจากสารธรรมชาติแทนการใช้สารเคมี ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและเป็นการนำของเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด



รูปที่ 4.9 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้ม



รูปที่ 4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม

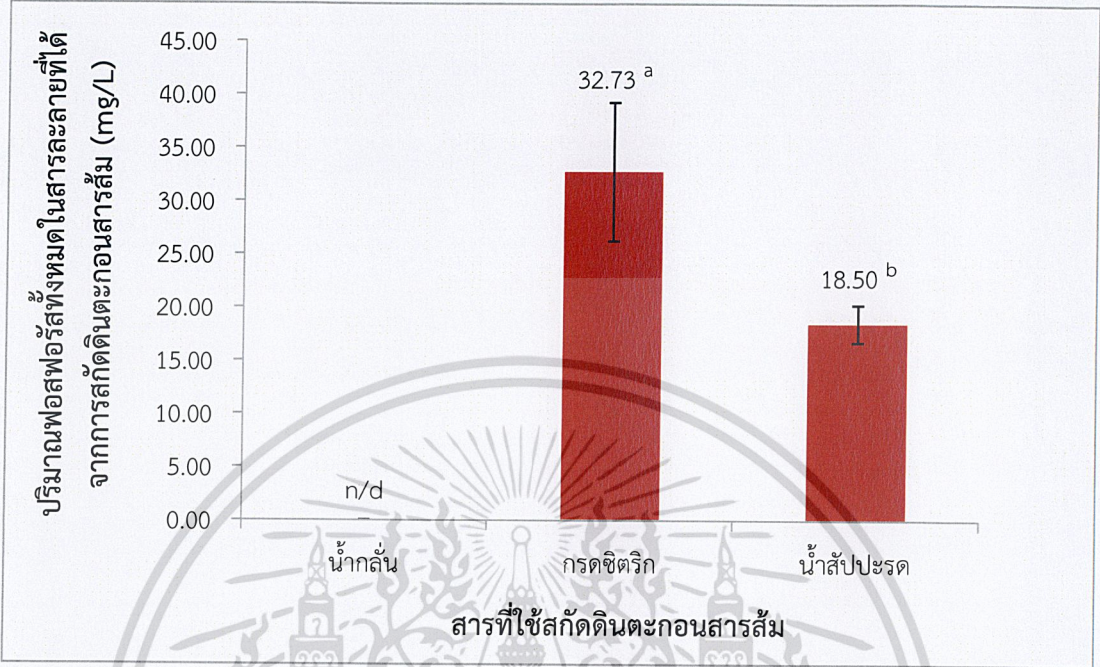
- 4.3.1.3 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus: TP) ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม
- 4.3.1.4 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ (Ortho Phosphate: OP) ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม โดยนำดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน มาสกัดด้วยน้ำกลั่น และกรดซิดริก จำนวน 2 ชนิด พบว่า สารละลายที่ได้จากการสกัดมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ เนื่องจากฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงร่วมกับสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็ก เกิดเป็นอลูมิเนียมและเหล็กออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยาก จึงละลายออกมาในน้ำกลั่นได้น้อย เมื่อนำไปสกัดด้วยกรดซิดริก 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิดริกจากสัปะรดปรากฏว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่สกัดด้วยกรดซิดริก 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิดริกจากสัปะรดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (95 เปอร์เซ็นต์) โดยเฉลี่ย 32.73 ± 6.49^b และ 18.50 ± 1.76^c มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่า กรดซิดริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการสกัดฟอสฟอรัสให้ละลายออกมามากกว่ากรดซิดริกจากสัปะรด และน้ำกลั่น เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดในข้างต้น มาวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ พบว่า สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่นไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ตรวจวิเคราะห์ไม่พบเช่นกัน ขณะที่การสกัดด้วยกรดซิดริกทั้ง 2 ชนิด ตรวจพบฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ โดยเฉลี่ย 22.03 ± 3.41^b และ 7.34 ± 1.87^c มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (95 เปอร์เซ็นต์) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทำให้ทราบว่า ฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิดริก ส่วนใหญ่อยู่

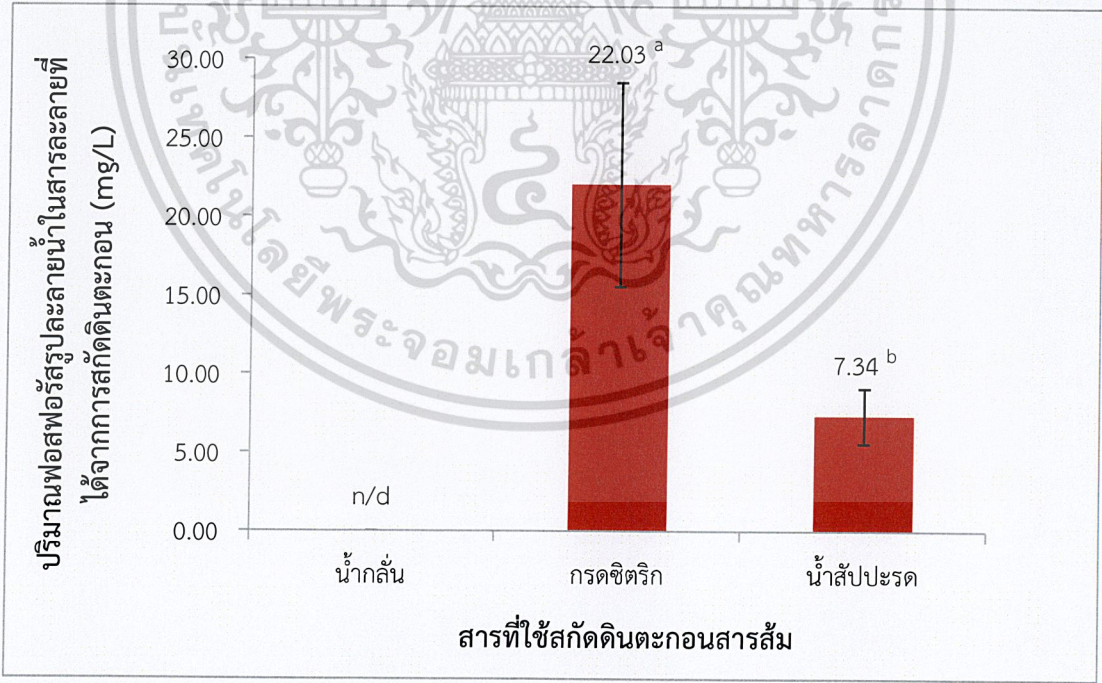
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปละลายน้ำและมีบางส่วนที่อยู่ในรูปฟอร์มอื่น เช่น อินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ด้วยขีดจำกัดของเครื่องมือ



รูปที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม



รูปที่ 4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (ความเป็นกรด-ด่าง: pH)

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (ความเป็นกรด-ด่าง : pH)

ชุดทดลอง	pH 1:5 โดยเฉลี่ย ± SD.	ความเข้มข้นของ ไฮโดรเจน (โมลาร์) * โดยเฉลี่ย ± SD.
ดินตะกอน	6.23±0.06	$5.97 \times 10^{-7} \pm 7.59 \times 10^{-8}$
ดินตะกอน + น้ำเสียชุมชน	6.02±0.11	$9.85 \times 10^{-7} \pm 2.69 \times 10^{-7}$
ดินตะกอน + น้ำเสียชุมชน + น้ำกลั่น	5.94±0.07	$1.17 \times 10^{-6} \pm 1.86 \times 10^{-7}$
ดินตะกอน + น้ำเสียชุมชน + กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	2.62±0.07	$2.40 \times 10^{-3} \pm 4.22 \times 10^{-4}$
ดินตะกอน + น้ำเสียชุมชน + กรดซิตริกจากสับปะรด	4.90±0.05	$1.27 \times 10^{-5} \pm 1.35 \times 10^{-6}$
สารสกัดน้ำกลั่น	6.12±0.09	$7.70 \times 10^{-7} \pm 1.56 \times 10^{-7}$
สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	1.27±0.08	$5.39 \times 10^{-2} \pm 9.79 \times 10^{-3}$
สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	2.45±0.04	$3.58 \times 10^{-3} \pm 2.91 \times 10^{-4}$
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอน + น้ำเสียชุมชน ด้วยสารสกัดน้ำกลั่น	5.63±0.04	$2.35 \times 10^{-6} \pm 2.16 \times 10^{-7}$
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอน + น้ำเสียชุมชน ด้วยสารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	2.18±0.04	$6.63 \times 10^{-3} \pm 6.10 \times 10^{-4}$
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอน + น้ำเสียชุมชน ด้วยสารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	4.11±0.03	$7.83 \times 10^{-5} \pm 4.56 \times 10^{-4}$

* [H⁺] ได้จากการคำนวณ

จากตารางที่ 4.3 ผลการทดลองพบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและ
หลังผ่านน้ำเสียชุมชน โดยเฉลี่ยมีค่า 6.23±0.06 และ 6.02±0.11 ตามลำดับ และมีความเข้มข้นของ
ไฮโดรเจนไอออนโดยเฉลี่ย คือ $5.97 \times 10^{-7} \pm 7.59 \times 10^{-8}$ และ $9.85 \times 10^{-7} \pm 2.69 \times 10^{-7}$ โมลาร์ ตามลำดับ
เมื่อนำดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียมาสกัดด้วยน้ำกลั่น และกรดซิตริกจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ กรดซิตริก
7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริกจากสับปะรด ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.12±0.09, 1.27±0.08 และ
2.45±0.04 ตามลำดับ ผลปรากฏว่า น้ำกลั่น ซึ่งเป็นชุดควบคุมของการทดลองมีผลต่อการเปลี่ยน
แปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพียงเล็กน้อย โดยเฉลี่ย คือ 5.94±0.07 แต่กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์
และกรดซิตริกจากสับปะรด มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลง โดยเฉลี่ย คือ 2.18±0.04
และ 4.11±0.03 ตามลำดับ และมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยเฉลี่ย $1.17 \times 10^{-6} \pm 1.86 \times 10^{-7}$,
 $2.40 \times 10^{-3} \pm 4.22 \times 10^{-4}$ และ $1.27 \times 10^{-5} \pm 1.35 \times 10^{-6}$ โมลาร์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับดินตะกอนหลัง
ผ่านน้ำเสียชุมชน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดซิตริกทั้ง 2 ชนิด มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนใน
ปริมาณมาก จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของกรดซิตริกมีค่าลดลง เมื่อนำดินตะกอนไปสกัดด้วยกรด

ซิริทริก ไฮโดรเจนไอออนจากกรดซิริทริกจึงเข้าไปแทนที่ไอออนบวกต่างๆ ในดิน ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงตามกรดซิริทริก ขณะที่สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนด้วยน้ำกลั่นมีค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเฉลี่ย 5.63 ± 0.04 และมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยเฉลี่ย คือ $2.35 \times 10^{-6} \pm 2.16 \times 10^{-7}$ โมลาร์ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิริทริกทั้ง 2 ชนิด ซึ่งมีไฮโดรเจนไอออนจากกรดซิริทริกเป็นจำนวนมาก เข้าไปแทนที่ไอออนบวกในดินตะกอน ส่งผลให้สารละลาย มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นตามชนิดของไอออนบวกที่ละลายออกมา โดยเฉลี่ย 2.18 ± 0.04 และ 4.11 ± 0.03 ตามลำดับ และมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยเฉลี่ย $5.39 \times 10^{-2} \pm 9.79 \times 10^{-3}$ และ $3.58 \times 10^{-3} \pm 2.91 \times 10^{-4}$ ตามลำดับ

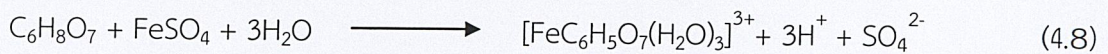
4.3.3 เหล็ก (Iron)

4.3.3.1 เหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe) ในดินตะกอนสารส้ม

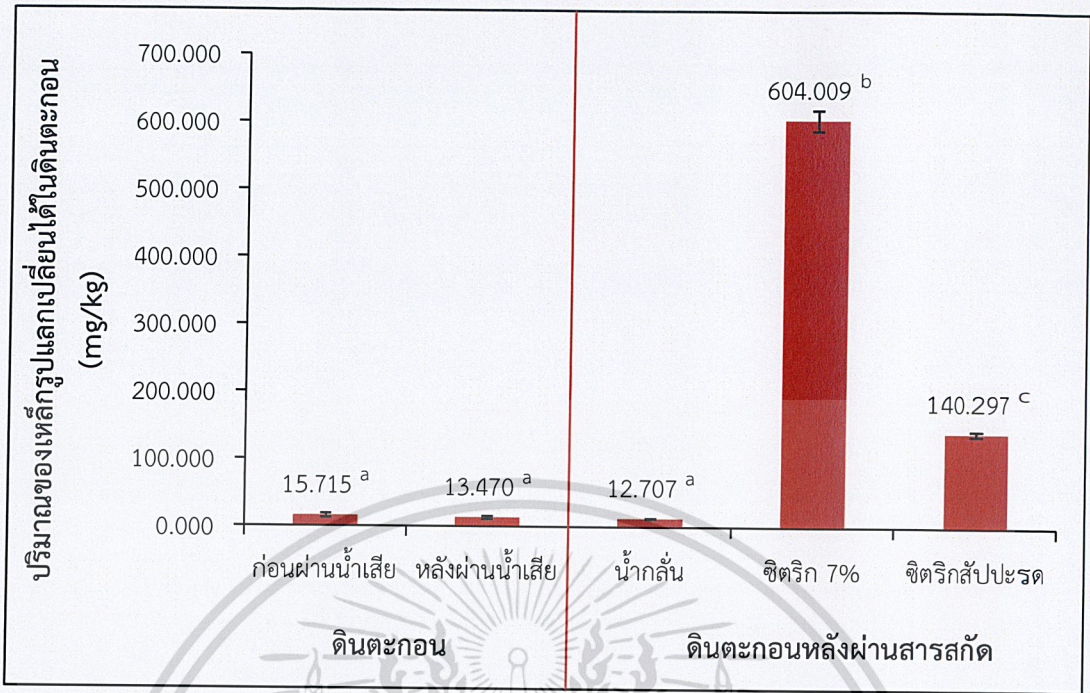
4.3.3.2 เหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe) ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

จากรูปที่ 4.13 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน ผลปรากฏว่า ดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสียชุมชนมีปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยน โดยเฉลี่ย 15.715 ± 2.980^a มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำดินตะกอนในข้างต้น ไปผ่านน้ำเสียชุมชนที่มีฟอสฟอรัสละลายน้ำความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนมีค่าลดลง โดยเฉลี่ย 13.470 ± 2.154^b มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนที่ถูกเติมลงในดินตะกอนไม่มีผลต่อปริมาณของเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟอสฟอรัสละลายน้ำที่เติมลงในดินตะกอนถูกตรึงอยู่กับสารประกอบของเหล็ก ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ หรือ FeSO_4) เกิดเป็นเฟอร์ริกฟอสเฟต (FePO_4) หรือเฟอร์ริสฟอสเฟต ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$) ซึ่งเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ยาก (กรณิกา และคณะ, 2556) ดังสมการที่ 4.5 และ 4.6 (การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส) แต่การตรึงของฟอสฟอรัสกับสารประกอบของเหล็กในดินตะกอน อาจเกิดขึ้นน้อยกว่าที่ถูกตรึงร่วมกับสารประกอบของอลูมิเนียม เนื่องจากฟอสฟอรัสจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบของอลูมิเนียมได้ไวกว่าสารประกอบของเหล็ก จึงเหลือสารประกอบของเหล็กในรูปที่ไม่ถูกตรึงกับฟอสฟอรัส คือ เฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) หรือเฟอร์ริสซัลเฟต (FeSO_4) ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าเฟอร์ริกฟอสเฟตหรือเฟอร์ริสฟอสเฟต ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็กในดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนไม่แตกต่างจากก่อนผ่านน้ำเสีย เมื่อนำดินตะกอนในข้างต้นไปทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น และกรดซิริทริกจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ กรดซิริทริก 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิริทริกจากสับปะรด พบว่า ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนหลังสกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าลดลง โดยเฉลี่ย 12.707 ± 0.500^a มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (95 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนก่อนทำการสกัด แสดงว่า น้ำกลั่นไม่มีผลต่อปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยน แม้จะมีสารประกอบของเหล็กบางรูปแบบที่สามารถถูกแลกเปลี่ยนออกมาอยู่ในสารละลายได้ เช่น เฟอร์ริสซัลเฟต แต่มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ส่วนดินตะกอนหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิริทริกทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนในดินตะกอน โดยเฉลี่ยสูงถึง 604.009 ± 15.503^b และ 140.297 ± 3.579^c มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (95 เปอร์เซ็นต์) เช่นเดียวกับสารละลายที่ได้จากการสกัดที่มีปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ (รูปที่ 4.14) โดยเฉลี่ย 405.885 ± 81.688^b และ 44.083 ± 0.161^c ไปใช้

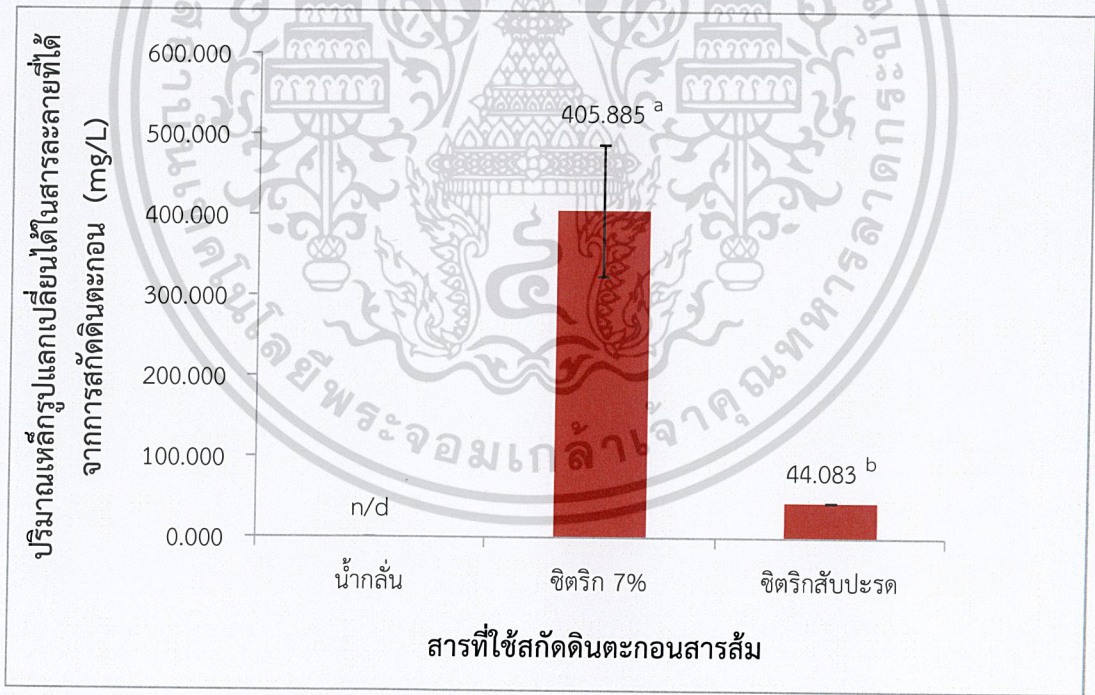
มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่า กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็ก และให้ปริมาณที่สูงกว่ากรดซิตริกจากสับปะรด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่อธิบายถึงประสิทธิภาพในการสกัดที่ต่ำกว่าของกรดซิตริกจากสับปะรด ตลอดจนเหตุผลที่ควรเลือกใช้สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรดแทนการใช้กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างดินตะกอนสารส้มและสารสกัดจากกรดซิตริกทั้ง 2 ชนิด แสดงดังสมการที่ 4.7 และ 4.8



จากสมการ พบว่า กรดซิตริกเกิดการแตกตัวให้ซิเตรทไอออน และไฮโดรเจนไอออน ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดมีค่าลดลง เมื่อนำไปสกัดดินตะกอนจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ (2.62 ± 0.07) และกรดซิตริกจากสับปะรด (4.90 ± 0.05) มีค่าต่ำกว่า 6 ซึ่งเป็นค่าที่เหล็กสามารถถูกแลกเปลี่ยนออกมาได้ (เจริญ และคณะ, 2540) โดยซิเตรทไอออนจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตและซัลเฟตที่ถูกตรึงอยู่กับสารประกอบของเหล็ก เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฟอร์ริซิเตรทหรือเฟอร์ริซิเตรทที่สามารถแลกเปลี่ยนออกมาได้ง่าย และเมื่อสารประกอบเชิงซ้อนในข้างต้น ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออนอีกครั้ง จะเกิดการแลกเปลี่ยนออกมาอยู่ในสารละลาย ขณะที่บางส่วนยังคงยึดติดอยู่กับอนุภาคดินตะกอน รวมถึงมีการปลดปล่อยฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) และซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ให้ออกมาอยู่ในสารละลายด้วยเช่นกัน หรือไฮโดรเจนไอออนอาจเข้าไปแทนที่สารประกอบของเหล็กฟอสเฟตและเหล็กซัลเฟต แล้วปลดปล่อยสารประกอบในข้างต้นออกมาอยู่ในสารละลายก่อน จากนั้นซิเตรทไอออนจึงจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตและซัลเฟต ทำให้มีฟอสเฟตไอออนและซัลเฟตไอออนถูกปลดปล่อยออกมา นอกจากนี้ในกรณีที่สารประกอบของเหล็กมีปริมาณมากเกินความต้องการของพืช จะส่งผลให้พืชแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากเหล็กได้ สำหรับปริมาณของเหล็กที่พืชได้รับแล้วไม่แสดงอาการเป็นพิษ คือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (เจริญ และคณะ, 2540) แต่ปริมาณไอออนของเหล็กที่แลกเปลี่ยนออกมาได้ในดินตะกอนหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิตริกจากสับปะรดมีสูงถึง $140.297 \pm 3.579^{\circ}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจากงานวิจัยของ F. Fodor *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นพิษของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเหล็กและซิเตรทไอออนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าว สามารถลดความเป็นพิษของเหล็กที่มีต่อพืชได้ เมื่อเทียบกับสารประกอบของเหล็กในรูปไอออนอิสระ คือ เฟอร์ริสและเฟอร์ริไอออน (Fe^{2+} และ Fe^{3+})



รูปที่ 4.13 ปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้ม



รูปที่ 4.14 ปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

4.3.4 อลูมิเนียม (Aluminium)

4.3.4.1 อลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al) ในดินตะกอนสารส้ม

4.3.4.2 อลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al) ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

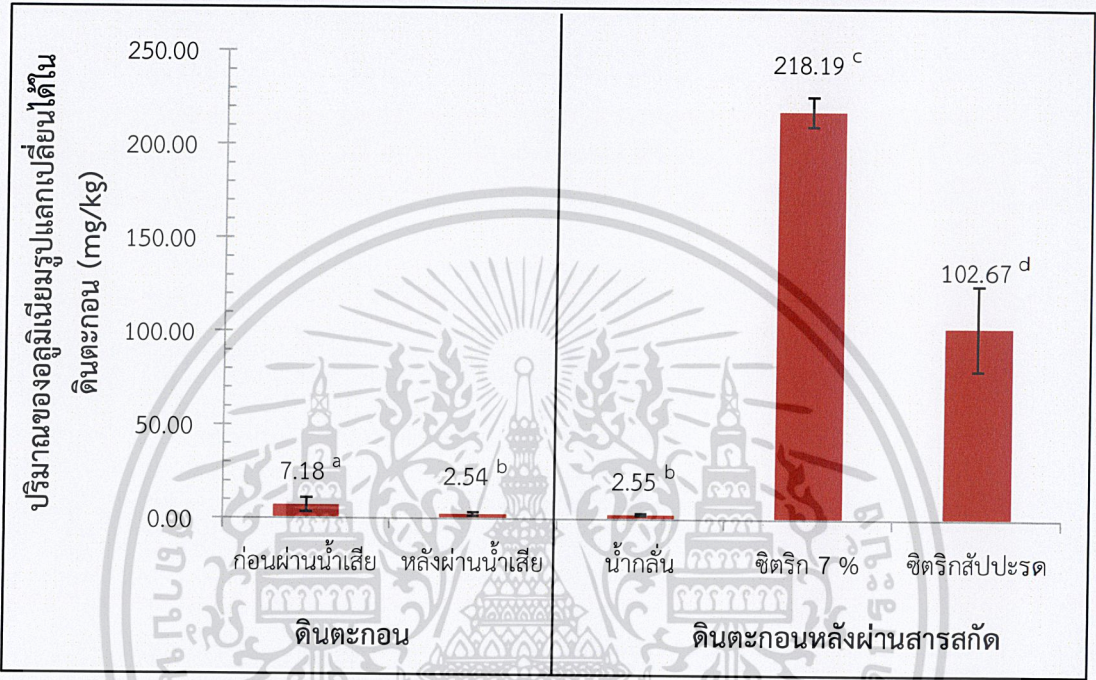
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน โดยดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสียชุมชนมีปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้โดยเฉลี่ย 7.18 ± 3.69^a มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำดินตะกอนดังกล่าว ไปผ่านน้ำเสียชุมชนที่มีการเติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ ปรากฏว่า ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลง โดยเฉลี่ย 2.54 ± 0.84^b มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ฟอสฟอรัสมีผลต่อปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม เนื่องจากถูกตรึงร่วมกับสารประกอบของอลูมิเนียม ($Al_2(SO_4)_3$) และเกิดเป็นอลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) ซึ่งเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ยาก (กรณิกา และคณะ, 2556) ดังสมการที่ 4.4 (การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส) แต่การตรึงของฟอสฟอรัสกับสารประกอบของอลูมิเนียมในดินตะกอน อาจเหลือสารประกอบของอลูมิเนียมบางส่วนที่ยังไม่ถูกตรึงกับฟอสฟอรัส คือ อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าอลูมิเนียมฟอสเฟต เมื่อนำดินตะกอนดังกล่าว ไปทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น และกรดซิตริก จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริกจากสับปะรด พบว่า ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนหลังสกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าใกล้เคียงกับก่อนสกัด โดยเฉลี่ย 2.55 ± 0.58^b มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (95 เปอร์เซ็นต์) แสดงว่า น้ำกลั่นไม่มีผลต่อปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยน และมีสารประกอบของอลูมิเนียมบางรูปฟอร์มที่สามารถละลายน้ำออกมาได้น้อยมาก เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต จนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ส่วนดินตะกอนหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิตริกทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน โดยเฉลี่ย 218.19 ± 7.97^c และ 102.67 ± 22.71^d มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (95 เปอร์เซ็นต์) เช่นเดียวกับสารละลายที่ได้จากการสกัดที่มีปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้โดยเฉลี่ย 5.64 ± 0.68^b และ 3.08 ± 0.21^c มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่า กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของอลูมิเนียมและให้ปริมาณที่สูงกว่ากรดซิตริกจากสับปะรด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ 4.4.3 ปริมาณเหลือรูปแลกเปลี่ยนได้ทั้งในดินตะกอนและในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนที่อธิบายถึงประสิทธิภาพในการสกัดที่ต่ำกว่าของกรดซิตริกจากสับปะรด ตลอดจนเหตุผลที่ควรเลือกใช้สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด ซึ่งเป็นสารจากธรรมชาติมากกว่ากรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นสารเคมีเกรดวิเคราะห์ สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการสกัดด้วยกรดซิตริกทั้ง 2 ชนิด แสดงดังสมการที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเหลือรูปแลกเปลี่ยนได้ แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่อลูมิเนียมสามารถแลกเปลี่ยนออกมาได้จะแตกต่างจากเหลือ คือ มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 (เจริญ และคณะ, 2540)

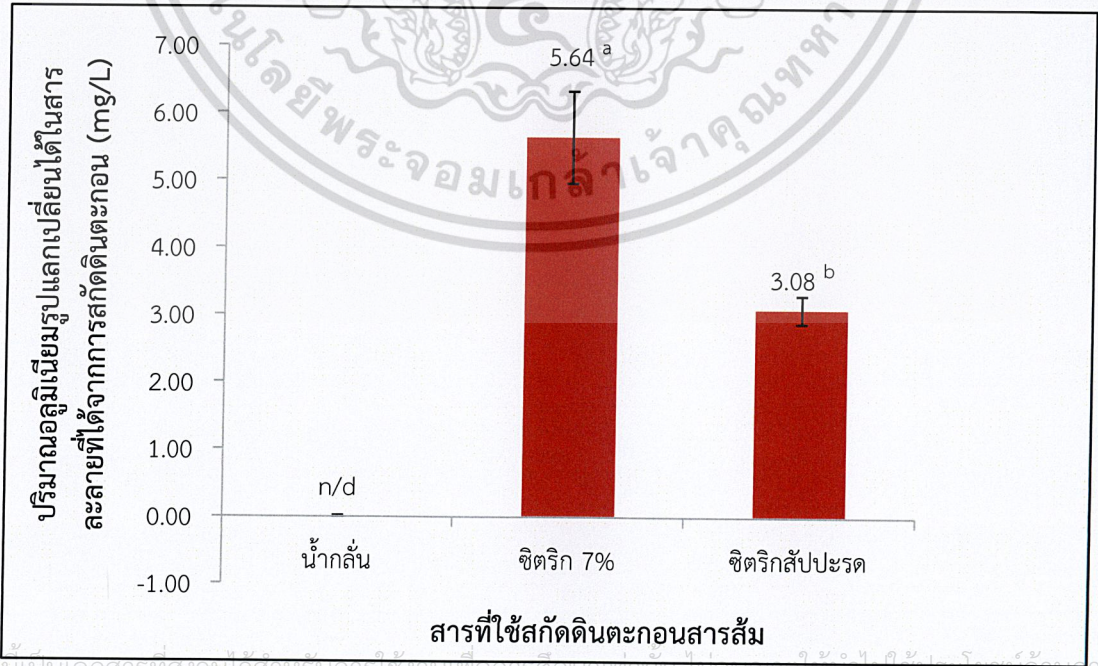


เอกสารนี้เป็นทั้งนี้ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้หลังการสกัดด้วยกรดซิตริกจากสับปะรดโดยเฉลี่ยมีสูงถึง 97.95 ± 0.125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งโดยทั่วไป พืชไม่ใช้อลูมิเนียมในการเจริญเติบโต แต่

อลูมิเนียมสามารถสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืชได้ และจะแสดงอาการเป็นพิษ เมื่อมีสารประกอบของอลูมิเนียมสูงเกินไป ซึ่งจากงานวิจัยของ Jian Feng Ma. (2000) ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นพิษของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอลูมิเนียมและซิเตรทไอออนที่มาจากกรดอินทรีย์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวสามารถลดความเป็นพิษของอลูมิเนียมที่มีต่อรากพืชได้ดีกว่าสารประกอบของอลูมิเนียมในรูปไอออนอิสระ คือ อลูมิเนียมไอออน (Al^{3+})



รูปที่ 4.15 ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม



รูปที่ 4.16 ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์และเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย โดยนำดินตะกอนสารส้มมาผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ (OP) แล้วจึงนำดินตะกอนดังกล่าวไปผสมกับดินจากธรรมชาติในอัตราส่วนที่ต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง ผลการทดลองพบว่า ใบของต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินตะกอนผสมดินธรรมชาติทั้ง 4 อัตราส่วน ได้แก่ C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (1:3) ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงสัปดาห์ที่ 3 ให้ผลการเจริญเติบโตที่เหมือนกันในทุกอัตราส่วน คือ ใบเปลี่ยนจากสีเขียวตอนเริ่มปลูกไปเป็นสีเหลืองอ่อนเกือบทั้งต้น ขณะที่บางต้นแสดงอาการปลายใบเหลืองและไหม้ร่วมด้วย แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยในสัปดาห์ที่ 4 ปรากฏว่า ใบที่เคยเป็นสีเหลืองกลับเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม และมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกอัตราส่วน โดยอัตราส่วนที่ทำให้ต้นดาวเรืองมีความสูงมากที่สุด คือ อัตราส่วน C และต่ำที่สุด คือ อัตราส่วน S1 ส่วนผลการออกดอก พบว่า อัตราส่วน S2 ให้จำนวนดอกมากที่สุด (5 ดอก) รองลงมาเป็น S1 (4 ดอก) ส่วน C และ S3 ให้จำนวนดอกเท่ากัน (3 ดอก) ขณะที่รากแก้วและรากแขนงมีการงอกและแผ่กระจายได้อย่างปกติ ซึ่งให้ผลเหมือนกันในดินทุกอัตราส่วน ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า ต้นดาวเรืองสามารถเจริญเติบโตได้ในดินตะกอนทุกอัตราส่วนภายใต้การสภาวะการทดลองที่เหมือนกัน แต่ดินตะกอนสารส้มผสมดินธรรมชาติอัตราส่วน 1:1 (S2) จะให้จำนวนดอกและความสูงที่มากกว่าการปลูกต้นดาวเรืองในดินตะกอนสารส้มเพียงอย่างเดียว

หลังจากนั้นจึงนำดินตะกอนสารส้มผสมดินธรรมชาติทั้ง 4 อัตราส่วนมาวิเคราะห์หาปริมาณไอออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในดินตะกอนทั้งก่อนและหลังผ่านการปลูกดาวเรืองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า อัตราส่วน S1 (ดินตะกอนสารส้ม) มีปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมากที่สุด ตรงข้ามกับปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำมากเช่นเดียวกับอัตราส่วนอื่นๆ แสดงว่า ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในดินทั้ง 4 อัตราส่วนจัดอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะอัตราส่วน S1 ที่มีฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ถูกดูดซับอยู่กับสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็ก แต่เมื่อผ่านการปลูกดาวเรืองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ปรากฏว่าปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนทุกอัตราส่วนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้กลับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่สามารถเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ส่งผลให้ต้นดาวเรืองนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ทุกอัตราส่วน ขณะที่การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ พบว่า ดินอัตราส่วน S1 มีปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ก่อนปลูกดาวเรืองสูงที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ส่วนดินหลังปลูกมีปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกอัตราส่วน แสดงว่า ต้นดาวเรืองมีการนำเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในอัตราส่วน S1 ที่มีปริมาณของเหล็กมากที่สุด ซึ่งมีส่วนช่วยในการดูดซึมไอออนและแร่ธาตุต่างๆ ในดินจนเพียงพอต่อความต้องการของต้นดาวเรือง ส่งผลให้ต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินอัตราส่วน S1 ออกดอกเร็วกว่าดินอัตราส่วนอื่นๆ ขณะที่อลูมิเนียมจะถูกนำไปสะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ แทนการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่มีอยู่ในปริมาณน้อย ซึ่งยังไม่ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับที่เป็นพิษต่อรากพืช สอดคล้องกับลักษณะของรากดาวเรืองที่ยังคงเจริญเติบโตได้อย่างปกติ ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณเจลาทาลโนโตรเจนในดินทั้ง 4 อัตราส่วน ถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ส่งผลให้ต้นดาวเรืองแสดงอาการขาดไนโตรเจนในช่วงสัปดาห์ที่ 1-3 ขณะที่หลังการปลูกมีปริมาณเจลาทาลโนโตรเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกอัตราส่วน แสดงว่า ต้นดาวเรืองสามารถนำไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินทั้งก่อนและหลังผ่านการใส่ปุ๋ยไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ สอดคล้องกับลักษณะของใบในช่วงสัปดาห์ที่ 4 - 6 ที่มีสีเขียวเข้ม ส่วนผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า อัตราส่วน C และ S3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการปลูกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งต่างจากอัตราส่วน S1 และ S2 ที่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามปริมาณของไอออนและแร่ธาตุต่างๆ ในดินตะกอนทั้ง 4 อัตราส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตั้งแต่ก่อนการปลูกจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ล้วนส่งผลต่อลักษณะของใบ ความสูงของลำต้น จำนวนดอกที่ออก และลักษณะของราก โดยทำให้ต้นดาวเรืองสามารถเจริญเติบโตได้อย่างปกติในดินตะกอนสารผสมดินจากธรรมชาติในทุกอัตราส่วน

ต่อมาได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสที่ถูกเติมลงในดินตะกอนสารส้ม โดยใช้สารสกัดจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดซิตริกเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริกจากสับปะรด ผลการทดลองพบว่า ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนที่มีการเติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าก่อนผ่านน้ำเสียชุมชน แต่ฟอสฟอรัสที่พบส่วนใหญ่ทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียไม่อยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และเมื่อเติมสารสกัดชนิดต่างๆ ลงในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย ปรากฏว่า กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสในดินตะกอน โดยพบฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้และฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำสูงกว่าการสกัดด้วยกรดซิตริกจากน้ำสับปะรด นอกจากนี้ยังมีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็กและอลูมิเนียม โดยสามารถปลดปล่อยสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมให้ถูกแลกเปลี่ยนออกมามากขึ้น ซึ่งจะพบปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนหลังผ่านการสกัดสูงขึ้นกว่าเดิม ขณะที่บางส่วนถูกแลกเปลี่ยนออกมาอยู่ในสารละลายที่ได้จากการสกัด รวมถึงมีผลต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินตะกอนและสารละลายที่ได้จากการสกัดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าต่ำลง ส่วนน้ำกลั่นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้ม อย่างไรก็ตาม แม้กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสารเคมีกรดวิเคราะห์ จะให้ประสิทธิภาพในการสกัดที่ดีกว่ากรดซิตริกจากสับปะรด แต่มีข้อจำกัดด้านราคาและชนิดของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง ขณะที่กรดซิตริกจากสับปะรดไม่มีข้อจำกัดดังกล่าว ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สารสกัดกรดซิตริกจากธรรมชาติในการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสที่ถูกเติมลงในดินตะกอนสารส้มแทนการใช้สารเคมี ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย และเป็นการนำสับปะรดเหลือทิ้งตามท้องตลาดมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำดินตะกอนสารส้มมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง เช่น น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ โรงงานนม และร้านอาหาร เป็นต้น ก่อนจะนำไปปลูกต้นดาวเรืองหรือไม้ตัดดอกชนิดอื่นๆ เพราะมีธาตุอาหารและสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และโพแทสเซียม โดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นดาวเรือง ยกเว้นฟอสฟอรัสที่อาจต้องใส่ลงไปเพิ่มเติม เนื่องจากถูกตรึงร่วมกับสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็ก เกิดเป็นอลูมิเนียมและเหล็กที่ละลายน้ำและแลกเปลี่ยนไอออนได้ยากขึ้น ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้

2. ควรศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดซิตริกจากสับปะรดที่เติมลงในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองหรือไม้ตัดดอกชนิดอื่นๆ

3. การเติมกรดซิตริกจากสับปะรดลงในดินตะกอนสารส้มจะทำให้ไอออนต่างๆ ในดินตะกอนถูกแลกเปลี่ยนออกมาอยู่ในสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วย จึงควรกักสารละลายหลังผ่านการสกัดไว้กับดินตะกอน และปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติโดยอาศัยความร้อนจากแสงแดด จะทำให้ไอออนต่างๆ ยังคงอยู่บนภาคดินตะกอน แล้วจึงค่อยนำไปปลูกดาวเรืองหรือไม้ตัดดอกชนิดอื่นๆ

4. ควรศึกษาความเป็นพิษของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างซิเตรทไอออนและสารประกอบของอลูมิเนียมหรือสารประกอบของเหล็ก ซึ่งได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด โดยนำดินตะกอนดังกล่าวไปปลูกดาวเรืองหรือไม้ตัดดอกชนิดอื่นๆ เพื่อศึกษาความเป็นพิษของอลูมิเนียมและเหล็กที่มีต่อระบบรากและใบของต้นดาวเรือง

5. ควรศึกษาชนิดของไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยสารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรดให้หลากหลายมากขึ้น เช่น โปแทสเซียมรูปแลกเปลี่ยนได้ เจลดาห์ลไนโตรเจน (TKN) และโลหะหนักที่ปนมากับน้ำเสียชุมชน เป็นต้น

6. ควรศึกษาผลของการใช้จุลินทรีย์ในน้ำหมัก (อีเอ็ม) มาสกัดดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนแทนการใช้กรดซิตริกจากสับปะรดเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในน้ำหมักมีจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งอาจมีส่วนช่วยในการเปลี่ยนรูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสในดินตะกอน และยังไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรณิกา ใจเขียว, ขวัญใจ ตระกูลดี และขวัญชัย พันทุกซ์. 2556. รูปฟอร์มฟอสฟอรัสในคอลัมน์
ตะกอนสารส้มหลังจากผ่านการบำบัดน้ำเสีย. โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยา-
ศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 94 หน้า.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. [Online].
Available: <http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>.
เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ก.พ. 2559.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2554. ระบบบำบัดมลพิษน้ำ.
พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ. หน้า 5-12, 5-30.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545. การปลูกดาวเรือง. [Online]. Available:
<http://agrimedia.agritech.doe.go.th/book/book-flowers/MM005.pdf>.
เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ก.พ. 2559.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556. องค์ความรู้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสู่การเป็น smart officer :
ไม่ดกไม่ประดับ. [Online]. Available:
<http://agrimedia.agritech.doe.go.th/book/book-handbook/10.pdf>.
เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ก.พ. 2559.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัด
น้ำเสียชุมชน. [Online]. Available:
[http://km.reo15.net/index.php?option=com_fireboard&Itemid=2&func=](http://km.reo15.net/index.php?option=com_fireboard&Itemid=2&func=view&catid=6&id=23)
[view&catid=6&id=23](http://km.reo15.net/index.php?option=com_fireboard&Itemid=2&func=view&catid=6&id=23). เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ก.พ. 2559.
- การประปานครหลวง. 2555. กรรมวิธีผลิตน้ำประปา. [Online]. Available:
[http://www.mwa.co.th/main.php?filename=treat water](http://www.mwa.co.th/main.php?filename=treat%20water).
เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 ก.พ. 2559.
- กัลยาณี สุไชนี่, จิตรา ธีระปัญญาชัย และณริศา ตั้งทองปั้น. 2556. ไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์
ของการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยตะกอนสารส้ม.โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยา-
ศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 70 หน้า.
- เกตนัดนิภา วันชัย. 2556. การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ตรึงอยู่บนวัสดุชนิดต่างๆ ในการ
ปรับปรุงคุณภาพดินนาข้าวที่เกิดอุทกภัย กรณีศึกษา : อ.บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา.
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. 86 หน้า.
- ชนิษฐา เซะวิเศษ, จิตติมา โพนะตะ และนิสร พนมพร. 2555. การกำจัดฟอสเฟตด้วยตะกอน
สารส้ม. โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 69 หน้า.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อาจนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์
คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
ไม่ว่ากรณีใดๆ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตร. 547 หน้า.

จินดารัตน์ วีระวุฒิ. 2541. สับปรดและและสรีระวิทยาการเจริญเติบโตของสับปรด. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 159 หน้า.

จิระพร เขยชิด, ชุติมาศ บุญไทย อีวาย และมงคล ต๊ะอูน. 2556. อิทธิพลของน้ำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อการเร่งการเจริญเติบโตของรากและการแตกตาข้างของมันสำปะหลัง 3 พันธุ์. สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 298-301.

เจริญ เจริญจำรัสชีพ, กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์. 2540. การจัดการดินกรดในประเทศไทย กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน. 120 หน้า.

ชัยวัฒน์ วรพิบูลพงศ์. 2547. โครงการแนวคิดการทำวิจัยการใช้ตะกอนจากการผลิตน้ำประปาให้เป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ. [Online]. Available: http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=469. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 มี.ค. 2559.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, จารุรัตน์ วรนิสรากุล, อุดร จารุรัตน์ และเฉลิมราช วันทวิน. 2541. แนวทางการลดปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนจากการใช้ผงซักฟอก. กรมควบคุมมลพิษ. หน้า 39-43.

นภา วัฒนยง. 2544. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการขั้นที่ 2 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโคแทน. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 202 หน้า.

บริษัททองเฉลิมโกลด์ จำกัด. 2551. การปลูกดาวเรือง. [Online]. Available: <http://www.thongchaloem.com/customize--43907-1.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 มี.ค. 2559.

ปัทมา วิทยากร. 2543. ความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นสูง. ขอนแก่น : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 423 หน้า.

เพ็ญ สุขมาก. 2543. การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจากน้ำเสียโรงอาหารทะเลกรองโดยระบบเอส บี อาร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 256 หน้า.

พัชรี อีร์จินดาขจร. 2550. pH ของดินกับความต้องการปูนของดินกรด. ข่าวสารเกษตรศาสตร์ ปีที่ 52 ฉบับที่ 3. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 74-84.

พัชรี อีร์จินดาขจร. 2554. คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 269 หน้า.

พหล รักสำรวจ, ศุภิมา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และวันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล. 2555. การใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินองครักษ์ที่มีปูนตกค้าง. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 27-36.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 344 หน้า.

อยุทธ ใสสุตสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 412 หน้า. และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์ณิโรจน์ และชวลิต ชงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 519 หน้า.
- วีณา นิลวงศ์. 2557. การศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินท้องถิ่นไทยที่ผลิตจากขยะอินทรีย์ต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 60 หน้า.
- วาทวัน สิงหพงษ์, วิษวาทัน บุญคุ้ม และอภิรักษ์ โฮจัน. 2556. การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียชุมชนด้วยตะกอนสารส้มแบบคอลัมน์. โครงการงานพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 63 หน้า.
- สมเกียรติ เกื้อหนุน. 2551. การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาโดยใช้เชื้อ *Ustigo* sp. AR101 และ PM103 เพื่อส่งเสริมการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 73 หน้า.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. เล่ม 1. กรมพัฒนาที่ดิน. 184 หน้า.
- อัจฉิมา ทวีกุล, อาภากร ฉัตรเทียนชัย และอารียา โมหมัดตาเฮด. 2556. การบำบัดไอออนฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยตะกอนสารส้มแบบคอลัมน์. โครงการงานพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 65 หน้า.
- อานัฐ ตันโช. 2550. ไส้เดือนดิน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ปทุมธานี. 259 หน้า.
- อานัฐ ตันโช. 2555. ศักยภาพของแบคทีเรียในลำไส้ไส้เดือนดินท้องถิ่นไทยต่อการเกษตร. [Online]. Available: www.maejonaturalfarming.org/pdf/การใช้ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 มี.ค. 2559.
- อานุช แก้ววงศ์. 2548. ประโยชน์จากตะกอนน้ำเสียชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ. 2 (2) : (กรกฎาคม - ธันวาคม 2548). หน้า 34-43.
- อาภารัตน์ มหาพันธ์. 2549. ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับอนาคตการเกษตรของประเทศไทย. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ : เซเวนพรินติ้งกรุ๊ป. 67 หน้า.
- อุษา ศรีใส. 2552. ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ยางพาราในดินชุดท่าแซะ. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต ๑๒ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 105 หน้า.
- APHA, AWWA, WEF. 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22 nd ed. Washington: American Public Health Association, 1360 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Davood Hashemabadi, Fatemeh Zaredost, Maryam Barari Ziyabari, Mohammad Zarchini, Behzad Kaviani, Maryam Jadid Solimandarabi, Ali Mohammadi Torkashvand and Somayeh Zarchini. 2012. **Influence of phosphate bio-fertilizer on quantity and quality features of marigold. (*Tagetes erecta*L.)** Australian Journal of Crop Science. AJCS 6(6) : 1101-1109.
- F. FODOR, L. GÁSPÁR, F. MORALES, Y. GOGORCENA, J.J. LUCENA, E. CSEH, K. KRÖPFL, J. ABADÍA and É. SÁRVÁRI. 2005. **Effects of two iron sources on iron and cadmium allocation in poplar (*Populus Alba*) plants exposed to cadmium.** Tree Physiology 25 : 1173–1180.
- Jian Feng Ma. 2000. **Role of Organic Acids in Detoxification of Aluminum in Higher Plants.** Plant Cell Physiol.41(4) : 383-390.
- Manoj Kumar Ahirwar, Kamlesh Ahirwar and Megha Shukla. 2012. **Effect of plant densities, nitrogen and phosphorus levels on growth, yield and quality american marigold.** Ann. Pl. SoilRes. 14(2) : 153-155.
- M. Camara, C. Diez and E. Torija. 1994. **Chemical characterization of pineapple juices and nectars. Principal components analysis.** Food Chemistry 54 : 93-100.
- M. Raja Naik. 2015. **Influence of nitrogen and phosphorus on flowering, N and P content of African marigold, *Tagetes erecta* Lvar Cracker Jack.** International Journal of Farm Sciences 5(1) : 42-50.
- William Horwitz and George W. Latimer, Jr. 2005. **Official Method Of Analysis Of AOAC INTERNATIONAL.** The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence : 1-51.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ดินและน้ำ

ก-1 การวิเคราะห์ดิน

ก-1.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture content) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยระเหยที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนหนัก 1.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ลงบนถ้วยระเหยที่ผ่านการอบจนแห้งจากข้อ 1. พร้อมจดบันทึกน้ำหนักเปียกของดินตะกอน
3. นำถ้วยระเหยที่มีดินตะกอนอยู่ใน โปบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำดินตะกอนที่ผ่านการอบจากข้อ 3 มาชั่งน้ำหนัก จนมีน้ำหนักคงที่ และจดบันทึก น้ำหนักแห้งของดินตะกอน
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินตะกอน
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง พร้อมทั้งคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ก-1.2 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 1:5) (พัชรี, 2554)

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนหนัก 5.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร จากนั้นคนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วคนสาร
3. คนสารละลายเป็นครั้งคราว และปล่อยให้ไว้เป็นเวลา 30 นาที
4. ปรับเทียบค่าของเครื่องพีเอชกับสารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 7
5. วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายส่วนใส และบันทึกผลการทดลอง

ก-1.3 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ก-1.3.1 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนหนัก 1.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างดิน
3. ปิดบีกเกอร์ด้านบนด้วยกระดาษฟิวส์ และนำไปย่อยด้วยเครื่องให้ความร้อนในตู้ดูดควัน จนได้สารละลายใส ไม่มีสี โดยให้เหลือปริมาตรของสารละลายประมาณ 2 มิลลิลิตร
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. ปรับพีเอชของสารละลาย โดยการเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วทำให้เป็นกลางด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล จะได้สารละลายสีชมพูอ่อนคงตัว
6. นำสารละลายไปทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แยกสารละลายส่วนใสออกจากดินตะกอน และนำสารละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

8. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก-1.3.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนโดยวิธีการเทียบสี : กรดแอสคอร์บิก

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน ตั้งแต่ข้อ 1-6

2. แยกสารละลายส่วนใสออกจากดินตะกอน และทำให้เกิดสีโดยนํายารวม ซึ่งเตรียมได้ดังนี้

2.1 กรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล 5 มิลลิลิตร

2.2 แอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรต 15 มิลลิลิตร

2.3 แอมโมเนียมโมลิบเดต 30 มิลลิลิตร

2.4 กรดแอสคอร์บิก 30 มิลลิลิตร

3. เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีอย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่ควรเกิน 30 นาที

4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก-1.4 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable P) (พัชรี, 2554)

ก-1.4.1 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนหนัก 1.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมนํายาสกัด Olsen (โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.5 โมลาร์ : pH 8.5) 20 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 ด้วยชุดกรองแบบลดความดัน

3. นำสารละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

4. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้

ก-1.4.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนโดยวิธีการเทียบสี : กรดแอสคอร์บิก

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน ตั้งแต่ข้อ 1-2

2. ปิเปตสารละลายที่ได้จากการสกัดในข้อ 2 ใส่ลงในหลอดทดลอง และเติมนํายาที่ทำให้เกิดสี อัตราส่วน 1 : 16 โดยนํายาที่ทำให้เกิดสีสามารถเตรียมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.88 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร

2.2 เติมน้ำยาทำปฏิกิริยาชนิด A 20 มิลลิลิตร

2.2.1 แอมโมเนียมโมลิบเดต 25 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

2.2.2 โพแทสเซียมแอนติโมนีทาเทรต 0.6065 กรัม

ในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร

2.3 เติมกรดซัลฟูริก 0.1 โมลาร์ 100 มิลลิลิตร

2.4 ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร และตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

4. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้

ก-1.5 การวิเคราะห์เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe) (พัชร, 2554)

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนหนัก 2.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำยาสกัด 20 มิลลิลิตร ซึ่งเตรียมได้ดังนี้

2.1 เอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติก แอซิด 0.01 โมลาร์

2.2 แคลเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์

2.3 ไตรเอทาโนลามีน 0.1 โมลาร์

3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4. กรองสารละลายตัวอย่างดินผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 ด้วยชุดกรองแบบลดความดัน

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอม ด้วยเครื่องวัดการดูดแสงของอะตอม

6. คำนวณหาปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้

ก-1.6 การวิเคราะห์อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al) (พัชร, 2554)

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนหนัก 2.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างดิน

3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

4. ถ่ายสารละลายลงในหลอดเซนต์ปีวส์ และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

5. นำสารละลายส่วนใสไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ด้วยชุดกรองแบบลดความดัน

6. ใช้โพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล ชะล้างดินตะกอนบนกระดาษกรองครั้งละ 30-40 มิลลิลิตร โดยในแต่ละครั้งของการชะล้าง ควรปล่อยให้ตัวอย่างดินที่ถูกชะเกือบแห้ง เมื่อสารละลายที่ได้จากชะตัวอย่างดิน มีปริมาณเกือบถึงขีดปรับปริมาตร ให้ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เขย่าให้เข้ากัน และแบ่งสารละลายตัวอย่างดินออกมา 5 มิลลิลิตร จากนั้นหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น

7.1 เกิดสีชมพูตั้งแต่แรก ให้เติมกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 นอร์มัล 1-2 หยด และเติมโพแทสเซียมฟลูออไรด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร กรณีที่ไม่เกิดสีชมพู ไม่ต้องทำการทดลองต่อไป เนื่องจากมีอนุมิเนียมน้อยมากในตัวอย่างดิน ถ้าเกิดสีชมพูให้ทำการทดลองตามข้อ 8

7.2 ไม่เกิดสีชมพู ให้เติมโพแทสเซียมฟลูออไรด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร ที่ละหยด จนกระทั่งเกิดสีชมพู แล้วทำการทดลองตามข้อ 8 ถ้าไม่เกิดสีชมพู ไม่ต้องทำการทดลองต่อ

8. ปิเปตสารละลายตัวอย่างดิน 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารเคมีดังนี้

8.1 กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 นอร์มัล และปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 2-3

8.2 เติมนิโตรเจนเพอร์ออกไซด์ เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิลิตร

8.3 เติมนิโตรเจนเพอร์ออกไซด์ 10 มิลลิลิตร

9. นำไปอังให้ความร้อนในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร

10. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาปริมาณอนุมิเนียมรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอนุมิเนียมรูปแบบแลกเปลี่ยนได้

ก-1.7 การวิเคราะห์เจตาห์ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN) (พัชร, 2554)

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนหนัก 2.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในหลอดย่อยเจตาห์

2. เติมน้ำแรงปฏิกิริยาผสม ประมาณ 1 กรัม ซึ่งเตรียมในอัตราส่วนดังนี้

2.1 คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต 100 ส่วน

2.2 โซเดียมซัลเฟต 10 ส่วน

2.3 ซีลีเนียม 1 ส่วน

3. เติมน้ำแรงปฏิกิริยาเข้มข้น 10 มิลลิลิตร และนำเข้าเครื่องย่อย โดยใช้อุณหภูมิ 360 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ตัวอย่างดินสีขาว และไม่มีควันของกรดซัลฟูริก

4. ปิดเครื่องย่อย และทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำตัวอย่างดินออกจากเครื่องย่อย

5. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร โดยห้ามเติมขณะที่ตัวอย่างกำลังร้อนอยู่ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถใช้ น้ำกลั่นชะล้างตัวอย่างดินที่ติดค้างอยู่ในหลอดย่อยได้

6. ปิเปตสารละลายตัวอย่างดินที่ได้จากการปรับปริมาตรในข้อ 5 มา 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดสำหรับกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร

7. นำหลอดสำหรับกลั่นไปสวมเข้ากับเครื่องกลั่น แล้วนำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมีกรดบอริก 2% ที่ผ่านการเติมอินดิเคเตอร์ บรรจุอยู่ 10 มิลลิลิตร มารองรับได้ปลายหลอดของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายหลอดจุ่มลงในสารละลาย

8. ทำการกลั่นจนปริมาตรของสารละลายในขวดรูปชมพู่ ที่รองรับได้ปลายหลอดของเครื่องกลั่น เพิ่มขึ้นถึง 75 มิลลิลิตร

9. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตกับสารมาตรฐานกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.005

นอร์มัล โดยจุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง-แดง และบันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. คำนวณหาปริมาณเจตาท์ไนโตรเจน (TKN) ในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเจตาท์ไนโตรเจน (TKN)

ก-2 การวิเคราะห์น้ำ

ก-2.1 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) (APHA-AWWA, 2012)

1. นำสารละลายน้ำตัวอย่าง มาใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างน้ำ
3. ปิดบีกเกอร์ด้านบนด้วยกระจกนาฬิกา และนำไปย่อยด้วยเครื่องให้ความร้อนในตู้ดูดควันจนได้สารละลายใส ไม่มีสี โดยให้เหลือปริมาตรของสารละลายประมาณ 2 มิลลิลิตร
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. ปรับพีเอชของสารละลาย โดยการเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล จะได้สารละลายสีชมพูอ่อนคงตัว
6. นำสารละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี
7. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก-2.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ (Ortho phosphorus) (APHA-AWWA, 2012)

1. นำสารละลายน้ำตัวอย่าง มาปรับพีเอช โดยการเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล จะได้สารละลายสีชมพูอ่อนคงตัว
2. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี
3. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ

ก-2.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดซิตริก (AOAC, 2005)

1. นำน้ำส้มป่นที่ผ่านการกรองเรียบร้อยแล้วมา 25 มิลลิลิตร
2. เติมนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด และเขย่าให้เข้ากัน
3. นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ที่หาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ KHP แล้ว ที่จุดยุติน้ำส้มป่นจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู
4. คำนวณหาปริมาณกรดซิตริกในน้ำส้มป่น พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรดซิตริกในน้ำส้มป่น

ก-2.4 การวิเคราะห์เหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ (APHA-AWWA, 2012)

1. นำสารละลายน้ำตัวอย่าง มาปรับพีเอช ให้อยู่ประมาณ 4-5
2. วัดปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในน้ำตัวอย่าง โดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดแสงของอะตอม
3. คำนวณหาปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ

ข-1. การคำนวณหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

เมื่อ N = จำนวนครั้งของการวัด
 X_i = ข้อมูลที่ได้จากการวัดครั้งที่ i

ข-2. การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ $S.D.$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 x = ข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3 ..., n)
 $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
 n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ข-3. การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์

$$x - y = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \pm (SD_1 + SD_2)$$

เมื่อ x = ค่าของข้อมูลชุดที่ 1
 y = ค่าของข้อมูลชุดที่ 2
 x_1 = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ 1
 x_2 = ค่าเฉลี่ยข้อมูลของชุดที่ 2
 SD_1 = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลชุดที่ 1
 SD_2 = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลชุดที่ 2

ข-4. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักเปียก (กรัม)} - \text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปียก (กรัม)}} \right) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-5. การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม / กิโลกรัม) =
$$\frac{\text{ppm from curve} \times \text{Final volume 1 (ml)} \times \text{Final volume 2 (ml)}}{\text{wt. of soil (g)} \times \text{aliqu. (ml)}}$$

- เมื่อ ppm from curve = ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟ (มิลลิกรัม / ลิตร)
Final volume 1 = ปริมาตรสุดท้ายครั้งที่ 1 (มิลลิลิตร)
Final volume 2 = ปริมาตรสุดท้ายครั้งที่ 2 (มิลลิลิตร)
wt. of soil = น้ำหนักแห้งของดิน (กรัม)
aliqu. = ปริมาตรที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

ข-6. การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

ปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) =
$$\frac{B \times \text{DF (sample)} \times X}{A \times \text{DF (standard)}}$$

- เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)
B = น้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)
X = ค่าที่อ่านได้เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)
DF = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

ข-7. การคำนวณปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

ปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม) =
$$\frac{\text{ppm from curve} \times \{\text{Final volume (ml)}\} \times \text{Extractant (ml)}}{\{\text{aliqu. (ml)}\} \times \text{wt. of soil (g)}}$$

* กรณีมีการเจือจางสารละลายตัวอย่าง

- เมื่อ ppm from curve = ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟ (มิลลิกรัม / ลิตร)
Final volume = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)
Extractant = ปริมาตรที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)
aliqu. = ปริมาตรที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)
wt. of soil = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-8. การคำนวณปริมาณเจลดาคัลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)

ปริมาณเจลดาคัลไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์) =
$$\frac{0.014 \times (A-B) \times C \times D \times 100}{E \times F}$$

- เมื่อ A = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
C = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (นอร์มอล)
D = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)
E = ปริมาตรที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)
F = น้ำหนักแห้งของดิน (กรัม)

ข-9. การคำนวณปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม) =
$$\frac{(1000) (X)}{A \times D}$$

- เมื่อ x = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐานในหน่วย (มิลลิกรัม / ลิตร)
A = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)
D = น้ำหนักแห้งของดินตัวอย่าง (กรัม)

ข-10. การคำนวณปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ) =
$$\frac{0.1 \times A \times 0.07 \times 100}{V}$$

- เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
V = ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

ภาคผนวก ค ตารางและกราฟของสารมาตรฐาน

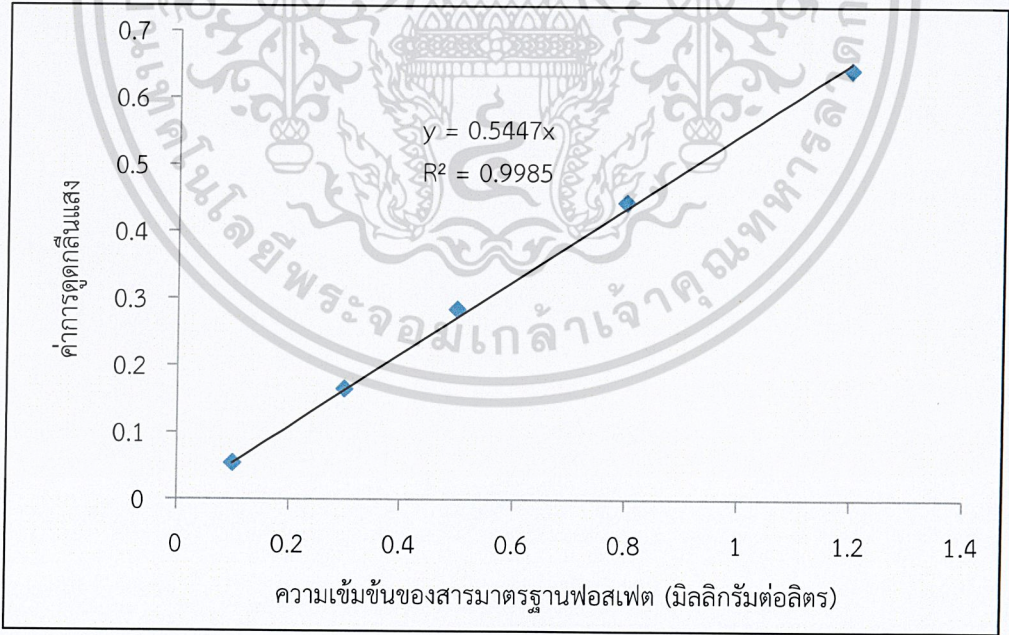
ค-1 ฟอสเฟต (Phosphate)

ค-1.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

ค-1.1.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.054
0.3	0.165
0.5	0.284
0.8	0.444
1.2	0.643

ค-1.1.2 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

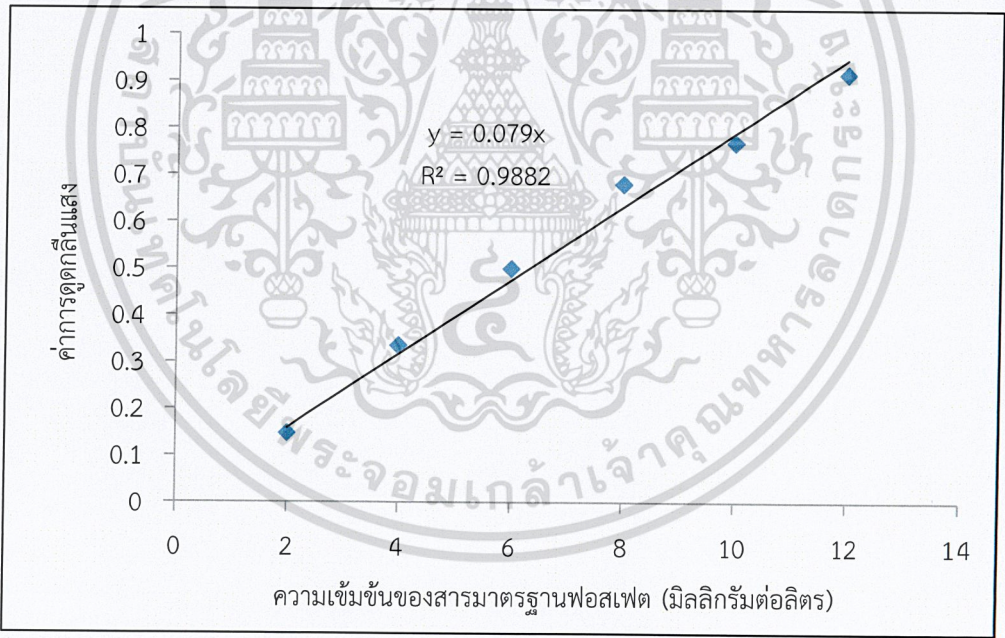


ค-1.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

ค-1.2.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
2.0	0.147
4.0	0.334
6.0	0.499
8.0	0.680
10.0	0.769
12.0	0.916

ค-1.2.2 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

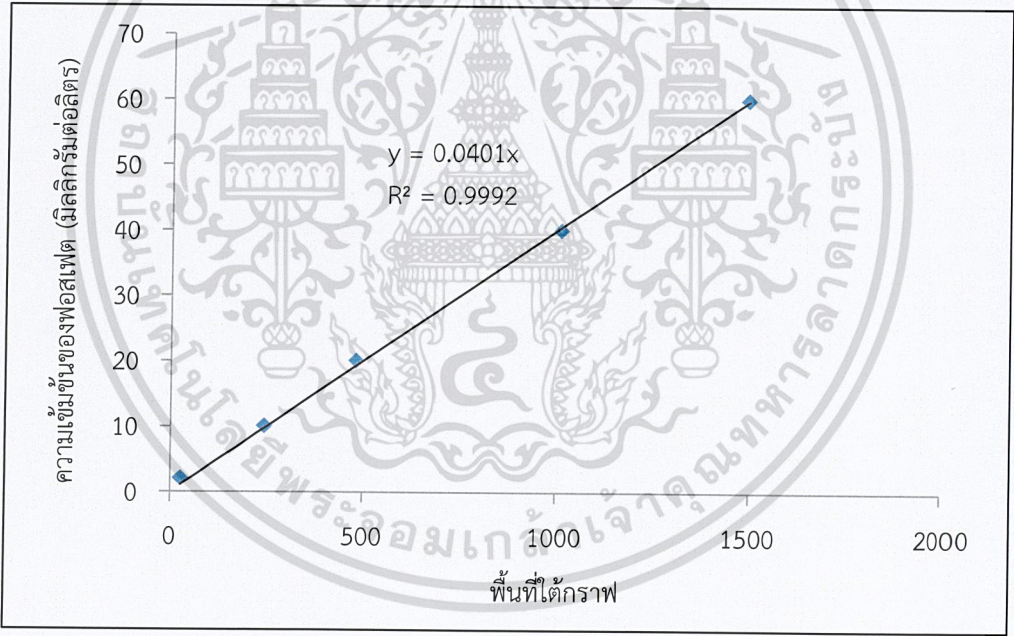


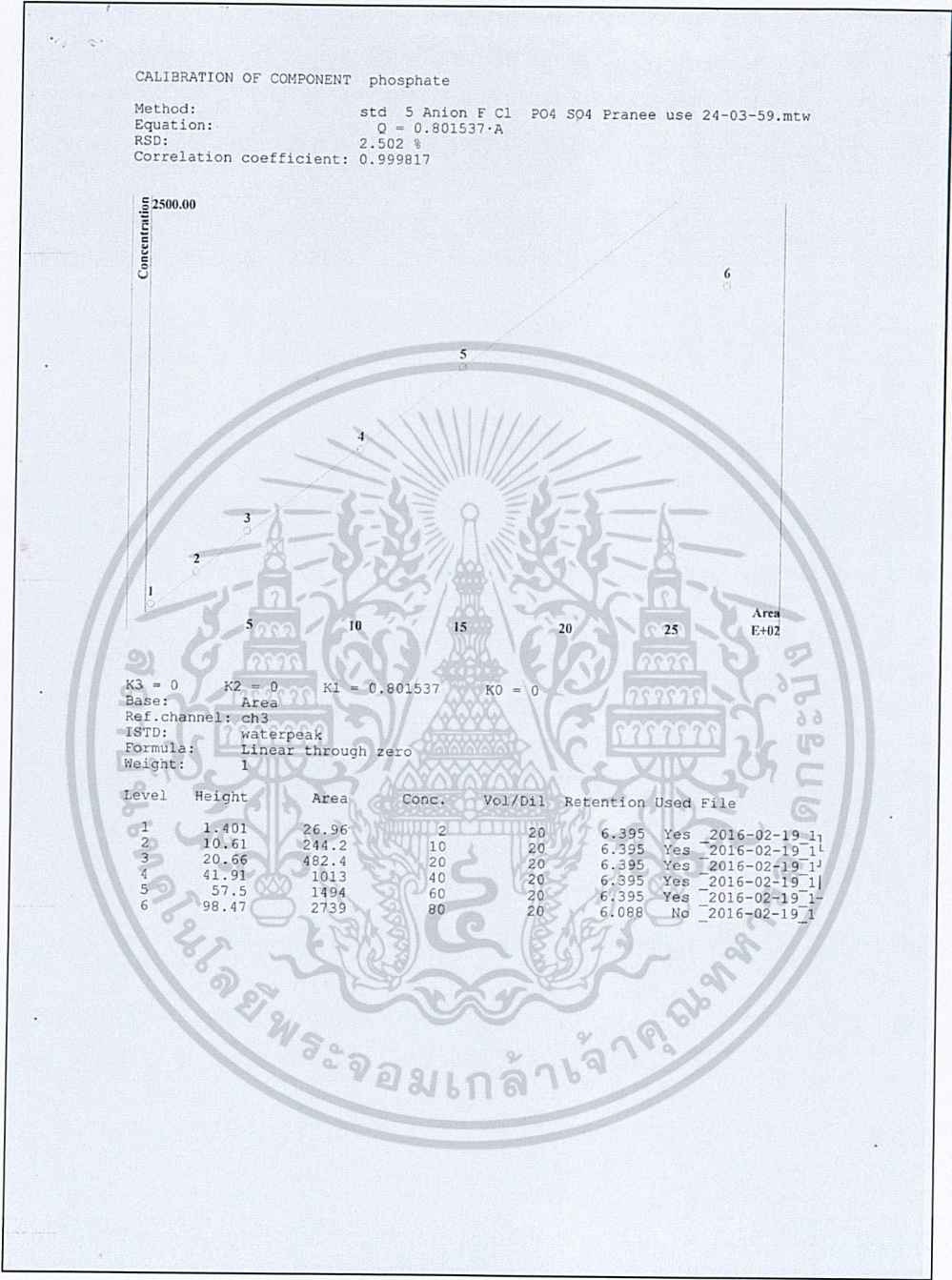
ค-1.3 ค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

ค-1.3.1 ตารางค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

พื้นที่ใต้กราฟ	ความเข้มข้นของฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
26.96	2
244.2	10
482.4	20
1013	40
1494	60

ค-1.3.2 กราฟค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต





รูป ค-1 กราฟมาตรฐานของฟอสเฟตที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี

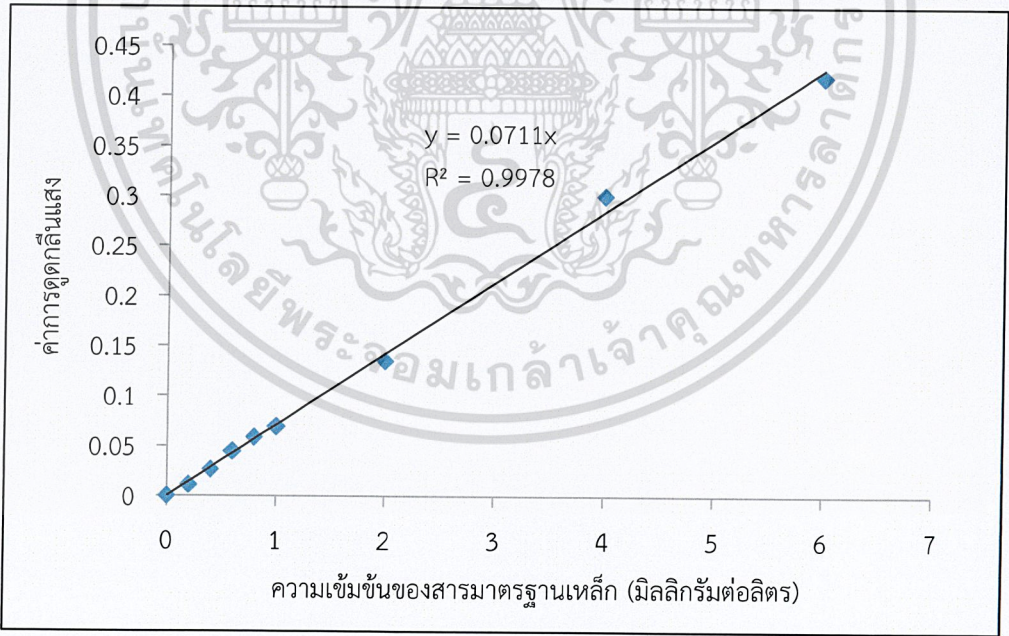
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-2 เหล็ก (Iron)

ค-2.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานเหล็กที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานเหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงของอะตอม
0.0	0.000
0.2	0.011
0.4	0.026
0.6	0.044
0.8	0.056
1.0	0.069
2.0	0.135
4.0	0.300
6.0	0.419

ค-2.2 กราฟการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานเหล็กที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร



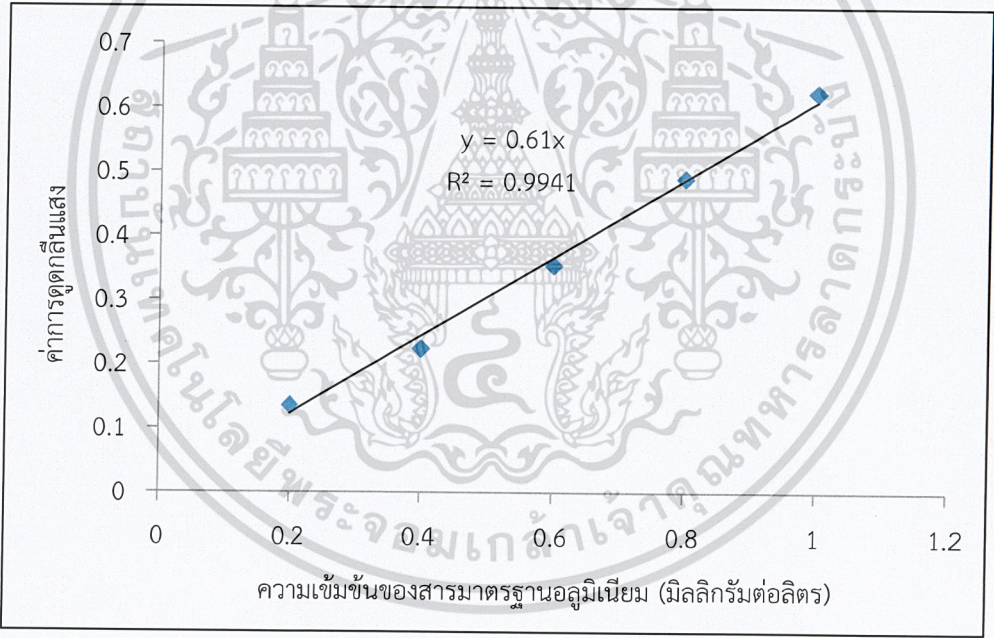
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-3 อลูมิเนียม (Aluminium)

ค-3.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานอลูมิเนียมที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานอลูมิเนียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.2	0.134
0.4	0.223
0.6	0.353
0.8	0.489
1.0	0.623

ค-3.2 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานอลูมิเนียมที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ผลการทดลอง

ง-1 การเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองพันธุ์พื้นเมือง

ตาราง ง-1.1 ความสูงของต้นดาวเรือง

ระยะเวลาที่ปลูก (สัปดาห์)	ครั้งที่	ความสูงต้นดาวเรือง (เซนติเมตร)			
		ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD			
		C (0:1)	S1 (1:0)	S2 (1:1)	S3 (1:3)
ตั้งแต่ปลูก	1	8.0 $\pm$ 0.0	6.8 $\pm$ 0.0	6.0 $\pm$ 0.0	7.0 $\pm$ 0.0
	2	5.7 $\pm$ 0.0	6.8 $\pm$ 0.0	8.5 $\pm$ 0.0	7.0 $\pm$ 0.0
	3	6.5 $\pm$ 0.0	6.5 $\pm$ 0.0	6.5 $\pm$ 0.0	5.5 $\pm$ 0.0
	4	7.5 $\pm$ 0.0	6.6 $\pm$ 0.0	8.5 $\pm$ 0.0	6.5 $\pm$ 0.0
	5	10.0 $\pm$ 0.0	6.7 $\pm$ 0.0	8.0 $\pm$ 0.0	7.0 $\pm$ 0.0
1	1	8.8 $\pm$ 0.3	7.4 $\pm$ 0.5	7.1 $\pm$ 0.9	7.9 $\pm$ 0.4
	2	6.7 $\pm$ 0.4	7.6 $\pm$ 0.4	9.4 $\pm$ 0.4	7.9 $\pm$ 0.4
	3	7.7 $\pm$ 0.8	7.2 $\pm$ 0.8	8.7 $\pm$ 0.8	6.7 $\pm$ 0.8
	4	8.7 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 0.5	6.7 $\pm$ 0.8	7.7 $\pm$ 0.8
	5	11.4 $\pm$ 0.4	7.5 $\pm$ 0.4	7.4 $\pm$ 0.4	7.8 $\pm$ 0.3
2	1	9.8 $\pm$ 0.3	8.6 $\pm$ 0.3	8.4 $\pm$ 1.8	8.4 $\pm$ 0.8
	2	8.7 $\pm$ 0.8	8.3 $\pm$ 0.3	10.9 $\pm$ 1.0	9.0 $\pm$ 0.5
	3	9.5 $\pm$ 0.5	8.0 $\pm$ 0.5	10.3 $\pm$ 0.3	8.7 $\pm$ 0.8
	4	10.9 $\pm$ 1.0	8.1 $\pm$ 0.3	8.3 $\pm$ 0.3	9.3 $\pm$ 0.3
	5	13.4 $\pm$ 1.6	8.2 $\pm$ 0.3	8.3 $\pm$ 0.3	8.3 $\pm$ 0.3
3	1	12.7 $\pm$ 1.9	9.9 $\pm$ 0.7	12.4 $\pm$ 1.7	11.3 $\pm$ 1.8
	2	11.7 $\pm$ 1.8	10.6 $\pm$ 1.9	13.2 $\pm$ 0.8	12.3 $\pm$ 1.9
	3	11.5 $\pm$ 1.4	10.5 $\pm$ 1.0	11.5 $\pm$ 0.7	11.9 $\pm$ 1.9
	4	14.2 $\pm$ 1.3	10.2 $\pm$ 0.8	10.4 $\pm$ 1.8	10.7 $\pm$ 1.0
	5	17.3 $\pm$ 1.8	10.2 $\pm$ 0.4	9.7 $\pm$ 0.9	9.9 $\pm$ 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ปลูก (สัปดาห์)	ครั้งที่	ความสูงต้นดาวเรือง (เซนติเมตร)			
		ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD			
		C (0:1)	S1 (1:0)	S2 (1:1)	S3 (1:3)
4	1	16.9 $\pm$ 1.2	13.4 $\pm$ 1.3	16.8 $\pm$ 1.7	15.0 $\pm$ 1.1
	2	17.1 $\pm$ 1.4	16.8 $\pm$ 1.2	16.6 $\pm$ 2.1	16.0 $\pm$ 1.6
	3	15.4 $\pm$ 1.3	16.0 $\pm$ 1.8	15.0 $\pm$ 1.2	15.0 $\pm$ 1.4
	4	18.0 $\pm$ 2.5	15.6 $\pm$ 1.8	14.6 $\pm$ 0.9	15.1 $\pm$ 1.4
	5	22.8 $\pm$ 2.1	12.4 $\pm$ 0.9	14.6 $\pm$ 2.2	14.1 $\pm$ 1.6
5	1	21.1 $\pm$ 1.1	18.1 $\pm$ 1.1	21.1 $\pm$ 1.1	19.4 $\pm$ 1.7
	2	20.5 $\pm$ 1.6	20.6 $\pm$ 1.0	23.4 $\pm$ 3.7	21.7 $\pm$ 1.8
	3	19.1 $\pm$ 1.3	20.4 $\pm$ 2.2	19.5 $\pm$ 1.8	20.6 $\pm$ 1.1
	4	22.9 $\pm$ 1.8	20.9 $\pm$ 2.4	19.1 $\pm$ 2.8	18.9 $\pm$ 1.5
	5	27.6 $\pm$ 1.6	18.3 $\pm$ 3.9	21.1 $\pm$ 3.2	19.4 $\pm$ 1.6
6	1	29.6 $\pm$ 3.7	25.1 $\pm$ 3.1	24.9 $\pm$ 1.2	26.9 $\pm$ 1.1
	2	23.0 $\pm$ 0.0	25.0 $\pm$ 0.9	28.4 $\pm$ 0.2	26.8 $\pm$ 2.2
	3	22.4 $\pm$ 0.9	23.0 $\pm$ 0.0	23.0 $\pm$ 1.0	25.9 $\pm$ 0.6
	4	29.3 $\pm$ 1.3	26.1 $\pm$ 1.1	23.8 $\pm$ 0.6	23.8 $\pm$ 1.4
	5	34.9 $\pm$ 1.3	26.0 $\pm$ 0.8	29.9 $\pm$ 0.9	23.9 $\pm$ 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-2 ผลของไออนหรือแร่ธาตุต่างๆในดินตะกอนที่มีต่อการเจริญเติบโตของ
ต้นดาวเรือง

ตาราง ง-2.1 ความเป็นกรด-ด่าง

ชุดทดลอง	ครั้งที่	ความเป็นกรด-ด่างก่อน-หลังทดลอง	
		ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
C (0:1)	1	5.69	6.14
	2	5.73	6.07
	3	5.01	6.03
	4	5.11	6.06
	5	5.10	5.91
ค่าเฉลี่ย ± SD		5.69±0.35	6.14±0.08
S1 (1:0)	1	6.01	5.61
	2	6.06	5.89
	3	6.07	5.89
	4	6.08	5.92
	5	6.06	5.93
ค่าเฉลี่ย ± SD		6.01±0.03	5.61±0.13
S2 (1:1)	1	6.03	5.73
	2	6.07	5.70
	3	6.06	5.46
	4	6.04	5.62
	5	6.06	5.62
ค่าเฉลี่ย ± SD		6.03±0.016	5.73±0.10
S3 (1:3)	1	5.40	5.67
	2	5.54	5.70
	3	5.57	5.85
	4	5.64	5.85
	5	5.64	5.83
ค่าเฉลี่ย ± SD		5.40±0.10	5.67±0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate : TP)

ชุดทดลอง	ครั้งที่	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
		ก่อนปลูกดาวเรือง	หลังปลูกดาวเรือง
C (0:1)	1	9.90	4.40
	2	7.80	3.70
	3	6.80	3.80
	4	7.60	5.20
	5	7.90	6.20
ค่าเฉลี่ย ± SD		8.00±1.15	4.66±1.05
S1 (1:0)	1	16.70	12.20
	2	12.90	12.90
	3	14.50	9.20
	4	16.80	11.70
	5	14.70	11.90
ค่าเฉลี่ย ± SD		15.12±1.64	11.58±1.41
S2 (1:1)	1	14.20	8.30
	2	13.80	7.10
	3	12.10	9.60
	4	12.70	8.10
	5	8.10	6.40
ค่าเฉลี่ย ± SD		12.18±2.43	7.90±1.22
S3 (1:3)	1	8.50	4.10
	2	5.80	3.50
	3	7.30	2.20
	4	8.40	4.70
	5	6.90	3.10
ค่าเฉลี่ย ± SD		7.38±1.12	3.52±0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2.3 ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable P)

ชุดทดลอง	ครั้งที่	ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
		ก่อนปลูกดาวเรือง	หลังปลูกดาวเรือง
C (0:1)	1	2.40	4.95
	2	2.10	2.63
	3	2.30	4.25
	4	1.50	3.30
	5	2.10	4.13
ค่าเฉลี่ย ± SD		2.08±0.35	3.85±0.90
S1 (1:0)	1	1.15	2.90
	2	0.40	2.98
	3	0.20	3.74
	4	0.73	3.62
	5	0.81	2.90
ค่าเฉลี่ย ± SD		0.66±0.37	3.23±0.42
S2 (1:1)	1	2.13	2.36
	2	1.14	2.30
	3	1.60	2.63
	4	1.34	3.93
	5	1.30	2.31
ค่าเฉลี่ย ± SD		1.50±0.39	2.71±0.70
S3 (1:3)	1	1.65	2.75
	2	1.77	2.45
	3	0.99	2.31
	4	1.94	2.18
	5	1.32	1.97
ค่าเฉลี่ย ± SD		1.53±0.36	2.33±0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2.4 เหล็กgrupแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe)

ชุดทดลอง	ครั้งที่	เหล็กgrupแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
		ก่อนปลูกดาวเรือง	หลังปลูกดาวเรือง
C (0:1)	1	4.20	1.90
	2	4.10	0.40
	3	3.10	1.90
	4	3.70	1.50
	5	2.60	1.70
ค่าเฉลี่ย ± SD		3.54±0.70	1.48±0.60
S1 (1:0)	1	37.80	5.00
	2	35.20	0.60
	3	34.50	0.80
	4	30.60	7.40
	5	32.80	7.60
ค่าเฉลี่ย ± SD		34.18±2.70	4.28±3.40
S2 (1:1)	1	20.50	4.80
	2	19.20	7.20
	3	18.40	1.20
	4	19.20	5.40
	5	15.10	4.70
ค่าเฉลี่ย ± SD		18.48±2.00	4.66±2.20
S3 (1:3)	1	12.30	5.00
	2	10.90	3.50
	3	8.60	1.00
	4	12.30	1.80
	5	11.80	1.10
ค่าเฉลี่ย ± SD		11.18±1.60	2.48±1.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2.5 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al)

ชุดทดลอง	ครั้งที่	อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
		ก่อนปลูกดาวเรือง	หลังปลูกดาวเรือง
C (0:1)	1	0.40	0.20
	2	0.20	0.10
	3	0.50	0.10
	4	0.60	0.20
	5	0.20	0.20
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD		0.38 $\pm$ 0.20	0.16 $\pm$ 0.05
S1 (1:0)	1	2.50	0.70
	2	1.90	1.50
	3	0.80	0.50
	4	1.80	0.80
	5	2.20	1.00
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD		1.84 $\pm$ 0.60	0.90 $\pm$ 0.38
S2 (1:1)	1	0.50	0.40
	2	0.70	0.20
	3	0.70	0.20
	4	0.90	0.30
	5	0.50	0.20
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD		0.66 $\pm$ 0.20	0.26 $\pm$ 0.09
S3 (1:3)	1	0.20	0.10
	2	0.70	0.30
	3	0.20	0.20
	4	0.50	0.30
	5	0.70	0.30
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD		0.46 $\pm$ 0.30	0.24 $\pm$ 0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2.6 เจลดาล์ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen ; TKN)

ชุดทดลอง	ครั้งที่	เจลดาล์ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
		ก่อนปลูกดาวเรือง	หลังปลูกดาวเรือง
C (0:1)	1	210.00	149.22
	2	190.00	168.70
	3	190.00	180.89
	4	220.00	158.35
	5	190.00	157.52
ค่าเฉลี่ย ± SD		200.00±14.14	162.94±12.19
S1 (1:0)	1	220.00	190.45
	2	250.00	193.12
	3	240.00	199.23
	4	230.00	212.68
	5	220.00	202.34
ค่าเฉลี่ย ± SD		232.00±13.04	199.56±8.72
S2 (1:1)	1	200.00	169.20
	2	230.00	175.88
	3	220.00	183.21
	4	190.00	177.90
	5	220.00	186.82
ค่าเฉลี่ย ± SD		212.00±16.43	178.60±6.80
S3 (1:3)	1	260.00	189.75
	2	280.00	204.40
	3	250.00	206.10
	4	290.00	192.12
	5	230.00	184.01
ค่าเฉลี่ย ± SD		262.00±23.87	195.28±9.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-3 ผลของสารสกัดจากกรดซิตริกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของอนุพลฟอสเฟตและไอออนต่างๆในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียชุมชน

ตาราง ง-3.1 ความเป็นกรด-ด่าง : pH

ชุดทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง : pH			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอน	6.21	6.18	6.29	6.23 ± 0.06
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน	6.05	5.89	6.11	6.02 ± 0.11
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดน้ำกลั่น	5.93	5.87	6.01	5.94 ± 0.07
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	2.65	2.54	2.68	2.62 ± 0.07
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	4.95	4.88	4.86	4.90 ± 0.05
สารสกัดน้ำกลั่น	6.10	6.22	6.04	6.12 ± 0.09
สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	1.23	1.37	1.22	1.27 ± 0.08
สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	2.48	2.41	2.45	2.45 ± 0.04
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยน้ำกลั่น	5.59	5.67	5.63	5.63 ± 0.04
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	2.14	2.22	2.18	2.18 ± 0.04
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	4.08	4.13	4.11	4.11 ± 0.03

ตาราง ง-3.2 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

ชุดทดลอง	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (โมลาร์)			ค่าเฉลี่ย ± SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอน	6.17×10^{-7}	6.61×10^{-7}	5.13×10^{-7}	$5.97 \times 10^{-7} \pm 7.59 \times 10^{-8}$
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน	8.91×10^{-7}	1.29×10^{-6}	7.76×10^{-7}	$9.85 \times 10^{-7} \pm 2.69 \times 10^{-7}$
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดน้ำกลั่น	1.17×10^{-6}	1.35×10^{-6}	9.77×10^{-7}	$1.17 \times 10^{-6} \pm 1.86 \times 10^{-7}$
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	2.24×10^{-3}	2.88×10^{-3}	2.09×10^{-3}	$2.40 \times 10^{-3} \pm 4.22 \times 10^{-4}$
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	1.12×10^{-5}	1.32×10^{-5}	1.38×10^{-5}	$1.27 \times 10^{-5} \pm 1.35 \times 10^{-6}$
สารสกัดน้ำกลั่น	7.94×10^{-7}	6.03×10^{-7}	9.12×10^{-7}	$7.70 \times 10^{-7} \pm 1.56 \times 10^{-7}$
สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	5.89×10^{-2}	4.27×10^{-2}	6.03×10^{-2}	$5.39 \times 10^{-2} \pm 9.79 \times 10^{-3}$
สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	3.31×10^{-3}	3.89×10^{-3}	3.55×10^{-3}	$3.58 \times 10^{-3} \pm 2.91 \times 10^{-4}$
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยน้ำกลั่น	2.57×10^{-6}	2.14×10^{-6}	2.34×10^{-6}	$2.35 \times 10^{-6} \pm 2.16 \times 10^{-7}$
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	7.24×10^{-3}	6.03×10^{-3}	6.61×10^{-3}	$6.63 \times 10^{-3} \pm 6.10 \times 10^{-4}$
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	8.32×10^{-5}	7.41×10^{-5}	7.76×10^{-5}	$7.83 \times 10^{-5} \pm 4.56 \times 10^{-6}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการฉีกตัว หักส่วน ยกทั้งตัว ไม่มีให้ตีพิมพ์ลงในสื่อใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.3 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย ± SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอน	497.81	682.15	469.36	549.77 ± 115.52
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน	5007.29	3953.37	4367.84	4442.84 ± 530.95
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดน้ำกลั่น	3968.13	4736.00	4074.77	4259.63 ± 415.98
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	1350.40	2037.61	1236.35	1541.45 ± 433.46
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	2991.00	2345.47	2777.25	2704.57 ± 328.84
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยน้ำกลั่น	n/d	n/d	n/d	n/d
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	30.65	35.16	36.40	32.73 ± 6.49
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	17.05	25.94	19.50	18.50 ± 7.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีให้ตีพิมพ์ลงในสื่อและช่องทางอื่นๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.4 ฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable phosphorus)

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย ± SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอน	n/d	n/d	n/d	n/d
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน	n/d	n/d	n/d	n/d
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดนําก้น	n/d	n/d	n/d	n/d
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	1111.66	820.69	786.59	906.31 ± 178.65
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	488.83	489.38	407.57	461.93 ± 47.08

ตาราง ง-3.5 ฟอสฟอรัสรูปแบบน้ำได้ (Ortho Phosphate)

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปแบบน้ำได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย ± SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยนําก้น	n/d	n/d	n/d	n/d
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	19.99	25.97	20.14	22.03 ± 3.14
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	9.16	7.42	5.43	7.34 ± 1.87

ตาราง ง-3.6 เหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron)

ชุดทดลอง	ปริมาณของเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ (มีลิกนด์ต่อกรัม)			ค่าเฉลี่ย ± SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอน	18.393	12.505	16.247	15.715 ± 2.980
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน	15.945	12.453	12.013	13.470 ± 2.154
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดนํากลิ่น	13.275	12.510	12.336	12.707 ± 0.500
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	586.319	610.479	615.229	604.009 ± 15.503
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	144.341	137.537	139.014	140.297 ± 3.579
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยน้ำกลั่น	n/d	n/d	n/d	n/d
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	500.125	355.309	362.220	405.885 ± 81.688
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	44.200	44.150	43.900	44.083 ± 0.161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการฉีก ตีพิมพ์ หรือการนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.7 อลูมิเนียมรูปแบบเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminium)

ชุดทดลอง	ปริมาณของอลูมิเนียมรูปแบบเปลี่ยนได้ (มีลิทริัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย ± SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอน	4.65	11.42	5.48	7.18 ± 3.69
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน	2.49	1.73	3.41	2.54 ± 0.84
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดน้ำกลั่น	2.42	2.05	3.19	2.55 ± 0.58
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	224.12	221.32	209.13	218.19 ± 7.97
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	117.98	113.45	76.58	102.67 ± 22.71
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยน้ำกลั่น	n/d	n/d	n/d	n/d
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	5.00	5.56	6.36	5.64 ± 0.68
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชนด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	3.03	2.90	3.31	3.08 ± 0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.8 เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความชื้น			ค่าเฉลี่ย±SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสียชุมชน	3.32	3.36	3.25	3.31± 0.057
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน	9.77	9.64	8.86	9.42± 0.490
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดน้ำกลั่น	2.12	2.14	2.03	2.10± 0.062
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	2.01	2.08	2.02	2.04± 0.037
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสียชุมชน + สารสกัดกรดซิตริกจากสับปะรด	4.72	4.54	4.88	4.71± 0.172

ง-4 การหาปริมาณกรดซิตริกโดยความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮโดรเจน
ฟาทาเลท 0.0490 โมลาร์ ที่ใช้ในการไทเทรต

ตาราง ง-4.1 การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์

การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์		
ครั้งที่	ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)	หน่วย
1	24.50	มิลลิลิตร
2	24.40	มิลลิลิตร
3	24.50	มิลลิลิตร
เฉลี่ย	24.47	มิลลิลิตร
ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	0.0500	โมลาร์

ตาราง ง-4.2 การหาความเข้มข้นของกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกในน้ำส้มปะรด

การหาความเข้มข้นของกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกในน้ำส้มปะรด		
ครั้งที่	ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)	หน่วย
1	11.50	มิลลิลิตร
2	11.50	มิลลิลิตร
3	10.50	มิลลิลิตร
เฉลี่ย	11.17	มิลลิลิตร
ความเข้มข้นของกรดซิตริก	0.31	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จ-1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วนดินตะกอนปลุกต้นดาวเรือง

จ-1.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลุกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลุกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test								
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference
								Lower Upper
Equal variances assumed	7.432	.026	2.630	8	.030	.22000	.08367	.02707 .41293
Equal variances not assumed			2.630	4.743	.049	.22000	.08367	.00138 .43862

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลุกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-1.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลุกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลุกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.070	.798	3.413	8	.009	.76000	.22271	.24643	1.27357
Equal variances not assumed			3.413	7.777	.010	.76000	.22271	.24385	1.27615

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-1.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ :

ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a :

ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	1.735	.224	4.714	8	.002	.40000	.08485	.20433	.59567
Equal variances not assumed			4.714	6.113	.003	.40000	.08485	.19330	.60670

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-1.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	8.858	.018	1.846	8	.034	.22000	.11916	-.0547	.49479
Equal variances not assumed			1.846	5.000	.024	.22000	.11916	-.0863	.52632

ค่า Sig. > 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วนดินตะกอนปลูกต้นดาวเรือง

จ-2.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.299	.599	4.982	8	.001	2.06000	.41352	1.10642	3.01358
Equal variances not assumed			4.982	7.945	.001	2.06000	.41352	1.10527	3.01473

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กเปลี่ยนแปลงได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-2.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กเปลี่ยนแปลงได้ในอัตราส่วน S1 สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กเปลี่ยนแปลงได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กเปลี่ยนแปลงได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	1.019	.342	15.349	8	.000	29.90000	1.94802	25.40785	34.39215
Equal variances not assumed			15.349	7.576	.000	29.90000	1.94802	25.36368	34.43632

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กเปลี่ยนแปลงได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-2.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.000	1.000	10.36	8	.000	13.82000	1.33304	10.74600	16.89400
Equal variances not assumed			10.36	7.96	.000	13.82000	1.33304	10.74347	16.89653

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-2.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.296	.602	8.376	8	.000	8.70000	1.03865	6.30486	11.09514
Equal variances not assumed			8.376	7.909	.000	8.70000	1.03865	6.30003	11.09997

ค่า Sig. > 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วนดินตะกอนปลูกต้นดาวเรือง

จ-3.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน C สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.031	.864	4.808	8	.001	3.34000	.69469	1.73803	4.94197
Equal variances not assumed			4.808	7.936	.001	3.34000	.69469	1.73577	4.94423

เอกสารนี้เป็นส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-3.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S1 สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.436	.528	3.659	8	.006	3.54000	.96737	1.30925	5.77075
Equal variances not assumed			3.659	7.812	.007	3.54000	.96737	1.29989	5.78011

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-3.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S2 สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.960	.356	3.518	8	.008	4.28000	1.21672	1.47425	7.08575
Equal variances not assumed			3.518	5.903	.013	4.28000	1.21672	1.29088	7.26912

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-3.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S3 สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	1.454	.262	4.702	8	.002	3.86000	.82085	1.96711	5.75289
Equal variances not assumed			4.702	6.610	.003	3.86000	.82085	1.89552	5.82448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วนดินตะกอนปลูกต้นดาวเรือง

จ-4.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	4.851	.059	-4.1	8	.003	-1.77200	.43170	-2.767	-.7765
Equal variances not assumed			-4.1	5.178	.009	-1.77200	.43170	-2.870	-.6736

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-4.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.645	.445	-10.32	8	.000	-2.57000	.24891	-3.1440	-1.9960
Equal variances not assumed			-10.32	7.9	.000	-2.57000	.24891	-3.145	-1.994

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-4.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 สมมติฐานทางสถิติ

H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.856	.382	-3.3	8	.010	-1.20400	.35689	-2.026	-.3810
Equal variances not assumed			-3.3	6.260	.014	-1.20400	.35689	-2.068	-.3394

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-4.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.395	.547	-1.0	8	.033	-.48600	.47187	-1.574	.60213
Equal variances not assumed			-1.0	7.531	.035	-.48600	.47187	-1.586	.61404

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้
ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-5 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ในอัตราส่วนดิน
ตะกอนปลูกต้นดาวเรือง

จ-5.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน C
สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	32.358	.000	-4.42	8	.002	-.71400	.16149	-1.0863	-.3416
Equal variances not assumed			-4.41	4.457	.009	-.71400	.16149	-1.1447	-.2832

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-5.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S1 สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยปริมาณความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	4.214	.074	3.397	8	.009	.20800	.06124	.06679	.34921
Equal variances not assumed			3.397	4.324	.024	.20800	.06124	.04288	.37312

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-5.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S2

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	3.543	.097	8.981	8	.000	.42600	.04743	.31662	.53538
Equal variances not assumed			8.981	4.197	.001	.42600	.04743	.29670	.55530

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-5.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S3

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลัง
ปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.039	.848	-3.76	8	.006	-.22200	.05903	-.3581	-.0858
Equal variances not assumed			-3.76	7.894	.006	-.22200	.05903	-.3584	-.0855

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-6 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจน
ในอัตราส่วนดินตะกอนปลูกต้นดาวเรือง

จ-6.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน C
สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรือง
ไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรือง
แตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.564	.474	4.439	8	.002	37.06400	8.34884	17.81154	56.31646
Equal variances not assumed			4.439	7.829	.002	37.06400	8.34884	17.73816	56.38984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน C ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-6.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S1 สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test								
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference
								Lower Upper
Equal variances assumed	1.353	.278	4.623	8	.002	32.43600	7.01583	16.25747 48.61453
Equal variances not assumed			4.623	6.984	.002	32.43600	7.01583	15.83829 49.03371

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S1 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-6.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S2 สมมติฐานทางสถิติ

- H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	6.876	.031	4.199	8	.003	33.39800	7.95320	15.05788	51.73812
Equal variances not assumed			4.199	5.332	.007	33.39800	7.95320	13.33042	53.46558

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเจลตาห์ลโนโตรเจนในอัตราส่วน S2 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-6.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเจลตาห์ลโนโตรเจนในอัตราส่วน S3 สมมติฐานทางสถิติ

H₀ : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลตาห์ลโนโตรเจนในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองไม่แตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยปริมาณเจลตาห์ลโนโตรเจนในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Independent-sample T-Test

Independent Samples Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	3.411	.102	5.799	8	.000	66.72400	11.50614	40.19079	93.25721
Equal variances not assumed			5.799	5.258	.002	66.72400	11.50614	37.57757	95.87043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Sig. < 0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยปริมาณเจลาตาล์ไนโตรเจนในอัตราส่วน S3 ก่อนและหลังปลูกต้นดาวเรืองแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จ-7 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเนียม

จ-7.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเนียมในดินตะกอน

สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณอุณหภูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ ไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยของปริมาณอุณหภูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ แตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	108051.541	4	27012.885	227.411	.000
Within Groups	1187.843	10	118.784		
Total	109239.384	14			

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณอุณหภูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของตันแคน (Duncan) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Duncan				
t	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสีย	3	2.5432		
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำกลั่น	3	2.5504		
ดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสีย	3	7.1834		
ดินตะกอนหลังผ่านกรดซิตริกจากสัปปะรด	3		102.6716	
ดินตะกอนหลังผ่านกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	3			218.1918
Sig.		.630	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

จ-7.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอูมิเนียมในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณอูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม ไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยของปริมาณอูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	47.733	2	23.867	140.054	.000
Within Groups	1.022	6	.170		
Total	48.756	8			

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณอูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของตันแคนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Duncan				
t	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่น	3	0.0000		
สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	3		3.0800	
สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	3			5.6400
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

จ-8 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเหล็ก

จ-8.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน

สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ ไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนหรือองค์กรของท่านได้มอบให้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) :
Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	784439.997	4	196109.999	3673.563	.000
Within Groups	533.841	10	53.384		
Total	784973.839	14			

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณหลักที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของตันแคน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Duncan				
t	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำกลั่น	3	12.7100		
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสีย	3	13.4667		
ดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสีย	3	15.7133		
ดินตะกอนหลังผ่านกรดซิตริกจากสับปะรด	3		140.2967	
ดินตะกอนหลังผ่านกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	3			604.0100
Sig.		.641	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

จ-8.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณหลักในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณหลักกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม ไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยของปริมาณหลักกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	267334.147	2	133667.074	60.091	.000
Within Groups	13346.396	6	2224.399		
Total	280680.544	8			

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของดันแคนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Duncan				
t	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่น	3	.0000		
สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริกจากสัปเปรด	3		44.0833	
สารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซนต์	3			405.8847
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

จ-9 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัส

จ-9.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสมมติฐานทางสถิติ

- H₀ :

ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ ไม่แตกต่างกัน
- H_a :

ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ แตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34306948.721	4	8576737.180	56.108	.000
Within Groups	1528611.799	10	152861.180		
Total	35835560.520	14			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของดันแคน (Duncan) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Duncan					
t	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
ดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสีย	3	549.7733			
ดินตะกอนหลังผ่าน กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	3		1541.4533		
ดินตะกอนหลังผ่าน กรดซิตริกจากสับปะรด	3			2704.5733	
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำกลั่น	3				4259.6333
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสีย	3				4442.8333
Sig.		1.000	1.000	1.000	.579
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

จ-9.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

สมมติฐานทางสถิติ

H₀ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม ไม่แตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) :
Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1414.029	2	707.014	44.530	.000
Within Groups	95.263	6	15.877		
Total	1509.292	8			

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไป

เปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของดันแคน (Duncan) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duncan				
t	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สารละลายที่ได้จากการสารสกัดด้วยน้ำกลั่น	3	.0000		
สารละลายที่ได้จากการสารสกัดด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	3		18.5000	
สารละลายที่ได้จากการสารสกัดด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	3			32.7333
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

จ-9.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน
สมมติฐานทางสถิติ

- H_0 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่าน
น้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ ไม่แตกต่างกัน
- H_a : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่าน
น้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิดต่างๆ แตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) :
Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1981091.892	4	495272.973	72.552	.000
Within Groups	68264.407	10	6826.441		
Total	2049356.299	14			

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยน
ได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียชุมชน รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านสารสกัดชนิด
ต่างๆ แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของดuncan ที่ระดับ
นัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duncan				
t	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ดินตะกอนก่อนผ่านน้ำเสีย	3	.0000		
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำเสีย	3	.0000		
ดินตะกอนหลังผ่านน้ำกลั่น	3	.0000		
ดินตะกอนหลังผ่านกรดซิตริกจากสปีเปรต	3		461.9267	
ดินตะกอนหลังผ่านกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	3			906.3133
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

จ-9.4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำใน
สารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการสกัด
ดินตะกอนสารส้ม ไม่แตกต่างกัน

H_a : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการสกัด
ดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) :
Single factor

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	708.834	2	354.417	69.589	.000
Within Groups	30.558	6	5.093		
Total	739.392	8			

ค่า Sig. <0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ
ในสารละลายที่ได้จากการสกัดดินตะกอนสารส้ม แตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบ
เชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของดินแดนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duncan				
t	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สารละลายที่ได้จากการสารสกัดด้วยน้ำกลั่น	3	.0000		
สารละลายที่ได้จากการสารสกัดด้วยกรดซิตริกจากสับปะรด	3		7.3367	
สารละลายที่ได้จากการสารสกัดด้วยกรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์	3			22.0333
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้