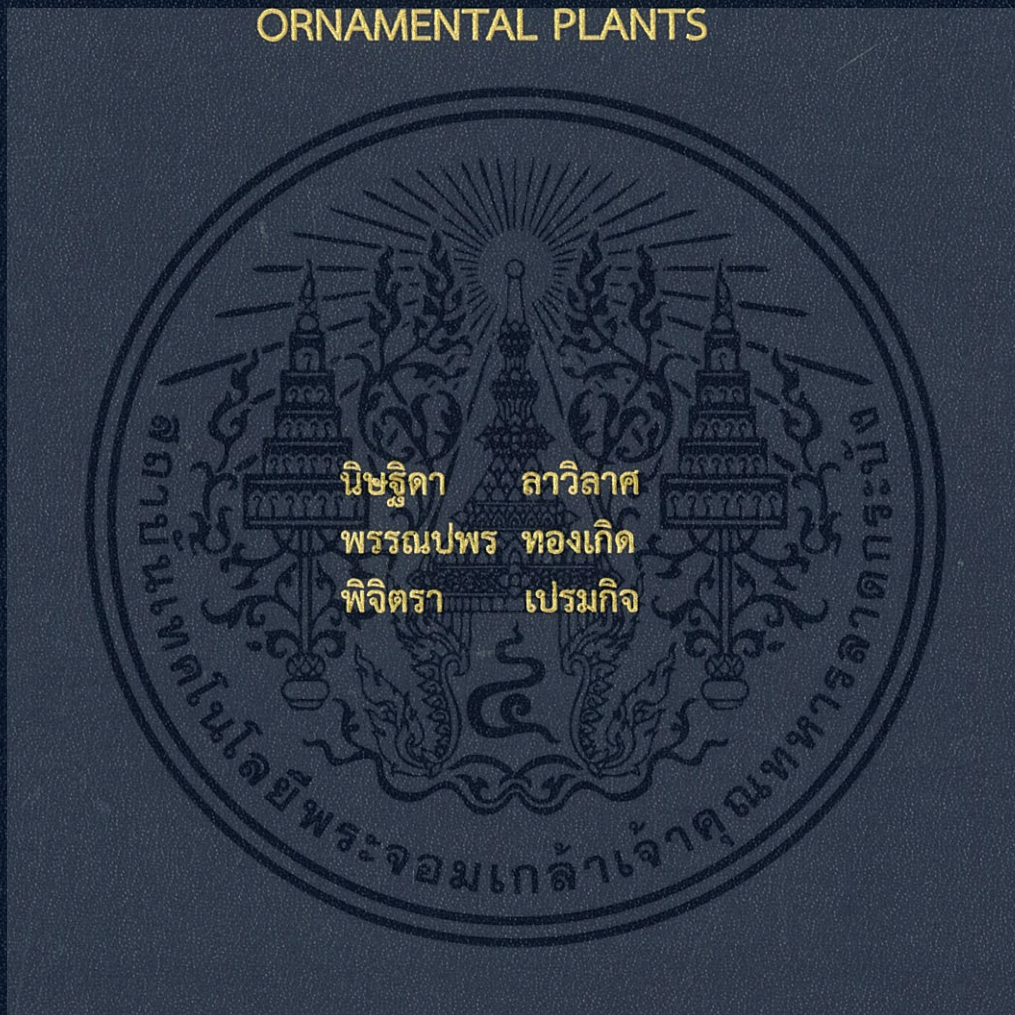


การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเพื่อเป็นวัสดุ
ปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ

UTILIZATION OF SLUDGE FROM WATER TREATMENT
AS PLANTING MATERIAL FOR FLOWER AND
ORNAMENTAL PLANTS



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเพื่อเป็นวัสดุ
ปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ

UTILIZATION OF SLUDGE FROM WATER TREATMENT
AS PLANTING MATERIAL FOR FLOWER AND
ORNAMENTAL PLANTS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTILIZATION OF SLUDGE FROM WATER TREATMENT
AS PLANTING MATERIAL FOR FLOWER AND
ORNAMENTAL PLANTS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIROMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ

Utilization of sludge from water treatment as planting material for flower and ornamental plants

ชื่อนักศึกษา

นางสาวนิษฐิดา ลาวิลาศ รหัสนักศึกษา 57050614

นางสาวพรรณปพร ทองเกิด รหัสนักศึกษา 57050622

นางสาวพิจิตรา เปรมกิจ รหัสนักศึกษา 57050624

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

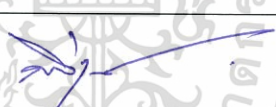


ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนิชฐิตา	ลาวิลาศ	รหัสนักศึกษา 57050614
	นางสาวพรรณปพร	ทองเกิด	รหัสนักศึกษา 57050622
	นางสาวพิจิตรา	เปรมกิจ	รหัสนักศึกษา 57050624
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ พืชทดลองที่ใช้คือดาวเรือง การทดสอบทำได้โดยปลูกดาวเรืองในกากตะกอนที่ผสมกับวัสดุปลูกทางการค้าในสัดส่วนที่แตกต่างกัน 5 อัตราส่วน ได้แก่ 0:100(A), 25:75(B), 50:50(C), 75:25(D) และ 100:0(E) เป็นเวลา 60 วัน ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ซ้ำ ในแต่ละชุดการทดลองจัดวางชุดทดลองด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลความสูงและจำนวนใบของพืชในแต่ละชุดทดลอง จากการศึกษาสมบัติของวัสดุผสมพบว่า เมื่อเติมกากตะกอนในวัสดุปลูกมากขึ้น ค่าความชื้น ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณอลูมิเนียม และปริมาณโลหะหนัก (Zn, Cu และNi) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ผลการศึกษาการปลูกต้นดาวเรืองพบว่า การเติมกากตะกอนช่วยให้พืชทดลองมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าต้นดาวเรืองที่ปลูกในชุดทดลองที่มีกากตะกอนเพียงอย่างเดียว (100:0) มีความสูงส่วนเหนือรากมากที่สุดคือ 20.88 เซนติเมตร และจำนวนใบเท่ากับ 57 ใบต่อต้น นอกจากนี้พบว่าลักษณะของลำต้นพืชที่ปลูกในกากตะกอนเพียงอย่างเดียวมีลักษณะตั้งตรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับต้นดาวเรืองที่ปลูกในวัสดุปลูกทางการค้าเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ : กากตะกอน, โรงไฟฟ้า, ดาวเรือง, โลหะหนัก, วัสดุปลูก

Title	Utilization of sludge from water treatment as planting material for flower and ornamental plants		
Students	Miss Nittida	Lawilad	Student ID 57050614
	Miss Panpaporn	Thongkerd	Student ID 57050622
	Miss Pijittra	Premkij	Student ID 57050624
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2017		
Advisor	Asst.Prof.Dr. Usarat Thawornchaisit		

Abstract

The feasibility study on utilization of sludge from water treatment as planting materials for flower and ornamental plants was investigated. Marigold was selected as an experimental plant. Experiments were conducted by planting the Marigold in sludges that were mixed with commercial planting materials for 5 different levels: 0:100(A), 25:75(B), 50:50(C), 75:25(D) and 100:0(E) for 60 days. Five replication were conducted for each treatment. Experimental units were arranged according to a Complete Randomized Design. Then, data on height and numbers of leaves in each treatment were recorded. Characterization of the mixed materials in each treatment found that moisture, conductivity, CEC, available nitrogen, exchange aluminium and heavy metals (Zn, Cu and Ni) increased with the increase in amount of sludge in the treatment. Results from study of growing Marigold showed that addition of sludge improved plant growth in terms of height and number of leaves. Furthermore, highest height (20.88 cm) and highest number of leaves (57 leaves per plant) was also observed when Marigold was planted in treatment containing 100:0 of sludges. Furthermore, characterization of plant trunk grown in treatment with only sludges (100:0) did not look straight as compare to Marigold that was planted in treatment with only commercial planting materials.

Keywords : sludge, power plant, Marigold, heavy metals, planting material

เอกลีขันธ์... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากการให้แนวคิด คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ต่างๆที่มีประโยชน์ รวมทั้งช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาเสียสละเวลา และตรวจสอบความถูกต้องเพื่อให้ผลงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์กรรมการที่ ช่วยให้คำแนะนำชี้แนะข้อบกพร่องสิ่งที่ควรแก้ไข รวมทั้งตรวจสอบผลงานอย่างละเอียด ช่วยทำให้ ผลงานมีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ โรงไฟฟ้าบางปะกง ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาคตะกอนเพื่อนำมาใช้ในการ วิเคราะห์โครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่คอยให้ความ ช่วยเหลือ รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จไป ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นางสาวนิษฐิตา ลาวิลาศ

นางสาวพรรณปพร ทองเกิด

นางสาวพิจิตรา เปรมกิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โรงไฟฟ้าบางปะกง.....	4
2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา (Service water).....	4
2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำดีมิน (Demineral water).....	5
2.2 กากตะกอนจากการผลิตน้ำ.....	6
2.2.1 การเกิดกากตะกอนและวิธีการจัดการ.....	6
2.2.2 การกำจัดกากตะกอน.....	7
2.3 ปัจจัยควบคุมการเจริญเติบโตของพืช.....	9
2.3.1 ดิน.....	9
2.3.2 น้ำ.....	10
2.3.3 ธาตุอาหาร.....	10
2.3.4 อากาศ.....	11
2.3.5 แสงอาทิตย์หรือแสงแดด.....	11
2.3.6 อุณหภูมิ.....	12
2.4 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	12
2.4.1 มหธาตุ.....	12
2.4.2 จุลธาตุ.....	14

	หน้า
2.4.3 ธาตุเสริมประโยชน์	16
2.5 ดาวเรือง.....	17
2.5.1 ลักษณะทั่วไปของดาวเรือง	18
2.5.2 ประเภทของดาวเรือง.....	18
2.5.3 พันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย	19
2.5.4 การขยายพันธุ์ดาวเรือง	20
2.5.5 การปลูกดาวเรือง.....	20
2.5.6 ศัตรูที่สำคัญของดาวเรือง.....	22
2.5.7 การใช้ประโยชน์.....	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	27
3.1.1 อุปกรณ์	27
3.1.2 สารเคมี.....	27
3.2 แหล่งที่มาของวัสดุ.....	29
3.2.1 กากตะกอน.....	29
3.2.2 เมล็ดพันธุ์ดาวเรือง.....	29
3.2.3 วัสดุปลูก.....	29
3.3 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอน.....	30
3.4 การเตรียมตัวอย่างวัสดุปลูก.....	30
3.5 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุปลูกสูตรต่างๆ	30
3.6 การศึกษาอัตราส่วนกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกดาวเรือง.....	31
3.6.1 การวางแผนการทดลอง	31
3.6.2 ขั้นตอนการปลูกพืช	32
3.6.3 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	34
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูกและกากตะกอน	34
4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุผสม.....	35
4.2.1 ความชื้น (Moisture Content).....	36
4.2.2 พีเอช (pH).....	36
4.2.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)	37
4.2.4 อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, OM).....	38

	หน้า
4.2.5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity , CEC).....	38
4.2.6 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen).....	39
4.2.7 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus).....	40
4.2.8 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Potassium).....	40
4.2.9 อลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้	41
4.2.10 โลหะหนัก	42
4.3 ผลของอัตราส่วนวัสดุปลูกกับภาคตะกอนต่อการเจริญเติบโตของพืช	43
4.3.1 ความสูงของพืช	43
4.3.2 จำนวนใบของพืช	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก.....	52
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุในการทดลอง	30
3.2 สัดส่วนโดยน้ำหนักของกากตะกอนและวัสดุปลูก	31
3.3 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design : CRD).....	32
4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปลูกและกากตะกอน.....	34
ข-1 ความชื้น (Moisture) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ	63
ข-2 พีเอช (pH) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	64
ข-3 การนำไฟฟ้า (Conductivity) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ	64
ข-4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, OM) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	65
ข-5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Capacity Exchange Cation, CEC) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	66
ข-6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	67
ข-7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	68
ข-8 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Potassium) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	70
ข-9 ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ	72
ข-10 ปริมาณสังกะสี (Zn) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ	74
ข-11 ปริมาณทองแดง (Cu) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	76
ข-12 ปริมาณนิกเกิล (Ni) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	78
ข-13 การเจริญเติบโตของดาวเรืองที่ปลูกในวัสดุผสมสูตรต่างๆ.....	80
ค-1 Factor Information.....	82
ค-2 Analysis of Variance (ความสูง).....	82
ค-3 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองในวัสดุผสมอัตราส่วนต่างๆ โดยวิธี Fisher Pairwise Comparison.....	82
ค-4 Analysis of Variance (จำนวนใบ)	83
ค-5 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองในวัสดุผสมอัตราส่วนต่างๆ โดยวิธี Fisher Pairwise Comparison.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา (Service water)	4
2.2 กระบวนการผลิตน้ำดีมีน (Demineral water).....	5
2.3 การรีดน้ำตะกอนแบบอัดกรอง (Filter Press).....	6
3.1 ลักษณะของกากตะกอนที่ใช้ในการศึกษา.....	29
3.2 การจัดวางชุดทดลองและต้นกล้าในแต่ละกระถาง.....	32
4.1 ความชื้นของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	36
4.2 พีเอชของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	37
4.3 ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง.....	37
4.4 อินทรีย์วัตถุของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	38
4.5 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	39
4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	39
4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	40
4.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง.....	41
4.9 ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง.....	41
4.10 ปริมาณสังกะสีของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	42
4.11 ปริมาณทองแดงของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	42
4.12 ปริมาณนิกเกิลของวัสดุในแต่ละชุดทดลอง	43
4.13 ความสูงของดาวเรืองในแต่ละชุดทดลอง.....	44
4.14 จำนวนใบของดาวเรืองในแต่ละชุดทดลอง	44
4.15 ลักษณะของดาวเรืองในชุดการทดลองต่างๆ	45
ข-1 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส.....	69
ข.2 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม	71
ข.3 กราฟมาตรฐานอลูมิเนียม	73
ข.4 กราฟมาตรฐานสังกะสี.....	75
ข.5 กราฟมาตรฐานทองแดง.....	77
ข.6 กราฟมาตรฐานนิกเกิล	79
ข.7 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปลูก	81
ข.7 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอน.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
OM	อินทรีย์วัตถุ
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
N	ไนโตรเจน
P	ฟอสฟอรัส
K	โพแทสเซียม
Zn	สังกะสี
Cu	ทองแดง
Ni	นิกเกิล
Al	อลูมิเนียม
pH	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
AAS	เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ml	มิลลิลิตร
cmol/kg	เซนติโมลต่อกิโลกรัม
mS/cm	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
°C	องศาเซลเซียส
R ²	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Squared)
DF	องศาความเป็นอิสระ (Degrees of Freedom)
Adj SS	ผลบวกกำลังสองที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted Sum of Square)
Adj MS	ค่าเฉลี่ยกำลังสองที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted Mean Square)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า การใช้น้ำของโรงไฟฟ้าพบได้ทั่วไปใน 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการอุปโภค/บริโภคและ 2) น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นเครื่องควบแน่นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงไฟฟ้า (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2560) การผลิตไฟฟ้าจัดเป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีการใช้น้ำในปริมาณสูง ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าถ่านหินหรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีการใช้น้ำหล่อเย็นในปริมาณ 76-227 ลิตรต่อ 1 กิโลวัตต์ของไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Meldrum *et al*, 2013) ด้วยเหตุนี้โรงไฟฟ้าส่วนใหญ่จึงมีระบบการผลิตประปาเพื่อใช้ภายในองค์กร รวมทั้งระบบการผลิตน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) หรือที่เรียกสั้นๆ ว่าน้ำดีมิน (Demineral water) เพื่อลดการพึ่งพาการผลิตน้ำจากหน่วยงานภายนอกอีกทั้งยังช่วยให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าบางปะกงมีการผลิตน้ำใช้เองประมาณ 150 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2556) ในกระบวนการผลิตน้ำประปาจะรับน้ำดิบมาจากแหล่งน้ำดิบธรรมชาติ ซึ่งภายในกระบวนการมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยการเติมสารโพลีออลูมิเนียมคลอไรด์เพื่อเร่งในการตกตะกอน โซเดียมไฮโปคลอไรด์เพื่อกำจัดแบคทีเรีย โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับค่าพีเอชในน้ำ และพอลิเมอร์เพื่อให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อสิ้นสุดการผลิตจะนำน้ำประปาเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำดีมิน โดยผ่านกระบวนการ Reverse Osmosis (RO) ซึ่งน้ำดีมินมีความบริสุทธิ์ มีสิ่งเจือปนน้อยมาก และมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยจึงเหมาะต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า จากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำจะเกิดตะกอนดินหรือกากตะกอนเกิดขึ้นเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งต้องการกำจัดเป็นจำนวนมาก โดยในการผลิตน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีปริมาณตะกอนดินหรือกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณ 25-35 กรัม (เกียรติสุดา, 2559) วิธีการกำจัดกากตะกอนจากการผลิตน้ำที่นิยมใช้คือ การนำไปถมที่ภายในโรงไฟฟ้าภายหลังจากการตรวจวัดค่าโลหะหนักว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ทำให้การหาแนวทางนำตะกอนเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่หลายฝ่ายให้ความสนใจ เมื่อพิจารณาสมบัติทั่วไปของกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปาพบว่า เป็นวัสดุที่มีปริมาณมวลสาร มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน และอุดมไปด้วยสารอนินทรีย์ โดยเฉพาะปริมาณสารอลูมิเนียมสูงกว่าดินทั่วไป (ณปภา, มปป.) แนวทางหนึ่งของการเพิ่มมูลค่าให้กากตะกอนจากการผลิตน้ำประปา คือ การนำไปผสมกับวัสดุปลูกที่มีอินทรีย์วัตถุหรือปุ๋ยเพื่อเป็นดินวิทยาศาสตร์ที่มีความต้องการของตลาด โดยเฉพาะตลาดปลูกไม้ดอกไม้ประดับ (ณปภา, มปป.) โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าเพื่อเป็นวัสดุปลูกไม้ดอกไม้ประดับ พร้อมทั้งศึกษาอิทธิพลของปริมาณกากตะกอนที่สามารถใช้เป็นวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไม้ดอกไม้ประดับ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. กากตะกอนที่ใช้ในการศึกษาเป็นกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่ง
2. ไม้ดอกไม้ประดับที่ใช้ในการศึกษาคือ ต้นดาวเรือง
3. วัสดุปลูกอื่นที่ใช้คือ ดินที่มีส่วนผสมของใบก้ามปู ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และกาบมะพร้าวสับ
4. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนและวัสดุปลูกที่ใช้ในการศึกษา โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความชื้น (Moisture) พีเอช (pH) การนำไฟฟ้า (Conductivity) อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, OM) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Capacity Exchange Cation, CEC) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) และโลหะบางชนิด ได้แก่ อลูมิเนียม (Al) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni)
5. ศึกษาผลของปริมาณกากตะกอนผสมต่อการเจริญเติบโตของพืช
 - ดำเนินการศึกษาแบบกระถางทดลอง ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่
 - 5.1 ตัวแปรอิสระ คือ อัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกดังนี้คือ 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0
 - 5.2 ตัวแปรตาม คือ การเจริญเติบโตของพืชทดลอง ซึ่งจะวัดความสูงของส่วนเหนือรากและนับจำนวนใบของต้นดาวเรืองเมื่อปลูกครบ 60 วัน
 - 5.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่
 1. ดิน 1 กิโลกรัมต่อกระถาง
 2. ระยะเวลาการปลูกต้นกล้า 15 วัน
 3. จำนวนเมล็ดที่เพาะเท่ากับ 30 เมล็ดต่อกระถางเพาะเมล็ด เมื่องอกจะคัดเหลือ 1 ต้นต่อกระถาง
 - 5.4 วางแผนการทดลองแบบการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) จำนวน 4 ซ้ำ 5 ชุดทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคการเกษตรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เป็นแนวทางในการจัดการและเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

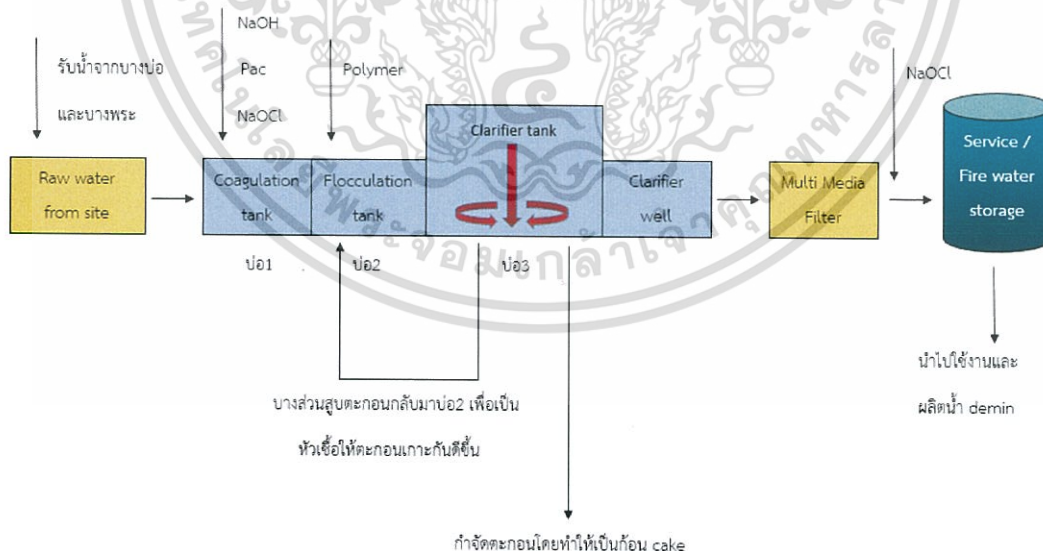
2.1 โรงไฟฟ้าบางปะกง

โรงไฟฟ้าบางปะกง เป็นโรงไฟฟ้าแห่งแรกของประเทศไทยที่ใช้ก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อสนองนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการพัฒนาแหล่งทรัพยากรธรรมชาติภายในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งในปัจจุบันโรงไฟฟ้าบางปะกงประกอบด้วยโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจำนวน 4 เครื่อง และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม จำนวน 3 ชุด มีขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวม 3,720.3 เมกะวัตต์ (โรงไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2560) ถือเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศ

น้ำจัดเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญของโรงไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้โรงไฟฟ้าบางปะกงจึงมีระบบการผลิตน้ำเพื่อใช้ภายในองค์กรเพื่อลดการพึ่งพาการผลิตน้ำจากหน่วยงานภายนอก

2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา (Service water)

การผลิตน้ำประปา (Service water) มีกระบวนการผลิตสรุปได้ด้วยรูปที่ 2.1 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2556)



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา (Service water)

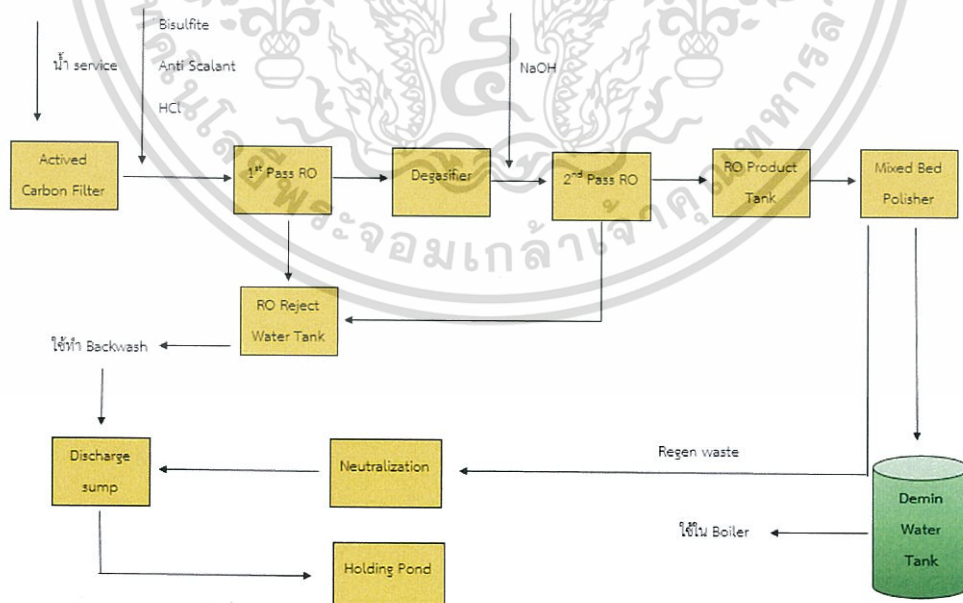
ดัดแปลงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตน้ำประปาเริ่มจากการสูบน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำบางพระและคลองพระองค์เจ้าไชยานุชิตเข้ามาในบ่อสร้างตะกอน (Coagulation tank) ที่บ่อดังกล่าวจะมีการเติมสารเคมีคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อปรับ pH ของน้ำ, โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) เพื่อช่วยเร่งในการรวมตะกอนและโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) เพื่อกำจัดแบคทีเรีย น้ำที่ผ่านกระบวนการ Coagulation จะถูกส่งไปยังบ่อรวมตะกอน (Flocculation tank) ซึ่งจะมีการเติมโพลีเมอร์ที่มีคุณสมบัติเป็น Anion (ประจุลบ) ส่งผลให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นน้ำจะไหลลงมายังถังตกตะกอน (Clarifier tank) เพื่อให้เกิดการแยกระหว่างตะกอนกับน้ำ ตะกอนที่ตกลงก้นบ่อจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ต้องกำจัดออกจากถังโดยทำให้เป็นก้อน (cake) และส่วนที่ต้องหมุนเวียนกลับไป Flocculation tank เพื่อทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา ทำให้ตะกอนใหม่เกิดเร็วขึ้น ส่วนที่เป็นน้ำใสจะไหลลงผ่านช่องไปยังถังเก็บน้ำใส (Clarifier well) ซึ่งจะไหลต่อไปสู่หน่วยกรอง (Multimedia Filtration Unit) ภายในบรรจุชั้นกรวด(Gravel), ทราย(Sand), โกเมน(Garnet) และแอนทราไซต์(Anthracite) เพื่อกำจัดสารแขวนลอยและสิ่งเจือปนที่หลงเหลืออยู่ จากนั้นจะมีการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรด์อีกครั้งเพื่อกำจัดแบคทีเรียที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะเข้าสู่แทงค์เก็บน้ำเพื่อนำไปใช้งานต่างๆและผลิตน้ำดื่มต่อไป

2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำดื่ม (Demineral water)

การผลิตน้ำดื่ม (Demineral water) ทำได้โดยนำน้ำประปา (Service water) มาผลิตซึ่งมีแผนภาพขั้นตอนการผลิตโดยสรุปดังรูปที่ 2.2 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2556)



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำดื่ม (Demineral water)

ดัดแปลงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556)

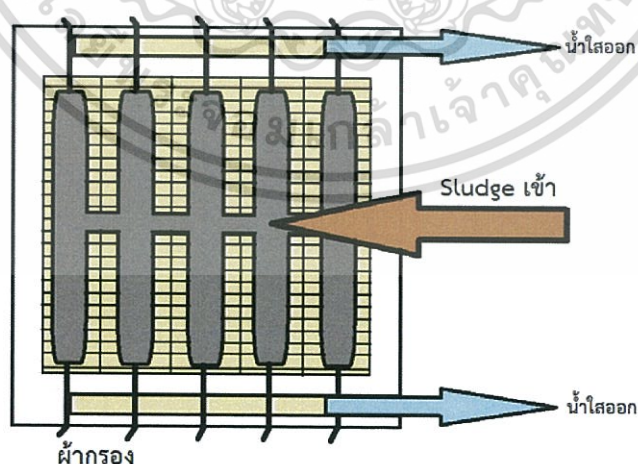
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตน้ำดีมีนเริ่มจากการสูบน้ำประปาเข้าสู่ระบบกรองด้วยแอคทีเวทคาร์บอน (Activated Carbon Filter ACF) ซึ่งภายในบรรจุด้วยกรวดและสารกรองหรือผงถ่านกัมมันต์ เพื่อทำหน้าที่กรองสารแขวนลอยขนาดเล็กที่เหลืออยู่ในน้ำ เช่น คลอรีน เหล็ก แมงกานีส เป็นต้น จากนั้นจะมีการเติม Bisulphite เพื่อควบคุมค่าโออาร์พี (Oxidation reduction potential ORP) และกำจัดคลอรีนในน้ำ มีการเติมสารป้องกันตะกรัน (Antiscalant) และเติมกรดไฮโดรคลอริก เพื่อปรับพีเอชของน้ำให้เป็นกลางเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานและป้องกันการเกิดตะกรันรวมทั้งการละลายของเหล็กก่อนเข้าระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) น้ำที่เติมสารเคมีแล้วจะผ่านชุด Micro filter ซึ่งทำหน้าที่กรองละเอียด จากนั้นจะถูกเพิ่มความดันก่อนเข้าสู่ระบบ Reverse Osmosis system (RO) น้ำที่ผ่านการกรอง (permeate) จะไหลเข้าสู่ถังแลกเปลี่ยนไอออนแบบมิกซ์เบดเรซิน (Mixed Bed Exchanger) ซึ่งภายในบรรจุด้วย Anion Resin และ Cation Resin ที่ทำหน้าที่ดักจับไอออนบวกและลบของแร่ธาตุต่างๆที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ เมื่อได้น้ำดีมีนที่มีความบริสุทธิ์ มีสิ่งเจือปนน้อยมากแล้วจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

2.2 กากตะกอนจากการผลิตน้ำ

2.2.1 การเกิดกากตะกอนและวิธีการจัดการ

กากตะกอน (Sludge) จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในการผลิตน้ำประปาและน้ำดีมีนเพื่อใช้ภายในโรงไฟฟ้า โดยทั่วไปเกิดจากการตกตะกอนจากกระบวนการ Clarification และยังสามารถเกิดจากการใช้น้ำล้าง filter โดยทั่วไปจะมีการรีดน้ำออก (Filter Press) ขณะที่ Filter press ทำงานจะได้ส่วนที่เป็นน้ำใสไหลออกมาและ Sludge Cake ปล่อยลงใส่ภาชนะที่รองรับตะกอน



รูปที่ 2.3 การรีดน้ำตะกอนแบบอัดกรอง (Filter Press)

ดัดแปลงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำมีคุณสมบัติต่างๆคือ มีความอุดมด้วยสารอินทรีย์, ขาดสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช, ขาดสารกลุ่ม fiber, มีปริมาณสารออลูมิเนียมสูงกว่าดินทั่วไป ซึ่งสารออลูมิเนียมมาจากการใช้สารส้มเป็นตัวตกตะกอน, ปริมาณมวลสารมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน, มีปริมาณมากเพียงพอที่จะเป็นวัตถุดิบในเชิงอุตสาหกรรม, ตะกอนดินมีคุณสมบัติเป็นเนื้อดินเบา อุ่นน้ำ จะพองตัวได้เมื่อชุ่มน้ำ

โดยในการผลิตน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีปริมาณตะกอนดินหรือกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณ 25-35 กรัม (เกียรติสุดา, 2559)

2.2.2 การกำจัดกากตะกอน

แนวทางการจัดการทั่วไปของกากตะกอนจากการผลิตน้ำสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

1. การขนส่งผ่านท่อหรือบรรทุกเรือนำไปทิ้งทะเล (Marine Disposal)

วิธีนี้เคยใช้กันในหลายประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่ๆ ที่ตั้งอยู่ติดทะเล เนื่องจากผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณภาพน้ำทะเลและระบบนิเวศของแหล่งน้ำชายฝั่ง ทำให้การกำจัดตะกอนโดยวิธีดังกล่าวได้รับการต่อต้านจากหน่วยงานต่างๆ อีกทั้งหลายประเทศได้ออกกฎหมายห้ามมิให้กำจัดตะกอนโดยทิ้งทะเลหรืออาจยอมให้นำไปทิ้งทะเลได้ แต่ได้กำหนดให้ห่างจากฝั่งออกไปเป็นระยะทางไกลๆ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น (กิตติมา, 2555)

2. การนำไปฝังกลบ (Landfill)

วิธีการนี้จัดเป็นอีกแนวทางปฏิบัติที่นิยมโดยตะกอนที่นำไปกำจัดควรรู้อยู่ในรูปตะกอนแห้ง (Sludge Cake) ซึ่งมีของแข็งอยู่มากกว่าร้อยละ 30 ของสลัดจ์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามเพื่อให้การกำจัดตะกอนเป็นไปอย่างถูกสุขลักษณะ จำเป็นต้องจัดหาพื้นที่สำหรับการกำจัดที่เหมาะสม และระยะไม่ห่างไกลจากโรงบำบัดน้ำเสียมากเกินไป ไม่อยู่ใกล้แหล่งชุมชน รวมทั้งควรมีการศึกษาถึงผลกระทบที่อาจมีต่อคุณภาพน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดินที่อยู่ใกล้เคียง วิธีการฝังกลบที่ใช้ควรเป็นการกำจัดแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) (มานิชย์, 2551) ซึ่งมีหลายวิธีได้แก่ *การฝังกลบพร้อมขยะ (Conventional Sanitary Landfill)* เป็นการนำกากตะกอนไปผสมกับขยะแล้วฝังกลบไปพร้อมๆกัน ในบางครั้งจะใช้กากตะกอนผสมกับดินเพื่อกลบเป็นชั้นบนสุด ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือ จะทำให้พื้นที่ฝังกลบโดยเฉพาะผิวด้านบนอุดมสมบูรณ์ด้วยธาตุอาหารสำหรับพืช ทำให้การปลูกพืชคลุมดินทำได้ง่ายขึ้น *การฝังกลบแบบคู (Trench Fill)* ในระบบนี้อาจใช้กากตะกอนที่ปรับเสถียรแล้วหรือที่ยังไม่เสถียรก็ได้ใส่ลงในคูหรือร่องซึ่งมีการระบายน้ำเสียจากกากตะกอน (Leachate) อยู่ด้านล่าง แล้วใช้ดินฝังกลบหลังจากกากตะกอนเต็มคูแล้ว *การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Fill)* การฝังกลบแบบนี้เป็นการนำกากตะกอนมาเกลี่ยบนพื้นแล้วใช้ดินกลบลงไป ใต้พื้นจะตาดด้วยวัสดุกันซึมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน บริเวณโดยรอบจัดให้มีระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากพื้นที่ และ *การกั้นในคันดิน (Diked Containment)* เป็นการทำคันดินขึ้นเป็นส่วนๆ คล้ายนาข้าว แต่ขุดให้ลึกกว่านากากตะกอนใส่ลงไปแล้วกลบด้วยดิน ขนาดของแต่ละส่วนกว้าง 15-30 เมตร ยาว 30-60 เมตร ลึก 3-10 เมตร

3. การเผา (Incineration)

โดยทางทฤษฎีแล้วตะกอนจากการบำบัดน้ำจัดเป็นวัสดุอย่างดีที่สามารถนำไปกำจัดโดยการเผา ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 80 สามารถที่จะเผาไหม้ได้เอง โดยไม่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงอื่น (กิตติมา, 2555) ข้อดีของวิธีการเผา คือสามารถกำจัดตะกอนได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่ต้องขนส่งไปกำจัดที่อื่น ข้อจำกัดที่สำคัญคือค่าลงทุนในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานยังค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

4. การนำไปปรับปรุงดิน (Land Application)

จัดเป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมใช้กัน (โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่เกษตรกรรม) โดยที่ตะกอนที่นำไปกำจัดอาจจะอยู่ในรูปตะกอนเปียกหรือตะกอนแห้ง ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียจะมีสารประกอบหลายอย่างที่เป็ประโยชน์ต่อพืช อาทิเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอาหารอื่นๆ เนื่องจากกากตะกอนเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำ ซึ่งมีการรับน้ำดิบมาจากแหล่งธรรมชาติโดยน้ำดิบมีสารประกอบต่างๆปนอยู่ปัญหาของการกำจัดตะกอนวิธีการนี้คือ ตะกอนอาจจะมีส่วนผสมของสารบางอย่างซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายในระยะยาวต่อพืชและสัตว์ที่กินพืชนั้นเป็นอาหาร (กิตติมา, 2555) จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบส่วนประกอบของตะกอนที่จะนำมาใช้ ปัญหาการหาพื้นที่เกษตรกรรมที่มีเนื้อที่มากพอมีระยะไม่ไกลจากสถานที่บำบัดน้ำเสียมากเกินไป และหากเป็นพื้นที่นาซึ่งในการทำ การเพาะปลูกจำเป็นต้องมีการกักเก็บน้ำในระยะเวลาหนึ่ง จะเป็นอุปสรรคต่อการกำจัดตะกอน ปัญหาด้านสภาพภูมิอากาศก็เป็นปัญหาที่สำคัญโดยเฉพาะช่วงฤดูฝน

5. การหมักทำปุ๋ย (Compositing)

การหมักทำปุ๋ยเป็นวิธีกำจัดตะกอนที่ดีวิธีหนึ่งสำหรับตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณสารพิษเจือปนอยู่น้อย ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการกำจัดโดยนำไปปรับปรุงดิน โดยนำตะกอนมาหมักประมาณ 20 วัน อาจมีการผสมกับกากเหลือใช้จากกระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น ฟางข้าว เพื่อให้แห้งเร็วขึ้น จนมีของแข็งอยู่ร้อยละ 95 และผสมด้วยกากถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจน หรือผสมด้วยแกลบเพื่อเพิ่มความร่วนซุย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการใช้งาน

6. การใช้ประโยชน์อื่นๆ

เช่น *การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน* จากองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจากการผลิตน้ำประปาที่มีซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) ในปริมาณสูงเช่นเดียวกับวัสดุปอซโซลาน ทำให้กากตะกอนเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน (ร้อยละ 5 – 20 โดยน้ำหนัก) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Paramalinggam Thanalechumi *et.al.*, 2016) แต่ก่อนการนำตะกอนประปามาใช้ต้องมี การปรับปรุงคุณภาพด้วยการแคลไซต์ที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขององค์ประกอบของตะกอนประปาและช่วยกระตุ้นให้สารประกอบในตะกอน ประปาสสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี *การผลิตบล็อกประสาน* โดยนำมาใช้แทนที่ทราย โดยใช้ตะกอน ประปาเป็นมวลรวมละเอียดเพื่อทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังอัดและร้อยละการดูดซึมน้ำตาม มอก.57-2530 (สมบูรณ์และอดิสรณ์, 2551) *การใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์* ตะกอน ประปามีซิลิกาและอลูมินาในปริมาณสูงเมื่อนำมาผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณสูง จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และใช้เป็นวัสดุประสานได้ (รัฐพลและเกียรติสุตา, 2557) *การใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการสังเคราะห์อิโพลีเมอร์* วัสดุอิโพลีเมอร์ เป็นวัสดุประสานชนิดใหม่ที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบ แต่อาศัยหลักการของการใช้วัสดุพอลิเมอร์ ลาน หรือวัสดุที่มีซิลิกาและอลูมินาในปริมาณสูงมาสังเคราะห์ร่วมกับสารละลายต่างเข้มข้น (เกียรติ สุตา, 2559) เพื่อให้เกิดเป็นโมเลกุลลูกโซ่ของซิลิกาโดยใช้ออกซิเจนอะตอมร่วมกัน

2.3 ปัจจัยควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

พืชเป็นสิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ได้ย่อมต้องการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม สภาพของสิ่งแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่

2.3.1 ดิน

ดินเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรก ดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ต้องเป็นดินที่อุ้มน้ำได้ดี ร่วนซุย มีอินทรีย์วัตถุมาก ดินจะช่วยในการพยุงลำต้น ให้อากาศ ตลอดจนให้น้ำและแร่ธาตุ แต่เมื่อใช้ดินปลูกไปนานๆดินอาจเสื่อมสภาพ เช่น หมดแร่ธาตุ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินให้อุดมสมบูรณ์ ได้แก่ การไถพรวน การใส่ปุ๋ย การปลูกพืชหมุนเวียน เป็นต้น ปัจจุบันดินที่มีอยู่ก็ไม่มีคุณสมบัติเป็นไปตามความต้องการของพืชและยังมีสารที่เป็นพิษกับต้นพืชอีกด้วยจึงจำเป็นต้องปรับปรุงดินให้ดีขึ้น (เพลินจันทร์, 2549) ถ้าเป็นไปได้ควรปรับปรุงให้ตรงกับความต้องการของพืชแต่ละชนิด โดยเฉพาะไม้ดอกที่มีอายุสั้น ดินที่ใช้ปลูกจะต้องมีความอุดมสมบูรณ์สูง เพื่อให้การเจริญเติบโตทางต้นของไม้ดอกเป็นไปได้อย่างดี ดอกที่ได้จากต้นที่สมบูรณ์เท่านั้นจึงจะมีคุณภาพที่ดีตามความต้องการของตลาด ดังนั้นการปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติครบถ้วนตามความต้องการของดอกไม้โดยใช้วัสดุต่างๆทั้งอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุ ซึ่งรวมเรียกว่าวัสดุปรับปรุงดิน (Soil Amendments) ควรมีคุณสมบัติโปร่ง อุ้มน้ำได้ดีพอสมควร ไม่เน่าเปื่อยผุพังเร็วจนเกินไป มีปริมาณเกลือแร่ต่ำ สะอาดปราศจากโรคแมลงตลอดจนสารพิษเจือปน มีความสม่ำเสมอ ไม่เป็นกรดหรือด่าง

2.3.2 น้ำ

น้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมากช่วยละลายแร่ธาตุอาหารในดิน เพื่อให้รากดูดอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆของลำต้นได้ และยังช่วยให้ดินมีความชุ่มชื้น พืชสดชื่นและการทำงานของกระบวนการต่างๆ ในพืชเป็นไปอย่างปกติ

น้ำในพืชโดยเฉลี่ยประมาณ 70% พืชดูดน้ำทางราก บางส่วนที่ถูกดูดเข้ามาจะคายออกทางใบ บางส่วนจะอยู่ในเซลล์เพื่อรักษาความอืดตัวของเซลล์ บางส่วนก็แยกตัวออกไปเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน ไฮโดรเจนจะเข้าร่วมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ส่วนออกซิเจนจะคายออกมา

ส่วนใหญ่ น้ำจะถูกนำไปใช้สำหรับรักษาความตึงของเซลล์เอาไว้ เพราะเมื่อเซลล์พืชมีน้ำเพียงพอกระบวนการต่างๆที่จำเป็นสำหรับพืชก็ดำเนินไปด้วย แต่เมื่อ Turgor pressure ของเซลล์ลดลงเพราะขาดน้ำกระบวนการต่างๆ เช่น การดูดซึมน้ำและการใช้ธาตุอาหาร ความเป็นประโยชน์ และการเคลื่อนที่ของธาตุอาหาร ก็จะถูกกระทบเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ Turgor pressure ยังช่วยในการขยายตัวของเซลล์และประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยยังลดลงอีกด้วย (สุมิตรา, 2545)

พืชที่ขาดน้ำจะสังเคราะห์แสงไม่ได้เต็มที่ ประกอบกับช่อง Somata ของใบจะตีบเข้า ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบยากขึ้น ถ้ามีน้ำในดินมากเกินไป เช่น ขณะที่น้ำท่วม สภาพเช่นนี้จะทำให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อพืช เช่น H_2S นอกจากนั้นยังทำให้ออกซิเจนในดินมีไม่เพียงพอสำหรับการหายใจของราก การสูญเสียธาตุอาหารโดยถูกชะล้าง

2.3.3 ธาตุอาหาร

เป็นสิ่งที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมี 16 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก สังกะสี แมงกานีส ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน ธาตุอาหารที่พืชต้องการมาก บางครั้งเรียกว่า ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุอาหารที่ต้องการรองลงมา เรียกว่า ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันแต่ธาตุที่พืชต้องการมากและในดินมักมีไม่เพียงพอ คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (สุมิตรา, 2545) ธาตุอาหารเหล่านี้จะต้องอยู่ในรูปสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้และต้องมีสัดส่วนที่พอเหมาะ ถ้าสัดส่วนมากไปหรือน้อยไปย่อมกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์สารต่างๆ ทำให้การเจริญเติบโตในพืชผิดปกติหรือพืชอาจตายได้ แต่ถ้ามีไม่เพียงพอต้องเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชในรูปของปุ๋ย

ปัญหาของธาตุอาหารในดินกับความต้องการของพืช เป็นปัญหาที่ยุ่ยากเพราะไม่มีทางทราบได้อย่างถูกต้องว่าทุกขณะตลอดฤดูปลูกพืชดินมีธาตุอาหารเท่าใด พืชแต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์และในสภาพแวดล้อมอื่นๆต้องการธาตุอาหารต่างๆในอัตราส่วนและปริมาณเท่าใด และยิ่งไปกว่านั้นตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตต่างๆของพืชยังมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกันอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 อากาศ

อากาศเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตต้องการออกซิเจน โดยจะเข้าไป Oxidize substrate แล้วปล่อยพลังงานออกมาใช้ สำหรับกระบวนการต่างๆของสิ่งมีชีวิต ส่วนที่อยู่เหนือดินของพืชจะได้ออกซิเจนจากอากาศ แต่ในส่วนที่อยู่ใต้ดินได้มาจากอากาศในดิน ปกติในบรรยากาศจะมีออกซิเจน 20.96% คาร์บอนไดออกไซด์ 0.03% และไนโตรเจน 78% แต่ในดินนั้นจะมีออกซิเจนน้อยลง คาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะมีมากกว่าในบรรยากาศตั้งแต่ 10 เท่าขึ้นไป (สมิตรา, 2545) ออกซิเจนจำเป็นสำหรับการหายใจและการหายใจจะเกิดขึ้นกับเซลล์ตลอดเวลา ไม่ว่าส่วนใดของพืชจะอยู่เหนือดินหรือใต้ดินก็ตาม ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นคืออาจจะขาดแคลนได้บ้าง แต่ถ้าขาดมากเกินไปพืชจะไม่มีสารสังเคราะห์แสงจึงไม่มีอาหารพอที่จะเติบโตต่อไปได้ พืชที่ขึ้นในเมือง (โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมหรือมีผู้คนและรถยนต์มาก) จะมีก๊าซที่พืชไม่ชอบอยู่มากเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์และคลอรีน พวกเหล่านี้ถ้าพืชได้รับเข้าไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็จะเป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อพืชได้ดังนั้นเราจึงเห็นว่าต้นไม้ข้างถนนในเมืองมักไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร (เชาวน์, 2541)

2.3.5 แสงอาทิตย์หรือแสงแดด

เป็นแหล่งพลังงานหลักของสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยเฉพาะพืชที่มีสารสีเขียวที่เรียกว่าคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) คลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงเป็นคลื่นแสงที่สารสีเขียวของพืชดูดซับไว้มาก และมีบทบาทสำคัญในการใช้เป็นพลังงานในการสังเคราะห์แป้ง-น้ำตาลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่ใบพืช ปริมาณของพลังงานแสงที่พืชได้รับขึ้นอยู่กับความมากน้อยของแสงแดด มุมที่แสงตกกระทบ ลักษณะการตั้ง และการหันหน้าเข้าหาแสงของใบ ยามเที่ยงวันย่อมมีแสงจ้ามากกว่ายามเช้าตรู่หรือยามพระอาทิตย์ตกดิน วันที่ไม่มีเมฆหมอกย่อมดีกว่าวันที่ฝนครึ้ม และใบพืชที่ตั้งทำมุม 30-45 องศา กับต้นพืชย่อมดีกว่าใบแบนทำมุมฉากกับต้นพืช

การศึกษาอิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยความเข้มของแสงมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชมาก แต่หากพืชได้รับความเข้มของแสงเป็นระยะเวลาต่างๆจะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต เพราะการสังเคราะห์แสงของพืชถ้าเกิดมาก ออกซิเจนซึ่งเป็นผลพลอยได้จะนำไปใช้ส่วนต่างๆของเซลล์ ซึ่งจะมีผลไปยังเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แสง จะเป็นสาเหตุให้ปากใบปิด เร่งอัตราการหายใจมากขึ้น และทำให้พืชมีการคายน้ำเกิดขึ้นในปริมาณมากอย่างรวดเร็ว ทำให้พืชเหี่ยวลง ความเข้มของแสงยังมีอิทธิพลต่อพืชโดยรอบ เช่น การเจริญเติบโตของพืชในที่มืดจะมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงมาก ลำต้นบอบบาง ใบจะมีการขยายตัวน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับในพืชที่มีการเจริญเติบโตในแสงปกติ ซึ่งมีลำต้นเตี้ยกว่า ทั้งนี้เพราะแสงมีอิทธิพลในการทำลายการเจริญเติบโต ใบพืชที่อยู่ในความเข้มแสงจะมีการขยายตัวได้น้อยลง และพืชต้องการแสงแดดมาใช้ในการสร้างอาหาร ถ้าขาดแสงแดด พืชจะแคระแกรน ใบจะมีสีเหลืองหรือขาวซีดและตายในที่สุด พืชแต่ละชนิดต้องการแสงไม่เท่ากันพืชบางชนิดต้องการแสงแดดจัด แต่พืชบางชนิดก็ต้องการแสงรำไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 อุณหภูมิ

เป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นภายในพืช ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางฟิสิกส์หรือกระบวนการทางเคมีของพืช อุณหภูมิจะมีส่วนช่วยในการงอกและเจริญเติบโต และมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ปฏิกริยาส่วนใหญ่ในกระบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำจะทำให้การสังเคราะห์แสงช้าลงทำให้การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบช้า และถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้เอนไซม์ถูกทำลายสูญเสียสภาพไปจนไม่สามารถกระตุ้นปฏิกริยาได้

อุณหภูมิมียผลทางอ้อมต่อการเร่งอัตราการหายใจ อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่สำหรับการหายใจของพืชอยู่ระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์แสง ถ้าอุณหภูมิต่ำเกิน 35 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์แสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะพืชมีการนำเอาแป้งและน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงมาใช้ในการหายใจ

อุณหภูมิกอากาศเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณความชื้น เนื่องจากอุณหภูมิมียอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความชื้นในอากาศ ถ้าอุณหภูมิกอากาศเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณไอน้ำ และไอน้ำในอากาศจะควบคุมการระเหยน้ำไปจากต้นพืชและการระเหยน้ำจากดิน นอกจากนี้ความชื้นในดินยังมีผลต่ออุณหภูมิภายในต้นพืชและการหยั่งรากของพืช ถ้าความชื้นต่ำจะมีผลทำให้เซลล์พืชเหี่ยวแห้ง ถ้าความชื้นสูงจะมีผลทำให้อินทรีย์วัตถุในดินเน่าเปื่อยได้ดี

2.4 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

2.4.1 มหธาตุ

มหธาตุ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน (ยงยุทธ, 2552) สำหรับมหธาตุที่พืชได้รับจากดินยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 พวก คือ ธาตุหลัก (primary elements) หรือธาตุอาหารหลัก เป็นธาตุที่มักขาดแคลนในดินทั่วไป มี 3 ธาตุคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม และธาตุรอง (secondary elements) หรือธาตุอาหารรอง เป็นธาตุที่มีปัญหาความขาดแคลนไม่กว้างขวางเหมือนธาตุหลัก มี 3 ธาตุคือ แคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถัน

2.4.1.1 ธาตุหลัก (primary elements)

1) ไนโตรเจน (N) เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ จะมีการเจริญเติบโตไม่อาศัยเพศและการพัฒนาในช่วงเจริญพันธุ์ตามปกติ สำหรับไนโตรเจนในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโต

โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5% โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2552) เมื่อพืชได้รับธาตุนี้ต่ำกว่าระดับปกติย่อมมีการเจริญเติบโตน้อยลง

อาการขาดไนโตรเจน : ปรากฏชัดเจนที่ใบแก่ เนื่องจากไนโตรเจนเคลื่อนย้ายจากใบเหล่านั้นไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา ทำให้ใบแก่ร่วงหล่นเร็ว

อาการที่มีไนโตรเจนมากเกินไป : หากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป จะลดการเจริญเติบโตของรากและส่งเสริมการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินมาก การออกดอกยากและช้า ผลแก่ช้า คุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวไม่ดี

2) ฟอสฟอรัส (P) มีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานซึ่งเป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟไลปิดอีกด้วย สำหรับฟอสฟอรัสในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0.1-0.4% หรือน้อยกว่าไนโตรเจนประมาณ 10 เท่า (สุมิตรา, 2545) เมื่อพืชได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ จะทำให้การเจริญเติบโตของพืช (ยอดและราก) เป็นไปได้ดีและยังช่วยให้พืชออกดอกและแก่เร็ว ทำให้พืชมีความแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลง

อาการขาดฟอสฟอรัส : พืชจะมีขนาดของต้นเล็ก ลำต้นและใบแคระ การแตกกิ่งก้านไม่ดี การเจริญเติบโตของระบบรากน้อย ใบแก่ของพืชจะมีสีเขียวเข้มหรือม่วง เนื่องจากการสะสมคาร์โบไฮเดรตมากเกินไป

อาการที่มีฟอสฟอรัสมากเกินไป : ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ไม่ถูกชะล้างในน้ำ เมื่อฟอสฟอรัสมากเกินไปในดินจะทำให้จุลธาตุ โดยเฉพาะสังกะสีและเหล็กไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำให้พืชขาดธาตุอาหารทั้งสองชนิดนี้ได้

3) โพแทสเซียม (K) มีหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต การทำงานของคลอโรฟิลล์และเอนไซม์หลายชนิด นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืชและควบคุมการปิดเปิดของปากใบ สำหรับโพแทสเซียมในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1.25-3% (สุมิตรา, 2545)

อาการขาดโพแทสเซียม : พืชจะชะงักการเจริญเติบโต ใบแก่มีสีเหลืองซีดโดยเริ่มจากปากใบและปลายใบ ในพืชบางชนิดจะพบจุดสีน้ำตาลไหม้กระจายทั่วทั้งใบหรือพบจุดสีแดงหรือเหลืองระหว่างเส้นใบในใบอ่อน ถ้าอาการรุนแรงใบจะแห้งและร่วงก่อนกำหนด พบมากในไม้ผล

อาการที่มีโพแทสเซียมมากเกินไป : จะทำให้การดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมของพืชลดลง

2.4.1.2 ธาตุรอง (secondary elements)

1) แคลเซียม (Ca) มีหน้าที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อและเซลล์พืช จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของเซลล์และเป็นธาตุที่กระตุ้นให้เอนไซม์หลายชนิดทำงานในไม้ผล แคลเซียมจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวให้ยาวนานขึ้น สำหรับแคลเซียมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0.5-2% ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (สุมิตรรา, 2545) อัตราการดูดธาตุแคลเซียมจะช้ากว่าโพแทสเซียม

อาการขาดแคลเซียม : จะเกิดขึ้นที่ใบอ่อนหรือส่วนที่กำลังเจริญเติบโต เพราะแคลเซียมเป็นธาตุที่จัดว่าไม่เคลื่อนที่ในพืช อาการที่พบคือ ใบจะบิดเบี้ยวม้วนงอ ไปไม่สามารถคลี่ได้เต็มที่หรือเมื่อใบขยายใหญ่ขึ้นจะเกิดการขาดตามขอบใบ

อาการที่มีแคลเซียมมากเกินไป : จะมีผลต่อการดูดใช้แมกนีเซียมและโพแทสเซียม

2) แมกนีเซียม (Mg) มีหน้าที่เกี่ยวกับเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและมีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลภายในพืช สำหรับแมกนีเซียมในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0.2-0.5% (สุมิตรรา, 2545)

อาการขาดแมกนีเซียม : พบที่ใบแก่ก่อน ขอบใบและบริเวณระหว่างเส้นใบมีสีเหลืองเห็นได้ชัด แต่เส้นใบยังเขียวอยู่ อาจมีสีแดงเกิดตามแถบสีเหลืองบนใบด้วย ถ้าขาดแมกนีเซียมอย่างรุนแรงใบแก่ซึ่งอยู่ตอนล่างของพืชจะตายไป ในพืชบางชนิดการขาดแมกนีเซียมจะทำให้ใบร่วงก่อนกำหนด

อาการที่มีแมกนีเซียมมากเกินไป : จะมีผลต่อการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียม

3) กำมะถัน (S) เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนบางชนิด โปรตีนและโคเอนไซม์ (Co-enzyme) สำหรับกำมะถันในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0.15-0.5% (สุมิตรรา, 2545)

อาการขาดกำมะถัน : เกิดที่ใบอ่อนหรือส่วนที่กำลังเจริญเติบโต การขาดจะทำให้พืชโตช้า แคระแกรน ลำต้นพอมสูง เกิดอาการเหลืองทั้งต้น ใบอ่อนจะมีสีเหลือง

2.4.2 จุลธาตุ

จุลธาตุ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ โบรอน คลอรีน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม สังกะสี และนิกเกิล (ยงยุทธ, 2552) ธาตุอาหารเหล่านี้มีความสำคัญเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองที่พืชจะขาดไม่ได้ แต่ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุโดยเฉพาะเหล็กและสังกะสี จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรดและด่างของดิน (pH) และความเข้มข้นของธาตุบางชนิด

1) โบรอน (B) มีหน้าที่สำคัญต่อการสังเคราะห์และเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต การสร้างกรดอะมิโนและโปรตีน การงอก และการเจริญเติบโตของละอองเกสรตัวผู้ (Pollen) และกิจกรรมต่างๆของเซลล์ สำหรับโบรอนในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปมีประมาณ 10-50 ppm (สุมิตรรา, 2545)

อาการขาดโบรอน : จะพบอาการที่ผลก่อน การติดผลไม่ดี รูปร่างของผลผิดปกติและการสุกของผลไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คลอรีน (Cl) สำหรับคลอรีนในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปมีประมาณ 20 ppm จนถึง 0.15% (สุมิตรา, 2545) ถ้าความเข้มข้นสูงกว่า 1% ส่วนใหญ่จะเป็นพิษกับพืช

อาการขาดสังกะสี : ไม่ค่อยพบปัญหาการขาดคลอรีน แต่พบปัญหาการเป็นพิษแทนลักษณะที่คลอรีนเป็นพิษ คือปลายใบหรือขอบใบจะไหม้ ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและร่วงก่อนกำหนด

3) ทองแดง (Cu) มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงของพืช ทั้งการสร้างส่วนต่างๆที่เป็นสีเขียวของพืช ช่วยเพิ่มคลอโรฟิลล์และป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย ทองแดงมีบทบาทกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และช่วยสร้างวิตามินเอในพืช สำหรับทองแดงในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปมีค่อนข้างน้อยมีประมาณ 2-10 ppm (สุมิตรา, 2545)

อาการขาดทองแดง : ระยะแรกใบพืชจะมีสีเขียวผิดปกติจากนั้นจะค่อยๆเหลืองไปเรื่อยๆจะลามจากยอดไปสู่ลำต้น การขาดธาตุทองแดงในพืชมักจะพบในพื้นที่ที่เป็นกรด สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งมีปริมาณทองแดงมาก

4) เหล็ก (Fe) เป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (Ferridoxin) ซึ่งเป็นสารที่สำคัญในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช นอกจากนี้เหล็กยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืช สำหรับเหล็กในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปมีประมาณ 50-100 ppm (สุมิตรา, 2545)

อาการขาดเหล็ก : ใบพืชจะมีสีเหลืองซีดและเกิดที่ใบอ่อน โดยที่เส้นใบยังเขียวอยู่ในขณะที่พื้นที่ระหว่างเส้นใบมีสีเหลือง ทำให้มองเห็นลวดลายชัดเจน นอกจากนี้จะมีใบหนาเล็กและหยابกระด้าง พบมากในดินด่างหรือดินที่มีฟอสฟอรัสหรือแมงกานีสสูง

5) แมงกานีส (Mn) มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) ในขบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ สำหรับแมงกานีสในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปมีประมาณ 20-100 ppm (สุมิตรา, 2545)

อาการขาดแมงกานีส : ใบอ่อนของพืชจะมีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ คล้ายกับการขาดเหล็กเมื่อเกิดอาการขาดที่รุนแรง ใบพืชจะแสดงอาการแห้งตายเป็นจุดๆหรือแถบใบและผลอาจร่วง ยอดใบอาจแห้งตาย

6) โมลิบดีนัม (Mo) เป็นส่วนประกอบสำคัญของเอนไซม์ 2 ชนิด คือ ไนโตรจีเนส (Nitrogenase) ซึ่งมีความสำคัญในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศและไนเตรตรีดักเตส (Nitrate reductase) สำหรับโมลิบดีนัมในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปมีประมาณ 0.5-1 ppm (สุมิตรา, 2545) โมลิบดีนัมมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว

อาการขาดโมลิบดีนัม : ไม่พบในไม้ผล

7) สังกะสี (Zn) มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด สังกะสีมีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์สาร AA (Indole acetic acid) ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการ

ขยายตัวของเซลล์พืช และยังมีบทบาทเกี่ยวกับการสร้างแป้งในพืช สำหรับสังกะสีในพืชที่ถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปมีประมาณ 15-50 ppm การขาดเพียง 1-2 ppm อาจทำให้เกิดความผิดปกติของพืชได้ (สุมิตรา, 2545)

อาการขาดสังกะสี : ใบที่ใกล้ยอดอ่อนลีบเล็กเหมือนใบพาย ปลายแหลม บริเวณเส้นใบจะเขียวแต่ส่วนอื่นๆของใบจะเหลือง หากปล่อยไว้จะแห้งตายไปทั้งกิ่งและต้น

8) นิกเกิล (Ni) มีหน้าที่สำคัญต่อเอนไซม์ Urease โดยทำหน้าที่ช่วยปลดปล่อยไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้ยังจำเป็นต่อกระบวนการดูดซับธาตุเหล็ก รวมทั้งช่วยในการงอกของเมล็ดหลายชนิด

อาการขาดนิกเกิล : พืชอาจไม่ให้ผลผลิตเต็มที่ ต้นแกรน ตาใบไม่ค่อยเจริญ ปลายใบตาย และแผ่นใบมีสีเหลืองซีดระหว่างเส้นใบและเนื้อเยื่อตายเป็นหย่อม

2.4.3 ธาตุเสริมประโยชน์

ธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial elements) หมายถึง ธาตุที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชแต่ไม่ใช่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช เป็นเพียงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชบางชนิด ธาตุที่จัดเป็นธาตุเสริมประโยชน์ ได้แก่ ซิลิคอน โซเดียม โคบอลต์ ซีลีเนียม อลูมิเนียม วาเนเดียม (ยงยุทธ, 2552) และธาตุหายากบางธาตุ สำหรับพืชบางชนิดที่ต้องการธาตุดังกล่าวธาตุใดธาตุหนึ่งอย่างแท้จริงก็ถือว่าธาตุนั้นเป็นจุลธาตุเฉพาะพืช ในหัวข้อนี้จะบอกกล่าวถึงเฉพาะผลของอลูมิเนียม เนื่องจากเป็นธาตุที่พบปริมาณสูงในภาคตะกอนที่นำมาใช้ในการศึกษา สำหรับผลของธาตุอาหารเสริมอื่นๆสามารถศึกษารายละเอียดได้ที่ (ยงยุทธ, 2552)

2.4.3.1 อลูมิเนียม

ผลเชิงเสริมประโยชน์ อลูมิเนียมมีผลเชิงเสริมประโยชน์ 2 ด้าน คือ การเจริญเติบโตและการยับยั้งโรคพืช (Watanabe *et al*, 2005; Epstein and Bloom, 2005; Miyasaka *et al.*, 2007)

ด้านที่ 1 การเจริญเติบโต ช่วยไม่ให้พืชเป็นพิษเนื่องจากฟอสฟอรัส ทองแดง สังกะสี กล่าวคือ เมื่อปลูกถั่วลิสงในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีมากจนถึงระดับเป็นพิษ หากมีอลูมิเนียมในสารละลาย 20.4-49.0 ไมโครโมลาร์ ก็กระตุ้นให้รากและส่วนเหนือดินเติบโตดีขึ้น โดยช่วยลดการดูดสังกะสีทางรากและการเคลื่อนย้ายขึ้นไปสะสมในส่วนบน (ยงยุทธ, 2552) ในกรณีที่รากดูดฟอสเฟตมากจนถึงระดับเป็นพิษ อลูมิเนียมจะช่วยลดปัญหาโดยการตกตะกอนในรูปอลูมิเนียมฟอสเฟต การให้อลูมิเนียมความเข้มข้นต่ำๆในสารละลายธาตุอาหารที่มี pH ต่ำ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น เนื่องจากอลูมิเนียมระดับดังกล่าวช่วยลดผลจากพิษของ H^+ ที่ผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ และช่วยปรับกลไกการขนส่งธาตุอาหาร

ด้านที่ 2 การยับยั้งโรคพืช อลูมิเนียมอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุโรคพืช จึงทำให้พืชเป็นโรคน้อยลง

พืชจากอลูมิเนียมต่อพืช อลูมิเนียมความเข้มข้นสูงในเนื้อเยื่อพืช มีผลกระทบต่อกระบวนการทางชีวเคมีของพืชหลายด้านจนเกิดอาการเป็นพิษ (Miyasaka *et al.*, 2007) ดินกรดที่มี pH 5.1-5.5 และ 4.6-5.0 เรียกว่าดินกรดจัดและดินกรดจัดมากตามลำดับ เป็นดินที่มีปัญหาด้านการเพาะปลูก ดินกรดระดับนี้มักมีอลูมิเนียมและแมงกานีสสูงจนถึงระดับเป็นพิษต่อพืช พืชของอลูมิเนียมจะออกมาอยู่ในสารละลายดิน หากรากดูดเข้าไปสะสมมากจะมีผลกระทบต่อการยับยั้งการยืดตัวของราก โดยจำนวนรากน้อยและขนาดของรากเล็กลง จึงมีการดูดธาตุอาหารและน้ำได้น้อย ส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายหลังได้รับอลูมิเนียมเป็นเวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ส่งผลให้สัญญาณลักษณะของรากผิดปกติ ลดการดูดและการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร ลดการดูดน้ำและการเคลื่อนย้ายน้ำในพืช รวมทั้งลดการสังเคราะห์แสงทำให้ผลผลิตลดลง

ความทนของพืชต่ออลูมิเนียม พืชที่ทนต่ออลูมิเนียมความเข้มข้นสูง โดยการขับธาตุนี้ที่รากดูดได้ออกมานอกราก เรียกว่า ทนโดยใช้กลไกการหลีกเลี่ยง (Kochian, 1995; Miyasaka *et al.* 2007) ซึ่งแสดงว่าการหลีกเลี่ยงการดูดหรือการขับอลูมิเนียมออก เป็นกลไกที่พืชกลุ่มหนึ่งใช้เพื่อให้อยู่ได้เมื่อมีธาตุนี้ในวัสดุปลูกสูง กลไกที่เป็นไปได้มีหลายประการ คือ

- 1) การเลี่ยงของราก เช่น รากยึดตัวเบนออกจากบริเวณที่มีธาตุนี้สูง หรือปลายรากอาจถูกทำลายแต่รากแขนงที่แตกใหม่จะเบนออกมายังบริเวณที่มีธาตุนี้ต่ำ
- 2) การขับกรดอินทรีย์ให้ออกมาทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมได้สารเชิงซ้อนซึ่งไม่เป็นพิษ เสถียรภาพของสารเชิงซ้อนที่เกิดจากกรดอินทรีย์เรียงจากสูงไปหาต่ำดังนี้ ซิทริก > ออกซาลิก > ทาทาริก > มาลิก > แอซิติก (Watanabe *et al.*, 2004)
- 3) ขับพอลิเพปไทด์หรือขับสารฟีนอลิกออกมาเพื่อทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมให้เป็นสารเชิงซ้อนที่มีพิษน้อยลง
- 4) ทำให้ไนโตรเจนมีสภาพต่าง เพื่อตกตะกอนอลูมิเนียม หรือขับเมือกออกมาจากปลายรากเพื่อดูดซับอลูมิเนียมในวัสดุปลูกเอาไว้
- 5) ดูดซับอลูมิเนียมไว้กับผนังเซลล์หรือผิวด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์

2.5 ดาวเรือง

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Tagetes spp.*

ชื่อวงศ์ Compositae

ชื่อสามัญ Marigold

ชื่ออื่นๆ คำปู้จู้ (ภาษาท้องถิ่นทางภาคเหนือ แปลว่า ดอกที่มีสีเหลืองคล้ายทองคำ)

ดาวเรือง (Marigold) เป็นพืชล้มลุก มีถิ่นกำเนิดในประเทศสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก และมีการปลูกทั่วโลก ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของหลายประเทศ เช่น อียิปต์ ฮังการี อเมริกาใต้ สเปน ฝรั่งเศส เป็นต้น พันธุ์ที่นิยมปลูกในปัจจุบันมีทั้งชนิดดอกสีขาว สีเหลือง สีเหลืองทอง และสีส้ม ในเอกสารนี้เขียนชื่อวิทยาศาสตร์ไว้เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น ชื่อวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในเอกสารนี้ไม่ได้เป็นการรับรองว่าพันธุ์ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศไทยการปลูกดาวเรืองนิยมมากขึ้น เมื่อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เริ่มนำเข้ามาเมล็ดพันธุ์จาก ประเทศเนเธอร์แลนด์มาปลูกครั้งแรกในปี พ.ศ.2510 และมีการปลูกมากขึ้นเป็นอาชีพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะภัยแล้ง (บุรีพันธุ์, 2559) เนื่องจากดาวเรืองเป็นพืชที่ปลูกง่าย โตเร็ว ขึ้นได้ดีทุกสภาพพื้นที่ ทนต่อสภาพแวดล้อมและสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี โดยแหล่งปลูกดาวเรืองพบได้มากในภาคกลางเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพบว่ามีการปลูกดาวเรืองมีการลงทุนต่ำเมื่อเทียบกับ การปลูกพืชชนิดอื่น มีระยะการเก็บเกี่ยวสั้น 60-70 วัน และให้ผลผลิตต่อไร่สูง ต้นหนึ่งให้ดอกมากกว่า 6-8 ดอก โรคและแมลงรบกวนน้อย และสามารถจำหน่ายได้ง่าย เป็นไม้ดอกที่นำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ใช้ประดับตกแต่ง เสริมอาหารสัตว์ การสกัดสี ส่วนผสมของเวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง เครื่องดื่มสุขภาพ รวมไปถึงเป็นสารขับไล่แมลงหรือกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ คนไทยมีความเชื่อว่าหากปลูกดาวเรืองไว้ริมรั้วหรือในบ้าน จะเป็นมงคลเสริมชะตาชีวิตให้รุ่งเรือง มีความก้าวหน้าในอาชีพ โดยเฉพาะสีเหลืองทองเปรียบเหมือนหนุนให้มีเงินทองเต็มบ้าน

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของดาวเรือง

ดาวเรืองเป็นพืชล้มลุก อายุประมาณ 4-5 เดือน สูงประมาณ 0.5-4.0 ฟุต ใบเป็นใบประกอบ มีลักษณะเรียวยาว รูปหอก ปลายแหลมขอบหยัก ออกดอกเป็นช่อกระจุกเดี่ยวที่ปลายยอด ดอกมีลักษณะเป็นแบบดอกรวม ประกอบด้วยดอกย่อยเล็กๆเป็นจำนวนมากอัดซ้อนกันแน่นอยู่บนฐานรองดอก ดอกมีสีเหลือง ส้ม ครีม และขาว มีตั้งแต่ขนาดเล็ก คือประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางดอก 1 นิ้ว จนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 4 นิ้ว และเมื่อตัดลำต้น กิ่ง ก้านและใบของดาวเรือง จะมีกลิ่นเหม็น จึงทำให้แมลงไม่ค่อยรบกวน นอกจากนี้ภายในรากของดาวเรืองมีสารชนิดหนึ่งคือ แอลฟาเทอร์เชียนิล (alfa - terthienyl) ซึ่งเป็นสารที่สามารถควบคุมปริมาณไนโตรเจนในดินได้เป็นอย่างดี (พัชรี, 2555)

2.5.2 ประเภทของดาวเรือง

โดยทั่วไปสามารถจำแนกดาวเรืองตามความสูงของพุ่มเป็น 3 ประเภท คือ

1) ดาวเรืองอเมริกัน (American Marigolds) เป็นดาวเรืองที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปอเมริกา ลำต้นสูงตั้งแต่ 10-40 นิ้ว ดอกสีเหลือง ส้ม ทอง และขาว กลีบดอกซ้อนกันแน่น ดอกมีขนาดใหญ่ประมาณ 3-4 นิ้ว ดาวเรืองชนิดนี้มีหลายพันธุ์ ได้แก่

พันธุ์เตี้ย มีความสูงประมาณ 10-14 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ปาปาया (Papaya) ไพน์แอปเปิล (Pineapple) ปัมพ์กิน (Pumpkin) เป็นต้น

พันธุ์สูงปานกลาง มีความสูงประมาณ 14-16 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์อะพอลโล (Apollo) ไวคิง (Viking) มูนช็อต (Moonshot) เป็นต้น

พันธุ์สูง มีความสูงประมาณ 16-36 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ดับเบิลอีเกิล (Double Egle) ดับบลูน (Doubleloon) ซอฟเวอร์เรน (Sovereign) เป็นต้น

ดาวเรืองในกลุ่มนี้หากปลูกในฤดูหนาวจะมีอายุการเก็บเกี่ยว 60-65 วัน และถ้าปลูกในฤดูร้อนอายุการเก็บเกี่ยวจะช้าลงกว่าปกติ 10-15 วัน

2) ดาวเรืองฝรั่งเศส (French Marigolds) เป็นดาวเรืองต้นเล็ก พุ่มเตี้ยมีความสูงประมาณ 6-16 นิ้ว ดอกสีเหลือง ส้ม ทอง น้ำตาลอมแดง และสีแดง ดอกมีขนาดเล็กประมาณ 1-3 นิ้ว เป็นไม้ดอกที่เหมาะสมปลูกในช่วงฤดูหนาว เพราะหากปลูกในช่วงฤดูร้อนจะทำให้ดอกตายน้อยหรือไม้ออกดอกเลย และนิยมปลูกประดับในแปลงมากกว่าปลูกเพื่อตัดดอก เนื่องจากมีก้านดอกสั้น นอกจากนี้ยังเป็นดาวเรืองที่สามารถลดปริมาณไส้เดือนฝอยที่ทำให้เกิดอาการรากปมในรากพืชได้ ตัวอย่างดาวเรืองฝรั่งเศส ได้แก่ พันธุ์ดอกชั้นเดียว ดอกมีขนาด 1.5-2.0 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์เรตมาเรตต้า (Red Marietta) นอธตี้ มาเรตต้า (Naughty Marietta) เอสปานา (España) ลีโอปาร์ด (Leopard) เป็นต้น พันธุ์ดอกซ้อน ดอกมีขนาดตั้งแต่ 1.5-3.0 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ควีนโซเฟีย (Queen Sophia) สการ์เลต โซเฟีย (Scarlet Sophia) โกลเด้น เกต (Golden Gate) เป็นต้น

3) ดาวเรืองพันธุ์ลูกผสม (Mule Marigolds หรือ Afro American Marigolds) เป็นดาวเรืองลูกผสมระหว่างดาวเรืองอเมริกันและดาวเรืองฝรั่งเศส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำลักษณะความแข็งแรง ดอกใหญ่ และมีกลิ่นหอมของดาวเรืองอเมริกัน ผสมกับลักษณะต้นเตี้ยทรงพุ่มกะทัดรัดของดาวเรืองฝรั่งเศส ดาวเรืองลูกผสมให้ดอกเร็วมากคือ (เพียง 5 สัปดาห์) หลังจากเพาะเมล็ดเพียง 5 สัปดาห์ ดอกมีขนาด 2-3 นิ้ว ดอกดกและอยู่กับต้นได้ดี ดาวเรืองชนิดนี้มีข้อเสียก็คือ เมล็ดจะลีบ ไม่สามารถนำมาเพาะให้เป็นต้นใหม่ได้จึงเรียกว่า ดาวเรืองล่อ เช่นเดียวกับการผสมม้ากับลา มีลูกออกมาเรียกว่า ล่อ ซึ่งเป็นหมัน จึงทำให้เมล็ดมีราคาแพงมาก และการปลูกดาวเรืองด้วยเมล็ดชนิดนี้ จึงควรใช้เมล็ดเป็นปริมาณ 2 เท่าของจำนวนที่ต้องการ เนื่องจากเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำ ดาวเรืองลูกผสมที่นิยมปลูกมีหลายพันธุ์ คือ พันธุ์นิกเก็ต (Nugget) ไฟร์เวิร์ก (Fireworks) เรด เซเว่นสตาร์ (Red Sevenstar) และโชว์บ๊อต (Showboat)

2.5.3 พันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

1) พันธุ์ซอฟเวอร์เรน ดอกสีเหลือง กลีบดอกซ้อนกันแน่น สวยงาม ดอกมีขนาดประมาณ 10 เซนติเมตร

2) พันธุ์ทอริเตอร์ ดอกสีส้ม ขนาดประมาณ 8.5-10.0 เซนติเมตร

3) พันธุ์ดับเบิลอีเกิล ดอกสีเหลือง ขนาดประมาณ 8.5 เซนติเมตร และมีก้านดอกแข็ง

4) พันธุ์ดาวเรืองเกษตร เป็นดาวเรืองที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำเข้ามาทดลองปลูกและคัดเลือกพันธุ์ที่โครงการเกษตรที่สูงและได้คัดเลือกพันธุ์ไว้ได้ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สีทองเบอร์ 1 และพันธุ์สีทองเบอร์ 4 (ภูริพันธุ์, 2559) ซึ่งทั้ง 2 พันธุ์เป็นพันธุ์ที่มีดอกสีเหลืองขึ้นได้ดีในสภาพของประเทศไทยและให้ผลผลิตสูงพอสมควร

2.5.4 การขยายพันธุ์ดาวเรือง

2.5.4.1 การเพาะเมล็ด เป็นวิธีการที่นิยมปฏิบัติกันและให้ผลผลิตดีกว่าวิธีอื่น โดยนำเมล็ดดาวเรืองมาเพาะในกระบะหรือแปลงเพาะ การเพาะในกระบะ อาจจะใช้กระบะไม้หรือกระบะพลาสติกก็ได้ วัสดุเพาะประกอบด้วยขุยมะพร้าว หทราย ขี้เถ้าแกลบ ปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 1:1:1:1 การเพาะเมล็ดหน้าดินตากไว้ประมาณ 1 สัปดาห์เพื่อฆ่าเชื้อโรคและแมลง จากนั้นนำปุ๋ยคอก อาทิ มูลโค มูลเป็ด มูลไก่ เป็นต้น มาผสมและคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ย่อยดินให้ละเอียดแล้วปรับแปลงให้เรียบ การเพาะเมล็ดทั้งการเพาะในกระบะหรือบนแปลง มีวิธีการปฏิบัติดังนี้

- 1) ทำร่องบนวัสดุเพาะในกระบะหรือบนแปลงให้ลึกประมาณ 5 เซนติเมตร และให้แต่ละร่องห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร
- 2) หยอดเมล็ดดาวเรืองในร่อง ห่างกันประมาณ 3-5 เซนติเมตร แล้วกลบร่องเพื่อกลบเมล็ดดาวเรือง
- 3) ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ เศษฟาง หรือหญ้าแห้ง คลุมกระบะเพาะ เพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากฝนชะล้าง แต่ถ้าเป็นฤดูหนาวก็ควรคลุมพลาสติกเช่นกัน เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับกระบะหรือแปลงเพาะ จะทำให้เมล็ดงอกได้ดีขึ้น หลังจากเพาะได้ประมาณ 3-5 วัน เมล็ดงอก และอีกประมาณ 10-12 วัน จึงย้ายกล้าไปปลูกได้

2.5.4.2 การปักชำ เป็นวิธีการขยายพันธุ์ที่สามารถทำได้อีกวิธีหนึ่ง แต่ไม่ค่อยนิยมมากนัก เนื่องจากได้จำนวนน้อยและผลผลิตต่ำกว่า ดอกมีขนาดเล็กกว่า สาเหตุที่ทำกันเพราะเป็นผลพลอยได้จากการเด็ดยอดทิ้ง ยอดที่เด็ดทิ้งจะมีความยาว 1-2 นิ้ว แล้วนำไปปักชำที่ใช้คือขี้เถ้าแกลบ เพราะเก็บความชื้นได้ดีหลังจากเตรียมแปลงหรือถ่วงหักชำแล้วนำยอดดาวเรืองมาปักชำ หากควบคุมความชื้นได้ดี ยอดดาวเรืองจะออกรากภายใน 3-4 วัน และถ้ามีการใช้ฮอร์โมนเร่งรากจะทำให้ดาวเรืองออกรากได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นนำไปไว้ให้ถูกแดดอีกประมาณ 3-4 วัน จึงสามารถย้ายไปปลูกยังแปลงได้

2.5.5 การปลูกดาวเรือง

การปลูกดาวเรืองเป็นขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การเตรียมแปลงปลูก การย้ายกล้ามาปลูกในแปลง รวมถึงการปฏิบัติดูแล โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

2.5.5.1 การเตรียมแปลงปลูก ดินที่จะใช้ปลูกดาวเรืองควรเป็นดินที่ระบายน้ำได้ดี เก็บรักษาความชื้นได้สูงและมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.5-7.5 ในขณะที่เตรียมดินนั้น ควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักลงไปด้วย เพื่อเพิ่มธาตุอาหารและปรับโครงสร้างให้ดินโปร่ง ควรขุดพลิกหน้าดินไว้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ เพื่อทำลายเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช แปลงควรมีขนาดกว้างประมาณ 1 เมตร ความยาวตามความเหมาะสมของพื้นที่ จากนั้นจึงย่อยดินให้ละเอียดและปรับหน้าแปลงให้เรียบ แล้วจึงปลูกดาวเรืองโดยให้แต่ละแถวห่างกัน 30 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้นห่างกัน 30 เซนติเมตรเช่นกัน ถ้าพื้นที่ปลูกเป็นแปลงขนาดใหญ่ ให้เว้นทางเดินระหว่างแปลงประมาณ 80

เซนติเมตร แต่ถ้าเป็นที่ลุ่มและยกร่องปลูกก็ไม่ต้องเว้นทางเดินไว้ เพียงแต่เว้นขอบแปลงริมร่องน้ำไว้เล็กน้อยเพื่อใช้เป็นทางเดิน

2.5.5.2 วิธีการปลูก

1) การเตรียมหลุมปลูก ขุดหลุมในแปลงโดยให้หลุมห่างกัน 30 เซนติเมตร และแต่แถวห่างกัน 30 เซนติเมตร รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตหรือปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตราหลุมละ 1 ช้อนชา แล้วเกลี่ยดินกลบปุ๋ย เพื่อป้องกันไม่ให้รากดาวเรืองสัมผัสปุ๋ยโดยตรง

2) การย้ายกล้า ควรย้ายกล้าดาวเรืองในตอนเย็น ก่อนย้ายกล้ารดน้ำล่วงหน้า 1 วันหรือรดน้ำตอนเช้าแล้วย้ายกล้าตอนเย็น และควรใช้ช้อนปลูกขุดต้นกล้า เพื่อให้ดินติดรากต้นกล้ามาด้วย ต้นกล้าจะได้ไม่โทรมและตั้งตัวได้เร็ว

3) การปลูกต้นกล้า ปลูกต้นกล้าให้ปลูกหลุมละต้น โดยฝังต้นกล้างลงในหลุมให้โคนต้นอยู่ระดับปากหลุมและกลบดินให้เสมอใบเลี้ยง จากนั้นจึงรีบบรดน้ำให้ชุ่มตลอดเวลา

2.5.5.3 การปฏิบัติดูแลรักษา

1) การรดน้ำ ในช่วงแรกคือ ตั้งแต่เริ่มปลูกถึงอายุ 7 วัน ควรรดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็นหลังจากนั้นรดน้ำวันละครั้งในตอนเช้าพอ และช่วงที่ดอกกลีบเริ่มบานจะต้องระวังอย่าให้น้ำถูกดอกดาวเรือง เพราะจะทำให้ดอกเสียหายและถูกเชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย

2) การใส่ปุ๋ย เมื่อดาวเรืองมีอายุ 15 และ 25 วัน ควรใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 อัตรา 1 ช้อนชาต่อหลุมและเมื่อดาวเรืองมีอายุ 35 และ 45 วันควรใส่ปุ๋ย 15-24-12 อัตรา 1 ช้อนชาต่อหลุมเช่นกัน การใส่ปุ๋ยควรใส่ให้ห่างโคนต้นประมาณ 6 นิ้ว โดยฝังลงดินประมาณครึ่งนิ้ว จากนั้นควรพรวนดินรอบๆโคนต้นและกลบโคนต้นไว้ การใส่ปุ๋ยทุกครั้งจะต้องรดน้ำให้ชุ่มเสมอ

3) การปลิดยอด นิยมเรียกว่าการเด็ดตุ้มหรือการแต่งตุ้ม ทำเพื่อให้ดาวเรืองแตกพุ่มและจะทำให้ดอกดาวเรืองมีขนาดใหญ่ การปลิดยอดนี้ควรทำเมื่อดาวเรืองมีอายุ 21-25 วัน ซึ่งเป็นระยะที่ดาวเรืองมีใบจริงขนาดใหญ่ประมาณ 4 คู่ และส่วนยอดมีใบเล็กๆประมาณ 1-2 คู่ วิธีการปลิดยอดทำได้โดยใช้มือซ้ายจับใบคู่บนสุดที่ต้องการเหลือไว้ แล้วใช้มือขวาดึงส่วนยอดลงทางด้านข้าง เพื่อให้ยอดหลุดออกมา ไม่ควรเด็ดยอด เพราะจะทำให้ส่วนตาของยอดเหลือติดอยู่ ซึ่งจะเจริญเป็นดอกในภายหลัง ทำให้ดอกไม่เป็นไปตามกำหนด คือดอกบานไม่พร้อมกันและมีขนาดเล็ก ปกติดาวเรืองต้นหนึ่งควรไว้ดอก ประมาณ 8 ดอก จึงจะได้ดอกที่มีคุณภาพ

4) การปิดตาข้าง หลังจากการปลิดยอดประมาณ 1 สัปดาห์ ตาข้างจะเริ่มแตกขึ้นใหม่ เมื่อดอกที่ยอดมีขนาดประมาณเท่าเมล็ดข้าวโพด ให้ปลิดตาข้างออกให้หมด เพื่อไม่ให้ตาข้างเจริญเป็นดอกต่อไป ซึ่งจะทำให้ดอกที่ยอดมีขนาดใหญ่ ก้านดอกยาว และมีขนาดสม่ำเสมอ

2.5.5.4 การตัดดอก ก่อนตัดดอกดาวเรืองเพื่อนำไปจำหน่ายประมาณ 2-3 วัน ควรใช้น้ำตาลทรายจำนวน 15 ลิตร ฉีดพ่นใบดาวเรืองทั้งด้านบนและด้านล่าง จะทำให้ก้านดอกแข็งแรง จากนั้นจึงทยอยตัดดอก อายุของดาวเรืองที่สามารถตัดดอกขายได้คือประมาณ 55-65 วัน หรือสังเกต

จากดอกที่ยังมีกลีบตรงกลางเป็นสีเขียว อยู่ได้นานกว่าดอกที่บ้านทั้งหมด ในการตัดดอกนั้นควรตัดให้ชิดโคนกิ่งให้มากที่สุด จะทำให้ก้านดอกที่ติดมามีขนาดยาว

2.5.6 ศัตรูที่สำคัญของดาวเรือง

2.5.6.1 โรค โรคที่สำคัญและพบบ่อยๆได้แก่

1) โรคเหี่ยว เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อราไฟทอปทอรา (Phytophthora) มักเกิดกับดาวเรืองที่ดอกกำลังเริ่มทยอยบาน (ภุริพันธุ์, 2559) ระยะแรกมีอาการคล้ายกับดาวเรืองขาดน้ำ กล่าวคืออาการเหี่ยวจะแสดงในตอนกลางวันส่วนกลางคืนอาการจะปกติ หลังจากนั้นประมาณ 3-4 วัน ดาวเรืองก็จะเหี่ยวทั้งต้นและตายไปในที่สุด การป้องกันกำจัด ใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดเชื้อรา เช่น แมนโคเซ็ป ฉีดพ่นสลับกับคาร์เบนดาซิมประมาณสัปดาห์ละครั้ง และถ้าพบมากต้นที่เป็นโรคและตายในแปลงต้องรีบกำจัดทิ้ง

2) โรคราแป้ง เกิดจากเชื้อราชนิดหนึ่งลักษณะอาการ คือจะเห็นสปอร์ของเชื้อราเป็นฝุ่นสีขาวๆตามใบของดาวเรือง ทำให้ใบหยิก การเจริญเติบโตชะงัก ถ้าเป็นมากอาจทำให้ต้นตายในที่สุด การป้องกันกำจัดโดยการพ่นด้วยสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น แมนโคเซ็ป ไตแทน-เอ็ม 45 ประมาณสัปดาห์ละครั้ง (พัชรี, 2555)

3) โรคดอกไม้ เกิดเชื้อราเข้าทำลายดอกดาวเรือง ทำให้ดอกเป็นสีน้ำตาลจนไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ การป้องกันกำจัด ควรฉีดพ่นด้วยสารเคมีแมนโคเซ็ปหรือดาโคนิล โดยฉีดพ่นให้ทั่วทั้งแปลง

2.5.6.2 แมลงศัตรูที่สำคัญ ได้แก่

1) เพลี้ยไฟ เข้าทำลายโดยดูดกินน้ำเลี้ยงจากยอดอ่อนและใบอ่อน จะเห็นมีรอยขีดตามใบหรือกลีบเลี้ยงของดอก เพลี้ยไฟจะระบาดมากในช่วงฤดูร้อน การป้องกันกำจัด ใช้สารเทมมิก เอ จี (Temic A.G.) ผังรอบๆโคนต้น โดยฝัดให้ห่างโคนต้นประมาณ 1 ฝ่ามือ หรือฉีดพ่นด้วยสารโตกุไรออน สัปดาห์ละครั้ง

2) หนอนกระทู้หอม เป็นหนอนของผีเสื้อกลางคืน จะเข้าทำลายในขณะที่ดอกดาวเรืองเริ่มบานหนอนจะกัดกินดอกดาวเรือง ทำให้ดอกแห้งเสียหาย การป้องกันกำจัด ฉีดพ่นด้วยสารเคมีกำจัดแมลง เช่น แลนเนท, แคสเคต หรือใช้เชื้อไวรัสทำลายแมลงพวกเอ็น.พี.วี (NPV) ฉีดพ่นในแปลงที่มีหนอนกระทู้หอมระบาด

2.5.7 การใช้ประโยชน์

2.5.7.1 ปลูกประดับเพื่อความสวยงาม ดาวเรืองเป็นไม้ดอกที่มีความสวยงาม กลีบดอกสีเหลืองเรียงอัดกันแน่น และมีอายุการใช้งานนาน ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับปลูกเพื่อประดับอาคาร บ้านเรือนและสถานที่ต่างๆเพื่อให้เกิดความเพลิดเพลินตา สบายใจ

2.5.7.2 ปลุกเพื่อใช้ประโยชน์ในการป้องกันแมลง เนื่องจากดาวเรืองเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น (ฉุน) แมลงไม่ชอบ จึงสามารถใช้เป็นเกราะป้องกันแมลงให้แก่พืชอื่นด้วย นอกจากนี้รากของดาวเรืองยังมีสารชนิดหนึ่งซึ่งช่วยลดปริมาณไนโตรเจนในดินได้

2.5.7.3 ปลุกเพื่อจำหน่าย

1) ใช้ทำพวงมาลัย ปัจจุบันนิยมนำดอกดาวเรืองมาร้อยพวงมาลัยกันมาก ไม่ว่าจะเป็นพวงมาลัยไหว้พระหรือพวงมาลัยสำหรับคล้องคอในงานพิธีต่างๆ การตัดดอกดาวเรืองสำหรับใช้ประโยชน์ในด้านนี้จะต้องให้มีก้านดอกสั้นๆหรือให้เหลือเฉพาะดอก

2) ใช้ปักแจกัน เนื่องจากดาวเรืองเป็นไม้ดอกที่ลักษณะกลมเรียงตัวแน่นเป็นระเบียบ และมีสีสวยงดงามจึงมีคนนิยมนำมาปักแจกันมาก ไม่ว่าจะเป็นแจกันตั้งโต๊ะรับแขก หรือแจกันประกอบโต๊ะหมู่บูชา การตัดดอกดาวเรืองเพื่อนำมาปักแจกันนี้ควรตัดให้มีก้านดอกยาวประมาณ 18-20 นิ้ว มัดดอกดาวเรืองเป็นกำๆแล้วใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ห่อเพื่อให้ดอกดาวเรืองคงความสดอยู่ได้นานๆ

3) การปลุกกระถางหรือถุงเพื่อประดับอาคารสถานที่ เพราะสามารถใช้ประดับได้เป็นเวลานาน ไม่ว่าจะเป็นงานพิธีต่างๆ เช่น งานนิทรรศการ งานพระราชทานปริญญาบัตร หรือแม้แต่งานพิธีตามบ้านเรือน

4) จำหน่ายให้กับโรงงานผลิตอาหารสัตว์ เนื่องจากดาวเรืองเป็นพืชที่มีสารแซนโทฟิล (Xanthophyll) สูง จึงสามารถนำไปเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ได้ดี โดยเฉพาะอาหารของไก่ จะทำให้ไข่แดงสดใสขึ้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยนันท์ (2549) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน 3 แห่งมาใช้ปลุกพืช โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วนคือ 1) นำตะกอนสดแต่ละแห่งของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาผสมกับวัสดุทางการเกษตร (ขุยมะพร้าว : แกลบเผา : แกลบสด เท่ากับ 24:2:1 โดยน้ำหนักแห้ง) แปรผันตามปริมาณโลหะหนักแคดเมียม 1.5, 3 และ 6 mg/kg บ่ม 6 สัปดาห์ก่อนปลุกพืช 2) นำปุ๋ยหมักที่หมักจากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย (3 แห่ง) ผสมกับวัสดุทางการเกษตรข้างต้น 3 อัตราส่วน (1:3, 1:1 และ 1:0) ทำเป็นถุงเพาะชำนำชุดทดสอบทั้งสองไปทดลองปลุกพืช 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้งจีน มะเขือเทศ และหอมแดง ผลการศึกษาพบว่า พืชทั้งสามชนิดมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงและน้ำหนักแปรผันโดยตรงตามปริมาณตะกอนหรือปุ๋ยหมักที่เป็นส่วนผสมในชุดทดสอบอัตราส่วนต่างๆ สำหรับการสะสมโลหะหนักในพืช (Cd, Cr, Pb, Cu, Zn และ Ni) พบว่าพืชที่ปลุกในชุดทดสอบแห่งเพาะชำส่วนใหญ่มีการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน (ซึ่งปริมาณโลหะหนักสำคัญในพืชที่ปลุกทั้งสามชนิด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล มีค่าอยู่ระหว่าง 0-28.64, 0 และ 0.65-22.5 mg/kg ตามลำดับ) ตรงกันข้ามกับพืชที่ปลุกในถุงเพาะชำปุ๋ยหมักที่มีการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อเกินเกณฑ์มาตรฐานทุกชนิด โดยปริมาณการสะสมแปรผันตามปริมาณโลหะหนักที่มีในชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบ (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล ในพืชที่ปลูกโดยปุ๋ยหมัก เท่ากับ 0.05-2.53, 0.21-41.47 และ 1.55-24.6 mg/kg ตามลำดับ) ทั้งนี้ไม่พบลักษณะความเป็นพิษของโลหะหนักทางกายภาพ

เพลินจันทร์ (2549) ได้ศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานไอศกรีมและขนมเวเฟอร์ และโรงงานถั่วอบและดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจากจังหวัดอ่างทอง มาผสมในอัตราส่วนต่างๆกัน โดยปริมาตร ทดลองปลูกต้นสามกษัตริย์และต้นใบนาถโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ 5 การทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ตามอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแต่ละแห่งและดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ได้แก่ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 เพื่อปลูกไม้ประดับทั้ง 2 ชนิดรวม 100 ตัวอย่าง วัดอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้น ขนาดลำต้นและจำนวนใบรวม 100 วัน โดยวัดทุกๆ 10 วัน ตั้งแต่เริ่มปลูกเป็นจำนวน 10 ครั้ง วิเคราะห์ทางสถิติด้วยค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการทดลองพบว่า 1) กากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทโรงงานไอศกรีมและขนมเวเฟอร์และโรงงานถั่วอบสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปลูกไม้ประดับประเภทต้นสามกษัตริย์และต้นใบนาถได้ดีตามอัตราส่วนผสมของกากตะกอนน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 2) อัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดคือ การปลูกด้วยกากตะกอนน้ำเสียจากทั้ง 2 โรงงานเพียงอย่างเดียวและวัสดุปลูกที่มีอัตราส่วนผสมของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานไอศกรีมและขนมเวเฟอร์ทุกอัตราส่วนทำให้ต้นสามกษัตริย์และต้นใบนาถมีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานถั่วอบ

จิติวรรดา และคณะ (2551) ได้ศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการบำบัดทางเคมี มาปลูกดาวเรือง ทำการทดลองโดยแบ่งตะกอนน้ำเสียต่อดินตามอัตราส่วนดังนี้ อัตราส่วนตะกอนต่อดิน 100:0 , 90:10 , 80:20 , 70:30 , 60:40 , 50:50 , 40:60 , 30:70 , 20:80 , 0:100 ใช้ต้นกล้าที่มีอายุ 15 วัน มาปลูกเพื่อการศึกษาการเจริญเติบโตและการดูดซับโลหะหนักของต้นดาวเรืองจากการศึกษาพบว่าวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินและตะกอนก่อนทดลองปลูกเป็นดังนี้ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เป็น 6.14 และ 7.33, ค่าการนำไฟฟ้าเป็น 1.89 และ 1.89 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร, ค่าการแลกเปลี่ยนประจุ (CEC) เป็น 7.90 และ 28.2 มิลลิกรัมสมมูลต่อดินแห้ง 100 กรัม, อินทรีย์วัตถุ (OM) เป็นร้อยละ 0.41 และร้อยละ 7.56, ไนโตรเจนทั้งหมดเป็นร้อยละ 0.13 และร้อยละ 0.27, ฟอสฟอรัส (P) เป็น 0.27 พีพีเอ็ม, โพแทสเซียม (K) เป็น 2.176 พีพีเอ็ม, ดินสูตร K เป็นอัตราส่วนดินต่อตะกอน 0:100 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองโดยสังเกตจากความสูง, น้ำหนัก, จำนวนใบ และจำนวนดอก ปริมาณโลหะในต้นดอกดาวเรืองหลังจากเจริญเติบโตพบว่าต้นดาวเรืองมีปริมาณโลหะหนักน้อยมาก ดังนั้นตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสามารถนำมาปลูกต้นดาวเรืองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพตะวัน และคณะ (2554) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์กากตะกอนของโรงไฟฟ้ามาปลูกต้นรำเพย โดยนำวัสดุปลูก ได้แก่ ดินร่วนปนทราย ขุยมะพร้าว และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 3:1.5:1 มาผสมกับกากตะกอน โดยแปรอัตราส่วนวัสดุปลูกและกากตะกอนเป็นตำรับ A, B, C, D และ E (0:10, 2:10, 4:10, 6:10 และ 8:10 ตามลำดับ) โดยตำรับ A เป็นชุดควบคุม ทำการวิเคราะห์ความชื้น ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งโลหะหนัก (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb และ Zn) ศึกษาอัตราการเติมกากตะกอนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นรำเพย โดยวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCB) และเมื่อครบกำหนด 90 วัน จึงทำการวัดดัชนีการเจริญเติบโตโดยใช้พารามิเตอร์ ได้แก่ ความยาวราก ความสูงส่วนเหนือราก น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ผิวใบ ตลอดจนศึกษาปริมาณ Cd และ Ni ในพืช จากการศึกษาพบว่า ทุกตำรับมีสมบัติทั่วไปที่เหมาะสมในการปลูกต้นรำเพย ปริมาณโลหะหนักในวัสดุปลูกและกากตะกอนไม่เกินค่ามาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของสหรัฐอเมริกา (40 CFR Part 503.13) และมาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและการเกษตรกรรมของประเทศไทย (พ.ศ.2547) ดัชนีการเจริญเติบโตของต้นรำเพยที่ปลูกในตำรับต่างๆพบว่าอัตราส่วน 2:10 ให้ความสูงส่วนเหนือราก น้ำหนักแห้งและพื้นที่ผิวใบมากที่สุด เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าตำรับ A, B, C, D และ E ให้แนวโน้มดัชนีการเจริญเติบโตของต้นรำเพยทุกตำรับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ารำเพยสามารถดูดซึมแคดเมียมและนิกเกิลขึ้นสู่ส่วนต่างๆได้ทั้งส่วนรากและส่วนเหนือรากในตำรับต่างๆไม่แตกต่างจากชุดควบคุม A อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.05$)

กัญจมาศ (2556) ได้ศึกษาความเหมาะสมของการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว ทำการทดลองโดยใช้กากตะกอนผสมกับดินตามอัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสีย 0, 12, 24, 36 และ 48 kg/m^2 ดินที่ใช้มาจากแปลงนา 2 แหล่ง คือ ดินนาจังหวัดสมุทรปราการ และดินนาจังหวัดสุพรรณบุรี พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการปลูกมี 3 สายพันธุ์ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ105, ปทุมธานี 80 และ กข1 ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินผสมกากตะกอนน้ำเสียทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว หลังการเก็บเกี่ยวทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเมล็ดและลำต้น การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นสู่เมล็ด การประเมินความสมดุลของโลหะหนักในระบบ และศึกษาอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียผสมดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว จากการศึกษาสมบัติของดินผสมกากตะกอนน้ำเสียก่อนการปลูกข้าว พบว่าค่า CEC, OM, total N, avail.P และ avail.K สูงขึ้นเมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียลงไปดินมากขึ้น และมีปริมาณของ Zn และ Cu ในบางชุดการทดลองเกินระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย ส่วนหลังการปลูกข้าว ค่า CEC, OM, total N, avail.P และ avail.K ในดินผสมกากตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลง ข้าวขาวดอกมะลิ105, ปทุมธานี 80 และ กข1 พบปริมาณโลหะหนักในลำต้นมากกว่าในเมล็ด ซึ่งปริมาณโลหะหนักยังอยู่ในระดับมาตรฐานปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช ยกเว้นปริมาณ Fe ในต้นข้าวที่มีปริมาณสูงกว่า

มาตรฐาน ค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นไปสู่เมล็ดมีค่าน้อย สำหรับอัตราส่วนของกาก ตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ105, ปทุมธานี 80 และ กข1 ในดินนา สมุทรปราการ คือ 12 kg/m^2 และดินนาสุพรรณบุรี คือ 36 kg/m^2 จากอัตราส่วนนี้จะทำให้ข้าวมี ผลผลิตสูง และมีคุณภาพดีมากที่สุด และจากการประเมินความสมดุลของโลหะหนักในระบบพบว่าใน ดินนาสมุทรปราการ (12 kg/m^2) มีปริมาณของ Fe, Zn, Cu และ Mn สูญเสียไปจากระบบมากกว่า ปริมาณโลหะหนักในดินนาสุพรรณบุรี (36 kg/m^2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น UH5300 ยี่ห้อ Hitachi
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer) รุ่น AAS-200 ยี่ห้อ Perkinelmer
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น ED224S ยี่ห้อ Sartorius
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (oven) รุ่น UN55 ยี่ห้อ memmert
5. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) รุ่น pH/Ion meter S220 บริษัท Mettler-Toledo AG
6. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น C860 ยี่ห้อ Consort
7. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น B1601085 QB บริษัท Provision Sciencetific
8. เครื่องเขย่า (Shaker) ยี่ห้อ Gallenkamp
9. เตาให้ความร้อน (Hotpalte) ยี่ห้อ Fisher Scientific
10. ชุดเครื่องย่อย (Digestion apparatus) รุ่น Gerhardt บริษัท Scientific Promotion
11. ตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร)
12. ครกหิน
13. กระจกพลาสติกสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว
14. บริษัทเครื่องแก้วต่างๆ

3.1.2 สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
2. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot (NH_4)SO_2 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobachemie
3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
4. อินดิเคเตอร์บีดีเอส (BDS Indicator) เกรดวิเคราะห์ บริษัท ACROS Organics
5. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) เกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Chemicals
6. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Chemical
7. แอมโมเนียมโมลิบเดตเตตระไฮเดรต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทต ($\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajek Chemical
9. กรดแอสคอร์บิก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
10. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
11. กรดแอสติติกเข้มข้น 95% (95% CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
12. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc. NH_4OH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobachemie
13. แอมโมเนียมออกซาลेटแอนไฮเดรต ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Chemicals
14. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobachemie
15. ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
16. เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95% (95% $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
17. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobachemie
18. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
19. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobachemie
20. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
21. โบโรโมกรีนซอลกรีน (Bromocresol Green) เกรดวิเคราะห์ บริษัท S D Fine-Chem Limited
22. เมทิลเรด (Methyl Red) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka chemika
23. เมทิลีนบลู (Methylene Blue) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific
24. ไดโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
25. คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
26. ซีลีเนียม (Selenium) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka Chemie
27. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajex Finechem
28. กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
29. กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (conc. HClO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
30. โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
31. โซเดียมเตตระโบเรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
32. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
33. กรดซิตริก ($\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
34. กรดไทโอไกลโคลิก (Thioglycolic acid) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobachemie
35. ออร์โธโมลิบดีนัมซีลีเนียมออกไซด์แอมโมเนียมซอลท์ ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma-Aldrich
36. แอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobachemie
37. กัมอะคาเซีย (Gum acacia) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajek Chemical

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

38. สารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Cu) เกรตวิเคราะห์ บริษัท Scharlau
39. สารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Ni) เกรตวิเคราะห์ บริษัท CertiPUR
40. สารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Zn) เกรตวิเคราะห์ บริษัท Ajex Finechem
41. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm K) เกรตวิเคราะห์ บริษัท Panreac

3.2 แหล่งที่มาของวัสดุ

3.2.1 กากตะกอน

กากตะกอนที่ใช้ในการทดลองเก็บรวบรวมจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าบางปะกง เป็นกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการรีดกากตะกอนด้วยเครื่องรีดกากตะกอนดั่งรูปที่ 3.1 โดยได้รับมาในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ.2560



รูปที่ 3.1 ลักษณะของกากตะกอนที่ใช้ในการศึกษา

3.2.2 เมล็ดพันธุ์ดาวเรือง

เมล็ดพันธุ์ดาวเรืองเป็นพันธุ์ฮันนี่โกลด์ของบริษัท เจียไต๋ จำกัด มีเปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 80

3.2.3 วัสดุปลูก

วัสดุปลูก คือดินที่ผสมใบก้ามปูหมักพิเศษยี่ห้อสุดาร์ตน์การเกษตร ซึ่งหน้าของบรรจุระบุว่ามีส่วนผสมของใบก้ามปู ดินขุยไผ่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ไยมะพร้าวและวัตถุธรรมชาติซึ่งซื้อจากร้านค้าทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอน

ทำการแบ่งกากตะกอนออกเป็น 2 ส่วน พร้อมกับดำเนินการดังนี้

ส่วนที่ 1 นำกากตะกอนมาประมาณ 200 กรัม ไปผึ่งให้แห้ง โดยใส่ลงถาดอลูมิเนียมแล้วเกลี่ยให้ทั่วถาด เพื่อให้กากตะกอนแห้งอย่างทั่วถึง นำไปตากแดดเป็นเวลาประมาณ 3 วัน เมื่อกากตะกอนมีลักษณะแห้งเป็นเม็ดๆสีน้ำตาลอ่อน จะนำมาบดด้วยครกให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรกร่อนขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร) ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่อไป

ส่วนที่ 2 นำกากตะกอนประมาณ 10 กิโลกรัม ไปผสมกับวัสดุปลูกในข้อ 3.2.3 เพื่อใช้ในการปลูกดาวเรืองต่อไป

3.4 การเตรียมตัวอย่างวัสดุปลูก

ทำการแบ่งวัสดุปลูกในข้อ 3.2.3 ออกเป็น 2 ส่วน ดำเนินการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการเดียวกับที่อธิบายในข้อ 3.3

3.5 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

สมบัติของกากตะกอน วัสดุปลูกและวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกในสัดส่วนต่างกัน จะถูกนำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังแสดงตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือวิเคราะห์
ความชื้น (Moisture)	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C อ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2547)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เครื่องวัดพีเอช อัตราส่วนระหว่างดินกับน้ำ 1:5 อ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2547)
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	เครื่องวัดการนำไฟฟ้า อัตราส่วนระหว่างดินกับน้ำ 1:5 อ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2547)
อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter)	วิธี Walkley&Black modified acid-Dichromate Digestion, FeSO ₄ titration method อ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2547)
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีการทำให้ดินอิ่มตัวด้วย NH ₄ ⁺ ร่วมกับการไทเทรต อ้างอิงวิธีการตาม Chapman (1965)
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	วิธีกลั่น Kjeldahl และไทเทรตกับไฮโดรคลอริก อ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือวิเคราะห์
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)	วิธี Bray II อ้างอิงตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (2547)
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Potassium)	ใช้การแทนที่ exchangeable K^+ ด้วย NH_4^+ อ้างอิงตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (2547)
อลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminium)	ทำให้เกิดสีด้วยบัพเฟอร์อลูมิเนียมและหาปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer อ้างอิงตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)
โลหะหนัก (Heavy Metal) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni)	วิธีย่อยด้วย Tri acid mixture ($HNO_3 : H_2SO_4 : HClO_4$, 5:1:1) และตรวจวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) อ้างอิงตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (2547)

3.6 การศึกษาอัตราส่วนกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกดาวเรือง

นำกากตะกอนในข้อ 3.3 และวัสดุปลูกในข้อ 3.4 ส่วนที่ 2 มาผสมกันตามอัตราส่วน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนโดยน้ำหนักของกากตะกอนและวัสดุปลูก

ชื่อชุดการทดลอง	อัตราส่วน	น้ำหนัก (กรัม)		
		กากตะกอน	วัสดุปลูก	รวม
A	0 : 100	0	1000	1000
B	25 : 75	250	750	1000
C	50 : 50	500	500	1000
D	75 : 25	750	250	1000
E	100 : 0	1000	0	1000

3.6.1 การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้มีจำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 5 ชุด ได้แก่ A, B, C, D และ E โดยจัดให้มีจำนวนซ้ำทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำการทดลอง ดังนั้นจะมีหน่วยการทดลองทั้งหมด $5 \times 4 = 20$ หน่วยการทดลอง ทำการจัดชุดทดลองด้วยวิธีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

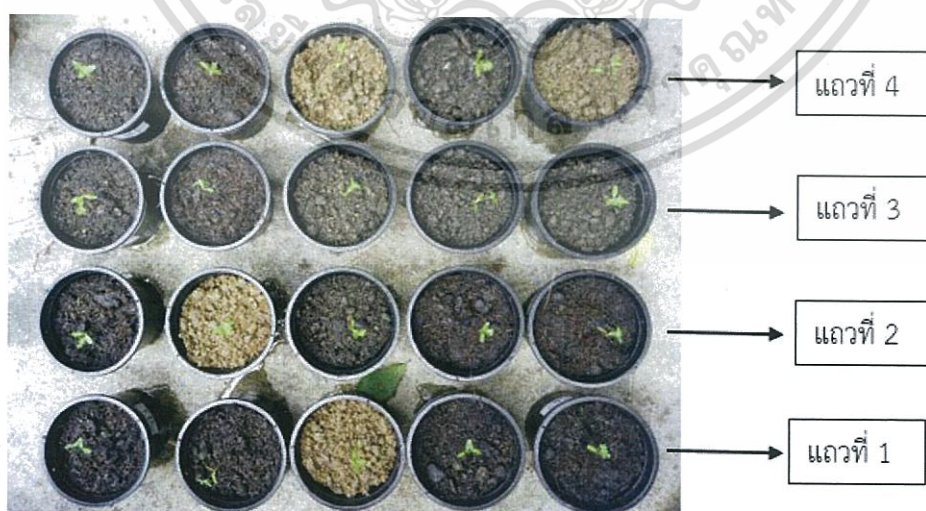
Randomized Design : CRD ซึ่งทำได้โดยวิธีการจับฉลาก ได้ผลการจัดวางชุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design : CRD)

แถว	ชุดการทดลอง (Treatment)				
1	B3	C3	E1	C1	B2
2	B4	E2	C2	A4	A2
3	C4	A1	D4	D2	D3
4	B1	A3	E4	D1	E3

3.6.2 ขั้นตอนการปลูกพืช

1. นำเมล็ดดาวเรืองมาเพาะลงในกระบะพลาสติกประมาณ 30 เมล็ด เพื่อใช้เป็นต้นกล้า
2. ผสมกากตะกอนกับวัสดุปลูกตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.2 ลงในกระบะพลาสติกแบ่งตัวอย่างที่ผสมไปเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยวิธีการเดียวกับที่อธิบายในข้อ 3.3 นำไปวิเคราะห์สมบัติตามตารางที่ 3.1
3. บรรจุวัสดุผสมในข้อ 2 ใส่ลงกระถางละ 1 กิโลกรัม
4. เมื่อดันกล้าดาวเรืองอายุครบ 15 วัน คัดเลือกต้นกล้าที่มีความสูงเท่าๆกันย้ายลงไปปลูกในแต่ละกระถางที่เตรียมไว้ในข้อ 3 กระถางละ 1 ต้น จากนั้นนำไปจัดวางตามแผนการทดลองที่แสดงในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 การจัดวางชุดทดลองและต้นกล้าในแต่ละกระถาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

การทดลองปลูกดาวเรืองใช้ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ดลงในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ ซึ่งอยู่ในวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2560 ถึง 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของดาวเรือง โดยการวิเคราะห์ความสูงของลำต้น และจำนวนใบ เมื่อครบ 60 วัน นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เพื่อทดสอบว่าวัสดุปลูกแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าพบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละสูตร จึงทำการเปรียบเทียบวัสดุปลูกแต่ละสูตรด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference : LSD เพื่อทดสอบว่าวัสดุปลูกสูตรใดบ้างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ รวมทั้งศึกษาผลของอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของพืชไม้ดอกไม้ประดับ โดยพืชทดลองที่ใช้คือ ดาวเรือง ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูกและกากตะกอน

วัสดุปลูกที่ใช้คือดินที่มีส่วนผสมของใบก้ามปู ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และกาบมะพร้าว ลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้คือมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อใช้มือสัมผัสสามารถแตกออกได้ง่าย มีความร่วนซุยสูง ไม่มีกลิ่นเหม็น ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปลูกและกากตะกอน (Mean \pm S.D. ; n=3)

พารามิเตอร์/ผลการวิเคราะห์	วัสดุปลูก	กากตะกอน
สมบัติทางกายภาพ		
ความชื้น (%)	4.54 \pm 0.03	43.61 \pm 0.31
สมบัติทางเคมี		
พีเอช	6.71 \pm 0.02	6.57 \pm 0.02
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.89 \pm 0.05	1.40 \pm 0.02
อินทรีย์วัตถุ (%)	4.63 \pm 0.08	3.50 \pm 0.07
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/kg)	20.38 \pm 0.53	30.78 \pm 2.43
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.11 \pm 0.02	1.02 \pm 0.01
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	21.48 \pm 0.05	0.002 \pm 0.001
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	95.72 \pm 0.14	31.61 \pm 0.90
อลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	5.93 \pm 0.83	27.71 \pm 1.02
โลหะหนัก*		
สังกะสี (mg/kg)	48.27 \pm 2.40	130.39 \pm 6.76
ทองแดง (mg/kg)	43.10 \pm 0.88	104.23 \pm 0.57
นิกเกิล (mg/kg)	63.09 \pm 0.57	71.80 \pm 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*เป็นโลหะที่พบปริมาณมาก 3 อันดับแรกในภาคตะกอน นอกเหนือจากอลูมิเนียม อ้างอิงข้อมูลจากการสอบถามเจ้าหน้าที่/ผู้ที่เกี่ยวข้องของหน่วยงาน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปลูกดังตารางที่ 4.1 พบว่าความชื้นของวัสดุปลูกและภาคตะกอนที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้วมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $4.54 \pm 0.03\%$ และ $43.61 \pm 0.31\%$ พีเอชของวัสดุปลูกและภาคตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.71 ± 0.02 และ 6.57 ± 0.02 นั่นคือมีสภาพเป็นกลาง ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเกษตรได้เนื่องจากช่วงพีเอชที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดอยู่ที่ 6-7 การนำไฟฟ้าของวัสดุปลูกและภาคตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 ± 0.05 mS/cm และ 1.40 ± 0.02 mS/cm ไม่ถือว่าเป็นดินเค็มเนื่องจากมีค่า < 2 mS/cm (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) วัสดุปลูกที่ใช้มีอินทรีย์วัตถุในระดับสูงมาก ($> 4.5\%$) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) และภาคตะกอนมีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (2.5-3.5%) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ซึ่งเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของวัสดุปลูกและภาคตะกอนอยู่ในระดับสูงและสูงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.38 ± 0.53 cmol/kg และ 30.78 ± 2.43 cmol/kg ซึ่งค่าดังกล่าวจะช่วยให้กลไกการปลดปล่อยธาตุอาหาร เช่น K^+ , Al^{3+} ทำให้อินทรีย์วัตถุเกิดการย่อยสลายและเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารไปเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) อ้างอิงตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (2547) พบว่าวัสดุปลูกที่นำมาใช้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระดับต่ำ ส่วนในภาคตะกอนมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระดับสูง การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนในวัสดุปลูกและภาคตะกอนดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปลูกและภาคตะกอนซึ่งดำเนินการโดยโครงการวิเคราะห์ดินและพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ภาคผนวก ข) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในวัสดุปลูกอยู่ในระดับสูง แต่ภาคตะกอนมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้ยังพบโลหะได้แก่ Al, Zn, Cu และ Ni ในภาคตะกอนพบว่ามีปริมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 27.71 ± 1.02 mg/kg, 130.39 ± 6.76 mg/kg, 104.23 ± 0.57 mg/kg และ 71.80 ± 3.24 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณโลหะในภาคตะกอนพบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ในภาคตะกอนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรในประเทศ ซึ่งระบุให้มีปริมาณสังกะสีไม่เกิน 3,000 mg/kg ทองแดงไม่เกิน 900 mg/kg และนิกเกิลไม่เกิน 400 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

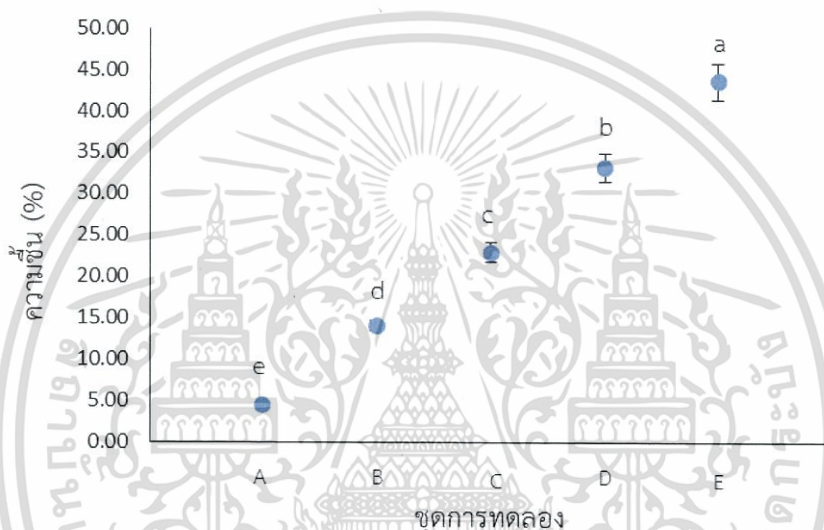
4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุผสม

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุผสมระหว่างภาคตะกอนกับวัสดุปลูก ในอัตราส่วน 0:100(A) 25:75(B) 50:50(C) 75:25(D) 100:0(E) ได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ความชื้น (Moisture Content)

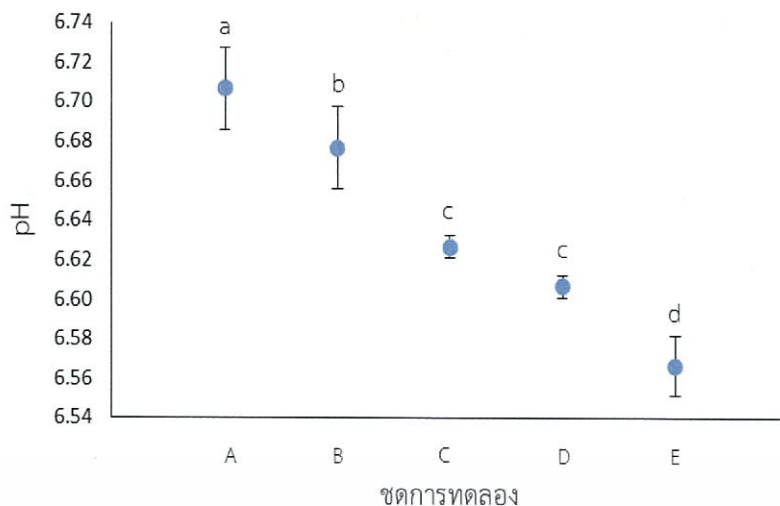
การเติมกากตะกอนในวัสดุปลูก ช่วยเพิ่มความชื้นให้กับวัสดุผสม (รูปที่ 4.1) ดังจะเห็นได้จาก ความชื้นของวัสดุปลูกที่มีการเติมกากตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14.09 เป็นร้อยละ 43.61 ตามปริมาณกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นจาก 25:75 เป็น 100:0 เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่เติมกาก ตะกอน ซึ่งมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 4.54 เนื่องจากมีการเติม PAC เข้าไปในกระบวนการการผลิต น้ำ ทำให้กากตะกอนมีการอุ้มน้ำได้ดีและมีความชื้นสูง เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นของวัสดุผสมทาง สถิติที่ความเชื่อมั่น 95% พบว่าการเพิ่มกากตะกอนทำให้ค่าความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (รูป ที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ความชื้นของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่า ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.2 พีเอช (pH)

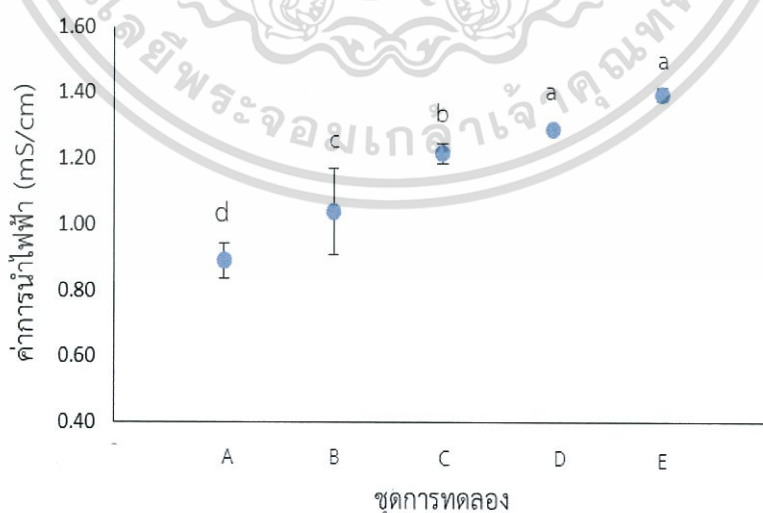
การเพิ่มปริมาณกากตะกอนในวัสดุปลูก ทำให้พีเอชของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.2) จาก 6.71 เป็น 6.68, 6.63 และ 6.61 ตามปริมาณกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นจาก 0:100 เป็น 25:75, 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงของพีเอชอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเติม PAC เข้าไปใน กระบวนการผลิตน้ำ ทำให้เกิดอลูมิเนียมตกค้างในกากตะกอนจึงส่งผลให้พีเอชลดลง อย่างไรก็ตามค่า พีเอชของวัสดุผสมในทุกสูตรมีสภาพที่เหมาะสมต่อการปลูกดาวเรือง โดยพีเอชที่เหมาะสมต่อการ เจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 (ภุริพันธ์, 2559) เมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอชทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% พบว่าเมื่อเพิ่มกากตะกอนสูตร C และสูตร D ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.2 พีเอชของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

ปริมาณกากตะกอนในวัสดุปลูกที่เพิ่มขึ้นจาก 0:100 เป็น 25:75, 50:50, 75:25 ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่มีการเติมกากตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.89 mS/cm (รูปที่ 4.3) เป็น 1.04, 1.22 และ 1.29 mS/cm ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า การเติมกากตะกอนในอัตราส่วน 75:25(D) ทำให้วัสดุมีค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกับชุดทดลอง E ซึ่งมีกากตะกอนเพียงอย่างเดียว ค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเกิดจากปริมาณเกลือที่สามารถแตกตัวละลายในน้ำมีมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของกากตะกอนไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาดินเค็ม เนื่องจากวัสดุผสมทุกสูตรมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-2 mS/cm

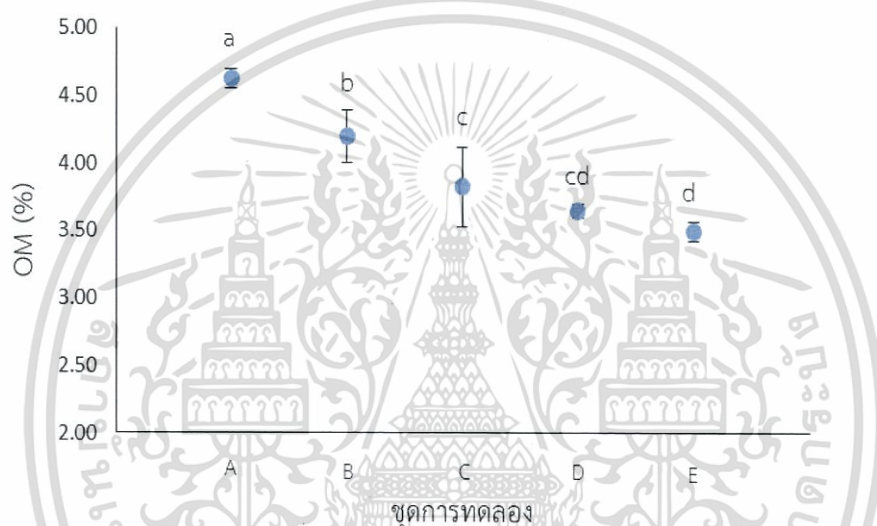


รูปที่ 4.3 ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, OM)

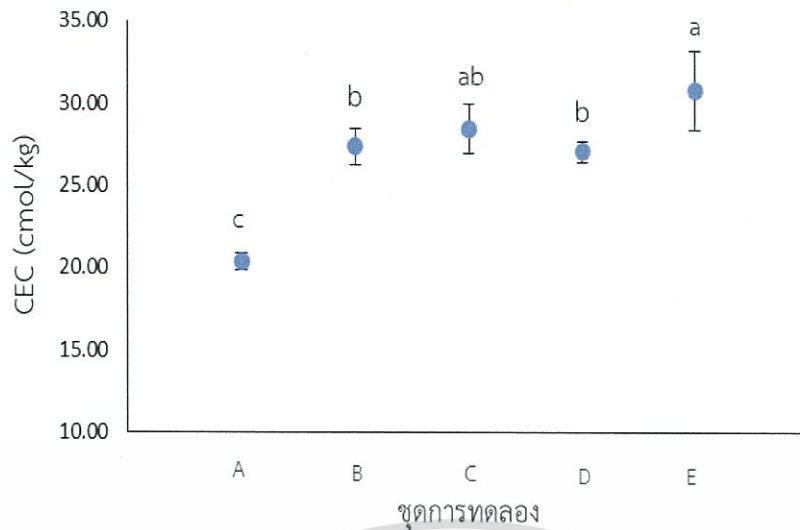
การเพิ่มขึ้นของปริมาณกากตะกอนในวัสดุปลูกจากอัตราส่วน 0:100 เป็น 25:75, 50:50 และ 75:25 ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.4) จาก 4.63% เป็น 4.20%, 3.83% และ 3.65% ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำมีการเติม PAC ที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้เล็กน้อย (สมบุญ, 2549) เมื่อนำกากตะกอนมาผสมกับวัสดุปลูกในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์วัตถุสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% พบว่าสูตร C กับสูตร D ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสูตร D กับสูตร E ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.4 อินทรีย์วัตถุของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

การเพิ่มปริมาณกากตะกอนในวัสดุปลูก จากอัตราส่วน 0:100 เป็น 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นจาก 20.38 cmol/kg เป็น 27.39, 28.46, 27.05 และ 30.78 cmol/kg ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.5) ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากคอลลอยด์มีพื้นผิวประจุลบมากจึงทำให้มีการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้มาก ซึ่งการปรับสภาพน้ำดิบด้วย Coagulation และ Flocculation มีการเติม PAC ทำให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ดังนั้นเมื่อเติมเมื่อเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น

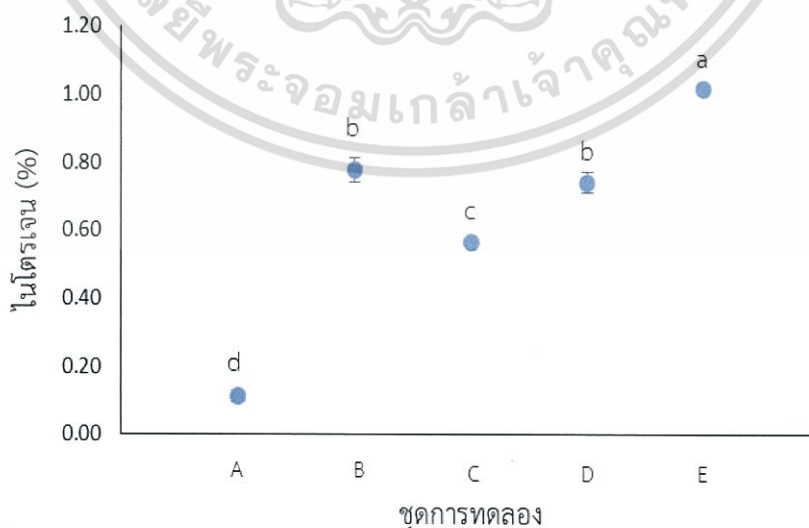


รูปที่ 4.5 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

95%

4.2.6 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอนในวัสดุปลูก ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.56% เป็น 0.74% และ 1.02% ตามปริมาณกากตะกอนต่อวัสดุปลูกที่เพิ่มขึ้นจาก 50:50 เป็น 75:25 และ 100:0 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำกากตะกอนมาใช้แทนวัสดุปลูกได้ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% พบว่าสูตร B กับสูตร D ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สูตร A, C และสูตร E แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

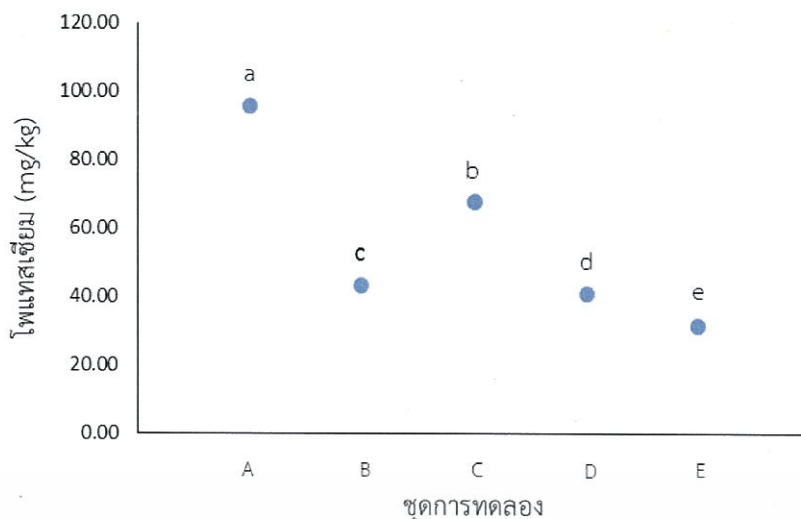
การเติมกากตะกอนลงในวัสดุปลูกส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.7) ดังจะเห็นได้จากชุดทดลอง A ซึ่งมีวัสดุปลูกอย่างเดียว (0:100) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 21.48 mg/kg เมื่อเติมกากตะกอนในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 25 และร้อยละ 50 ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงเหลือ 7.49 mg/kg และ 0.10 mg/kg ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอนเป็นร้อยละ 75 (D) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าไม่แตกต่างจากชุดทดลอง E ที่มีกากตะกอนเพียงอย่างเดียว (100:0) แสดงให้เห็นว่า การนำกากตะกอนจากการผลิตน้ำมาใช้เป็นวัสดุปลูกมีข้อควรระวังในเรื่องปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์



รูปที่ 4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.8 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Potassium)

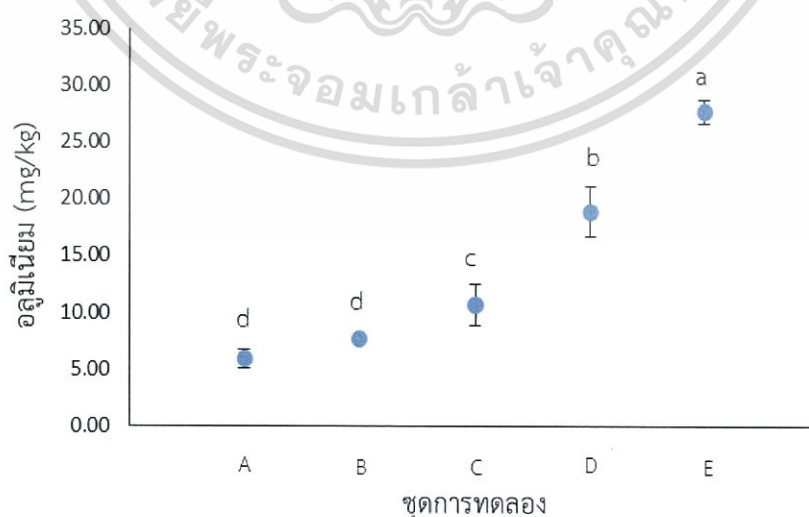
การเติมกากตะกอนในวัสดุที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 50:50, 75:25 และ 100:0 ส่งผลให้วัสดุมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ลดลงเหลือเท่ากับ 67.75, 40.89 และ 31.61 mg/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชจะต้องเพิ่มปริมาณวัสดุปลูกเพื่อให้มีปริมาณโพแทสเซียมมากขึ้น



รูปที่ 4.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.9 อลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้

การเพิ่มปริมาณกากตะกอนส่งผลให้วัสดุที่ใช้ปลูกดาวเรืองมีปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูงขึ้น (รูปที่ 4.9) โดยเมื่อผสมในสัดส่วนร้อยละ 25(B) ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าไม่แตกต่างกับชุดทดลอง A ซึ่งมีวัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การผสมในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 50% และ 75% ทำให้วัสดุมีปริมาณอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปริมาณที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณกากตะกอน ซึ่งให้เห็นว่าการใช้กากตะกอนจะช่วยเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมในการปลูกพืช อย่างไรก็ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากอลูมิเนียมที่ละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นพิษต่อพืชจะต้องอยู่ในดินที่มี pH < 5.5 และมีความเข้มข้นของอลูมิเนียม < 1 ppm (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)



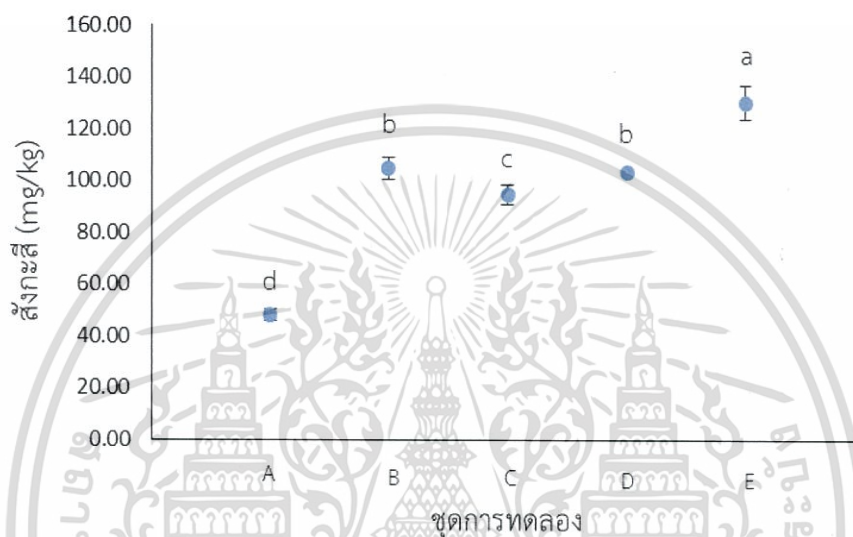
รูปที่ 4.9 ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบน

กราฟที่ต่างกันหมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10 โลหะหนัก

การเติมกากตะกอนเพิ่มมากขึ้นในวัสดุปลูกส่งผลให้ปริมาณ Zn และ Cu สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.10-4.11) เมื่อเทียบกับวัสดุปลูก(A) และต่ำกว่ากากตะกอนเพียงอย่างเดียว(E) การแต่เพิ่มปริมาณกากตะกอนไม่ทำให้ Ni เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเพื่อเทียบกับชุดทดลอง A(วัสดุปลูกอย่างเดียว) อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักในวัสดุผสมพบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดิน (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม, 2547) ซึ่งไม่ส่งผลเสียต่อการนำไปใช้ในการเกษตร

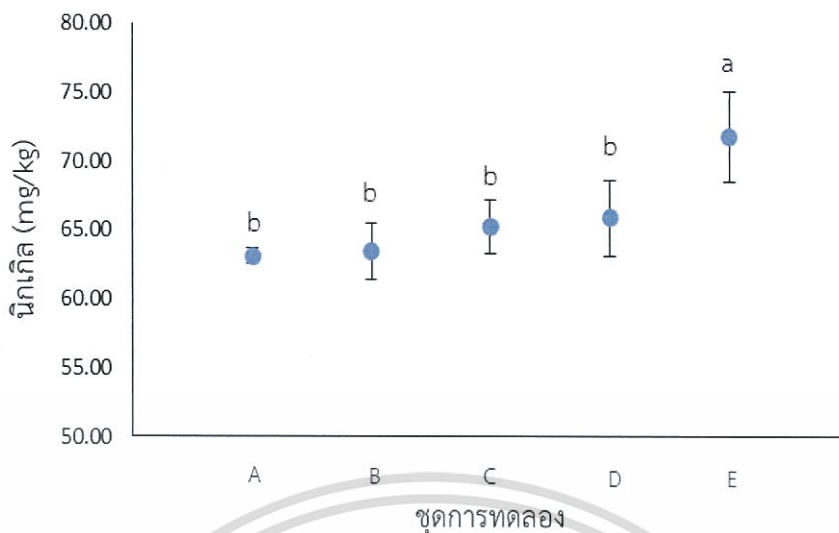


รูปที่ 4.10 ปริมาณสังกะสีของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกัน หมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.11 ปริมาณทองแดงของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกัน

หมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

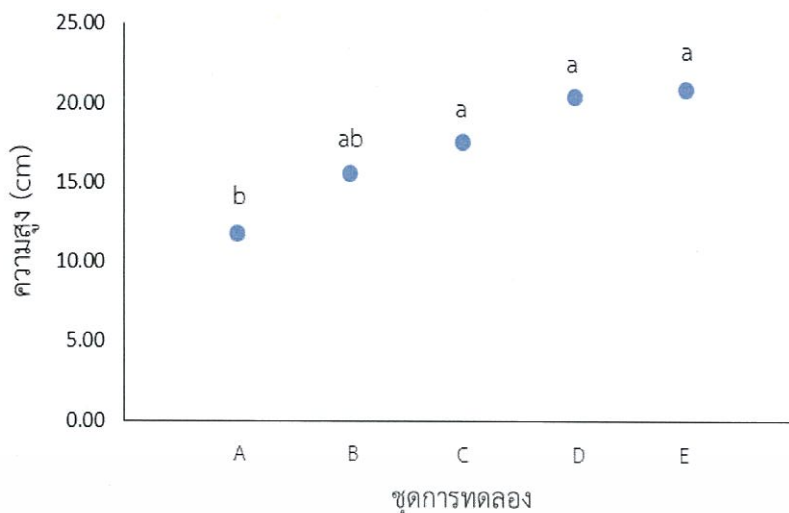


รูปที่ 4.12 ปริมาณนิกเกิลของวัสดุในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกัน หมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3 ผลของอัตราส่วนวัสดุปลูกกับภาคตะกอนต่อการเจริญเติบโตของพืช

4.3.1 ความสูงของพืช

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนวัสดุปลูกกับภาคตะกอนต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองเป็นเวลา 60 วัน พบว่าการเติมภาคตะกอนที่อัตราส่วนเพิ่มขึ้นช่วยให้ดาวเรืองมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นในแง่ของความสูงดังจะเห็นได้จากความสูงของต้นดาวเรืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น(รูปที่ 4.13) ในวัสดุปลูกที่มีการเติมภาคตะกอนเทียบกับวัสดุปลูกที่ไม่เติมภาคตะกอน(A) โดยความสูงของต้นดาวเรืองในชุดทดลอง C, D และ E มีความสูงแตกต่างกันกับชุดทดลอง A อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมภาคตะกอนในวัสดุช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนที่มีในวัสดุ ซึ่งส่งเสริมให้เกิดการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินของพืช นอกจากนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของภาคตะกอนอาจเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการเติบโตของลำต้นดาวเรืองสูงกว่าชุดทดลองที่มีวัสดุปลูกอย่างเดียว

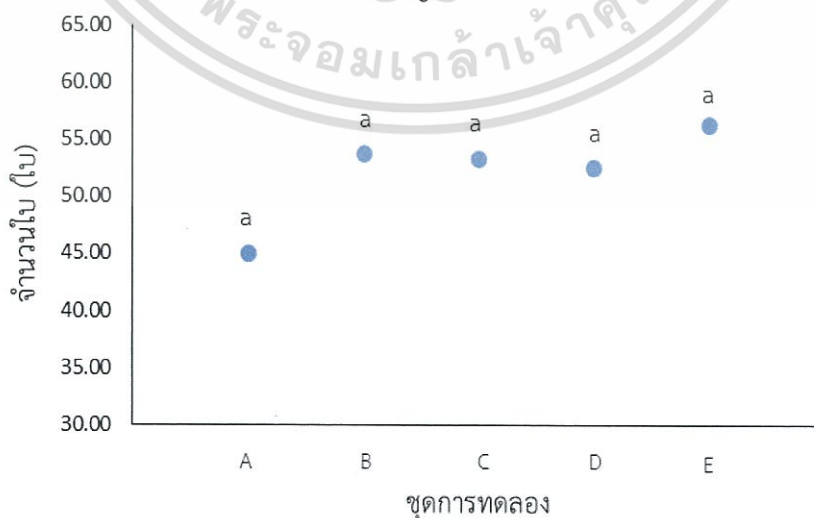


รูปที่ 4.13 ความสูงของดาวเรืองในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกัน หมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาลักษณะของต้นดาวเรืองที่ปลูกในชุดทดลองทั้ง 5 สูตร(รูปที่ 4.15) พบว่า ลักษณะของลำต้นดาวเรืองในชุดทดลองที่มีการเติมกากตะกอน B, C และ D หรือในชุดการทดลองที่มีกากตะกอนอย่างเดียว (E) จะมีลักษณะการตั้งตรงที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับลำต้นของดาวเรืองในวัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว (A) ซึ่งให้เห็นว่าการเติมกากตะกอนนั้นส่งเสริมจนถึงเร่งการเจริญเติบโตของลำต้นดาวเรือง ซึ่งหากมากเกินไปอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของลำต้น

4.3.2 จำนวนใบของพืช

ผลการนับจำนวนใบของพืชในชุดทดลองทั้ง 5 ชนิดพบว่า จำนวนใบโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มมากขึ้นในชุดทดลองที่มีการเติมกากตะกอน (รูปที่ 4.14) อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมกากตะกอนไม่ได้ส่งผลให้เกิดการเพิ่มของจำนวนใบมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.14 จำนวนใบของดาวเรืองในแต่ละชุดการทดลอง ตัวอักษรกำกับจุดบนกราฟที่ต่างกัน

หมายความว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.15 ลักษณะของดาวเรืองในชุดการทดลองต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไม้ดอกไม้ประดับ รวมทั้งศึกษาผลของอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของพืช ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากการศึกษาการใช้กากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจากโรงไฟฟ้า เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอนพบว่ามีความสมบัติบางพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ คือ pH เป็นกลาง ค่าการนำไฟฟ้า $<2 \text{ mS/cm}$ ซึ่งถือว่าไม่เป็นดินเค็ม มี OM อยู่ในระดับสูง มี Total N อยู่ในระดับสูง มี CEC อยู่ในระดับสูงมาก มี Al ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อพืช ทางด้านปริมาณโลหะหนัก (Zn, Cu และ Ni) มีค่าไม่เกินค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

5.1.2 จากการศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนผสมกับวัสดุปลูกในแต่ละอัตราส่วน พบว่าเมื่อผสมกากตะกอนในวัสดุปลูกเพิ่มขึ้น ทำให้ปัจจัยที่เหมาะสมในการปลูกพืชเพิ่มขึ้นตามไปด้วยคือ ความชื้น, การนำไฟฟ้า, CEC, Total N, Al ทางด้านโลหะหนักพบว่าโลหะหนักสูงที่สุดคือ $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม, 2547)

5.1.3 การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชทดลองในการตะกอนที่ผสมกับวัสดุปลูกในอัตราส่วน 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 พิจารณาจากผลผลิตพืชที่ได้ในแง่ความสูงและจำนวนใบ พบว่าการเติมกากตะกอนช่วยให้พืชทดลองมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องความสูงของส่วนเหนือดินหรือลำต้น การเพิ่มกากตะกอนจาก 0:100 เป็น 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 จะมีความสูงของลำต้นเพิ่มขึ้นจาก 11.78 เซนติเมตรเป็น 15.55, 17.55, 20.40 และ 20.88 เซนติเมตรตามลำดับ ลักษณะของลำต้นของดาวเรืองที่มีการเพิ่มกากตะกอนลงไปมีลักษณะการตั้งตรงที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับลำต้นของดาวเรืองในวัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว การเติมกากตะกอนไม่ได้ส่งผลต่อจำนวนใบอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเพิ่มกากตะกอนจาก 0:100 เป็น 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 มีจำนวนใบต่อลำต้นเพิ่มจาก 45 ใบเป็น 54, 54, 52 และ 57 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พืชที่ใช้ในการทดลองเป็นพืชไม้ดอกไม้ประดับ ควรใช้ระยะเวลาในการปลูกเกิน 60 วันหรือเอกสารให้ถึงระยะที่พืชออกดอกหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อาจมีการนำไม้ประดับมาทดแทนไม้ดอก เนื่องจากในภาคตะกอนมีสมบัติทางเคมีส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กัณฑ์มาศ อยู่เจริญ. 2556. “การศึกษาความเหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2556. โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง ชุดที่ 5. ฉะเชิงเทรา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2560. รายงานสิ่งแวดล้อมฉบับประชาชน ประจำปี 2559. นนทบุรี : กองผลิตสื่อประชาสัมพันธ์ ฝ่ายสื่อสารองค์กร กฟผ.
- กิตติมา มหาพรหมณ์, สิริมา มงคล และเบญจพล กรีกคงคา. 2555. “การนำกากตะกอนของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตนมมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาลัยสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. เอกสารสนับสนุน ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เกียรติสุดา สมณา. 2559. “การใช้ตะกอนประปาเป็นวัสดุประสาน.” *วารสารคอนกรีต*. (28) : 1-7.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2547. กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. ฉบับที่ 25. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- เชาวน์ ชีโนรักษ์. 2541. ชีววิทยา. เล่มที่ 3. กรุงเทพฯ : ศิลปบรรณาการ
- ฐิติวรดา คำปัญญา, พรทิพย์ โกศลสมบัติ และสินีนากู เจิมกลิ่น. 2551 “การนำกากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการบำบัดทางเคมีมาปลูกดาวเรือง.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณปภา พันธุ์แดงไทย. ม.ป.ป. คุณสมบัติของตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาและการนำไปใช้ประโยชน์. [Online]. Available : <http://202.129.59.73/spt/known/310358spt/7.pdf>
- ธเนศ ภูจำปา, ฐิติผกา ช่างภู และจุฑารัตน์ จิงตระกูล. 2553. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากการบำบัดของโรงไฟฟ้าเป็นวัสดุปลูก.” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปียนันท์ ขุนทองจันทร์. 2549. “การนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ในการปลูกพืชโดยวิธีแห้งเพาะชำ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชรี สำโรงเย็น และอภิชาติ ศรีสะอาด. 2555. **คู่มือการเพาะปลูกไม้ดอกพวงมาลัยป้อนตลาด.** สมุทรสาคร : นาคา อินเทอร์เน็ตมีเดีย.
- เพลินจันทร์ ต้นโพธิ์ทอง. 2549. “การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารเป็นวัสดุปลูกต้นสามกษัตริย์และต้นใบนาถ.” วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ภาพตะวัน ชลาสัย, มยุรี ชัญพลา และอาริสรา วงศ์ชัย. 2554. “การใช้ประโยชน์กากตะกอนโรงไฟฟ้า.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภุรีพันธุ์, (ผู้รวบรวม). 2559. **คู่มือการเพาะปลูกไม้ดอกพวงมาลัยป้อนตลาด.** สมุทรสาคร : นาคา อินเทอร์เน็ตมีเดีย.
- มานอชย์ พงศ์ภักขุติมา. 2551. “แนวทางการนำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์.” ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ยงยุทธ โอสภสภ. 2552. **ธาตุอาหารพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัฐพล สมณา และเกียรติสุดา สมณา. 2557. “วัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และตะกอนประปา.” หน้า 20-22. ใน งานประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 10. เชียงราย : โรงแรมดุสิต ไฮส์แลนด์ รีสอร์ท.
- สุมิตรา กุ้วโรดม. 2545. “ธาตุอาหารพืชและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช.” 1-13. ใน เอกสารการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่4. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมบุญ สหสิทธิวัฒน์. 2549. “น้ำใส่ไร่ตะกอนด้วย PAC.” *วารสารเทคโนโลยีวัสดุ.* 44 : 70-72.
- สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ และอดิสรณ์ พงษ์สุวรรณ. 2551. “บล็อกประสานผสมตะกอนดินจากน้ำประปา.” ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. *Mineral Nutrition of Plan: Principle and Perspectives.* Massachusetts : Sinauer Associates.
- Kochian, L.V. 1995. “Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants.” *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 46 : 237-260.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

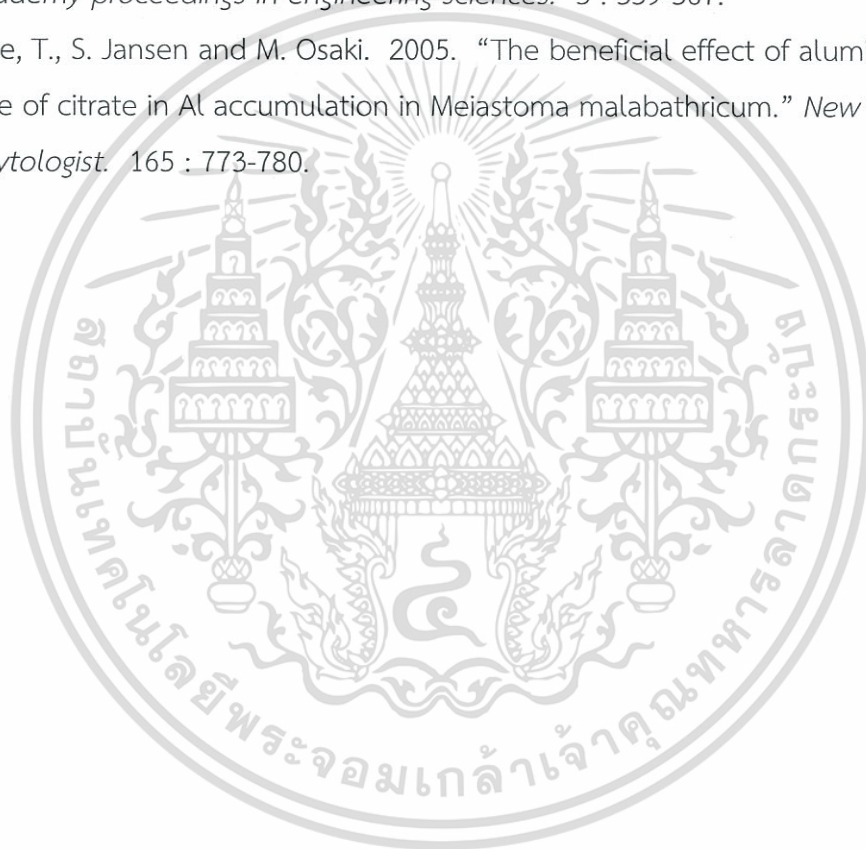
Meldrum et al. 2013. **Water for Nuclear**. [Online]. Available :

https://www.ucsusa.org/clean-energy/energy-water-use/water-energy-electricity-nuclear#.WL34Aqhl_IV

Miyasaka, S.C., N.V. Hue and M.A. Dunn. 2007. **Aluminium**. In **Handbook of plant Nutrition**. New York : CRC Press, Taylor and Francis Group

Paramalinggam Thanalechumi, Abdull Rahim Mohd Yusoff, Mohanadoss Ponraj and Hanim Awab. 2016. “Studies on potential of Portland cement mortar for binding of waterworks sludge to reduce heavy metal leaching.” *Sādhanā Academy proceedings in engineering sciences*. 3 : 359-367.

Watanabe, T., S. Jansen and M. Osaki. 2005. “The beneficial effect of aluminium and role of citrate in Al accumulation in *Meiastoma malabathricum*.” *New Phytologist*. 165 : 773-780.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

ก-1 การวิเคราะห์หาความชื้น

การวัดความชื้นของดินและกากตะกอน จะใช้วิธีการอบแห้ง อ้างอิงตามกรมพัฒนาที่ดิน (2547) โดยมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

1. ชั่งชามระเหย
2. นำตัวอย่างมาชั่ง 5 กรัม (บันทึกน้ำหนักเปียก) ใส่ชามระเหย
3. นำไปอบที่ 103 – 105 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักดินคงที่

ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การคำนวณ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างดินก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างดินหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างดินก่อนอบ}} \times 100$$

ก-2 การวัดค่าพีเอช (pH)

การวัดความเป็นกรด-ด่างของดินและกากตะกอน จะใช้วิธีการวัดพีเอชในน้ำในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 อ้างอิงตามกรมพัฒนาที่ดิน (2547) โดยมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 50 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันหลายๆ ครั้ง ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30

นาที

3. นำสารละลายดินไปวัด pH ด้วยเครื่องวัด pH โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH7 และ pH4 ปรับเครื่องวัด pH ก่อนวัดตัวอย่าง

ก-3 การวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

การวัดการนำไฟฟ้าของดินและกากตะกอน จะใช้วิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 อ้างอิงตามกรมพัฒนาที่ดิน (2547) โดยมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

1. ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที
3. ก่อนนำสารละลายดินไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ต้องปรับเครื่องวัดด้วยสารละลายมาตรฐาน KCl 0.01M และ 0.1M โดยสารละลายมาตรฐาน KCl 0.01M เครื่องจะอ่านได้ประมาณ 1,423 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่อุณหภูมิ 25 °C หรือสารละลายมาตรฐาน KCl 0.1M เครื่องจะอ่านได้ประมาณ 129 dS/cm ที่อุณหภูมิ 25 °C
4. นำสารละลายดิน 1:5 ที่กรองได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้า ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

ก-4 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter; OM)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจะใช้วิธี Walkley&Black modified acid-Dichromate Digestion, FeSO_4 titration method อ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2547) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมสารเคมี
 - 1.1 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate) 1 N
ชั่ง $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (อบที่ 105 °C 24 ชั่วโมง) มา 98.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับให้มีปริมาตร 2 ลิตร
 - 1.2 สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulphate) 0.5 N
ชั่งเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 196.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นพอสมควร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 20 มิลลิลิตร ปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น เก็บไว้ในขวดสีชา
 - 1.3 สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน อินดิเคเตอร์ 0.025 M
ชั่งเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.7 กรัม และออร์โทฟีแนนโทรลีน (O-phenanthroline) 1.48 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. วิธีวิเคราะห์
 - 2.1 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
 - 2.2 ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 1 N 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
 - 2.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบาๆเป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที
 - 2.4 เติมน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น
 - 2.5 หยดอินดิเคเตอร์ ออร์โทฟีแนนโทรลีน 5 หยด
 - 2.6 ไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียม

ไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลแดงที่จุดยุติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 บันทึกปริมาณเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้

2.8 ทำ blank เช่นเดียวกันกับตัวอย่างดิน โดยเริ่มตั้งแต่ข้อ 2.2

2.9 คำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยใช้สมการต่อไปนี้

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic Matter} = \frac{(B-T)N}{B} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{10^5} \times \frac{100}{W} \times 10$$

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต (นอร์มอล)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักดิน (กรัม)

ก-5 การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity; CEC)

การวิเคราะห์ค่า CEC จะใช้เทคนิคการทำให้ดินอิ่มตัวด้วย NH_4^+ ร่วมกับการไทเทรต อ้างอิงวิธีการตาม Chapman (1965) อ้างอิงในกรมพัฒนาที่ดิน (2547)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COO-NH}_4$) 1 N pH7

ตวงกรดอะซิติก (glacial acetic acid) 99.5% 114 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาตรประมาณ 1 ลิตร เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc. NH_4OH) ลงไป 136 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 1,980 มิลลิลิตร วัด pH ของสารละลาย แล้วปรับ pH ให้ได้ pH7 ด้วยกรดอะซิติกหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 2 ลิตร

1.2 สารละลายแอมโมเนียมออกซาลेट $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_4\text{O}]$ 10%

ละลายแอมโมเนียมออกซาลेट 10 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.3 สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH), 50%

ตวงแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นจำนวน 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.4 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1 N

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 53.5020 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร ปรับ pH7 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 0.25 N

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 13.3755 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร ปรับ pH 7 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

1.6 สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 0.1 N

ละลายซิลเวอร์ 1.699 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาระวังไม่ให้เป็นปฏิกิริยากับสารประกอบคลอไรด์จะเกิดตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ ถ้าชุ่นต้องเตรียมใหม่

1.7 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Acidified, NaCl 10%)

ละลายโซเดียมคลอไรด์ 100 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.435 มิลลิลิตร เพื่อให้สารละลายเป็นกรด แล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.8 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40%

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร

1.9 สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3%

ละลายกรดบอริก 30 กรัม ในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร

1.10 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate; KHP) 0.1000 N

ทำการคำนวณน้ำหนัก KHP ที่ต้องใช้ในการเตรียมสารละลาย 100 มิลลิลิตร โดยชั่ง KHP ที่อบแห้งไล่ความชื้นและทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่นและทำให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.11 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 N

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 9 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร เทียบมาตรฐาน (Standardize) เททเรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้ความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จากการไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate; KHP) โดยใช้ฟีนอล์ฟทาเลอิน (phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) คำนวณความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

1.12 อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)

ละลายโบรมอกรีซอลกรีน 0.22 กรัม และเมธิลเรด 0.075 กรัม ในเอซิลแอกอฮอล์ 95% จำนวน 96 มิลลิลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ลงไป 3.5 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (ละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด

125 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N ลงไปประมาณ 60 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน 5 นาที แخذค้ำคืนไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กรองสารละลายที่แช่ไว้ด้วยระบบสุญญากาศ ใช้กระดาษกรองใยแก้วในการกรอง เก็บสารละลายดินที่ได้ไว้ทำต่อข้อ (2.4)

2.3 ชะล้างตัวอย่างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N ครั้งละ 30 มิลลิลิตร จนกระทั่งไม่มีแคลเซียม (Ca^{2+}) เหลืออยู่ ทดสอบได้โดยนำสารละลายที่ล้างดินมา 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N แอมโมเนียมออกซาลเลต 10% และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50% อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้ามีแคลเซียมไอออนเหลืออยู่จะเกิดตะกอนขาวหรือสารละลายจะขุ่น ต้องชะล้างต่อ

2.4 สารละลายดินที่ได้จากการกรอง และการชะล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.5 ชะละลายตัวอย่างดินต่อ ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ทำ 3-4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ประมาณ 150-200 มิลลิลิตร จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ ทดสอบการล้างโดยแบ่งเอซิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการล้างดินครั้งสุดท้ายมา 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง หยดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3 0.1 N) 1-2 หยด สังเกตว่ามีตะกอนขาวของซิลเวอร์คลอไรด์หรือไม่ ถ้ามีต้องล้างต่อ

2.6 สำหรับสารละลายดินที่ได้จากข้อ (2.5) ทิ้งไป และล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ทำ 3 ครั้ง เพื่อให้ Na^+ ไลที่หรือแทนที่ NH_4^+ ในดินจนได้สารละลายดินประมาณ 100 มิลลิลิตร

2.7 เทสารละลายดินที่กรองได้ใส่ในหลอดกลั่นเจลดาล (Kjeldahl tube) ลงไปเล็กน้อย เพื่อป้องกันการฟุ้งไหลล้น ทำการกลั่นเพื่อไล NH_4^+ ออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไป 5-25 มิลลิลิตร (ขึ้นกับสารละลายดินที่กรองได้) เพื่อปรับให้สารละลายดินมีฤทธิ์เป็นเบส และ NH_4^+ เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมได้ง่ายขณะกลั่น

2.8 ใส่สารละลายกรดบอริก 3% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ผสม 5 หยด โดยบรรจุลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร จะเห็นสีของสารละลายสีม่วง ข้อควรระวัง ปลายสายจากการกลั่นต้องจุ่มในสารละลายกรดบอริกเสมอ ป้องกันการสูญเสียแอมโมเนียม สารละลายที่จับแอมโมเนียมได้ อินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว

2.9 นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N ที่จุดยุติ สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูม่วง

2.10 ทำ blank โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% จำนวน 100 มิลลิลิตร
เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไปปริมาตรเท่ากับที่ใช้ในข้อ (2.8) ทำการกลั่นและ
ไทเทรต เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = \frac{(A-B)N \times 100}{W} \text{ มิลลิสมมูลต่อดิน 100 g หรือ cmol kg}^{-1}$$

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน (กรัม)

ก-6 การวิเคราะห์ไนโตรเจนในดินทั้งหมด (Total Nitrogen)

วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนในดินทั้งหมด จะใช้วิธีการ Kjeldahl และไทเทรตกับไฮโดรคลอริก
อ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2547) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ใน Micro Kjeldahl tube
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 1 กรัม ($K_2SO_4:CuSO_4:Se$; 100:10:1) และเติมกรดซัลฟิวริก
เข้มข้น 15 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยด้วยเตาย่อย (Digestion System) ในระยะแรกใช้ไฟอ่อนๆ แล้วเพิ่มไฟให้แรงขึ้น
4. Digest จนสีของเหลวใน Kjeldahl flask เริ่มใส เคี่ยวต่อไปอีกประมาณ 20-30 นาที จึงยก
ออกมาจากเตา digest แล้วปล่อยให้เย็น
5. รินน้ำกลั่นประมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปรอบๆ ก้นหลอดของ Micro Kjeldahl flask เขย่า
ของผสมให้เข้ากัน ปล่อยให้เย็นอีกครั้งหนึ่ง แล้วเทใส่ Volumetric flask ขนาด 100
มิลลิลิตร เขย่าของเหลวให้เข้ากัน ปล่อยให้เย็นดินตกตะกอน เพื่อนำของเหลวใสข้างบนไป
กลั่น
6. เตรียม blank ตามวิธีการข้อ (2) ถึงข้อ (5) โดยไม่มีตัวอย่างดิน
7. เปิดเครื่องกลั่นและล้างเครื่องกลั่น 1 ครั้ง ด้วยการกลั่นน้ำกลั่น
8. นำตัวอย่างในข้อ (5) มาเข้าเครื่องกลั่น กำหนดให้เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และ NaOH
40% 25 มิลลิลิตร กลั่นประมาณ 4 นาที
9. เติมกรดบอริก 4% 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร หยด mixed
indicator ประมาณ 6-7 หยด สารละลายจะมีสีม่วงแดง นำไปรองรับการกลั่นจากข้อ (8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายนี้จะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว และรองรับจนได้สารละลายในขวดรูปชมพู่ ประมาณ 150 มิลลิลิตร

10. ไทเทรตสารละลายที่ได้จากการกลั่นในข้อ (9) กับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง
11. กลั่น Blank และไทเทรต เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$\% T - N = \frac{1.4 \times X(Y-B)}{A}$$

A = น้ำหนักตัวอย่างดิน (กรัม)

B = มิลลิลิตรของ standard HCl ที่ใช้ไทเทรต Blank

Y = มิลลิลิตรของ standard HCl ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

X = ความเข้มข้นของ HCl

1.4 = น้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของไนโตรเจน

ก-7 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินและกากตะกอน จะใช้วิธี Bray II อ้างอิงตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (2547)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายสกัด Bray II (0.03 N NH_4F และ 0.1 N HCl)

ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride, NH_4F) 11.02 กรัม ในน้ำกลั่น 8 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) ลงไป 86 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีปริมาตร 10 ลิตร ปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 1.5 – 1.6

1.2 Stock solution (Reagent A: Sulfuric – molybdate – tartrate solution)

(ก) ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate, $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$) 50 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้ละลาย

(ข) ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต (antimony potassium tartrate, $\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) 1.213 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร (ถ้าไม่ละลายนำไปอุ่นแต่ต้องไม่เกิน 60 °C) เมื่อละลายเข้ากันดีแล้ว เท (ข) ใส่ในบีกเกอร์ที่ใส่แอมโมเนียมโมลิบเดต (ก) คนให้เข้ากันอีกครั้ง ค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 700 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เทลงในขวดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรถึงขีดด้วยน้ำกลั่น เทเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาลและเก็บไว้ในที่มืดและเย็น สารละลายเก็บไว้ได้นาน 6 เดือน

1.3 สารละลายที่ทำให้เกิดสี (Working solution, Reagent B)

ละลายกรดแอสคอร์บิก 1.76 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 1,600 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 2 ลิตร เติม Reagent A ลงไป 40 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ประมาณ 2 ชั่วโมง จึงนำมาใช้ (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง)

1.4 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 mg/L

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4 อปให้แห้งที่ 40 °C นาน 2 ชั่วโมง) 0.2195 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริก 1–2 หยด ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

1.5 สารละลายมาตรฐานสำหรับทำกราฟมาตรฐาน (Standard set)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 mg/L มา 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยสารละลาย Bray II (ข้อ 1.1) จะได้สารละลายมาตรฐานสำหรับทำกราฟมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 mg/L

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.2 เติมน้ำยาสกัด Bray II 10 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 โดยใช้เครื่องกรองลดความดัน

2.3 ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ในข้อ (2.2) อัตราส่วน 1 ต่อ Working solution 16 ส่วน (เท่ากับ 17 เท่า) ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ 30 นาที นำไปอ่านค่าความเข้มข้น ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 822 nm

2.4 ทำ blank และชุดของสารละลายมาตรฐาน (standard set) เช่นเดียวกับข้อ (2.3)

การคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P)} = \frac{B \times df(\text{sample}) \times R}{A \times df(\text{standard})} \text{ mg/kg}$$

A = น้ำหนักตัวอย่างดิน (กรัม)

B = สารละลายสกัด (มิลลิลิตร)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set (ppm)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor) (เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-8 การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

วิธีการวิเคราะห์จะใช้การแทนที่ exchangeable K^+ ด้วย NH_4^+ อ้างอิงตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (2547)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (ammonium acetate solution) 1N pH 7.0 ผสม 57 มิลลิลิตรของกรดน้ำส้ม (glacial acetic acid, 99.5%) และ 68 มิลลิลิตรของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเกือบ 1 ลิตร ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 7 ด้วยการใส่กรดอะซิติก หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวปรับ จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรสุทธิเป็น 1 ลิตร

1.2 สารละลายโพแทสเซียมมาตรฐาน 1,000 mg/L
ละลาย 1.907 กรัม ของโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่อบแห้ง ที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^\circ C$ ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1 ลิตร

1.3 สารละลายโพแทสเซียมมาตรฐาน 100 mg/L
ปิเปตสารละลายข้อ (1.2) 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.4 สารละลายมาตรฐานสำหรับทำกราฟมาตรฐาน (Standard set)
ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 10 mg/L มา 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0, 13.0, 15.0, 17.0 และ 19.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานสำหรับทำกราฟมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 mg/L

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ชั่งดิน 2.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.2 เติมสารละลายสกัด ข้อ (1.1) 25 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขี่ยนาน 30 นาที

2.3 กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 นำสารละลายที่กรองได้ ไปวัดปริมาณโพแทสเซียม (K) โดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

การคำนวณ

$$\text{โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K)} = \frac{D \times df \times B}{A} \text{ mg/kg}$$

A = น้ำหนักตัวอย่างดิน (กรัม)

B = ปริมาตรสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor) (เท่า)

D = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน (mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-9 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน

วิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินและกากตะกอน โดยเลือกวิเคราะห์เฉพาะ Zn, Cu และ Ni จะใช้วิธีการย่อยด้วย Tri acid ร่วมกับเทคนิค AAS อ้างอิงตามวิธีการของ Singh and Agrawal (2010)

1. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการย่อย

กรดที่ใช้ในการย่อยคือ Tri acid ที่เตรียมขึ้นโดยใช้อัตราส่วน $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4$ เท่ากับ 5:1:1

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ชั่งตัวอย่างดิน 0.5 กรัม ใส่ปิกรเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.2 เติมน้ำละลายกรด Tri acid ลงไป 20 มิลลิลิตร

2.3 นำไปย่อยบนเตาให้ความร้อนโดยเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ $80 - 100^\circ\text{C}$ จนกระทั่งควันสีน้ำตาลหมดไป

2.4 เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C ย่อยต่อจนปรากฏควันสีขาวประมาณ 30 นาที

2.5 ทิ้งไว้ให้เย็น และถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.6 กรองผ่าน syringe filter 0.45 micron เก็บสารละลายไว้วิเคราะห์ Zn, Cu และ Ni ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ก-10 การวิเคราะห์หาอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminium)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายอลูมิเนียมเข้มข้น 500 mg/L ซึ่งโพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}]$ 0.8792 กรัม เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 1-3 หยด ละลายในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.2 กรดไทโธไกลโคลิก 1% (Thioglycolic acid 1%) ปิเปตกรดไทโธไกลโคลิก 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น *ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง เมื่อใช้งานและอย่าให้สัมผัสผิวหนังเพราะเป็นสารทำให้ระคายเคือง

1.3 สารละลายบัฟเฟอร์อลูมินอน

ก ชั่ง Ammonium – aurintricarboxylic acid 0.9 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 200 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ข ชั่ง Ammonium acetate 33 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค ปิเปตกรด HCl เข้มข้น 125 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
ง ชั่ง Gum acacia 10 g ละลายในน้ำอุ่น

จากนั้นทำการผสมสารละลายจากข้อ ก – ง ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร และ
ปรับปริมาตรจนถึงขีดด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน ถ้ามีตะกอน นำไปกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว
และปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 3.8 – 4 ด้วยกรด HCl 3 N หรือ NH_4OH 3 N (เก็บสารละลายไว้ใช้งาน
ได้นาน 6 เดือน)

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 ปิเปตสารอลูมิเนียมเข้มข้น 500 mg/L จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร
ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายอลูมิเนียมสำหรับใช้
งาน (Working Al^{3+} solution) ที่มีความเข้มข้น 5 mg/L

2.2 ปิเปตสารละลายอลูมิเนียมที่มีความเข้มข้น 5 mg/L มา 0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0
มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แต่ละขวดปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัด จะ
ได้สารละลายเพื่อทำการหาปริมาณที่มีความเข้มข้นของอลูมิเนียมเท่ากับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
mg/L

2.3 เติม Thioglycolic acid 1% จำนวน 2 มิลลิลิตร และสารละลายบัฟเฟอร์อลูมิเนียม
จำนวน 10 มิลลิลิตร

2.4 นำไปอังไอน้ำให้ความร้อนบน water bath ที่มีน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที และตั้งทิ้งไว้
ให้เย็น เทลงขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

2.5 ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วย
เครื่อง Visible spectrometer ที่ความยาวคลื่น 525 nm

2.6 ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม แล้วดำเนินการตามข้อ 2.3-2.5

การคำนวณ

$$\text{Al (mg/kg)} = \frac{1000 (X)}{(A)(D)}$$

X = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (mg/L)

A = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

D = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ความชื้น (Moisture) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนภาคตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)
สูตร A (0 : 100)	1	5.0039	4.7784	4.51
	2	5.0043	4.7761	4.56
	3	5.0041	4.7766	4.55
สูตร B (25 : 75)	1	5.0000	4.2952	14.10
	2	5.0006	4.2965	14.08
	3	5.0009	4.3544	12.93
สูตร C (50 : 50)	1	5.0041	3.8562	22.94
	2	5.0012	3.8521	22.98
	3	5.0001	3.8176	23.65
สูตร D (75 : 25)	1	5.0004	3.3568	32.87
	2	5.0016	3.3210	33.60
	3	4.9996	3.3442	33.11
สูตร E (100 : 0)	1	5.0048	2.8041	43.97
	2	5.0023	2.8318	43.39
	3	5.0045	2.8291	43.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 พีเอช (pH) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนภาคตะกอน : วัสดุปลูก)	พีเอช		
	1	2	3
สูตร A (0 : 100)	6.73	6.70	6.69
สูตร B (25 : 75)	6.67	6.70	6.66
สูตร C (50 : 50)	6.62	6.63	6.63
สูตร D (75 : 25)	6.60	6.61	6.61
สูตร E (100 : 0)	6.55	6.57	6.58

ตารางที่ ข-3 การนำไฟฟ้า (Conductivity) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนภาคตะกอน : วัสดุปลูก)	การนำไฟฟ้า (mS/cm)		
	1	2	3
สูตร A (0 : 100)	1.38	1.39	1.42
สูตร B (25 : 75)	1.29	1.28	1.30
สูตร C (50 : 50)	1.19	1.21	1.25
สูตร D (75 : 25)	0.94	1.00	1.19
สูตร E (100 : 0)	0.86	0.95	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, OM) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนกากตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (mL)		อินทรีย์วัตถุ (%)
			แบลงค์	ตัวอย่าง	
สูตร A (0 : 100)	1	1.0233	17.00	4.90	4.67
	2	1.0882	17.00	4.50	4.54
	3	1.0324	17.00	4.80	4.67
สูตร B (25 : 75)	1	1.1435	17.00	5.50	3.98
	2	1.0381	17.00	5.60	4.34
	3	1.0526	17.00	5.60	4.28
สูตร C (50 : 50)	1	1.0252	17.00	6.30	4.13
	2	1.1903	17.00	6.30	3.55
	3	1.1030	17.00	6.40	3.80
สูตร D (75 : 25)	1	1.0271	17.00	7.50	3.66
	2	1.0294	17.00	7.40	3.69
	3	1.0352	17.00	7.60	3.59
สูตร E (100 : 0)	1	1.0642	17.00	7.80	3.42
	2	1.0183	17.00	7.90	3.53
	3	1.0120	17.00	7.90	3.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Capacity Exchange Cation, CEC) ของ
วัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนกากตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCL (mL)*		CEC (cmol/kg)
			แบลงค์	ตัวอย่าง	
สูตร A (0 : 100)	1	5.0072	0.10	10.10	19.97
	2	5.0032	0.10	10.20	20.19
	3	5.0083	0.10	10.60	20.97
สูตร B (25 : 75)	1	5.0016	0.10	13.30	26.39
	2	5.0010	0.10	13.70	27.19
	3	5.0028	0.10	14.40	28.58
สูตร C (50 : 50)	1	5.0003	0.10	14.60	29.00
	2	5.0030	0.10	13.50	26.78
	3	5.0001	0.10	14.90	29.60
สูตร D (75 : 25)	1	5.0032	0.10	13.40	26.58
	2	5.0022	0.10	13.50	26.79
	3	5.0035	0.10	14.00	27.78
สูตร E (100 : 0)	1	5.0010	0.10	14.10	27.99
	2	5.0026	0.10	16.30	32.38
	3	5.0026	0.10	16.10	31.98

*ความเข้มข้นที่แน่นอนของไฮโดรคลอริก (HCL) เท่ากับ 0.0968 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนกากตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCL (mL)*		Total (%)
			แบลงค์	ตัวอย่าง	
สูตร A (0 : 100)	1	1.0056	0.10	1.00	0.13
	2	1.0012	0.10	0.80	0.10
	3	1.0025	0.10	0.90	0.11
สูตร B (25 : 75)	1	1.0000	0.10	5.40	0.74
	2	1.0024	0.10	5.70	0.78
	3	1.0019	0.10	5.90	0.81
สูตร C (50 : 50)	1	1.0009	0.10	4.20	0.57
	2	1.0004	0.10	4.10	0.56
	3	1.0004	0.10	4.10	0.56
สูตร D (75 : 25)	1	1.0009	0.10	5.40	0.74
	2	1.0002	0.10	5.20	0.71
	3	1.0005	0.10	5.60	0.77
สูตร E (100 : 0)	1	1.0019	0.10	7.40	1.02
	2	1.0014	0.10	7.40	1.02
	3	1.0111	0.10	7.40	1.01

*ความเข้มข้นที่แน่นอนของไฮโดรคลอริก (HCL) เท่ากับ 0.0968 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

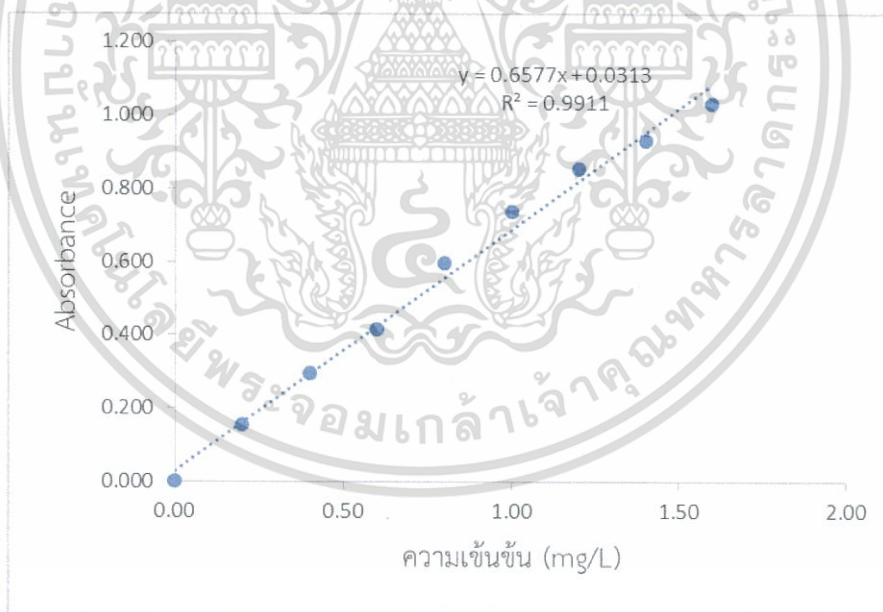
ตัวอย่าง (สัดส่วนกากตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนัก แห้ง (g)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น จากกราฟ* (ppm, mg/L)	Available P (mg/kg)
สูตร A (0 : 100)	1	1.0035	0.739	1.0760	21.45
	2	1.0046	0.740	1.0775	21.45
	3	1.0049	0.743	1.0821	21.54
สูตร B (25 : 75)	1	1.0009	0.297	0.4040	8.07
	2	1.0039	0.274	0.3690	7.35
	3	1.0021	0.264	0.3538	7.06
สูตร C (50 : 50)	1	1.0032	0.064	0.0497	0.10
	2	1.0023	0.063	0.0482	0.10
	3	1.0025	0.061	0.0452	0.10
สูตร D (75 : 25)	1	1.0015	0.032	0.0011	0.0022
	2	1.0032	0.036	0.0071	0.02
	3	1.0005	0.034	0.0041	0.01
สูตร E (100 : 0)	1	1.0018	0.032	0.0011	0.0011
	2	1.0042	0.033	0.0026	0.00259
	3	1.0015	0.032	0.0011	0.0011

*ฟังก์ชันสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณ คือ $y = 0.6577x + 0.0313$; $R^2 = 0.9911$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัส (ppm, mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.00	0.000
0.20	0.154
0.40	0.297
0.60	0.416
0.80	0.596
1.00	0.737
1.20	0.855
1.40	0.931
1.60	1.031



รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Potassium) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนภาคตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้น จากกราฟ** (ppm, mg/L)	Available P (mg/kg)
สูตร A* (0 : 100)	1	2.5094	0.9594	95.58
	2	2.5062	0.9610	95.86
	3	2.5028	0.9584	95.73
สูตร B* (25 : 75)	1	2.5083	0.4342	43.28
	2	2.5078	0.4305	42.92
	3	2.5060	0.4368	43.58
สูตร C (50 : 50)	1	2.5031	0.6718	67.1
	2	2.5060	0.6783	67.67
	3	2.5032	0.6858	68.49
สูตร D (75 : 25)	1	2.5055	0.4055	40.46
	2	2.5054	0.4116	41.07
	3	2.5062	0.4324	41.13
สูตร E (100 : 0)	1	2.5056	0.3082	30.75
	2	2.5044	0.3160	31.54
	3	2.5036	0.3230	32.54

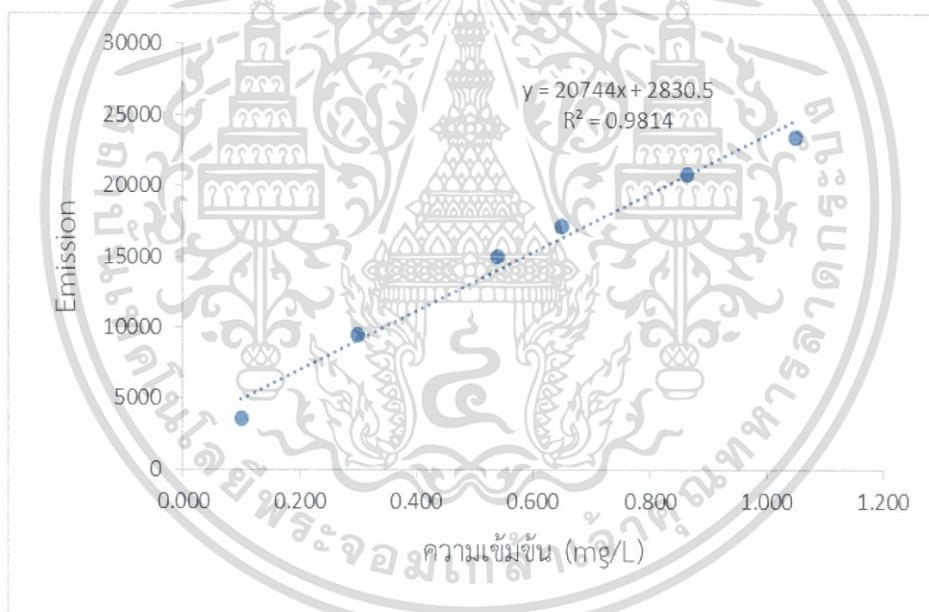
*เจือจาง 10 เท่าก่อนนำไปวัดทุกสูตร

**ฟังก์ชันสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณ คือ $y = 20744x + 2830.5$; $R^2 = 0.9814$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม (ppm, mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.100	3601
0.300	9522
0.539	15029
0.649	17184
0.865	20830
1.050	23483



รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ปริมาณลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

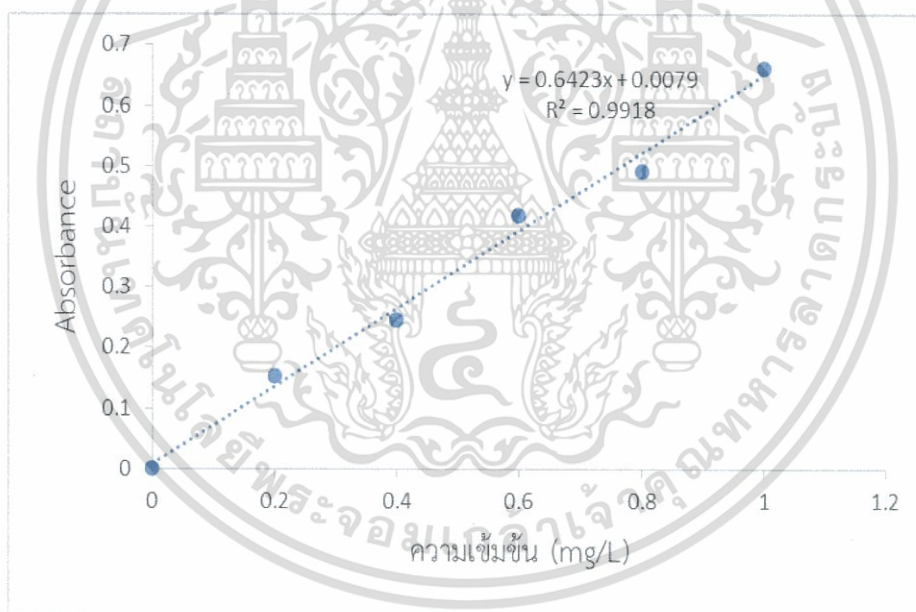
ตัวอย่าง (สัดส่วนกากตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น จากกราฟ* (ppm, mg/L)	ปริมาณ Al (mg/kg)
สูตร A (0 : 100)	1	5.0024	0.052	0.0687	6.87
	2	5.0075	0.044	0.0562	5.61
	3	5.0031	0.042	0.0531	5.31
สูตร B (25 : 75)	1	5.0110	0.059	0.0796	7.94
	2	5.0102	0.056	0.0749	7.47
	3	5.0086	0.057	0.0764	7.63
สูตร C (50 : 50)	1	5.0022	0.082	0.1154	11.53
	2	5.0026	0.083	0.0858	8.58
	3	5.0080	0.084	0.1185	11.83
สูตร D (75 : 25)	1	5.0022	0.145	0.2135	21.34
	2	5.0013	0.118	0.1714	17.14
	3	5.0015	0.125	0.1823	18.22
สูตร E (100 : 0)	1	5.0035	0.185	0.2757	27.55
	2	5.0037	0.193	0.2882	28.80
	3	5.0026	0.180	0.2679	26.78

*ฟังก์ชันสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณ คือ $y = 0.6423x + 0.0079$; $R^2 = 0.9918$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานอลูมิเนียม

ความเข้มข้นของอลูมิเนียม (ppm, mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0
0.2	0.154
0.4	0.247
0.6	0.419
0.8	0.492
1	0.662



รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 ปริมาณสังกะสี (Zn) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

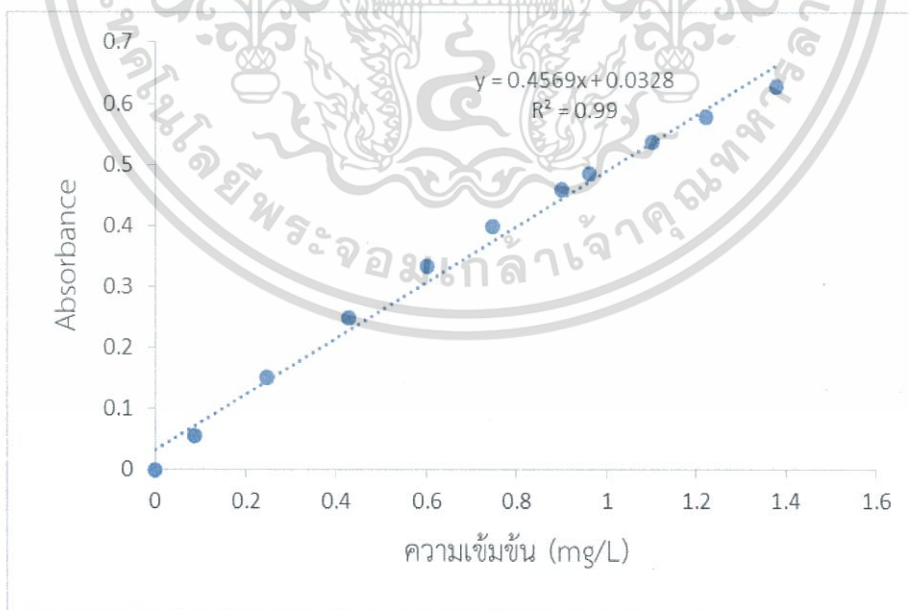
ตัวอย่าง (สัดส่วนกากตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนัก แห้ง (g)	ความเข้มข้น จากกราฟ* (ppm, mg/L)	ปริมาตรสารละลาย ที่ได้จากการสกัด (mL)	ปริมาณ Zn (mg/kg)
สูตร A (0 : 100)	1	0.5024	0.508	50	50.56
	2	0.5044	0.489	50	48.47
	3	0.5014	0.459	50	45.77
สูตร B (25 : 75)	1	0.5028	1.033	50	102.72
	2	0.5011	1.099	50	109.66
	3	0.5010	1.023	50	102.10
สูตร C (50 : 50)	1	0.5016	0.938	50	93.50
	2	0.5030	0.998	50	99.20
	3	0.5016	0.921	50	91.55
สูตร D (75 : 25)	1	0.5021	1.044	50	103.96
	2	0.5030	1.049	50	104.27
	3	0.5023	1.026	50	102.13
สูตร E (100 : 0)	1	0.5033	1.387	50	137.79
	2	0.5019	1.250	50	124.53
	3	0.5052	1.302	50	128.86

*ฟังก์ชันสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณ คือ $y = 0.4569x + 0.0328$; $R^2 = 0.99$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานสังกะสี

ความเข้มข้นของสังกะสี (ppm, mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0
0.087	0.0556
0.245	0.1498
0.428	0.2477
0.602	0.3323
0.748	0.3972
0.901	0.46
0.963	0.4842
1.104	0.5363
1.223	0.5779
1.379	0.629



รูปที่ ข-4 กราฟมาตรฐานสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 ปริมาณทองแดง (Cu) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนภาคตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนัก แห้ง (g)	ความเข้มข้น จากกราฟ* (ppm, mg/L)	ปริมาตรสารละลาย ที่ได้จากการสกัด (mL)	ปริมาณ Cu (mg/kg)
สูตร A (0 : 100)	1	0.5033	0.444	50	44.11
	2	0.5019	0.429	50	42.74
	3	0.5052	0.429	50	42.46
สูตร B (25 : 75)	1	0.5021	0.594	50	59.15
	2	0.5030	0.609	50	60.54
	3	0.5023	0.639	50	63.61
สูตร C (50 : 50)	1	0.5016	0.634	50	63.20
	2	0.5030	0.646	50	64.21
	3	0.5016	0.594	50	65.19
สูตร D (75 : 25)	1	0.5028	0.639	50	63.54
	2	0.5011	0.594	50	59.27
	3	0.5010	0.609	50	60.78
สูตร E (100 : 0)	1	0.5024	1.043	50	103.80
	2	0.5044	1.058	50	104.88
	3	0.5014	1.043	50	104.01

*ฟังก์ชันสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณ คือ $y = 0.0667x - 0.0016$; $R^2 = 0.9998$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานทองแดง

ความเข้มข้นของทองแดง (ppm, mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0
0.75	0.048
1.565	0.101
2.999	0.198
3.628	0.242



รูปที่ ข-5 กราฟมาตรฐานทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-12 ปริมาณนิกเกิล (Ni) ของวัสดุผสมสูตรต่างๆ

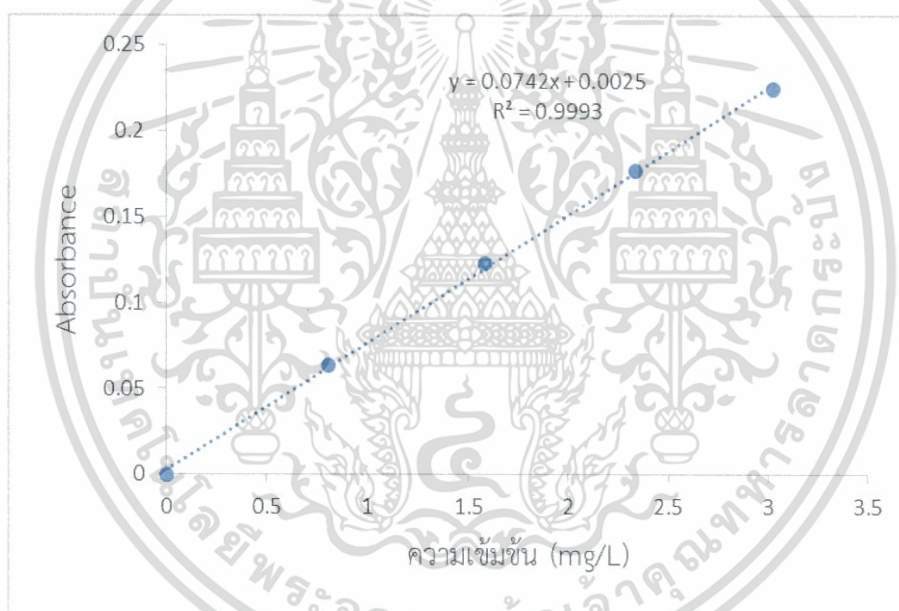
ตัวอย่าง (สัดส่วนภาคตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	น้ำหนัก แห้ง (g)	ความเข้มข้น จากกราฟ* (ppm, mg/L)	ปริมาตรสารละลาย ที่ได้จากการสกัด (mL)	ปริมาณ Ni (mg/kg)
สูตร A (0 : 100)	1	0.5033	0.623	50	62.67
	2	0.5019	0.631	50	62.86
	3	0.5052	0.644	50	63.74
สูตร B (25 : 75)	1	0.5021	0.637	50	63.43
	2	0.5030	0.659	50	65.51
	3	0.5031	0.617	50	61.42
สูตร C (50 : 50)	1	0.5016	0.638	50	63.80
	2	0.5030	0.677	50	67.48
	3	0.5016	0.647	50	64.49
สูตร D (75 : 25)	1	0.5028	0.663	50	65.93
	2	0.5011	0.633	50	63.16
	3	0.5010	0.688	50	68.66
สูตร E (100 : 0)	1	0.5024	0.711	50	70.76
	2	0.5044	0.761	50	75.44
	3	0.5014	0.694	50	69.21

*ฟังก์ชันสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณ คือ $y = 0.0742x - 0.0025$; $R^2 = 0.9993$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานนิกเกิล

ความเข้มข้นของนิกเกิล (ppm, mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0
0.808	0.0639
1.585	0.1226
2.335	0.1767
3.03	0.2248



รูปที่ ข-6 กราฟมาตรฐานนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13 การเจริญเติบโตของดาวเรืองที่ปลูกในวัสดุผสมสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง (สัดส่วนภาคตะกอน : วัสดุปลูก)	ครั้งที่	ความสูง (cm)	จำนวนใบ (ใบ)
สูตร A (0 : 100)	1	11.0	36
	2	13.8	51
	3	9.4	38
	4	12.9	55
สูตร B (25 : 75)	1	13.4	62
	2	15.6	56
	3	19.6	52
	4	13.6	45
สูตร C (50 : 50)	1	16.7	53
	2	14.4	45
	3	19.6	59
	4	19.5	56
สูตร D (75 : 25)	1	26.9	72
	2	21.5	47
	3	16.3	47
	4	16.9	44
สูตร E (100 : 0)	1	21.5	61
	2	15.5	22
	3	27.3	90
	4	19.2	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปลูกและกากตะกอน โดยโครงการวิเคราะห์ดินและพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานผลการวิเคราะห์ดินและพืช
หลักสูตรปริญญา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 โทร (02) 329 8000-8099 ต่อ 7156

ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ที่อยู่	1 ซอยกรุง 1 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม 10520
วันที่ส่งตัวอย่าง	10 มี.ค. 61	รหัส	โทร 02-329-8400-11

ตัวอย่างวัสดุปลูก

รายการที่วิเคราะห์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	ผลการวิเคราะห์	คำแนะนำ
ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method)	%	ไม่น้อยกว่า 1	0.48	• ไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ
หมายเหตุ: เกณฑ์กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศของกรมวิชาการ เกษตร พ.ศ. 2550				

คำรับรองการแปลผล

ขอรับรองว่า ตัวอย่างที่ส่งมาเป็นที่ทำการวิเคราะห์จากโครงการวิเคราะห์ดินและพืช เพื่อเป็นแนวทางในการใส่ปุ๋ย คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึง ทั้งทางโครงการไม่ได้รับผิดชอบในการเก็บตัวอย่างที่ส่งมาแต่อย่างใด

ศุภิษา แยมประชา
 (หัวหน้าโครงการวิเคราะห์ดินและพืช เพื่อเป็นแนวทางในการใส่ปุ๋ย)

รูปที่ ข-7 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปลูก

รายงานผลการวิเคราะห์ดินและพืช
หลักสูตรปริญญา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 โทร (02) 329 8000-8099 ต่อ 7156

ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ที่อยู่	1 ซอยกรุง 1 แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม 10520
วันที่ส่งตัวอย่าง	10 มี.ค. 61	รหัส	โทร 02-329-8400-11

ตัวอย่างกากตะกอน

รายการที่วิเคราะห์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	ผลการวิเคราะห์	คำแนะนำ
ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method)	%	ไม่น้อยกว่า 1	2.36	• ไนโตรเจนอยู่ในระดับสูง
หมายเหตุ: เกณฑ์กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศของกรมวิชาการ เกษตร พ.ศ. 2550				

คำรับรองการแปลผล

ขอรับรองว่า ตัวอย่างที่ส่งมาเป็นที่ทำการวิเคราะห์จากโครงการวิเคราะห์ดินและพืช เพื่อเป็นแนวทางในการใส่ปุ๋ย คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึง ทั้งทางโครงการไม่ได้รับผิดชอบในการเก็บตัวอย่างที่ส่งมาแต่อย่างใด

ศุภิษา แยมประชา
 (หัวหน้าโครงการวิเคราะห์ดินและพืช เพื่อเป็นแนวทางในการใส่ปุ๋ย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ ข-8 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนนี้ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบความสูงและจำนวนใบของดาวเรืองในภาคตะกอนผสมกับวัสดุปลูกอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA

ตารางที่ ค-1 Factor Information

Factor	Levels	Values
ภาคตะกอนผสมวัสดุปลูก	5	A, B, C, D, E

ตารางที่ ค-2 Analysis of Variance (ความสูง)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ภาคตะกอนผสม วัสดุปลูก	4	224.1	56.02	4.18	0.018
Error	15	201.0	13.40		
Total	19	425.0			

ตารางที่ ค-3 ผลการเปรียบเทียบความสูงของดาวเรืองในวัสดุผสมอัตราส่วนต่างๆ โดยวิธี Fisher Pairwise Comparison

ภาคตะกอนผสมวัสดุ ปลูก	N	Mean	Grouping
5 (สูตร E; 100:0)	4	20.88	A
4 (สูตร D; 75:25)	4	20.40	A
3 (สูตร C; 50:50)	4	17.55	A
2 (สูตร B; 25:75)	4	15.55	A B
1 (สูตร A; 0:100)	4	11.78	B

*grouping information using the fisher LSD method and 95% confidence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 Analysis of Variance (จำนวนใบ)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
กากตะกอนผสม วัสดุปลูก	4	287.3	71.83	0.32	0.862
Error	15	3393.3	226.22		
Total	19	3680.6			

ตารางที่ ค-5 ผลการเปรียบเทียบจำนวนใบของดาวเรืองในวัสดุผสมอัตราส่วนต่างๆ โดยวิธี Fisher Pairwise Comparison

กากตะกอนผสมวัสดุ ปลูก	N	Mean	Grouping
5 (สูตร E; 100:0)	4	56.30	A
4 (สูตร D; 75:25)	4	53.75	A
3 (สูตร C; 50:50)	4	53.25	A
2 (สูตร B; 25:75)	4	52.50	A
1 (สูตร A; 0:100)	4	45.00	A

*grouping information using the fisher LSD method and 95% confidence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้