


การใช้ประโยชน์กากซีเมนต์จากโรงงานผลิตน้ำยางชั้นในรูปสารบำรุงดิน



นางสาว วลัยพร ผ่อนผัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

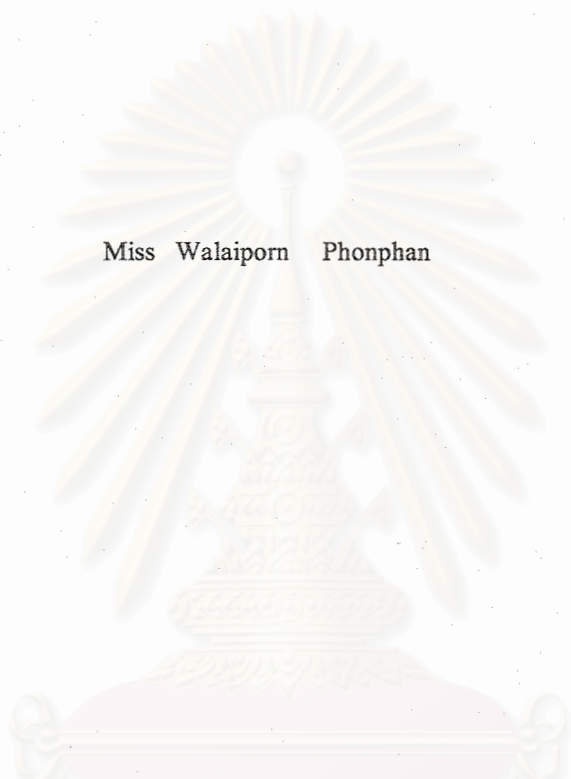
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-5982-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF THE LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY IN TERM OF SOIL CONDITIONER



Miss Walaiporn Phonphan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)

Graduate School
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-5982-7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้ประโยชน์กากขี้เป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางชั้นในรูปสารบำรุงดิน
โดย นางสาว วลัยพร ผ่อนผัน
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.รเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....*ดร.ม.ร.ว.กัลยา*.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ดิงศภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....*ดร.ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์*.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....*ดร.รเรศ ศรีสถิตย์*.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.รเรศ ศรีสถิตย์)

.....*ดร.เปรมจิตต์ แทนสถิตย์*.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

.....*ดร.อ.อ.จ. ประทีตสุนทรสาร*.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อ.อ.จ. ประทีตสุนทรสาร)

วลัยพร ผ่องผัน : การใช้ประโยชน์กากชี้แบ่งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในรูปสารบำรุงดิน (UTILIZATION OF THE LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY IN TERM OF SOIL CONDITIONER) อ. ที่ปรึกษา :รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ 135 หน้า. ISBN 974-17-5982-7.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจะนำกากชี้แบ่งของเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่อสดแช่แข็ง ในการทำเป็นวัสดุบำรุงดินสำหรับการเกษตรกรรม กำหนดการทดลองทำในกระถาง ในหน่วยทดลองแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตรที่พืชต้องการลงไปดินในอัตราที่เหมาะสมต่อการเติบโตต่อพืช กลุ่มที่ 2 ใส่กากชี้แบ่งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่อสดแช่แข็ง กลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุม ไม่มีการเติมสิ่งใดในดิน และทำการศึกษาการเติบโตของพืชทดลอง 3 ชนิด คือ ผักกาดหอม มะเขือเทศ และข้าว โดยศึกษาคุณลักษณะของดิน กากชี้แบ่ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก ศึกษาลักษณะการเติบโต ปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับ และที่สะสมในดินภายหลังการเก็บเกี่ยว ศึกษาหาปริมาณการสะสมสังกะสีในดิน และในพืชที่ทดลอง หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใส่กากชี้แบ่ง และกากตะกอน

จากการศึกษาลักษณะสมบัติของดิน กากชี้แบ่ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก พบว่าไม่มีข้อจำกัดในการนำกากชี้แบ่ง และกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุบำรุงดินในการปลูกพืช สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดินในการทดลองปลูกผักกาดหอม มะเขือเทศ และข้าว พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่าง ดิน : กากชี้แบ่ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 1 : 3 : 1 เพราะทำให้การเติบโตของพืชทดลองไม่มีอาการขาดธาตุอาหารพืชแต่อย่างใด พิจารณาจากการสะสมธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพืชซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในการเติบโต และผลผลิตที่ได้จากพืชมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี การสะสมธาตุอาหารในดินหลังการปลูกพบว่าไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,119 – 1,132.5 mg/kg ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 297.56 – 310.90 mg/kg และโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 366 – 384.5 mg/kg เป็นปริมาณการสะสมธาตุอาหารที่สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช และพบว่ามีปริมาณการสะสมสังกะสีในดินอยู่ในช่วง 0.44 – 1.64 mg/kg ค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร กล่าวคือไม่เกิน 280 – 300 mg/kg

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต..... กัญญา

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ชนพร

ปีการศึกษา..... 2547

#4589144020 : MAJOR INTER-DEPARTMENTAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : WASTE /LUTOID / SLUDGE /LETTUCE/TOMATO/RICE

WALAIORN PHONPHAN : UTILIZATION OF THE LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY IN TERM OF SOIL CONDITIONER . THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR THARES SRISATIT, PH.D., 135 PP. ISBN 974-17-5982-7

The objective of this research is to study the utilization of lutoid from a rubber latex factory and sludge of wastewater treatment from a poultry factory as a soil conditioner for agriculture. Pot experiments were separated into 3 groups: one using the chemical of fertilizers in proper ratio, the second one planted by using the lutoid from a rubber latex factory and sludge of wastewater treatment from a poultry factory, and the last group was planted in normal environment. The experiments studies the growth rate of 3 types of vegetables: lettuce, tomato and rice. By using lutoid as a soil conditioner, this study tried to find the ratios between soil, lutoid and sludge that give the highest growth rate for those three vegetable plants. The concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, and zinc in soil, lutoid, and sludge were measured both before planting and after harvesting in the experiments.

The result showed that lutoid and sludge can be nutritional resources for plants. The optimum ratio for soil : lutoid : sludge is 1 : 3 : 1. On this ratio, results of the retained nutrition and dry weight is almost similar to planting by chemical fertilizers. Analyzing of dry soil weight after harvesting, found that the average range is 1119-1132.5 mg/kg for nitrogen, 297.56-310.90 mg/kg for phosphorus and 366-384.5 mg/kg for potassium. These ranges can be the same nutrient resource as planting by chemical fertilizers. The retaining of zinc concentration in soil after harvesting was 0.44-1.64 mg/kg which is less than the standard concentration for soil.

Department ... Environmental Science

Student's signature... *Nalaiorn Phonphan*

Field of study... Environmental Science

Advisor's signature... *T. Srisatit*

Academic Year..... 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมาจากการให้แนวความคิด ข้อคิดเห็น ต่างๆที่มีประโยชน์ คำปรึกษา ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ ความเมตตากรุณา และการคอยช่วยเหลือ ปัญหาต่างๆ จากรองศาสตราจารย์ ดร.รเรศ ศรีสถิตย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณา สละเวลาอันมีค่า ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์และ อาจารย์ ดร.อาจง ประทศสุนทรสาร ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆในวิทยานิพนธ์ พร้อมให้ข้อเสนอแนะต่างๆที่เป็นประโยชน์ใน วิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ โพรธิ์ป็น และรองศาสตราจารย์ ดร. อธิสุนทร นันทกิจ ภาควิชาปรัชญาศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการนำของเสียมาเป็นวัสดุบำรุงดิน อันเป็นพื้นฐานสำคัญของงาน วิทยานิพนธ์เรื่องนี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้เงินอุดหนุนงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณอรรรถกฤต แก้วเจริญ ที่คอยช่วยแนะนำเทคนิคการใช้เครื่องมือ และ อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ต่างในห้องปฏิบัติการ อันทำให้การวิเคราะห์ต่างๆสามารถดำเนินไปได้ อย่างราบรื่น

ขอขอบคุณ บริษัท อินเทอร์เน็ตเบอร์โทรศัพท์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ได้อนุเคราะห์ ช่วยส่งกากขี้เถ้า สำหรับใช้ในการวิจัยนี้ และขอบคุณ บริษัทซันฟูด โรงงานไก่สดแช่แข็ง จังหวัด สระบุรี ที่ให้ความสะดวกในการเก็บกากตะกอน สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆทุกคน ที่มีได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนกำลังใจที่มีมาตลอดระยะเวลางานวิจัยนี้ด้วยดีเสมอมา

เหนือสิ่งอื่นใด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆสิ่ง และ คอยเป็นกำลังใจเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กากซีเมนต์.....	3
2.2 ขบวนการผลิตน้ำยางข้น.....	5
2.3 อัตราการเกิดกากซีเมนต์.....	8
2.4 การศึกษาอัตราการเกิดกากซีเมนต์ของ บริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด.....	9
2.5 แนวทางการใช้ประโยชน์กากซีเมนต์.....	9
2.6 กากตะกอน.....	10
2.7 แนวทางการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร.....	10
2.8 วัตถุประสงค์ในการใช้กากตะกอนทางการเกษตร.....	12
2.9 ปริมาณการเติมกากตะกอนลงดินเพื่อการเกษตร.....	14
2.10 ข้อจำกัดของการใช้ประโยชน์กากตะกอนในทางการเกษตร.....	16
2.11 ผลของการเติมกากตะกอนที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของดิน.....	17
2.12 ผลของการเติมกากตะกอนที่มีต่อลักษณะทางเคมีของดิน ในด้านธาตุอาหารพืช.....	17
2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อการรับจุลธาตุของพืช.....	21
2.14 พืชที่ใช้ในการทดลอง.....	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	31
3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย.....	31
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	31
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	36
4.1 ลักษณะสมบัติของดิน และลักษณะสมบัติของกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก.....	36
4.2 ลักษณะสมบัติของดินในแต่ละหน่วยทดลอง หลังการปลูกพืชทดลอง.....	46
4.3 ศึกษาปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังทำการเพาะปลูก พืชทดลอง (Available – Zn).....	58
4.4 การศึกษาการเติบโตของพืชทดลอง.....	62
4.5 การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่พืชทดลองได้รับ.....	68
4.6 การศึกษาปริมาณสังกะสี ในพืชทดลองที่ได้รับ.....	76
4.7 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดิน.....	78
4.8 การประเมินค่าใช้จ่ายในการนำกากซีเมนต์ และกากตะกอน มาทำเป็นวัสดุบำรุงดิน.....	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	90
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก.....	99
ภาคผนวก ข.....	122

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ค.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	135



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 อัตราการเกิดกากขี้เป้งของบริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด.....	9
2.2 ปริมาณโลหะหนัก (ppm.) สูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้ เพื่อการเกษตร (webber et al., 1984).....	20
3.1 ชุดทดลองต่างๆ	33
3.2 แสดงพารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์.....	34
4.1 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนก่อนทำการเพาะปลูก.....	45
4.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกผักกาดหอม.....	51
4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกมะเขือเทศ.....	54
4.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกข้าว.....	57
4.5 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่ยอมรับให้มีได้ในดิน เพื่อการเกษตร (Webber et al 1984).....	59
4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังทำการเพาะปลูกพืชทดลอง.....	61
4.7 ค่าเฉลี่ยการเติบโตของผักกาดหอม.....	63
4.8 ค่าเฉลี่ยการเติบโตของมะเขือเทศ.....	65
4.9 ค่าเฉลี่ยการเติบโตของข้าว.....	67
4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหนักแห้งของผักกาดหอม.....	71
4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศ.....	73
4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหนักแห้งของข้าว.....	75
4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในน้ำหนักแห้งพืชทดลอง.....	77
4.14 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม.) ในพืช ณ ระดับปกติ และระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982).....	78

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กรรมวิธีการผลิตและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิม..... 4
4.1	ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน.....37
4.2	ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนทำการเพาะปลูก..... 38
4.3	ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก..... 39
4.4	ปริมาณไนเตรทในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก..... 40
4.5	ปริมาณแอมโมเนียมในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก..... 41
4.6	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก..... 42
4.7	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก..... 43
4.8	สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนการเพาะปลูก..... 44
4.9	ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินปลูกผักกาดหอม..... 47
4.10	ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินปลูกมะเขือเทศ..... 48
4.11	ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินปลูกข้าว..... 48
4.12	น้ำหนักแห้งของผักกาดหอม..... 80
4.13	ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหนักแห้งผักกาดหอม..... 80
4.14	ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกผักกาดหอม..... 81
4.15	จำนวนผลมะเขือเทศ..... 82
4.16	น้ำหนักแห้งผลมะเขือเทศ..... 82
4.17	น้ำหนักแห้งดินมะเขือเทศ..... 83
4.18	ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหนักแห้งมะเขือเทศ..... 83
4.19	ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกมะเขือเทศ..... 84
4.20	น้ำหนักแห้งตอซัง..... 85
4.21	น้ำหนักแห้งเมล็ดข้าว..... 85

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหนักแห้งข้าว.....	86
4.23	ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกข้าว.....	86



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางภาคผนวก

ตาราง

หน้า

ข1. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินที่เพาะปลูกผักกาดหอม ระหว่างการทดลอง.....	122
ข2. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินที่เพาะปลูกมะเขือเทศ ระหว่างการทดลอง.....	123
ข3. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินที่เพาะปลูกข้าว ระหว่างการทดลอง.....	124
ข4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน.....	125



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้ ปุ๋ยมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเกษตร เพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรภายในประเทศ ถึงแม้จะมีการใช้ปุ๋ยในปริมาณมาก เพื่อผลผลิตที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าใช้จ่าย และผลตกค้างของสารเคมีก็มากขึ้นตามไปด้วย หากใช้ในปริมาณมากเกินไป ความจะมีผลทำให้คุณสมบัติดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่เหมาะสม ต่อการเติบโตของพืช ดังนั้น การช่วยลดปัญหาเหล่านี้ ทำได้โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ แทนปุ๋ยเคมี

กากขี้เป้งซึ่งเป็นของเสียเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นที่เกิดจากขบวนการผลิตน้ำยางข้นเกิดขึ้นในปริมาณกว่าวันละ 1.58 ตันต่อน้ำยางข้น(วันชัย แก้วยอด, 2540) ประกอบไปด้วยฝุ่นทราย เปลือกไม้ และ แมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตซึ่งเกิดขึ้นในขบวนการผลิตน้ำยางข้นที่มีการเติมสารเคมี คือ ammonia ทำให้กากขี้เป้งประกอบไปด้วยธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส อีกทั้งปริมาณกากขี้เป้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นมีปริมาณที่มากพอสมควร จึงน่าสนใจที่จะศึกษาหาแนวทางในการจัดการเอาของเสียมาใช้ประโยชน์ให้เหมาะสม

กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งซึ่งเป็นอุตสาหกรรมอาหาร ที่มีการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยา และจะเกิดกากตะกอน(sludge) จากระบบตะกอนเร่ง(activated sludge) เป็นตะกอนที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ และกากตะกอนเหล่านี้จำเป็นต้องกำจัดด้วยวิธีการที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม

ด้วยทั้งกากขี้เป้ง และกากตะกอนเป็นวัสดุที่ต้องนำไปกำจัด และโรงงานได้มีการกำจัดแบบการกองทิ้ง โดยการเทกอง หรือการฝังกลบ ซึ่งต้องใช้พื้นที่ในปริมาณมากเพื่อรองรับของเสีย ประกอบกับกลิ่นที่เหม็นฟุ้งกระจายอีกด้วย จากการจัดการของเสียแนวทางนี้อาจเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการหรือเทคโนโลยีต่างๆ ที่จะนำมาจัดการกับของเสียก็มีหลายวิธีแตกต่างกัน แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงเป็นอันดับแรก คือ การนำของเหลือทิ้ง เหลือใช้ หรือของเสียกลับมาใช้อีกที เรียกว่า "Waste Recycling" เป็นการนำของเสียมาใช้เป็นสารบำรุงดินแทนปุ๋ยเคมีอันเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน เพราะการเพาะปลูกส่วนใหญ่มักทำให้ระดับธาตุอาหารในดินลดลงไปจากเดิมจึงจำเป็นต้องจัดหาแหล่งอื่นมาเพิ่มเติม เช่น การใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) แต่การเลือกใส่

วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมลดผลตกค้างของสารเคมี ซึ่งในปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาสารตกค้างในดินเป็นอย่างมาก เพราะทั้งกากซีเมนต์ และกากตะกอนเป็นอินทรีย์วัสดุที่มีแหล่งธาตุอาหารหลัก เมื่อพิจารณาสมบัติและองค์ประกอบของกากซีเมนต์ และกากตะกอน โรงงานบำบัดน้ำเสียโรงงาน ใกล้เคียงแห่งหนึ่ง พบว่ามีแนวโน้มเหมาะสมที่จะใช้ส่งเสริมการเติบโตของพืช ทั้งในลักษณะเป็นแหล่งธาตุอาหารและช่วยปรับปรุงดิน และไม่มีปริมาณโลหะหนักปะปนอยู่เนื่องจากเป็นกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางอาหาร ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยครั้งนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเติบโตของพืชทดลองที่ปลูกโดยใช้กากซีเมนต์ในรูปสารบำรุงดิน
2. ศึกษาอัตราส่วนผสมของกากซีเมนต์ที่ใส่ลงดินเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดิน ในปริมาณอัตราส่วนที่เหมาะสม

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้กากซีเมนต์ในรูปของสารบำรุงดิน โดยพิจารณาถึงธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม
2. ศึกษาการเติบโตของพืชทดลอง คือ ผักกาดหอม ข้าว และมะเขือเทศ ที่ปลูกในดินผสมกับกากซีเมนต์ ดินกับกากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียโรงงาน ใกล้เคียง และดินกับกากซีเมนต์และกากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียโรงงาน ใกล้เคียง
3. ประเมินค่าใช้จ่ายในการนำกากซีเมนต์มาใช้ประโยชน์ในรูปวัสดุบำรุงดิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางการกำจัดของเสีย"กากซีเมนต์"จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น โดยสามารถนำเอาวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการทำวัสดุบำรุงดิน หรือปุ๋ย ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดของเสียที่ไม่เหมาะสม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

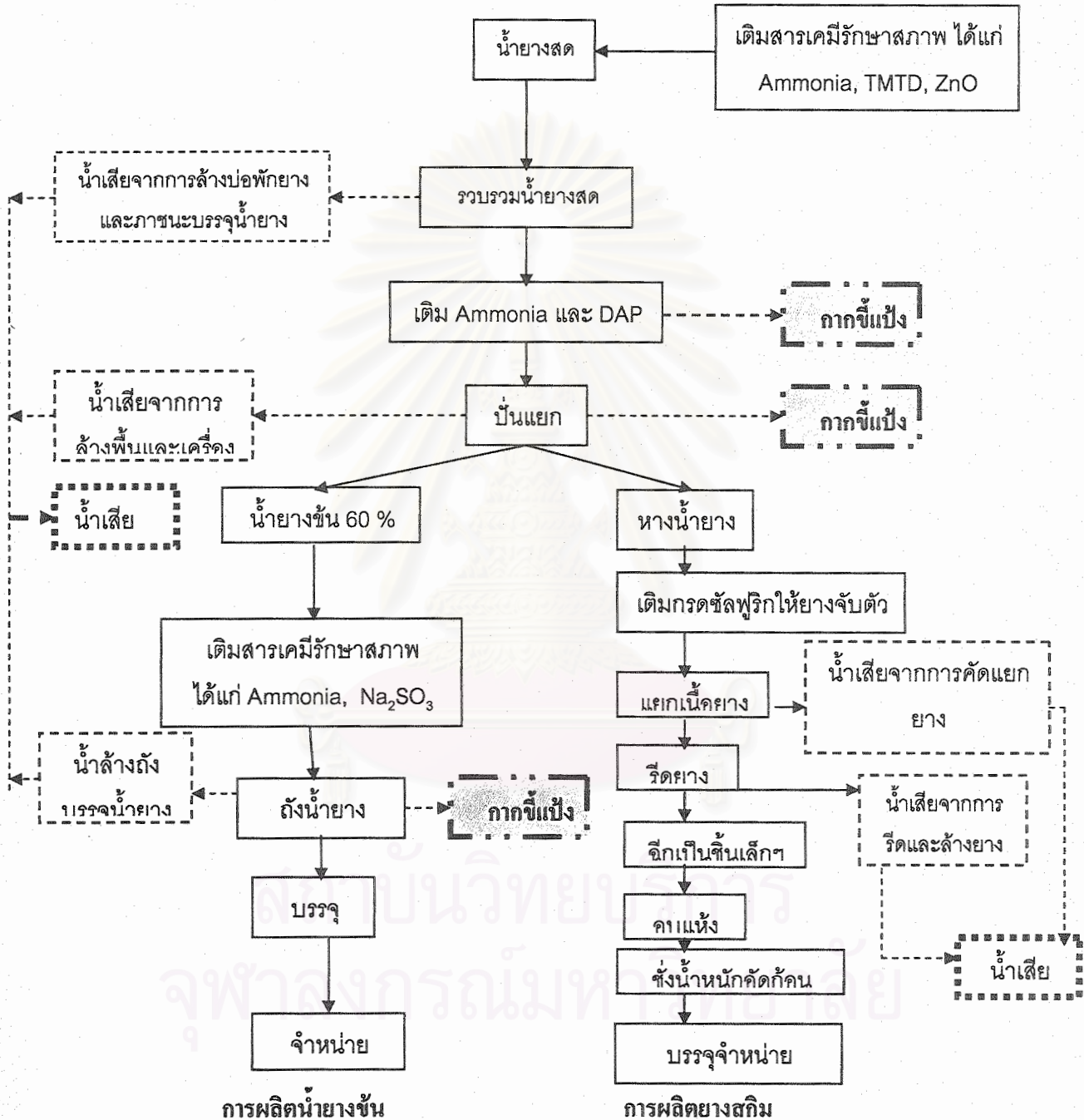
2.1 กากซีแป้ง

กากซีแป้งเป็นของเสียของแข็ง มีลักษณะเป็นผง โดยเป็นของแข็งที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดและจะถูกแยกออกจากการปั่นในการผลิตน้ำยางข้น มีลักษณะเป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มี Mg และ P เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ วราศรี เถกประสิทธิ์ และคณะ (2542,2543) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของกากซีแป้ง และอัตราการเกิดกากซีแป้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบว่าจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นกระบวนการที่สำคัญ คือการปั่น (centrifugation) ซึ่งจากกิจกรรมการปั่นนี้จะได้ของเสียออกมาในรูปของแข็งเรียกว่านม หรือกากซีแป้ง โดยที่กากซีแป้งเกิดจากของแข็งที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำยางสด และจะถูกแยกออกในขณะที่ทำการปั่นน้ำยางสดรวมถึงจากการตกตะกอนในถังพักน้ำยางที่รวบรวมน้ำยางสดไว้ก่อนที่จะนำไปปั่น กากซีแป้งมีลักษณะเป็นสีขาว หรือสีเหลืองอ่อน และยังพบว่าในการผลิตน้ำยางข้นจะทำให้เกิดกากซีแป้งประมาณ 10.7 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางสด โดยในปัจจุบันโรงงานมักทำการกำจัดโดยการนำกากซีแป้งไปถมที่ ถมถนน ซึ่งเป็นการจัดการของเสียที่ไม่เหมาะสม และในการวิเคราะห์หาชนิดของธาตุอาหารต่างๆที่มีอยู่ในกากซีแป้งจะพบว่าประกอบด้วย N, P, K, Mg และ Zn แล้วยังมีธาตุ Ca, Al, Si, Rb, Mn, Fe, Ni และ Cu อีกด้วย คุณสมบัติของกากซีแป้งที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกากของเสียชนิดอื่นๆ เช่น กากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร(ชุมชนห้วยขวาง) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียมี N, P₂O₅ และ K₂O เท่ากับ 1287 167 และ 690 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

กากซีแป้งเป็นของเสียที่เกิดจากขบวนการผลิตน้ำยางข้น ของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งในการผลิตน้ำยางข้นจะช่วยให้เกิดการประหยัดในการขนย้าย ซึ่งทำให้ไม่ต้องทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่ใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบในระยะทางไกล โดยผ่านกรรมวิธีแยกของเหลวออกบางส่วน ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้นถึงร้อยละ 60 ของเนื้อยางแห้ง ทำให้ผลผลิตน้ำยางเข้มข้นที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอและดีกว่าน้ำยางสด

แหล่งกำเนิดของกากซีแป้ง เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น วิธีผลิตที่สำคัญ คือกระบวนการปั่น โดยมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะสารเคมีที่เติมในน้ำยางสดก่อนการปั่นแยก ได้แก่ Ammonia (ในรูปสารละลาย), Tetramethyl Truram Disulfide (TMTD),

Zinc Oxide และ Diamonium Phosphate (DAP) เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง และเพื่อให้แมกนีเซียม ตกตะกอนก่อนการปั่น โดยมีการฟอร์ม ตะกอนดังใน(รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 กรรมวิธีการผลิตและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตน้ำยางชั้นและยางสгим

(ปนัดดา คำรัตน์, 2545)

2.2 ขบวนการผลิตน้ำยางข้น

2.2.1. การรักษาสภาพน้ำยางสดที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางข้น

น้ำยางสดที่ได้จากสวนยาง ถ้าไม่ใส่สารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัว น้ำยางจะเสียดสภาพ คือเกิดการจับตัวภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงหลังจากการกรีดยาง ซึ่งการเสียดสภาพดังกล่าวเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เนื่องจากปฏิกิริยาของบักเตรีกับสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ในน้ำยาง ดังนั้นการที่จะนำน้ำยางสดไปผลิตเป็นน้ำยางข้น จึงจำเป็นต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางให้คงสถานะเป็นน้ำยางซึ่งสารเคมีที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียรวมกับสารช่วยบางชนิด

แอมโมเนียเป็นตัวละครสำคัญที่กีดขวางการเจริญของบักเตรีที่ปะปนในน้ำยางปกติสภาพน้ำยางจะพิจารณาได้จาก การเพิ่มขึ้นของจำนวนกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid No.) ซึ่งจะเป็นค่าบ่งชี้สภาวะการเติบโตของบักเตรีในน้ำยาง การเพิ่มขึ้นของบักเตรีในน้ำยางขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ ปริมาณแอมโมเนียที่ใช้ ช่วงระยะเวลาและการสุขาภิบาลน้ำยางสดตั้งแต่เริ่มไหลออกจากต้น ปริมาณแอมโมเนีย 0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยาง

การใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวรักษาน้ำยางสด ไม่สามารถป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยให้ระยะยาวได้ การใช้สารเคมีช่วยซึ่งเป็น secondary preservative เช่น ZnO, tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) เป็นต้น ร่วมกับแอมโมเนียจะป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยได้ดีกว่าการใช้แอมโมเนียตามลำพัง

ZnO มีความสามารถทำลายบักเตรีในน้ำยางได้ การใช้ ZnO 0.05 เปอร์เซ็นต์กับแอมโมเนีย 0.3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำยาง จะรักษาจำนวนกรดไขมันระเหยให้ได้คงที่นานถึง 2 อาทิตย์ และได้มีการทดลองพบว่าการใช้ ZnO ร่วมกับ TMTD/ZnO ในอัตรา 0.025 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง ร่วมกับแอมโมเนีย 0.2-0.35 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง จะรักษาน้ำยางสดที่มี VFA No. ตั้งแต่แรกต่ำกว่า 0.02 ไว้ได้นานถึง 10 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2531)

2.2.2. การรวบรวมน้ำยางสด

น้ำยางสดเมื่อถึงโรงงานผลิตน้ำยางข้นจะผ่านการกรองผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (Mesh) ลงสู่ถังรวม และนำตัวอย่างน้ำยางสดไปทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หากน้ำยางสดนั้นมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่าร้อยละ 25 จะไม่นำไปผลิตน้ำยางข้น เมื่อทราบปริมาณว่าเหมาะสมแล้วจึงรีบ

ผ่านแก๊สแอมโมเนียลงสู่ยาง หลังจากนั้นจะมีการตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางซึ่งปริมาณธาตุแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะแปรปรวน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง การใส่ปุ๋ย ตลอดจนฤดูกาล หากทดสอบพบว่าน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูง ก็ให้เติม DAP โดยปกติจะเติม DAP 1.0-1.5 กิโลกรัม/น้ำยางสด 1 ตัน (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่น ควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm on total solid เมื่อปั่นขึ้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm on total solid) แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียมโดยที่ DAP จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมเกิดเป็น ammonium phosphate (ทั้งนี้ถ้าแมกนีเซียมในน้ำยางมีปริมาณมาก จะทำให้น้ำยางสูญเสียความคงตัวต่อเครื่องกล (ลด Mechanical Stability Time , MST) อันเนื่องมาจากการฟอร์ม magnesium higher fatty acid soaps ที่ไม่ละลายน้ำ) และสิ่งสกปรกต่างๆลงสู่ก้นถัง ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากรูน้ำยาง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำยางมาทดลองหาจำนวนกรดไขมันระเหย (เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางได้รักษาสภาพเพียงพอที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางเข้มข้นได้ น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอจะต้องมีจำนวนกรดไขมันระเหยไม่เกินกว่า 0.05 และน้ำยางที่จำนวนกรดไขมันระเหยสูงกว่านี้จะไม่ใช้ผลิตเป็นน้ำยางเข้มข้น) และนำไปปั่นต่อไป

2.2.3. วิธีการผลิตน้ำยางข้น

วิธีการผลิตน้ำยางขข้นมีหลายวิธีการ ดังนี้

2.2.3.1 วิธีระเหยน้ำ น้ำยางเข้มข้นที่ได้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับกรที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่สารเพิ่ม (filler) จำนวนมาก เช่น การผลิตกาว latex-cement

2.2.3.2 วิธีการทำให้เกิดครีม โดยเติม creaming agent ต่างๆ เช่น sodium alginate, locust bean gum, gum karaya, gum tragacanth เป็นต้น เพื่อทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยางให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และลอยสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่สามารถให้น้ำยางขข้นที่บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อย

2.2.3.2 วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า อนุภาคยางที่แขวนลอยในซีรัมต่าง ถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บอกซิลิกอออนประจุลบ ดังนั้น จึงสามารถที่จะอาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากซีรัมได้ โดยจุ่มไฟฟ้าที่มีขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้แล้ว อนุภาคยางจะค่อยๆ เคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวก และลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด

ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำกว่าความหนาแน่นของเซรุ่ม วิธีนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่เป็นวิธีที่นิยมกัน

2.2.3.4 วิธีการปั่น เป็นวิธีที่มีการใช้กันโดยทั่วไปอย่างกว้างขวางมากที่สุดในการผลิตน้ำยางข้น สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน ทำการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว โดยมีกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นนั้นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆ สามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15 ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่แยกน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชั่วโมง และปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างพวกตะกอน (sludge) ที่ติดอยู่ในเครื่อง

2.2.4. การเก็บน้ำยางข้น

การเก็บน้ำยางข้นไว้ในโรงงานเพื่อรอการถ่าย และการขนส่งต่อไปหรือรอการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาจบรรจุในถังขนาดใหญ่ 9,000-14,000 ลิตร หรือถังขนาด 200 ลิตร น้ำยางข้นที่เก็บไว้โดยไม่ถูกกวนจะมีปัญหาเกิดคริมขึ้นบนหน้า เนื่องจากอนุภาคยางลอยขึ้นอยู่ผิวหน้าทำให้น้ำยางส่วนนั้นข้นมากขึ้น จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวนน้ำยางภายในถัง ซึ่งประกอบด้วยใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/2-3/4$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางถัง การกวนจะใช้ความเร็วต่ำๆ เช่น 15-30 รอบต่อนาที ระยะเวลาและความถี่ของการกวนเพื่อให้น้ำยางคงเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ขึ้นกับอุณหภูมิการเก็บน้ำยาง ถ้าอุณหภูมิสูงน้ำยางจะเกิดคริมได้เร็วขึ้น

2.2.5. การเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น นอกเหนือจากปริมาณผลผลิตยางพาราซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากการผลิตแล้ว ยังมีน้ำเสียและของเสียต่างๆ ที่อยู่ในรูปของของแข็งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตด้วย (รูปที่ 2.1) อาจกล่าวได้ว่า ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะเกิดของเสีย ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ

2.2.5.1 น้ำเสีย น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมี BOD₅ เฉลี่ย 2,390 มก./ล. มี SS เฉลี่ย 2,414 มก./ล. และมี pH เฉลี่ย 8.88 ขณะที่น้ำเสียจากการผลิตยางสกีมีค่า BOD₅ เฉลี่ย 10,489 มก./ล. มี SS เฉลี่ย 728 มก./ล. และมี pH เฉลี่ย 4.47 (วันชัย แก้วยอด, 2540)

2.2.5.2 ของเสียของแข็งที่เป็นเนื้อยางตกค้างสะสมในบ่อดักยาง (rubber trap) และในบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งมักเป็นเนื้อยางที่รวมตัวกันมีความบริสุทธิ์ต่ำเนื่องจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกในน้ำเสียในปริมาณสูง

2.2.5.3 ของเสียของแข็งในรูปเนื้อยางที่ตกค้างในทางระบายน้ำ และภาชนะที่ใช้บรรจุอย่างต่างๆ ที่มีการกำจัดออกมา

2.2.5.4 ของเสียของแข็งที่เรียกว่า “กากขี้แป้ง” ได้จากการตกตะกอนจากถังพักน้ำยางและจากการปั่นน้ำยาง ประกอบด้วยสิ่งเจือจางปนต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นพวก ฟูน ทราย เปลือกไม้ และแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต

2.3 อัตราการเกิดกากขี้แป้ง

โรงงานน้ำยางข้นมีกากขี้แป้งเกิดขึ้นระหว่าง 0.7 - 500 ตันต่อเดือน หรือ คิดเป็นอัตราการเกิดกากขี้แป้งต่อน้ำยางข้นที่ผลิตได้ในสัดส่วนระหว่าง 0.6 - 50 กิโลกรัมกากขี้แป้งต่อตันน้ำยางข้น (สมทิพย์ ดำนริธวิชัย, 2545) กากขี้แป้งที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง ในทางปฏิบัติทางโรงงานจะนำไปทิ้ง หรือบางแห่งจะนำไปถมที่หรือฝังกลบ ในปัจจุบันได้มีบางโรงงานนำไปเป็นปุ๋ย ใส่สวนปาล์มน้ำมัน วันชัย แก้วยอด (2540) ได้ทำการศึกษาพบว่า การผลิตน้ำยางข้นจะเกิดของเสียชนิดนี้ขึ้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเนื้อยางที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำยางข้น และเนื่องจากแต่ละโรงงานจะมีการนำน้ำยางสดเพื่อผลิตน้ำยางข้นโดยอยู่ในช่วงระหว่าง 39.91-157.56 ตันต่อวัน ฉะนั้นทำให้สามารถคำนวณได้ว่า จะมีของเสียในรูปกากขี้แป้งขึ้นในแต่ละโรงงานผลิตน้ำยางข้นระหว่าง 0.39-1.58 ตันต่อวัน

2.4 การศึกษาอัตราการเกิดกากขี้เป้งของ บริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด

ในการศึกษาวิจัยการใช้ประโยชน์กากขี้เป้ง จากโรงงานผลิตน้ำยางชั้นในรูปสารบำรุงดิน ในครั้งนี้ได้นำกากขี้เป้งมาจาก บริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตน้ำยางชั้น ที่มีกำลังผลิตน้ำยางชั้น 80 ตัน / วัน ตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งขบวนการเกิดกากขี้เป้งแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการเกิดกากขี้เป้งของบริษัทอินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด (ปนัดดา คำรัตน์, 2545)

ปริมาณกากขี้เป้ง ที่เกิดขึ้น (กิโลกรัมต่อวัน)	ปริมาณกากขี้เป้ง ที่เกิดขึ้น (ตันต่อเดือน)	กากขี้เป้งต่อน้ำยางชั้น ที่ผลิตได้ (กิโลกรัมต่อตัน)
1,668	50.04	3.34

2.5 แนวทางการใช้ประโยชน์กากขี้เป้ง

กากขี้เป้งที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง ในทางปฏิบัติทางโรงงานจะนำไปทิ้งไปหรือ บางแห่งจะนำไปถมที่หรือฝังกลบ ในปัจจุบันได้มีบางโรงงานนำไปเป็นปุ๋ยใส่สวนปาล์ม น้ำมัน แม้ว่ากากขี้เป้งจะมีองค์ประกอบเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่การใช้ประโยชน์ของกากขี้เป้งเพื่อเป็นปุ๋ยให้กับพืชยังพบว่ามีการศึกษาน้อยมาก วราศรี เถกประสิทธิ์ (2543) ได้ศึกษาถึงการใช้ประโยชน์ของกากขี้เป้ง โดยทดสอบกับการปลูกหญ้าสนามพบว่าสามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีได้เป็นอย่างดี แต่ในกากขี้เป้งมี Zn ปนเปื้อนอยู่ และมีเนื่อยางปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก การนำไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปผสมในดินเพื่อให้เป็นธาตุอาหารแก่พืชนั้นเนื่อยางในกากขี้เป้งอาจทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงได้ในระยะยาวหากมีการใช้กากขี้เป้งจำนวนมากเพราะเนื่อยางย่อยสลายได้ค่อนข้างยากและอาจเกิดการอุดตันบนผิวดินหรือระหว่างดิน ทำให้การดูดซับน้ำของดินลดน้อยลงได้

2.6 กากตะกอน

กากตะกอน(sludge) เป็นสิ่งสุดท้ายที่เหลืออยู่จากระบบบำบัดน้ำทิ้ง ถ้าต้องการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดคุณภาพของน้ำทิ้งที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมให้ดีขึ้นเท่าไร ปริมาณกากตะกอนที่เหลืออยู่ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆต้องมีระบบบำบัดน้ำทิ้ง ก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง ซึ่งการที่จะเลือกระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบใดนั้น ขึ้นอยู่กับความจำเป็น และความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน ในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบ Activated sludge ได้ก้าวเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก เพราะใช้พื้นที่น้อย และมีประสิทธิภาพสูงในระบบบำบัดน้ำทิ้ง(เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2525)

กากตะกอนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นกากตะกอนที่ได้มาจากระบบบำบัดน้ำทิ้ง จากโรงงานไก่สดแช่แข็ง จังหวัดสระบุรี ที่มีระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบ Activated sludge วิธีการจัดการกับกากตะกอนมีทั้งการนำไปทิ้ง หรือการใส่ลงในดินเพื่อการเกษตรกรรม(land application) ซึ่งวิธีการนี้เป็นที่มาของการศึกษาในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาหาองค์ประกอบแร่ธาตุที่มีอยู่ในกากตะกอน ที่จะมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยหรือวัสดุบำรุงดิน การนำกากตะกอนมาใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากกากตะกอนมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมสูง จึงนำกากตะกอนมาใช้ร่วมกับกากขี้เียงเพื่อเพิ่มธาตุโพแทสเซียมในดินในการทดลอง อย่างไรก็ตามต้องมีการพิจารณาผลการใช้ว่าสามารถที่จะนำกากตะกอนมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดินได้ และจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากการใช้กากตะกอนด้วย

2.7 แนวทางการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ซึ่งกากตะกอนเป็นของเสียที่ประกอบด้วยของแข็ง และของเหลว จากขั้นตอนการแยกของแข็งออกจากของเหลวในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง เช่น การตกตะกอน โดยที่กากตะกอนที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณมากกว่ากากตะกอนจากชุมชน และองค์ประกอบของกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันอย่างมาก ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของโรงงานความซับซ้อนของกระบวนการผลิตระบบดักจับวัสดุเพื่อหมุนเวียนไปใช้ใหม่ ตลอดจนถึงชนิด และระดับของกระบวนการบำบัดของเสียที่ใช้

การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยการใช้กากตะกอนน้ำทิ้งเพื่อเป็นแหล่งแร่ธาตุสำหรับพืชได้รับความสนใจมากขึ้น เช่น ในสหรัฐอเมริกาได้มีกฎหมายของ

สหพันธรัฐเพื่อควบคุมมลพิษของน้ำออกมาในปี ค.ศ.1972 สนับสนุนให้ใช้กากตะกอนเพื่อประโยชน์ในทางการเกษตร (Borchard et al. , 1981) จากการสำรวจในปี ค.ศ. 1965 ระบุว่ามากกว่า 1/3 ของพื้นที่ที่มีการใช้กากตะกอนในการเกษตรรับกากตะกอนมาจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ในปัจจุบันที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแล้วก็มี โรงงานอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษ และโรงงานอุตสาหกรรมนม การจัดการกากตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาอย่างเร่งด่วน

สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาคาดว่าปริมาณกากตะกอนประมาณ 7 ล้านตันของกากตะกอนแห้งต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต (US.EPA, 1983 อ้างถึงใน Chongrak Polprasert, 1989) ในกลุ่มประเทศยุโรปได้มีการประเมินปริมาณการเกิดกากตะกอนโดยกลุ่มเศรษฐกิจและการค้ายุโรป (European Economic Communities, EEC) ว่ามีปริมาณมากถึง 6 ล้านตันกากตะกอนแห้งต่อปี หรือประมาณ 230 ล้านลูกบาศก์เมตรในรูปของกากตะกอนสด (wet sludge) ต่อปี

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการกากตะกอนอย่างเหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนทางการเกษตร ซึ่งเป็นวิธีการจัดการกากตะกอนวิธีหนึ่งที่น่าจะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อย และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าวิธีการอื่น ได้แก่ การเผาทิ้งหรือการนำไปทิ้งทะเล (Webber และคณะ 1994; Manson, 1988) และในการประชุมนานาชาติของ Water Research Center (WRC) เมื่อปี 1989 ได้สรุปว่า การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นสูงในทางปฏิบัติ อีกทั้ง US.EPA และกลุ่มประเทศยุโรปก็ยอมรับ และสนับสนุนการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีการนี้อย่างกว้างขวาง (Manson,1988)

การใส่กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วลงในดิน เป็นอีกหนึ่งวิธีการจัดการกับกากตะกอน เพราะองค์ประกอบแร่ธาตุของกากตะกอน ที่มีธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของพืช กากตะกอนประกอบไปด้วยแร่ธาตุ และอินทรีย์สาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของพืชที่ปลูกซึ่งสามารถใช้ธาตุ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในปริมาณที่น่าจะพอใจแม้ว่าจะให้โพแทสเซียมในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย นอกจากนี้การเติมกากตะกอนลงดินยังเป็นการทำให้อินทรีย์สารกลับลงสู่ดินอีกครั้ง (Warman, 1986) จากการศึกษาของ Day และ Thompson (1986) ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้กากตะกอนแห้งกับปุ๋ยอินทรีย์ ในการปลูกข้าวสาลีทางตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา โดยพิจารณาจากการเติบโต และผลผลิต พบว่าสามารถใช้กากตะกอนแห้งเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่พืชได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจะต้องใช้เวลาานากว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเมื่อนับจากเวลาปลูกจนถึงออกรวง แต่ผลผลิตก็สูงกว่า และเมื่อมีการศึกษากับข้าวบาเลย์ 16 สาย

พันธ์ พบว่าผลของกากตะกอนที่มีต่อการเติบโตและผลผลิตใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทางการค้าเมื่อให้ข้าวได้รับ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จากทั้งสองอย่างในปริมาณที่เท่ากัน (Day et al., 1983) แต่ปัญหาบางอย่างที่จะต้องถูกนำมาพิจารณาไปพร้อม ๆ กันด้วยคือการยอมรับของสังคมในเรื่องกลิ่น ทัศนียภาพ เชื้อโรคบริเวณที่ดิน ความเหมาะสมสำหรับการใส่ คุณภาพของกากตะกอนที่เกี่ยวข้องกับอินทรีย์สารที่เป็นพิษ และโลหะหนัก (Borchard et al. , 1981)

2.8 วัตถุประสงค์ในการใช้กากตะกอนทางการเกษตร

แนวทางการกำจัดกากตะกอนโดยวิธีการเผาทิ้ง การนำไปฝังดิน หรือการขนไปทิ้งในทะเล มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาสภาวะแวดล้อมได้ การกำจัดกากตะกอนของกลุ่มประชาคมยุโรปโดยนำไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 29 ทั้งในพื้นที่ที่มีการควบคุมดูแลร้อยละ 45 การเผาร้อยละ 7 และการนำไปทิ้งทะเลร้อยละ 19 สำหรับการนำไปทิ้งทะเลนั้นอาจเป็นการกำจัดกากตะกอนที่ได้ผลในระยะสั้นแต่อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อเนื่องในระยะยาวได้

ในปัจจุบันการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จะเป็นการช่วยแก้ไขปัญหการจัดการของเสียที่อาจจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งยังสามารถมองเห็นกำไรจากการลงทุนจากการพัฒนาวิธีการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์บนที่ดิน (land application) ในทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์หลักๆ ในการใช้กากตะกอนทางการเกษตร ดังนี้

2.8.1. เพื่อช่วยในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินในทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพของดินให้มีลักษณะที่ดีขึ้น

2.8.1.1 บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ กากตะกอนสามารถปรับปรุงโครงสร้างดินโดยลดความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มความพรุนและเพิ่มความเสถียรของการเกิดเม็ดดินและเพิ่มความอุ้มน้ำดิน (ปรัชญา รัชญาดี, 2532; Guidi และ Hall, 1984; Hasit, 1986)

2.8.1.2 บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางเคมี เมื่อใส่สารตะกอนลงดิน อินทรีย์วัตถุของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (อรวรรณ สิริรัตนพิริยะ ,2529; Gillier และคณะ, 1989) รวมทั้งการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ซึ่ง

สามารถที่จะดูดซับปุ๋ยต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชไว้ได้ดี ทำให้การสูญเสียธาตุอาหารพืชดินจากการชะล้าง (leaching) ของน้ำลดลง (Hasit, 1986)

2.8.1.3 บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางชีวภาพ เมื่อใส่กากตะกอนลงดิน อินทรีย์วัตถุในกากตะกอนจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้มีการเพิ่มจำนวน จุลินทรีย์ดินและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เช่น การแปรสภาพธาตุอาหารพืชในดิน การตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2535)

2.8.2. เพื่อช่วยให้มีธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อให้มีเจริญเติบโตของพืช และการช่วยเพิ่มผลผลิตพืช

2.8.2.1 บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ จะส่งผลต่อเนื่องถึงการปรับปรุงทั้งโครงสร้างดิน และน้ำในดิน ซึ่งมีอิทธิพลกับผลผลิตของพืชได้ (Guidi และ Hall, 1984) นั่นคือ กากตะกอนที่ใช้ในการเกษตรทำหน้าที่ทั้งเป็นสารปรับปรุงบำรุงดิน และเป็นปุ๋ยสำหรับพืช (Gillies และคณะ, 1989) ชีวความสามารถของกากตะกอนที่จะใช้ปุ๋ยมีใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้อย่างต่อเนื่องและยาวนานกว่าปุ๋ยเคมี

2.8.2.2 การใส่กากตะกอนลงดินเป็นการเพิ่มไนโตรเจนในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเติบโต และการเพิ่มผลผลิตของพืช รวมทั้งอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (mineralization) จะขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ในกากตะกอน (Hall และ Coker, 1983) กล่าว คือ อินทรีย์วัตถุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับหรือต่ำกว่า 10:1 จุลินทรีย์จะสามารถเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารได้ดี ถ้าขีดสูงสุดสำหรับอินทรีย์วัตถุที่จะสามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ คือ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านี้อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ช้าหรือเกิดการดูดคั่งไนโตรเจนจากดินมาใช้ (immobilization) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2530)

2.9 ปริมาณการเติมกากตะกอนลงดินเพื่อการเกษตร

จากการวิเคราะห์กากตะกอนเพื่อให้ทราบถึงแร่ธาตุ และองค์ประกอบในกากตะกอนแล้ว การจะเติมกากตะกอนลงดินใด ๆ ยังต้องการข้อมูลอื่น ๆ อีกคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน(CEC) ของดินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ชนิดของพืชที่จะปลูก ปริมาณความต้องการธาตุอาหาร N-P-K ที่แนะนำสำหรับพืชปลูก

สำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดิน ซึ่งปกติแล้วเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบทางเคมีของดิน เพื่อให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)ถึง 6.5 เป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมที่จะมีการเติมกากตะกอนลงไปในดินซึ่งถ้าหากว่าดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้อยกว่า 6.5 อาจมีการเติมปูนลงไปเพื่อยกระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินเพิ่มขึ้นเพื่อให้มีค่าเหมาะสมในการเติมกากตะกอนเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

กากตะกอนที่มีความเป็นกรด-ด่าง(pH) เป็นกลางเมื่อใส่ลงในดิน จะไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินเปลี่ยนแปลงไปมากนัก แต่ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินอาจมีความเป็นกรดมากกว่าดินที่ไม่มีการเติมกากตะกอน ซึ่งเป็นผลมาจากการแทนที่ไฮโดรเจนอิออนที่ยึดเกาะในดินของเกลืออนินทรีย์ (Kuntz และคณะ, 1984) การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุจนได้กรดอินทรีย์ การเกิดไนตริฟิเคชัน(nitrification)ของแอมโมเนียไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน และออกซิเดชัน(oxidation)ของอัลไมด์ (Ajmal และ Khan, 1984) การเพิ่มปริมาณกากตะกอนลงดินอาจทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินเป็นกรดมากขึ้นได้ แต่ค่าความเป็นกรดจะมีปริมาณมากในช่วงแรกของการใส่กากตะกอนเท่านั้น

ปริมาณการใส่จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในกากตะกอน และอัตราปุ๋ยที่แนะนำสำหรับพืชที่จะปลูก หรือในกรณีที่มีแคลเซียม ในกากตะกอนอยู่มากพอที่จะต้องคำนึงถึง อาจจะใช้ค่าขีดจำกัดปริมาณแคลเซียมในแต่ละปี สำหรับกากตะกอนส่วนใหญ่ ปริมาณการเติมกากตะกอนในแต่ละปี มักจะกำหนดโดยปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในกากตะกอนมากกว่าใช้ขีดจำกัดแคลเซียมในแต่ละปี เพราะกากตะกอนที่จะทำให้ปริมาณแคลเซียม มีเกิน 1.8 ปอนด์ต่อ 1 เอเคอร์ต่อปี ได้นั้น แสดงว่ากากตะกอนนั้นจะต้องมีแคลเซียมความเข้มข้นมากกว่า 180 ppm ถ้าหากเป็นเช่นนั้นถือว่าเป็นกากตะกอนคุณภาพต่ำซึ่งไม่แนะนำให้ไปใช้ในที่ดินเพื่อการเกษตร (Borchard et al. , 1981)

Agronomic rate ซึ่งเป็นอัตราการใช้ประจำปีที่ถือว่าถูกหลักเศรษฐศาสตร์การเกษตร ซึ่งจะทำให้ ไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส จากกากตะกอนในอัตราที่จะเป็นประโยชน์แก่พืช โดยไม่เกินความต้องการธาตุ ไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส ในแต่ละปีสำหรับพืชแต่ละชนิด การจะใส่ให้ได้ปริมาณ ไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัสที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชนั้น ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชปลูกเอง ในกรณีของไนโตรเจนมีคำแนะนำให้ใส่ปริมาณที่จะให้ในโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับปุ๋ยทางเคมีโดยการใช้ปริมาณไนโตรเจน เท่าที่อยู่ภายในขอบเขตที่พืชจะได้รับปุ๋ยตามที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งเมื่อทำเช่นนี้จะไม่เกิดผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน หรือผลกระทบไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยตามปกติธรรมดา (USEPA, 1983)

จากการงานวิจัยของ Chaussod(1981) ได้พบว่า เมื่อใส่กากตะกอนที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 10:1 ลงดิน อินทรีย์วัตถุในกากตะกอนจะย่อยสลายเปลี่ยนเป็นอนินทรีย์สารได้ช้า และจะเกิดการดูดดึงไนโตรเจนจากดินมาใช้ชั่วคราวเป็นเวลานานถึง 2 เดือน แต่สำหรับกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนทั่วไป จะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10-12 : 1 การนำกากตะกอนมาใช้ในพื้นที่การเกษตร จึงไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett และคณะ, 1981)

การเคิบโตและการดูดดึงธาตุอาหารขึ้นไปใช้ของพืช จะได้รับอิทธิพลจากอัตราใส่กากตะกอนลงดิน (Sheaffer และคณะ, 1979a; อรรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529) ดังที่ อรรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) พบว่า การใส่กากตะกอนลงดินในอัตราต่างๆ เพื่อปลูกผักคะน้าและได้ผลผลิตผักคะน้าเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน จากการศึกษาของ Mays, Terman และ Duggan (1973) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืชกับอัตราการใส่กากตะกอนเป็นแบบเส้นโค้ง โดยผลผลิตของพืชจะสูงขึ้นเพื่อเพิ่มอัตราการใส่กากตะกอนในระดับหนึ่ง และการเพิ่มผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการใส่กากตะกอนสูงเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีบางอย่างในกากตะกอนซึ่งมีปริมาณสูงจนเป็นพิษต่อพืชได้ และเป็นผลจากปัจจัยอื่นๆ ด้วย (Dolar, Boyle และ Keeney, 1972) ต่อมา Cunningham และ Ruan (1975) ได้สรุปผลการทดลองว่า ผลผลิตของข้าวโพดและข้าวไรย์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอนและให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อใช้อัตราเติมกากตะกอน 125 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (20,000 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการเติมกากตะกอนเพิ่มเป็น 502 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (80,320 กิโลกรัมต่อไร่)

การพิจารณาความเป็นประโยชน์ของกากตะกอนต่อดินและพืชต่างๆ มักพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ทันที การปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปนี้จะมีความสัมพันธ์ใน

ทางบวกกับเวลาถ้าใส่ในอัตราต่ำแต่ถ้าใส่ในอัตราสูง (เกินกว่าร้อยละ 2) พบว่าช่วงแรกจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนน้อย เพราะเกิดการหยุดชะงักของกิจกรรมจุลินทรีย์ เนื่องจากความเป็นพิษของสารบางอย่างที่เกิดขึ้นแต่เมื่อพ้นช่วงนี้ไปการสลายตัวจะเร็วขึ้น และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจะสูงกว่าการใส่ในอัตราต่ำ (Premi และ Cornfield, 1971)

การใช้กากตะกอนเพื่อเป็นปุ๋ยมีทั้งผลดี และผลเสียต่อพืชขึ้นอยู่กับสมบัติของกากตะกอนและอัตราที่ใช้ การใช้ในอัตราที่สูงเกินไปจะเกิดผลเสียต่อพืชได้ เช่น อาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช เกิดความเป็นพิษต่อพืช หรือเกิดการสะสมของเกลือและสารพิษจากกากตะกอนซึ่งจะถ่ายทอดไปสู่ห่วงโซ่อาหารได้ (Chaney, 1983)

ธาตุอาหารสำคัญ และจุลธาตุอาหารในดิน จะเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของกากตะกอนโดยเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอน (Ajmal และ Khan, 1984) และการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สมบัติของดิน ความชื้นของอุณหภูมิจากวิธีการใส่กากตะกอนและองค์ประกอบของกากตะกอน (Guidi และ Hall, 1984) โดยที่อัตราการใส่กากตะกอนจะมีผลต่อการเพิ่มธาตุอาหารในดินมากกว่าชนิดของกากตะกอนที่ใส่ลงในดิน Kelling และคณะ, (1977) ได้ทดลองใส่กากตะกอนลงดินด้วยอัตรา 3.75-60 เมตริกตันต่อเฮกแตร์ (600-9,600 กิโลกรัม/ไร่) พบว่ามีอินทรีย์ไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายใน 3 สัปดาห์

2.10 ข้อจำกัดของการใช้ประโยชน์กากตะกอนในทางการเกษตร

การนำเอากากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงขึ้นชั่วคราวและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นระยะยาว (Webber และคณะ, 1984) โดยความเสี่ยงที่เกิดขึ้นชั่วคราวจะใช้ระยะเวลาไม่นานนัก เช่น กลิ่นรบกวนของกากตะกอนที่จะทำให้เกิดเหตุรำคาญ การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และหนอนพยาธิที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโรคต่างๆ การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากไนเตรทในโตรเจน ความเป็นพิษต่อพืชจากการละลายเกลือเนื่องจากความไม่คงตัวของกากตะกอน เป็นต้น Wollan, Davis และ Jenner (1978) ได้ทำการศึกษาความเป็นพิษของกากตะกอนที่มีต่อพืชพบว่า แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการย่อยสลายกากตะกอน สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชและปัจจัยจำกัดในการเติบโตของพืชได้ และความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวรจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลายาวนานนับ 10 ปี เช่น อัตราการสะสมโลหะหนักในดิน, พืชและในห่วงโซ่อาหาร รวมทั้งการสะสมของสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้วิธีการใส่กากตะกอนลงดินมีผลต่อความสามารถของเชื้อ

โรคที่จะก่อให้เกิดโรคต่อคน ถ้าหากว่ามีการใส่แบบพ่นให้กระจายไปในอากาศจะทำให้เชื้อโรคสามารถกลายเป็นเชื้อโรคที่ลอยอยู่ในอากาศซึ่งจะแพร่กระจายไปได้ไกล

2.11 ผลของการเติมกากตะกอนที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของดิน

การเติมตะกอนลงดินจะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของดินขึ้นอยู่กับชนิด ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และอัตราการใส่กากตะกอนนั้น ผลที่จะเกิดขึ้นสามารถมีทั้งระยะสั้นและระยะยาว ผลทางบวกและทางลบต่อดิน ดังจะเห็นได้จากงานทดลองของ Epstein และคณะ (1976) ซึ่งพบว่าการใส่กากตะกอนสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้เติมมากกว่า 20% ความจุของอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงขึ้นถึง 3 เท่า

ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และความชุ่มชื้นของดินมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบอินทรีย์สารในกากตะกอน จากการวิจัยพบว่าองค์ประกอบอินทรีย์สารของกากตะกอนที่ใส่ลงดิน จะถูกดูดซึมเข้าสู่ดินทีละน้อยโดยปฏิกิริยาทางเคมี และทางชีววิทยา ซึ่งการดูดซึมและการย่อยสลายของอินทรีย์สารเหล่านี้ได้รับอิทธิพลจาก C : N ratio อุณหภูมิของดิน อัตราและวิธีการใส่กากตะกอน การใส่กากตะกอนลงดินอาจมีผลในทางลบ คือทำให้เกิดการอุดตันรูพรุนของดิน การอุดตันนี้เป็นผลมาจากการสะสมอนุภาคของแข็งเล็กๆ ภายในช่องว่างของดิน ซึ่งการอุดตันนี้จะมีผลให้การไหลของน้ำในดินลดลง และเป็นไปได้เช่นกันในกรณีที่กากตะกอนมีน้ำมันปนเปื้อนอยู่ (Younos, 1987)

2.12 ผลของการเติมกากตะกอนที่มีต่อลักษณะทางเคมีของดินในด้านธาตุอาหารพืช

2.12.1 แร่ธาตุอาหารหลัก (nitrogen, phosphorus, potassium) ในกากตะกอนลงดิน

โดยทั่วไปปริมาณการใส่กากตะกอนลงดิน จะขึ้นอยู่กับแร่ธาตุคือ Nitrogen และ Phosphorus ที่มีในกากตะกอน มีการคำนวณปริมาณของแร่ธาตุในกากตะกอนที่พืชจะนำไปใช้ได้ เพื่อให้สัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยที่แนะนำสำหรับพืชแต่ละชนิด เพราะแร่ธาตุทั้งหมดในกากตะกอนจะถูกพืชนำไปใช้ได้ทันที

2.12.1.1 ไนโตรเจน (nitrogen) ในน้ำหึ่งประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจน และอนินทรีย์ไนโตรเจน โดยในระยะแรกจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรท ซึ่งเป็นรูปที่สามารถละลายน้ำ และถูกพืชดูดซึมไปใช้ได้ส่วนอินทรีย์สารไนโตรเจนในกากตะกอน อยู่ในรูปที่พืชยังใช้

ประโยชน์ไม่ได้ปริมาณของอินทรีย์ และอนินทรีย์ในโตรเจนที่มีอยู่ในกากตะกอน จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด กระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง และการบำบัดกากตะกอน

เมื่อใส่กากตะกอนลงดิน อินทรีย์สารในโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอนินทรีย์ในโตรเจน ได้กระบวนการที่เรียกว่า mineralization ซึ่งมีขั้นตอนแรก 2 ขั้นตอนคือ ammonification และ nitrification ซึ่งเกิดได้โดยแบคทีเรียในสกุล *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ตามลำดับ (Younos, 1987) และ nitrogen จากกากตะกอนจะถูกปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลดีต่อคุณภาพของผลผลิตพืชที่ปลูกได้ เช่น มีผลทำให้องค์ประกอบโปรตีนในเมล็ดข้าวสาลีเพิ่มสูงขึ้น (Utschig et al., 1986) เพื่อที่กระบวนการ nitrification จะสามารถดำเนินไปได้ ภายในดินจะต้องมีการถ่ายเทอากาศภายใต้สภาพแวดล้อมที่ดี ค่าของแอมโมเนียมที่เปลี่ยนไปเป็นไนเตรทอยู่ในช่วง 5-50 ppmN/วัน ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 24-35 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงเวลากลางถึงด่างเล็กน้อย (Younos, 1987) หลังจากการใส่กากตะกอนลงดิน อาจมีการสูญเสียไนโตรเจนจากขบวนการที่เรียกว่า denitrification ซึ่งเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจน และไนตรัสออกไซด์ โดยแบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas* และอื่นๆ หรือจากกระบวนการ ammonia volatilization คือการระเหยของแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่ง ammonia volatilization สามารถเกิดขึ้นในระหว่างการทำกากตะกอนแห้งโดยอากาศ หรือโดยอบในตู้ซึ่งเป็นผลทำให้องค์ประกอบของแอมโมเนียในโตรเจนในกากตะกอนลดลง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน และน้ำผิวดิน ทำให้ต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบไนโตรเจน ในกากตะกอนที่ใช้เดิมลงดิน และปริมาณไนโตรเจนที่พืชปลูกต้องการจริง ๆ เนื่องจากพืชปลูกไม่สามารถใช้ในโตรเจนให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งหมด (Younos, 1987) จากงานทดลองของ Warman (1986) ยืนยันค่าความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในกากตะกอนน้ำทิ้ง มี 60% ของไนโตรเจน ในกากตะกอนที่พืชนำไปใช้ได้

สัดส่วนการดูดไนโตรเจนจากดินของพืช มีความแปรผันอย่างมากขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความลึก การกระจายของราก nitrogen loading rate และปัจจัยอื่นๆซึ่งการดูดซึมไนโตรเจนของพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดฤดูกาลปลูก (Younos, 1987)

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ควบคุม การเกิด mineralization คือ อัตราสัดส่วน C : N เมื่อ C/N ratio ในดินอยู่ระหว่าง 20-30 mineralization จะเกิดได้มาก ซึ่ง mineralization จะลดลงเมื่อ C/N ratio เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ลักษณะของดินมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิด nitrogen mineralization ในโตรเจนที่ใส่ลงดินจะสลายตัวกลายเป็นแร่ธาตุภายใน 3 อาทิตย์

2.12.1.2 ฟอสฟอรัส(phosphorus) ในกากตะกอนน้ำทิ้งมีปริมาณฟอสฟอรัสค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับปริมาณ phosphorus ในดินตามธรรมชาติ หลังจากการเติม phosphorus ลงดินมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อปริมาณของ phosphorus ในดิน เช่นถูกพัดพาไปกับการพังทลายของดิน หรือถูกทำให้ตกตะกอนในรูปองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ ซึ่งโดยปกติปริมาณของ phosphorus ในดินจะมีอยู่ระหว่าง 0.01-0.2 % เชื่อกันว่า phosphorus ในดินอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งเป็นรูปที่เสถียรที่สุดของ phosphorus (Younos, 1987)

การเติม phosphorus ลงในดินมักจะช่วยส่งเสริมการเติบโตของพืชเสมอ แต่ถ้ามีการสะสมของ phosphorus มากเกินไปอาจจะทำให้ผลผลิตของพืชปลูกลดลงได้โดยที่ available phosphorus ที่มากเกินไปจะไปลดความเป็นประโยชน์ของ Cu, Fe และ Zn ในดิน (Younos, 1987) เช่นเดียวกับ nitrogen พืชสามารถนำ phosphorus บางส่วนไปใช้ให้เป็นประโยชน์ภายในปีแรกที่มีการเติมกากตะกอน ในบางครั้งในกากตะกอนมีปริมาณ phosphorus เป็นองค์ประกอบอยู่มากถ้าหากว่าใส่กากตะกอนโดยอาศัยปริมาณ nitrogen เป็นหลัก อาจทำให้ได้ phosphorus มากเกินไป ในกรณีเช่นนี้สามารถลดอัตราการใส่ลงเพื่อ P_2O_5 พอเหมาะ และเพิ่มเติม nitrogen ที่ต้องการ โดยการใส่ปุ๋ย nitrogen เพิ่ม (Borchard et al. , 1981)

2.12.1.2 โพแทสเซียม (potassium) ภายในปีแรกที่มีการคลุกกากตะกอนลงดิน พืชจะสามารถนำเอาโพแทสเซียมส่วนใหญ่มิมีในกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนมากกากตะกอนมักจะขาดโพแทสเซียม คือ มีน้อยกว่าที่พืชปลูกต้องการ (USEPA, 1983) โดยทั่วไป Potassium ที่พบในกากตะกอนจะอยู่ในสัดส่วน $N : P : K = 11 : 7.6 : 1$ หรือมีน้อยกว่า 0.5% (Sommers et al., 1977) ในบางครั้งถ้าอัตราการเติมกากตะกอนยึดเอาความต้องการ Nitrogen หรือ Phosphorus ทั้งหมดที่พืชต้องการเป็นหลัก อาจมีการแนะนำให้เติมปุ๋ย K_2O นอกเหนือจากที่ได้จากกากตะกอน ถ้าหากว่าปริมาณ K_2O ที่พืชจะได้จากกากตะกอนนั้นน้อยกว่าค่าปุ๋ยที่แนะนำมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะแนะนำให้แนะนำว่าควรมากกว่า 50 ปอนด์ต่อเอเคอร์ของ K_2O (Borchard et al., 1981)

2.12.2 จุลธาตุในกากตะกอน

จุลธาตุคือ แร่ธาตุซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติในดินมีปริมาณน้อย และถ้าพบในดินมีความเข้มข้นที่มากเกินไปจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต จุลธาตุส่วนหนึ่งเป็นโลหะหนัก เช่น สังกะสี เป็นต้น ในกากตะกอนจะมีปริมาณของโลหะหนักปะปนอยู่ในปริมาณแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขบวนการเกิดกากตะกอนที่แตกต่างกัน ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตรจะต้องมี

ค่าสูงสุดที่จะยอมรับได้ในภาคตะกอนมืออยู่ได้ ซึ่งถ้าภาคตะกอนมีมากกว่าที่กำหนดแสดงว่าภาคตะกอนที่จะใช้ทางการเกษตรอาจมีผลกระทบจากโลหะหนักลงสู่ดิน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในภาคตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร (webber et al., 1984)

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
เบลเยียม	-	500	2,000	500	100	300	10
แคนาดา	-	-	1,850	-	180	500	20
เดนมาร์ก	-	-	-	-	30	400	8
ฟิลแลนด์	-	3,000	5,000	3,000	500	1,200	30
ฝรั่งเศส	-	-	3,000	1,000	200	800	20
เยอรมัน	-	-	3,000	1,200	200	1,200	20
เนเธอร์แลนด์	-	-	2,000	600	100	500	10
นอร์เวย์	-	500	3,000	1,500	100	300	10
สวีเดน	-	-	10,000	3,000	500	300	15
สวิสเซอร์แลนด์	-	-	1,000	1,000	200	1,000	30
กลุ่มประชาคมยุโรป (CEC)	-	-	3,000	1,500	400	1,000	40
ช่วงของทุกประเทศ	-	500-3,000	1,000-10,000	500-3,000	30-500	300-1,200	8-40

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการเสนอตัวเลข

การใส่กากตะกอนซ้ำจะทำให้เกิดการสะสมของโลหะในดิน การสะสมของโลหะนี้ทำให้เกิดความเป็นพิษ (plant toxicity) หรือทำให้พืชมีการสะสมเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งต่อไปยังสัตว์และมนุษย์ที่บริโภคพืชนั้น ในช่วงแรกเมื่อปริมาณของแร่ธาตุในดินมีไม่มากนัก การเพิ่มของแร่ธาตุจะทำให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้นแต่เมื่อผลผลิตเพิ่มขึ้นถึงขีดสุดแล้ว การเพิ่มแร่ธาตุต่อไปในช่วงนี้จึงไม่มีผลต่อผลผลิต และถ้ายังมีการเพิ่มแร่ธาตุต่อไปผลผลิตพืชจะลดลงจนกระทั่งในที่สุด จะไม่มีการเติบโตเกิดขึ้นในข้ออธิบายสำหรับ Cu, Zn และแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่สำหรับ Ni และแร่ธาตุอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นต่อพืชจะใช้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เพราะสำหรับแร่ธาตุที่ไม่จำเป็นต่อพืช การเพิ่มปริมาณของแร่ธาตุนั้นๆ จะไม่มีผลต่อการเติบโตของพืช จนกระทั่งเมื่อมีสูงถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช จากงานวิจัยหลายชิ้นพบว่าปริมาณมากที่สุดที่ถือว่ายังอยู่ในช่วงปลอดภัย (maximum safe loadings) ของโลหะแตกต่างกันในระหว่างดินต่างๆ ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างในคุณสมบัติของดิน และความเป็นพิษของโลหะแต่ละตัว อย่างไรก็ตาม มีกลไกตามธรรมชาติบางอย่างซึ่งช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ โดยการจำกัดปริมาณของจุลธาตุที่มีความเป็นพิษไม่ให้สะสมในส่วนเนื้อดินของพืชมากเกินไปซึ่ง Chaney (1980) ได้พูดถึงกลไกนี้ว่าเป็น "Soil-Plant Barrier" อันได้แก่

1. แร่ธาตุนั้นไม่สามารถจะละลายน้ำในดินได้ และจึงไม่ถูกสะสมในพืช ได้แก่ ไครเมียม ฟลูออรีน ทองคำ ตะกั่ว พรอท ซิลิโคน เงิน ดีบุก ติลานีเยม เซอโคเนียม
2. แร่ธาตุนั้นถูกดูดซึมเข้าไปในรากได้แต่ไม่สามารถละลายน้ำในราก และมีขีดจำกัดในการขนย้ายไปสู่ส่วนยอด คือ อลูมิเนียม เหล็ก และบางครั้งรวมถึงตะกั่ว และพรอท
3. แร่ธาตุนั้นเมื่อมีมากเกินไป จะเป็นสาเหตุให้พืชเกิดอาการพิษปกติ (Phyto-toxicity) ดังนั้น คนและสัตว์จึงไม่กินพืชนั้น คือ อาร์เซนิก โบรอน โคบอล คอปเปอร์ มังกานีส นิเกิล และสังกะสี แต่ไม่ใช่ว่าจุลธาตุทั้งหมดที่พบในกากตะกอนจะต้องเข้าข่ายอยู่ในข้อใดข้อหนึ่งทั้งสามนี้ จุลธาตุที่สำคัญซึ่งไม่เข้าข่ายนี้แต่อาจมีอยู่ในกากตะกอนคือ แคลเซียม โมลิบดีนัม และซีลีเนียม (Chaney, 1980)

2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อการรับจุลธาตุของพืช

คุณสมบัติของดิน เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ปริมาณอินทรีย์สาร ฯลฯ มีผลต่อการรับโลหะหนักของพืชโดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินมีบทบาทเด่นมากต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ การเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินจะทำให้ความเข้มข้นของ Cd, Cu,

Pb, Mu, Ni และ Zn ในสารละลายดินลดลงและจึงมีผลให้พืชรับจุลธาตุเหล่านี้จากกากตะกอนได้ลดลง (Dowdy and Larson, 1975) ในทางตรงกันข้ามการที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินลดลง จะทำให้ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมในดินลดลง และดังนั้นจึงลดความเข้มข้นของโมลิบดีนัมในดินผสมกากตะกอน (Lahann, 1976)

แม้ว่าความเข้มข้นของจุลธาตุในสารละลายดิน จะมีผลต่อปริมาณการรับจุลธาตุของพืชอย่างมากก็ตาม แต่ปัจจัยเกี่ยวกับพืชก็ยังคงมีบทบาทมากเช่นกัน ในระหว่างชนิดของพืชมีความผันแปรอย่างมาก เรื่องความสามารถในการดูดซึมจุลธาตุจากดินที่ผสมกากตะกอนอย่างเช่น พืชตระกูลถั่ว สะสมแคดเมียม (Cd) ในส่วนยอดน้อยกว่าการสะสมของผักกาดในใบอย่างผักกาดหอม (Bingham et al., 1975) มะเขือเทศสะสม แคดเมียม (Cd) จากดินผสมกากตะกอนได้มากกว่าเมล็ดข้าวบาเลย์ (Bradford et al., 1975) ภายในพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ก็มีความแตกต่างกัน และแม้แต่ในต้นเดียวกันก็สะสมไม่เท่ากัน นอกจากนี้การปฏิบัติดูแลรักษาชนิดของกากตะกอน วิธีการใส่ก็มีผลต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุที่สะสมในพืชเช่นกัน

2.14 พืชที่ใช้ในการทดลอง

2.14.1 ผักกาดหอม (*Lactuca sataiva*)

ผักกาดหอมเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูล Compositae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sataiva* มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และยุโรป ผักกาดหอมสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะคือ ผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมใบ และผักกาดหอมต้น ซึ่งมีลักษณะดังนี้

ผักกาดหอมห่อ เป็นผักกาดหอมที่ใบห่อเป็นหัว ซึ่งเกิดจากการที่ใบเรียงซ้อนกันหนาจนผักกาดหอมห่อนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดห่อหัวแน่น ชนิดห่อหัวไม่แน่น ชนิดห่อหัวหลวมค่อนข้างยาว

ผักกาดหอมใบ เป็นผักกาดหอมที่ใบไม่ห่อเป็นหัว นิยมปลูกกันทั่วไปในประเทศไทย ผักกาดหอมประเภทนี้ใบจะกว้างใหญ่ และหยิกเจริญเติบโตออกไปทางด้านบนและด้านข้าง ไม่ห่อเป็นหัวต้นเป็นพุ่มเตี้ย ผักกาดหอมใบจะทนต่ออากาศร้อนได้ดีกว่าประเภทอื่นๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสีเขียวทั้งต้น และชนิดที่มีสีน้ำตาลทั้งต้น

ผักกาดหอมต้น เป็นผักกาดหอมที่ปลูกเพื่อใช้ลำต้นรับประทานเท่านั้น มีลักษณะลำต้นอวบ ลำต้นสูง ใบจะเกิดขึ้นต่อๆ กัน ไปจนถึงยอดหรือช่อดอก ใบจะมีลักษณะคล้ายผักกาดหอมใบ แต่ใบจะเล็ก หนาและสีเขียวเข้มกว่ามีทั้งชนิดกลมและยาวไม่ห่อหุ้ม โดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมปลูกกัน ได้แก่ พันธุ์ Celtuce

สำหรับในประเทศไทยนั้น ผักกาดหอมใบเป็นที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากกว่า ผักกาดหอมชนิดอื่น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการใช้ผักกาดหอมใบเป็นพืชทดลอง

2.14.1.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดหอม

- ราก รากของผักกาดหอมเป็นระบบรากแก้ว สามารถหยั่งลึกลงไปดินได้ถึง 5 ฟุต รากที่เหลือจะเป็นรากแขนง ซึ่งแผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 1-2 ฟุต โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแผ่กว้างออกไปมากนัก

- ลำต้น ลำต้นของผักกาดหอมในระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้ จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อระยะแทงช่อดอก ลักษณะลำต้นผักกาดหอมจะตั้งตรง สูงจะลุดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากๆ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 2 นิ้ว ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ

- ใบ ใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาลปนอยู่ ทำให้มีสีแดง บรอนซ์ หรือน้ำตาลปนเขียว พันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหุ้มอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี ใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน บางชนิดมีใบมีว่นงอประามีเส้นใบเห็นได้ชัด ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก ขนาดและรูปร่างของใบผักกาดหอมจะแตกต่างกันตามชนิด

- ดอกและช่อดอก ดอกผักกาดหอมมีลักษณะเป็นช่อแบบที่เรียกว่า Panicle ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอก หรือมากกว่า ก้านช่อดอกจะยาวประมาณ 2 ฟุต ช่อดอกอันแรกจะเกิดที่ยอดอ่อน จากนั้นจะเกิดช่อดอกข้างตรงมุมใบขึ้นภายหลัง ช่อดอกที่เกิดจากส่วนยอดโดยตรงจะมีอายุมากที่สุด ส่วนช่อดอกอื่นๆ จะมีอายุรองลงมา ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน รั้งไขมี 1 ห้อง เกสรตัวเมียมี 1 อัน มีลักษณะเป็น 2 แฉก เกสรตัวผู้ 5 อัน รวมกันเป็นช่อดอกยาวห่อหุ้มก้านเกสรตัวเมียและยอดเกสรตัวเมียไว้

● เมล็ด เมล็ดผักกาดหอมเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดของผักกาดหอมมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็กๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีมความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร

2.14.1.2. การปลูกผักกาดหอม

ผักกาดหอมสามารถปลูกได้ทั้งวิธีการหว่านเมล็ดลงแปลงปลูกโดยตรง และการย้ายกล้าปลูกมีทั้งการปลูกแบบแถวเดี่ยว และแบบแถวคู่มีวิธีการดังนี้

การปลูกโดยการหว่านเมล็ด เป็นวิธีการปลูกที่นิยมใช้กับผักกาดหอมใบ โดยการหว่านเมล็ดให้กระจายทั่วทั้งผิวนแปลงปลูกอย่างสม่ำเสมอ หรือ โรยเมล็ดลงในแปลงเป็นแถวก็ได้ แต่ก่อนหว่านเมล็ดควรคลุกเมล็ดด้วยสารเคมีป้องกันเชื้อรา เช่น แคปแทนหรือ ไธราเม เพื่อป้องกันโรคเน่าคอดิน หลังจากหว่านเมล็ดแล้วให้ใช้น้ำคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วหว่านกลบหนาประมาณ 1/2-1 เซนติเมตร แล้วคลุมดินด้วยหญ้าแห้งหรือฟางแห้งสะอาดบางๆ รดน้ำด้วยบัวฝอยละเอียด เมื่อต้นกล้ามีใบจริง 2-3 ใบ ให้รีบถอนแยกต้นที่อ่อนแอทิ้ง และจัดระยะระหว่างต้นให้พอเหมาะ ถ้านั่นที่บึงเกินไปกล้าผักจะตายง่าย และทำการถอนครั้งสุดท้ายเมื่ออายุได้ 3 สัปดาห์ พร้อมกับจัดระยะระหว่างต้น 20x20 เซนติเมตร หรือ 30x30 เซนติเมตร หากปลูกในช่วงหน้าร้อนควรมีการคลุมแปลงปลูกเพื่อพรางแสงแดด จะทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น โดยใช้ไม้ไผ่หรือไม้ทำโครงสูง 2-2.5 เมตร แล้วใช้ไม้ไผ่พาดและมุงด้วยทางมะพร้าว

การปลูกโดยการย้ายกล้าปลูก การปลูกด้วยวิธีนี้สามารถใช้ได้กับผักกาดหอมทุกพันธุ์ ปรหยัดเมล็ดพันธุ์ เป็นการปลูกโดยการเพาะกล้าในแปลงเพาะเสียก่อน เมื่อต้นกล้ามีอายุ 25-30 วันหรือมีใบจริง 3-4 ใบ จึงทำการย้ายกล้าลงปลูกในแปลงปลูก โดยเลือกเฉพาะต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์ไปปลูกระยะปลูกระหว่างต้นและระหว่างแถวที่เหมาะสมคือผักกาดหอมใบใช้ระยะ 25x30 เซนติเมตร ผักกาดหอมห่อหัวหัวใช้ระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร ก่อนย้ายกล้าประมาณ 2-3 วัน ควรงดการให้น้ำ ควรปิดบังแดดไว้ประมาณ 3-4 วัน จึงเอาออก เพื่อช่วยให้ต้นกล้าฟื้นตัวได้เร็วขึ้น

สำหรับฤดูปลูกผักกาดหอมในประเทศไทยนั้นผักกาดหอมใบสามารถปลูกได้ตลอดปี ส่วนผักกาดหอมห่อหัวปลูกได้ผลดีในช่วงฤดูหนาวประมาณเดือนตุลาคมถึงธันวาคม

การให้น้ำ ผักกาดหอมเป็นผักรากต้นจึงไม่สามารถดูน้ำในระดับลึกได้ จึงควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอ โดยเฉพาะในระยะ 2 สัปดาห์แรกหลังจากย้ายปลูก

การใส่ปุ๋ย ช่วงเตรียมดินควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักรองพื้นประมาณ 2-3 ต้นต่อไร่ เมื่อผักกาดหอมอายุได้ 7 วัน ควรใส่ปุ๋ยยูเรีย โดยละลายน้ำรดในอัตรา 1 ช้อนแกงต่อน้ำ 1 ปี๊บ ต่อเนื้อที่ 5 ตารางเมตร รดวันเว้นวัน เพื่อเร่งการเติบโตในระยะแรก เมื่อผักกาดหอมอายุได้ 15-20 วัน ให้ใช้ปุ๋ยสูตร 16-16-16 ในอัตราส่วน 84 กิโลกรัมต่อไร่โดยประมาณ สำหรับพันธุ์ใบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละแห่งด้วย ผักกาดหอมต้องการธาตุโพแทสเซียมมากกว่าไนโตรเจน โพแทสเซียมจะทำให้ใบผักกาดหอมบางและไม่มีรอยจุดบนใบ ผักกาดหอมที่ได้รับธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้ใบมีสีเขียว รสชาติไม่อร่อย

อายุการเก็บเกี่ยว ผักกาดหอมใบประมาณ 40-50 วันหลังจากหว่านเมล็ดลดลงแปลง การเก็บควรเลือกเก็บขณะที่ใบยังอ่อน กรอบ ไม่เหนียวกระด้าง ไม่ควรเก็บขณะต้นแก่เพราะจะมีรสขม

2.14.2 มะเขือเทศ(tomato)

มะเขือเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum Mill* อยู่ใน Family Solanaceae หรือ night shade และอยู่ในกลุ่ม Solanaceous Vegetable มีโครโมโซม $2n = 24$ ตระกูล *Lycopersicon* ซึ่งเป็นตระกูลที่เล็กมาก มีเพียง 6 species และ 2 subgenera หรือ section พันธุ์มะเขือเทศแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

- พันธุ์สำหรับบริโภคสด พันธุ์ผลโต พันธุ์นี้นิยมนำมาใช้ทำสลัด และระดับจานอาหารให้น้ำรับประทาน มีลักษณะ ผลโต ทรงผลกลมคล้ายแอปเปิ้ล ผลสีเขียว เมื่อสุกจะมีสีแดงจัดได้แก่ พันธุ์ฟลอราเดลและพันธุ์มาสเตอร์ เบอร์ 3 เป็นต้น พันธุ์ผลเล็ก นิยมนำมาใช้ประกอบอาหารพื้นบ้าน เช่น ส้มตำ มีลักษณะผลเล็ก สีชมพูหรือแดง รสเปรี้ยว เป็นพันธุ์ที่สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ได้แก่ พันธุ์สีดาห้านฉัตร พันธุ์แอล-22 และพันธุ์เอสวีอาร์ดีซี 4

- พันธุ์สำหรับส่งโรงงานอุตสาหกรรม มะเขือเทศชนิดนี้จะมีลักษณะคล้าย ๆ กันคือเป็นพันธุ์ที่สุกพร้อมกันเป็นส่วนใหญ่ ขั้วผลหลุดจากผลได้ง่ายเมื่อปลูก มีเนื้อมากน้ำน้อย มีปริมาณกรดสูง เมื่อผลสุกจะมีสีแดงจัดตลอดผล ได้แก่ พันธุ์วีเอฟ 134-1-2 พันธุ์เซตเตอร์ 500 พันธุ์แพสเซตเตอร์ 600 และพันธุ์ปีโต 94

สำหรับพันธุ์ที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ คือ พันธุ์สีดา ต้นทอดยอด กิ่งก้านค่อนข้างใหญ่ ใบปกคลุมดิน สามารถเจริญเติบโตในสภาพและดินต่างๆกันได้ดี ขนาดผลเล็ก คุณภาพและรสชาติผิวสีชมพูแดง ทนทานต่ออุณหภูมิสูง อายุตั้งแต่ย้ายปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 65 วัน เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมปลูกสำหรับรับประทานสด ในประเทศไทย

2.14.2.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะเขือเทศ

- ลำต้น มะเขือเทศลำต้นจะอ่อนมีขนปกคลุม ลำต้นแก่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ในระยะแรกของการเจริญลำต้นจะตั้งตรง ต่อมาเมื่อลำต้นสูง 1-2 ฟุต ลำต้นจะทอดไปในแนวราบ

- ใบเจริญสลับกันแบบ odd-pinnately compound leaves เป็นใบประกอบค่อนข้างใหญ่ บางพันธุ์มีใบย่อยกว้าง บางสายพันธุ์ใบจะยาวและแคบ มีขนอ่อนขึ้นบนใบ และมีต่อมสารระเหยที่ขน เมื่อถูกรบกวนจะปลดปล่อยสารที่มีกลิ่นออกมา สายพันธุ์ส่วนใหญ่ขอบใบเป็นหยัก นอกจากกลุ่ม *Lycopersicon esculentum* L.var. *gradiflorum* Bailey และ *L.pimpinelliflorum* Mill จำนวนใบที่เจริญก่อนที่ช่อดอกเจริญแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และสายพันธุ์พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่จะมีใบประมาณ 7 ใบต่อจากนั้นจะปรากฏช่อดอกเจริญห่างกัน 3-5 ใบ

- ระบบรากมะเขือเทศเป็นระบบรากแก้วเจริญเติบโตได้เร็ว แข็งแรง โดยทั่วไปรากแก้วจะขาดในระหว่างย้ายปลูกทำให้เกิดรากแขนง และรากพิเศษ (adventitious and fibrous roots) เป็นจำนวนมาก ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มะเขือเทศจะสร้าง รากแขนงพิเศษที่ลำต้น ซึ่งจะช่วยในการดูดอาหารไปเลี้ยงลำต้น รากมะเขือเทศจะเจริญในแนวตั้ง ลึกลงไป 2-3 ฟุต ต่อจากนั้น จะเจริญในแนวนอน 4-5 ฟุต

- ดอกมะเขือเทศเป็นแบบสมบูรณ์เพศ (complete or perfect flower) ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง(calyx, sepal) กลีบดอก (corolla, petals) เกสรตัวผู้ (stamen) พันธุ์มะเขือเทศส่วนใหญ่ผสมตัวเอง (self pollination) ด้งหรืออับละอองเกสรเปิดหลังจากดอกบาน 24-48 ชั่วโมง เกสรตัวเมียพร้อมที่จะผสมได้ ก่อนที่อับละอองเกสรเปิด 1-2 วัน

- ผลเป็นแบบ berry สร้างเมล็ดใน fleshy mesocarp ผลมีลักษณะอวบ สด มีรูปร่างขนาด และสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ผิวของมะเขือเทศจะไม่มีสีผิว ส่วนผลสีชมพู หรือเหลือง เกิดจากสีของเนื้อ เช่น ผิวสีแดง เกิดจากเนื้อสีเหลืองเป็นต้น ลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน เช่น กลม (globe) กลมแป้น (oblate) กลมยาว (pear shape) หรือเป็นเหลี่ยม (square or blocky shape)

2.14.2.2. การปลูกมะเขือเทศ

การปฏิบัติดูแลรักษา การพรวนดินกลบโคนต้น เมื่อดันกล้าตั้งตัวได้แล้วควรพรวนดินกลบโคนต้น โดยเปิดเป็นร่องระหว่างแถวเพื่อให้การให้น้ำ ทำได้สะดวก น้ำไม่ขัง และทำให้รากมะเขือเทศเกิดมากขึ้น

การให้น้ำ มะเขือเทศต้องการน้ำสม่ำเสมอและเพียงพอตั้งแต่เริ่มปลูกไปจนถึงผลเริ่มแก่ (ผลเริ่มเปลี่ยนสี) ไม่ควรให้ขาดน้ำ โดยเฉพาะช่วงที่มะเขือเทศกำลังติดดอกออกผล แต่หลังจากผลเริ่มแก่ควรลดการให้น้ำลง มิฉะนั้นอาจทำให้ผลแตกได้

การใส่ปุ๋ย นอกจากจะใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 รองกันหลุมก่อนปลูกแล้ว จำเป็นจะต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมีเสริมระหว่างการเติบโต ถ้าดินเป็นดินเหนียว ปุ๋ยเคมีที่ใช้ควรมีไนโตรเจน และโพแทสเซียมเท่ากัน ส่วนฟอสฟอรัสให้มีอัตราสูง เช่น สูตร 12-24-12 หรือ 15-30-15 ถ้าเป็นดินร่วนควรให้ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมสูงขึ้นแต่ไม่สูงกว่าฟอสฟอรัส เช่น สูตร 10-20-15 ส่วนดินทรายเป็นดินที่ไม่ค่อยจะมีโพแทสเซียม จึงควรให้ปุ๋ยที่มีธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าตัวอื่น เช่น สูตร 15-20-20, 13-13-21 และ 12-12-17 เป็นต้น ถ้าไม่สามารถหาปุ๋ยสูตรดังกล่าวข้างต้นได้ ก็สามารถใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-16 ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ โดยการแบ่งใส่ 3 ครั้ง คือ หลังจากย้ายปลูก 7 วัน หลังจากใส่ครั้งแรก 15 วัน และหลังจากใส่ครั้งที่สอง 20 วัน

การทำค้าง สำหรับมะเขือเทศพันธุ์ทอดยอดหรือพันธุ์เลื้อยจำเป็นต้องมีการทำค้าง โดยใช้ไม้ไผ่กลม ๆ หรือไม้อื่น ๆ ที่ทำได้ง่ายและราคาถูก ยาวประมาณ 1 เมตร ปักให้ลึกลงดิน 30 เซนติเมตร ปักเป็นแถวระหว่างต้นมะเขือเทศ เอนปลายเข้าหากันผูกเป็นกระโจม วางไม้พาดขวางอีก 3-4 อันเป็นราวแล้วผูกเชือกให้แน่น การทำค้างควรทำเมื่อ ต้นมะเขือเทศเริ่มเลื้อย หรืออายุประมาณ 10-15 วันหลังย้ายปลูก เมื่อปลูกมะเขือเทศได้ประมาณ 3 สัปดาห์จะ เริ่มมี กิ่งก้านมากขึ้น ต้องตัดให้เหลือแม่กิ่งเพียง 3 กิ่ง ผูกกิ่งมะเขือเทศให้กระจายออกไปตามราวเฉลี่ย ให้ระยะห่างกันพอสมควร กิ่งที่ไม่มีประโยชน์ให้ตัดออก การผูกกิ่งตามราวควรทำบ่อย ๆ ทุก 5-7 วัน

การเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปแล้วมะเขือเทศเกือบทุกพันธุ์จะออกดอกหลังจากปลูกประมาณ 30-45 วัน และจะเริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 70-90 วัน อายุของมะเขือเทศจากเริ่มปลูกถึงเก็บเกี่ยวหมดใช้เวลาประมาณ 4-5 เดือน หากเป็นการปลูกเพื่อส่งตลาดในการบริโภคสดจะต้องเก็บผลมะเขือเทศในระยะที่ไม่แก่จัด คือในระยะที่ผลเป็นสีเขียว และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของสีเป็นสีชมพูเรื่อย ๆ และ

ในการเก็บเกี่ยว จะต้องมิใช่ผลติดมาด้วย ในกรณีที่ปลูกมะเขือเทศเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องเก็บมะเขือเทศให้สุกแดงสม่ำเสมอตลอดทั้งผล และเก็บในลักษณะไม่ให้มีขี้ผลติดมา ถ้า มะเขือเทศที่เก็บมาผลไม่สุกแดงสม่ำเสมอหรือมีขี้ผลติดมาด้วยโรงงานอุตสาหกรรมต้องคัดทิ้ง

2.14.3 ข้าวพันธุ์ กข 1

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa L.* ชื่อสามัญ Rice, ข้าวเจ้า ชื่อพันธุ์ กข 1 (RD1) ให้การรับรองแก่กรมวิชาการเกษตรเป็นพันธุ์พืชขึ้นทะเบียน เลขที่ 134/2543 เมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2543 และเป็นพันธุ์พืชรับรองเลขที่ 84/2543 เมื่อวันที่ 29 กันยายน 2543

ข้าวเจ้าพันธุ์ กข1 เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์เหลืองทองของไทย กับพันธุ์ไออาร์ 8 (IR 8) จากสถาบันค้นคว้าวิจัย เรื่องข้าวระหว่างชาติ (International Rice Research Institute หรือ IRRI) ประเทศฟิลิปปินส์โดยผสมพันธุ์ข้าวที่สถานีทดลองข้าวบางเขตในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2507 แล้วทำการคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ BKN 56-1-2 แนะนำให้ออกขยายพันธุ์ เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2512

2.14.3.1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวเจ้าพันธุ์ กข 1 ประเภท พืชล้มลุก วงศ์หญ้า พวงข้าวนาสวนไม่ไวต่อช่วงแสง

- ราก ระบบรากของข้าวเป็นระบบรากฝอย (tap root system) รากจะแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดิน รากฝอยแต่ละแขนงจะมีรากขนอ่อน นอกจากนี้รากจะเกิดที่โคนต้นแล้วยังเกิดตามข้อได้ด้วย

- ต้น สูงประมาณ 115 เซนติเมตร ทรงกอตั้งตรง ปล้องสีเขียว ต้นแข็งแรงลำต้นจะมีลักษณะเป็นโพรงตรงกลาง และแบ่งเป็นปล้องๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้องความยาวปล้องจะไม่เท่ากัน บริเวณข้อจะมีตาสำหรับเจริญเติบโตเป็นหน่อใหม่ข้อละ 1 ตา ลำต้นถูกห่อด้วยกาบใบจึงทำให้มองไม่เห็นลำต้นในระยะแตกกอ

- ใบสีเขียว ไม่มีขน กาบใบสีเขียวเข้ม ใบธงทำมุม 45 องศา กับแนวตั้งการแก่ของใบแก่ช้า ใบประกอบด้วยกาบใบ และแผ่นใบ เชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อของใบ กาบใบเป็นส่วนที่ติดอยู่กับข้อ และห่อหุ้มลำต้นไว้ แต่ละข้อจะมี 1 กาบใบ แผ่นใบจะมีลักษณะบางมีความกว้าง ความยาวรูปร่าง สี และการทำมุมกับลำต้น

- ดอก และช่อดอก กลีบรองดอกมีขนาดสั้น สีเขียว รวงสั้น รวงแน่น ระแ่งถี่ เมล็ดมาก การยี้ดของคอร์วงสั้น จำนวนรวงต่อตารางเมตร เฉลี่ย 256 รวง

- เมล็ด จำนวนเมล็ดดีต่อรวงเฉลี่ย 92 เมล็ด ยอดเมล็ด และเปลือกเมล็ดมีสีฟางมีขน เมล็ดข้าวเปลือกมีขนาดยาว 11 มิลลิเมตร กว้าง 3.5 มิลลิเมตร และหนา 2.5 มิลลิเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 26.6 กรัมคิดเป็นน้ำหนักข้าวเปลือก 11.21 กิโลกรัมต่อถัง ข้าวกล้องสีข้าวขนาดยาว 7.1 มิลลิเมตร กว้าง 2.2 มิลลิเมตร และหนา 1.8 มิลลิเมตร

2.14.3.2. การปลูกข้าว

วิธีการปลูกข้าวหรือ "การทำนา" มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ สภาพน้ำ สภาพสังคม ตลอดจนสภาพเศรษฐกิจโดยภาพรวมๆ แบ่งออกได้เป็น

การทำนาดำ การนำเมล็ดข้าวไปเพาะในหีอกเป็นต้นกล้า แล้วนำต้นกล้าไปปักดำในกระถางที่มีน้ำขัง ก่อนปักดำ 1 วัน หว่านปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 หรือ 16-16-8 อัตรา 35-55 กิโลกรัมต่อไร่ จากนั้นปักดำโดยใช้กล้าอายุระหว่าง 25-30 วัน ปักดำจึบละ 3-5 ต้น ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร

การทำนาหว่าน ปลูกข้าวโดยการหว่านเมล็ดลงไปโดยตรง แบ่งได้เป็น นาหว่านข้าวแห้ง วิธีนี้มักเป็นการหว่านข้าวคอกฝน หว่านสำรวย เป็นการหว่านอย่างสบายในสภาพดินแห้ง เนื่องจากฝนยังไม่ตก และหว่านหลังซีไโด เป็นการหว่านในสภาพที่มีฝนตกลงมา และน้ำเริ่มจะขังในกระถางนา นาหว่านข้าวงอก โดยการนำเอาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ถูกเพาะในหีอกมีขนาดตุ่มตา (มีรากงอกยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร) แล้วจึงหว่านลงในกระถางนา ซึ่งมีการเตรียมดินจะเป็นที่เอือก

การทำนาหยอด เป็นวิธีการปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน หยอดเมล็ดข้าวแห้งลงไปดิน เป็นหลุมๆ หรือโรยเป็นแถว

ช่วงเวลาการปลูกข้าว และการเก็บเกี่ยว การเพาะปลูกข้าวของไทยประมาณร้อยละ 80 เป็นข้าวนาปี ซึ่งอาศัยน้ำฝนตามฤดูกาลโดยเฉพาะปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคม – ตุลาคม แต่ในเขตภาคใต้จะเพาะปลูกล่าช้ากว่าภาคอื่นๆ ตามอิทธิพลของลมมรสุม อายุการเก็บเกี่ยวข้าวนาปีจะอยู่ประมาณ 120 วันขึ้นไปนับตั้งแต่เพาะกล้า ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 20 จะเป็นข้าวนาปรัง ซึ่งเพาะปลูก

หลังจากทำการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี เสร็จเรียบร้อยแล้ว และส่วนใหญ่จะต้องใช้น้ำชลประทาน ดังนั้นพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังจึงอยู่ในเขตชลประทาน และมีอายุการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 120 วันนับตั้งแต่เพาะกล้า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย

3.1.1. ศึกษาการเติบโตของพืชทดลอง

ดำเนินการศึกษาแบบกระถางทดลอง ที่คาดฟ้าตึกสี่ภาควิชา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2. ศึกษาการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน และพืชตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของตัวอย่างทดลอง ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการขยะ หน่วยวิจัยการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาภาคสนาม

3.2.1.1 กระถาง ดุงรองปลูก

3.2.1.2 กระบะเพาะเมล็ด

3.2.1.3 ช้อนปลูก

3.2.1.4 พืชทดลอง

- เมล็ดพันธุ์ข้าว
- เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม
- เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ

3.2.1.5 ดินปลูกที่ใช้ในการทดลอง ใช้ดินที่ได้รับการผสม ใช้ชื่อทางการค้าว่า ดินสีดา หรือดินขุยไผ่

3.2.1.6 วัสดุที่นำมาทดลองเป็นวัสดุบำรุงดิน คือ

- กากขี้เถ้า จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น จังหวัดสุราษฎร์ธานี

- กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ที่มีระบบบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบ Activated sludge คือโรงงานไก่สดแช่แข็ง บริษัท ชันฟูด จังหวัดสระบุรี

3.2.1.7 ปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 16 - 16 , 16 - 20 - 0 และ 10 - 20 - 15

3.2.1.8 อุปกรณ์การดูแล บำรุงรักษาพืชอื่นๆที่จำเป็น

3.2.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.2.2.1 ภาชนะเก็บตัวอย่างทดลอง เช่น ถังกระดาษ ถังพลาสติก

3.2.2.2 เครื่องแก้วที่จำเป็นทุกชนิดสำหรับการวิเคราะห์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร ตระแกรงร่อนตัวอย่าง ปิเปต บิวเรต กรวยกรอง ฯลฯ

3.2.2.3 เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่

- เครื่องบด
- เตาอบ(oven)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด(analytical balance)
- เครื่องวัดพีเอช(pH meter)
- เตาแผ่นความร้อน(hot plate)
- เครื่องเขย่า(shaking machine)
- Spectrophotometer
- Atomic Absorption Spectrophotometer
- Macro-Kjeldahl Apparatus

3.2.2.4 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่าง ใช้สารเคมีระดับงานวิเคราะห์(analytical grade)

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยทั้งหมดเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเกิดของเสียที่เรียกว่า "กากขี้เป้ง" และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำทิ้ง เกี่ยวกับปัญหาและการจัดการกับกากของเสียเหล่านี้

3.3.2. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอน ก่อนทำการเพาะปลูกเพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีผลต่อการเติบโตของพืช ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้

- ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)
- ปริมาณอินทรีย์วัตถุ
- ไนโตรเจนในรูป total nitrogen, nitrate – nitrogen และ ammonium – nitrogen
- ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)
- โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

3.3.3 ทำการทดลองในกระถาง โดยปลูกพืชทดลอง 3 ชนิดคือ ผักกาดหอม มะเขือเทศ และ ข้าว โดยการทดลองมีสิ่งทดลอง 16 ชุดทดลอง การทดลองทำ 3 ซ้ำทำการทดลองในกระถาง (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ชุดทดลองต่างๆ

ชุดทดลองในกระถาง	ชุดทดลองมีอัตราส่วนระหว่าง ดิน : กากขี้แฉะ : กากตะกอน (Soil : Lutoid : Sludge)
1	5:0:0
2	4:1:0
3	3:2:0
4	2:3:0
5	1:4:0
6	3:1:1
7	2:2:1
8	1:3:1
9	4:0:1
10	3:0:2
11	2:0:3
12	1:0:4
13	2:1:2
14	1:2:2
15	1:1:3
16	ปุ๋ยเคมี

3.3.4. ศึกษาการเติบโตของพืชทดลองที่ทำการเพาะปลูก ในชุดทดลองต่างๆ และวิเคราะห์ตัวอย่างพืชทดลองดังนี้

- น้ำหนักแห้งของพืชทดลอง
- ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในพืช
- ปริมาณสังกะสีที่พืชได้รับ

3.3.5. วิเคราะห์ตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในดิน

เก็บตัวอย่างดินหลังการเพาะปลูกพืชในชุดทดลองต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 (วิธีการวิเคราะห์ดังปรากฏในภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)	เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
2. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	คำนวณจาก Walkley and Black method
3. ไนโตรเจนทั้งหมด(total nitrogen)	Micro Kjeldahl method
4. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(available phosphorus)	สกัดด้วยสารละลาย Bray II และหาปริมาณฟอสฟอรัสด้วย Ascorbic acid reduction
5. โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)	สกัดด้วย Neutral 1N NH_4OAc หาปริมาณโพแทสเซียมด้วย Atomic absorption spectrophotometer(AAS)
6. ปริมาณสังกะสี	Tri Acid Digestion แล้วหาปริมาณด้วยเครื่อง AAS

6. ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้กากซีเมนต์เพื่อเป็นสารบำรุงดิน

7. ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย(ANOVA) เพื่อทดสอบว่าแต่ละชนิดมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือไม่ ถ้าแตกต่างกันจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's new multiple range test(DMRT) ของตัวแปรนั้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

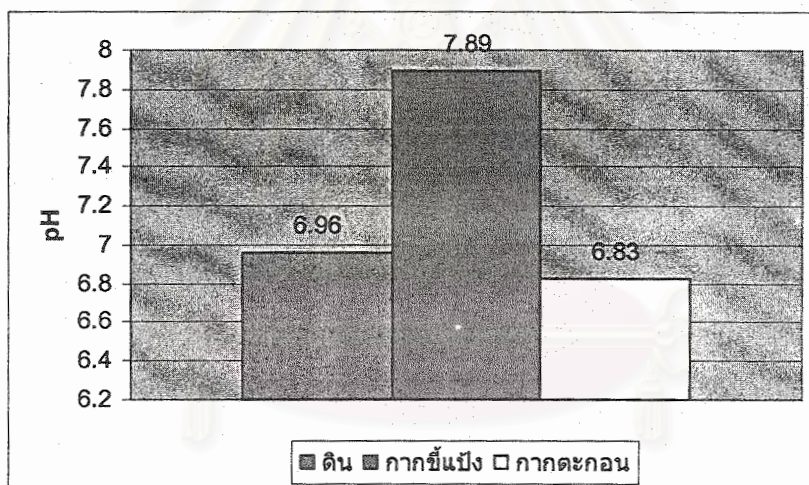
4.1. ลักษณะสมบัติของดิน และลักษณะสมบัติของภาคตะกอน ก่อนการเพาะปลูก

ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง กากขี้เถ้าจากโรงงานน้ำตาลขี้ผึ้งจังหวัดสุราษฎร์ธานี และภาคตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งจังหวัดสระบุรีที่นำมาทำเป็นวัสดุบำรุงดินเพื่อการเกษตรก่อนการเพาะปลูก ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของดิน กากขี้เถ้า และภาคตะกอน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการที่จะเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืชที่จะมีผลต่อผลผลิตของพืช ด้านการเติบโตของพืช และองค์ประกอบทางเคมี ในด้านปริมาณธาตุอาหารของพืชที่ได้รับ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่

- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- อินทรีย์วัตถุ (organic matter)
- ไนโตรเจนในรูป total nitrogen, nitrate – nitrogen และ ammonium – nitrogen
- ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)
- โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

4.1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

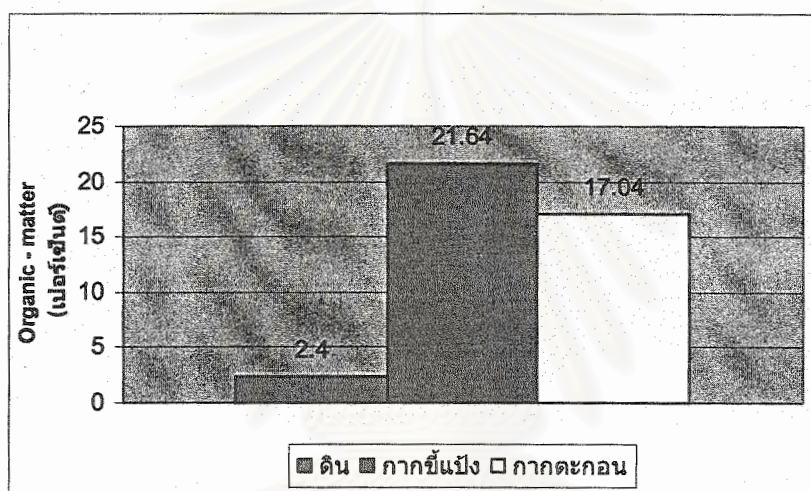
ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ก่อนทำการเพาะปลูกของดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 6.96, 7.89 และ 6.83 ตามลำดับ(ตารางที่ 4.1) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน และกากตะกอนก่อนทำการเพาะปลูกจัดไว้ว่าเป็นกลาง(neutral) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของกากขี้แ่่งก่อนทำการเพาะปลูกจัดไว้ว่าเป็นด่างเล็กน้อย(slightly alkaline) ตามปทานุกรมปฐพีวิทยา(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) สมภพ ฐิตะวันสต์ (2527) กล่าวว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.5-7.5 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารต่างๆ จะเป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของพืชได้ดี ดังนั้นการปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิด จึงไม่น่าจะก่อให้เกิดความผิดปกติใดๆอันเนื่องมาจากสาเหตุค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ใช้ทำการทดลองเพราะจัดว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วการนำกากตะกอนมาใช้เป็นปุ๋ย หรือผสมเป็นปุ๋ยจะต้องให้มี ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) อยู่ในช่วงระหว่าง 5-10 ซึ่งช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือ 6-8 เนื่องจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์จะมีการเติบโต และมีกิจกรรมมากที่สุด จากค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของกากขี้แ่่ง และกากตะกอนที่วัด ได้ในช่วงนี้ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอน

4.1.2 อินทรีย์วัตถุ(organic matter)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอนก่อนทำการเพาะปลูก มีค่าเท่ากับ 2.40, 21.64 และ 29.39 ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ระดับอินทรีย์วัตถุของดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง ส่วนระดับอินทรีย์วัตถุของกากขี้แ่่ง และกากตะกอนอยู่ในระดับสูงมาก ตามปทานุกรมปฐพีวิทยา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จากงานวิจัยของคมกฤษ ภาคย์ทองสุข(2535) พบว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 21.16 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ดินมีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุมากขึ้น ดังนั้นการเติมกากขี้แ่่ง และกากตะกอนลงดิน ย่อมมีส่วนช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน

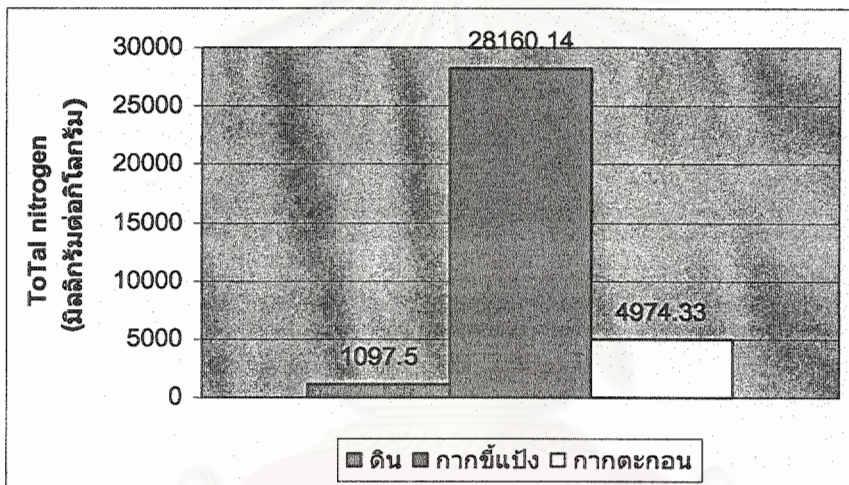


รูปที่ 4.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอนก่อนทำการเพาะปลูก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 ไนโตรเจนทั้งหมด(total nitrogen)

ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 1,097.50, 28,160.14 และ 4,974.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) ปริมาณที่สูงของกากขี้แ่่ง และกากตะกอน บ่งให้ทราบว่ากากขี้แ่่ง และกากตะกอนสามารถที่จะเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชได้ นั่นคือการนำกากตะกอน และกากขี้แ่่งมาใช้ในพืชที่ทำการเกษตรจะไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett et al., 1981) แต่ต้องพิจารณาค่าไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ทันทีคือ ไนโตรเจนในรูปไนเตรท (Nitrate - nitrogen) และ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (Ammonium - nitrogen)

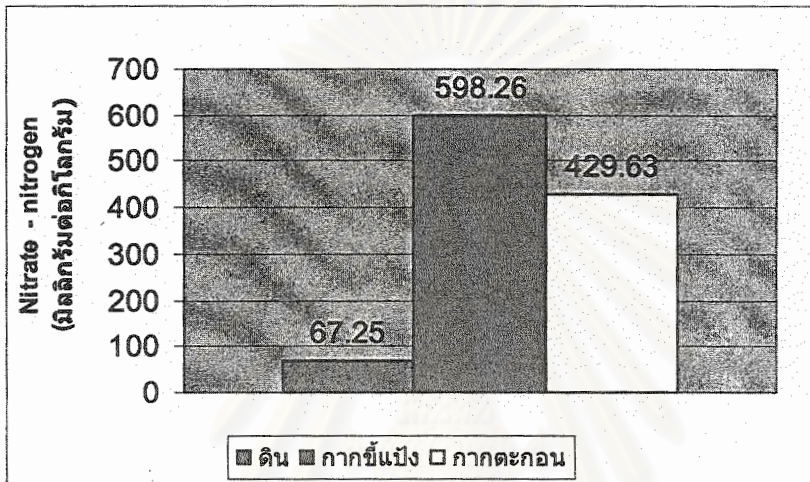


รูปที่ 4.3 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 ไนโตรเจนในรูปไนเตรท(nitrate – nitrogen)

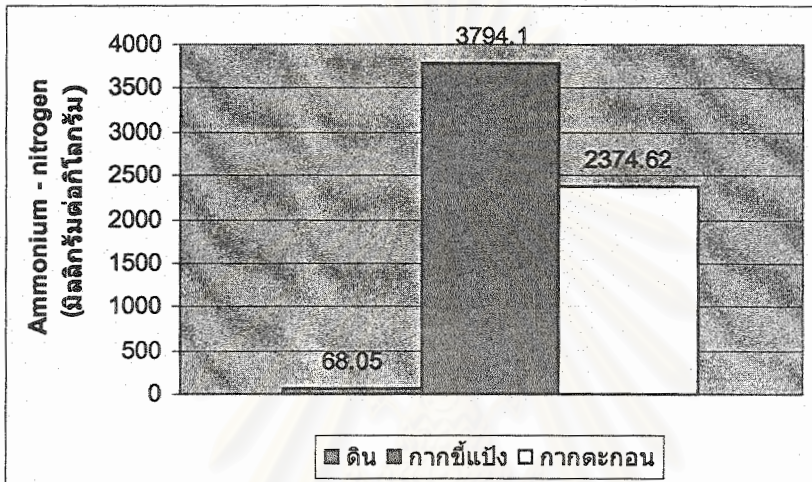
ไนเตรทเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ปริมาณไนเตรทในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 67.25, 598.26 และ 429.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ(รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4. 4 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูก

4.1.4 ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม(ammonium – nitrogen)

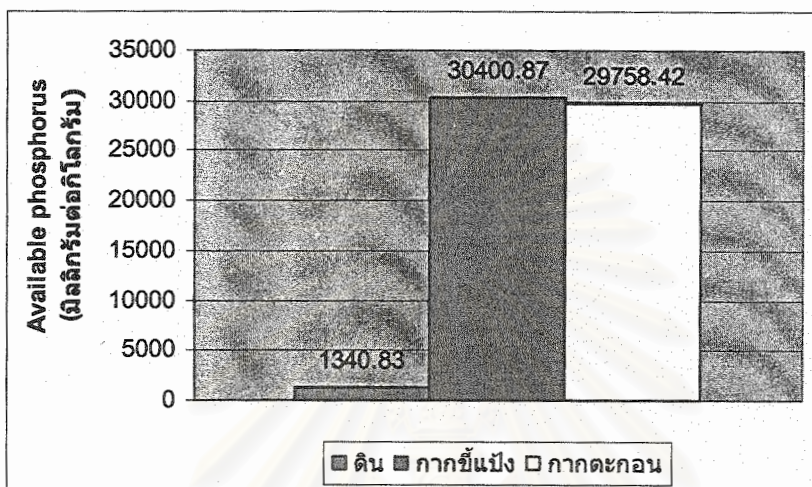
แอมโมเนียมเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ปริมาณแอมโมเนียมในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 68.05, 3,794.10 และ 2,374.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ(รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ปริมาณแอมโมเนียมในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูก

4.1.5 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

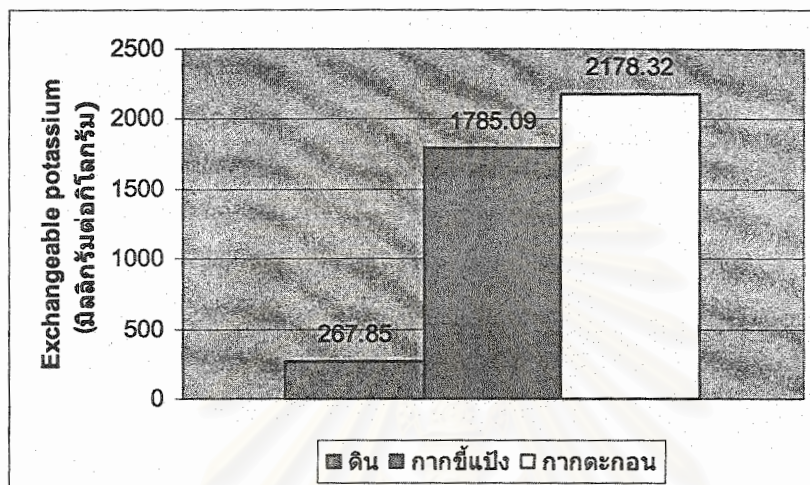
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 1,340.83, 30,400.87 และ 29,758.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน กากขี้แ่่ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูก

4.1.6 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

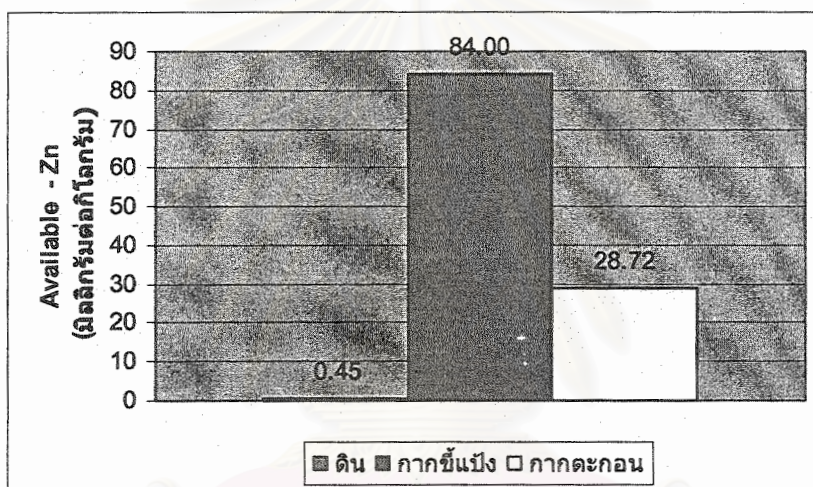
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน กากซีเมนต์ และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 267.85, 1785.09 และ 2178.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.7 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน กากซีเมนต์ และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูก

4.1.8 สังกะสีที่เป็นประโยชน์ (available - Zn)

สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน กากซีแป้ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 0.45, 84.00 และ 28.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ(รูปที่ 4.8) Chaney(1973) ได้เสนอว่ากากตะกอนใดที่มีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กากตะกอนนั้นไม่สมควรนำมาใช้ในทางการเกษตร กากซีแป้ง และกากตะกอนที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีค่าไม่เกินที่กำหนดจึงสามารถนำมาใช้ทางการเกษตรได้ และค่ายังอยู่ในเกณฑ์ของปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร โดยให้มีค่าปริมาณสังกะสี อยู่ในช่วง 1,000 – 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ของ Webber และคณะ(1984)



รูปที่ 4.8 สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน กากซีแป้ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูก

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดิน กากชีแป้ง และกากตะกอนก่อนทำการเพาะปลูก

พารามิเตอร์	ดิน	กากชีแป้ง	กากตะกอน
pH	6.96	7.89	6.83
Organic – c %	1.39	12.55	17.04
Organic – matter %	2.40	21.64	29.39
Total nitrogen (mg/kg)	1097.50	28160.14	4974.33
Nitrate – nitrogen (mg/kg)	67.25	598.26	429.63
Ammonium – nitrogen (mg/kg)	68.05	3794.10	2374.62
Available phosphorus (mg/kg)	1340.83	30400.87	29758.42
Exchangeable potassium (mg/kg)	267.85	1785.09	2178.32
Available - Zn (mg/kg)	0.45	84.00	28.72
Available - Al (mg/kg)	0.94	1.02	1.12
Available - Mg (mg/kg)	521.98	1276.67	769.45
Available - Ca (mg/kg)	8354.63	2563.90	4307.51
Available - Na (mg/kg)	11.54	546.87	3208.5
Available - Fe (mg/kg)	9.50	0.30	5.89
Available - Mn (mg/kg)	55.62	0.034	10.76
Available - Cu (mg/kg)	1.53	Trace	0.67
Available - Ni (mg/kg)	0.52	Trace	1.14
Available - Cd (mg/kg)	0.10	Trace	0.08
Available - Pb (mg/kg)	0.24	Trace	0.47

หมายเหตุ

- Trace หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบ
- ดินที่ใช้ในการทดลอง ใช้ดินที่ได้รับการผสม ใช้ชื่อทางการค้าว่า ดินสีดา หรือดินขุยไผ่
- กากชีแป้ง จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานไก่อสดแช่แข็ง บริษัทชันฟูค จังหวัดสระบุรี
โรงงาน ที่บำบัดน้ำทิ้ง ด้วยระบบ Activated Sludge

4.2. ลักษณะสมบัติของดินในแต่ละหน่วยทดลอง หลังการปลูกพืชทดลอง

คุณสมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกพืชทดลองทั้ง 3 ชนิด หลังการเก็บเกี่ยวพืชทดลอง ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลองโดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

- ความเป็นกรด-ด่าง(pH)
- ไนโตรเจนในรูป Total nitrogen
- ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(available phosphorus)
- โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้(exchangeable potassium)

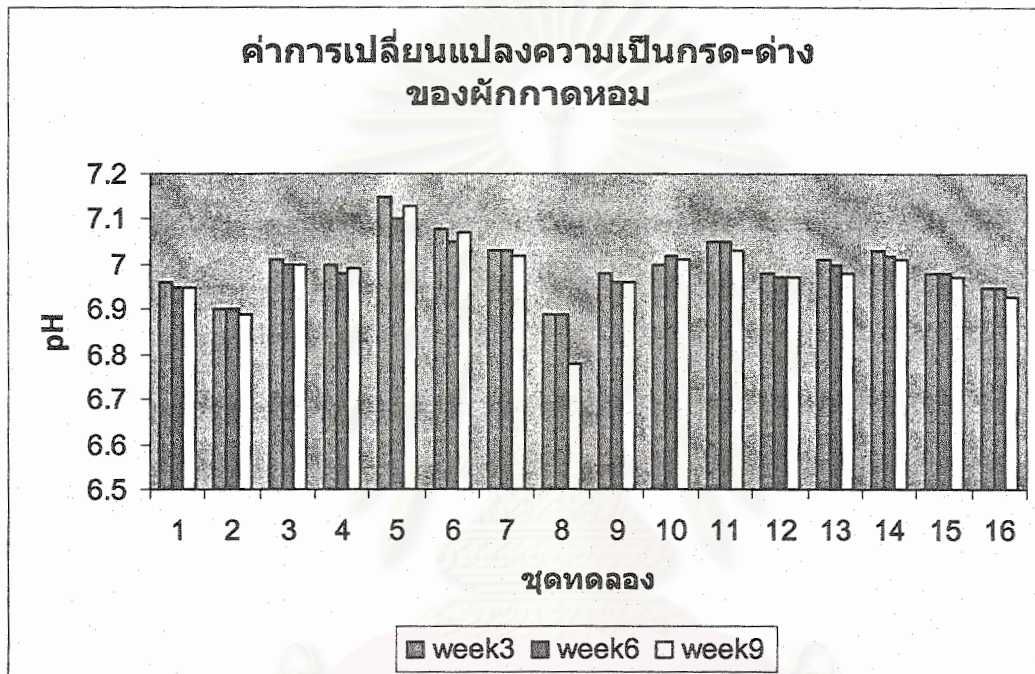
4.2.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดิน

ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินที่เพาะปลูกมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ในดิน และพืชจะใช้ประโยชน์ธาตุอาหารในดินได้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินด้วย

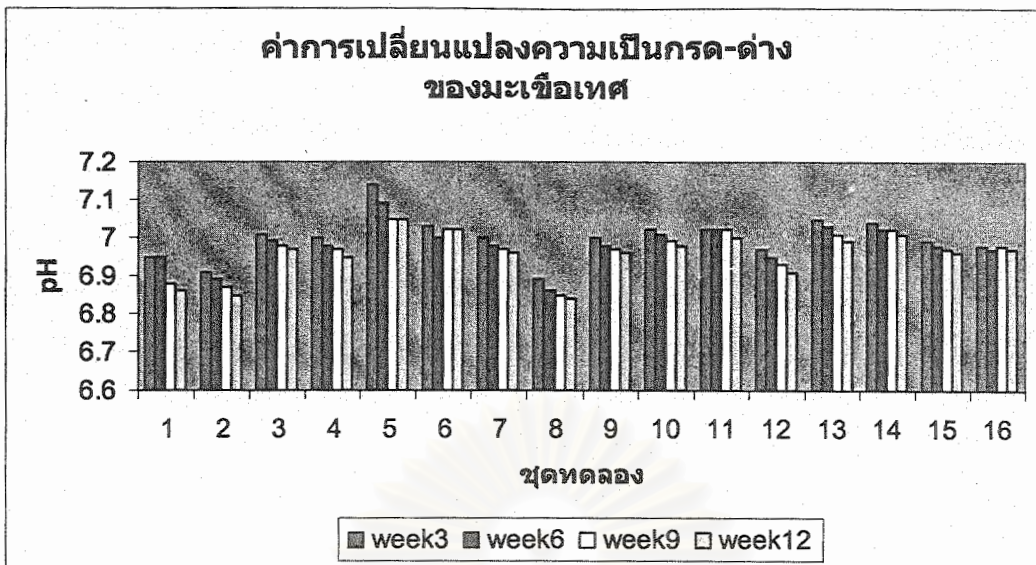
จุลธาตุอาหารของพืช(micronutrient)ในดิน ความเป็นประโยชน์ที่พืชจะนำธาตุอาหารเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการเติบโตแก่พืชจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นอย่างมาก Orawan Siriratpiriya และคณะ(1985) พบว่า เมื่อดินเป็นกรด(pH) อยู่ในระดับต่ำ โลหะหนักจะละลายออกมาอยู่ในรูปสารละลายดินได้ง่าย

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ตามระยะเวลาจะเห็นได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินที่มีการเติมกากขี้เถ้า และกากตะกอนลงดิน มีแนวโน้มค่าลดลงเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 3 จนถึง สัปดาห์สุดท้าย แต่ในชุดทดลองที่ 16 (ปุ๋ยเคมี) มีค่าความเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินค่อนข้างคงที่ เมื่อเทียบกับชุดทดลองที่ 1(ชุดทดลองควบคุม ไม่มีการเติมสิ่งใด) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 อาจเนื่องมาจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลงจากการเติมกากขี้เถ้า และกากตะกอน ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุเมื่อเติมลงดิน จะเกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และเกิดเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ ส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินลดลงได้(ปรัชญา รัญญาวดี, 2532) Kuntz และคณะ(1984), Orawan Siriratpiriya, และคณะ(1985) กล่าวถึงการใส่กากตะกอนที่มีช่วงความเป็นกรด-ด่าง(pH) เป็นกลางลงดิน พบว่า จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของดินอาจเปลี่ยนแปลงได้ อันเนื่องมาจากการ

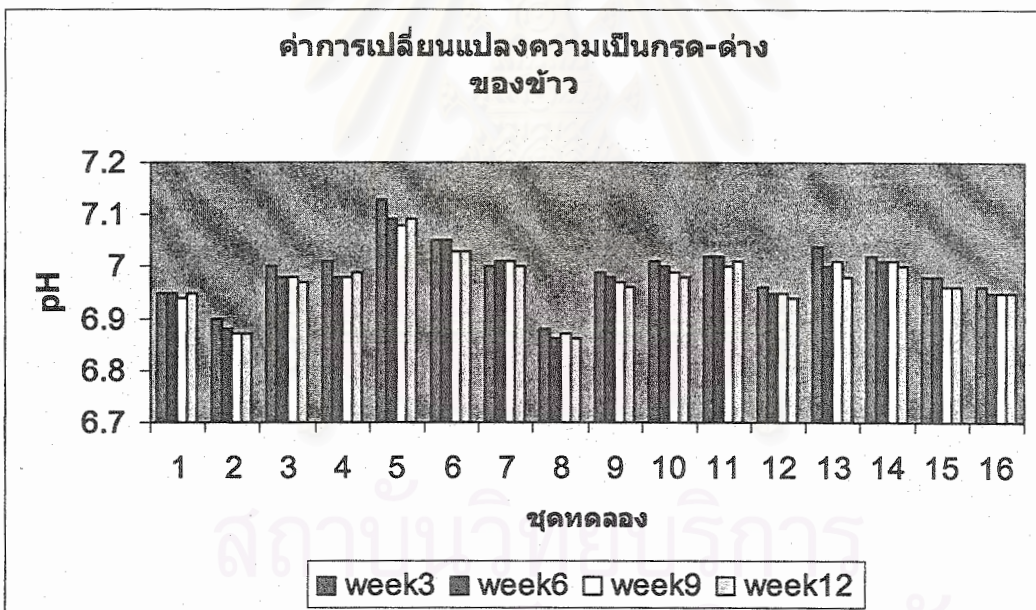
แทนที่ไฮโดรเจนไอออน ที่ยึดเกาะในดินของเกลืออนินทรีย์ Hyde และคณะ(1979) ได้กล่าวไว้ว่า การปลูกพืชโดยใช้กากตะกอน ควรปลูกพืชบนดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 6.5 ในการทดลองนี้ จากการวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกพืชทดลองพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.96 และเมื่อทำการวิเคราะห์ดินหลังปลูกพืชทดลอง ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วง 6.84 – 7.13 (ตารางในภาคผนวก ข.ที่ ข1-ข3) เป็นช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งไม่น่าจะก่อให้เกิดความเสี่ยงจากพิษโลหะหนักแต่อย่างใด



รูปที่ 4.9 ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินปลูกผักกาดหอม



รูปที่ 4.10 ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินปลูกมะเขือเทศ



รูปที่ 4.11 ค่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินปลูกข้าว

4.2.2 ลักษณะสมบัติของดินในแต่ละหน่วยทดลอง หลังการปลูกผักกาดหอม

● ไนโตรเจนทั้งหมด(total nitrogen)

ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างชุดทดลอง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ 14 มีค่า 1136.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.6) ชุดทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีชุดทดลองที่ 16 มีค่า 1134.40 มิลลิกรัมต่อกระถางมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดไม่แตกต่างจากชุดทดลองที่ 7 มีค่าเท่ากับ 1120.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.6) เมื่อชุดทดลองที่ 7 และ 14 มีปริมาณการสะสมไนโตรเจนในดินเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณไนโตรเจนสะสมในดินเพิ่มขึ้นและมีการเพิ่มขึ้นเหมือนการเติมปุ๋ยเคมี แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่ 7 และ 14 บ่งให้ทราบว่าสามารถเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชในฤดูกาลเพาะปลูกต่อไปได้ นั่นคือ การนำกากตะกอน และกากขี้เป้งมาใช้ในการเกษตรจะไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน(Follett et al., 1981) ในชุดทดลองอื่นๆที่มีค่าต่ำกว่าปุ๋ยเคมีแต่มีปริมาณมากกว่าในชุดทดลองที่ 1 ตัวควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด แสดงว่าทุกชุดทดลองมีแนวโน้มของการสะสมปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนลงไป ดังแสดงในตารางที่ 4.6

● ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูก จะเห็นได้ว่าดินหลังปลูกมีการสะสมฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับชุดทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี (ชุดทดลองที่ 16) มีการสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุดในชุดทดลองนี้ มีค่า 312.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.6) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีค่าเท่ากับ 309.20 และ 310.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.6)ตามลำดับ ทั้ง 3 ชุดทดลองนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพิจารณาจากอักษร ab แสดงว่าการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในอัตราส่วนดังชุดการทดลองที่ 7 และ 8 มีการสะสมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเหมือนการใส่ปุ๋ยเคมี และในชุดทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีค่าการสะสมฟอสฟอรัสต่ำสุด ส่วนในชุดทดลองอื่นๆ มีค่าการสะสมฟอสฟอรัสมากกว่าชุดควบคุมนี้ทุกชุดทดลอง แสดงว่าการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนทำให้มีแนวโน้มการสะสมฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.2

เมื่อพิจารณาค่าของฟอสฟอรัสในกากขี้แ่ง และกากตะกอน(ตารางที่4.1) พบว่ามีอยู่ในระดับที่สูง เมื่อเติมกากตะกอนลงสู่ดินเป็นผลให้ดินหลังการเพาะปลูกมีแนวโน้มของการสะสมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น โดยค่าการสะสมจะมากขึ้นเมื่อมีการเติมกากตะกอน และกากขี้แ่งเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ทำการทดลองในแต่ละชุดทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินหลังการเพาะปลูก ยังมีปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของพืช โดยไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของฟอสฟอรัส เนื่องจากมีค่าของฟอสฟอรัสที่มากเพียงพอ และมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงกว่า 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัส(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530) อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่มีปริมาณมากในดิน ก็ยังไม่อาจสรุปได้ว่าจะมีปริมาณที่เพียงพอต่อพืชเสมอไป ทั้งนี้อาจมีปัจจัยอื่นๆสามารถควบคุมการละลาย และตรึงฟอสเฟตในดินได้ (ถวิล คุรุฑกุล, 2530)

● โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน กากขี้แ่ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูกของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 382.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่4.2) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 11 มีค่าเท่ากับ 375.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่4.2) มีค่าต่ำสุดในชุดทดลองควบคุม มีค่าเท่ากับ 346.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.2) ส่วนในชุดทดลองอื่นๆมีค่ามากกว่าชุดทดลองควบคุมทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในกากขี้แ่ง และกากตะกอนมีค่าสูง เมื่อทำการทดลองปลูกพืชทดลองแล้วทำการวิเคราะห์ในแต่ละชุดทดลอง การเติมกากขี้แ่ง และกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ค่ามีแนวโน้มที่จะมีการสะสมมากขึ้นในดิน และมีปริมาณเพียงพอ เพราะมีค่าสูงกว่า 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นค่าที่เพียงพอต่อการเติบโตของพืช(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกผักกาดหอม (หน่วย : มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เป้ง:กากตะกอน)		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
1	5:0:0	878.27 h	45.13 h	346.33 i
2	4:1:0	1026.30 f	114.70 g	350.10 hi
3	3:2:0	1070.57 de	279.33 f	362.00 fg
4	2:3:0	1101.33 c	297.27 c	362.87 fg
5	1:4:0	1103.17 c	299.80 c	365.40 ef
6	3:1:1	1066.7 e	279.56 f	353.13 h
7	2:2:1	1120.93 ab	309.20 ab	365.17 ef
8	1:3:1	1119.83 b	310.90 ab	370.24 cd
9	4:0:1	1008.07 g	115.00 g	373.17 bc
10	3:0:2	1024.57 f	281.73 ef	370.73 bcd
11	2:0:3	1084.70 d	286.53 de	375.20 b
12	1:0:4	1101.27 c	290.00 d	372.96 bcd
13	2:1:2	1066.6 e	285.07 de	360.36 g
14	1:2:2	1136.27 a	305.90 b	368.40 de
15	1:1:3	1074.13 de	289.93 d	353.23 h
16	ปุ๋ยเคมี	1134.40 ab	312.60 a	382.13 a

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.2.3 ลักษณะสมบัติของดินในแต่ละหน่วยทดลอง หลังการปลูกมะเขือเทศ

● ไนโตรเจนทั้งหมด(total nitrogen)

ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างชุดทดลอง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ 16 มีค่า 1271.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่4.3) เป็นชุดทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี รองลงมาในชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีค่าเท่ากับ 1127.80 และ 1125.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ(ตารางที่4.3) แต่ในชุดทดลองทั้ง 2 แสดงอักษร ab แสดงว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดไม่แตกต่างจากชุดทดลองที่ 16 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีปริมาณไนโตรเจนสะสมในดินหลังการเพาะปลูกพืชได้เหมือนการใช้ปุ๋ยเคมีในภายหลังการเพาะปลูกเช่นกัน นั่นคือ การนำกากตะกอนและกากขี้เป้งมาใช้ในการเกษตรจะไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน(Follett et al., 1981) ในชุดทดลองอื่นๆที่มีค่าต่ำกว่าปุ๋ยเคมี แต่มีปริมาณมากกว่าในชุดทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นตัวควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด ในทุกชุดการทดลอง แสดงว่าการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน เป็นการเพิ่มปริมาณการสะสมไนโตรเจนในดินหลังการเพาะปลูกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.3

● ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูก จะเห็นได้ว่าดินหลังปลูกมีการสะสมฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลอง โดยมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุดในชุดทดลองที่ 7 มีค่า 298.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.3) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 16, 8, 4, 5, และ 15 มีค่าเท่ากับ 297.93, 297.56, 295.06, 295.80 และ 294.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.3)ตามลำดับ ทั้ง 6 ชุดทดลองนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พิจารณาจากอักษร a และ ab แสดงว่าในอัตราการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในชุดการทดลองที่กล่าวมา ทำให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในดินหลังการเพาะปลูกเพิ่มขึ้นเหมือนการปลูกพืชที่ใส่ปุ๋ยเคมี และค่าการสะสมฟอสฟอรัสมีค่าต่ำสุดในชุดทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดทดลองควบคุม ส่วนในชุดทดลองอื่นๆ มีค่าการสะสมฟอสฟอรัสมากกว่าชุดทดลองควบคุมนี้ทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าของฟอสฟอรัสในกากขี้เป้ง และกากตะกอน(ตารางที่4.1) พบว่ามีอยู่ในระดับที่สูง เมื่อเติมกากตะกอนลงสู่ดินเป็นผลให้ดินหลังการเพาะปลูกมีแนวโน้มของการสะสมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น โดยค่าการสะสมจะมากขึ้นเมื่อมีการเติมกากตะกอนและกากขี้เป้งเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ทำการทดลองในแต่ละชุดทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ใน

ดินหลังการเพาะปลูก ยังมีปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของพืช โดยไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของฟอสฟอรัส เนื่องจากมีค่าของฟอสฟอรัสที่มากเพียงพอ และมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงกว่า 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัส (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530) อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่มีปริมาณมากในดิน ก็ยังไม่อาจสรุปได้ว่าจะมีปริมาณที่เพียงพอต่อพืชเสมอไป ทั้งนี้อาจมีปัจจัยอื่นๆ สามารถควบคุมการละลาย และตรึงฟอสเฟตในดินได้(ถวิล กรุฑกุล , 2530)

● โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน กากชี้แห้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูกของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ 12 โดยมีค่าเท่ากับ 378.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.3) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 11 และ 16 มีค่าเท่ากับ 376.83 และ 376.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.3)ตามลำดับ แต่ทั้ง 3 ชุดทดลองมีค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่แตกต่างกัน พิจารณาจากอักษรที่เหมือนกันคือ a และ ab แสดงให้เห็นว่ามีโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการปลูกพืชทดลองหลังจากการเติมกากชี้แห้ง และกากตะกอน ปริมาณอัตราส่วนในชุดทดลองที่ 11 และ 12 ทำให้มีค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สะสมในดินเหมือนการใส่ปุ๋ยเคมี ส่วนในชุดทดลองอื่นๆมีค่ามากกว่าชุดทดลองควบคุมทุกชุดทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 345.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในกากชี้แห้ง และกากตะกอนมีค่าสูง เมื่อทำการทดลองปลูกพืชทดลองแล้วทำการวิเคราะห์ในแต่ละชุดทดลอง การเติมกากชี้แห้ง และกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ค่ามีแนวโน้มที่จะมีการสะสมมากขึ้นในดิน และมีค่าสูงกว่า 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นค่าที่เพียงพอต่อการเติบโตของพืช(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกมะเขือเทศ (หน่วย : มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
1	5:0:0	710.33 c	91.50 e	345.5 g
2	4:1:0	1023.03 b	95.18 de	349.30 f
3	3:2:0	1035.13 b	273.13 c	360.80 ed
4	2:3:0	1088.87 b	295.06 a	360.27 ed
5	1:4:0	1108.23 b	295.80 a	363.83 cd
6	3:1:1	1064.46 b	275.27 c	351.40 f
7	2:2:1	1127.80 ab	298.63 a	363.30 cd
8	1:3:1	1125.13 ab	297.56 a	366.03 c
9	4:0:1	1001.29 b	97.47 d	374.66 b
10	3:0:2	1011.12 b	275.63 c	374.53 b
11	2:0:3	1022.83 b	273.73 c	376.83 ab
12	1:0:4	1025.67 b	277.03 bc	378.76 a
13	2:1:2	1069.10 b	277.43 bc	358.33 e
14	1:2:2	1099.03 b	281.00 b	366.43 c
15	1:1:3	1070.00 b	294.96 a	358.07 e
16	ปุ๋ยเคมี	1271.80 a	297.93 a	376.03 ab

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.2.4 ลักษณะสมบัติของดินในแต่ละหน่วยทดลอง หลังการปลูกข้าว

● ไนโตรเจนทั้งหมด(total nitrogen)

ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดิน กากชีแ่ียง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างชุดทดลอง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ 5 มีค่า 1139.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.4) รองลงมาค่าไนโตรเจนทั้งหมดในชุดทดลองที่ 8, 7, 14 และ 16 มีค่าเท่ากับ 1132.5, 1130.53, 1129.30 และ 1129.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ(ตารางที่ 4.4) แต่ในชุดทดลองทั้ง 5 แสดงอักษร a และ ab แสดงว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดไม่แตกต่างกัน จากชุดทดลองที่ 16 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี แสดงให้เห็นว่ากากเดิมกากชีแ่ียง และกากตะกอนในอัตราส่วนในชุดการทดลองที่ 5, 7, 8 และ 14 ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนสะสมในดินหลังการเพาะปลูกพืชได้เหมือนการใช้ปุ๋ยเคมีในดินภายหลังการเพาะปลูก นั่นคือ การนำกากตะกอน และกากชีแ่ียงมาใช้ในการเกษตรจะไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett et al., 1981) ในชุดทดลองอื่นๆที่มีค่าต่ำกว่าปุ๋ยเคมี แต่มีปริมาณมากกว่าในชุดทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นตัวควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใดแสดงว่าการเติมกากชีแ่ียง และกากตะกอน ทำให้มีแนวโน้มการสะสมไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในดิน ทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4

● ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน กากชีแ่ียง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูก จะเห็นได้ว่าดินหลังปลูกมีการสะสมฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลอง โดยมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุดในชุดทดลองที่ 16 มีค่า 305.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.4) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีค่าเท่ากับ 304.36 และ 301.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.4) ตามลำดับ ทั้ง 3 ชุดทดลองนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พิจารณาจากอักษร a และ ab แสดงให้เห็นว่าการเติมกากชีแ่ียง และกากตะกอนผสมดินในการปลูกพืชมีค่าการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สะสมในดิน เหมือนการเติมปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช ทั้งนี้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำสุดในชุดทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นชุดทดลองควบคุม ส่วนในชุดทดลองอื่นๆ มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสะสมมากกว่าชุดทดลองควบคุมนี้ทุกชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณาค่าของฟอสฟอรัสในกากชีแ่ียง และกากตะกอน(ตารางที่ 4.1) พบว่ามีอยู่ในระดับที่สูง เมื่อเติมกากตะกอนลงสู่ดินเป็นผลให้ดินหลังการเพาะปลูกมีแนวโน้มของการสะสมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น โดยค่าการสะสมจะมากขึ้นเมื่อมีการเติมกากตะกอน และกากชีแ่ียงเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ทำการทดลองในแต่ละชุดทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินหลังการเพาะปลูก ยังมีปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของพืช โดยไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีที่มี

ส่วนผสมของฟอสฟอรัส เนื่องจากมีค่าของฟอสฟอรัสที่มากเพียงพอ และมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงกว่า 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัส (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530) อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัสที่มีปริมาณมากในดิน ก็ยังไม่อาจสรุปได้ว่าจะมีปริมาณที่เพียงพอต่อพืชเสมอไป ทั้งนี้ อาจมีปัจจัยอื่นๆ สามารถควบคุมการละลาย และตรึงฟอสเฟตในดิน ได้(ถวิล ครุฑกุล, 2530)

- โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน กากชี้แป็ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูกของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างการใส่ปุ๋ยเคมี และในชุดทดลองที่มีการใส่กากชี้แป็ง และกากตะกอน และชุดทดลองที่1 ซึ่งเป็นตัวควบคุมไม่มีการใส่สิ่งใดโดยพิจารณาจากอักษร a, b และ c พบว่าในชุดทดลองที่มีการเติมกากตะกอน และกากชี้แป็งทำให้ค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สะสมในดิน มีค่าสูงกว่าในชุดทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และในชุดทดลองที่1 แสดงว่าการเติมกากชี้แป็ง และกากตะกอนมีแนวโน้มทำให้การสะสมโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเหมือนกันในทุกอัตราส่วน ไม่มีความแตกต่างกันพิจารณาจากอักษร a (ตารางที่ 4.4) พบว่ามีโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการปลูกพืชทดลองในชุดทดลองที่มีการเติมกากชี้แป็ง และกากตะกอนทำให้มีค่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สะสมเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกข้าว (หน่วย : มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	
1	5:0:0	902.18 h	94.93 e	357.89 c
2	4:1:0	1029.73 g	96.38 e	385.78 a
3	3:2:0	1079 def	273.97 d	385.82 a
4	2:3:0	1100.07 cde	300.17 b	386.21 a
5	1:4:0	1139.97 a	300.22 b	386.68 a
6	3:1:1	1075.83 ef	275.27 d	384.07 a
7	2:2:1	1130.53 ab	304.36 ab	386.82 a
8	1:3:1	1132.5 ab	301.36 ab	384.5 a
9	4:0:1	1105.17 bcd	95.47 e	381.71 a
10	3:0:2	1110.77 bc	274.80 d	381.62 a
11	2:0:3	1123.30 abc	275.00 d	386.85 a
12	1:0:4	1124.70 abc	275.62 d	386.99 a
13	2:1:2	1062.6 f	275.13 d	379.46 a
14	1:2:2	1129.30 ab	275.25 d	385.06 a
15	1:1:3	1074.03 ef	291.42 c	381.39 a
16	ปุ๋ยเคมี	1129.23 ab	305.10 a	365.17 b

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกัน ในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.3. ศึกษาปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังทำการเพาะปลูกพืชทดลอง

(available – Zn)

สังกะสี เป็นจุลธาตุที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช แต่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อยมาก ธาตุที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มจุลธาตุได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และ คลอรีน รวม 7 ธาตุ ปริมาณของธาตุต่างๆ เหล่านี้จะพบอยู่ในเนื้อเยื่อแห้งของพืช จุลธาตุจะเป็นองค์ประกอบอยู่ในเอนไซม์ และเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการทางเมตาโบลิซึมของพืช (วิเชียร ฝอยพิกุล, 2536) บทบาทของสังกะสีที่มีผลต่อการเติบโตของพืช คือ มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนพืช มีส่วนในการขยายพันธุ์พืชบางชนิด มีบทบาททางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์ และเป็นตัวปลูกฤทธิ์ของเอนไซม์หลายชนิด เช่น carbonic anhydrase alcohol dehydrogenase และ peptidase หลายชนิด(ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, 2541)

ในการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน ภาคี่แป็ง และภาคตะกอนก่อนการเพาะปลูกพบว่ามีค่าเท่ากับ 84 และ 28.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่4.1) พบว่ามีปริมาณสูงเนื่องจากสังกะสี เป็นจุลธาตุที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช แต่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อยมาก และถ้าพบว่ามีสารสะสมในดินมากจะมีผลต่อการเติบโตของพืชดังแสดงในตารางที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (Webberet et al., 1984)

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
อังกฤษ	-	-	280	140	35	550	3.5
เยอรมัน	-	-	300	100	50	100	3.0
ฝรั่งเศส	-	-	300	100	50	100	2.0
ช่วงของทั้ง 3 ประเทศ	-	-	280-300	100-140	35-50	100-550	2.0 – 3.5

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการเสนอตัวเลข

จากการวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน กากชีแป้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูก พบว่าในการทดลองปลูกผักกาดหอมปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินในแต่ละชุดทดลองที่มีการเติมกากชีแป้ง กากตะกอน และปุ๋ยเคมีพบว่าปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 1.1233 – 1.2767 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.6) โดยพิจารณาจากอักษร a แสดงว่าการเติมกากชีแป้ง และกากตะกอนลงดินทำให้ค่าปริมาณสังกะสีสะสมในดินเหมือนการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเช่นเดียวกัน และมีแนวโน้มปริมาณการสะสมสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่กากชีแป้ง และกากตะกอนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่าจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อชุดทดลองนั้นมีการเติมกากชีแป้งในปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ในกากชีแป้งซึ่งมีปริมาณสังกะสีที่มีประโยชน์อยู่ในปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุม ไม่มีการเติมสิ่งใด) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่ค่าที่ได้นั้นยังไม่เกิน 280 -300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร(ตารางที่ 4.5)

จากการวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน กากชีแป้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูก พบว่าในการทดลองปลูกมะเขือเทศมีแนวโน้มเหมือนกับการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่

เป็นประโยชน์หลังการปลูกผักกาดหอมโดยมีค่าสังกะสีที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 1.1226 – 1.4476 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.6)

จากการวิเคราะห์สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดิน กากจี้แป้ง และกากตะกอนหลังการเพาะปลูก พบว่าในการทดลองปลูกข้าวพบว่า ชุดทดลองที่มีการเติม กากจี้แป้ง และ กากตะกอนลงในดินมีแนวโน้มเดียวกันกับการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์หลังการปลูกผักกาดหอมและมะเขือเทศ โดยมีค่าสังกะสีที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 1.4967 – 1.6433 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.6) แต่พบว่ามีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองที่ 16 (เติมปุ๋ยเคมี) และชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุม ไม่มีการเติมสิ่งใด) โดยพิจารณาจากอักษร c และ d แสดงว่าเมื่อมีการเติมกากจี้แป้ง และกากตะกอน ทำให้มีการเพิ่มปริมาณการสะสมสังกะสีในดินสูงกว่าการปลูกพืชที่เติมปุ๋ยเคมีลงดิน แต่ค่าที่ได้นั้นยังไม่เกิน 280 -300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร

เมื่อพิจารณาจากการปลูกพืชทดลองทั้ง 3 ชนิด พบว่าในการทดลองปลูกข้าวปริมาณสังกะสีที่มีประโยชน์มีค่าสูงมากกว่าในการทดลองที่ปลูกผักกาดหอม และมะเขือเทศ อาจเนื่องมาจากลักษณะการปลูกข้าวมีสภาพน้ำขัง โดยทั่วไปแล้วในดินที่มีน้ำขัง หรือมีการถ่ายเทอากาศแล้ว ปริมาณออกซิเจนในดินต่ำจะพบว่าเป็นการส่งเสริมให้จุลินทรีย์ โดยเฉพาะเหล็ก แมงกานีสสังกะสี เพิ่มความเป็นประโยชน์ได้มากขึ้น ในดินที่มีน้ำขัง (วิเชียร ฝอยพิกุล, 2536) จึงทำให้ในการทดลองปลูกข้าวพบปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินปริมาณสูงกว่าในดินที่ทำการปลูกผักกาดหอม และมะเขือเทศ อีกสาเหตุอาจมาจากการปลูกข้าวใช้ระยะเวลาในการปลูกนานกว่าผักกาดหอมและมะเขือเทศ ซึ่งสังกะสีที่มีอยู่ในกากตะกอน และกากจี้แป้งที่เป็นของแข็ง ยังมีการย่อยสลายไม่หมดทำให้สังกะสีบางส่วนยังไม่ถูกปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดิน (soil solution) ประกอบกับสังกะสีที่อยู่ในกากตะกอนมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน ทำให้ในการทดลองที่การปลูกข้าวมีระยะเวลาการย่อยสลายกากจี้แป้ง และกากตะกอนนานพอที่สังกะสีจะถูกปลดปล่อยออกมาได้มากกว่า

จากการศึกษาดินหลังการเพาะปลูกพืชทั้งสามชนิด พบว่า ปริมาณสังกะสีในกากจี้แป้ง และกากตะกอนที่พบว่ามีปริมาณสังกะสีในปริมาณมากจนอาจเกิดผลกระทบต่อดิน เมื่อมีการเติมลงดิน จากผลวิเคราะห์ดินหลังการเพาะปลูก พบว่าไม่ได้ทำให้ดินมีปริมาณสังกะสีมากจนอยู่ในระดับที่ส่งผลต่อดินแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังทำการเพาะปลูกพืชทดลอง
(หน่วย : มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)		ผักกาดหอม	มะเขือเทศ	ข้าว
1	5:0:0	0.5100 b	0.4402 c	0.6633 d
2	4:1:0	1.2109 a	1.2863 ab	1.5437 ab
3	3:2:0	1.2200 a	1.3132 ab	1.5668 ab
4	2:3:0	1.2567 a	1.3129 ab	1.6442 a
5	1:4:0	1.2700 a	1.4476 a	1.6433 a
6	3:1:1	1.2729 a	1.3480 ab	1.5965 ab
7	2:2:1	1.2737 a	1.3542 ab	1.5969 ab
8	1:3:1	1.2907 a	1.3600 ab	1.6300 ab
9	4:0:1	1.1233 a	1.2200 ab	1.4967 b
10	3:0:2	1.1424 a	1.2233 ab	1.5200 ab
11	2:0:3	1.1567 a	1.2633 ab	1.5323 ab
12	1:0:4	1.1700 a	1.2667 ab	1.5400 ab
13	2:1:2	1.1831 a	1.2700 ab	1.5376 ab
14	1:2:2	1.2767 a	1.3651 ab	1.5720 ab
15	1:1:3	1.1867 a	1.2786 ab	1.5855 ab
16	ปุ๋ยเคมี	1.1209 a	1.1226 ab	1.1301 c

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.4. การศึกษาการเติบโตของพืชทดลอง

การศึกษาคือความเป็นประโยชน์ในการใช้กากซีเป็ง และกากตะกอนเป็นสารบำรุงดิน ในการศึกษาการเติบโตของพืชทดลองทั้งสามชนิดคือ ข้าว มะเขือเทศ และผักกาดหอม โดยระหว่างทำการเพาะปลูกได้มีการศึกษาลักษณะพืชว่ามีการแสดงอาการขาดธาตุอาหารพืชหรือไม่ เช่น อาการสูญเสียสีเขียวในใบพืชที่ขาดธาตุไนโตรเจน อาการต้นพืชแคระแกรนเมื่อพืชขาดธาตุฟอสฟอรัส เป็นต้น ส่วนการวัดต้นพืชหลักการเก็บเกี่ยวนั้นอาจวัดได้หลายวิธี เช่น ความสูง เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น ขนาดของใบ น้ำหนักเมล็ด หรือน้ำหนักรวมพืช แต่การเลือกค่าใดเป็นกรณีป้องกันบอกรการเติบโตของพืชนั้นวิธีกำหนดที่ใช้กันอยู่คือ เลือกปริมาณที่มีความสัมพันธ์กับปริมาตรรวมของพืชมากที่สุดในช่วงเวลานั้น หรือตรงจุดมุ่งหมายที่ต้องการศึกษา (วิเชียร ฝอยพิกุล, 2536) งานวิจัยนี้เลือกใช้เกณฑ์ตัดสินจากน้ำหนักพืช คือน้ำหนักแห้งของพืชทดลองซึ่งเป็นน้ำหนักที่แท้จริงของมวลสารที่คงที่เมื่อนำมาอบแห้งไม่ให้ความชื้น

4.4.1 การศึกษาการเติบโตของผักกาดหอม

การศึกษาคือการเติบโตของผักกาดหอมเพื่อดูความเป็นประโยชน์ของกากซีเป็ง และกากตะกอนในรูปสารบำรุงดินในการศึกษานี้ เลือกพิจารณาโดยใช้เกณฑ์การตัดสินจากน้ำหนักแห้งของลำต้นส่วนเหนือดินของผักกาดหอม ที่ปลูกและเก็บเกี่ยวในฤดูกาลปลูกเดียวกัน ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน คือในช่วงเดือน ตุลาคม 2546 ถึงเดือนธันวาคม 2546 ในระหว่างการทดลองพืชทดลองไม่แสดงอาการของการขาดธาตุอาหารพืชแต่อย่างใดเช่น อาการขาดสีเขียวในใบพืช เป็นต้น เมื่อผักกาดหอมมีอายุครบเก็บเกี่ยว คือ ระยะเวลาประมาณ 9 สัปดาห์ จึงเก็บเกี่ยวผลผลิตส่วนเหนือดินและนำเอามาวัดผลการเติบโต โดยเปรียบเทียบกับการเติบโตในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับการปลูกพืชได้ผลดังตารางที่ 4.7

พบว่าผลการวัดน้ำหนักแห้งของผักกาดหอม มีน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมสูงสุดในชุดทดลองที่ 5 มีค่าเท่ากับ 5.66 กรัมต่อต้น(ตารางที่4.7) น้ำหนักแห้งรองลงมาคือ ชุดทดลองที่16 (ปุ๋ยเคมี) มีค่าเท่ากับ 5.55 กรัมต่อต้น(ตารางที่4.7) พิจารณาจากอักษร a และ ab แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการใส่กากซีเป็งในชุดทดลองที่ 5 ทำให้มีน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมี จากตารางที่4.7 ค่าน้ำหนักแห้งในชุดทดลองที่ 5, 7, 8, 11, 12 เป็นชุดทดลองที่มีการเติมกากซีเป็ง และกากตะกอน ที่สามารถให้น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกผักกาดหอม ซึ่งให้เห็นว่าการใส่กากซีเป็ง และ

ภาคตะกอนในชุดการทดลองดังที่กล่าวมาแล้วทำให้ผลผลิตของผักกาดหอมโดยดูจากน้ำหนักแห้งของผักกาดหอม ได้ผลผลิตเหมือนการปลูกที่เติมปุ๋ยเคมีลงไปในดิน

ตารางที่ 4.7 การเติบโตของผักกาดหอม

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เถ้า:ภาคตะกอน)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)	
1	5:0:0	3.87 e
2	4:1:0	4.58 d
3	3:2:0	5.19 bc
4	2:3:0	5.26 abc
5	1:4:0	5.66 a
6	3:1:1	4.17 de
7	2:2:1	5.25 abc
8	1:3:1	5.41 abc
9	4:0:1	4.18 de
10	3:0:2	5.16 bc
11	2:0:3	5.38 abc
12	1:0:4	5.54 ab
13	2:1:2	4.38 d
14	1:2:2	5.21 bc
15	1:1:3	4.98 c
16	ปุ๋ยเคมี	5.55 ab

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.4.2 การศึกษาการเติบโตของมะเขือเทศ

การศึกษาการเติบโตของมะเขือเทศเพื่อดูความเป็นประโยชน์ของกากขี้เป้ง และกากตะกอนในรูปสารบำรุงดินในการศึกษานี้ เลือกพิจารณาโดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจจากจำนวนผลมะเขือเทศ น้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศ น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ ที่ปลูกและเก็บเกี่ยวในฤดูกาลปลูกเดียวกัน ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน คือในช่วงเดือน ตุลาคม 2546 ถึงเดือนมกราคม 2547 ในระหว่างการทดลองพืชทดลองไม่แสดงอาการของการขาดธาตุอาหารพืชแต่อย่างใดเช่น โรคกันเน่าของผลมะเขือเทศที่ขาดธาตุแคลเซียมเป็นต้น เมื่อมะเขือเทศมีอายุครบเก็บเกี่ยว คือระยะเวลาประมาณ 12 สัปดาห์ จึงเก็บเกี่ยวผลผลิตส่วนเหนือดิน และนำเอามาวัดผลการเติบโตโดยเปรียบเทียบกับ การเติบโตในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับการปลูกพืชได้ผลดังตารางที่ 4.8

การศึกษาจำนวนผลมะเขือเทศในแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ 16 (ปุ๋ยเคมี) มีจำนวนผลมะเขือเทศสูงสุดคือ 52.00 ผลต่อต้น จากตารางที่ 4.12 พบว่าชุดทดลองที่ 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14 และ 15 เป็นชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในดิน จำนวนผลมะเขือเทศที่ได้มีค่าไม่แตกต่างจากชุดทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีพิจารณาจากอักษร a และ ab แสดงว่าจำนวนผลของมะเขือเทศที่ปลูกในอัตราส่วนของกากขี้เป้ง และกากตะกอนดังกล่าวให้ผลผลิตเหมือนการปลูกมะเขือเทศที่ใส่ปุ๋ยเคมี

การศึกษาน้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศในแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ 7 มีน้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศสูงสุดคือ 49.10 กรัมต่อต้น(ตารางที่ 4.8) รองมาคือชุดทดลองที่ 16 (ปุ๋ยเคมี) มีน้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศ 48.53 กรัมต่อต้น(ตารางที่ 4.8) ชุดทดลองที่ 7 และ 16 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พิจารณาจากอักษร a และ ab แสดงว่าชุดทดลองที่ 7 ที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในดินที่ทำการเพาะปลูกมะเขือเทศให้น้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศต่อต้นไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกมะเขือเทศ

การศึกษาน้ำหนักแห้งต้นมะเขือเทศในแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ 14 มีน้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศสูงสุด รองลงมาคือชุดทดลองที่ 4 มีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 83.70 และ 83.44 กรัมต่อต้น ตามลำดับ(ตารางที่ 4.8) และพบว่าน้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ ในชุดทดลองที่ 4, 5, 7, 8, 14 และ 16 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในดินที่ทำการปลูกมะเขือเทศในชุดทดลองดังกล่าวให้น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศเหมือนการปลูกมะเขือเทศที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี

เมื่อพิจารณาจำนวนผลมะเขือเทศ น้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศ และน้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ พบว่า ชุดทดลองที่ 7 และ 8 เป็นชุดทดลองที่ให้จำนวนผลมะเขือเทศ น้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศ และน้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศได้เหมือนกับการใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกมะเขือเทศ ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยการเติบโตของมะเขือเทศ

ชุดทดลอง (ดิน:กากจี้แป้ง:กากตะกอน)	จำนวนผล มะเขือเทศ (ผลต่อต้น)	น้ำหนักแห้งของ ผลมะเขือเทศ (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง ต้นมะเขือเทศ (กรัมต่อต้น)	
1	5:0:0	27.67 c	30.76 h	63.38 ef
2	4:1:0	31.67 c	35.63 g	62.74 ef
3	3:2:0	50.00 ab	40.73 ef	68.86 cd
4	2:3:0	46.33 ab	47.10 b	83.44 a
5	1:4:0	43.00 ab	44.03 c	82.47 ab
6	3:1:1	32.33 c	34.13 g	58.24 g
7	2:2:1	50.67 ab	49.10 a	83.05 ab
8	1:3:1	50.67 ab	47.53 ab	82.81 ab
9	4:0:1	31.67 c	34.10 g	59.28 fg
10	3:0:2	49.67 ab	40.80 ef	68.34 cd
11	2:0:3	51.00 ab	41.26 de	78.63 b
12	1:0:4	42.33 b	40.56 ef	71.53 c
13	2:1:2	44.67 ab	41.06 de	66.97 de
14	1:2:2	46.67 ab	42.50 cd	83.70 a
15	1:1:3	46.67 ab	39.13 f	72.32 c
16	ปุ๋ยเคมี	52.00 a	48.53 ab	83.18 ab

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.4.3 การศึกษาการเติบโตของข้าว

การศึกษาการเติบโตของข้าว เพื่อดูความเป็นประโยชน์ของกากซีเป็ง และกากตะกอนในรูปสารบำรุงดินในการศึกษานี้ เลือกพิจารณาโดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจจากน้ำหนักแห้งของลำต้น ส่วนเหนือดินของข้าว และน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าว ที่ปลูกและเก็บเกี่ยวในฤดูกาลปลูกเดียวกัน ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน คือในช่วงเดือน ตุลาคม 2546 ถึงเดือนมกราคม 2546 ในระหว่างการทดลองปลูกพืช พืชทดลองไม่ได้แสดงอาการขาดธาตุอาหารพืชแต่อย่างใด เช่น โรคใบหงิก โรคใบสีน้ำตาล หรือโรคใบสีส้มเป็นต้น เมื่อข้าวมีอายุครบเก็บเกี่ยว คือ ระยะเวลาประมาณ 12 สัปดาห์ จึงเก็บเกี่ยวผลผลิตส่วนเหนือดิน และนำเอามาวัดผลการเติบโต โดยเปรียบเทียบกับการเติบโตในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับการปลูกพืชได้ผลดังตารางที่ 4.9

การศึกษาน้ำหนักแห้งต่อชั่งของข้าวในแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ 4 และ 7 มีน้ำหนักแห้งของต่อชั่งสูงสุด คือ 105.63 และ 105.51 กรัมต่อกระถางตามลำดับ(ตารางที่4.9) รองลงมาคือ ชุดทดลองที่ 5, 8 และ 16 (ปุ๋ยเคมี) มีน้ำหนักแห้งต่อชั่งเท่ากับ 96.15, 97.07 และ 96.90 กรัมต่อกระถาง(ตารางที่4.9) แต่ชุดทดลองที่กล่าวทั้งหมดนี้ น้ำหนักแห้งของต่อชั่งของข้าวไม่มีความแตกต่างกัน พิจารณาจากอักษรในตารางที่ 4.9 แสดงว่าการปลูกข้าวในชุดทดลองที่ 4, 5, 7 และ 8 ที่มีการเติมกากซีเป็ง และกากตะกอน สามารถให้น้ำหนักต่อชั่งเหมือนการปลูกข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี(ชุดทดลองที่16)

การศึกษาน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวในแต่ละชุดทดลอง พบว่า ชุดทดลองที่ 4 และ 7 มีน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวสูงสุด คือ 63.75 และ 63.27 กรัมต่อกระถางตามลำดับ(ตารางที่4.9)รองลงมาคือ ชุดทดลองที่ 3, 6, 8 และ 16(ปุ๋ยเคมี) มีน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเท่ากับ 61.32, 58.41, 60.74 และ 59.34 กรัมต่อกระถาง(ตารางที่4.9) แต่ชุดทดลองที่กล่าวทั้งหมดนี้ น้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวไม่มีความแตกต่างกัน พิจารณาจากอักษรในตารางที่ 4.9 แสดงว่าการปลูกข้าวในชุดทดลองที่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ที่มีการเติมกากซีเป็ง และกากตะกอน สามารถให้น้ำหนักต่อชั่งเหมือนการปลูกข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี (ชุดทดลองที่16)

เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักแห้งของต่อชั่ง และน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว พบว่าชุดทดลองที่ 4 และ 7 ให้น้ำหนักแห้งของต่อชั่ง และน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวให้ค่าสูงกว่าในชุดทดลองที่16 (ปุ๋ยเคมี) แสดงว่าในชุดทดลองทั้งสองพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวในการทดลองครั้งนี้

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยการเติบโตของข้าว

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)		น้ำหนักแห้งตอซัง (กรัมต่อกระถาง)	น้ำหนักแห้งเมล็ด (กรัมต่อกระถาง)
1	5:0:0	14.72 e	9.90 h
2	4:1:0	28.75 d	19.63 g
3	3:2:0	89.57 b	61.32 ab
4	2:3:0	105.63 a	63.75 a
5	1:4:0	96.15 ab	48.37 c
6	3:1:1	85.53 b	58.41 ab
7	2:2:1	105.51 a	63.27 a
8	1:3:1	97.07 ab	60.74 ab
9	4:0:1	30.99 d	20.20 g
10	3:0:2	56.65 c	36.28 ef
11	2:0:3	58.47 c	33.41 f
12	1:0:4	55.12 c	34.10 ef
13	2:1:2	61.02 c	38.91 de
14	1:2:2	83.39 b	57.00 b
15	1:1:3	68.35 c	41.61 d
16	ปุ๋ยเคมี	96.90 ab	59.34 ab

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.5. การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่พืชทดลองได้รับ

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับจากชุดทดลองต่างๆ ที่ได้รับธาตุอาหารจากสารบำรุงดิน ที่ส่งผลต่อการเติบโตของพืชทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม มะเขือเทศ และข้าว ทำการศึกษาได้จากองค์ประกอบทางเคมีบางประการของพืชทดลอง โดยเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับการปลูกพืชโดยศึกษาพารามิเตอร์ ดังนี้

- ปริมาณไนโตรเจนในน้ำหนักแห้งของพืชทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของสารบำรุงดินในชุดทดลองต่างๆ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของการนำธาตุอาหารจากสารบำรุงดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และไนโตรเจนเป็นธาตุที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก อีกทั้งจำเป็นในการสร้างโปรตีนสร้างคลอโรฟิลล์ และเป็นองค์ประกอบของนิวคลีโอโปรตีน นอกจากนี้ยังมีการประกอบที่สำคัญอีกมากในพืช เช่น วิตามิน (vitamin) และ adenosine triphosphate (ATP) ซึ่งไนโตรเจนจะช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตและมีความแข็งแรง ส่งเสริมการเติบโตของใบและลำต้น ทำให้ใบพืชมีสีเขียว ส่งเสริมคุณภาพพืช โดยเฉพาะพืชสวนครัวที่ใช้ใบและลำต้นเป็นอาหาร ส่งเสริมให้พืชตั้งตัวได้รวดเร็วในระยะแรกของการเติบโต เพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่พืชที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์ เช่น ข้าว หรือหญ้าเลี้ยงสัตว์ ควบคุมการออกดอกผลของพืช ช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น โดยเฉพาะพืชที่ให้ผลและเมล็ด ซึ่งไนโตรเจนจะถูกชะล้างหรือสูญหายได้ง่าย การใช้ประโยชน์จากสารบำรุงดินจากชุดทดลองต่างๆ จึงต่างกันด้วย

- ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำหนักแห้งของพืชทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของสารบำรุงดินในชุดทดลองต่างๆ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของการนำธาตุอาหารจากสารบำรุงดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่พืชต้องการมาก และมีอิทธิพลต่อการเติบโตของพืช เพราะฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ nucleic acid (ใน gene บน chromosome) nucleoprotein (เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติหน้าที่ของเซลล์ การสร้างองค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ และการแบ่งเซลล์ และการสืบพันธุ์) ทำหน้าที่รับช่วงถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่างๆ ระบบต่างๆ การดูดกินน้ำและธาตุอาหารพืช การสร้างการขนย้าย ด้วยเหตุนี้ฟอสฟอรัสจึงเกี่ยวข้องกับการสร้างเสริมการเติบโต และความแข็งแรงของพืช ทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและรากตลอดจนการออกดอกออกผล ซึ่งฟอสฟอรัส จะถูกตรึงและอยู่ในรูปที่ไม่เป็น

ประโยชน์ได้ง่าย หากดินมีค่าพีเอช (pH) ไม่เหมาะสมดังนั้นการใช้ประโยชน์จากสารบำรุงดินในชุดทดลองต่างๆจึงต่างกันด้วย และสะสมในพืชแตกต่างกัน

● ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำหนักแห้งของพืชทดลองปริมาณ

การศึกษาอิทธิพลของสารบำรุงดินในชุดทดลองต่างๆ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของการนำธาตุอาหารจากสารบำรุงดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และโพแทสเซียมเป็นธาตุที่พืชต้องการมาก และมีอิทธิพลต่อการเติบโตของพืช เพราะโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจของพืช โพแทสเซียมมีบทบาทในการกำหนดการปิดเปิดปากใบ โพแทสเซียมยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ในพืช การสังเคราะห์โปรตีนในพืช และกิจกรรมของเอนไซม์ โดยโพแทสเซียมทำหน้าที่เป็น activator ของเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิดได้แก่ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ โฟโตฟอสโฟริเรชั่น ไกลโคไลซิส ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟริเรชั่น และ การหายใจ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากสารบำรุงดินชุดทดลองต่างๆจึงต่างกัน และสะสมในพืชแตกต่างกัน

4.5.1 ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอม

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนในน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมพบว่าชุดทดลองที่ 5, 8 และ 16 มีปริมาณไนโตรเจนในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1808.69, 1775.04 และ 1772.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) ปริมาณไนโตรเจนในส่วนของพืชทั้ง 3 ชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร a แสดงว่าพืชที่ปลูกในชุดทดลองที่ 5 และ 8 ในส่วนของพืชมีปริมาณไนโตรเจนเหมือนการปลูกพืชที่ใช้ปุ๋ยเคมี(ชุดทดลองที่16) และมีค่าไนโตรเจนต่ำสุดในชุดทดลองที่1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) มีค่าเท่ากับ 967.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน ในทุกชุดทดลองจะมีไนโตรเจนในส่วนของพืชสูงกว่าทุกชุดทดลอง แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนในดินได้สูงทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมพบว่าชุดทดลองที่ 7 และ 16 มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 414.3 และ 426.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนของพืชทั้ง 2 ชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร a แสดงว่าพืชที่ปลูกในชุดทดลองที่ 7 ในส่วนของพืชมีปริมาณฟอสฟอรัส

เหมือนการปลูกพืชที่ใช้ปุ๋ยเคมี(ชุดทดลองที่16) และมีค่าฟอสฟอรัสต่ำสุดในชุดทดลองที่1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) มีค่าเท่ากับ 229.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชุดทดลองที่มีการเติมกากจี้แป้ง และกากตะกอน ในทุกชุดทดลองจะมีฟอสฟอรัสในส่วนของพืชสูงกว่าทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อย ฟอสฟอรัสในดินได้สูงทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากจี้แป้ง และกากตะกอน

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมพบว่าชุดทดลองที่ 16 มีปริมาณโพแทสเซียมในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 531.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.10) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 4, 7, 11 และ 13 มีค่าเท่ากับ 487.06, 486.10, 482.00 และ 485.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.10) ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมในส่วนของพืชทั้ง 4 ชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร b แต่พืชที่ปลูกในชุดทดลองทั้ง 4 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกผักกาดหอม ทั้งนี้การเติมกากจี้แป้ง และกากตะกอนในทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่4.10 พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมสะสมในส่วนของพืชสูงกว่าชุดทดลองที่1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 365.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินได้สูงกว่า ทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากจี้แป้ง และกากตะกอน

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหมักแห้งของผักกาดหอม (หน่วย : มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
1	5:0:0	967.71 h	229.94 g	365.03 g
2	4:1:0	1244.21 fg	242.76 g	389.10 f
3	3:2:0	1606.54 bc	371.80 c	450.76 cde
4	2:3:0	1602.70 bc	389.74 b	487.06 b
5	1:4:0	1808.69 a	296.93 ef	440.17 ed
6	3:1:1	1274.40 fg	312.73 d	452.30 cde
7	2:2:1	1658.99 b	414.3 a	486.10 b
8	1:3:1	1775.04 a	313.11 d	438.97 e
9	4:0:1	1204.86 g	286.77 f	397.48 f
10	3:0:2	1322.76 f	391.77 b	462.26 c
11	2:0:3	1479.91 e	377.40 bc	482.00 b
12	1:0:4	1592.39 bcd	304.22 de	457.60 cd
13	2:1:2	1504.82 cde	385.92 bc	485.45 b
14	1:2:2	1491.05 de	302.39 de	444.63 cde
15	1:1:3	1490.44 de	295.12 ef	438.72 e
16	ปุ๋ยเคมี	1772.26 a	426.00 a	531.64 a

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.5.2 ปริมาณธาตุอาหารในมะเขือเทศ

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนในน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศพบว่าชุดทดลองที่ 4, 7 และ 16 มีปริมาณไนโตรเจนในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1691.12, 1660.1 และ 1682.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ปริมาณไนโตรเจนในส่วนของพืชทั้ง 3 ชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร a แสดงว่าพืชที่ปลูกในชุดทดลองที่ 4 และ 7 ในส่วนของพืชมีปริมาณไนโตรเจนเหมือนการปลูกพืชที่ใช้ปุ๋ยเคมี(ชุดทดลองที่ 16) และมีค่าไนโตรเจนต่ำสุดในชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) มีค่าเท่ากับ 1110.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน ในทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11 จะมีไนโตรเจนในส่วนของพืชสูงกว่าทุกชุดทดลอง แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนในดินได้สูงทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศพบว่าชุดทดลองที่ 7 และ 16 มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 580.44 และ 581.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนของพืชทั้ง 2 ชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร a แสดงว่าพืชที่ปลูกในชุดทดลองที่ 7 ในส่วนของพืชมีปริมาณฟอสฟอรัสเหมือนการปลูกพืชที่ใช้ปุ๋ยเคมี(ชุดทดลองที่ 16) และมีค่าฟอสฟอรัสต่ำสุดในชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) มีค่าเท่ากับ 281.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน ในทุกชุดทดลองจะมีฟอสฟอรัสในส่วนของพืชสูงกว่าทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11 แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อย ฟอสฟอรัสในดินได้สูงทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศพบว่าชุดทดลองที่ 16 มีปริมาณโพแทสเซียมในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 367.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.11) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 7 มีค่าเท่ากับ 353.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.11) ปริมาณโพแทสเซียมในส่วนของพืชชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร a และ ab ทั้งนี้การเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมสะสมในส่วนของพืชสูงกว่าชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 276.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อย

โพแทสเซียมในดินได้สูงกว่า ทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศ
(หน่วย : มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เป้ง:กากตะกอน)	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	
1	5:0:0	1110.6 e	281.07 h	276.24 e
2	4:1:0	1174.2 d	333.03 f	299.07 de
3	3:2:0	1310.1 c	569.17 b	336.11 bc
4	2:3:0	1691.2 a	572.70 ab	349.23 abc
5	1:4:0	1586.4 b	562.89 b	350.05 abc
6	3:1:1	1205.7 d	405.68 d	343.43 abc
7	2:2:1	1660.1 a	580.44 a	353.24 ab
8	1:3:1	1632.3 ab	573.34 ab	326.12 bcd
9	4:0:1	1214.2 d	297.21 g	301.28 de
10	3:0:2	1283.6 c	423.14 c	326.00 bcd
11	2:0:3	1332.2 c	422.96 c	347.32 abc
12	1:0:4	1305.4 c	407.80 d	349.65 abc
13	2:1:2	1310.9 c	378.47 e	321.41 cd
14	1:2:2	1631.1 ab	561.10 b	330.04 bc
15	1:1:3	1305.2 c	412.05 d	342.00 abc
16	ปุ๋ยเคมี	1682.5 a	581.89 a	367.27 a

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.5.3 ปริมาณธาตุอาหารในข้าว

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนในน้ำหนักแห้งของข้าวพบว่าชุดทดลองที่ 5, 7 และ 16 มีปริมาณไนโตรเจนในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1128.96, 1118.42 และ 1109.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ปริมาณไนโตรเจนในส่วนของพืชทั้ง 3 ชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร a แสดงว่าพืชที่ปลูกในชุดทดลองที่ 5 และ 7 ในส่วนของพืชมีปริมาณไนโตรเจนเหมือนการปลูกพืชที่ใช้ปุ๋ยเคมี(ชุดทดลองที่ 16) และมีค่าไนโตรเจนต่ำสุดในชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) มีค่าเท่ากับ 122.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน ในทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 จะมีไนโตรเจนในส่วนของพืชสูงกว่าทุกชุดทดลอง แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนในดินได้สูงทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำหนักแห้งของข้าวพบว่าชุดทดลองที่ 13 มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชสูงสุด มีค่าเท่ากับ 395.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ(ตารางที่ 4.12) รองลงมาคือชุดทดลองที่ 7 และ 16 มีค่าเท่ากับ 387.66 และ 386.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ(ตารางที่ 4.12) ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนของพืชทั้ง 3 ชุดทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติพิจารณาจากอักษร a และ ab แสดงว่าพืชที่ปลูกในชุดทดลองที่ 7 และ 13 ในส่วนของพืชมีปริมาณฟอสฟอรัสเหมือนการปลูกพืชที่ใช้ปุ๋ยเคมี(ชุดทดลองที่ 16) และมีค่าฟอสฟอรัสต่ำสุดในชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) มีค่าเท่ากับ 34.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน ในทุกชุดทดลองจะมีฟอสฟอรัสในส่วนของพืชสูงกว่าทุกชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อย ฟอสฟอรัสในดิน ได้สูงทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้มาก ส่งผลให้การเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอน

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำหนักแห้งของข้าว พบว่าชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนลงในดินในการเพาะปลูกข้าว ปริมาณ โพแทสเซียมในส่วนของพืชพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองที่ 16 (มีการเติมปุ๋ยเคมี) และชุดทดลองที่ 1(ชุดทดลองควบคุม ไม่มีการเติมสิ่งใด)ซึ่งทั้งสองชุดทดลองไม่มีความแตกต่างกันพิจารณาจากอักษร b อาจเนื่องจากปุ๋ยเคมีที่ใช้คือสูตร 16 - 20 - 0 ทำให้ไม่มีการเติมโพแทสเซียมลงสู่ดิน ทั้งนี้การเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในทุกชุดทดลอง พบว่ามีแนวโน้ม

ปริมาณโพแทสเซียมสะสมในส่วนของพืชเพิ่มขึ้น แสดงว่าชุดทดลองสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินได้สูงกว่า ทำให้พืชสามารถดึงธาตุมาสะสมในส่วนของพืชได้

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหนักแห้งของข้าว(หน่วย : มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
1	5:0:0	122.25 h	34.79 h	442.59 b
2	4:1:0	381.89 g	190.47 g	970.45 a
3	3:2:0	1048.04 ab	328.75 def	983.76 a
4	2:3:0	987.04 bcd	323.5 ef	981.54 a
5	1:4:0	1128.96 a	370.21 b	984.32 a
6	3:1:1	1068.67 ab	315.89 f	974.61 a
7	2:2:1	1118.42 a	387.66 ab	984.50 a
8	1:3:1	1027.17 abc	370.34 b	984.98 a
9	4:0:1	379.56 g	206.29 g	975.33 a
10	3:0:2	693.99 f	311.05 f	988.34 a
11	2:0:3	912.71 d	347.90 cd	988.82 a
12	1:0:4	680.37 f	338.03 de	998.16 a
13	2:1:2	807.90 e	395.75 a	985.67 a
14	1:2:2	1001.35 bcd	366.52 bc	986.09 a
15	1:1:3	940.70 cd	342.99 de	988.95 a
16	ปุ๋ยเคมี	1109.33 a	386.76 ab	431.62 b

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

4.6. การศึกษาปริมาณสังกะสีที่สะสมอยู่ในพืชทดลอง

ปริมาณสังกะสีในน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมพบว่ามีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ 8 มีค่าเท่ากับ 130.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.13) พบว่าในชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนในดิน ทุกชุดทดลองมีปริมาณสังกะสีสะสมในส่วนของพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พิจารณาจากอักษร a และ ab แต่ชุดทดลองที่ 16 (ปุ๋ยเคมี) และชุดทดลองที่ 1 (ชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด) พบว่าไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองชุดทดลองแตกต่างกับชุดทดลองที่มีการเติมกากตะกอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณสังกะสีละลายลงดินมากทำให้พืชสามารถดึงดูมาใช้สะสมที่ส่วนของพืชได้มาก แต่ปริมาณที่สะสมอยู่ในส่วนของพืช Chaney (1982) กล่าวว่า ปริมาณสังกะสีในพืช ณ ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช 500 – 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(ตารางที่ 4.13) แสดงว่าในน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมไม่อยู่ในช่วงนี้

ปริมาณสังกะสีในน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศ พบว่ามีปริมาณสังกะสีน้อยมากทำให้เครื่องมือไม่สามารถอ่านค่าได้ อาจเนื่องมาจากการดูดใช้สังกะสีของมะเขือเทศจะมีปริมาณลดลงเมื่อพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสในวัสดุปลูกปริมาณสูง(Ward, 1977) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์กากขี้เป้ง และกากตะกอนก่อนการเพาะปลูกพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.6 แต่ไม่พบอาการขาดสังกะสีในมะเขือเทศแต่อย่างใด เพราะอาการขาดสังกะสีของมะเขือเทศแสดงออกที่ใบซีดเหลือง และบิด อาจเป็นเพราะมะเขือเทศเป็นพืชที่ต้องการสังกะสีในการเติบโตต่ำ พืชจึงไม่แสดงอาการโรคพืชออกมา

ปริมาณสังกะสีในน้ำหนักแห้งของข้าว พบว่าปริมาณสังกะสีในข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าในชุดทดลองที่มีการเติมกากขี้เป้ง และกากตะกอนลงดินในการเพาะปลูกข้าว เทียบกับชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 16 ซึ่งเป็นชุดทดลองควบคุมไม่มีการเติมสิ่งใด และชุดทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว ไม่มีความแตกต่างการสะสมสังกะสีในส่วน of พืชแต่อย่างใด

จากการทดลองน้ำหนักร้างของพืชทั้งสามชนิดพบว่า ปริมาณสังกะสีในกากขี้เป้ง และกากตะกอนที่พบว่ามีปริมาณสังกะสีในปริมาณมากจนอาจเกิดผลกระทบต่อพืช เมื่อมีการเติมลงดินจากผลวิเคราะห์น้ำหนักร้าง พบว่าไม่ได้ทำให้พืชได้รับปริมาณสังกะสีมากจนอยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อพืช แต่อย่างใด

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในน้ำหนักร้างพืชทดลอง (หน่วย : มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม)

ชุดทดลอง (ดิน:กากขี้เป้ง:กากตะกอน)		ผักกาดหอม	มะเขือเทศ	ข้าว**
1	5:0:0	50.95 c	Trace	0.21
2	4:1:0	115.00 b	Trace	0.18
3	3:2:0	125.39 ab	Trace	0.20
4	2:3:0	126.81 ab	Trace	0.24
5	1:4:0	125.30 ab	Trace	0.22
6	3:1:1	113.24 b	Trace	0.20
7	2:2:1	115.26 b	Trace	0.21
8	1:3:1	130.75 a	Trace	0.22
9	4:0:1	113.29 b	Trace	0.20
10	3:0:2	113.94 b	Trace	0.20
11	2:0:3	113.75 b	Trace	0.18
12	1:0:4	114.08 b	Trace	0.19
13	2:1:2	115.01 b	Trace	0.21
14	1:2:2	115.95 b	Trace	0.22
15	1:1:3	115.63 b	Trace	0.19
16	ปุ๋ยเคมี	62.29 c	Trace	0.20

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
2. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันกันในแต่ละสดมภ์ หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
3. ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีมากกว่า 1 ตัวในแต่ละสดมภ์ เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT
4. Trace หมายถึง มีปริมาณน้อยมากเครื่องมือไม่สามารถอ่านค่าได้
5. ** ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05

ตารางที่ 4.14 ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982)

ชนิดของโลหะ	ปริมาณโลหะหนักระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
เหล็ก	-
แมงกานีส	400 – 2,000
สังกะสี	500 – 1,500
ทองแดง	25 – 40
นิกเกิล	50 – 100
ตะกั่ว	-
แคดเมียม	5 - 700

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการเสนอตัวเลข

4.7. ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดิน

ในการศึกษาหาอัตราส่วนของดิน กากขี้เถ้า และกากตะกอนที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำมาเป็นวัสดุบำรุงดิน โดยเลือกวิธีพิจารณาจากพืชทดสอบ ด้วยวิธีการปลูกพืชทดลองลงในชุดทดลองที่จะทำการประเมินเปรียบเทียบ โดยการใช้เทคนิค Nutrient omission technique โดยการให้มีชุดทดลองกลุ่มควบคุมที่ใส่ธาตุอาหารพืชครบทุกธาตุ ตามที่พืชแต่ละชนิดต้องการ ในปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสม และนำมาเปรียบเทียบกับชุดทดลองต่างๆตามที่จะทดสอบ การเปรียบเทียบหากกลุ่มใดมีผลทำให้พืชเจริญเติบโตต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (complete) ก็หมายความว่า ดินนั้นขาดธาตุอาหาร (วิเชียร ฝอยพิกุล, 2536)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพืชทดสอบ 3 ชนิด ในชุดทดลองแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

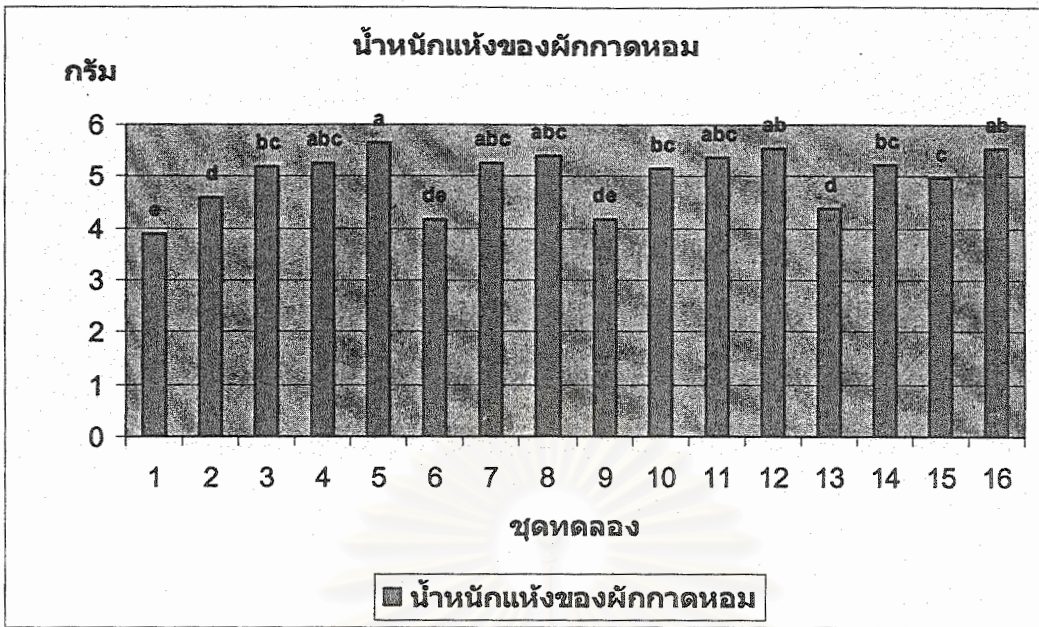
- กลุ่มควบคุมที่เป็นดินเดิมคือ ไม่มีการเติมสิ่งใดในการทดลอง (ชุดทดลองที่ 1)

- กลุ่มควบคุมที่มีการเติมปุ๋ยเคมีสูตรที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ในการปลูกพืชในทางการเกษตรของพืชแต่ละชนิด คือ ผักกาดหอม ใช้ปุ๋ยสูตร 16 - 16 - 16 มะเขือเทศใช้ปุ๋ยสูตร 10 - 20 - 15 และข้าวใช้ปุ๋ยสูตร 16 - 20 - 0
- กลุ่มทดลองที่มีการเติม กากขี้เป้ง และกากตะกอนในอัตราส่วนต่างๆ

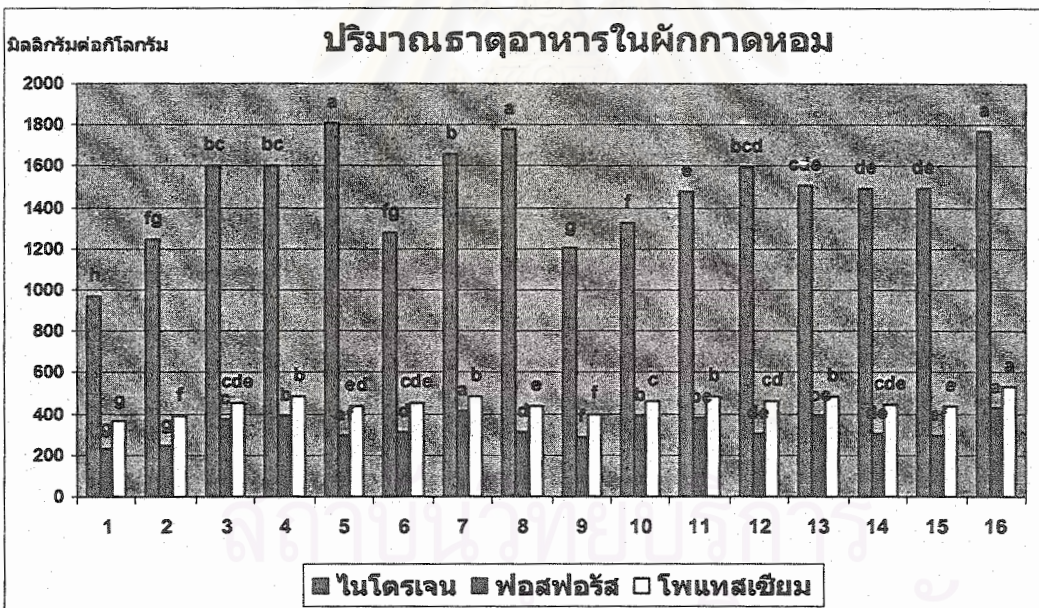
ทำการศึกษาการเติบโตของพืช ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆของพืช และปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการเพาะปลูกสามารถประเมินอัตราส่วนของดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนที่เหมาะสมในพืชแต่ละชนิดได้ดังนี้

4.7.1. การทดลองปลูกผักกาดหอม

การศึกษาการเติบโตของผักกาดหอมพบว่า ในชุดทดลองที่ 5, 7, 8, และ 12 ให้ผลของน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมไม่แตกต่างจากน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ได้รับจากปุ๋ยเคมี (รูปที่ 4.12) และเมื่อพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารที่ผักกาดหอมได้รับจากชุดทดลองพบว่า ชุดทดลองที่ 7 ให้ปริมาณของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไม่แตกต่างจากการปลูกพืชที่ใส่ปุ๋ยเคมี และชุดการทดลองที่ 8 ให้ปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี (รูปที่ 4.13) เมื่อพิจารณาน้ำหนักผลผลิตที่ได้ในชุดการทดลองที่ 7 และ 8 ให้ผลผลิตพืชไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี การที่ชุดทดลองที่ 7 ให้ปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าอาจเนื่องมาจาก ปุ๋ยเคมีสามารถให้ไนโตรเจนในรูปไนเตรทได้ทันทีที่ต่อความต้องการของพืช ส่วนกากขี้เป้ง และกากตะกอนนั้น แม้ว่าจะสามารถปลดปล่อยไนเตรท แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเมื่อใส่ลงดินด้วย ทั้งนี้ เพราะการเกิดขบวนการสลายตัวของอินทรีย์ไนโตรเจนต้องใช้ระยะเวลา ประมาณ 3 สัปดาห์ ในการที่จะปลดปล่อยไนเตรทเพิ่มให้แก่ดิน (Kelling et al., 1977) และเมื่อทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการปลูกผักกาดหอม พบว่าชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สะสมในดินเหมือนการปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (รูปที่ 4.14) แสดงว่าสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชในฤดูกาลปลูกต่อไปได้ จะเห็นได้ชุดทดลองที่ 7 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 2 : 2 : 1 และชุดทดลองที่ 8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 1 : 3 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ผลผลิตพืช และธาตุอาหารในดิน และในพืชได้เหมือนกับการปลูกพืชในดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมี

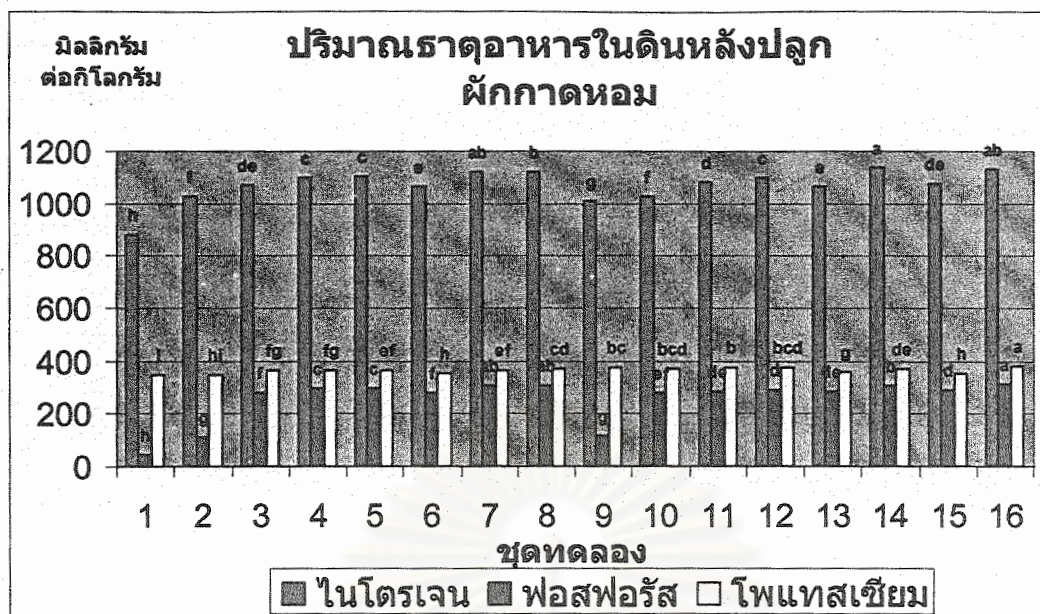


รูปที่ 4.12 น้ำหนักแห้งของผักกาดหอม



รูปที่ 4.13 ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอม

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT



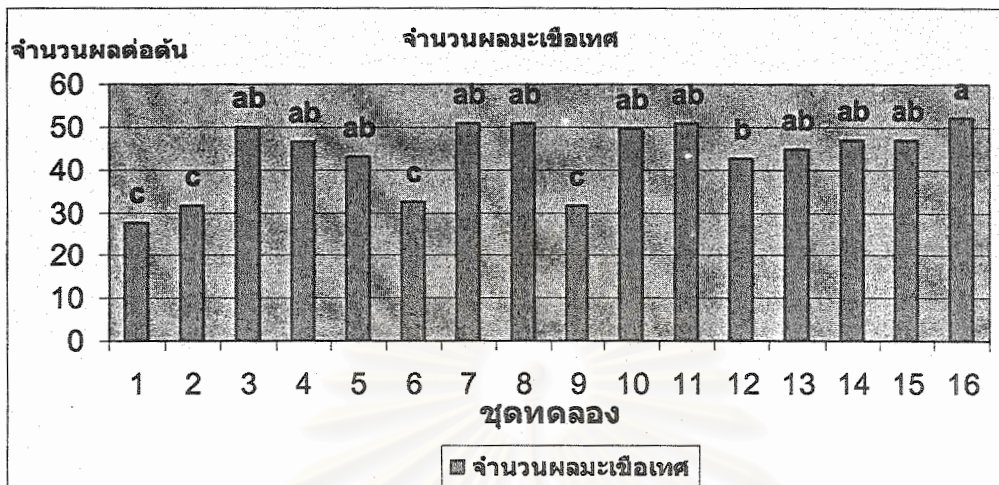
รูปที่ 4.14 ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกผักกาดหอม

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

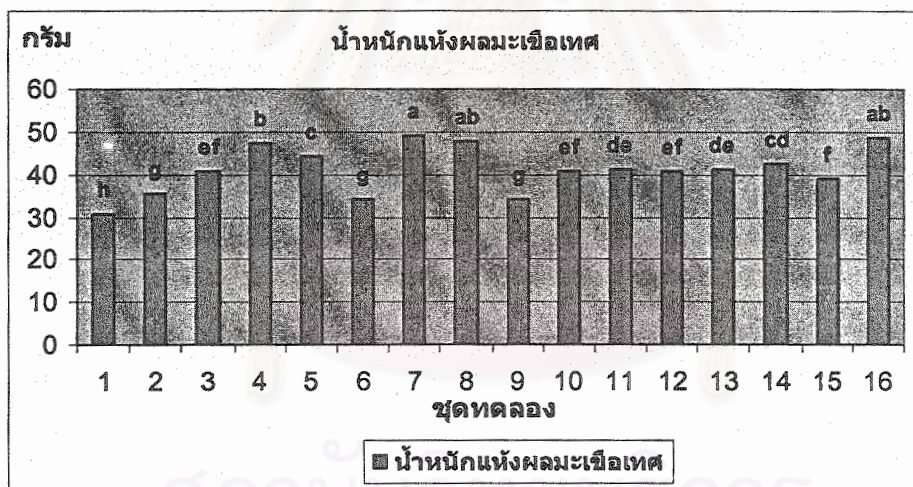
4.7.2. การทดลองปลูกมะเขือเทศ

การศึกษาการเติบโตของมะเขือเทศพบว่า ในชุดทดลองที่ 4 7 8 ให้ผลผลิตของมะเขือเทศ โดยศึกษาจาก จำนวนผลมะเขือเทศต่อต้น และน้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศ และน้ำหนักแห้งของ ต้นมะเขือเทศไม่แตกต่างจาก ต้นมะเขือเทศที่ปลูกโดยได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี(รูปที่ 4.15 - 4.17) และเมื่อพิจารณาจาก ปริมาณธาตุอาหารที่มะเขือเทศได้รับจากชุดทดลองพบว่า ชุดทดลองที่ 7 ให้ปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไม่แตกต่างจากการปลูกพืชที่ใส่ปุ๋ยเคมี และชุดการทดลองที่ 8 ให้ปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ไม่แตกต่างจากการปลูกพืชที่ใส่ ปุ๋ยเคมี(รูปที่ 4.18) และเมื่อทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชในดินหลังการปลูกมะเขือเทศ พบว่า ชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สะสมในดินเหมือนการปลูกในดินที่มีการ ใส่ปุ๋ยเคมี(รูปที่ 4.19) แสดงว่าสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชในฤดูกาลปลูกต่อไปได้ จะเห็น ได้ชุดทดลองที่ 7 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 2 : 2 : 1 และชุดทดลองที่ 8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 1 : 3

:1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ผลผลิตพืช และธาตุอาหารในดิน และในพืช ได้เหมือนกับการปลูกพืชในดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมี

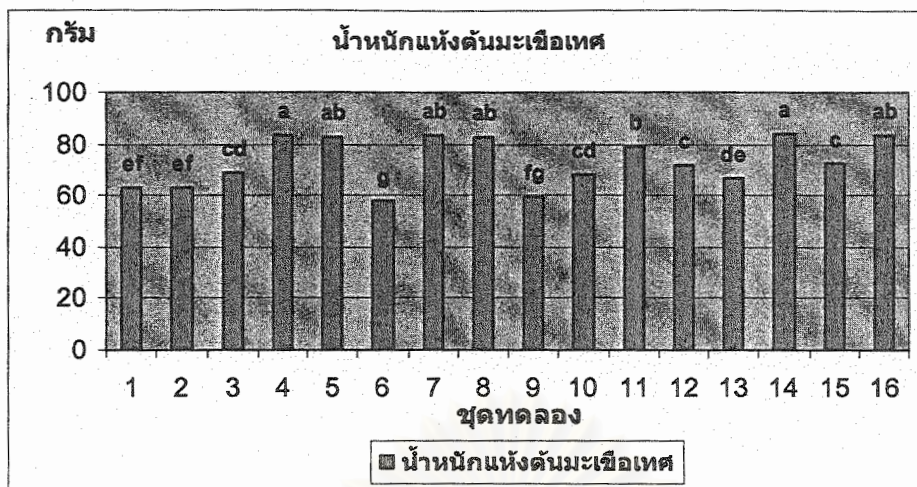


รูปที่ 4.15 จำนวนผลมะเขือเทศ

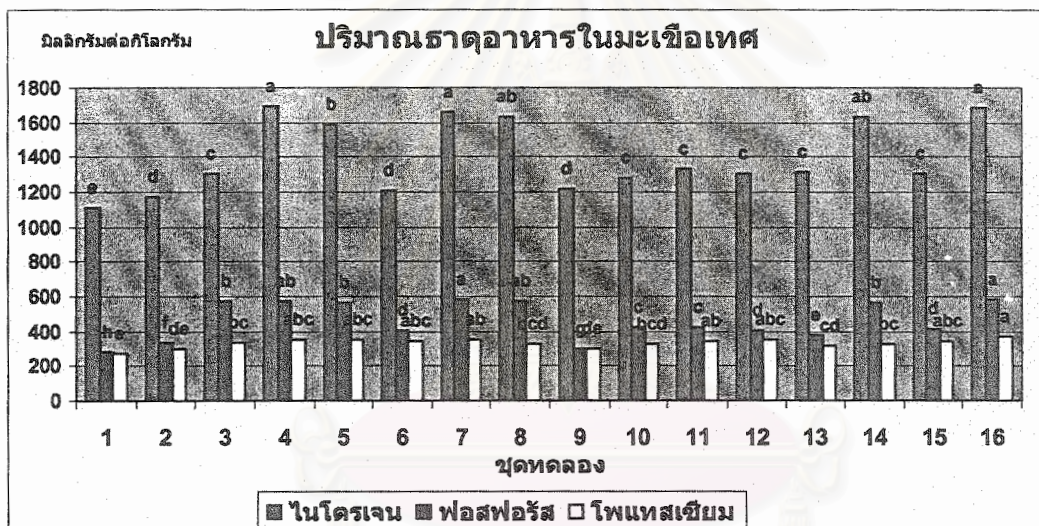


รูปที่ 4.16 น้ำหนักแห้งผลมะเขือเทศ

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

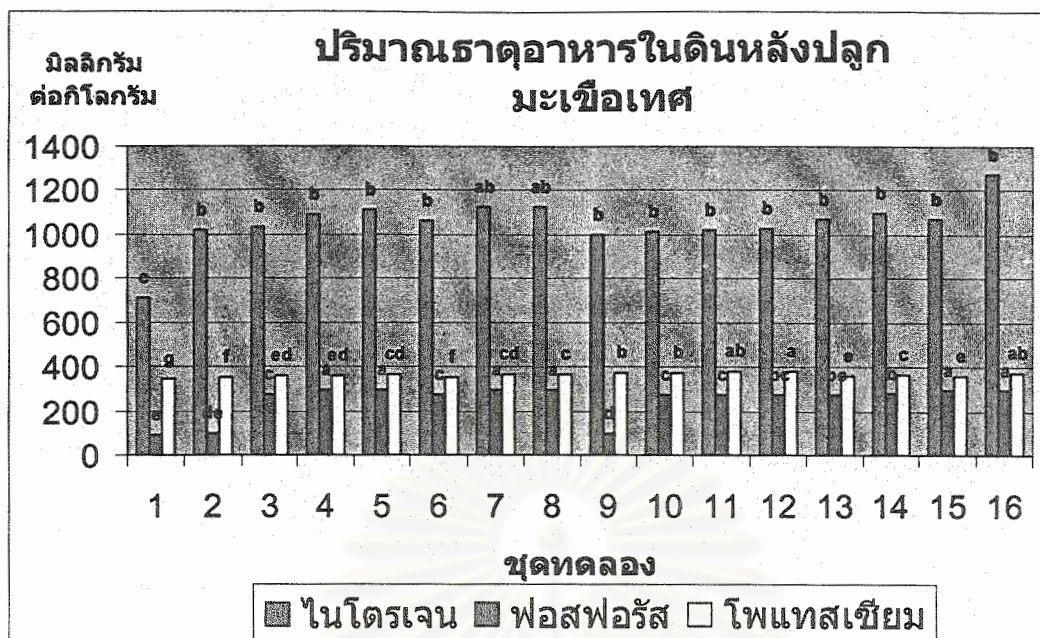


รูปที่ 4.17 น้ำหนักแห้งต้นมะเขือเทศ



รูปที่ 4.18 ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหนักแห้งมะเขือเทศ

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT



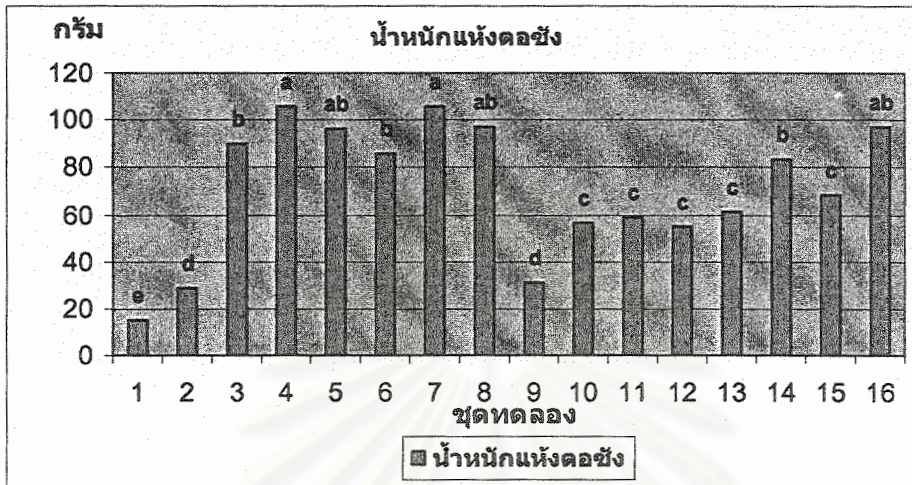
รูปที่ 4.19 ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกมะเขือเทศ

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

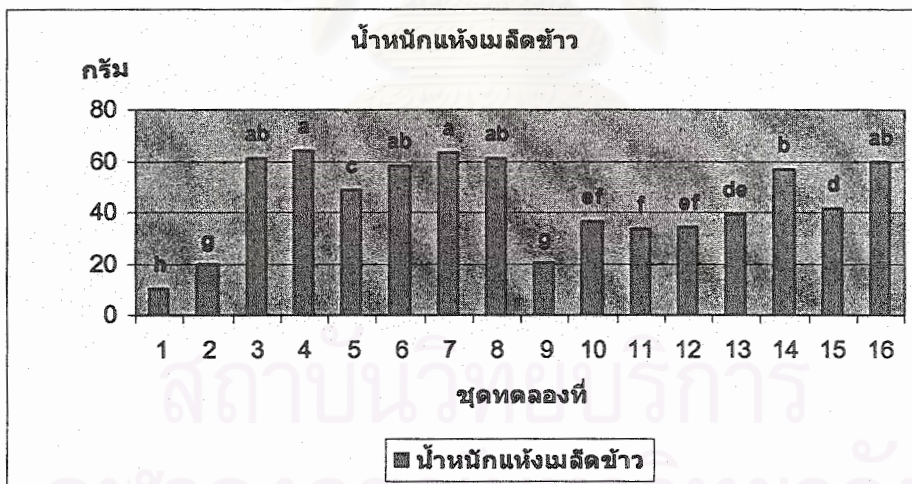
4.7.3 การทดลองปลูกข้าว

การศึกษาการเติบโตของข้าวพบว่า ในชุดทดลองที่ 4, 7 และ 8 ให้ผลของน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว และผลของน้ำหนักแห้งต่อชั่ง ไม่แตกต่างจากน้ำหนักแห้งของพืชที่ได้รับจากปุ๋ยเคมี (รูปที่ 4.20, 4.21) และเมื่อพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวได้รับจากชุดทดลองพบว่า ชุดทดลองที่ 7 และ 8 ให้ปริมาณของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ไม่แตกต่างจากการปลูกพืชที่ใส่ปุ๋ยเคมี (รูปที่ 4.22) ถึงแม้จะมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าในปุ๋ยเคมี แต่เมื่อพิจารณาน้ำหนักผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน การที่ชุดทดลองที่ 7 และ 8 ให้ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าอาจเนื่องมาจาก กากขี้เถ้า และกากตะกอนนั้น ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเมื่อใส่ลงดินด้วย และเมื่อทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการปลูกข้าว พบว่าชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สะสมในดินเหมือนการปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าดินที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีด้วย (รูปที่ 4.23) อาจเนื่องมาจากสูตรปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองไม่มีการเติมโพแทสเซียมในดินทำให้ในชุดทดลองที่ 7 และ 8 มีการสะสมโพแทสเซียมมากกว่า แสดงว่าสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชในฤดูกาลปลูกต่อไปได้ จะเห็นได้ชุดทดลองที่ 7 ซึ่งเป็นอัตรา

ส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 2 : 2 : 1 และชุดทดลองที่ 8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 1 : 3 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ผลผลิตพืช และธาตุอาหารในดิน และในพืช ได้เหมือนกับการปลูกพืชในดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมี

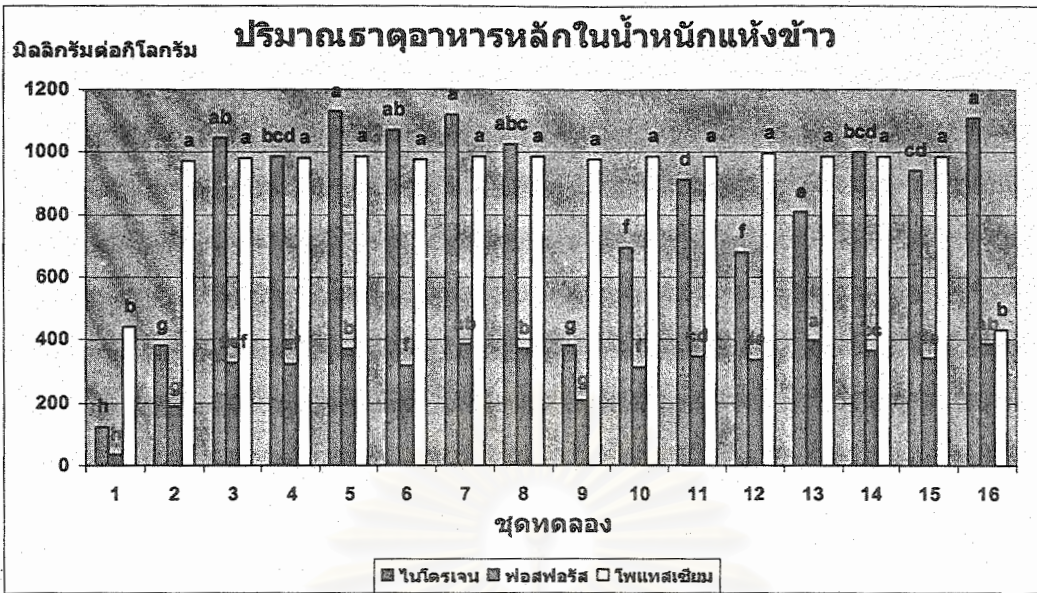


รูปที่ 4.20 น้ำหนักแห้งตอซัง

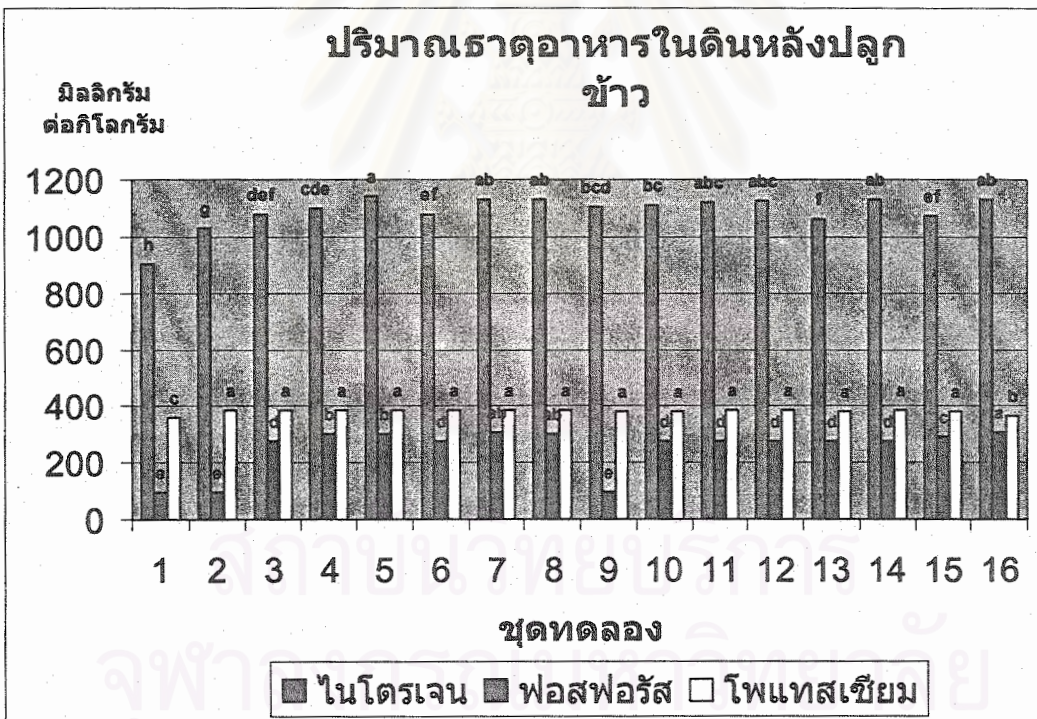


รูปที่ 4.21 น้ำหนักแห้งเมล็ดข้าว

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT



รูปที่ 4.22 ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหนักแห้งข้าว



รูปที่ 4.23 ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกข้าว

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ตามวิธี DMRT

จากการศึกษาการเติบโตของพืชทดลอง และการสะสมธาตุอาหารของพืชในพืช และในดิน ในผักกาดหอม มะเขือเทศ และข้าว พบว่าชุดทดลองที่ 7 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้แ่่ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 2 : 2 : 1 และชุดทดลองที่ 8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสม ระหว่าง ดิน : กากขี้แ่่ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 1 : 3 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ผลผลิตพืช และธาตุอาหารในดิน และในพืช ได้เหมือนกับการปลูกพืชในดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมี เนื่องจากชุดการทดลองที่ 7 และชุดการทดลองที่ 8 ให้ผลในการวิเคราะห์ห่อออกมาใกล้เคียงกัน ถ้าพิจารณาในเรื่องการนำกากตะกอน และกากขี้แ่่งซึ่งเป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ในรูปสารบำรุงดิน และพิจารณาค่าแนวทางการกำจัดของเสียเหล่านี้ อัตราส่วนในชุดการทดลองที่ 8 จะมีปริมาณการใช้ของเสียมากกว่า ชุดการทดลองที่ 7 ซึ่งหมายถึงชุดการทดลองที่ 8 จะสามารถเป็นแนวทางในการกำจัดของเสีย และนำของเสียมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าชุดการทดลองที่ 7

4.8. การประเมินค่าใช้จ่ายในการนำกากขี้แ่่ง และกากตะกอนมาทำเป็นวัสดุบำรุงดิน

ค่าใช้จ่ายในการนำกากขี้แ่่ง และกากตะกอนมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช โดยคำนวณเปรียบเทียบภายใต้สภาวะที่ได้ผลผลิตพืชที่ไม่แตกต่างกัน โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น คือ ค่าแรงงานของคนงาน และค่าปุ๋ย

4.8.1 ค่าใช้จ่ายจากการใช้ปุ๋ยเคมีในทางการเกษตร

ค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยเคมี มีรายละเอียดดังนี้

- ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอม สูตร 16 – 16 – 16
ราคาประมาณ กิโลกรัมละ 45 บาท
- ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศ สูตร 10 – 20 – 15
ราคาประมาณ กิโลกรัมละ 42 บาท
- ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกข้าว สูตร 16 – 20 – 0
ราคาประมาณ กิโลกรัมละ 46 บาท

4.8.2 ค่าใช้จ่ายจากการใช้ประโยชน์กากชี้เป้งมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุบำรุงดิน

ค่าใช้จ่ายในการนำกากชี้เป้งมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุบำรุงดินนั้น จะมาจากการทำกากชี้เป้งให้แห้งก่อนโดยการระเหยเอาไอน้ำออก ด้วยวิธีการตากแห้ง (air dry) เป็นการใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ด้วยกากชี้เป้งที่มาจากโรงงานเป็นของเสียนที่มีความชื้น โดยมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น เท่ากับ 42.5 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งของกากชี้เป้ง เท่ากับ 57.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในกากชี้เป้ง 100 กิโลกรัมจะมีน้ำหนักน้ำ เท่ากับ 42.5 กิโลกรัม และมีน้ำหนักกากชี้เป้ง เท่ากับ 57.5 กิโลกรัม โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมาจาก ค่าใช้จ่ายในส่วนของแรงงานคนสามารถคำนวณได้ดังนี้

ปริมาณกากชี้เป้งสด 1000 กิโลกรัม สามารถทำให้แห้ง ด้วยวิธีการตากแห้ง (air dry) ใช้เวลาประมาณ 7 วัน จะได้กากชี้เป้งแห้ง 575 กิโลกรัม

ค่าแรงงาน คิดเป็นอัตราชั่วโมงละ 24 บาทต่อคน (อัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำ) ใช้ระยะเวลาในการตาก และเก็บโดยเฉลี่ย ประมาณ 1 คน 1 ชั่วโมงต่อกากชี้เป้งสด 3 ตัน คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการตากแห้งกากชี้เป้ง ดังนี้ ในการตากชี้เป้งสด 3000 กิโลกรัม แล้วได้กากชี้เป้งแห้ง 1725 กิโลกรัม จะเกิดค่าใช้จ่าย 0.01 บาทต่อกากชี้เป้งหนึ่งกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของกากชี้เป้ง หรือ กิโลกรัมละ 0.01 บาท

4.8.3 ค่าใช้จ่ายจากการใช้ประโยชน์กากตะกอนมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุบำรุงดิน

เนื่องจากกากตะกอนเป็นของแข็งที่ ผ่านการตากแห้งมาเรียบร้อยแล้วจากขบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ทำให้กากตะกอนที่ใช้สามารถนำมาใช้ได้เลย ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นจากการใช้ประโยชน์จากกากตะกอน อาจมีเพียงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายจริงขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ ระยะทางที่นำไปใช้ซึ่งต้องพิจารณาจริงอีกที่หากมีการนำไปใช้จริงในทางการเกษตร

4.8.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการนำกากชี้เป้ง และกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในรูปสารบำรุงดิน เทียบกับปุ๋ยเคมี

จากการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปลูกพืชทดลองทั้ง 3 ชนิด พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคืออัตราส่วน 2 : 2 : 1 โดยเป็นการผสมอัตราส่วนดิน 2 กิโลกรัม กากขี้เป้ง 2 กิโลกรัม และกากตะกอน 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่ายในการใช้อัตราส่วนนี้เท่ากับ 0.02 บาท

จากการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปลูกพืชทดลองทั้ง 3 ชนิด พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคืออัตราส่วน 1 : 3 : 1 โดยเป็นการผสมอัตราส่วนดิน 1 กิโลกรัม กากขี้เป้ง 3 กิโลกรัม และกากตะกอน 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่ายในการใช้อัตราส่วนนี้เท่ากับ 0.03 บาท

จากชุดทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอม สูตร 16 - 16 - 16 ใช้อัตราส่วน 84 กิโลกรัมต่อไร่ เกิดค่าใช้จ่าย 0.06 บาท

จากชุดทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศ สูตร 10 - 20 - 15 ใช้อัตราส่วน 120 กิโลกรัมต่อไร่ เกิดค่าใช้จ่าย 0.08 บาท

จากการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกข้าว สูตร 16 - 20 - 0 ใช้อัตราส่วน 55 กิโลกรัมต่อไร่ เกิดค่าใช้จ่าย 0.04 บาท

จากการคำนวณ พบว่า ค่าใช้จ่ายในเบื้องต้นของการนำกากขี้เป้ง และกากตะกอนมาทำเป็นวัสดุบำรุงดิน มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น ในราคาที่ถูกกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในสูตรที่เกษตรกรนิยมใช้ในการปลูกพืช เพื่อเพิ่มผลผลิตพืช และเมื่อพิจารณาในเรื่องการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น พิจารณาร้อยค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสีย การนำกากขี้เป้ง และกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน ทำให้เป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการกำจัด และเป็นการเพิ่มมูลค่าของเสียให้มีประโยชน์ขึ้นมาใหม่

การคำนวณต้นทุนกากขี้เป้ง เป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายเพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติอาจมีการเปลี่ยนแปลงต้นทุนอีกเพราะถ้ามีการทำกากขี้เป้งในปริมาณมากขึ้น ต้นทุนค่าแรงงานอาจลดลงไปอีก และอาจมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมเกิดขึ้นอีก เช่น ค่าขนส่ง เป็นต้น ซึ่งหากต้องดำเนินการนำกากขี้เป้งมาอยู่ในรูปวัสดุบำรุงดิน อาจมีค่าใช้จ่ายเหล่านี้เกิดขึ้น จึงต้องนำมาคำนวณรวมด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1. ลักษณะสมบัติของดิน กากขี้เป้ง และกากตะกอนไม่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุบำรุงดินในการปลูกพืช โดยทำการวิเคราะห์ก่อนการเพาะปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) มีค่าเท่ากับ 6.96, 7.89 และ 6.83 ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีค่าเท่ากับ 2.40, 21.64 และ 29.39 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1,097.50, 28,160.14 และ 49,749.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ปริมาณไนเตรท มีค่าเท่ากับ 67.25, 398.26 และ 429.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแอมโมเนียม มีค่าเท่ากับ 68.05, 3,794.10 และ 2,374.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 1,340.83, 30,400.87 และ 29,758.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าเท่ากับ 267.85, 1,785.09 และ 2,178.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สังกะสีที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 0.45, 84.00 และ 28.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

5.1.2. การศึกษาการเติบโตของพืชทดลอง พิจารณาจากผลผลิตพืชที่ได้เปรียบเทียบกับ การปลูกพืชที่มีการเติมปุ๋ยเคมี พบว่า ในการปลูกผักกาดหอมในอัตราส่วน ดิน:กากขี้เป้ง:กากตะกอน เท่ากับ 2:2:1 ให้น้ำหนักแห้งของผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมในพืช ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกผักกาดหอม และในการปลูกมะเขือเทศในอัตราส่วน ดิน:กากขี้เป้ง:กากตะกอน เท่ากับ 2:3:0, 1:3:1 และ 2:2:1 ให้จำนวนผลมะเขือเทศ น้ำหนักแห้งของผลมะเขือเทศ น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมในพืชไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกมะเขือเทศ และในการปลูกข้าวในอัตราส่วน ดิน:กากขี้เป้ง:กากตะกอน เท่ากับ 1:3:1 และ 2:2:1 ให้น้ำหนักแห้งของตอซัง และ น้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวและปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมในพืช ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว ทั้งนี้ในการทดลอง พืชทั้ง 3 ชนิด ไม่มีการแสดงลักษณะของการขาดธาตุอาหารแต่อย่างใด และการศึกษาปริมาณสังกะสีที่สะสมในพืช ไม่พบว่ามีปริมาณที่จะทำให้เป็นพิษต่อพืช แต่อย่างใด

5.1.3. การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดินในการทดลองปลูกผักกาดหอม มะเขือเทศและ ข้าว พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 1 : 3 : 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม เพราะทำให้การเติบโตของพืชทดลองไม่มีอาการขาด

ธาตุอาหารพืชแต่อย่างใด พิจารณาจากการสะสมธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพืช ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในการเติบโต และผลผลิตที่ได้จากพืชมีน้ำหนักแห้ง ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี และการสะสมธาตุอาหารในดินหลังการปลูกพบว่า ยังมีปริมาณการสะสมธาตุอาหารที่สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารในฤดูการปลูกต่อไปไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช และพบว่ายังมีปริมาณการสะสมสังกะสีในดิน ไม่อยู่ในระดับที่จะส่งผลกระทบต่อดินแต่อย่างใด ค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร

5.1.4. การประเมินค่าใช้จ่ายในการนำกากขี้เป้ง และกากตะกอนมาทำเป็นวัสดุบำรุงดิน พบว่า หนึ่งกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของกากขี้เป้ง มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0.01 บาท ค่าใช้จ่ายในอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ดิน : กากขี้เป้ง : กากตะกอนในอัตราส่วน 1 : 3 : 1 มีค่าใช้จ่ายในอัตราส่วนนี้ เท่ากับ 0.03 บาทเป็นต้นทุนในการปลูกพืชที่ถูกกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ ดินที่ใช้ทำการปลูกพืชทดลอง จัดว่าเป็นดินที่ค่อนข้างมีความอุดมสมบูรณ์ จึงน่าจะมีการศึกษานำกากขี้เป้ง และกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในรูปวัสดุบำรุงดินกับดินที่มีปัญหา เช่นดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่างสูง เพราะว่าคุณสมบัติของกากตะกอน และกากขี้เป้งน่าจะสามารปรับปรุงสภาพดินให้ดีขึ้นได้

5.2.2. การศึกษาครั้งนี้เป็นการดูประโยชน์ธาตุอาหารพืชโดยรวม แต่ด้วยคุณสมบัติทางเคมี ที่มีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปริมาณมาก จึงน่าจะมีการศึกษาการใช้ประโยชน์กากขี้เป้ง และกากตะกอน ในรูปปุ๋ยไนโตรเจน หรือปุ๋ยฟอสฟอรัสแทนปุ๋ยเคมี

5.2.3. กากขี้เป้ง และกากตะกอน การเก็บไว้ในระยะเวลาต่างๆ จะทำให้มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม โดยเฉพาะกากขี้เป้งที่มีสูง ถ้าจะมีการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในรูปวัสดุบำรุงดิน น่าจะมีการศึกษาอัตราการสูญเสียไนโตรเจนเพื่อจะดูประกอบการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปปุ๋ยตามเวลาที่เปลี่ยนไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2530. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2530. คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2535. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 547 หน้า.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 528 หน้า.
- คมกฤษ ภาคัยทองสุข. 2535. ความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนักของผักคะน้า และผักกาดหอม เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนร่วมกับแกลบในพื้นที่การเกษตรจังหวัด ปทุมธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ถวิล ครุฑกุล. 2530. การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตร. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- ปนัดดา คำรัตน์. 2545. ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้เป้งของโรงงานน้ำตาลขุ่น ในการกำจัดตะกั่ว และปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรัชญา รัญญาวดี. 2532. ความรู้เรื่องอินทรีย์วัตถุในดิน. กรุงเทพมหานคร:กรมพัฒนาที่ดิน

- ยงยุทธ โอสดสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.
- วราศรี เอกประสิทธิ์ และคณะ. 2542. คุณลักษณะกากจี้แบ่งและอัตราการเกิดกากจี้แบ่งของ
อุตสาหกรรมน้ำยางข้น ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5, หน้า
ENVI31-ENVI36. 24-26 มีนาคม 2542 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน จังหวัด
ชลบุรี.
- วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. การใช้ประโยชน์จากกากจี้แบ่งทดสอบกับการปลูกหญ้าสนาม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วันชัย แก้วยอด. 2540. การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง : กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิเชียร ฝอยพิกุล. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิชาวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี. สถาบันราชภัฏสุรินทร์
- สมภพ ฐิตะวันสวัสดิ์. 2527. หลักการผลิตผัก ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
- สมทิพย์ ดำนธีรวนิชย์ และคณะ. 2545. โครงการวิจัยเรื่องการจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยาง
ข้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม, หน้า 159-166,
โรงพิมพ์สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่
ที่ 2, 2525.
- อรรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ 2529. การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียในรูปของปุ๋ยสำหรับพื้นที่
เกษตรกรรมจังหวัดฉะเชิงเทรา. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรณพ ศิริรัตน์พิริยะ 2541. การจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน. สถาบันวิจัย
สถานะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Ajmal, M. and Khan, A.U. 1984. Effect of brewery effluent on agricultural soil and crop plants.
Environ. Pollut. (Series A) 33 : 341-351

Bingham, F.T., A.L. Page, R.J. Mahler, and T.J. Ganje, 1975. "Growth and Cadmium
Accumulation of Plant. Growth on a Soil Treated with a Cadmium-Enriched Sewage
Sludge," J. Environ. Qual., 4(2) : 207-211

Borchardt., J.A, W.J. Redman, G.E. Jones, and R.T. Sprague, 1981. Sludge and Its Ultimate
Disposal, P. 281, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan

Bradford, G.R., A.L. Page, L.J. Lund, and W. Olmstead, 1975. "Trace Element Concentrations of
Sewage Treatment Plant. Effluents and Sludge ; Their Interactions with Soil and Uptake
by Plants," J. Environ. Qual., 4 (1) :123-127

Channey, R. L. 1973. Crop and Food Chain Effecto of Toxic Elements in Sludgrs and Effluent.
Recycling Municipal Studges and Effluents on Land. pp. 129-191. Nation assoc. of State
Universities and Land-frant Colleges, Washington, D.C.

Channey, R.L., 1980. "Health Risks Associated with toxic Metals in Municipal Sludge," Sludge-
Health Rishe of land Application, (Bitton, G., B.L. Damron, eds.) , pp. 59-83, Ann Arbor
Science Publishers, Inc., Ann Arbon Michigan

Channey, R. L. 1982. Fate of Toxic Substances in Sludge Applied to Cropland. Proceedings
International Symposium Land Application of Sewage Sludge. Quoted in Kunt, H.,
Pluquet, E., Stark, J. H., and Coopoa, S. Current Techniques for the Evaluation of
Metal Problems Due to Slude. In P. L'Hermite, and H. Ott (eds.), Processing and Use of
sewage sludge, pp. 394-403 : D. Reidal Publishing Company, 1984

- Chaney, R.L. 1983. Potential effects of waste constituents on food chain. In : Parr, J.F, Marsh. P.B., and Kla, J.M. (eds) Land Treatment of Hazardous Wastes. Park Ridge, New Jersey : Noyes Data Corp. pp. 152-240
- Chaussod, R. 1981. Valeur Fertilisante azote des boues residyaires. In : Proceedings of Second European Symosium on the Treatment and Use of Sewage Sludge Vienna : Dordrecht, Quoted in Hall. J.E. Predicting the Nitrogen values of Sewage, In : P.L.' Hermite and H. Ott (eds.) Processing and Use of Sewage Sludge, pp. 268-277 Holland : D.Reidal Publishing Company
- Cunningham, J.D., Keen, D.R., and Ryan, J.A. 1975. Yield and metal composition of corn and rye grown on sewage sewage sludge amended soil. J. Environ. Qual. 4 : 448-454
- Day, A.D., and R.K. Thompson, 1986. "Fertilizer wheat. Wheat, with Dried Sludge," Bio Cycle, 27 (8) : 30-32
- Day, A.D., R.K. Thompson, and T.C. Tucker, 1983. "Effects of Dried Sewage Sludge on Barley genotypes", J. Environ. Qual. 12 (2) : 213-215
- Dolar, S.G., Boyle, J.R., and Keeney, D.R. 1972. Paper Mill Sludge Disposal on Soils : Effects on the Yield and Mineral Nutrition of Oats (Avena Sativa L.) J. Environ. Qual. 1 : 405-409
- Dowdy, R.H. and Larson, W.E. 1975. The availability of sludge-borne metals to various vegetable crops. J. Environ. 4 : 278-282
- Epstein, E.J.M. Taylor, and R.L. Chaney, 1976. "Effects of Sewage Sludge and Sludge Compost Applied to Soil on Some Soil Physical and Chemical Property," J. Environ. Qual. 5 (4): 422-426
- Follett, Ray H., Murphy, Larry S., and Donahue, Roy L. 1981. Fertilizers and Soil Amendments. New Jersey : Prentice Hall Inc.

- Gilles, J.A., Kushwaha, R.L., Hwang, C.P., and Ford, R.J. 1989. Heavy metal residues in soil and crops from application of anaerobically digested sludge. J.WPCF. 61 : 1673-1677
- Guidi, G., and Hall, J.E. 1984. Effect on sewage sludge on the physical and chemical properties of soils. In : P.L' Hermite and H. Ott (eds) Processing and Use of Sewage Sludge. pp. 295-305 Holland : D. Reidal Publishing Company
- Hall, J.E. and Coker, E.G. 1983. Some effects of sewage sludge on soil physical conditions and plant growth. In : Cartoux, G., L'Hermite, P., and Suess, E (eds) The Influence of Sewage Sludge Application on Physical and Biological Properties of Soils. Dordrecht : Reidel Publication Co.
- Hasit, Y. (ed). 1986. Sludge treatment, utilization and disposal. J. WPCF. 58 : 510-515
- Hyde, H.C., Page, A. L., Bingham, F.T., and Mahler, R.J. 1979. Effect of Heavy Metals in Sludge on Agricultural Crops. J. WPCF 51 : 2475-2486
- Kuntze, H., Pluquet, E., Stark, J.H., and Coopioia, S. 1984. Current techniques for the evaluation of metal problems due to sludge. In P.L' Hermite, and H. Ott (eds.), Processing and use of Sewage Sludge, pp. 394-403. Holland : D. Reidal Publishing Company
- LaHann, R.W., 1976. "Molybdenum Hazard in Land Disposal of Sewage Sludge," Water, Air and Soil Pollution, 6 (1) :3-8
- Manson, J.ed. 1988 a. Sewage sludge to land : a twelve-month operation. Water & Waste Treatment. 31 : 4
- .Premi, P.R. and Cornfield, A.H. 1971. Incubation study of nitrogen mineralization in soil treated with dried sewage sludge. Environ. Pollut. 2 : 1-4

- Robertson, W. K., Lutrick, M.C., and Yuan, T. L. 1982. Heavy Application of Liquid Digested Sludge on Three : I Effect on soil Chemistry. J. Environ. Qual. 11 : 278-282
- Sneaffer, 1979 b. Soil Temperature and Sewage Sludge Effect on Metals in Crop Tissue and Soil. J. Environ.Qual. 9 : 505-511
- Sommers, L.F., 1977. "Chemical Composition of Sewage Sludges and Analysis of Their Potential Use as Fertilizers" J. Environ. Qual. 6(2) : 225-231
- USEPA, 1983. "Land Application of Municipal Sludge, "U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati
- Utschig, J.M., K.A. Barbarick, D.G.Westfall, R.H.follett., and T.M.me Bride, 1986. "Liquid Sludge VS. Nitrogen Fertilizer," Bio Cycle. 27 (7) : 30-33
- Warman, P.R., 1986. "Effects of Fertilizer, Pig Manure, and Sewage Sludge on Timothy and Soils", J.Environ.Qual. 15 (2) : 95-100
- Ward, G.M. 1977. Manganese deficiency and toxicity in greenhouse tomatoes. Can J Pl sci 57 : 107-115.
- Webber, M.D., Kloke, A., and Tjell, J. Chr. 1984. A review of current sludge use guideline for the control of heavy metal contamination in soils. In : P.L.' Hermite, and H. Ott (eds.), Processing and use of sewage sludge, pp. 371-385 Holland : D. Reidal Publishing Company
- Wollan, E., Davis, R.D., and Jenner, S. 1978. Effects of sewage sludge on seed germination. Environ. Pollut. 17 : 195-205
- Younos, T.M., 1987. Land Application of Wastewater Sludge, pp. 89 New York : American Society of Civil Engineers



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก - ก

วิธีการทดลอง

1. การวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช
2. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในพืช
3. การวิเคราะห์โพแทสเซียมในพืช
4. การวิเคราะห์อินทรีย์ไนโตรเจนในดินโดยวิธีกลั่น
5. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน
6. การวิเคราะห์จุลธาตุประจวบทุกในพืช
7. การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุในดิน
8. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช

หลักการ

ไนโตรเจนที่พืชดูดเข้าไปส่วนใหญ่จะถูกนำไปสร้างสารประกอบที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะกรดอะมิโน (amino acid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีน บางส่วนจะยังคงอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน (inorganic nitrogen) แต่ในพืชโดยทั่วไปจะมีไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอนินทรีย์น้อยมากจนไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช การวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืชจะต้องย่อยตัวอย่างพืชให้อยู่ในรูปสารละลายซึ่งจะทำให้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตามวิธีการที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะย่อยตัวอย่างพืชโดยใช้กรดซัลฟิวริกที่มีสารเพิ่มอุณหภูมิและสารเร่งปฏิกิริยาและนำไปกลั่นหาไนโตรเจนเช่นเดียวกับกรณีวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.0001 กรัม
2. หลอดย่อยตัวอย่าง (Digestion tube) ขนาด 20 และ 100 มิลลิลิตร
3. เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)
4. คีสมิเตอร์ (Dispenser) ขนาด 2 และ 5 มิลลิลิตร
5. เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)
6. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร
7. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulphuric acid : 98% w/w H_2SO_4)
2. สารเร่งปฏิกิริยาผสม ($Na_2SO_4-CuSO_4-Se$) สารละลายกรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% น้ำหนักต่อปริมาตร (w/v): เช่นเดียวกับที่ใช้ย่อยหาไนโตรเจนทั้งหมดในดิน
3. สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.01 โมลาร์: ให้เจือจางจากกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ แล้วนำไปเทียบหาความเข้มข้นที่แน่นอนตามวิธีการในบทปฏิบัติการที่ 2 เรื่องการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

หลักการคำนวณ

อาศัยหลักการที่ไนโตรเจน 2 โมล ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก 1 โมล จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชเช่นเดียวกับกรณีของไนโตรเจนในดิน

ข้อสังเกตและคำแนะนำ

1. เมื่อทราบว่ามีปริมาณไนโตรเจนในพืชก็สามารถบอกปริมาณโปรตีนอย่างคร่าว ๆ ได้ โดยถือว่าไนโตรเจนมีในโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 16%
2. การย่อยตัวอย่างพืชโดยวิธีชัลฟิวริก – ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (สมิตรา, 2534 ; Jones , 1988) ก็นำไปวิเคราะห์ไนโตรเจนได้ดี จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช 10 ชนิดที่ย่อยโดยวิธีนี้พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกับการย่อยโดยวิธีเจดตาล (สมิตรา, 2534)
3. สารละลายที่ขุ่นจนใสแล้วสามารถนำไปวิเคราะห์ไนโตรเจนโดยวิธีซาลิไซเลต – ไฮโปคลอไรต์ (Salicyate – hypochlorite method) แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (จรัญรักษ์ และคณะ , 2541 ; Beathgen and Alley , 1989 ; Jones et al ., 1991)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในพืช

หลักการ

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืชนั้น จะนำตัวอย่างพืชซึ่งผ่านการอบ และ บดจนได้ขนาดแล้วไปทำให้เป็นสารละลาย อาจทำได้โดยการย่อยสลายให้เป็นเถ้า (dryashing) แล้วละลายด้วยกรดเจือจาง วิธีการเช่นนี้ทำให้ฟอสฟอรัสสูญเสียได้ และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส ก็จะทำให้ฟอสฟอรัสสูญเสียเกือบหมด แต่ก็อาจแก้ไขได้โดยทำให้ตัวอย่างเป็นค่าง ด้วยการเติมแมกนีเซียมไนเตรต (Magnesium nitrate) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) และใช้อุณหภูมิ 390–410 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการสลายสารอินทรีย์โดยวิธีนี้จะช้าเมื่อเทียบกับการย่อยสลายโดยใช้กรด (wet digestion) ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และใช้กันอยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช กรดที่ใช้ย่อยนั้นมักจะเป็นกรดผสมที่มี กรดไนตริก (Nitric acid) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น กรดไนตริกผสมกับเพอร์คลอริก (Perchloric acid) (สมศักดิ์, 2537 ; ปรีดา และคณะ, 2536) ไนตริกผสมกับซัลฟิวริก (Sulfuric acid) และเพอร์คลอริก (ทัศนีย์ และคณะ, 2532 ; สุมิตรา, 2534) ไนตริกผสมกับ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) (Jones, 1990) นอกจากนั้นอาจใช้ซัลฟิวริก (สมศักดิ์, 2527 ; ไพลิน, 2530 ; ทัศนีย์ และคณะ, 2536) และซัลฟิวริกผสมกับ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (สุมิตรา, 2534 ; Jones, 1991) หลังจากที่ย่อยตัวอย่างพืชจนใสแล้ว ฟอสฟอรัสซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นรูปออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) จากนั้นจึงปรับปริมาตรให้เหมาะสมและนำไปทำให้เกิดสี (develop color) โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมของ โมลิบเดต (Molybdate) และวานาเดต (Vanadate) ในสภาพที่เป็นกรด เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.0001 กรัม
2. เครื่องวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Visible spectrophotometer)
3. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. เตาช่วยให้ความร้อน (Hot plate)
5. ดิสเพนเซอร์ (Dispenser) ขนาด 5 มิลลิลิตร
6. ปิเปตปรับปริมาตร (Adjustable pipet) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
7. ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร
8. หลอดย่อยตัวอย่าง (Digestion tube) ขนาด 20 มิลลิลิตร

9. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 16 x 150 มิลลิเมตร

สารเคมี

1. กรดผสมไนตริก – เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$) : ผสมกรดไนตริก (Nitric acid : 65% w/w HNO_3) กับกรดเพอร์คลอริก (Perchloric acid : 70% w/w HClO_4) ในสัดส่วน 3:1 โดยปริมาตร

2. กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid : 98% w/w H_2SO_4) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : 30% w/w H_2O_2)

3. สารละลายวานาโดโมลิบเดต (Vanadomolybdate reagent)

3.1 สารละลายแอมโมเนียมเมทาวานาเดต : ละลายแอมโมเนียมเมทาวานาเดต (Ammonium metavanadate : NH_4VO_3) 1.25 ในน้ำร้อน 250 มิลลิลิตร ทิ้งไว้จนเย็นใกล้เคียง อุณหภูมิห้องก็เติมกรดไนตริก (Nitric acid : 65% w/w HNO_3) ลงไป 250 มิลลิลิตร

3.2 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต : ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate : $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 25.00 กรัม ในน้ำร้อนประมาณ 400 มิลลิลิตร เมื่อเย็นใกล้เคียงอุณหภูมิห้องก็นำสารละลายในข้อ 3.1 ผสมกับ 3.2 และปรับปริมาตร เป็น 1 ลิตร เวลาใช้ให้ผสมสารละลายวานาโดโมลิบเดตกับน้ำที่ปราศจากไอออนอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร

4. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 5, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร : จุดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 4.0 มิลลิลิตร เติมกรดเพอร์คลอริกลงไป 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร (ใช้กับตัวอย่างที่ย่อยด้วยกรดไนตริก – เพอร์คลอริก)

5. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 5, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร : จุดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 4.0 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกลงไป 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร (ใช้กับตัวอย่างที่ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก – ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์)

หลักการคำนวณ

หาความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสกับปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายที่นำไปวัด นำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างไปแทนค่าในสมการก็จะทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในหลอดที่นำไปวัด คำนวณหาปริมาณในสารละลายตัวอย่างพีชที่ย่อยแล้วหาความเข้มข้นในพีช

ข้อสังเกตและคำแนะนำ

1. กรดที่ใช้เติมในการเตรียมสารที่ทำให้เกิดสีอาจจะเป็นไนตริก เพอร์คลอริก ซัลฟิวริก หรือ ไฮโดรคลอริก (Dell, 1990) แต่ควรจะเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ย่อยตัวอย่างพืชสารละลายดังกล่าวอาจจะเตรียมแยกกัน (ทศนีย์ และคณะ, 2532; ปรีดา และคณะ, 2536) หรือเตรียมรวมกันก็ได้ (สมศักดิ์, 2527; ไพลิน, 2530; Oweczkin and Kerven, 1980; Dell, 1990) เมื่อเตรียมรวมกันเรียกสารละลายนี้ว่าวานาโดมอลิบเดตหรือมอลิบโดวานาเดต (Molybdovanadale reagent) ในกรณีที่ใช้กรดไนตริกอาจจะเรียกน้ำยานี้ว่าไนโตรวานาโดมอลิบดิก (Nitrovanadomolybdic reagent) หรือบาตัน (Baton's reagent)

2. สภาพที่เหมาะสมในการทำให้เกิดสีนั้น Dell (1990) ได้สรุปไว้ว่าความเป็นกรดประมาณ 0.5 นอร์แมล ถ้าหากน้อยกว่า 0.2 นอร์แมล จะเกิดสีส้มเหลืองทั้งที่ไม่มีไฮโปสเฟต แต่ถ้ามากกว่า 0.75 นอร์แมล การเกิดสีจะช้า ในกรณีที่ย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดซัลฟิวริกนั้นจะมีกรดเหลืองอยู่มากอาจไม่จำเป็นต้องเติมกรดลงไปในน้ำยามอลิบโดวานาเดต

3. สำหรับความเข้มข้นของวานาเดต (Vanadate) และมอลิบเดต (Molybdate) ควรจะประมาณ 0.002 โมลาร์ และ 0.01 โมลาร์ แต่ในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสไม่เกิน 12.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้มอลิบเดตเพียง 0.005 โมลาร์ ก็เพียงพอ (ทศนีย์ และคณะ, 2532)

4. การวิเคราะห์โดยวิธีนี้หากใช้เซลล์ (absorption cell) ขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร วัดที่ 460 นาโนเมตร สามารถวัดสารละลายที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงถึง 40 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าใช้ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร จะดูดกลืนคลื่นแสงได้มากกว่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ยังคงเป็นเส้นตรงตามกฎของเบียร์ (Beer's law) อยู่ในช่วง 0-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่วิธีมอลิบดินัมบลู (Molybdenum blue method) อยู่ในช่วง 0-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. วิธีเฮลโลมอลิบโดวานาโดฟอสฟอริกแอซิดไม่ถูกรบกวนเนื่องจากซิลิเกต (Silicate) และอะซีเนต (Arsenate) อย่างไรก็ตามหากมีไอออนของทองแดง (Copper) และนิกเกิล (Nickel) มากถึง 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็จะมีผลต่อการวิเคราะห์ และถ้ามีเฟอร์รัสซัลไฟด์ (Ferrous sulphide) ไธโอซัลเฟต (Thiosulphate) และไธโอไซยาเนต (Thiocyanate) มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็จะลดสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นได้ในกรณีที่มิไอออนของอะซีเนต (Arsenate) คลอไรด์ (Chloride) และฟลูออไรด์ (Fluoride) ก็จะยับยั้งการเกิดสารประกอบสีเหลืองและอาจต้องใช้เวลาจนถึง 30 นาที จึงจะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์

6. ถ้าฟอสฟอรัสในพืชต่ำมากสามารถนำไปทำให้เกิดสีโดยวิธีมอลิบดินัมบลูเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน แต่อาจต้องปรับความเข้มข้นของกรดในน้ำยาแอมโมเนียมมอลิบเดตให้เหมาะสมต่อการเกิดสี

3. การวิเคราะห์โพแทสเซียมในพืช

หลักการ

การวิเคราะห์โพแทสเซียมทั้งหมดในพืชจะต้องนำตัวอย่างพืชมาทำให้อยู่ในรูปสารละลายก่อนเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส การย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดที่เข้มข้นนั้นเป็นวิธีการที่ใช้กันโดยทั่วไป ตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยด้วยกรดผสมไนตริก-เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3\text{HClO}_4$) หรือกรดผสมไนตริก-ซัลฟิวริก-และเพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$) ก็นำมาใช้วิเคราะห์โพแทสเซียมได้ การย่อยตัวอย่างพืชโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่มีซีลีเนียม (Se) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ไนโตรเจนก็นำมาใช้วิเคราะห์โพแทสเซียมได้เช่นกัน (ทศนิยม และคณะ, 2532) นอกจากนั้นการย่อยโดยใช้กรดซัลฟิวริกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$) ก็ให้ผลการวิเคราะห์โพแทสเซียมไม่แตกต่างจากการย่อยด้วยกรดผสมไนตริก-ซัลฟิวริก-และเพอร์คลอริก (ไพรัตน์, 2534) ตัวอย่างพืชที่ถูกย่อยจนเป็นสารละลายแล้วเมื่อนำไปปรับปริมาตรหรือเจือจางให้เหมาะสมก็พร้อมจะนำไปวัดโดยเครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์ซึ่งอาศัยหลักการปลดปล่อยพลังงานแสงของอะตอมของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ โดยพลังงานแสงจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวในสารละลายตัวอย่างที่อยู่ในเปลวไฟ นำค่าที่วัดได้ไปเทียบกับค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานของโพแทสเซียม ที่มีชนิดและความเข้มข้นของกรดเช่นเดียวกับที่มีในสารละลายตัวอย่าง

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.0001 กรัม
2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. เตาให้ความร้อน (Hot plate)
4. กระดาษกรองวัตแมน (Whatman filter paper) เบอร์ 1
5. ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร
6. เครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์ (Flame photometer)
7. หลอดย่อยตัวอย่าง (Digestion tube) ขนาด 20 มิลลิลิตร
8. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 16X100 มิลลิเมตร

สารเคมี

1. กรดผสมไนตริก-เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$): ผสมกรดไนตริก (Nitric acid: 65% w/w HNO_3) กับกรดเพอร์คลอริก (Perchloric acid: 70% w/w HClO_4) ในสัดส่วน 3:1 โดยปริมาตร

2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร: เช่นเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

หลักการคำนวณ

หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร: mg L^{-1}) ของโพแทสเซียม ในสารละลายมาตรฐานกับค่าที่เครื่องอ่านได้ (instrumental reading) และเมื่อนำค่าที่วัดได้จากตัวอย่างแบลงค์แล้วไปแทนค่าในสมการก็จะทราบความเข้มข้นที่มีอยู่ในขวดวัดปริมาตรที่นำไปวัด เทียบหาปริมาณที่มีอยู่ในสารละลายหลังจากปรับปริมาตร และคำนวณเป็นความเข้มข้นในพืช (g kg^{-1})

ข้อสังเกตและข้อแนะนำ

1. การวัดโพแทสเซียมสามารถใช้หลักการดูดกลืนคลื่นแสงของอะตอม (atomic absorption) ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้ แต่การใช้เปลวไฟชนิดแอร์อะเซทิลีน (Air-acetylene) ซึ่งให้ความร้อนสูงถึง 2,100-2,400 องศาเซลเซียส ทำให้อะตอมของโพแทสเซียมแตกตัวให้อิเล็กตรอนจนรบกวนการดูดกลืนแสงของอะตอมได้ การรบกวนดังกล่าวแก้ไขได้โดยเติมอะตอมของธาตุที่แตกตัวให้อิเล็กตรอนได้ง่ายลงไปในสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน โดยอาจจะใช้ซีเซียม (Cesium) โซเดียม (Sodium) หรือ รูบิเดียม (Rubidium) เข้มข้นประมาณ 1,000-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามการวัดโดยหลักการนี้เหมาะสมกับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ (0-1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2. ในตัวอย่างพืชโดยทั่วไปมีโพแทสเซียมสูง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้หลักการอิมิสชันที่มีอยู่ในเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ หรือวัดด้วยเครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์

3. สารละลายมาตรฐานของโพแทสเซียม สามารถเตรียมรวมกันได้หากใช้กับตัวอย่างที่ต้องเจือจางเท่ากัน

4. โดยปกติแล้วอิทธิพลของกรดในสารละลายมาตรฐานต่อค่าวิเคราะห์มีน้อยมาก ดังนั้นอาจไม่ต้องเติมกรดลงไปในการละลายมาตรฐานก็ได้

4. การวิเคราะห์อนินทรีย์ไนโตรเจนในดินโดยวิธีกลั่น

หลักการ

อนินทรีย์ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรตไอออน (NO_3^-) และไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) อย่างไรก็ตามแอมโมเนียมไอออน และไนเตรตไอออน ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนี้มีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับอนินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งเป็นแหล่งสำรองที่ให้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนั้นปริมาณแอมโมเนียมไอออน และไนเตรตไอออน ยังเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินซึ่งถูกควบคุมโดยความชื้นและอุณหภูมิ รวมทั้งสภาพแวดล้อมอื่น ๆ การวิเคราะห์ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินทำได้โดยการสกัดแอมโมเนียมและไนเตรต รวมทั้งไนไตรต์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ หรือโพแทสเซียมซัลเฟต แล้วจึงทำให้เป็นเบสโดยเติมแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide) แล้วกลั่นหาแอมโมเนียโดยมีสารละลายกรดบอริก (Boric acid) เป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนีย แล้วไทเทรตหาแอมโมเนียมในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน หากจะกลั่นหาไนเตรต (มีไนไตรต์รวมด้วย) ก็เติมดีวาร์ดอัลลอย (Devarda's alloy) เพื่อรีดิวส์ไนเตรต (รวมทั้งไนไตรต์) ให้เป็นแอมโมเนียม แล้วกลั่นหาแอมโมเนียมทำนองเดียวกัน

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 และ 250 มิลลิลิตร
3. กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร
4. เครื่องเขย่า (Shaker)
5. กระดาษกรองวัตแมน (Whatman filter paper) เบอร์ 1
6. เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)
7. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. โพแทสเซียมคลอไรด์ 2 โมลาร์: ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride: KCl) 149.12 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. กรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์: เหมือนกับที่ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 8 เรื่องการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

3. สารแขวนลอยแมกนีเซียมออกไซด์ 10% น้ำหนักต่อปริมาตร (wiv): ชั่งแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide: Light MgO) 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ปราศจากไอออนลงไป 200 มิลลิลิตร และเขย่า

4. คิวอาร์ตอัลลอย (Al 45% + Zn 5% + Cu50%)

5. สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid: H_2SO_4) 0.001 โมลาร์: ชั้นแรกควรเตรียม 0.01 โมลาร์ ก่อน จากนั้นจึงเจือจางเป็น 100 เท่า แล้วนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอน

หลักการคำนวณ

การคำนวณอาศัยหลักการเกี่ยวกับการกลั่นหาไนโตรเจนทั้งหมด กล่าวคือ ถ้ามีไนโตรเจน 2 โมลต้องใช้กรดซัลฟิวริก 1 โมล

1. แอมโมเนียม

1.1 การกลั่นครั้งแรกเป็นการกลั่นหาแอมโมเนียมไอออน หาปริมาตรกรดที่ใช้สำหรับไทเทรตกับเฉพาะแอมโมเนียมที่ได้จากดินในสารสกัดจากดิน โดยนำปริมาตรกรดที่ใช้กับตัวอย่างลบด้วยปริมาตรที่ใช้กับแบลลงค์

1.2 หาจำนวนโมลของซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง จึงทำให้ทราบจำนวนโมลของไนโตรเจนในสารสกัดทั้งหมด หรือในดินที่ชั่งมา แล้วเปลี่ยนจำนวนโมลที่ได้เป็นกรัม (ไนโตรเจน 1 โมลหนัก 14.007 กรัม)

1.3 คำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนียมในดินเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ($mg\ kg^{-1}$)

2. ไนเตรต

2.1 หาปริมาตรกรดที่ใช้สำหรับไทเทรตกับเฉพาะไนเตรตไอออนที่ได้จากดินในสารสกัดจากดิน โดยนำปริมาตรที่ใช้กับตัวอย่างลบด้วยปริมาตรที่ใช้กับแบลลงค์

2.2 คำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรตในดินเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ($mg\ kg^{-1}$) เช่นเดียวกับกรณีของแอมโมเนียม

ข้อสังเกตและข้อแนะนำ

1. การสกัดดินโดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ 2 โมลาร์ ต้องใช้สัดส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1: 10 หากน้ำยาสกัดน้อยอาจทำให้สกัดแอมโมเนียมได้ไม่สมบูรณ์ (Bremner and Keeney, 1966)

2. การสกัดดินด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ หรือ โพแทสเซียมซัลเฟต 0.5 โมลาร์ สามารถนำไปกลั่นตามวิธีการดังกล่าวได้ (Mulvaney, 1996)

3. ในกรณีที่คาดว่ามิโนไตรต์ไอออนมาก และต้องการจะวิเคราะห์เฉพาะแอมโมเนียมและไนเตรตเท่านั้น จะต้องกำจัดไนไตรต์ก่อนเติมดีวาคาร์อัลลอย โดยเติมสารละลายกรดซัลฟามิก (Sulfamic acid) 2% ลงไป 1 มิลลิลิตร (Mulvaney, 1996) เพื่อรีดิวส์ไนไตรต์เป็นแก๊สไนโตรเจน และกลั่นไล่ไนโตรเจนปริมาณ 2-3 นาที (สมศักดิ์, 2537)

4. หลังจากสกัดดินคดยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ 2 โมลาร์ สามารถวิเคราะห์แอมโมเนียมไอออนคดยนำไปทำให้เกิดสีโดยวิธีซาลิไซลิก-ไฮโปคลอไรต์ (Salicylate-hypochlorite method) แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Visible spectrophotometer) วิธีนี้หากใช้เซลล์บรรจุสารตัวอย่างกว้าง 1 เซนติเมตร สามารถจะวัดได้แม้มีแอมโมเนียมในตัวอย่าง 0.008 Ug mL^{-1} (Mulvaney, 1996)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

หลักการ

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง คือ ออร์โธฟอสเฟตไอออน (orthophosphation: H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-}) ซึ่งพบในดินน้อยมาก ในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจึงต้องสกัดฟอสฟอรัสในส่วนที่จะละลายออกมาให้พืชใช้ได้หลังจากที่ออร์โธฟอสเฟตไอออนในสารละลายดินถูกพืชดูดไปใช้ แต่โดยความเป็นจริงแล้วเป็นการยากที่จะทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาให้พืชนำไปใช้ได้ ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงเป็นเพียงปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (extractable P) โดยใช้น้ำยาสกัดชนิดใดชนิดหนึ่งที่มีสหสัมพันธ์ (complexing agent) กับโลหะ น้ำยาสกัดแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับดินที่แตกต่างกัน แต่จากการประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนา (ประพิศ และคณะ, 2530) และในดินไร่ของประเทศไทย (ประพิศ, 2534) พบว่าวิธีเบรย์ทู เป็นวิธีที่เหมาะสมเพราะนอกจากค่าที่ได้จะสัมพันธ์กับการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชแล้วยังเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วที่สุด

ในการสกัดดินโดยใช้น้ำยาเบรย์ทูนี้ สภาพความเป็นกรดและฟลูออไรด์ไอออน (F) จะทำให้บางส่วนของสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส คือ แคลเซียมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต และอะลูมิเนียมฟอสเฟตละลายออกมา (ทัศนีย์ และคณะ, 2532) โดยฟลูออไรด์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ ได้แก่ อะลูมิเนียม และเหล็กได้ดี จึงทำให้อะลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟตละลายออกมาได้ดี (Kuo) 1996) ส่วนกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) สามารถละลายแคลเซียมฟอสเฟตได้ดีที่สุด รองลงมาคือ อะลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ตามลำดับ (สมศักดิ์, 2537)

ฟอสฟอรัสที่สกัดได้จะนำมาทำให้เกิดสี (develop color) โดยให้ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate) ในสภาพที่เป็นกรด ได้เป็น แอมโมเนียมฟอสโฟโมลิบเดต (Ammonium phosphomolybdate) และถูกดีรีวส์ (reduce) ด้วยกรดแอสคอร์บิกโดยมีพลวง (Antimony) ช่วยทำให้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นคงตัวอยู่ได้นานถึง 24 ชั่วโมง นอกจากนั้นควรมีการเติมกรดบอริก (Boric acid) เพื่อลดการรบกวนการเกิดสีในกรณีที่มีฟลูออไรด์อยู่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Kuo, 1996) หลังจากปล่อยให้เกิดสีจนสมบูรณ์จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 และ 0.0001 กรัม
2. เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Visible spectrophotometer)

3. ปิเปตปรับปริมาตร (Adjustable pipette) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
4. หลอเหวี่ยงพลาสติก (Plastic centrifuged tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. กระดาษกรองวัตแมน (Whatman filter paper) เบอร์ 5
6. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 16x150 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. น้ำยาสกัดเบรย์ทู (Bray II reagent: 0.10 M HCl+0.03 M NH_4F): ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium fluoride: NH_4F) 1.1112 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water) ประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid: HIC) 37% w/w 8.1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2. น้ำยาทำให้เกิดสี (color reagent):

2.1 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 3% น้ำหนักโดยปริมาตร (w/v): ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate: $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 15.00 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน ประมาณ 250 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถัน (98% w/w H_2SO_4) ลงไป 140 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นและปรับปริมาตร เป็น 500 มิลลิลิตร

2.2 สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เตรต 0.1% w/v: ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เตรต (Antimony potassium tartrate: $\text{KsbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) 0.50 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน ประมาณ 400 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

2.3 สารละลายกรดบอริก 5% w/v: ละลายกรดบอริก (Boric acid: H_3BO_3) 25 กรัม ในน้ำร้อน ประมาณ 450 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นและปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร เวลาใช้ให้ผสมสารละลายในข้อ 2.1, 2.2 ,2.3 และน้ำที่ปราศจากไอออน อัตราส่วน 1:1:3:10 โดยปริมาตร (สมศักดิ์, 2536) ให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการจะใช้

3. สารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v: ละลายกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid: $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) 0.50 กรัม ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้ไม่ควรเก็บไว้เกิน 2 วัน

4. สารละลายมาตรฐานของฟอสฟอรัส

4.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร: ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate: KH_2PO_4) ที่ผ่านมาการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 3 ชั่วโมง มา 4.3937 กรัม ละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในขวดปริมาตร

4.2 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร: ดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร

4.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร: ดูดสารละลายฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรโดยใช้น้ำยาเบรย์ทู่เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร

หลักการคำนวณ

1. ให้คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในแต่ละหลอด (ไมโครกรัมต่อหลอด: $\mu\text{g}/\text{tube}$) เมื่อดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 1 มิลลิลิตร ไปทำให้เกิดสีน้ำเงินในหลอดทดลอง แล้วนำค่าดังกล่าวไปสร้างสมการที่เหมาะสมกับค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้

2. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสของตัวอย่างในแต่ละหลอดโดยอาศัยสมการจากข้อ 1 โดยเลือกสมการที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (coefficient of determination: r^2 หรือ R-square) สูงสุด และเพื่อความสะดวกในการแทนค่า ควรใช้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นค่า X และปริมาณฟอสฟอรัสเป็นค่า Y

3. สมมติว่าเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างไปแทนค่าในสมการได้ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ Y ไมโครกรัมต่อหลอด ก็สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม: mg kg^{-1}) ได้ดังนี้

ในสารที่สกัดได้ 1 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส	Y	μg
ในสารที่สกัดได้ 10 มิลลิลิตร มีฟอสฟอรัส	10 Y	μg
แสดงว่าดิน 1 กรัม มีฟอสฟอรัส	10 Y	μg
ดังนั้นฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์เท่ากับ	10 Y	mg kg^{-1}

ข้อสังเกตและข้อแนะนำ

1. การสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินด้วยน้ำยาเบรย์ทูนีที่เหมาะสมกับดินกรด ถ้าดินมีแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) สูงจะทำปฏิกิริยากับกรดในน้ำยา และฟลูออไรด์ ไอออนก็จะเกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมฟลูออไรด์ (Calcium fluoride) ซึ่งจะไปตกตะกอนกับฟอสฟอรัส จึงสกัดฟอสฟอรัสได้น้อย ดังนั้น ถ้าเป็นดินเนื้อปูน (calcareous soil) ดินด่าง (alkaline soil) และดินที่มีสภาพเป็นกลาง (neutral soil) ควรใช้น้ำยาสกัดโอลเซน (Olsen: 0.5 M NaHCO₃, pH 8.5) โดยใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำยาสกัดเท่ากับ 20 และเขย่า 30 นาที (ทศนิยม และคณะ, 2532; van Lagen, 1996)

2. สารที่สกัดได้ในดินบางชนิดอาจมีสีน้ำตาลซึ่งจะมีผลต่อการดูดกลืนแสง ดังนั้นควรกำจัดสีโดยใช้สารตัวอย่างที่กรองได้ 5 มิลลิลิตร ผสมกับผงถ่านประมาณ 0.1 กรัม แล้วกรองและควรทำแบลนด์โดยใช้ผงถ่าน 0.1 กรัม ผสมน้ำยาเบรย์ทูนี 5 มิลลิลิตร เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปลบจากค่าของตัวอย่าง ผงถ่านที่ใช้ต้องผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) 6 โมลาร์ และน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งเพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนของฟอสฟอรัสจากผงถ่าน

3. สีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจากการทำให้เกิดสีโดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวส์นี้จะคงอยู่ได้นานประมาณ 24 ชั่วโมง และสามารถจะเกิดสีได้อย่างสมบูรณ์เมื่อความเข้มข้นของกรดกำมะถันในสารละลายที่เกิดปฏิกิริยา 0.25-0.65 นอร์แมล (Normal) แต่ถ้าความเข้มข้นกรดระหว่าง 0.35-0.45 นอร์แมล จะเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ภายใน 10 นาที (John, 1970) ถ้าหากจะวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในตัวอย่างที่สกัดด้วยน้ำยาสกัดชนิดอื่น หรือสารละลายที่เป็นกรดจัด จะต้องปรับปริมาณกรดกำมะถันที่ใช้ในการเตรียมน้ำยาทำให้เกิดสีให้เหมาะสม

4. สีน้ำเงินที่เกิดขึ้นสามารถนำไปวัดการดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 820 และ 720 นาโนเมตร หากวัดที่ 820 นาโนเมตร จะมีความไว (sensitivity) สูงกว่าแต่เนื่องจากอยู่เกือบสุดความสามารถของเครื่อง (ประมาณ 900 นาโนเมตร) ทำให้อาจมีปัญหาเรื่องเสถียรภาพของเครื่องได้ (สมศักดิ์, 2537)

5. การวิเคราะห์วิธีนี้เมื่อนำไปวัดที่ 820 นาโนเมตร สามารถวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในช่วง 0.1-0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าหากในสารที่กรองได้มีฟอสฟอรัสสูงให้ลดปริมาณสารที่กรองได้จากเดิม 1 มิลลิลิตร เหลือ 0.2-0.5 มิลลิลิตร และเติมน้ำยาสกัดเบรย์ทูนีลงไปให้ครบ 1 มิลลิลิตร หรืออาจจะวัดที่ 720 นาโนเมตร และใช้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสสูงเป็น 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้ายังวัดไม่ได้ควรเจือจางสารที่สกัดได้ด้วยน้ำยาเบรย์ทูนีก่อนที่จะนำไปทำให้เกิดสี

6. การวิเคราะห์จุลธาตุประจุบวกในพืช

หลักการ

จุลธาตุประจุบวก (cationic micronutrient) ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ธาตุดังกล่าวมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของเอนไซม์ โดยอาจเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หรือตัวพา (carrier) หรือกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาโบลิซึม (metabolism) ในพืช โดยทั่วไปพืชต้องการธาตุเหล่านี้ในปริมาณที่ต่ำมาก การวิเคราะห์จุลธาตุประจุบวก สามารถวิเคราะห์ได้ โดยนำสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อยโดยใช้กรดผสมไนตริก - เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$) กรดซัลฟิวริก - ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$) หรือ กรดซัลฟิวริกที่มีโซเดียมซัลเฟตช่วยเพิ่มอุณหภูมิ และมีซีลีเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ($\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{SeO}_4 - \text{Se}$) ไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับธาตุนั้น สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและแมงกานีส ซึ่งพบมากกว่าสังกะสีและทองแดงอาจทำสารละลายที่ได้จากการย่อยเพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัสและธาตุอื่นๆ ไปวัดได้เลยแต่ในกรณีที่วิเคราะห์สังกะสีและทองแดงซึ่งเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยมาก ปริมาณธาตุดังกล่าวในสารละลายตัวอย่างมักจะมีน้อยจนไม่สามารถจะวิเคราะห์ได้ ปัญหาดังกล่าวอาจแก้ไขโดยการเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นมากขึ้น วิธีนี้อาจจะทำให้เกิดเมทริก-อินเทอร์เฟียร์เรนซ์ (matrix interference) เนื่องจากในสารละลายตัวอย่างมีธาตุอื่นๆ ปนอยู่มาก แต่จากการเปรียบเทียบการย่อยสลายพืชด้วยวิธีกรดซัลฟิวริกที่มีซัลเดียมซัลเฟตช่วยเพิ่มอุณหภูมิ และมีซีลีเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวอย่างพืช 0.4 กรัม ใช้กรด 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาณเป็น 50 มิลลิลิตร พบว่าให้ผลวิเคราะห์เหล็ก แมงกานีสสังกะสี และทองแดง ไม่แตกต่างจากการใช้พืช 0.5 กรัม และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร (สมพร 2534)

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.0001 กรัม
2. เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)
3. หลอดย่อยตัวอย่าง (Digestion tube) ขนาด 20 มิลลิลิตร
4. กระดาษกรองวัตแมน (Whatman filter paper) เบอร์ 1
5. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer)

สารเคมี

1. กรดผสมไนตริก-เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$) ผสมกรดไนตริก (Nitric acid 65% W/W HNO_3) กับกรดเพอร์คลอริก (Perchloric acid 70% W/W HClO_4) ในสัดส่วน 3:1 โดยปริมาตร
2. สารละลายมาตรฐานเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร: ชื่อสารละลายมาตรฐานหรือเตรียมจากโลหะบริสุทธิ์ของแต่ละธาตุ โดยสารละลายในกรดไนตริกเจือจาง (1:1 v/v) แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดเอซิติกในที่มืด)

หลักการคำนวณ

1. หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า ABS ที่เครื่องอ่านได้กับความเข้มข้นของธาตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร: mg L^{-1}) นำค่า ABS ของตัวอย่างที่หักจากค่าแบลนด์ไปแทนค่าในสมการเพื่อหาความเข้มข้นของธาตุในสารละลายที่วัด
2. คำนวณหาปริมาณแต่ละธาตุที่มีในสารละลายตัวอย่างทั้งหมด (mg) จากนั้นคำนวณหาปริมาณที่มีอยู่ในพืช 1 กิโลกรัม

ข้อสังเกต และข้อแนะนำ

1. ในกรณีสนใจวิเคราะห์เฉพาะ Fe และ Mn สามารถใช้สารละลายที่ย่อยโดยใช้กรดไนตริกผสมเพอร์คลอริก หรือกรดซัลฟิวริก-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ที่ปรับปริมาณเป็น 20 หรือ 25 มิลลิลิตร ไปวัดได้เลย
2. สารละลายมาตรฐานของเหล็กกับแมงกานีส และทองแดงกับสังกะสีสามารถเตรียมรวมกันได้
3. การวิเคราะห์ธาตุประจวบกันนั้น การกำจัดฝุ่นและสารกำจัดศัตรูพืชที่อาจติดมากับพืชเป็นสิ่งสำคัญ ก่อนอบตัวอย่างจึงต้องล้างสารปนเปื้อนดังกล่าวออกไป

สำนักงานหอบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. การวิเคราะห์อินทรีย์ คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุในดิน

หลักการ

อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) เป็นอินทรีย์สาร (organic material) ทุกชนิดในดินที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปในอินทรีย์วัตถุมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 58% การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุโดยวิธีวอลค์เล่ย์-แบลคได้อาศัยหลักการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นอินทรีย์วัตถุ วิธีนี้ใช้โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) ไปออกซิไดซ์ (oxidize) คาร์บอนในสารอินทรีย์ที่กำลังนำไปยรวมทั้งในเซลล์ของจุลินทรีย์ดินตลอดจนในอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวจนเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีความคงทนที่เรียกว่าฮิวมัส (humus) ปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้อาศัยความร้อนจากกรดฟิวริกเข้มข้น จากนั้นจึงหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนโดยนำมาไทเทรตด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate) จึงทำให้ปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดซ์คาร์บอน และ คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุได้

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer) ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. โวลุ่มเมตริกปิเปต (Volumetric pipet) ขนาด 10 มิลลิลิตร
1. กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร

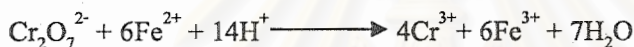
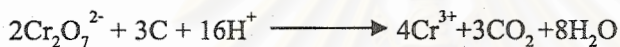
สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดโครเมต 0.167 โมลาร์ (1 นอร์แมล): ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate: $K_2Cr_2O_7$) ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสประมาณ 3 ชั่วโมง 49.04 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็นลิตร
2. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (FAS) 1 โมลาร์ (1 นอร์แมล): ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (ferrous ammonium sulfate hexahydrate: $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 196.07 กรัม ในน้ำร้อนที่ปราศจากไอออนประมาณ 400 มิลลิลิตร วางให้เย็นแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร
3. กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid) เข้มข้นอย่างน้อย 96% (96-98% w/w H_2SO_4)

4. เฟอร์โรอินดิเคเตอร์ (Ferron indicator): ละลายฟีนแอนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1, 10 phenantroline- monohydrate) 1.485 กรัมในน้ำที่ปราศจากไอออน และเติม FAS 1 โมลาร์ 8 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 ลิตร

หลักการคำนวณ

ในหนังสือโดยทั่วไปแสดงการคำนวณโดยอาศัยหลักการที่ว่าสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน จำนวนสมมูล (equivalence) เท่ากัน โดยใช้หน่วยความเข้มข้นของสารเป็นนอร์แมล และแสดงความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุเป็นเปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการเสนอให้ใช้หน่วยเอสไอ (SI) แทน โดยแสดงหน่วยเป็นกรัมต่อกิโลกรัม ในการคำนวณจะต้องทราบปฏิกิริยาระหว่างไดโครเมตไอออน ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) กับคาร์บอนอินทรีย์วัตถุ และปฏิกิริยาระหว่างไดโครเมตไอออนกับเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+})



จากปฏิกิริยาสามารถนำมาใช้คำนวณหาอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุได้ดังนี้

1. จำนวนโมลของโพแทสเซียมไดโครเมต 0.167 โมลาร์ (M_1) จากปริมาตร FAS (V_B) ที่ใช้ทำปฏิกิริยา กับโพแทสเซียมไดโครเมต 1 โมลทำปฏิกิริยาพอดีกับ FAS 6 โมล โดยจะได้

$$M_2 = 6M_1V_1/V_B$$

3. หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนจากปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไทเทรต

ตัวอย่าง (V_2)

$$\text{จำนวน โมล FAS} = M_2 V_2 / 1000$$

แสดงว่า $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เหลือจำนวน = $1/6M_2V_2/1000$ โมล ดังนั้นจำนวนโมลของ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับ คาร์บอนในดิน เท่ากับ $M_1V_1/1000 - 1/6M_2V_2/1000$ เมื่อแทนค่า M_1V_1 ด้วย $1/6M_2V_B$ ก็จะได้ว่า $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในดิน = $1/6M_2(V_B - V_2)/1000$ โมล

4. เนื่องจาก $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 2 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับคาร์บอน 3 โมล และปฏิกิริยานี้คาร์บอนถูกออกซิไดซ์ได้เพียง

ประมาณ 77% ของทั้งหมด ดังนั้น

$$\text{ในดิน } W \text{ กรัม มี อินทรีย์คาร์บอน} = 1/6M_2(V_B - V_2)/1000 \times 3/2 \times 100/77 \quad \text{โมล}$$

$$\text{ถ้าดิน 1000 กรัม มี อินทรีย์คาร์บอน} = 1/6M_2(V_B - V_2)W \times 3/2 \times 100/77 \quad \text{โมล}$$

หรือดิน 1000 กรัม มี อินทรีย์คาร์บอน = $1/6M_2(V_B-V_2)W \times 3/2 \times 100/77 \times 12$ กรัม
เพราะฉะนั้น

$$\text{อินทรีย์คาร์บอน (g kg}^{-1}\text{)} = 3.96M_2(V_B-V_2)/W$$

5. ในอินทรีย์วัตถุมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยทั่วไปเฉลี่ย 58% ดังนั้นหากต้องการ
ค่าอินทรีย์วัตถุ

ต้องคูณด้วย 100/58 จึงจะได้ว่า

$$\text{อินทรีย์วัตถุ (g kg}^{-1}\text{)} = 6.71M_2(V_B-V_2)/W$$

$$\text{หรือ อินทรีย์วัตถุ (g kg}^{-1}\text{)} = \text{อินทรีย์คาร์บอน} \times 1.7$$

ข้อสังเกตและข้อแนะนำ

1. สารละลาย FAS อาจใช้ความเข้มข้นแค่ 0.5 โมลาร์ก็ได้ซึ่งจะสลายได้ง่ายขึ้นแต่ต้องใช้
ปริมาตรในการไทเทรตมาก นอกจากนั้นสามารถใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต (Ferrous
sulfate heptahydrate : $Fe SO_4 \cdot 7H_2O$) แทนได้ สารละลายทั้งสองนี้มีสีเขียวอ่อนของเฟอร์รัสไอออน
และหากเก็บไว้เกิน 10 วัน เฟอร์รัสไอออนจะถูกออกซิไดร์เป็นเฟอร์ริกไอออนทำให้มีสีเขียวปน
เหลือง และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

2. ในดินที่มีอินทรีย์วัตถุโคโครเมตไอออนส่วนใหญ่ซึ่งมีสีส้มจะถูกใช้ในการออกซิไดซ์
คาร์บอนและเปลี่ยนเป็นโครเมตไอออน (Cr^{3+}) จึงทำให้สารตัวอย่างมีสีเขียว ในกรณีที่โคโครเมต
ไอออนถูกใช้ไปมากกว่า 8 มิลลิลิตร หรือใช้ FAS น้อยกว่า 2 มิลลิลิตร ควรทำใหม่โดยเพิ่ม
โพแทสเซียมไดโครเมต

3. ในดินที่มีคลอไรด์ไอออนมาก เช่น ดินเค็ม จะทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าที่เป็นจริง
เพราะคลอไรด์ไอออนทำปฏิกิริยากับไดโครเมตไอออน แต่สามารถแก้ไขโดยการเติมซิลเวอร์
ซัลเฟต (Silvet sulfate : Ag_2SO_4) 15 กรัม ลงในกรมซัลฟิวริกเข้มข้น 1,000 มิลลิลิตร ที่ใช้เติม
ลงไปเพื่อให้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยา

4. การเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนเป็นอินทรีย์วัตถุโดยทั่วไปคูณด้วย 1.724 ซึ่งมาจากการ
สมมุติฐานที่ว่าในอินทรีย์วัตถุมี คาร์บอน 58% อย่างไรก็ตามมีผู้แนะนำว่าในดินบนควรคูณด้วย
1.9 ส่วนในดินล่างควรคูณด้วย 2.5 (Broadbent, 1953)

8. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

หลักการ

ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ ส่วนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ได้แก่ แอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ไนโตรเจนไอออน (NO_2^-) และไนเตรตไอออน (NO_3^-) มีปริมาณน้อยมาก การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ในดินโดยวิธีเจดคาลโดยทั่วไปจึงมักไม่สนใจส่วนของไนไตรต์ และไนเตรต โดยจะย่อยดินด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีทองแดง (Cu) และซีลีเนียม (Se) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และมีโพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate) หรือ โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate) ช่วยทำให้อุณหภูมิในระหว่างย่อยสูงขึ้น เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน จากนั้นจึงนำไปเติมด่างและกลั่นหาแอมโมเนียมโดยมีสารละลาย กรดบอริก (Boric acid) เป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออน แล้วไทเทรตหาแอมโมเนียมในกรดบอริกด้วยสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2. เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)
3. เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)
4. หลอดย่อยตัวอย่าง (Kjeldahl tube) ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร
6. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร
7. คีส์เพนเซอร์ (Dispenser) ขนาด 5 มิลลิลิตร
8. กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid) เข้มข้น (98% w/w H_2SO_4)
2. สารผสมเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture): ผสมโพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate: K_2SO_4) คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate: CuSO_4) และซีลีเนียม (Selenium :Se) อัตราส่วน 100: 10:1 โดยน้ำหนัก
3. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator): ละลายเมธิลเรด (Methy red) 0.006 กรัม และ โบรโมกรีน (Bromocresol green) 0.099 กรัม ในเอธานอล (Ethanol) 95% w/w ประมาณ 80 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยเอธานอล เป็น 100 มิลลิลิตร
4. กรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ ละลายกรดบอริก (Boric acid: H_3BO_3) 40.00 กรัมในน้ำร้อนประมาณ 1,800 มิลลิลิตร จะได้สารละลายผสมสีม่วงแดง (หากเป็นสีชมพูให้ค่อย ๆ ปรับ

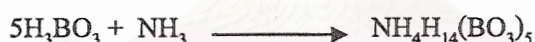
ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ประมาณ 2.5-3 มิลลิลิตร) จากนั้นจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็น 2 ลิตร

5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% น้ำหนักต่อปริมาตร (w/v): ค่อย ๆ ละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH) 400 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับ ปริมาตรโดยประมาณเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid: H_2SO_4) 0.005 โมลาร์ ขึ้นแรกควรเตรียม 1 โมลาร์ ก่อน โดยตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (98% w/w H_2SO_4) มา 55.4 มิลลิลิตร และปรับ ปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนเป็น 1 ลิตร จากนั้นจึงเจือจางเป็น 200 เท่า แล้วนำไปหาความ เข้มข้นที่แน่นอนโดยนำไปไทเทรตกับสารละลายไทริสไฮดรอกซีเมทิลอะมีโนมีเทน (THAM) 0.02 โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร ไทเทรตจนสีของอินดิเคเตอร์ผสมในสารละลาย THAM เปลี่ยน จากสีเขียวเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้และคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ กรดซัลฟิวริก

หลักการคำนวณ

ในขั้นตอนกรย่อยทำให้อินทรีไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อเติมค่าและ นำไปกลั่นจะมีแก๊สแอมโมเนียเกิดขึ้นและถูกจับด้วยกรดบอริก เกิดเป็นแอมโมเนียเพนตาบอเรต (สมศักดิ์, 2537) ซึ่งมีสภาพเป็นเบสและทำให้อินดิเคเตอร์เปลี่ยนเป็นสีชา



เมื่อนำไปไทเทรตกับกรดซัลฟิวริกจะเกิดปฏิกิริยากับแอมโมเนียเพนตาบอเรตได้กรดบอริกซึ่งมีสี แดงอมม่วงเหมือนตอนแรก



จากสมการแอมโมเนียเพนตาบอเรต 2 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดซัลฟิวริก 1 โมล โดยที่ แอมโมเนียเพนตาบอเรต 1 โมล เกิดจากแอมโมเนีย 1 โมล ซึ่งมาจากไนโตรเจนจากดิน 1 โมล ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กรดซัลฟิวริก 1 โมล หรือไฮโดรเจนไอออน 2 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ ไนโตรเจน 2 โมล ในการคำนวณจึงทำได้ดังนี้

1. หาปริมาตรกรดที่ใช้สำหรับไทเทรตกับไนโตรเจนที่มาจากดิน โดยนำปริมาตรกรดที่ใช้ กับตัวอย่างลด้วยปริมาตรกรดที่ใช้กับแบลงค์

2. หาจำนวนโมลของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง จึงทำให้ทราบจำนวน โมลของไนโตรเจนในดิน แล้วเปลี่ยนจำนวนโมลที่ได้เป็นกรัม (ไนโตรเจน 1 โมลหนัก 14.007 กรัม)

3. คำนวณความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินเป็น กรัมต่อกิโลกรัม ($g\ Kg^{-1}$)

ข้อสังเกตและข้อแนะนำ

1. ในการย่อยตัวอย่างโดยทั่วไปใช้สารเร่งปฏิกิริยาผสมประมาณ 0.22-0.33 กรัม ต่อกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ถ้าใช้มากจะช่วยให้ย่อยได้เร็วขึ้น แต่เมื่อเย็นจะจับกันแข็งหากใช้มากกว่า 0.8 กรัม และถ้าใช้มากถึง 1.3-1.4 กรัม จะทำให้อุณหภูมิสูงกว่า 4010 องศาเซลเซียส และเกิดการสูญเสียไนโตรเจนได้ (Bremner, 1996)
2. การใช้กรดซัลฟิวริกไม่สามารถย่อยสารละลายอินทรีย์ในโตรเจนที่มีพันธะแบบ N-N และ O-O ได้แต่ในทางปฏิบัติถือว่ามีสารเหล่านี้น้อยมาก หากต้องการให้ย่อยได้สามารถทำได้โดยการเพิ่มขึ้นตอน Hydroiodic acid reducton และ Zinc-Iron reduction เข้าไป
3. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดโดยรวมไนไตรต์ และไนเตรต สามารถทำได้โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีกรดซาลิไซลิก (Salicylic) (25 กรัม ต่อกรดเข้มข้น 1 ลิตร) เพื่อเปลี่ยนไนไตรต์ และไนเตรต เป็นกรดไนโตรซาลิไซลิก (Nitrosalicylic) จากนั้นจึงเติมโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate) ประมาณ 0.5 กรัม เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) ซึ่งจะปรีดิเวส์ (reduce) ไนโตรซาลิไซลิกให้เกิดเป็นกรดอะมิโนซาลิไซลิก (Aminosalicylic) ที่สามารถจะทำปฏิกิริยากับกรดต่อไปจนได้แอมโมเนียมซัลเฟต
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพื่อเติมให้สารตัวอย่างที่ย่อยแล้วมีสภาพเป็นเบสสามารถใช้ชนิด Comercial grade ได้ซึ่งราคาถูกกว่าชนิด A.R. grade มาก
5. การเตรียมกรมบอริกผสมอินดิเคเตอร์โดยการปรับให้เป็นสีม่วงแดงโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์นั้นสามารถทดสอบสีที่เหมาะสมโดยดูดสารละลายมา 1 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำลงไป 1 มิลลิลิตร ถ้าสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียวแสดงว่าพีเอชของสารละลายกรดบอริกที่ใช้เหมาะสมแล้ว (ประมาณ 5)

ภาคผนวก – ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข1. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินที่เพาะปลูกผักกาดหอม
ระหว่างการทดลอง

Treatment (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)		สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 9
1	5:0:0	6.96	6.95	6.95
2	4:1:0	6.90	6.9	6.89
3	3:2:0	7.01	7.00	7.00
4	2:3:0	7.00	6.98	6.99
5	1:4:0	7.15	7.10	7.13
6	3:1:1	7.08	7.05	7.07
7	2:2:1	7.03	7.03	7.02
8	1:3:1	6.89	6.89	6.78
9	4:0:1	6.98	6.96	6.96
10	3:0:2	7.00	7.02	7.01
11	2:0:3	7.05	7.05	7.03
12	1:0:4	6.98	6.97	6.97
13	2:1:2	7.01	7.00	6.98
14	1:2:2	7.03	7.02	7.01
15	1:1:3	6.98	6.98	6.97
16	ปุ๋ยเคมี	6.95	6.95	6.93

ตารางที่ ข2. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินที่เพาะปลูกมะเขือเทศ
ระหว่างการทดลอง

Treatment (ดิน:กากขี้เถ้า:กากตะกอน)		สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 12
1	5:0:0	6.95	6.95	6.88	6.86
2	4:1:0	6.91	6.89	6.87	6.85
3	3:2:0	7.01	6.99	6.98	6.97
4	2:3:0	7.00	6.98	6.97	6.95
5	1:4:0	7.14	7.09	7.05	7.05
6	3:1:1	7.03	7.00	7.02	7.02
7	2:2:1	7.00	6.98	6.97	6.96
8	1:3:1	6.89	6.86	6.85	6.84
9	4:0:1	7.00	6.98	6.97	6.96
10	3:0:2	7.02	7.01	6.99	6.98
11	2:0:3	7.02	7.02	7.02	7.00
12	1:0:4	6.97	6.95	6.93	6.91
13	2:1:2	7.05	7.03	7.01	6.99
14	1:2:2	7.04	7.02	7.02	7.01
15	1:1:3	6.99	6.98	6.97	6.96
16	ปุ๋ยเคมี	6.98	6.97	6.98	6.97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข3. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดินที่เพาะปลูกข้าว
ระหว่างการทดลอง

Treatment (ดิน:กากขี้เฒ่า:กากตะกอน)		สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 12
1	5:0:0	6.95	6.95	6.94	6.95
2	4:1:0	6.90	6.88	6.87	6.87
3	3:2:0	7.00	6.98	6.98	6.97
4	2:3:0	7.01	6.98	6.98	6.99
5	1:4:0	7.13	7.09	7.08	7.09
6	3:1:1	7.05	7.05	7.03	7.03
7	2:2:1	7.00	7.01	7.01	7.00
8	1:3:1	6.88	6.86	6.87	6.86
9	4:0:1	6.99	6.98	6.97	6.96
10	3:0:2	7.01	7.00	6.99	6.98
11	2:0:3	7.02	7.02	7.00	7.01
12	1:0:4	6.96	6.95	6.95	6.94
13	2:1:2	7.04	7.00	7.01	6.98
14	1:2:2	7.02	7.01	7.01	7.00
15	1:1:3	6.98	6.98	6.96	6.96
16	ปุ๋ยเคมี	6.96	6.95	6.95	6.95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	อินทรีย์วัตถุ
ต่ำมาก	< 5
ต่ำ	5 - 10
ค่อนข้างต่ำ	10 - 15
ปานกลาง	15 - 25
ค่อนข้างสูง	25 - 35
สูง	35 - 45
สูงมาก	> 45

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน(2530)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
รายงานวิจัยบางส่วน



รูป ค1 การเพาะกล้าผักกาดหอม



รูป ค2 ผักกาดหอมปลูกได้อายุ 8 สัปดาห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก3 ผักกาดหอมที่ได้จากการปลูกในชุดการทดลองที่ 1, 7 และ 16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ค 4 ผักกาดหอมอายุ 9 สัปดาห์ก่อนการเก็บผลผลิตในชุดการทดลองที่ 1, 7 และ 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ค5 มะเขือเทศหลังจากย้ายต้นกล้ามาปลูกได้ 14 วัน



รูป ค6 มะเขือเทศเริ่มออกผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

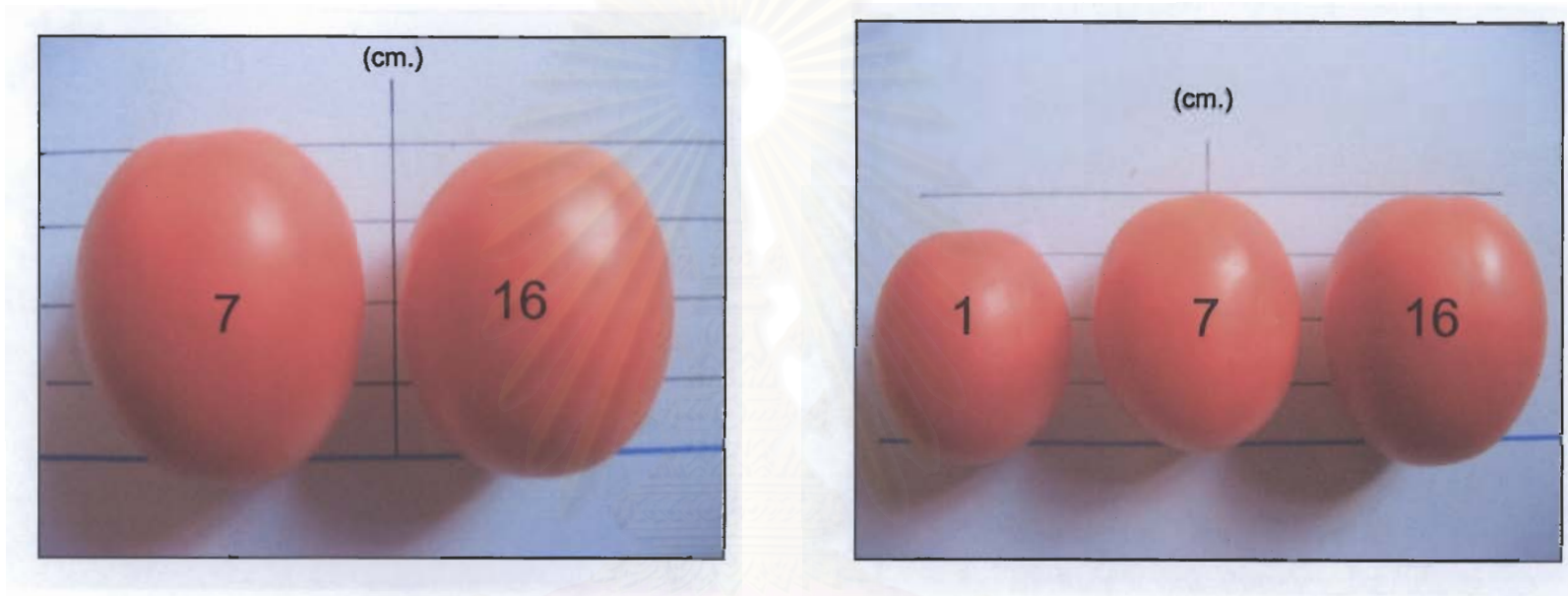


รูป ค7 มะเขือเทศอายุ 45 วันเริ่มออกดอก



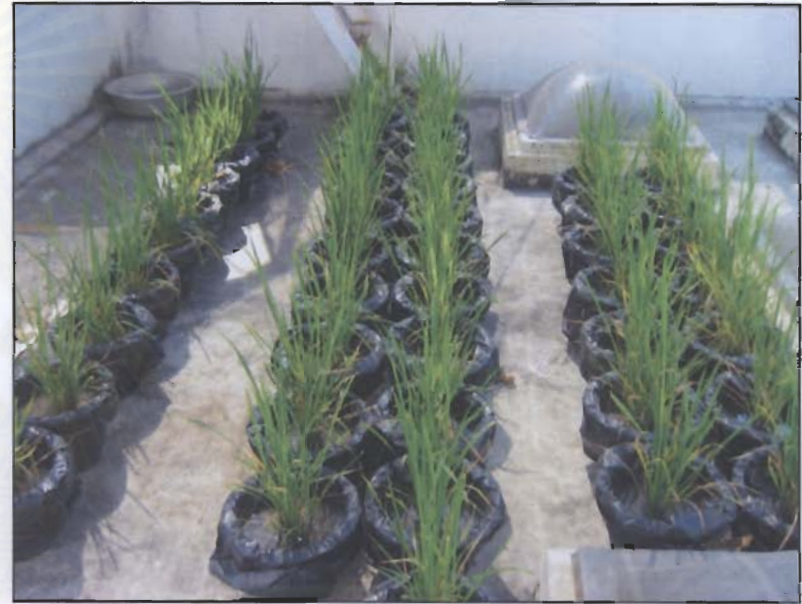
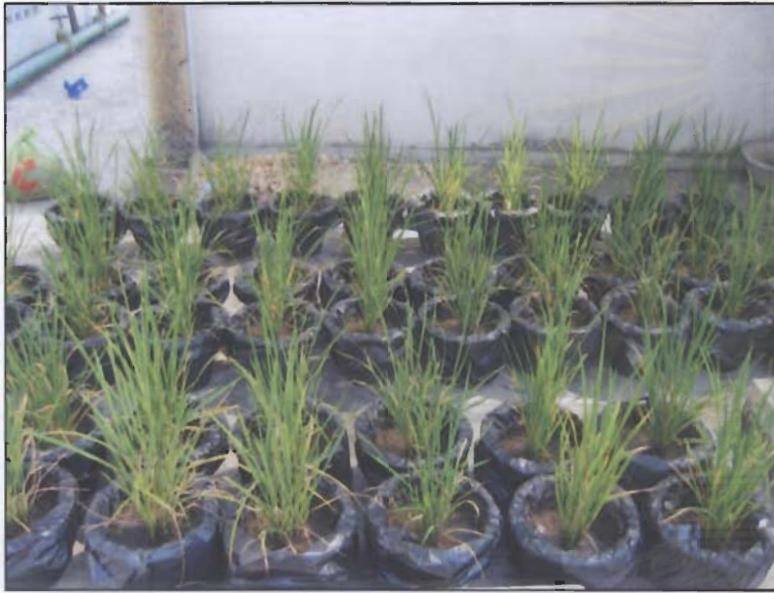
รูป ค8 ผลของมะเขือเทศอายุ 75 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ๑๑ ขนาดผลของมะเขือเทศในหน่วยทดลองที่ 1(ควบคุม) 7(อัตราส่วน 2: 2 : 1) และ 16 (ปุ๋ยเคมี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ๑๐ ต้นข้าวที่ทำการทดลองในกระถาง หลังเติมสิ่งทดลอง ในระยะต้นข้าวแตกกอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ค11 ต้นข้าว หน่วยทดลองที่ 1 (ควบคุม)
หน่วยทดลองที่ 7 (อัตราส่วน 2:2:1)
หน่วยทดลองที่ 16 (ปุ๋ยเคมี)



รูป ค12 ต้นข้าวในระยะออกรวง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปค13 ต้นข้าว หน่วยทดลองที่ 7
(อัตราส่วน 2:2:1)



รูปค14 ต้นข้าว หน่วยทดลองที่ 1
(ควบคุม)



รูปค15 ต้นข้าว หน่วยทดลองที่ 16
(ปุ๋ยเคมี)

สถาบันวิจัยการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วลัยพร ผ่อนผัน เกิดเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสารวิทยา และระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา ปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน ปีการศึกษา 2544

ในปีการศึกษา 2545 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย