สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การนำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า

นางสาววันเพ็ญ น้อยตำแย
นางสาวอารีรัตน์ หัฏฐะเมตตา

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40045
วัน, เดือน, ปี 24 ต.ค. 2544

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilization of Sludge from Tapioca Industry Wastewater Treatment System for Chinese Kale

Miss. Wanpen Noitumyae

Miss. Areerat Huttametta

A Special Project Submitted in Partial Fulfilment of the Requirement of the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การนำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า

โดย นางสาววันเพ็ญ น้อยตำแย
นางสาวอารีรัตน์ หัฏฐะเมตตา

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ลายเซ็น

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย) **หัวหน้าภาค**

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

(อาจารย์ยุพา ตันทวี) **ประธานกรรมการ**

(อาจารย์คณิตา ตังคณานุรักษ์) **กรรมการ**

(ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์) **กรรมการ**

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง การนำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า

โดย นางสาววันเพ็ญ น้อยตำแย

นางสาวอารีรัตน์ หัฏฐะเมตตา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า โดยทำการศึกษาหาองค์ประกอบของตะกอนน้ำเสีย พบว่าตะกอนน้ำเสียมีธาตุอาหารของพืชในปริมาณพอสมควร ได้ทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัสดุปลูก (ดิน ดินทราย ตะกอน และตะกอนหมัก) เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า ในส่วนที่สอง เป็นการเปรียบเทียบสูตรของตะกอนหมักสูตรต่างๆ ซึ่งการทดลองทั้ง 2 มีดินเป็นตัวควบคุม ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) หลังเก็บเกี่ยวจะทำการทดลองหาองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ปลูก ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักคะน้าโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุดได้แก่ ตะกอน 25 % + ดิน 75 % ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.8044 กรัม ผักคะน้าเจริญเติบโตในดินได้ดีกว่าดินทราย สูตรของตะกอนหมักที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุดได้แก่ ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด ที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.2568 กรัม ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ในตะกอนหมักที่ไม่ได้ใส่ยูเรียดีกว่าในตะกอนหมักที่ใส่ยูเรีย และผักคะน้าหลังเก็บเกี่ยวพบว่ามีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Utilization of Sludge from Tapioca Industry Wastewater Treatment System for Chinese Kale
Name	Miss. Wanpen Noitumyae
	Miss. Areerat Huttametta
Special Project Advisor	Dr.Chompoonut Chaiyaraksa
Department	Chemistry
Academic Year	2000

Abstract

This research aimed to study the utilization of sludge from tapioca industry wastewater treatment system for Chinese Kale. Sludge components had been studied and found some amount of plant nutrient. Experiments were separated into 2 sections. The first section was the comparision between various ratio of planting materials (soil, sand, sludge and compost) in order to find the best ratio for growth of Chinese Kale. The second section was the comparision between various composts. In both sections, soil was used for the control. All experiment was designed by using CRD system. After harvest, planting materials were tested their compositions. The dry weight of all plant were compared by using statistic analysis. Heavy metals in plant were also tested. The result showed that the Chinese Kale grew well when using sludge 25% + soil 75%. The average plant dry weight was 5.8044 grams. Plant could grow in soil better than in sand. The best compost was the sludge + chicken manure + pegian manure + rice bran without urea. The average dry weight of the plant grown from such compost was 4.2568 grams. The Chinese Kale had grown in the compost without urea better than the compost with urea. Heavy metal in plant was found a little.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ยุพา ตันทวี และ อาจารย์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษที่ช่วยให้คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิรัตน์ ภูวิวัฒน์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการปลูกผักคะน้า

ขอขอบพระคุณบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด ที่สนับสนุนเงินวิจัยในการทำโครงงานพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน รุ่นพี่และเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาววันเพ็ญ น้อยตำแย

นางสาวอารีรัตน์ หัฏฐะเมตตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
รายการสัญลักษณ์	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 เวลาที่ใช้ในการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ขบวนการผลิตของบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด	5
2.2 ขบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด	6
2.3 การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์	7
- แก๊สชีวภาพ	8
- การผลิตสาหร่าย	9
- การเลี้ยงปลา	10
- การทำปุ๋ย	11
- land treatment	14
2.4 ปุ๋ย	16
2.5 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช	20
2.6 ผลกระทบของโลหะหนักที่ปนในกากตะกอน	22
2.7 ข้อควรคำนึงในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ดิน	25
2.9 ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	34
2.10 คะน้า	40
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	43
แหล่งที่มาของตะกอนน้ำเสีย	43
แหล่งที่มาของดินทราย	43
แหล่งที่มาของดิน	43
พืชทดลอง	43
แหล่งที่มาของตะกอนหมัก	43
3.1 ขั้นตอนการทำให้แห้งของตะกอน	43
3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของตะกอน	44
3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ปลูกก่อนการทดลอง	44
3.4 การวางแผนการทดลอง	45
3.5 การปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิต	50
3.6 วิเคราะห์น้ำหนักแห้งผักคะน้าและโลหะหนักหลังการเก็บเกี่ยว	50
3.7 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ปลูกหลังการทดลอง	50
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	50
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	51
4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนน้ำเสีย	51
4.2 ผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ปลูกผักคะน้า	54
4.3 ผลของการนำตะกอนน้ำเสียมาปลูกผักคะน้า	57
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	72
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	73
5.1 สรุปผลการวิจัย	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ		74
เอกสารอ้างอิง		75
ภาคผนวก		77
ภาคผนวก ก	วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของดิน	77
ภาคผนวก ข	ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของดิน	97
ภาคผนวก ค	ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของคะน้า	108
ภาคผนวก ง	วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในพืช	109
ภาคผนวก จ	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในคะน้า	111
ภาคผนวก ฉ	แผนงานทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์	113
ภาคผนวก ช	การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการวิจัย	4
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในตะกอน	13
ตารางที่ 2.2 พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดต่อพืชและสัตว์	24
ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือและวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ของตะกอน	44
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของดิน ดินทราย ตะกอน และ ตะกอนหมักในแต่ละสูตร	45
ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของตะกอนหมักในแต่ละสูตร	46
ตารางที่ 3.4 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CRD ในการปลูกผักคะน้าครั้งที่ 1	47
ตารางที่ 3.5 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CRD ในการปลูกผักคะน้าครั้งที่ 2	49
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย	51
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ปลูกก่อนการทดลอง	54
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ปลูกหลังการทดลอง	55
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนหมักก่อนการทดลอง	56
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งและปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า	57
ตารางที่ 4.6 แสดงน้ำหนักแห้งของผักคะน้า	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปภาพที่ 3.1	แสดงการทดลองปลูกผักคะน้าแบบ CRD	48
รูปภาพที่ 3.2	แสดงสถานที่ปลูกผักคะน้า	48
รูปภาพที่ 4.1	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร A	60
รูปภาพที่ 4.2	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร B	60
รูปภาพที่ 4.3	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร C	61
รูปภาพที่ 4.4	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร D	61
รูปภาพที่ 4.5	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร E	62
รูปภาพที่ 4.6	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร F	62
รูปภาพที่ 4.7	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร G	63
รูปภาพที่ 4.8	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร H	63
รูปภาพที่ 4.9	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร I	64
รูปภาพที่ 4.10	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร J	64
รูปภาพที่ 4.11	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร K	65
รูปภาพที่ 4.12	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร A	69
รูปภาพที่ 4.13	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร B	69
รูปภาพที่ 4.14	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร C D และ E	70
รูปภาพที่ 4.15	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร F และ H	70
รูปภาพที่ 4.16	แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร G และ I	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

pH	พีเอช หรือความเป็นกรด - ด่าง
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
CRD	การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
AAS	อะตอมมิกแอบซอร์บชั่นสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
ppm	ส่วนในล้านส่วน
ml.	มิลลิลิตร
N	นอร์มัล
M	โมลาร์
L	ลิตร
g	กรัม
nm.	นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในขบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมักจะมีตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดตะกอนน้ำเสีย ซึ่งทำได้โดยการนำไปฝังดิน เผาทิ้ง หรือวิธีการอื่น ๆ ซึ่งอาจจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดสูง และอาจก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมตามมาได้

จึงได้หาแนวทางในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสมและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด รวมทั้งสามารถนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ได้ด้วย โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติ และองค์ประกอบของตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานซึ่งเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) แล้ว พบว่า มีองค์ประกอบเป็นพวกสารอินทรีย์ซึ่งสามารถใช้เป็นสารอาหารของพืช และช่วยปรับปรุงคุณภาพดินได้ แต่ในขณะเดียวกันก็พบว่ามีธาตุอาหารในรูปที่ละลายน้ำได้ เช่น ซัลเฟต อาจจะสะสมในดิน ทำให้สภาพดินเปลี่ยนแปลงไปได้ ฉะนั้นการที่จะนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในด้านนี้ จึงต้องทำการวิเคราะห์สมบัติของดินหลังจากการปลูกพืชด้วย

จากแนวคิดและแนวทางเกี่ยวกับการนำตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการปลูกผักคะน้าซึ่งเป็นพืชที่ประชาชนนิยมนำมาประกอบเป็นอาหารประจำวันและเป็นที่ต้องการของตลาด และเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี

ในการวิจัยนี้จึงได้นำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกผักคะน้า เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียอย่างคุ้มค่า และเป็นการลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังให้ประโยชน์แก่เกษตรกรอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) ทดสอบคุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช
2) ทดสอบคุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียที่จะเป็นโทษต่อพืช
3) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติและองค์ประกอบของวัสดุปลูกก่อนและหลังที่จะนำมาปลูกผักคะน้า
4) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชระหว่างดินกับตะกอนน้ำเสีย (ที่หมักและไม่ได้หมัก) ที่ได้จากโรงงานมันสำปะหลัง
5) ศึกษาปริมาณโลหะหนักในพืชหลังการเจริญเติบโต

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1) ทดสอบคุณสมบัติของตะกอนน้ำเสีย (ที่หมักและไม่ได้หมัก) ที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ pH , CEC ,Total nitrogen , Ammonium nitrogen , P , K , Organic Carbon , %ความชื้น
2) ทดสอบคุณสมบัติที่จะเป็นโทษต่อพืช คือ โลหะหนัก ได้แก่ Fe , Zn , Mn , Pb , Ni , Cd , Hg และ Cu
3) ทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุปลูกก่อนและหลังปลูกผักคะน้า ได้แก่ pH , CEC, Total nitrogen , P และ K
4) ทำการแปรผันอัตราส่วนระหว่างดินกับตะกอนน้ำเสีย(ที่หมักและไม่ได้หมักเป็นปุ๋ย)ที่ใช้ในการปลูกผักคะน้า โดยจำนวนซ้ำในแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกัน ตั้งแต่ 3-6 ซ้ำ ตามความเหมาะสม และศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า โดยสังเกตจากน้ำหนักแห้งของพืชหลังเก็บเกี่ยวเป็นหลัก โดยทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)
5) วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในพืชหลังการเจริญเติบโต ได้แก่ Zn , Cu , Pb , Ni , Cd , Cr , Fe และ Mn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงความเป็นไปได้และความคุ้มค่าที่จะนำของเสียโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร
2) เป็นแนวทางเลือกทางหนึ่งของการกำจัดตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน
3) เพื่อเป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย
4) เพื่อลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม เป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาล
5) โรงงานสามารถจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสมและประหยัดซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการขอ ISO 14000 ต่อไป

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 เวลาที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการวิจัย

แผนงาน	ระยะเวลา
ศึกษาเอกสาร	1-15 พฤษภาคม
ตรวจสอบสถานที่ทำการวิจัย	16-18 พฤษภาคม
จัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	19-20 พฤษภาคม
จัดทำเค้าโครงการวิจัยอย่างละเอียด	21-22 พฤษภาคม
เก็บตัวอย่างดินและ Sludge	23 พฤษภาคม
วิเคราะห์ดินและ Sludge	มิถุนายน - กรกฎาคม
เพาะกล้า	สิงหาคม
ปลูกคะน้า (วัดขนาด สังเกตลักษณะในพืช)	กันยายน - ตุลาคม
เก็บเกี่ยวผลผลิต	พฤศจิกายน
วิเคราะห์ดินและผักคะน้า	ธันวาคม
ปลูกคะน้าโดยใช้ตะกอนหมัก	กุมภาพันธ์
หาปริมาณน้ำหนักแห้งของคะน้า	15 มีนาคม
รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	16-22 มีนาคม
เขียนรายงาน	23-27 มีนาคม

เวลาที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมด 11 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. ขบวนการผลิตของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด

การโม่มันสำปะหลัง

รถขนมันสำปะหลังจะมาส่งมันสำปะหลังที่ลานและจะมีสายพานเคลื่อนย้ายมันสำปะหลังไปเพื่อทำการปลอกมัน จากนั้นจะทำการล้างมันสำปะหลังและนำเข้าสู่ระบบการโม่มันสำปะหลัง ซึ่งใน 1วันจะมีการโม่มันสำปะหลังประมาณ 2,500 คิว ซึ่งจะได้แป้งประมาณ 400 ตัน ของมันสำปะหลังสด

ขั้นตอนการโม่มันสำปะหลังเกิดของเสียดังนี้ คือ

1. เปลือกที่เกิดจากการปลอกมัน
2. น้ำเสียที่เกิดจากการล้างมันสำปะหลังจะส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการเปลี่ยนเป็นแป้ง

จากการโม่มันสำปะหลังจะได้แป้งที่มีความข้นพอสมควรซึ่งข้นประมาณ 20 - 22 โบลเม่ จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นแป้งได้ดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์

   น้ำแป้งที่ข้นจะเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ มีการอุ่นน้ำแป้งโดยใช้ การแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นมีการเติมสารเคมีและกำหนดระยะเวลาที่ทำให้น้ำแป้งอยู่ในถังปฏิกรณ์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์โดยระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการซึ่งอาจจะเป็น 4,5,หรือ 20 ชั่วโมง และเมื่อเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์แล้วจะหยุดการเดินระบบ ในขั้นตอนนี้จะมีการสุ่มตัวอย่างไปตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าตรงตามต้องการหรือไม่ จากนั้นจะปั๊มไปยังถังพัก

2. ถังพัก

   เมื่อปั๊มน้ำแป้งเข้าสู่ถังพัก น้ำแป้งจะถูกนำไปกรองล้างเอากากอ่อนหรือสารเคมีที่สกปรกออก และมีการทำให้น้ำแป้งข้นมากขึ้น น้ำที่ได้จะมีหางน้ำแป้งและจะนำไปกรอง

   1) กากอ่อนที่ได้จากการกรองถูกปั๊มไปอัดกากส่งไปอัดเม็ดให้กับโรงงานอาหารสัตว์
   2) น้ำเสียจากการล้างกากอ่อน สารเคมีที่สกปรกและหางน้ำแป้งจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Hydrocyclone

จะมีการทำให้น้ำแป้งข้นขึ้นอีกครั้ง ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ส่วนน้ำแป้งที่ข้นและสะอาดจะถูกปั๊มไปยัง Feed Tank

4. Feed Tank

เมื่อน้ำแป้งเข้าสู่ Feed Tank และมีการป้อนเข้าไปทำการ Centifuge ทำให้แป้งที่หนักจะตกลงและแป้งที่เบากว่าจะถูกกักไว้ แป้งที่ได้จะผ่านเข้าสู่ Magnetic Separator เพื่อทำการแยกเศษโลหะออก จากนั้นแป้งจะเข้าสู่เครื่องบดละเอียดและเข้าสู่ตู้แป้งจะมีตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh แป้งที่ไม่ผ่านตะแกรงจะเป็นแป้งหยาบต้องให้ผ่านเครื่องเป่าลมใหม่ ส่วนแป้งที่ผ่านการร่อนแล้วจะทำการบรรจุให้ลูกค้า

น้ำเสียที่ได้ทั้งหมดจะทำการเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยแบ่งเป็น

1. น้ำเสียจากขบวนการโม่แป้งจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ
2. น้ำเสียจากขบวนการเปลี่ยนเป็นแป้งจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากน้ำเสียมีสารเคมีสูง ถ้าน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้อากาศอาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยสลายตายได้

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

มีลักษณะเป็นโดมพลาสติกทำด้วยไฟเบอร์ชนิดพิเศษที่ทนต่อความร้อน เป็นระบบปิด โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบนี้จะทำการปรับสภาพเพื่อปล่อยให้ตกตะกอนก่อนแล้วจึงเข้าสู่บ่อหมัก

high load

น้ำเสียที่เข้ามาจะมีค่าบีโอดี 12,000 - 18,000 มิลลิกรัม/ลิตร เริ่มต้นจะใช้แบคทีเรียที่สร้างกรดทำการย่อยน้ำเสียก่อนซึ่งทำให้เกิดสภาวะกรด ผลพลอยได้ของผลิตภัณฑ์จะเป็นอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างมีเทนต่อไปใน low load ส่วนก๊าซที่เกิดขึ้นจะเป็นก๊าซชีวภาพ คือ มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงโดยจ่ายไปยังระบบการเปลี่ยนเป็นแป้ง สามารถจุดไฟได้ในเตาที่ใช้ความร้อนในการอบแป้ง สุดท้ายน้ำเสียที่ออกจากระบบนี้จะมีค่าบีโอดีลดลงประมาณ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบนี้พบว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ และเกิดสลัดจ์น้อยมากในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ค่าพีเอชของระบบนี้ต่ำมาก ต้องมีการหมุนเวียนสลัดจ์จากระบบตะกอนเร่งที่มีค่าพีเอช 7-8 มาช่วยปรับพีเอชให้เหมาะสม แต่มีการหมุนเวียนสลัดจ์นี้น้อยเนื่องจากถ้าใช้จำนวนมากจะมีพิษต่อเชื้อได้ เพราะเชื้อเป็นแบคทีเรียพวกสร้างกรด

low load

จะทำการปรับน้ำเสียจาก high load ให้เป็นกลางโดยใช้โซดาไฟ แล้วน้ำจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

<u>ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ</u>

น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะมีน้ำเสียจากขบวนการเปลี่ยนเป็นแป้ง และน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ระบบนี้จะมีการเติมอากาศใต้น้ำด้วย blower หัวจ่ายอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศเล็กๆขึ้น ทำให้มีการแลกเปลี่ยนที่ดี มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบทั่วไป เมื่อผ่านจากบ่อเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสารอินทรีย์ แล้วจะเข้าสู่ถังตกตะกอน และตกตะกอนแล้วน้ำที่ออกจากระบบจะปล่อยออกสู่ทะเลซึ่งมีค่าบีโอดีต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 8 -9 มีของแข็งแขวนลอยประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งละลายได้ประมาณ 2,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในมาตรฐานการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนที่ได้จะเข้าบ่อพักตะกอนเพื่อนำบางส่วนเติมลงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเพื่อปรับพีเอช ส่วนที่เหลือจะเข้าสู่การรีดตะกอนโดยมีการเติมสารโพลีเมอร์เพื่อให้ตะกอนรวมตัวกันและสามารถรีดออกมาเป็นแผ่นได้ ปริมาณตะกอนที่รีดออกมาได้ประมาณ 20 -30 ตันต่อวัน

อุปสรรคในระบบนี้คือ ในน้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลังจะมีเกลือซัลเฟตมากซึ่งไม่สามารถนำตะกอนมาทำการหมุนเวียนไปยังระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้ เนื่องจากถ้าเติมลงไปจะทำให้เป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์จึงทำให้เกิดตะกอนสะสมปริมาณมาก

2.3 <u>การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์</u>

การกำจัดกากตะกอนในขั้นสุดท้ายด้วยวิธีการเผาทิ้ง การนำไปฝังดิน หรือการขนไปทิ้งในทะเลหรือมหาสมุทรนั้น มักจะก่อปัญหาสภาวะแวดล้อมต่อเนื่องขึ้น เช่น การใช้วิธีเผาทิ้งอาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศจากฝุ่นขี้เถ้าและควันจากปล่องควันไฟ ส่วนการฝังดินนั้นก็มีความลำบากในการหาบริเวณพื้นดินที่เหมาะสมที่จะฝังกากตะกอน เพราะว่าการเพิ่มจำนวนประชากร การขยายเขตเมือง ทำให้การใช้ประโยชน์ที่ดินในแง่ต่าง ๆ มีขีดจำกัด

จากทางเลือกในวิธีการกำจัดกากตะกอนที่จำกัดลงเรื่อย ๆ ประกอบกับแนวคิดเรื่องการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์อีกนั้น อาจกล่าวได้ว่าเป็นการแก้ไขปัญหาสภาวะแวดล้อมที่สามารถมองเห็นกำไรจากการลงทุน จึงทำให้เกิดมีการพัฒนาวิธีการและความเหมาะสมของการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรนั้น เนื่องมาจากเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกากตะกอนที่ต้องกำจัดให้หมดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากกฎหมายอีกด้วย เช่น

Federal Legislation Enactment of the Federal Water Pollution Control Act Amendments of 1972 (PL 92-500) ซึ่งบัญญัติเกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัยจากการกำจัดมลสารที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดมลภาวะ (Follett et al., 1981 ; Loehr et al., 1979)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์เริ่มมานานหลายปีแล้ว โดยมีการผลิตกากตะกอนแห้งออกจำหน่ายในรูปของปุ๋ย เช่น ที่เมืองชิคาโก รัฐอิลลินอย เป็นต้น (petterson et al ., 1971) และในปี ค.ศ. 1976 มีการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนและจากกิจกรรมอื่น ๆ ปริมาณประมาณ 102,503 เมตริกตัน จาก 50 รัฐ ในประเทศสหรัฐอเมริกามาใช้เป็นปุ๋ย และอินทรีย์วัตถุสำหรับปรับปรุงคุณภาพดิน (follett et al ., 1981)

ในประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์บ้างแล้ว แต่กากตะกอนที่นำมาใช้ประโยชน์เป็นกากตะกอนจากกิจกรรมอุตสาหกรรม เช่น กากตะกอนจากระบบนำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผงชูรส (อิทธิสุนทร นันธกิจ , 2522) กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์ (จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และคณะ, 2522) เป็นต้น นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2527 นิตยา มหาผล และคณะ ได้ศึกษาองค์ประกอบเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลชลบุรี เพื่อหาแนวโน้มในการนำกากตะกอนมาใช้เป็นปุ๋ย และกล่าวว่ากากตะกอนจัดเป็นปุ๋ยสูตรต่ำ เมื่อเปรียบเทียบเกรดปุ๋ยโดยใช้ระดับสูตรปุ๋ยเป็นเกณฑ์ คือ มีค่าอัตราส่วนไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โปตัสเซียม เป็น 5.3 : 4.6 : 0.06

การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

<u>แก๊สชีวภาพ</u>

ได้รับความสนใจมากในช่วงปี ค.ศ. 1980 ซึ่งเกิดวิกฤตการณ์พลังงาน วัตถุที่ใช้ผลิตแก๊สชีวภาพเป็นพวกของเสีย ได้แก่ human excreta , animal manure , sewage sludge และเศษพืชผัก ถ้านำวัสดุเหล่านี้มาผลิตแก๊สชีวภาพ จะได้ประโยชน์เพิ่มขึ้นในขณะที่ยังใช้เป็นปุ๋ยได้ องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพจะไม่คงที่ องค์ประกอบคร่าวๆ มีดังนี้

CH_4 55 – 65 %

CO_2 35 – 45 %

N_2 0 – 3 %

H_2 0 – 1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_2S 0 – 1 %

แก๊สที่ได้ต้องการให้มี CH_4 มากที่สุดเพราะว่าเป็นแก๊สมีค่าความร้อนสูงถึงประมาณ 9,000 kcal / m^3 โดยทั่วไปค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพประมาณ 4,500 – 6,300 kcal / m^3 ขึ้นกับปริมาณแก๊สอื่นๆ ที่ปนอยู่กับมีเทน

จุดประสงค์ในการผลิตแก๊สชีวภาพ คือ เพื่อลดการใช้กระแสไฟฟ้า ถ่านหิน ฟืน ลดการทำลายป่า และสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ของของเสียประมาณ 30 – 60 %

เมื่อเปรียบเทียบ biogas technology กับ composting technology แล้ว biogas technology จะมีข้อด้อยกว่า คือ

- การทำปุ๋ยหมักจะ stabilize ของเสียและ inactivate เชื้อโรคได้ดีกว่า
- ต้นทุนค่าก่อสร้างแพง
- ข้อจำกัดของฤดูกาลในการผลิตแก๊ส
- ปัญหาด้านการเดินระบบและดูแลรักษา

<u>การผลิตสาหร่าย</u>

สาหร่ายคือกลุ่มของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ มีขนาดตั้งแต่เซลล์เดียวซึ่งเล็กมากต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทัศน์จนถึงขนาดใหญ่มีหลายเซลล์ เช่น seaweeds ซึ่งอาจยาวหลายเมตร สาหร่ายเซลล์เดียวหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า phytoplankton หรือ single protein เช่น green algae , blue – green algae สาหร่ายได้รับความสนใจในการบำบัดของเสียและการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์เนื่องมาจากสามารถทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี

การเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียจะทำให้ได้โปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของสาหร่ายซึ่งมีศักยภาพในการเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ สาหร่ายมีสมบัติที่เหมาะสมในการเป็น single cell protein ดังนี้

- อัตราการเจริญเติบโตสูง
- ต้านทานต่อสิ่งแวดล้อมที่ไม่คงที่
- มีคุณค่าทางโภชนาการสูง
- มีเนื้อโปรตีนสูง
- มีความสามารถในการเจริญเติบโตในน้ำเสียได้ดี

การผลิตสาหร่ายจากน้ำเสียจึงเป็นการเปลี่ยนของเสียให้อยู่ในรูปโปรตีนที่เป็นประโยชน์ สารอินทรีย์ที่เป็นของเสียทิ้งจากน้ำเสียชุมชน เกษตร ของเสียจากสัตว์ สามารถบำบัดได้ด้วยสาหร่ายและผลที่ได้คือมวลของสาหร่าย ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมวลสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ที่รับแสงอาทิตย์ได้ต้องมีสารอาหารเพียงพอมีการควบคุมชนิดของสาหร่ายที่ต้องการ การแยกสาหร่าย และการเก็บเกี่ยวที่ดี

การเลี้ยงปลา

วิธีการผลิตสาหร่ายจากการบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีที่ได้รับความสนใจ ซึ่งได้โปรตีนถึงประมาณ 50 % แต่เนื่องจากสาหร่ายมีขนาดเล็กโดยทั่วไปเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ทำให้ยากต่อการเก็บเกี่ยวและไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สาหร่ายที่เจริญในบ่อบำบัดน้ำเสียจัดเป็น phytoplankton ใช้เป็นอาหารให้กับปลากินพืชได้ (herbivore fish) สาหร่ายไม่เหมาะเป็นอาหารสัตว์ ยกเว้น Spirulina เพราะมีผนังเซลล์แข็งทำให้ย่อยยาก

การใช้ organic waste ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมี 3 รูปแบบ คือ

- เลี้ยงปลาในบ่อด้วย excreta , sludge หรือ manure
- ปล่อยน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียลงในบ่อปลา
- เพาะเลี้ยงปลาโดยตรงในบ่อบำบัดน้ำเสีย

เทคนิคที่ 2 และ 3 ในการใช้ประโยชน์ของเสีย มีการใช้กันทั้งในประเทศพัฒนาและกำลังพัฒนา มีบ่อปลาอยู่ในเมืองกัลกัตตา ประเทศอินเดียประมาณ 2,500 ha ที่เลี้ยงปลาด้วยน้ำเสีย (sewage) ใน Hunan ประเทศจีน 270 ha ใน Munich เยอรมันนี 233 ha ในประเทศอิสราเอล 50 – 100 ha เมื่อมีการเลี้ยงปลาด้วยน้ำเสียโดยเดินระบบให้เหมาะสม พบว่าผลผลิตของปลาจะสูงกว่าบ่อปลาที่เติมปุ๋ยอนินทรีย์

จุดประสงค์หลักในการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์คือ การบำบัดของเสียและได้ผลผลิตปลาซึ่งได้รับสารอาหารที่มาจากของเสีย เช่น N , P , K (โดยตรงและอ้อม) และยังช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจาก Waste Stabilization Pond - WSP ซึ่งในบ่อ WSP จะมีสาหร่ายแขวนลอยอยู่เป็นจำนวนมากทำให้ค่าน้ำทิ้งที่จะปล่อยออกไปมีค่า SS สูง เป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ สารอาหารให้กับแหล่งน้ำ ถ้าปล่อยลงในบ่อเลี้ยงปลาก่อนที่จะทิ้งลงในแหล่งน้ำหรือเลี้ยงปลาใน WSP โดยตรงจะช่วยลดปริมาณสาหร่ายและแบคทีเรียทำให้ effluent มีคุณภาพดีขึ้นก่อนปล่อยลงในแหล่งน้ำ

ข้อจำกัดในการเลี้ยงปลา

- ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่และบ่อปลาต้องมี organic loading ต่ำ ถ้าของเสียอยู่ในรูปที่เข้มข้นมาก เช่น septage ต้องมีแหล่งน้ำที่เติมลงไปเพื่อชดเชยการระเหยและปรับความเข้มข้นของสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปลาที่เจริญเติบโตในบ่อบำบัดน้ำเสียอาจมีเชื้อโรคปนเปื้อนอยู่หลายชนิด ถ้าในบ่อมีโลหะหนัก หรือ toxic substance ในปริมาณสูงจะเกิดกระบวนการ Bioaccumulation และ Biomagnification ได้ทำให้มีสารพิษเหล่านี้มีความเข้มข้นสูงในเนื้อปลา

<u>การทำปุ๋ย</u>

Whitehead (1963) กล่าวว่าขณะที่อินทรีย์วัตถุในดินสลายตัว พวกธาตุอาหาร ต่าง ๆ จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และจุลธาตุอาหารต่าง ๆ ไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์มักจะถูกดูดดึงไปใช้โดยพืชได้ง่าย จึงทำให้ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินลดลง ดังนั้นการเพิ่มหรือการเติมอินทรีย์วัตถุลงไปในดินเมื่ออินทรีย์วัตถุเกิดการสลายตัวจะเกิดกรดอินทรีย์ต่าง ๆขึ้น ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการสลายตัวของแร่ธาตุต่าง ๆ ในดินด้วย เมื่อใดก็ตามที่มีการเติมอินทรีย์วัตถุลงดิน ไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุนั้น อาจจะถูกย่อยสลายและถูกเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์โดยพวกจุลินทรีย์ (mineralization) ซึ่งทำให้เกิดไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชทันที หรือในบางกรณีไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุนั้นอาจถูกทำให้เปลี่ยนรูปจากสารอนินทรีย์ไปเป็นสารอินทรีย์โดยพวกจุลินทรีย์ก่อน (immobilization) ซึ่งถ้าเกิดเหตุการณ์หลังขึ้นก่อนจะทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็ประโยชน์ต่อพืชได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การพิจารณาว่า อินทรีย์วัตถุใดเมื่อเติมลงดินแล้วจะทำให้เกิดไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันที หรือจะทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังการเติมอินทรีย์วัตถุนั้นลงดิน พิจารณาได้จากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 10:1 จะทำให้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ดีต่อเมื่ออินทรีย์วัตถุนั้นมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ประมาณ 10:1 หรือต่ำกว่า 10:1 และที่อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 ถือว่าเป็นค่าขีดจำกัดสูงที่สุดที่อินทรีย์วัตถุนั้นยังจะสามารถเกิดขบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2523; Follett <u>et al</u> ., 1981)

โดยทั่วไปกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนและอื่น ๆ จะมีสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนประมาณร้อยละ 30-50 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 2.5-5.0 ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน จะมีค่าประมาณ 10-12 : 1 จึงทำให้สามารถเติมกากตะกอนลงดิน ไม่ว่าจะเป็นวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดินหรือโรยบนผิวดิน แล้วปลูกพืชตามได้ทันที โดยปราศจากการเกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett <u>et al</u> ., 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองของ Kelling และคณะ (1977a) กล่าวว่าการเติมกากตะกอนลงดินด้วยอัตราเติม 3.75 - 60 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอย่างมีนัยสำคัญ และสารอินทรีย์ไนโตรเจนในกากตะกอนจะสลายตัวเกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว โดยปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนภายใน 3 สัปดาห์หลังจากมีการเติมกากตะกอนลงดิน นอกจากนี้ Epstein และคณะ (1976) ยังรายงานว่าปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในดิน จากการเติมกากตะกอน จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในดินในช่วงระดับความลึก 10-20 เซนติเมตร

ผลของการใช้กากตะกอนมาทำเป็นปุ๋ยต่อผลผลิตของพืช

กากตะกอนเป็นปุ๋ยที่ดี (Hinesly และ Sosewitz, 1969) ในกากตะกอนนอกจากมีองค์ประกอบเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้ว ยังมีองค์ประกอบที่เป็นพวกแร่ธาตุต่าง ๆ อีกหลายชนิด โดยเฉพาะโลหะหนักซึ่งจัดเป็นมลสารที่สามารถทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในดินและในพืชได้ (Page,1974) และเนื่องจากมีความผันแปรของปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ที่ปะปนในกากตะกอนที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน Sommer และคณะ (1976) จึงระบุว่าควรทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนก่อนที่จะมีการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร ในทำนองเดียวกัน CAST (1976) แนะนำว่ากากตะกอนสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้อย่างปลอดภัย ถ้าหากมีการวางแผนที่ดีเกี่ยวกับอัตราเติมกากตะกอนที่เหมาะสม ชนิดของพืชที่จะปลูก และระดับพีเอช รวมทั้งโลหะหนักในดินดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางมาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในตะกอน

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (mg/kg)	อัตราการสะสมของโลหะหนัก (kg/ha)	ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักที่ทำให้ตะกอนมีคุณภาพ (mg/kg)	อัตราการได้รับต่อปี (kg/ha-year)
Arsenic	75	41	41	2.0
Cadmium	85	39	39	1.9
Chromium	3,000	3,000	1,200	150
Copper	4,300	1,500	1,500	75
Lead	840	300	300	15
Mercury	57	17	17	0.85
Molybdenum	75	18	18	0.9
Nickel	420	420	420	21
Selenium	100	100	100	5.0
Zinc	7,500	2,800	2,800	140

ที่มา : Polprasert , C. *Organic Waste Recycling Technology and Management.*

การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม โดยทั่วไปผลผลิตของพืชจะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน จนถึงอัตราเติมที่สูงระดับหนึ่งผลผลิตของพืชจะลดลง ซึ่งอัตราเติมนี้มีความผันแปรขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน ชนิดของดินและพืช เช่น หญ้าเฟสคิว (fascue) และหญ้าอัลฟอลฟา (alfalfa) สามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตอบสนองต่อการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนจนถึงอัตราเติม 627 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ได้ (Stucky และ Newman, 1977) แต่ข้าวโพดและข้าวไรย์ ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจนให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อใช้อัตราเติมกากตะกอน 125 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ และผลผลิตลดลงเมื่ออัตราเติมกากตะกอนเป็น 502 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (Cunningham et al., 1975) สำหรับพืชจำพวกผัก เช่น แครอท ผักกาดหอม (lettuce) ถั่ว มันฝรั่ง หัวผักกาด ข้าวโพดหวาน และมันฝรั่ง

Dowdy และ Larson (1975) พบว่าผลจากการเติมกากตะกอนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงอย่างใดต่อการเจริญเติบโตของพืชผักเหล่านี้ และไม่มีอาการของความไม่สมดุลทางสรีรวิทยาของพืชปรากฏให้เห็น และยังรายงานว่าผลผลิตมันฝรั่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราเติมกากตะกอน 450 เมตริกตันต่อเฮกตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Land Treatment

จุดประสงค์

- การใช้ประโยชน์ของสารอาหารในน้ำเสีย
- ใช้ในการปลูกพืช
- ใช้บำบัดพวก N และ P

ข้อจำกัด

- ต้องใช้พื้นที่มาก
- องค์ประกอบของดินต้องเหมาะสมไม่หยาบหรือละเอียดไป
- สภาพภูมิอากาศถ้ามีฝนตกมาก การระเหยก็จะน้อยทำให้การบำบัดเป็นไปได้ยาก

การใช้ดินในการบำบัดน้ำเสีย จำแนกได้ 3 แบบ ดังนี้

1) Slow Rate Process (SR)

วัตถุประสงค์

- ใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียด้วยกลไกการดูดซึมน้ำเสียโดยพืช

ข้อจำกัด

- หากพื้นที่อยู่ไกลจะเกิดความยุ่งยากมาก

วิธีการระบายน้ำ

- ค่อยๆให้น้ำซึมลงไปทั้งด้านข้างและตรงๆ
- ให้น้ำซึมลงไปมากๆ
- ใช้ปลูกผัก

ความเชื่อมั่น

- ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD , SS,E.Coli. = 99%
- ประสิทธิภาพในการกำจัด N = 90%

การเลือกสถานที่

- ดินที่ใช้ต้องเป็นดินร่วน
- ดินต้องลึกอย่างน้อย 0.3 เมตร
- ระดับน้ำควรจะเป็น 0.6-1 เมตร

2) Rapid Infiltration Poocess (RI)

วัตถุประสงค์

- ใช้ในการบำบัดน้ำใต้ดิน , น้ำผิวดิน
- เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัด

- อาจจะเกิดสภาวะ Anoxic คือการใช้ออกซิเจนจาก Sulphate และ Nitrate ไปใช้ในการย่อยสลาย

วิธีการระบายน้ำ

- ให้น้ำซึมไปใต้ดิน
- มีวัสดุสำหรับปูพื้นไว้ด้านล่าง
- มีการ Recovery น้ำที่บำบัดแล้วที่อยู่ใต้ดินนำกลับมาใช้ใหม่

ความเชื่อมั่น

- มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD, SS ได้มากที่สุด
- มีประสิทธิภาพในการกำจัด N= 50%
- มีประสิทธิภาพในการกำจัด P= 70-95%

การเลือกสถานที่

- ดินที่ใช้ต้องเป็นดินทราย
- ถ้าดินหยาบมากๆไม่ควรนำมาใช้ น้ำจะซึมผ่านเร็วเกินไป

3) Overland Flow Process (OF)

วัตถุประสงค์

- เพื่อจะบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยการปล่อยน้ำให้ไหลล้นผ่านต้นไม้
- เพื่อใช้หญ้าเป็นอาหารสัตว์และรักษาพื้นที่สีเขียวเอาไว้

ข้อดี

- หลีกเลี่ยงการเสื่อมคุณภาพของน้ำใต้ดิน
- น้ำที่ผ่านระบบเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้ในโรงงานได้

วิธีการระบายน้ำ

- ให้น้ำไหลนองบนพื้นที่ที่มีความชันประมาณ 2-8%

ความเชื่อมั่น

- มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ SS ได้ 99%
- มีประสิทธิภาพในการกำจัด N =70-90%
- มีประสิทธิภาพในการกำจัด P =50-60%

การเลือกสถานที่

- ดินที่ใช้ต้องเป็นดินเหนียว
- พื้นที่ต้องมีความชันประมาณ 2-8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปุ๋ย

ปุ๋ย หมายถึง สารที่เราใส่ลงไปในดินเพื่อวัตถุประสงค์ให้ปลดปล่อยธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่พืชยังขาดอยู่ให้ได้รับอย่างเพียงพอ พืชสามารถเจริญเติบโตงอกงามดีขึ้น และให้ผลผลิตสูงขึ้น

แหล่งที่ได้มาของปุ๋ย 2 แหล่ง

1. แหล่งที่เป็นอินทรียสาร ซึ่งได้แก่ มูลสัตว์ต่าง ๆ ที่เรียกว่า ปุ๋ยคอก จากการกองสุมปุ๋ยพืชและเศษขยะแล้วหมักให้สลายตัวจนหมด เรียกว่าปุ๋ยหมัก และจากการปลูกพืชบำรุงดินพวกพืชตระกูลถั่วและไถกลบ เรียกว่าปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยเหล่านี้เรียกรวม ๆ กันว่าปุ๋ยอินทรีย์

2. แหล่งที่เป็นอนินทรียสาร ซึ่งได้แก่ สารที่ผลิตหรือสังเคราะห์จากวัตถุดิบที่เป็นหิน แร่ และก๊าซ โดยกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมีให้เป็นสารประกอบทางเคมีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ย เรียกว่า ปุ๋ยวิทยาศาสตร์หรือปุ๋ยเคมี

1.ปุ๋ยอินทรีย์

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด

ข้อได้เปรียบของปุ๋ยอินทรีย์

1.ช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น ความโปร่ง ความร่วนซุย ความสามารถในการอุ้มน้ำ และธาตุอาหารพืชของดินดีขึ้น ข้อดีข้อนี้ปุ๋ยอินทรีย์ทำได้แต่ผู้เดียว ปุ๋ยเคมีทำไม่ได้

2. อยู่ในดินได้นาน และค่อย ๆ ปลดปล่อยอาหารพืชอย่างช้า ๆ

3. เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะส่งเสริมปุ๋ยเคมีให้เป็นประโยชน์แก่พืชอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4. ส่งเสริมให้จุลชีพในดินโดยเฉพาะที่มีประโยชน์ต่อการบำรุงดินให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสียเปรียบของปุ๋ยอินทรีย์

1. มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำ
2. ใช้เวลานานกว่าปุ๋ยเคมีในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้แก่พืช
3. ราคาแพงกว่าปุ๋ยเคมีเมื่อคิดเทียบในแง่ราคาต่อหน่วยน้ำหนักของธาตุอาหารพืช
4. หายาก พิจารณาในแง่เมื่อต้องการเป็นปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1.1 ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ต่าง ๆเช่น เป็ด ไก่ หมู วัว ควายเป็นต้น ปุ๋ยคอกโดยทั่วไปจะมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมค่อนข้างต่ำ โดยเฉลี่ยคือ ไนโตรเจนประมาณ 0.5 % N , ฟอสฟอรัส 0.25 % P_2O_5 , และโพแทสเซียม 0.5 % K_2O

มูลเป็ดและไก่จะมีธาตุอาหารสูงกว่ามูลหมู ส่วนมูลของหมูจะมีธาตุอาหารสูงกว่ามูลวัวและควาย ปริมาณของธาตุอาหารในปุ๋ยคอกเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป กล่าวคือ สัตว์ที่กินอาหารที่มีโปรตีนสูงเป็นหลัก ปุ๋ยคอกที่ได้จะมีธาตุอาหารสูงกว่าที่กินหญ้า

ปุ๋ยคอกใหม่ ๆ จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยคอกที่เก่า และเก็บไว้นาน ทั้งนี้เนื่องจากส่วนของธาตุอาหารที่ละลายได้ง่ายจะถูกชะล้างออกไปหมดจากการที่กองปุ๋ยไว้กลางแจ้ง บางส่วนก็จะระเหิดกลายเป็นก๊าซสูญหายไป

ดังนั้น จึงควรเก็บปุ๋ยคอกไว้ด้วยความระมัดระวัง เช่น โดยการกองสุมรวมกันไว้เป็นรูปฝาชีแล้วอัดให้แน่นให้อยู่ภายใต้หลังคาหรือที่กันแดดและฝนได้เป็นต้น

1.2 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการหมักหญ้าแห้ง ใบไม้ ฟางข้าว เศษอาหาร และอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ให้เน่าเปื่อยสลายตัวกลายเป็นสารสีดำหรือที่เรียกว่า ฮิวมัส

ปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างสะสมอยู่ในปุ๋ยหมักจะมากน้อยแค่ไหนจึงขึ้นอยู่กับอินทรีย์วัตถุที่นำมาหมักทำปุ๋ยนั้นและขึ้นอยู่กับสารเร่งการหมัก เช่น เชื้อจุลินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่ใช้ในกระบวนการหมักนั้นด้วย ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 – 2 % N , 0.08 – 1 % P_2O_5 และ 0.6 – 1.35 % K_2O

ปุ๋ยหมักนั้นเกษตรกรสามารถทำเองได้โดยการกองสุมเศษพืช เช่น หญ้า ฟาง หรือ ผักตบชวาเป็นชั้นสูงจากพื้นดิน 30 เซนติเมตร เหยียบให้แน่นแล้วโรยปุ๋ยคอกบาง ๆ และปุ๋ยเคมี เช่น N – P – K สูตร 15 – 15 – 15 ลงด้วยประมาณ 1.5 – 2 กิโลกรัมต่อเศษพืชหนัก 1 ตัน รดน้ำพอชุ่มแล้วทำการกองสุมฌศษพืชชั้นที่ 2 ทับลงไปอีก โรยปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีลงให้เช่นเดียวกับการกองชั้นแรก ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปเป็นชั้น ๆ จนสูงประมาณ 1.5 เมตร กว้างประมาณ 2 เมตร ชั้นบนสุดใส่ดินปิดทับไว้รดน้ำพอชุ่มแล้วใช้หญ้าหรือฟางคลุม กองหมักทิ้งไว้ให้เกิดการสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักได้ในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40045

เนื่องจากปุ๋ยหมักมีค่าในการช่วยปรับปรุงบำรุงดิน โดยเฉพาะทำให้โครงสร้างของดินโปร่งและร่วนซุย เกษตรกรจึงควรเก็บรวบรวมเศษพืช หญ้า และฟางข้าวทำเป็นปุ๋ยหมักจะดีกว่าที่จะเผาทิ้งไป

1.3 **ปุ๋ยพืชสด**

ปุ๋ยพืชสดเป็นปุ๋ยอินทรีย์อีกประเภทหนึ่ง ซึ่งได้จากการปลูกพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วพุ่ม โสม ปอเทือง ลงบนพื้นที่ปล่อยให้เจริญเติบโตจนมีอายุ 7 – 8 อาทิตย์ ซึ่งเป็นช่วงที่พืชเจริญเติบโตมากที่สุดและกำลังออกดอก แล้วทำการไถกลบพืชเหล่านั้นลงไปในดินปล่อยให้เน่าสลายเป็นปุ๋ย แล้วทำการปลูกพืชหลังการไถกลบประมาณ 7 – 10 วัน

พืชตระกูลถั่วที่ใช้ปลูกทำปุ๋ยพืชสดดดยทั่วไปจะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณ 2.5 – 3 % เมื่อไถกลบและเน่าสลายต่อไปจะปลดปล่อยไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในต้นและใบออกมาเป็นประโยชน์แก่พืชที่ปลูกตามมาได้

การปลูกพืชตระกูลทั่วในพื้นที่ 1 ไร่ ถ้าได้น้ำหนักแห้งของปุ๋ยพืชสดนั้นครึ่งตันต่อไร่ เมื่อไถกลบลงในดินสามารถเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินได้จำนวน 12 – 15 กิโลกรัม ซึ่งจะเพียงพอสำหรับการปลูกข้าวโพดโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้อีกเลย

คุณสมบัติที่ดีต่อพืชตระกูลถั่วที่เหมาะสมใช้ปลูกเป็นปุ๋ยพืชสดควรจะโตเร็ว อายุสั้น มีใบ ต้น และกิ่งก้าน แน่นและแผ่คลุมดินไปได้ไกล และวัชพืชขึ้นแข่งไม่ได้ อีกทั้งควาเป็นระบบพืชที่มีระบบรากที่แข็งแรงสามารถไชซอนลึกลงไปในดินได้ด้วย

2. ปุ๋ยอนินทรีย์

2.1 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยประเภทอนินทรีย์ กล่าวคือ ได้มาจากการผลิตและสังเคราะห์ทางอุตสาหกรรมจากแร่ธาตุ และก๊าซที่ได้จากธรรมชาติ ดังนั้น ปุ๋ยเคมีจึงเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ที่ประกอบด้วยธาตุอาหารเดิมที่เคยมีอยู่ในดิน

ข้อได้เปรียบของปุ๋ยเคมี

1. มีปริมาณธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักของปุ๋ยสูง ใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็พอ
2. ราคาถูกเมื่อคิดปริมาณต่อหน่วยน้ำหนักของธาตุอาหาร ประกอบกับการขนส่งและเก็บรักษาสะดวกมาก
3. หาได้ง่าย ถ้าต้องการเป็นปริมาณมากก็สามารถหามาได้เพราะเป็นผลผลิตที่ได้จากโรงงาน
4. ให้ผลทางด้านธาตุอาหารเร็วกว่าปุ๋ยอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียเปรียบของปุ๋ยเคมี

1. ปุ๋ยเคมีไม่มีคุณสมบัติการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน กล่าวคือไม่ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุยเหมือนปุ๋ยอินทรีย์

2. ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ถ้าใช้เป็นปริมาณมากและติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้ปูนช่วยแก้ความเป็นกรดของดิน

3. ปุ๋ยเคมีทุกชนิดมีความเค็ม ถ้าใช้ในอัตราสูงหรือใส่โคนต้นพืชจะเกิดอันตรายแก่พืช และการงอกของเมล็ด การใช้จึงต้องระมัดระวัง

4. ผู้ใช้ต้องมความรู้ความเข้าใจเรื่องปุ๋ยพอสมควร มิฉะนั้นอาจมีผลเสียหายต่อพืชและต่อภาวะเศรษฐกิจของผู้ใช้ (ทำให้ขาดทุนได้)

ปุ๋ยผสมที่ให้ธาตุอาหาร 3 ธาตุ

ได้แก่ปุ๋ยเคมีที่ผลิตขึ้นโดยมีธาตุอาหารพืชอยู่ครบทั้ง 3 ธาตุ คือ ธาตุไนโตรเจน, ธาตุฟอสฟอรัส (ในรูปละลายได้ P_2O_5) และธาตุโปแตสเซียม (ในรูปละลายได้ K_2O) หรือบางครั้งอาจมีธาตุตัวที่ 4 ก็ได้ แล้วแต่จุดประสงค์ของผู้ใช้ในพืชที่ต้องการใช้และธาตุตัวที่ 4 ได้แก่แมกนีเซียม (MgO) ซึ่งปุ๋ยผสมที่มีธาตุอาหารพืช 4 ธาตุ จะได้แก่ปุ๋ยสำหรับยางพาราและปาล์มน้ำมัน เช่นสูตร 15-15-6-4 (ยางพารา) และ 14-9-2-2 (ปาล์มน้ำมัน)

ปุ๋ยผสมที่ผสมได้เอง เป็นปุ๋ยผสมที่ได้โดยการนำเอาแม่ปุ๋ยชนิดต่างๆ มาผสมกันเพื่อให้ได้ปริมาณธาตุอาหารหรือสูตรตามต้องการ ในกรณีที่จำเป็น เช่น หาสูตรปุ๋ยสำเร็จที่ต้องการไม่ได้หรือหาได้แต่ราคาแพงเกินไป

ปุ๋ยผสมสำเร็จรูป เป็นปุ๋ยผสมที่ผสมเป็นสูตรปุ๋ยที่โรงงานผสมมาเสร็จเรียบร้อยแล้ว มีธาตุอาหารรวมกันอยู่สม่ำเสมอตามสัดส่วนหรือเกรดที่ต้องการ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายสูตรหลายยี่ห้อซึ่งขึ้นอยู่ว่าเป็นของบริษัทไหนเป็นผู้ผลิต ราคาอาจเท่ากันหรือถูกแพงกว่ากัน ปุ๋ยพวกนี้สะดวกในการใช้เพราะไม่ต้องนำมาผสมอีก เช่น สูตร 15-15-15, สูตร 14-14-14, สูตร 16-16-16, สูตร 16-16-18, สูตร 12-24-12, สูตร 12-6-18, สูตร 10-30-10, สูตร 14-14-21, สูตร 6-12-12, สูตร 20-11-11, สูตร 14-19-20, สูตร 16-11-11 และอีกหลายสูตรที่ผลิตขึ้นมาจำหน่าย

ในแต่ละสูตรปุ๋ยผสมมีความเหมาะสมในบางที่ ซึ่งแม้แต่เป็นพืชชนิดเดียวกันแต่จังหวะของการเจริญเติบโตต่างกันก็ใส่ปุ๋ยต่างสูตรเพื่อเหมาะสมกับระยะการเจริญเติบโตและสภาพความอุดมสมบูรณ์ที่แตกต่าง ฉะนั้นควรพิจารณาถึงความเหมาะสม ซึ่งควรปรึกษานักวิชาการและควรนำดินไปวิเคราะห์เพื่อให้ใช้สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 <u>ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช</u>

พืชและสัตว์ต้องประกอบด้วยโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ชีวิตดำรงอยู่ได้ อย่างไรก็ตามสัตว์ต้องอาศัยพืชในการดำรงชีวิต ในขณะที่พืชดำรงชีวิตอยู่ได้เองโดยไม่ต้องอาศัยสัตว์เลยก็ได้เมื่อพืชได้รับแสงแดด น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และธาตุอาหารที่จำเป็นอย่างครบถ้วน วัตถุดิบดังกล่าวที่พืชได้รับนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในเซลพืช ซึ่งทำให้สามารถดำรงชีวิตและแพร่พันธุ์ออกไปอย่างกว้างขวางได้

คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีนและสารที่ให้พลังงาน ธาตุอื่นๆ ที่จำเป็นอีก 10 ธาตุ คือ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน มีความสำคัญต่อขบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ในพืช ซึ่งทำให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงได้ พืชได้รับธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนจากอากาศและน้ำ ส่วนธาตุอื่นๆ นั้นได้มาจากดิน ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ในพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายชนิด ดังนั้นความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชจึงแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพืชและปัจจัยแวดล้อมต่างๆ

<u>หน้าที่ของธาตุอาหารพืช</u>

ความรู้ต่างๆ ที่เราทราบเกี่ยวกับธาตุอาหารนั้นได้แก่

(1) ธาตุอาหารจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช

(2) ธาตุอาหารมีบทบาทอย่างสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์แสง

(3) ธาตุอาหารทำให้เอมไซม์ (enzyme) ทำงานได้ตามปกติหรือการควบคุมปฏิกิริยาที่ใช้เอมไซม์

(4) ธาตุอาหารเป็นส่วนประกอบของสารประกอบที่สำคัญในขบวนการเมตาโบลิซึมของพืช

หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารหลัก

ธาตุไนโตรเจน (N) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) และคลอโรฟิล ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญมากต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของพืช

ธาตุฟอสฟอรัส (P) มีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานซึ่งเป็นขบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนั้นยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอะดิโนซีน ไตรฟอสเฟต (ATP) นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟไลปิดอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุโพแทสเซียม (K) จำเป็นต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารและสารบางชนิดในพืชควบคุมการเปิดปิดของปากใบ และเป็นธาตุที่กระตุ้นให้เอมไซม์ทำงานอีกด้วย

หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารรอง

ธาตุกำมะถัน (S) มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างโปรตีนและเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนบางชนิด โปรตีน และโคเอนไซม์ (co-enzyme) อีกด้วย

ธาตุแคลเซียม (Ca) มีหน้าที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อของเซลพืช เป็นส่วนประกอบของแคลเซียม เพ็คแตต (calcium pectate) และเป็นธาตุที่กระตุ้นให้เอมไซม์บางชนิดทำงาน

ธาตุแมกนีเซียม (Mg) มีหน้าที่ในขบวนการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นประโยชน์และเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิล นอกจากนั้นยังเป็นตัวกระตุ้นให้เอมไซม์ทำงานเช่นเดียวกับแคลเซียม

หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารเสริม

ธาตุเหล็ก (Fe) เป็นส่วนประกอบของ เหล็กพอไฟรีน (iron porphyrine) และ เฟอริดิออกซิน ซึ่งเป็นสารที่สำคัญในขบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนของพืช

ธาตุแมงกานีส (Mn) มีหน้าที่เกี่ยวกับปฏิกิริยา ออกซิเดชั่น (oxidation) และรีดัคชั่น (reduction) ในขบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและเป็นตัวกระตุ้นให้เอมไซม์ทำงาน

ธาตุสังกะสี (Zn) มีหน้าที่เกี่ยวกับขบวนการเมตาโบลิซึมของออกซิน (auxin) ซึ่งเป็นสารที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ธาตุสังกะสียังมีหน้าที่ในการสร้างนิวคลีโอไทด์และเป็นส่วนประกอบของเอมไซม์ ดีไฮโดรจีเนส อีกด้วย

ธาตุทองแดง (Cu) มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างลิกนิน (lignin) และเป็นส่วนประกอบของเอมไซม์ ascobic acid oxidase

ธาตุโบรอน (B) มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้าง การใช้ และการเคลื่อนย้ายนิวคลีโอไทด์ ซึ่งเป็นสารที่สำคัญมากในขบวนการต่างๆ ทางสรีรวิทยาของพืช เช่น ขบวนการที่ก่อให้เกิดพลังงาน

ธาตุโมลิบดีนัม(Mo) มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างโปรตีนในพืชชนิดต่างๆ และการตรึงไนโตรเจนจากอากาศของพืชตระกูลถั่ว โดยเป็นส่วนประกอบของเอมไซม์ ไนเตรท รีดัคเตส และไนโตรจีเนส

ธาตุคลอรีน (Cl) มีหน้าที่ช่วยให้ประจุไฟฟ้าในเซลล์พืชเป็นกลาง และเซลล์มีความเต่งน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลกระทบของโลหะหนักที่ปนในกากตะกอน

เนื่องจากมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในกากตะกอนในปริมาณที่สูงกว่าปริมาณของโลหะหนักที่พบในดินทั่ว ๆ ไป ถ้าหากมีการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรมโดยไม่พิจารณาให้รอบคอบ อาจมีผลทำให้ผลผลิตลดลง และ/หรืออาจนำอันตรายมาสู่มนุษย์ในลักษณะทวีความเป็นพิษ (Biomagnification) โดยผ่านระบบลูกโซ่อาหาร เนื่องจากเกิดการสะสมของโลหะหนักอย่างมาก ในส่วนของพืชที่นำมาใช้รับประทานได้ (Baxter et al.,1983)

การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรจะทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Page, 1974) และความเข้มข้นของโลหะหนัก สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นิเกิล (Ni) แคดเมี่ยม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) ในดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน (Robertson et al.,1982; Baxter et al., 1983) อนึ่งผลจากการเติมกากตะกอนลงในดินกรด (พีเอช 4.2) และดินด่าง (พีเอช 7.6) จะพบว่าความเข้มข้นของแคดเมี่ยม นิเกิล และสังกะสีจากสารละลายดินกรดเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มปริมาณกากตะกอนที่เติมลงดิน จนถึงอัตราเติม 160 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ และความเข้มข้นของโลหะหนักที่มาจากสารละลายดินด่างด้วย (Hyde et al., 1979) นอกจากนี้กากตะกอนยังสามารถทำให้ค่าพีเอชดินลดต่ำลงด้วย ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสในดินในรูปของอิออนที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้ และไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้เพิ่มมากขึ้น (King และ Morris, 1972b)

การลดลงของค่าพีเอชในดิน หลังจากเติมกากตะกอน มีผลเนื่องมาจากการเกิดขบวนการเปลี่ยนเป็นไนเตรต (nitrification) และการเกิดกรดอินทรีย์ จึงทำให้เกิดการยอมรับทั่ว ๆ ไปว่า ดินที่มีการเติมกากตะกอนควรจะต้องมีการปรับสภาพดินให้มีค่าพีเอช 6.5 หรือสูงกว่า (King และ Morris, 1972b; Cunningham et al., 1975)

ผลกระทบการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรต่อปริมาณโลหะหนักในพืช พบว่าปริมาณโลหะหนักในข้าวโพดและข้าวไรย์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนดังตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวโพดและข้าวไรย์ ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในพืชที่ปลูกในแปลงควบคุม (control) มีความเข้มข้นของแคดเมี่ยม 0.4 มก./กก. ทองแดงมีปริมาณ 7.4 มก./กก. แมงกานีส 33 มก./กก. นิเกิล 1.7 มก./กก.และสังกะสี 38 มก./กก. และจากแปลงที่เติมกากตะกอนด้วยอัตราเติม 502 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ ค่าเฉลี่ย ของปริมาณโลหะหนักมีความเข้มข้นของแคดเมี่ยม 5 มก./กก.ทองแดง 23 มก./กก. แมงกานีส 346 กม./กก. นิเกิล 16 มก./กก. สังกะสี 289 มก./กก. กากตะกอนจากแหล่งกำเนิดต่างกันก็มีผลทำให้ปริมาณโลหะหนักในพืชต่างกันอย่างนัยสำคัญด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะหนักสังกะสีและทองแดงแสดงความเป็นพิษต่อพืช โดยทำให้ผลผลิตของพืชลดลงด้วย (Cunningham et al.,1975)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาของ King และ Morris (1972a, 1972b) กล่าวว่าปริมาณความเข้มข้นสูงของสังกะสีและทองแดงอาจเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง แต่ขณะเดียวกันปริมาณสังกะสีที่เข้มข้นเท่าเดิมทำให้ผลผลิตของหญ้าเบอร์มิวด้าลดลงได้

อนึ่งในระหว่างความแตกต่างของวิธีการเติมกากตะกอนแบบผสมคลุกเคล้ากับดินกับวิธีโรยบนผิวดินนั้นได้ผลลัพธ์ว่าโดยทั่วไปการเติมกากแบบโรยบนผิวดินจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของนิเกิลในหญ้าเฟสคิว (fescue) มีค่ามากกว่าการเติมกากตะกอนแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน (King , 1981)

การดูดดึงโลหะหนักเข้าไปสะสมในพืชในส่วนที่นำไปรับประทานได้จะเป็นทางผ่านโดยตรงของโลหะหนักที่เข้าไปสู่มนุษย์ที่บริโภคพืชนั้น Dowy และ Larson (1975)ได้ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชผักที่ปลูกบนดินที่เติมกากตะกอน กล่าวว่า ในระหว่างพืชผักต่างๆกันหลายชนิดนั้น ผักกาดหอม (lettuce)จะเป็นผักที่มีการดูดดึงปริมาณโลหะหนักเข้าไปสะสมตัวเองมากที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการไม่เติมกากตะกอนกับการเติมกากตะกอนด้วยอัตราเติม 450 เมตริกตันต่อเฮกเตอร์ พบว่าปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นในผักกาดหอมมีดังนี้ คือ สังกะสีเพิ่มปริมาณ 10 เท่า ทองแดงเพิ่มขึ้น 7 เท่า และแคดเมี่ยมเพิ่มขึ้น 4 เท่า แต่จากการศึกษาของ Schauer และคณะ (1980) กล่าวว่าการนำตะกอนมาใช้ปลูกพืชจำพวกผักโดยทั่วๆไปไม่ทำให้ปริมาณแคดเมี่ยม และทองแดงในพืชเพิ่มขึ้น ยกเว้นผักกาดหอมจะมีปริมาณแคดเมี่ยมเพิ่มขึ้นและมะเขือเทศจะมีปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น โลหะสังกะสีและนิเกิล จะเป็นโลหะหนักที่พืชจำพวกผักสามารถดูดดึงเข้าไปสะสมในตัวมันเองเพิ่มปริมาณตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน

2.7 ข้อควรคำนึงในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่ปนอยู่และสามารถปลดปล่อยออกมาจากกากตะกอน เพราะปริมาณไนโตรเจนจำนวนมาก เมื่อถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน อาจก่อให้เกิดปัญหาในลักษณะชักนำให้เกิด การเจริญเติบโตของสาหร่ายและวัชพืชน้ำมากเกินไปในแหล่งน้ำ และเพิ่มปริมาณสารละลายไนเตรดในน้ำใต้ดิน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กทารกหรือเป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงได้ ซึ่งมาตราฐานน้ำดื่มกำหนดให้มีการปนของปริมาณไนเตรด ไนโตรเจนได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงอย่างหนึ่ง คือ โลหะหนัก เพราะว่าในกากตะกอนจะมีโลหะหนักปนอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรจึงเหมือนกับเป็นการเพิ่มปริมาณโลหะหนักให้แก่ดิน และถ้ามีปริมาณโลหะหนักสะสมในดินมากเกินไปอาจทำให้เกิดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพิษของโลหะต่อดินและพืช และ/หรือเกิดความเป็นพิษต่อเนื่องไปยังมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคพืชนั้นด้วย ดังนั้นปัจจัยที่กล่าวข้างต้นจะต้องนำมาใช้พิจารณาหาแนวทางที่เหมาะสมในเรื่องเกี่ยวกับอัตราเติมกากตะกอนร่วมกับชนิดและค่าพีเอชของดิน ชนิดของพืช เมื่อมีการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร เพื่อทำให้เกิดผลผลิตของพืชสูงสุดโดยไม่มีการสะสมของโลหะในดินมากจนเกิดความเป็นพิษต่อพืช อีกทั้งปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดดึงขึ้นไปสะสมนั้น แม้ว่าจะยังไม่ถึงระดับที่ไม่อาจชักนำอันตรายมาสู่มนุษย์และสัตว์ตามระบบห่วงโซ่อาหาร ฉะนั้นการวิจัยเกี่ยวกับการนำกากตะกอนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากความเป็นพิษของโลหะหนัก (King และ Morris, 1972a,1972b; Dowdy และ Larson ,1975; Kelling et al .,1977)

ความสนใจเกี่ยวกับโลหะหนักจะมุ่งไปที่ สังกะสี ทองแดงและนิเกิล ซึ่งเป็นโลหะที่สามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (phytoxic) และแคดเมี่ยม ซึ่งเป็นโลหะที่สามารถสะสมในพืชจนมีปริมาณที่อาจทำอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคพืชนั้น ซึ่งในตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่าโลหะหนักใดบ้างที่แสดงพฤติกรรมว่าเป็นสารที่จำเป็นต่อพืชและสัตว์ และ/หรือสามารถแสดงความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์

ตารางที่ 2.2 พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดต่อพืชและสัตว์ (Loehr et al.,1981)

ชนิดโลหะหนัก	พฤติกรรมที่แสดงว่าเป็นสารที่จำเป็นหรือมีประโยชน์		พฤติกรรมแสดงความเป็นพิษ	
	พืช	สัตว์	พืช	สัตว์
อลูมิเนียม	ไม่	ไม่	pH<5.5*	-
เหล็ก	เป็น	เป็น	pH<5*	-
แมงกานีส	เป็น	เป็น	pH<5*	-
สังกะสี	เป็น	เป็น	เป็น	10-20ppm**
ทองแดง	เป็น	เป็น	เป็น	เป็นไปไม่ได้
นิเกิล	ไม่	อาจจะ	เป็น	เป็น
แคดเมี่ยม	ไม่	ไม่	-	เป็น
ตะกั่ว	ไม่	ไม่	-	-
โครเมี่ยม	ไม่	เป็น	-	-
ปรอท	ไม่	ไม่	-	เป็น

*เกิดความเป็นพิษในดินกรด **ความเข้มข้นในส่วนของพืชแห้งซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อสัตว์ที่บริโภคพืชนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ดิน

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

สิ่งที่พืชต้องการจากดินได้แก่ ที่หยั่งรากเพื่อพยุงยึดต้นให้ตั้งตรง ก๊าซออกซิเจนให้รากหายใจ น้ำและอาหารแร่ธาตุที่รากดูดเข้าไปใช้ สิ่งเหล่านี้มีอยู่ในสมบัติต่างๆของดินในลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชดังนี้

1. ความลึกของดินที่รากหยั่งลึกได้ ความหนาของดินเหนือชั้นดินดานหรือแผ่นหินแน่นทึบจนรากไม่สามารถแทรกตัวผ่านไปได้ โดยปกติรากพืชมีอยู่หนาแน่นในดินผิวบนที่โปร่งร่วนซุยหรือดินที่มีก๊าซออกซิเจนมากพอต่อการหายใจ มีรากบางส่วนที่แทรกตัวลึกเพื่อหาน้ำจากดินชั้นล่างที่อยู่ลึกลงไปจนถึงชั้นหินพื้นหรือเหนือระดับน้ำใต้ดิน ข้อจำกัดของการหยั่งรากลึกของพืชอยู่ที่ปริมาณก๊าซออกซิเจน ความอัดแน่นหรือแน่นทึบของชั้นแผ่นหิน ชั้นดินดาน ระดับน้ำใต้ดิน พืชล้มลุกต้นเล็กต้องการดินเพื่อหยั่งรากลึกเพียง 10-30 ซม. แต่ต้นไม้ใหญ่ต้องการดินลึก 1.0-2.0 เมตร เพื่อยึดพยุงต้นไม้ไม่ให้โค่นล้มและพยายามแพร่ขยายรากแขนงเป็นรัศมีกว้างมากกว่า 5-20 เมตร (ในปริมาตรดินลึก 20-30 ซม.) ถ้าดินมีสภาพเหมาะสมต่อการแพร่ขยายและหยั่งลึกของรากพืช มีโอกาสได้อาหารแร่ธาตุและน้ำมากยิ่งขึ้น พืชมีโอกาสจะเจริญเติบโต

2. เนื้อดิน หรือความหยาบความละเอียดของดิน เกี่ยวข้องกับความพรุน (ขนาดของช่องว่างและความต่อเนื่องของช่อง) การอุ้มน้ำ การกักเก็บน้ำ การซึมซาบของน้ำ การถ่ายเทอากาศ การเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำในดินและปริมาณอาหารแร่ธาตุของดิน ดินเนื้อหยาบ (ดินทราย) ไม่มีอาหารแร่ธาตุ ไม่อุ้มน้ำ ไม่กักเก็บน้ำ น้ำซึมซาบรวดเร็ว อากาศถ่ายเทดี น้ำเคลื่อนที่หนีหายได้เร็วจึงไม่เหมาะสมต่อการทำนา ดินเนื้อละเอียดมาก (ดินเหนียว) อุ้มน้ำดี กักเก็บน้ำได้ดี น้ำซึมซาบได้ช้า ถ่ายเทอากาศไม่ดี น้ำเคลื่อนที่ขึ้นลงช้า ปริมาณอาหารแร่ธาตุมักอุดมสมบูรณ์จึงไม่ค่อยเหมาะสมต่อการปลูกไม้ผลในเขตที่มีฤดูแล้งยาวนานและไม่มีน้ำชลประทานช่วยเสริม เนื้อดินที่พึงประสงค์คือ ดินร่วน (loam) ซึ่งมีการอุ้มน้ำ การกักเก็บน้ำ การซึมซาบน้ำ การถ่ายเทอากาศ การเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำ และปริมาณอาหารแร่ธาตุในระดับปานกลาง เหมาะสมต่อการปลูกไม้ผลหรือพืชไร่ หรือทำนาข้าว

3. ปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดิน เกี่ยวข้องกับเนื้อดิน โครงสร้างดิน และความจุในการจับอาหารแร่ธาตุประจุบวกซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณอาหารแร่ธาตุในดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอนุภาคดินเหนียวควรอยู่ระหว่าง 10-35% ถ้าต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10% ไม่เหมาะสมเนื่องจากน้ำเคลื่อนที่เร็วเกินไปอาหารแร่ธาตุต่ำ การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดรวดเร็ว หรือถ้าสูงกว่า 35% ดินมีโอกาสระบายน้ำช้ามาก การถ่ายเทอากาศไม่ดี การเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำช้าจนเกินไปไถพรวนยากลำบาก การเปลี่ยนแปลงสภาพความชื้นของดินจากดินขังน้ำมาเป็นดินชื้นช้ามากทำให้เปลี่ยนชนิดพืชจากนาข้าวมาเป็นพืชไร่ สวนผัก- พืชสวนข้าออกไป เสียโอกาสปลูกพืชตามหลังข้าว

4. แร่ธาตุต่างๆ เศษแร่ชนิดต่างๆ มักเป็นส่วนที่มีปริมาณมากที่สุดของดิน ดังนั้นจึงทำหน้าที่เป็นโครงสร้างและเป็นเนื้อของสิ่งที่เรียกว่าดิน เศษแร่ขนาดต่างๆ อาจจัดเรียงตัวกันทำให้เกิดมีช่องว่าง ช่องว่างเป็นที่อยู่ของน้ำและอากาศในดิน เศษแร่ขนาดเล็กละเอียดหรือที่เรียกว่าอนุภาคขนาด**เม็ดดินเหนียว** เฉพาะอนุภาคเดี่ยวๆมีขนาดเล็กมาก แต่เนื่องจากมีสมบัติที่ชอบดูดยึด จึงมักจับตัวรวมกันเองเป็นเม็ดขนาดใหญ่ และยังคงสมบัติความเหนียวเหนอะหนะเมื่อเปียกมีความสามารถดูดยึดน้ำและอาหารแร่ธาตุบางชนิดไว้ด้วย อนุภาคใหญ่หยาบมีเหลี่ยมมุมหรือที่เรียกว่า อนุภาคขนาด**เม็ดทราย** มักจะอยู่เดี่ยวๆไม่จับกันเอง ไม่ดูดยึดน้ำ ไม่ดูดยึดอาหาร แต่ถ้าจับรวมกับเม็ดดินเหนียวทำให้เกิดเป็นเม็ดดินที่โตขึ้นไปได้อีกส่วน แร่บางชนิดที่เป็นแผ่นแบนและมีขนาดปานกลางเรียกชื่อเฉพาะว่าอนุภาคขนาด**เม็ดซิลท์** ไม่ค่อยจับเกาะกันเองและไม่ค่อยจับกับอนุภาคขนาดอื่น มักจะเรียงซ้อนกันเป็นแผ่น เวลาสัมผัสจึงลื่นคล้ายสัมผัสแป้งผัดหน้า ไม่ค่อยดูดยึดน้ำ ไม่ค่อยดูดยึดอาหารแร่ธาตุ และมักเป็นตัวการที่ไปอุดตันตามช่องว่างต่างๆ กีดกันการแทรกซึมน้ำลึกลงไปในดิน

ส่วนที่เป็นเศษแร่ที่เป็นของแข็งของดินนี้ทำหน้าที่หลักคือ เป็นที่หยั่งรากของพืชพยุงให้ต้นตั้งอยู่ได้เพราะรากพืชชอนไชไปในดิน เป็นที่กักเก็บน้ำ ถ้าจัดการอย่างดีย่อมเป็นที่ให้ก๊าซออกซิเจนแก่รากอย่างเพียงพอ และประการสุดท้ายคือให้อาหารแร่ธาตุส่วนใหญ่แก่พืชเพราะดูดยึดไว้ได้ และขณะเดียวกันแร่บางชนิดก็สลายตัวหรือละลายให้อาหารแร่ธาตุแก่พืชด้วย

5. น้ำในดิน น้ำในดินในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ความจริงเม็ดดินเหนียวมีแรงดูดยึดน้ำเอาไว้โดยรอบโดยมีลักษณะเป็นเยื่อของน้ำหุ้มรอบเม็ดดินเหนียวแรงดูดยึดของเม็ดดินเหนียวกับน้ำลดลงเรื่อยเมื่อความหนาของเยื่อเพิ่มมากขึ้น และถึงจุดหนึ่งเมื่อเยื่อของน้ำหนาสุดเมื่อเกินจุดนี้ออกไปน้ำจะถูกแรงดึงดูดของโลกดึงออกไปพ้นจากแรงดูดยึดของเม็ดดินเหนียวเป็นน้ำที่ซึมซาบลึกลงไปในดินลึกๆ

น้ำที่อยู่ติดผิวของเม็ดดินเหนียวเคลื่อนที่ไม่ได้เลยหรือเคลื่อนที่ได้บ้างแต่ไม่ค่อยเป็นอิสระ เพราะถูกดูดยึดด้วยแรงที่สูงมาก แต่น้ำที่อยู่ในเยื่อรอบห่างจากผิวเม็ดดินเหนียวออกไปไกลๆ ถูกดูดยึดด้วยแรงที่น้อยลงไปจึงเป็นอิสระเคลื่อนที่ได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่ถูกเม็ดดินเหนียวดูดยึดไว้นี้ เป็นลักษณะของการอุ้มน้ำของดินส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งคือน้ำที่อยู่เต็มในช่องว่างขนาดเล็กซึ่งถูกดูดยึดด้วยแรงที่เรียกว่า แคปพิลลารี (Cappillary) ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำที่ขึ้นไปได้สูงกว่าระดับผิวน้ำในหลอดดูดที่จุ่มอยู่ในแก้วน้ำ

ความจริงรากพืชสามารถดูดแย่งน้ำออกไปจากเม็ดดินได้ ไม่ว่าน้ำจะถูกดินดูดยึดดึงเอาไว้ด้วยแรงที่มากน้อยเท่าใดก็ตาม แต่ปริมาณหรืออัตราเร็วที่รากดูดน้ำเข้าไปอาจไม่เท่ากับอัตราการคายน้ำออกทางใบของพืช ถ้าอัตราเร็วของการคายน้ำมากกว่าอัตราเร็วของการดูดน้ำเข้ามาใช้ พืชเริ่มเหี่ยวจนอาจจะถึงระดับเหี่ยวอย่างถาวร คือไม่ฟื้นอีกแม้ว่าจะให้น้ำอีกก็ตาม ระดับความชื้นของดินที่จุดนี้เรียกว่า ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร

น้ำที่ถูกดูดเข้าไปถูกพืชนำไปใช้ในการคายออกทางใบเป็นส่วนใหญ่ประมาณ 95% และเพียงประมาณ 5% ของน้ำที่ดูดเข้ามาตลอดอายุพืชเท่านั้นที่พืชใช้ในการสร้างสมแป้ง-น้ำตาล หรือน้ำหนักแห้งในพืช น้ำจากอากาศหรือน้ำฝนที่ตกลงมาไม่สามารถเข้าสู่พืชอย่างเพียงพอต่อความต้องการของพืช น้ำจากดินจึงเป็นน้ำส่วนใหญ่ที่เข้าไปสู่พืช

หน้าที่ของน้ำในดินต่อพืช คือเป็นน้ำที่พืชดูดเข้าไปทางรากเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ภายในพืช ดินทำหน้าที่เป็นภาชนะเก็บกักน้ำเอาไว้รอให้รากพืชดูดไปใช้ (ถวิล , 2540)

ระดับความชื้นในดินจำแนกได้ 4 ระดับ คือ

1) ระดับที่มีน้ำอิ่มตัว (Saturation) มีปริมาณน้ำมากท่วมทุกช่องว่างของอนุภาคดิน
2) ระดับที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช (Field Capacity) วัดที่ Tension -0.3 bar (-0.03 Mpa)
3) ระดับที่มีน้ำน้อยมากทำให้เกิดการเหี่ยวของใบพืช (Wilting Point) วัดที่ -15 bar (-1.5 Mpa)
4) ระดับที่มีน้ำน้อยมาก ทำให้เกิดการเหี่ยวของพืชอย่างถาวร มีเพียงน้ำที่ถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวอนุภาคเคลย์ (Hygroscopic Coefficient) วัดที่ -31 bar (-3.1 Mpa) (กรองแก้ว , 2541)

6. <u>อากาศในดิน</u> อากาศในดินที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในส่วนที่ไม่มีน้ำมีชนิดของก๊าซองค์ประกอบเช่นเดียวกับที่มีในอากาศเหนือผิวดิน แต่ต่างกันที่ปริมาณ คือ อากาศในดินที่ลึกลงไปจากผิวดินไม่เกิน 1 เมตร มีก๊าซออกซิเจน 1-20 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1-15 % โดยปริมาตร แต่อากาศเหนือผิวดินมีก๊าซออกซิเจน 20 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 % โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะก๊าซออกซิเจนในอากาศในดินเท่านั้นที่เกี่ยวกับการเติบโตโดยตรงของราก พืช คือ รากต้องมีก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอสำหรับการหายใจและการแพร่กระจายขยายเซล ของราก คือ ต้องมีมากกว่า 0.2 ไมโครกรัมออกซิเจนต่อตารางเซนติเมตร ต่อนาที จึงจะทำให้ รากพืชขยายเซลออกไปได้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในดินเป็นอันตรายต่อการแพร่ กระจายของราก ถ้ามีมากเกินกว่า 10 % โดยปริมาตร (ไม่ว่าก๊าซออกซิเจนจะมากเท่าใด) ก็ มากพอจะชะงักการแพร่ขยายเซลของรากพืชได้ ดังนั้น จึงต้องมีการถ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกไปจากอากาศในดินและให้ก๊าซออกซิเจนจากอากาศเหนือผิวดินลงไปสู่อากาศในดินเพิ่มมาก ขึ้น ซึ่งทำได้โดยการจัดการให้ดินมีช่องว่างระบายอากาศหรือช่องขนาดใหญ่โดยให้ดินมีเม็ดดิน ทรงกลมขนาดใหญ่ประมาณ 5 มม. มากกว่า 30 % ของเม็ดดินทั้งหมด หรือการไถพรวนดิน

หน้าที่หลักของอากาศในดินคือให้ออกซิเจนในการหายใจของเซลของรากพืช เพื่อให้รากพืชมีการเจริญแพร่ขยายออกไปหาน้ำอาหารแร่ธาตุมาใช้ต่อไป

7. <u>การชอนไชและการแพร่กระจายของรากในดิน</u> ส่วนที่เป็นของแข็งของดินซึ่ง ส่วนใหญ่ก็คือ พวกเศษแร่ขนาดต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นเนื้อดิน (มีอินทรียวัตถุบ้างในดินบน) ทำหน้าที่เป็นที่รองรับพืชโดยที่รากพืชชอนไชตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทั้งด้านความลึกและ รัศมีพื้นที่รอบโคนต้นพืช รากพืชพยายามแพร่กระจายให้ไกลและหยั่งลึกลงไปในดิน ถ้าหากดิน ไม่อัดแน่นหรือมีออกซิเจนอยู่ในช่องว่างในดินมากพอต่อการเจริญเติบโตของราก พืชพวกไม้ยืน ต้นจะแพร่รากอย่างน้อยก็ภายใต้ร่มใบของมัน ข้าวโพดแพร่รากได้ไกลกว่า 2 เมตร และลึกกว่า เมตรในที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี และบางดินแพร่ได้เพียง 1 ฟุต ลึกเพียง 2-3 นิ้ว เมื่อดินอัดแน่น หรือดินแฉะน้ำเต็มช่องอากาศ

8. <u>ความอัดแน่นของดิน</u> ส่วนที่เป็นของแข็งของดินเหล่านี้ประกอบด้วยแร่หลาย ชนิดและมีขนาดต่างกัน การจัดเรียงตัวของเศษแร่เหล่านี้บ้างก็อัดแน่น บ้างก็อยู่อย่างหลวมๆ ที่ อัดแน่นหมายถึงไม่ค่อยมีช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ย่อมต้านทานต่อการแทรกตัวของรากหรือการ ชอนไชของราก ถ้าอัดแน่นจนเกินไปช่องเล็กก็ทำให้รากเล็กและสั้น จากการศึกษาลักษณะของ รากฝ้ายในดินที่ชั้นบนเป็นดินร่วนชั้นล่างลึกลงไป (ถวิล , 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเคมีของดิน

1. ปริมาณอาหารแร่ธาตุต่างๆ ของดินบริเวณรากหยั่งลึกตลอดเวลาที่พืชเจริญเติบโต พืชต้องการใช้แร่ธาตุอาหารจำนวนหนึ่งตลอดเวลาตั้งแต่ต้นกล้าถึงต้นแก่ตายไป ปริมาณแต่ละธาตุไม่เท่ากันทุกธาตุ แต่ละช่วงในการเจริญเติบโตก็ต้องการในสัดส่วนของธาตุที่แตกต่างกัน ดินบริเวณรากหยั่งจึงต้องมีธาตุอาหารในสารละลายดินครบในปริมาณมากเกินกว่าที่พืชต้องการจริงๆ ตลอดเวลาเพื่อให้พืชเลือกดูดกินเข้าไปใช้

ไม่มีการศึกษาอย่างละเอียดต่อเมื่อถึงสภาวะการมีอาหารแร่ธาตุบริเวณรากหยั่งตลอดเวลาของพืชเติบโต แต่มีข้อมูลเกี่ยวกับดินก่อนปลูกว่าปริมาณธาตุนั้นเท่านี้พืชเติบโตปกติหรือผิดปกติ และอนุโลมใช้เป็นค่าบ่งบอกสถานภาพของปริมาณอาหารแร่ธาตุที่เพียงพอต่อการผลิตพืชชนิดนั้น ในดินนั้น ตามสภาพภูมิอากาศเฉพาะนั้นๆ ตัวอย่างของข้อมูลที่ยอมรับกันมีดังนี้

ดินนา (ดินน้ำขัง) ข้าวพื้นเมือง ถ้ามีอินทรียวัตถุมากกว่า 2.5 % นับว่าเพียงพอที่จะให้ไนโตรเจน

ดินนา (ดินน้ำขัง) ข้าวพื้นเมือง ถ้ามีฟอสฟอรัส (Bray II) มากกว่า 12 ต่อล้านส่วน จัดเป็นดินที่มีฟอสฟอรัสเพียงพอ

ดินนา (ดินน้ำขัง) สำหรับข้าวพันธุ์ส่งเสริมที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองน่าจะต้องการปริมาณอาหารแร่ธาตุมากกว่านี้ ขณะนี้ยังไม่มีข้อมูล

ดินที่ดอน (ดินชื้น) ปลูกพืชไร่ไม้ผลต่างๆยังไม่มีเกณฑ์ระดับปริมาณธาตุอาหารในดินที่ชัดเจน ยิ่งเกี่ยวกับไม้ผลจะยิ่งหายากเพราะขณะที่ต้นกำลังเติบโตจากต้นกล้าเป็นต้นไม้ ยังไม่ติดผล ต้องการอาหารแร่ธาตุระดับหนึ่ง แต่เมื่อต้นไม้ผลโตเต็มวัยติดดอกออกผลจะต้องการอาหารแร่ธาตุอีกสูตรหนึ่งแตกต่างไปทั้งสัดส่วนและปริมาณธาตุอาหาร

ธาตุที่เป็นอาหารพืชในดินได้แก่

ธาตุปุ๋ย ได้แก่**ไนโตรเจน** ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในอินทรียวัตถุ (ฮิวมัส) พืชดูดกินจากดินทางรากในรูปอนุมูลประจุลบไนไตรต์ ไนเตรต ประจุบวกแอมโมเนียม และเข้าทางปากใบในรูปของสารประกอบยูเรีย **ฟอสฟอรัส** ซึ่งมีอยู่ในดินในรูปของแร่ฟอสเฟตต่างๆ และในซากพืชเป็นสารอินทรีย์ต่างๆ พืชดูดกินเข้าไปในรูปประจุลบฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำ และ**โพแทสเซียม**ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแร่ต่างๆ ในดินและประจุบวกโพแทสเซียมที่ถูกดูดจับตามผิวของเม็ดดินเหนียวและในซากพืช พืชดูดกินโพแทสเซียมในรูปประจุบวกโพแทสเซียม

ธาตุรอง ได้แก่ **แคลเซียม แมกนีเซียม** ซึ่งอยู่ในดินในรูปของแร่ต่างๆ เช่น พวกปูนชนิดต่างๆ และประจุบวกแคลเซียม แมกนีเซียมที่ถูกดูดจับอยู่ตามผิวของแร่ดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในซากพืช พืชดูดกินได้ในรูปประจุบวกของแคลเซียม ประจุบวกแมกนีเซียมและ **กำมะถัน** ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในดินในรูปของสารอินทรีย์ในอินทรียวัตถุของดินและในซากพืช บางทีอยู่ในรูปแร่ เช่น แร่เกลบแก้ว (ยิปซั่ม) พืชดูดกินกำมะถันในรูปประจุลบซัลเฟต

ธาตุเสริม เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย บางครั้งเรียกว่า จุลธาตุ มี 7 ธาตุด้วยกันได้แก่ **เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง** พวกนี้เป็นพวกที่พืชดูดกินเข้าไปในรูปประจุบวก มีอยู่ในดินในแร่ต่างๆมากชนิด และในซากพืช และอีก 3 ธาตุคือ **โบรอน โมลิบดินัม** และ**คลอรีน** ซึ่งเป็นพวกที่พืชดูดกินในรูปอนุมูลประจุลบ เช่น โบเรต โมลิบเดต และคลอไรด์ ธาตุเหล่านี้อยู่ในดินในรูปของแร่และเกลือต่างๆ และในซากพืช

2. การเปลี่ยนรูปจากที่เป็นประโยชน์น้อยเป็นชนิดที่เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารแร่ธาตุที่สำคัญในดิน

ไนโตรเจน

อินทรีย์วัตถุในดิน (ฮิวมัส) มักถูกจุลินทรีย์หลายชนิดเข้าย่อยสลาย (เมื่อมีความชื้น อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ อาหารแร่ธาตุที่เหมาะสม) ให้กลายเป็นแอมโมเนีย และสารอื่นๆ แอมโมเนียถูกแบคทีเรียบางชนิดย่อยต่อไปได้ไนไตรต์และความเป็นกรด และไนไตรต์ถูกแบคทีเรียบางชนิดย่อยต่อไปได้ไนเตรตและความเป็นกรด ทั้งแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต พืชสามารถดูดกลืนได้ทั้งสิ้น พืชตระกูลถั่วชนิดที่มีปมที่รากอาจได้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจากการที่ไรโซเบียมในปมดูดกินก๊าซไนโตรเจนจากอากาศสร้างเป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในปมเมื่อเหลือเฟือหรือไรโซเบียมในปมตายก็ให้ไนโตรเจนแก่ถั่วได้

ฟอสฟอรัส

ในดินมีแร่ฟอสฟอรัสมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดละลายได้ต่างกัน บ้างก็ละลายได้ในน้ำ บางชนิดละลายได้เฉพาะในกรดเท่านั้น ในดินมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อรวมกับน้ำก็เป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อนสามารถละลายแร่ฟอสเฟตชนิดต่างๆได้ จุลชีพบางชนิดละลายฟอสเฟตได้ ฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน (หรือน้ำในดิน) พืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที ปัญหาอยู่ที่การละลายออกมาช้ามาก เพราะขึ้นอยู่กับชนิดของแร่และตัวทำละลายหรือความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพแทสเซียม

ในดินมีแร่โพแทสเซียมหลายชนิด แต่ส่วนมากละลายหรือสลายตัวยาก ดังนั้น แร่เหล่านี้จึงไม่ค่อยเป็นประโยชน์ต่อพืชทันที แต่มีประจุบวกโพแทสเซียมชนิดที่ถูกเม็ดดินเหนียว หรืออินทรีย์วัตถุของดินดูดยึดไว้ตามพื้นผิวนอกซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนที่กับประจุบวกอื่นๆได้ ประจุบวกโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เหล่านี้เป็นแหล่งหลักของโพแทสเซียมให้พืชใช้ และที่สลายมาจากแร่เป็นส่วนเสริมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

แคลเซียมและแมกนีเซียม

หินปูนชนิดต่างๆ สามารถละลายได้ในกรดคาร์บอ[illegible] สังเกตได้จากมีหินงอก หินย้อย ในถ้ำหินปูนทั่วไป เมื่อหินปูนละลายจะได้ประจุบวกแคลเซียม (แมกนีเซียมบ้าง) ในน้ำในดิน แต่ก็ไม่ใช่แหล่งหลักของแมกนีเซียมและแคลเซียมให้พืชใช้ ประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ของแคลเซียมแมกนีเซียมที่ถูกดูดยึดไว้ตามพื้นผิวของเม็ดดินเหนียวและของอินทรีย์วัตถุในดินเป็นแหล่งหลักของพืชเช่นเดียวกับกรณีของโพแทสเซียม

กำมะถัน

ในอินทรีย์วัตถุมีกำมะถันอยู่บ้าง เมื่ออินทรีย์วัตถุถูกจุลินทรียย่อยสลายจะได้กำมะถันในรูปของซัลเฟตที่พืชดูดไปใช้ได้ทันที ในอากาศมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งพืชดูดกินทางปากใบนำไปใช้ได้บ้าง หรือไม่ก็ละลายลงมากับฝนในรูปของกำมะถัน (ซึ่งพืชดูดกินได้) และในดินมีแร่ที่เป็นสารประกอบซัลเฟต เช่น แกลบแก้ว (ยิปซั่ม) เมื่อละลายน้ำจะให้ซัลเฟตและแคลเซียมแก่พืช แหล่งหลักของกำมะถันสำหรับพืช คืออินทรีย์วัตถุในดินและแร่ซัลเฟตต่างๆ (ถวิล , 2540)

3. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity , CEC)

ในวัฏภาคของแข็งของดินส่วนใหญ่จะมีประจุสุทธิเป็นลบอยู่บริเวณพื้นผิว และประจุลบที่มีจะถูกสะเทินด้วยประจุบวกโดยมีการยึดเกาะไว้ที่ผิวของอนุภาค การยึดเกาะอยู่ในสภาวะที่ สมดุลกับประจุบวกในสารละลายดิน ประจุบวกจึงสามารถแลกเปลี่ยนไปมาระหว่างวัฏภาคของแข็งและของเหลวได้เรียกว่า ประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้

ในกระบวนการกำเนิดดิน ซิลิคอน (IV) หรืออลูมิเนียม (III) ไอออนอาจถูกแทนด้วยไอออนของโลหะอื่นที่มีขนาดเท่ากันแต่มีประจุน้อยกว่า เพื่อชดเชยสภาพประจุที่ไม่สมดุลกับประจุลบที่มีอยู่ในโครงสร้าง จึงเกิดการดูดซับประจุบวกอื่นๆ ไว้ที่พื้นผิวเคลย์ได้ ประจุบวกที่มาดูดซับไม่จำเป็นต้องมีความจำเพาะเจาะจง เช่น K^+ , Na^+ , NH_4^+ ทำให้ประจุสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนกับสารละลายดินได้ ปริมาณที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ที่บอกในเทอมมิลลิสมมูลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินแห้ง 100 กรัม (meq / 100 g of dry soil) จึงเรียกว่าเป็นความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกหรือค่าซีอีซีของดิน ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของอนุภาคคอลลอยด์และดินตะกอน เนื่องจากเป็นกลไกในการปลดปล่อยสารอาหารจุลภาค เช่น K^+ , Ca^{2+}, Mg^{2+} และอื่นๆสู่สารละลายดินและพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อรากพืชดูดสารอาหารขึ้นไปจะมีการแลกเปลี่ยนด้วยไฮโดรเจนไอออนไว้แก่ผิวเคลย์ ซึ่งกระบวนการนี้เมื่อรวมกับแคลเซียม แมกนีเซียมและไอออนของโลหะอื่นที่ไหลชะมาจากเคลย์ (ในตัวกลางที่เป็นน้ำและมีกรดคาร์บอนิกละลายอยู่) ทำให้ดินนั้นมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น ดินจะทำหน้าที่ดูดซับและปลดปล่อยออกมาเพื่อให้สมดุลได้

ประจุที่แลกเปลี่ยนได้จากอนุภาคคอลลอยด์จำแนกเป็น 2 พวกใหญ่ คือ พวกที่มีฤทธิ์เป็นเบส เช่น Ca^- , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ และพวกที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น H^+ , Al^{3+} โดยทั่วไปดินที่ไม่ใช่ดินเปรี้ยวจะมีประจุบวกที่เป็นเบสสามารถแลกเปลี่ยนได้อยู่มากกว่า 80 % กลุ่มที่มีมากเรียงตามลำดับ คือ $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$

ส่วนในดินที่เปรี้ยวจะมีสัดส่วน H^+ และ Al^{3+} เพิ่มขึ้น ประจุที่สามารถแลกเปลี่ยนได้บนอนุภาคคอลลอยด์ยังรวมไปถึงพวกสารอาหารด้วย เช่น NH^{4+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2-} แต่พวกสารอาหารจุลภาคมักยึดเกาะเป็นแบบจำเพาะ (Specific adsorption) (กรองแก้ว , 2541)

4. ความเค็มของดิน

ดินที่จัดว่าเป็นดินเค็มหมายถึงการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินมีค่ามากกว่า 4 mS cm^{-1} โดยทั่วไปมักพบในพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง ซึ่งมีอัตราการระเหยสูง ก่อให้เกิดการไหลซึมของเกลือในชั้นดินล่างๆขึ้นสู่ดินชั้นบนแบบ Capillary rise ดินประเภทนี้จะมีค่าพีเอชสูงมากกว่า 8.5 พื้นผิวจะเห็นเป็นคราบเกลือขาวๆได้ จึงมักเรียกว่า White-alkali soil

การที่ดินมีโซเดียม แคลเซียมและแมกนีเซียมในรูปคลอไรด์หรือซัลเฟตมากจะลดความสามารถในการเกิดออสโมซีสของน้ำในดิน และทำให้พืชดูดน้ำไปใช้ได้น้อย แต่จะก่อให้เกิดการแสดงทิศทางการไหลของน้ำและสารอาหารตรงกันข้ามกับการออสโมซีส ซึ่งเรียกว่า Plasmosis พืชบางชนิดจำพวก Halophytes เท่านั้นที่สามารถทนความเค็มได้สูงถึง 8-12 mS cm^{-1} เช่น ข้าวบาร์เลย์ ,หน่อไม้ฝรั่ง , sugar beet ถ้าความเค็มอยู่ในช่วง 6-8 mS cm^{-1} พืชพวกข้าวสาลี่ , ข้าวโอ๊ต , หัวบีท , มะเขือเทศ , กะหล่ำปลี พอทนได้บ้าง (กรองแก้ว , 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. <u>อินทรีย์วัตถุ</u> เฉพาะส่วนของอินทรีย์วัตถุที่เน่าเปื่อยผุผังจนเป็นอนุภาคเล็กๆ ที่เรียกว่า ฮิวมัส เท่านั้นที่นับว่าเป็นองค์ประกอบของดิน (ชิ้นส่วนของรากไม้ ใบไม้ ซากสัตว์ที่ยังเป็นรูปร่างอยู่ไม่นับว่าเป็นอินทรีย์วัตถุของดิน)

เมื่อเศษไม้ ใบไม้ สัตว์ตาย จุลินทรีย์หลายพวกหลายกลุ่มเข้าย่อยสลายทำให้เน่าเปื่อย มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารอื่นๆ เกิดมากมาย (รวมทั้งอาหารแร่ธาตุบางพวกบ้าง) ท้ายที่สุดจะเหลือของแข็งที่ละเอียดยุ่ยจนไม่สามารถจำแนกได้ว่ามาจากสารอะไรมีสีคล้ำๆ ที่เรียกว่า ฮิวมัส หรืออินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุในดินเช่นนี้ก็ยังถูกจุลินทรีย์บางพวกย่อยสลายต่อไปได้อีก แต่ด้วยอัตราที่ช้ามาก และผลของการย่อยครั้งนี้จะได้อาหารแร่ธาตุที่พืชพร้อมจะนำไปใช้ทันที เช่น แอมโมเนียม ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสเฟต ซัลเฟต ฯลฯ

เฉพาะดินบนหรือผิวดิน (โดยเฉพาะดินในป่า) เท่านั้นที่มีโอกาสได้สะสมเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ถ้าหากไม่มีการพัดพาเคลื่อนย้ายไปที่อื่นเสียก่อนก็จะเกิดเป็นชั้นอินทรีย์วัตถุอยู่เหนือชั้นดินบน เช่น ดินในป่า ดินล่างที่อยู่ลึกลงไปมีอินทรีย์วัตถุน้อยมากหรือไม่มีเลย การไถพรวนดินเสมอทำให้คลุกอินทรีย์วัตถุลึกลงไปตามระดับความลึกของการไถพรวน การไถพรวนดินเพื่อการเพาะปลูกพืชเป็นการเร่งให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวเร็วขึ้นเพราะดินมีการถ่ายเทอากาศดีขึ้นเหมาะสมต่อการเข้าทำงานของจุลินทรีย์ และได้ผลตอบแทน คือ มีการปลดปล่อยแร่ธาตุอาหารต่างๆ ออกมาจากอินทรีย์วัตถุให้พืชใช้

อินทรีย์วัตถุในดินอุ้มน้ำได้ดีและสามารถดูดยึดแร่ธาตุอาหารต่างๆ ไว้ได้ นอกจากนั้นยังเป็นสารเชื่อมอนุภาคดินให้จับเป็นเม็ดดินทรงกลมขนาดใหญ่ (ทำให้ดินโปร่งมีการถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำได้ดียิ่งขึ้น) และเมื่ออินทรีย์วัตถุถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายยังให้อาหารแร่ธาตุแก่พืชอีกด้วย โดยเฉพาะไนโตรเจน (แอมโมเนียม ไนเตรต ไนไตรต์) ฟอสฟอรัส (ฟอสเฟต) และกำมะถัน (ซัลเฟต) เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคดินเหนียว อินทรีย์วัตถุในดินมีความสามารถมากกว่าหลายเท่าในด้านการอุ้มน้ำและการดูดยึดอาหารแร่ธาตุ

หน้าที่หลักของอินทรีย์วัตถุในดิน คือ ให้อาหารแร่ธาตุไนโตรเจนแก่พืช ช่วยอุ้มน้ำ ช่วยดูดยึดอาหารแร่ธาตุ ทำให้อนุภาคดินจับกับเป็นเม็ดทรงกลม ทำให้ดินร่วนโปร่ง ระบายน้ำดี ถ่ายเทอากาศดี

<u>6. ความเป็นกรด - ด่าง</u> (หรือ pH ของดิน) ระดับความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตประมาณ pH 5.5-6.5 ถ้าระดับความเป็นกรด – ด่างของดินตามสภาพที่พืชกำลังเจริญเติบโตอยู่ (ไม่ใช่ค่า pH ของดินแห้งตามที่ปฏิบัติกันในห้องปฏิบัติการหรือมีอยู่ในรายงานต่างๆ) ดินจะมีสภาวะที่เหมาะต่อสัดส่วนของปริมาณอาหารแร่ธาตุต่างๆ ในสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายดิน คือ ถ้า pH ต่ำกว่า 5.5 และ pH สูงกว่า 6.5 สัดส่วนของธาตุบางธาตุผิดปกติไป คือธาตุหนึ่งอาจมากเกินไปขณะเดียวกันธาตุอื่นที่จำเป็นอาจน้อยเกินไป (ถวิล , 2540)

ความเป็นกรดของดิน ในบางกรณีอาจใช้ในเทอมของปฏิกิริยาของดิน(Soil reaction)ซึ่งบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของ H^+ ที่มีอยู่ในสารละลายดินที่สมดุลกับ H^+ ที่ดูดซับบนอนุภาคคอลลอยด์ที่ถือว่าเป็นตัวเสริมความเป็นกรดได้ และสามารถรักษาสภาพการเปลี่ยนแปลง pHได้ (buffer capacity) เมื่อมีกรดหรือเบส ความสามารถนี้จะมีความสัมพันธ์กับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ถ้ามีค่า CEC สูงจะมี buffer capacity สูงด้วย การเกิดสภาพดินเปรี้ยวจากแร่ธาตุเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ของแร่ธาตุ เช่น ไพไรต์ จะก่อให้เกิดสภาวะดินเปรี้ยวเนื่องมาจากเกิดกรด – อนุมูลซัลเฟตในดิน

ดินที่มีเฟอรัสซัลไฟต์ เช่น ดินตะกอนชายฝั่งทะเล เมื่อสัมผัสกับอากาศและความชื้นจะเกิดปฏิกิริยาทำให้ค่า pH ต่ำถึง 3.0 ได้ ดินบางแห่งที่ปรับสภาพมาจากบึงหรือหนองน้ำพบว่ามีความเป็นกรดสูง และสามารถเกิดปฏิกิริยาการปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับไพไรต์และมีพิษต่อรากพืชด้วย ดินที่ถูกปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่ที่มีไพไรต์จะเกิดกรด – อนุมูล ซัลเฟตเช่นเดียวกัน

เมื่อหาปริมาณซัลเฟตและความเป็นกรดได้จะเป็นค่าที่บ่งชี้ศักยภาพในการเกิดสภาพดินเปรี้ยว ถ้าค่า pH สูงกว่า 3.0 แสดงว่ามี FeS_2 ในปริมาณน้อยหรือในดินมีแคลเซียมคาร์บอเนตพอเพียงในการสะเทินกรดที่เกิดขึ้นได้ แต่ถ้าค่า pH ต่ำกว่า 3.0 แสดงว่าดินสามารถเกิดสภาพกรดได้ดีซึ่งดินที่เปรี้ยวจัดจะทำให้เป็นพิษต่อพืช โดยการปลดปล่อยสารพิษ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ อลูมิเนียมไอออน (III) ซึ่งเป็นพิษมาก

การปรับสภาพความเป็นกรดของดินมักใช้การเติมปูน (liming) โดยอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตมาปรับสภาพ ในพื้นที่ซึ่งมีปริมาณฝนตกน้อยดินจะมีฤทธิ์เป็นเบสเนื่องจากเกิดสารประกอบเกลือ เบสิค (Basic Salt) เช่น Na_2CO_3 ดินที่มีฤทธิ์เป็นเบสสามารถปรับสภาพโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของเหล็ก (III) หรืออลูมินียม (III) ซัลเฟตซึ่งปลดปล่อยกรดออกมาสะเทินกับสภาพเบส(กรองแก้ว , 2541)

2.9 <u>ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช</u>

การที่พืชจะสร้างผลผลิต น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ดอกผล หรือเมล็ดได้นั้นต้องมีปัจจัยหลายอย่างเข้าร่วมกันกระทำแบบสืบเนื่องต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่งจึงเกิดผลเช่นที่ปรากฏ ดังนั้นปัจจัยต่างๆ และลักษณะที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ตลอดเวลาที่พืชดำรงชีพโดยเริ่มจากเมล็ดกลายเป็นต้นกล้า แล้วเติบโตเป็นต้นโตแก่พอติดดอกออกผลและให้เมล็ดได้นั้นต้องอาศัยปัจจัยต่างๆมากมายซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุกรรม (gene) พันธุกรรมเป็นหน่วยขนาดเล็กมากที่สุดสำคัญที่สุดของจุดชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เป็นหน่วยที่สืบช่วงจากพ่อแม่ไปสู่ลูก ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏออกมาให้เห็น เช่น ควบคุมให้มีรูปร่าง (ความสูง ทรงใบ ทรงปล้อง ตา ฯลฯ) คุณภาพ (ความหวาน ความสามารถในการใช้อาหารแร่ธาตุ ฯลฯ) แต่บางครั้งก็ไม่มีอำนาจมากพอที่จะบังคับให้แสดงลักษณะออกมาให้ปรากฏ แต่พันธุกรรมนี้จะยังแฝงอยู่ในสิ่งนั้นและสืบพันธุ์ส่งช่วงต่อไปได้ แต่บางครั้งต้องรอโอกาสที่เหมาะสมจึงจะแสดงออกมา เช่น ต้องรอจนพืชอ่อนแอเป็นต้นว่ากรณีของอ้อยต่อปี 2-3 หรืออ้อยปลูกที่ใช้พันธุ์ซึ่งผ่านการขยายพันธุ์มาหลายช่วงแล้ว ลักษณะที่ไม่ดีบางประการจะโผล่ออกมาให้เห็น

พันธุกรรมที่แฝงอยู่ในพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์มีหลายตัวและแตกต่างกันไป บางตัวก็ควบคุมให้ได้ผลผลิตสูง ให้ทนแล้ง ให้มีความหวานสูง ให้มีทรงใบดี และการทิ้งใบเร็ว บ้างก็เป็นลักษณะไม่ดี เช่น ต้นเล็กแคระแกรน อ่อนแอไม่ต้านทานโรค ฯลฯ

โดยสรุปแล้วพอกล่าวได้ว่า พันธุกรรมที่แฝงมาในพันธุ์พืชเป็นสิ่งที่ควบคุมให้พืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์มีลักษณะดีเลวต่างๆ กัน โดยพันธุกรรมเป็นตัวกำหนดขอบเขตความสามารถสูงสุดของพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ (ขอบเขตสูงสุดนี้อาจปรากฏออกมาแล้วหรือยังแฝงอยู่ทั้งนี้สุดแต่กำลังของพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมอื่นที่เกี่ยวพันด้วย) การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีที่มีพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะดีและพึงประสงค์ประกอบกับจัดการให้สภาพแวดล้อมอื่นๆ เหมาะสมด้วยย่อมมีผลให้ผลผลิตสูงขึ้น การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีจึงเป็นทางลัดในการเพาะปลูกเพราะมีโอกาสที่ดีที่จะได้ผลผลิตสูงอย่างทันที

พลังงานแสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักของสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยเฉพาะพืชที่มีสารสีเขียวที่เรียกว่า คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) คลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงเป็นคลื่นแสงที่สารสีเขียวของพืชดูดซับไว้ได้มาก และมีบทบาทสำคัญยิ่งในการใช้เป็นพลังงานในการสังเคราะห์แป้ง – น้ำตาล จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำที่ใบพืช ปริมาณของพลังงานแสงที่พืชได้รับขึ้นอยู่กับความมากน้อยของแสงอาทิตย์ มุมที่แสงตกกระทบ ลักษณะการตั้ง และการหันหน้าเข้าหาแสงของใบ ยามเที่ยงวันย่อมมีแสงจ้ามากกว่ายามเช้าตรู่หรือยามพระอาทิตย์ตกดิน วันที่ไม่มีเมฆหมอกดีกว่าวันครึ้มฝน วันยาวย่อมดีกว่าวันสั้น และใบพืชที่ตั้งทำมุม 30-45 องศากับต้นย่อมดีกว่าใบแบนทำมุมฉากกับต้นพืช

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาอิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตของคะน้า โดยความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชมากแต่หากพืชได้รับความเข้มแสงเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต เพราะการสังเคราะห์แสงของพืชเกิดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนซึ่งเป็นผลพลอยได้จะนำไปใช้ในส่วนต่าง ๆ ของเซลจะมีผลไปยับยั้งเอนไซม์ ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แสง (วันเพ็ญ , 2534) จะเป็นสาเหตุให้ปากใบปิด เร่งอัตราการหายใจมากขึ้น (สัมพันธ์ , 2539) นอกจากนี้ความเข้มแสงที่มากเกินไปจะทำให้พืชมีการคายน้ำเกิดขึ้นในปริมาณมากอย่างรวดเร็ว จะทำให้พืชเหี่ยวลง

ความเข้มแสงยังมีอิทธิพลต่อพืชโดยรอบ เช่น การเจริญเติบโตของพืชในที่มืดจะมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงมาก ลำต้นบอบบาง ใบจะมีการขยายตัวน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบในพืชที่มีการเจริญเติบโตในแสงปกติ ซึ่งมีลำต้นเตี้ยกว่า ทั้งนี้เพราะแสงมีอิทธิพลในการทำลายการเจริญเติบโต ใบพืชที่อยู่ในความเข้มแสงจะมีการขยายตัวได้น้อยลง (อภิพรรณ , 2529) พืชที่เจริญเติบโตในเขตที่ร่มเงาปานกลาง อัตราการคายน้ำลดลง พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าจึงทำให้ขนาดใบใหญ่ แต่พืชที่อยู่ในที่ร่มมาก ๆ อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง อัตราการคายน้ำจะลดลง ทำให้พืชมีต้นเล็กและอ่อนแอ (สุทธิพร , 2524)

วิรัตน์ (2539) ได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตคะน้าที่ระดับ 41.66 53.66 72.15 และ 100 % พบว่า คะน้าจะเจริญเติบโตความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากสุดที่ระดับความเข้มข้นแสง 72.15 และ 53.66 % ส่วนที่ระดับความเข้มแสง 100 % จะมีการเจริญเติบโตต่ำสุด

สุธาทิพย์ (2540) ศึกษาอิทธิพลของความเข้มแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหวาน 4 ระดับ 30 50 70 และ 100 % พบว่า พริกหวานที่ได้รับความเข้มแสง 50 % จะมีความสูงและขนาดทรงพุ่มมากสุด ส่วนพริกที่ได้รับความเข้มแสง 100 % จะมีความสูงต่ำ

อุณหภูมิ อุณหภูมิที่กิจกรรมเพื่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตดำเนินเป็นปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 15 – 35 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 15 หรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส กิจกรรมเพื่อการดำรงชีพต่างๆ จะผิดปกติ มีผลทำให้การเจริญเติบโตผิดปกติ เช่น อุณหภูมิสูงอัตราการหายใจเร็วขึ้น เผาผลาญแป้งน้ำตาลมากขึ้น อัตราการเจริญเติบโตลดต่ำลง ตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยไม่มีปัญหาของอุณหภูมิสูง หรือต่ำเกินไปจนเป็นผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ยกเว้นบางบริเวณในฤดูหนาวที่อุณหภูมิลดต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส

ในด้านอิทธิพลของอุณหภูมิต่อพืช อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในพืชไม่ว่าจะเป็นขบวนการทางฟิสิกส์หรือขบวนการทางเคมีของพืช อุณหภูมิจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ในขบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกคะตะไลต์ โดยน้ำฝอย (Enzyme) ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30 – 35 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำจะทำให้การสังเคราะห์แสงช้าลงทำให้การสังเคราะห์แสงช้าลงทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่ของ CO_2 เข้าไปในใบเกิดช้า และอุณหภูมิสูงเกินถึง 50 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้น้ำย่อยถูกทำลายสูญเสียสภาพไปจนไม่สามารถคะตะไลต์ปฏิกิริยาได้

อุณหภูมิมีผลทางอ้อม ได้แก่ การเร่งอัตราการหายใจ อุณหภูมิที่พอเหมาะแก่สำหรับการหายใจอยู่ระหว่าง 40 – 50 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิพอเหมาะสำหรับการสังเคราะห์แสง ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 35 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์แสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะพืชมีการนำเอาแป้งและน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงมาใช้ในการหายใจ (สัมพันธ์ , 2529)

นอกจากนั้นอุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณความชื้นเนื่องจากอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความชื้นในอากาศ ถ้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณไอน้ำ และไอน้ำในอากาศจะควบคุมการระเหยน้ำไปจากต้นพืชและการระเหยน้ำจากดิน

นอกจากนี้ความชื้นในดินยังมีผลต่ออุณหภูมิภายในต้นพืชและการหยั่งรากของพืช ถ้าความชื้นต่ำจะมีผลทำให้เซลพืชเหี่ยวแห้ง ถ้าความชื้นสูงจะทำให้อินทรียวัตถุในดินเน่าเปื่อยได้ดี (ทรงศักดิ์ , 2539)

<u>ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์</u> ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเป็นวัตถุดิบร่วมกับน้ำในขบวนการสังเคราะห์แสงโดยเกิดขึ้นที่ใบ เมื่อใบสร้างแป้ง – น้ำตาลแล้วส่งต่อไปยังส่วนต่างๆของพืชตามที่พืชต้องการ ในรายงานการทดลองพิเศษที่บังคับให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่มีอยู่ในอากาศ มีผลทำให้ผลผลิตของพืชเพิ่มมากกว่าเดิมได้ แต่ตามสภาวะของธรรมชาติไม่มีทางปฏิบัติได้ อย่างไรก็ตาม ผลของงานทดลองนี้ก็ยืนยันว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควบคุมผลผลิตพืชได้ ถ้าหากขาดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พืชย่อมไม่สามารถสร้างแป้ง – น้ำตาลได้อย่างเพียงพอ ความเป็นจริงแล้วในอากาศมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างคงตัวและมากเหลือเฟือ ประกอบกับมีการหมุนเวียนของอากาศเหนือผิวโลกตลอดเวลาย่อมมีการกระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้พืชได้อย่างเพียงพอตลอดเวลา ดังนั้นปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจึงไม่ใช่ปัจจัยที่ควบคุมผลผลิตของพืชไม่ว่าจะปลูกที่ใดในโลก (แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในดิน ถ้ามีมากเกินไปก็หยุดชะงักการเจริญเติบโตของพืชได้)

<u>ก๊าซออกซิเจน</u> สิ่งมีชีวิตส่วนมากจำต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในการหายใจ สำหรับพืชส่วนที่อยู่ในอากาศหรือในดินล้วนต้องการก๊าซออกซิเจนในการหายใจทั้งนั้น พืชประกอบด้วยหน่วยเล็กที่เรียกว่าเซลล์มากมายและแยกเป็นอิสระจากกันในการหายใจ ส่วนของพืชที่อยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศย่อมไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนออกซิเจนในการหายใจ เพราะในอากาศมีก๊าซออกซิเจนมากกว่า 20 % โดยปริมาตรอยู่แล้ว แต่ส่วนของพืชที่อยู่ใต้ดินโดยเฉพาะรากที่ยังมีชีวิตอยู่จำต้องมีก๊าซออกซิเจนสำหรับหายใจ (ยกเว้นพืชอื่นบางชนิด เช่น ข้าว ซึ่งมีท่ออากาศจากข้อต่อแผ่นใบกับกาบใบต่อลงรากพืชน้ำทั่วไปก็มีท่ออากาศเช่นนี้ รากของพืชน้ำย่อมไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องนี้ แต่พืชบกทั้งหลายไม่มีท่ออากาศจากใบต่อเชื่อมถึงปลายราก) ดังนั้นรากของพืชเหล่านี้โดยเฉพาะเซลล์ที่ปลายรากต้องได้ก๊าซออกซิเจนจากอากาศในดินเพื่อการหายใจ ถ้าหากปริมาณของก๊าซออกซิเจนในดินไม่เพียงพอย่อมกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของราก ซึ่งจะส่งผลสะท้อนถึงการเจริญเติบโตของต้นพืชโดยส่วนรวมต่อไปด้วย ดังนั้นก๊าซออกซิเจนของอากาศในดินจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการควบคุมผลผลิตของพืช ดังจะเห็นได้ชัดในดินอัดแน่นหรือเป็นแผ่น ผิวดินแข็งไม่มีช่องให้อากาศถ่ายเทได้ พืชจะให้ผลต่ำเสมอ หรือถ้าน้ำท่วมโคนพืชสูงกว่าผิวดินนาน 3-7 วัน พืชจะตาย (แต่พืชบางชนิดสามารถสร้างรากอากาศได้ เช่น ต้นไทร อ้อยที่มีรากอากาศเหนือผิวน้ำ พืชนั้นจะไม่ตาย แต่ผลผลิตก็ต่ำมากเพราะขาดอาหารแร่ธาตุจากดิน)

น้ำ น้ำเป็นวัตถุดิบร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แป้ง – น้ำตาล โดยทั่วไปแล้วเพียงประมาณ 5 % ของน้ำที่ผ่านเข้าไปในพืชถูกใช้ในการสร้างแป้ง – น้ำตาล และสารอื่นๆ (หรือน้ำหนักแห้ง) และเป็นน้ำเหลวอยู่ในพืชน้ำอีกกว่า 90 % เป็นน้ำที่คายออกทางใบ น้ำในพืชทำหน้าที่ต่างๆกัน เช่น ทำให้เซลล์เต่งตัว เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แป้ง – น้ำตาล ช่วยในการขนย้ายแป้ง – น้ำตาลและสารต่างๆ ที่พืชผลิตขึ้นส่งไปยังที่เก็บต่างๆ หรือเป็นตัวเจือจางทำให้สิ่งต่างๆ ทำงานได้ตามปกติ เช่น น้ำในโปรโตพลาสม์ (protoplasm) ทำให้โปรโตพลาสม์ทำงานคล่องตัวไม่แข็งเกาะกันอยู่นิ่ง

น้ำฝนที่ตกลงมาแม้จะถูกใบพืช แต่พืชใช้น้ำเช่นนี้ได้น้อยมากเพราะน้ำเข้าสู่พืชได้เพียงเล็กน้อย น้ำที่เข้าสู่พืชส่วนใหญ่ (98 %) มาจากน้ำในดินที่รากดูดเข้ามา ปริมาณน้ำที่พืชต้องการในการดำรงชีพอาจมากกว่า 500 –1000 เท่าของน้ำหนักแห้งของพืชเมื่อเฉลี่ยตลอดอายุของพืช ดินจะต้องมีน้ำให้พืชใช้อย่างเพียงพอกับการคายน้ำทางใบตลอดเวลา และปริมาณน้ำเพิ่มอีกเล็กน้อย (5%) เพื่อใช้ในการสร้างสมน้ำหนักแห้งและเพื่อทำหน้าที่หล่อเลี้ยงส่วนที่ต้องการน้ำของพืช อัตราการคายน้ำของพืชต้นเล็กอาจเป็นเพียง 0.1 มม.ต่อวัน แต่พอพืชโตอัตราการคายน้ำอาจเพิ่มมากเป็น 10 มม. ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาของการที่ดินมีน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตทันที เพราะไม่มีน้ำไปทำหน้าที่ต่างๆ ในพืช โดยเฉพาะการเต่งตัวของเซลล์ (เพื่อรักษารูปร่าง)และการควบคุมอุณหภูมิภายในต้นพืช ทำให้ขบวนการสังเคราะห์สารต่างๆ หยุดชะงักหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมผลผลิตของพืชที่ปลูกในเขตที่ไม่มีน้ำชลประทาน หรือแหล่งน้ำอื่นเพื่อช่วย น้ำฝนอย่างเดียวไม่อยู่ในสภาพที่จะสามารถให้น้ำแก่พืชที่ปลูกในฤดูฝนอย่างเพียงพอตลอดเวลาที่พืชเจริญเติบโตได้ตามธรรมชาติ ในวันที่ฝนตกหนักอาจมีน้ำมากเกินไป แต่ถ้าฝนทิ้งช่วง 10 – 20 วัน (ยิ่งถ้าปลูกในกระถางยิ่งเร็วมาก อาจเป็นเพียง 1 – 2 วันเท่านั้น) น้ำในดินจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ทำให้พืชเหี่ยวและชะงักการเจริญเติบโตได้หรืออาจรุนแรงถึงพืชตายได้

<u>อาหารแร่ธาตุของพืช</u> ธาตุที่เป็นอาหารแร่ธาตุของพืชที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชมี 16 ธาตุ คือ **คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน** ได้จากน้ำและอากาศซึ่งโดยทั่วไปเกินพอ นอกจากนั้น คือ **ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัม** และคลอรีน ส่วนมากได้มาจากดินโดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดินมีไม่ค่อยเพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มให้ในรูปปุ๋ยต่างๆ เสมอ

พืชต้องได้ธาตุเหล่านี้ในรูปของประจุ (อนุมูล) หรือสารประกอบ เมื่อเข้าไปในพืชแล้วธาตุอาจทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น เป็นองค์ประกอบของสารที่เป็นโครงสร้างที่จำเป็นของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยของฮอร์โมนต่างๆ และหน้าที่เฉพาะอื่นๆ อีกมากมาย ถ้าขาดธาตุที่จำเป็นเหล่านี้ธาตุใดธาตุหนึ่ง พืชจะไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้จนครบวงจร พืชต้องได้ธาตุเหล่านี้ในสัดส่วนที่เหมาะสม ถ้าสัดส่วนมากไปหรือน้อยไปย่อมกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์สารต่างๆ ในพืช ทำให้การเจริญเติบโตในพืชผิดปกติ หรือพืชอาจตายได้ นั่นคือในดินต้องมีธาตุอาหารแร่ธาตุของพืชที่จำเป็นเหล่านี้ครบทุกธาตุและต้องเป็นรูปที่พืชดูดกินได้ ปริมาณที่พืชดูดกินได้จะต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม หรือสมดุลกับความต้องการของพืช ไม่เช่นนั้นผลผลิตและคุณภาพของพืชจะผิดปกติไป หรือไม่ดีเท่าที่ควร

ปัญหาของอาหารแร่ธาตุในดินกับความต้องการของพืช เป็นปัญหาที่ยุ่งยากเพราะไม่มีทางทราบได้อย่างถูกต้องว่าทุกขณะตลอดฤดูปลูกดินมีเท่าใด และพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ตลอดฤดูปลูกมีสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น น้ำ และอากาศ ฯลฯ แปรเปลี่ยนตลอดเวลา ต้องการธาตุอาหารต่างๆ ในอัตราส่วนและปริมาณใด และยิ่งไปกว่านั้นตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตต่างๆ ของพืชยังมีความต้องการอาหารแร่ธาตุแตกต่างกันด้วย

<u>ที่สำหรับหยั่งรากยึดให้ลำต้นตั้งอยู่ได้</u> พืชที่ล้มเอียงไม่ตั้งตรงมีลักษณะของการแตกกิ่งก้าน และการเจริญเติบโตของส่วนยอดเลวกว่าพืชที่ตั้งตรงเสมอเพราะการรับแสงไม่ทั่วถึง จึงกระทบถึงการสร้างแป้ง – น้ำตาล การสะสมน้ำหนักแห้ง และการกระจายของฮอร์โมนพืช ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นการที่มีของบางอย่างให้พืชหยั่งรากและยึดพยุงให้ต้นพืชตั้งตรงย่อมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

ความปราศจากศัตรูรบกวน พืชที่ถูกศัตรู เช่น โรค แมลง หรือสัตว์อื่นทำลายและวัชพืชแย่งแสง น้ำ อาหารแร่ธาตุ พืชที่อยู่ในลักษณะเช่นนี้ย่อมมีการเจริญเติบโตผิดปกติ ผลผลิต (อาจรวมถึงคุณภาพ เช่น ความหวาน) ลดลงได้ ปริมาณการสูญเสียของผลผลิตขึ้นอยู่กับความมากน้อยของการระบาด และความรุนแรงในการทำลายของศัตรูเหล่านี้ พืชที่ปราศจากศัตรูพืชรบกวนย่อมได้ผลผลิตตามที่ปัจจัยอื่นๆ ควบคุมไว้ (ถวิล , 2540)

2.10 คะน้า

คะน้าเป็นผักที่คนไทยรู้จักกันดี อยู่ในตระกูล Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Brassica alboglabra เป็นผักที่คนไทยนิยมปลูกและบริโภคกันมากทั่วทุกภาคของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น เป็นผักอายุ 2 ปี แต่ปลูกเป็นผักอายุปีเดียว อายุตั้งแต่หว่านหรือหยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาร 45 – 55 วัน ผักคะน้าสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ช่วงเวลาที่ปลูกได้ผลดีที่สุดอยู่ในช่วงเดือนตุลาคม – เมษายน ผักคะน้ามีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชีย และมีปลูกกันมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศจีน ฮ่องกง ไต้หวัน มาเลเซียและประเทศไทย

พันธุ์คะน้า

พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเป็นคะน้าดอกขาวทั้งสิ้น โดยสั่งเมล็ดจากต่างประเทศเข้ามาปลูกและปรับปรุงพันธุ์ ปัจจุบันพันธุ์คะน้าที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 3 พันธุ์ ด้วยกัน คือ

1. พันธุ์ใบกลม มีลักษณะใบกว้างใหญ่ ปล้องสั้น ปลายใบมน และผิวใบเป็นคลื่นเล็กน้อย ได้แก่ พันธุ์ฝางเบอร์ 1 เป็นต้น

2. พันธุ์ใบแหลม เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะใบแคบกว่าพันธุ์ใบกลม ปลายใบแหลม ข้อห่าง ผิวใบเรียบ ได้แก่ พันธุ์ P.L. 20 เป็นต้น

3. พันธุ์ยอดหรือก้าน มีลักษณะใบเหมือนกับคะน้าใบแหลม แต่จำนวนใบต่อต้นมีน้อยกว่า ปล้องยาวกว่า ได้แก่ พันธุ์แม่โจ้ 1 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพดินฟ้าอากาศที่เหมาะสม

คะน้าเป็นผักที่สามารถขึ้นได้ในดินทุกชนิดที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินอยู่ระหว่าง 5.5 - 6.8 และมีความชื้นในดินสูงสม่ำเสมอ ต้องการแสงแดดเต็มที่ คะน้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิเฉลี่ย 20 องศาเซลเซียส แต่คะน้าก็สามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ดี และให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจในสภาพอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียสทั้งนี้อาจเนื่องมาจากได้เปรียบกว่าผักตระกูลกะหล่ำอย่างอื่นที่ไม่จำเป็นต้องผ่านการห่อหัวหรือออกดอกก่อนการเก็บเกี่ยวก็เป็นได้

การเตรียมดิน

เนื่องจากคะน้าเป็นผักรากตื้นจึงควรขุดดินให้ลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร ตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7-10 วัน แล้วนำปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วมาใส่ คลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงสภาพทางกายภาพและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน พรวนย่อยหน้าดินให้มีขนาดเล็กโดยเฉพาะการปลูกแบบหว่านโดยตรงลงในแปลง เพื่อมิให้เมล็ดตกลึกลงไปในดิน เพราะจะไม่งอกหรืองอกยากมาก ถ้าดินเป็นกรดควรใส่ปูนขาวเพื่อปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

วิธีการปลูก

หลังจากเตรียมดินโดยย่อยหน้าดินให้ละเอียดแล้ว นิยมหว่านเมล็ดลงบนแปลงปลูกโดยตรงมากกว่าย้ายกล้า หว่านเมล็ดให้กระจายทั่วถึงทั้งผิวแปลง ให้เมล็ดห่างกันประมาณ 2-3 เซนติเมตร ใช้ดินผสมหรือปุ๋ยคอกที่สลายตัวดีแล้วหว่านกลบเมล็ดให้หนาประมาณ 0.6-1 เซนติเมตร เพื่อเก็บรักษาความชื้นให้เมล็ดและป้องกันเมล็ดถูกน้ำกระแทกกระจาย คลุมด้วยฟางหรือหญ้าแห้งสะอาดบางๆ รดน้ำให้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ ต้นกล้าจะงอกภายใน 7 วัน

หลังจากคะน้างอกแล้วประมาณ 20 วัน หรือต้นสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ให้เริ่มทำการถอนแยกครั้งแรก โดยเลือกถอนต้นที่ไม่สมบูรณ์ออก ให้เหลือระยะห่างระหว่างต้นไว้ประมาณ 10 เซนติเมตร และเมื่อคะน้ามีอายุได้ประมาณ 30 วัน จึงทำการถอนแยกครั้งที่ 2 โดยให้เหลือระยะห่างระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ในการถอนแยกคะน้าแต่ละครั้งควรทำการกำจัดวัชพืชไปในตัวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปฏิบัติดูแลรักษา

การให้น้ำ - คะน้าเป็นพืชที่ต้องการน้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอเพราะคะน้ามีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการปลูกคะน้าจึงต้องปลูกในแหล่งที่มีน้ำเพียงพอตลอดฤดูปลูก หากคะน้าขาดน้ำจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโตและคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะที่เมล็ดเริ่มงอกยิ่งขาดน้ำไม่ได้เลย วิธีการให้น้ำผักคะน้าคือใช้บัวฝอยหรือใช้เครื่องฉีดฝอยฉีดให้ทั่วและชุ่ม ให้น้ำคะน้าวันละ 2 เวลาคือเช้าและเย็น

การใส่ปุ๋ย - เนื่องจากคะน้าเป็นผักกินใบและลำต้นจึงควรใส่ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนสูง สัดส่วนของธาตุอาหารในปุ๋ยที่ใช้คือ N : P : K เท่ากับ 2 : 1 : 1 เช่น ปุ๋ยสูตร 12 – 8 – 8 หรือ 20 – 11 – 11 ในอัตราประมาณ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินและปริมาณปุ๋ยคอกที่ใช้ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละเท่าๆ กัน คือ ใส่หลังจากถอนแยกครั้งแรกและหลังจากถอนแยกครั้งที่ 2 อย่างไรก็ตามหากสังเกตเห็นว่าผักที่ปลูกไม่ค่อยเจริญเติบโตเท่าที่ควรอาจใส่ปุ๋ยบำรุงเพิ่มเติม เช่น ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรต โดยให้ทางรากหรือละลายน้ำในอัตราประมาณ 3-4 ช้อนแกงต่อน้ำ 1 ปี๊บ ฉีดพ่นทางใบ

การเก็บเกี่ยว

คะน้าอายุ 45 วัน เป็นระยะที่ตลาดมีความต้องการมาก แต่คะน้าจะโตเต็มที่เมื่ออายุ 50 – 55 วัน ซึ่งจะเก็บเกี่ยวได้น้ำหนักมากกว่า การเก็บเกี่ยวให้ได้คุณภาพความสด รสดี และสะอาด คือ

1. เก็บผักเวลาเช้าดีกว่าเวลาบ่าย
2. อย่าเก็บหรือเด็ดด้วยมือ ควรใช้มีดเล็กๆ ตัด
3. อย่าปล่อยให้ผักแก่เกินพอดี
4. ผักที่แสดงอาการไม่ปกติควรรีบเก็บก่อน
5. เมื่อเก็บเสร็จแล้วควรรีบนำเข้าร่ม ในที่อากาศโปร่งและเย็น

ภาชนะที่ใช้เก็บผักควรล้างให้สะอาด (ถวิล ; 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

แหล่งที่มาของตะกอนน้ำเสีย

ตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังโดยตะกอนที่นำมาศึกษานี้ได้จากกระบวนการรีดตะกอนด้วยเครื่องรีดตะกอนของโรงงาน ทำการเก็บตะกอน 3 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 เดือนพฤษภาคม 2543

ครั้งที่ 2 เดือนตุลาคม 2543

ครั้งที่ 3 เดือนธันวาคม 2543

แหล่งที่มาของดินทราย

ใช้วิธีสุ่มตัวอย่างบริเวณผิวดินจากจังหวัดระยอง ในระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร

แหล่งที่มาของดิน

ดินร่วนผสมใบก้ามปู ตราต้นไม้

พืชทดลอง

พันธุ์ผักคะน้าที่ใช้ปลูกคือ พันธุ์คะน้าจีน (Chinese kale) ที่มีลักษณะใบแหลม

แหล่งที่มาของตะกอนหมัก

นำตะกอนหมักที่ได้จากงานวิจัยเรื่องการทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัด

3.1 ขั้นตอนการทำให้แห้งของตะกอน

นำตะกอนมาทำให้แห้ง แล้วแบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 นำมาบดอย่างหยาบ เพื่อนำไปปลูกต่อไปในข้อ 3.5

ส่วนที่ 2 นำมาบดอย่างละเอียด แล้วผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในข้อ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของตะกอน

ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือและวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ของตะกอน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือ
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
อินทรีย์คาร์บอน	วิธีวอคเลย์แบค
โลหะ	AAS
แอมโมเนียไนโตรเจน	วิธีการกลั่น
ไนโตรเจนทั้งหมด	วิธีการไทเทรต
ฟอสฟอรัส	วิธีสกัดด้วยสารละลายเบร์ทู
	วิธีรีดิวส์ด้วยกรดแอสคอบิก
โปแตสเซียม	วิธีสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต
%ความชื้น	วิธีการระเหย
การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	วิธีการแลกเปลี่ยนประจุ

หมายเหตุ : วิธีดูจาก ภาคผนวก ก

3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกก่อนปลูก

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน และตะกอนหมักก่อนปลูก ได้แก่ พีเอช ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยใช้วิธีเดียวกับตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 <u>การวางแผนการทดลอง</u>

แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ

<u>การทดลองที่ 1</u> การปลูกผักคะน้าโดยใช้อัตราส่วนของดิน ดินทราย ตะกอน และตะกอนหมัก ดังตารางที่ 3.2 โดยใช้ระยะเวลาในการปลูก 61 วัน และวิเคราะห์พารามิเตอร์ของวัสดุที่ใช้ในการปลูก หาปริมาณน้ำหนักแห้งและปริมาณโลหะหนักในผักคะน้าหลังเก็บเกี่ยว

<u>การทดลองที่ 2</u> การปลูกผักคะน้าโดยใช้สูตรของตะกอนหมักสูตรต่างๆ ดังตารางที่ 3.3 โดยใช้ระยะเวลาในการปลูก 64 วัน และหาปริมาณน้ำหนักแห้งของผักคะน้าหลังเก็บเกี่ยว

โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

<u>การปลูกคะน้าครั้งที่ 1</u>

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงอัตราส่วนของ ดิน ทราย ตะกอน และ ตะกอนหมัก ในแต่ละ สูตร

สูตร	อัตราส่วนของวัสดุปลูก
A	ตะกอน 100 %
B	ตะกอน 75 % + ดิน 25 %
C	ตะกอน 50 % + ดิน 50 %
D	ตะกอน 25 % + ดิน 75 %
E	ดิน 100 %
F	ตะกอน 50 % + ดินทราย 50 %
G	ตะกอน 25 % + ดินทราย 75 %
H	ตะกอนหมัก 50 % + ดิน 50 %
I	ตะกอนหมัก 25 % + ดิน 75 %
J	ตะกอนหมัก 50 % + ดินทราย 50 %
K	ตะกอนหมัก 25 % + ดินทราย 75 %

หมายเหตุ ตะกอนหมัก คือ ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด (อัตราส่วน 0.6-2-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลูกคะน้าครั้งที่ 2

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วน ของตะกอนหมักในแต่ละสูตร

สูตร	ส่วนผสม	อัตราส่วน
A	ดิน	100 %
B	ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 3.5 – 1
C	ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 2 – 1
D	ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 2 – 1 – 1
E	ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 2 – 0.6 – 1
F	ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด	1 – 3.5 – 1
G	ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด	1 – 2 – 1
H	ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด	1 – 2 – 1 – 1
I	ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด	1 – 2 – 0.6 – 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการออกแบบการทดลองปลูกคะน้า แบบ Completely randomized Design

การปลูกคะน้าครั้งที่ 1

1. จำนวน Treatment = 11 ได้แก่ A B C D E F G H I J และ K
2. Treatment A – G มีหน่วยทดลองละ = 6 หน่วย
   Treatment H – K มีหน่วยทดลองละ = 3 หน่วย
   ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองทั้งหมด = 54 หน่วย
3. ให้เลขหมาย 1 – 54 ประจำหน่วยทดลองทั้งหมด
4. เขียนอักษร A – G ลงบนกระดาษอักษรละ 6 ชุด อักษร H – K อักษรละ 3 ชุด ม้วนกระดาษใส่กล่องเขย่าให้ทั่ว
5. สุ่มหยิบกระดาษในกล่องทีละใบ จัด Treatment ที่เขียนในสลากที่จับได้ใบแรก ให้แก่หน่วยทดลองที่ 1 ต่อไปก็หยิบสลากจากกล่องซึ่งเหลือเพียง 53 ใบจัด Treatment ที่เขียนในสลากที่จับได้ใบที่ 2 ให้แก่หน่วยทดลองที่ 2 ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบ 54 ใบ ซึ่งได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 3.4 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CRD ในการปลูกคะน้าครั้งที่ 1

C1	G2	I1	G1	G5	A1	D6	K1	F3
C2	F6	D1	H2	I2	A5	E3	F1	J2
A3	J1	B1	K2	A2	D5	E4	F5	B4
K3	G3	E1	A6	E6	I3	D3	B2	B6
B5	A4	E2	C5	E5	F2	H3	J3	G6
G4	D2	B3	C4	H1	C3	F4	D4	C6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงการทดลองปลูกคะน้าแบบ CRD

รูปที่ 3.2 แสดงสถานที่ปลูกผักคะน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลูกคะน้าครั้งที่ 2

1. จำนวน Treatment = 9 ได้แก่ A B C D E F G H และ I
2. Treatment A C E F และ H มีหน่วยทดลองละ = 6 หน่วย
   Treatment B D G และ I มีหน่วยทดลองละ = 5 หน่วย
   ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองทั้งหมด = 50 หน่วย
3. ให้เลขหมาย 1 – 50 ประจำหน่วยทดลองทั้งหมด
4. เขียนอักษร A C E F และ H ลงบนกระดาษอักษรละ 6 ชุด อักษร B D G และ I อักษรละ 5 ชุดม้วนกระดาษใส่กล่องเขย่าให้ทั่ว
5. สุ่มหยิบกระดาษในกล่องทีละใบ จัด Treatment ที่เขียนในสลากที่จับได้ใบแรก ให้แก่หน่วยทดลองที่ 1 ต่อไปก็หยิบสลากจากกล่องซึ่งเหลือเพียง 49 ใบจัด Treatment ที่เขียนในสลากที่จับได้ใบที่ 2 ให้แก่หน่วยทดลองที่ 2 ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบ 50 ใบ ซึ่งได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 3.5 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CRD ในการปลูกคะน้าครั้งที่ 2

D3	H5	I3	B5	C1
G5	C2	G2	A4	I2
D2	I3	A6	H6	H1
F4	E1	H3	E6	I4
D1	I5	G4	H2	B4
A1	C5	E3	A4	A5
G1	C6	B1	C3	E4
F6	E2	H5	F3	F1
H4	D5	E5	D4	A3
F2	G2	B2	A2	B3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 <u>การปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิต</u>

<u>การปลูกผักคะน้า</u>

หลังจากเตรียมวัสดุที่จะใช้ปลูกในแบบต่างๆเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มปลูกผักคะน้าโดยใช้วิธีเพาะเมล็ดพันธุ์ประมาณ 70 – 80 เมล็ด ให้กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งกะละมัง เมื่อต้นกล้าเจริญเติบโตได้ประมาณ 20 วัน จึงทำการเลือกต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันปลูกลงในแต่ละกระถางที่ได้ทำการสุ่มไว้แล้ว ต่อจากนั้นนำฟางข้าวมาคลุมแล้วรดน้ำให้ชุ่มชื้นทั่วทั้งกระถาง

<u>การดูแลรักษาระหว่างปลูก</u>

การให้น้ำพืชจะกระทำทุกวันในตอนเช้าและตอนเย็นเพื่อให้เกิดความชุ่มชื้นอย่างเพียงพอและจะหยุดให้น้ำในวันที่มีฝนตก

<u>การเก็บเกี่ยวผลผลิต</u>

จะเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังจากผักคะน้าเจริญเติบโตได้ประมาณ 61 – 64 วัน

3.6 <u>วิเคราะห์น้ำหนักแห้งผักคะน้าและปริมาณโลหะหนักหลังเก็บเกี่ยว</u>

สุ่มตัวอย่างผักคะน้าพร้อมทั้งราก นำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เมื่อตัวอย่างแห้งนำไปชั่งน้ำหนักหาปริมาณผลผลิตที่ได้

โลหะหนักที่วิเคราะห์ในพืช คือ Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, และ Mn โดยนำพืชมาย่อยโดยใช้เครื่อง microwave digestion และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

3.7 <u>วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ปลูกหลังการทดลอง</u>

โดยใช้วิธีตามข้อ 3.3

3.8 <u>การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ</u>

วิเคราะห์ข้อมูลขั้นแรกด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of varience,ANOVA) เพื่อทดสอบว่าแต่ละแบบของการทดลองมีความแตกต่างกันหรือไม่ ถ้าพบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละแบบการทดลอง จึงวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ t –test เพื่อทดสอบว่าการทดลองคู่ใดบ้างที่ให้ผลต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์ตะกอนน้ำเสีย

ผลการศึกษาตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนาจำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลัง โดยตะกอนที่นำมาศึกษานี้ได้ผ่านกระบวนการรีดตะกอนด้วยเครื่องรีดตะกอนของโรงงาน จากนั้นนำตะกอนมาทำให้แห้ง บดอย่างละเอียดแล้วจึงนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกอนน้ำเสีย ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	ตะกอนเก็บครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย
Organic carbon (%)	34.11	34.110	36.180	34.80
pH	7.500	7.600	7.500	7.53
Total - N (%)	4.020	4.020	4.020	4.02
$NH_4 - N$ (%)	0.065	0.068	0.055	0.06
Moisture (%)	88.250	87.340	90.150	88.58
P (%)	0.300	0.280	0.190	0.26
K (%)	0.120	0.120	0.080	0.11
CEC (mg eq / 100 g)	25.990	25.590	26.190	25.92
Fe (%)	1.090	0.960	0.850	0.97
Zn (%)	0.087	0.077	0.094	0.09
Mn (%)	0.190	0.120	0.180	0.16
Pb (%)	0.013	0.008	0.006	0.01
Ni (%)	0.010	0.008	0.003	0.007
Cd (%)	nd	nd	nd	nd
Hg (%)	nd	nd	nd	nd
Cu (%)	0.012	0.010	0.004	0.009

หมายเหตุ nd ไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนน้ำเสีย

ตะกอนน้ำเสียมีคุณสมบัติทางกายภาพคือ มีสีน้ำตาลเข้ม การอุ้มน้ำสูง น้ำซึมผ่านได้น้อย จึงทำให้ตะกอนน้ำเสียมีความชื้นสูง การถ่ายเทอากาศไม่ดี น้ำเคลื่อนที่ได้ช้าเนื่องมาจากตะกอนน้ำเสียจับกันเป็นก้อน เนื้อของตะกอนจะละเอียดคล้ายดินเหนียว จึงทำให้ลักษณะทางกายภาพต่างๆ ดังที่กล่าวมาคล้ายกับดินเหนียว

คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนน้ำเสีย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำเสียดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่า pH ของตะกอนน้ำเสียเท่ากับ 7.53 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง ส่วนค่า pHที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของคะน้าอยู่ในช่วง pH 5.5-6.5 ดังนั้นเมื่อนำตะกอนน้ำเสียซึ่งมีอินทรีย์วัตถุมาผสมกับดินจะทำให้อินทรีย์วัตถุเกิดการสลายตัวและเกิดกรดอินทรีย์ต่างๆขึ้น ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการสลายตัวของแร่ธาตุต่างๆในดิน (Whitehead, 1963) ทำให้ pH ของดินเหมาะกับการเจริญเติบโตของผักคะน้า ถ้า pH ต่ำกว่า 5.5 หรือสูงกว่า 6.5 อาจทำให้สัดส่วนของธาตุบางธาตุผิดปกติไป คือ ธาตุหนึ่งอาจมากเกินไป ขณะเดียวกันธาตุอื่นที่จำเป็นอาจน้อยเกินไป (ถวิล, 2540) ดังนั้น pH จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนน้ำเสีย พบว่ามีค่าเท่ากับ 34.8 % ซึ่งโดยทั่วไปตะกอนน้ำเสียจะมีอินทรีย์คาร์บอนประมาณ 30-50% ดังนั้นตะกอนน้ำเสียจึงมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เมื่อนำตะกอนน้ำเสียไปผสมกับวัสดุปลูกอื่นๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม อินทรีย์วัตถุที่อยู่ในตะกอนจะเกิดการย่อยสลายและเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์โดยพวกจุลินทรีย์ ทำให้พืชสามารถดึงไปใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุ เป็นต้น

การพิจารณาว่าอินทรีย์วัตถุใดเมื่อเติมลงในดินแล้วจะทำให้เกิดไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที หรือจะทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังการเติมอินทรีย์วัตถุนั้นลงดิน พิจารณาได้จากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ดีต่อเมื่ออินทรีย์วัตถุนั้นมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10:1 หรือต่ำกว่า 10:1 และที่อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 ถือว่าเป็นค่าขีดจำกัดสูงที่สุดที่อินทรีย์วัตถุนั้นยังจะสามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2523) ซึ่งจากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 4.2% คิดเป็นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้เท่ากับ 8.3:1 ซึ่งต่ำกว่า 10:1 นั่นแสดงว่าเมื่อผสมตะกอนน้ำเสียกับวัสดุปลูกในอัตราส่วนที่เหมาะสมการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ดี ทำให้เกิดธาตุอาหารที่พืชจะสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไนโตรเจนรูปหนึ่งที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยจากการทดลองมีค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนเท่ากับ 0.0626 %

ความชื้นในตะกอนน้ำเสียเท่ากับ 88.58% ซึ่งถือว่ามีความชื้นที่สูง ดังนั้นการนำตะกอนน้ำเสียไปปลูกผักคะน้า จึงควรหาอัตราส่วนระหว่างตะกอนน้ำเสียกับวัสดุปลูกอื่นๆที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้วัสดุปลูกมีความชื้นมากเกินไปเพราะอาจทำให้อุ้มน้ำไว้ได้มาก น้ำซึมผ่านได้ยาก ราก ของผักคะน้าอาจเน่าและตายได้

ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ในตะกอนน้ำเสียจากตารางที่ 4.1 เท่ากับ 0.257% ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะอยู่ในช่วง 0.02-0.5% และปริมาณโพแทสเซียมที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ในตะกอนน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 0.11% แสดงว่าในตะกอนน้ำเสียมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าอยู่บ้าง แต่อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักคะน้าจึงต้องนำไปผสมกับวัสดุปลูกอื่นๆ หรือนำไปทำตะกอนหมักเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ค่า CEC คือค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของตะกอนเนื่องจากเป็นกลไกการปลดปล่อยสารอาหารจุลภาค เช่น K^{+} Ca^{2+} และ Mg^{2+} และอื่นๆสู่สารละลายดินและพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประโยชน์ของค่า CEC คือสามารถบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน และคาดคะเนการดูดซับธาตุอาหารได้ ดินที่มีค่า CEC สูงย่อมมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารไว้ได้มากและปลดปล่อยให้พืชได้มากเช่นกัน จากการวิเคราะห์ค่า CEC ของตะกอนน้ำเสียพบว่ามีค่าเท่ากับ 25.92 % ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำ ดังนั้นตะกอนน้ำเสียจึงมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้น้อย

การนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ควรคำนึงถึงผลกระทบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอน เพราะโลหะหนักอาจมีผลทำให้ผลผลิตลดลงหรืออาจนำอันตรายมาสู่มนุษย์ในลักษณะทวีความเป็นพิษ (Biomagnification) โดยผ่านระบบห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากเกิดการสะสมของโลหะหนักอย่างมากในส่วนของพืชที่นำมาใช้รับประทานได้ (Baxter et al.,1993) ความสนใจของโลหะหนักจะมุ่งไปที่สังกะสี ทองแดง และนิเกิลซึ่งเป็นโลหะที่สามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Phytoxic) และแคดเมียม ซึ่งเป็นโลหะที่สามารถสะสมในพืชจนมีปริมาณที่อาจทำอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคได้ ดังนั้นจึงควรมีการหาปริมาณโลหะหนักในตะกอนน้ำเสียก่อนนำไปปลูกพืช ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ชนิดในตะกอนน้ำเสียได้แก่ Fe Zn Mn Pb Ni Cd Hg และ Cu จะพบว่าในตะกอนน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อยมากและเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ พบว่ามีค่าไม่เกินความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (ตารางที่ 2.1) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำตะกอนน้ำเสียไปปลูกผักคะน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ปลูกผักคะน้า

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ปลูกก่อนการทดลอง

สูตร	ส่วนผสมของวัสดุปลูก	พารามิเตอร์				
		pH (%)	Total - N (%)	P (%)	K (%)	CEC (%)
A	ตะกอน 100%	-	4.20	-	-	25.92
B	ตะกอน 75% + ดิน 25%	-	.3.24	-	-	24.38
C	ตะกอน 50% + ดิน 50%	-	2.30	-	-	17.90
D	ตะกอน 25% + ดิน 75%	-	1.34	-	-	15.31
E	ดิน 100%	-	0.39	-	-	19.77
F	ตะกอน 50% + ดินทราย 50%	-	2.12	-	-	13.31
G	ตะกอน 25% + ดินทราย 25%	-	1.09	-	-	19.45
H	ตะกอนหมัก 50% + ดิน 50%	-	0.99	-	-	-
I	ตะกอนหมัก 25% + ดิน 75%	-	0.69	-	-	-
J	ตะกอนหมัก 50% + ดินทราย 50%	-	0.83	-	-	-
K	ตะกอนหมัก 25% + ดินทราย 75%	-	0.44	-	-	-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.2 ปริมาณไนโตรเจนในตะกอน 100 % เท่ากับ 4.2 % และมีค่า CEC เท่ากับ 25.92 % เมื่อนำตะกอนน้ำเสียไปผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ จะพบว่า ในตะกอน 75 % + ดิน 25 % มีปริมาณไนโตรเจน และ CEC สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 3.24 % และ 24.38 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ปลูกหลังการทดลอง

สูตร	ส่วนผสมของวัสดุปลูก	พารามิเตอร์				
		pH (%)	Total - N (%)	P (%)	K (%)	CEC (%)
A	ตะกอน 100%	7.00	1.91	0.064	0.084	25.64
B	ตะกอน 75% + ดิน 25%	5.39	0.97	0.034	0.098	24.03
C	ตะกอน 50% + ดิน 50%	4.94	0.43	0.06	0.098	23.64
D	ตะกอน 25% + ดิน 75%	6.94	0.30	0.001	0.050	23.69
E	ดิน 100%	8.27	0.20	0.002	0.093	19.77
F	ตะกอน 50% + ดินทราย 50%	7.73	0.75	0.063	-	10.66
G	ตะกอน 25% + ดินทราย 25%	5.00	0.17	0.110	0.037	4.33
H	ตะกอนหมัก 50% + ดิน 50%	8.05	0.22	0.067	0.099	14.38
I	ตะกอนหมัก 25% + ดิน 75%	7.97	0.33	0.070	0.100	26.88
J	ตะกอนหมัก 50% + ดินทราย 50%	7.22	0.67	0.061	-	12.49
K	ตะกอนหมัก 25% + ดินทราย 75%	7.98	0.16	0.050	0.080	11.06

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนหมักก่อนการทดลอง

สูตร	ส่วนผสมของวัสดุปลูก	อัตราส่วน	พารามิเตอร์					
			pH (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)	Total - N (%)	P (%)	K (%)	CEC (%)
A	ดิน	100%	7.3	-	0.39	-	-	19.77
B	ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 3.5 – 1	8.24	63.34	2.1	0.37	2.81	-
C	ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 2 – 1	7.48	35.83	1.5	0.38	2.79	-
D	ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 2 – 1 – 1	7.59	51.22	1.16	0.37	2.77	-
E	ตะกอน + มูลไก่+ มูลนก + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	1 – 2 – 0.6 – 1	7.94	44.74	1..83	0.38	2.76	-
F	ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด	1 – 3.5 – 1	8.15	64.15	1.93	0.38	2.75	-
G	ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด	1 – 2 – 1	7.63	46.38	1.47	0.39	2.8	-
H	ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด	1 – 2 – 1 – 1	7.61	49.44	1.1	0.46	2.79	-
I	ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด	1 – 2 – 0.6 - 1	7.87	35.41	1.23	0.37	2.79	-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า pH ของตะกอนหมักอยู่ในช่วง 7.48 – 8.24 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง และมีอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 35.38 – 64.15 % ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มาก ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 1.10 – 2.10 % ฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.37 – 0.46 % และโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 2.76 – 2.81 % ซึ่งถือว่ามีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการนำตะกอนน้ำเสียมาปลูกคะน้า

<u>การทดลองที่ 1</u> การปลูกคะน้าโดยมีอัตราส่วนของดิน ดินทราย ตะกอน และตะกอนหมักที่แตกต่างกัน

จากการนำวัสดุปลูกที่มีอัตราส่วนของ ดิน ดินทราย ตะกอน และตะกอนหมักในตารางที่ 3.1 ไปปลูกผักคะน้าเป็นเวลา 61 วัน เมื่อครบกำหนดจึงทำการเก็บเกี่ยว ศึกษาการเจริญเติบโตจากน้ำหนักแห้งของผักคะน้า และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งและปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า

สูตร	อัตราส่วน	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	Zn (%)	Cu (%)	Pb (%)	Ni (%)	Cd (%)	Cr (%)	Fe (%)	Mn (%)
A	ตะกอน 100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	ตะกอน 75% + ดิน 25%	0.2616	0.068	nd	0.002	0.070	0.034	0.006	0.316	0.178
C	ตะกอน 50% + ดิน 50%	1.3980	0.057	nd	0.004	0.073	0.007	0.006	0.154	0.394
D	ตะกอน 25% + ดิน 75%	5.8044	nd	nd	0.031	0.079	0.008	0.006	0.413	0.114
E	ดิน 100%	3.2430	nd	nd	0.065	0.093	0.008	0.007	0.332	0.096
F	ตะกอน 50% + ดินทราย 50%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	ตะกอน 25% + ดินทราย 75%	3.2977	0.018	nd	0.008	0.107	0.009	0.008	0.204	0.325
H	ตะกอนหมัก 50% + ดิน 50%	2.1863	nd	nd	0.011	0.109	0.010	0.006	0.186	0.049
I	ตะกอนหมัก 25% + ดิน 75%	4.3934	nd	nd	0.017	0.106	0.011	0.007	0.166	0.318
J	ตะกอนหมัก 50% + ดินทราย 50%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	ตะกอนหมัก 25% + ดินทราย 75%	0.4304	nd	nd	0.072	0.134	0.011	0.010	0.395	0.264

<u>หมายเหตุ</u> - คือ ไม่เจริญเติบโต

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักแห้งของผักคะน้าแต่ละสูตร โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า จากส่วนผสมทั้ง 8 สูตร มีอย่างน้อย 2 สูตร ที่แตกต่างกัน

ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบว่ามีสูตรใดบ้างที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากค่าน้ำหนักแห้งของคะน้า คุณสมบัติทางเคมี และ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแต่ละสูตร จึงทำการเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 1 A = ตะกอน 100%

B = ตะกอน 75% + ดิน 25 %

C = ตะกอน 50 % + ดิน 50 %

D = ตะกอน 25 % + ดิน 75 %

E = ดิน 100 %

พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง A B C D E พบว่าการเจริญเติบโตของ D ดีที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 5.8044 กรัม รองลงมาคือ E C และ B ซึ่งมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 3.2430 1.398 และ 0.2616 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี สูตร D มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า ประกอบกับการพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของสูตร Dที่มีลักษณะที่ร่วนซุย รากพืชสามารถชอนไชได้สะดวก การอุ้มน้ำของดินเหมาะสม

เมื่อพิจารณาส่วนผสมของแต่ละสูตร พบว่า อัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของดิน แต่เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของสูตร D และ E พบว่าสูตร D ซึ่งมีปริมาณดินน้อยกว่า E มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สูตร D ซึ่งมีตะกอนผสมกับดินอยู่ 25 % สามารถเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชได้ดีกว่าสูตร E ซึ่งเป็นดิน 100 %

และเมื่อเปรียบเทียบสูตร D กับสูตร A B C ที่มีปริมาณตะกอนมากกว่า พบว่าอัตราเจริญเติบโตลดลง อาจเป็นเพราะคุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนเมื่อผสมกับดินจะรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่ดี มีลักษณะแข็ง เกาะกันเป็นก้อน การอุ้มน้ำของตะกอนไม่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาสูตร A พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของ A มีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด , CEC, P, K , pH และแร่ธาตุอื่นๆ ที่เหมาะสม แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าสูตร A ซึ่งเป็นตะกอน 100% อุ้มน้ำได้มาก การไหลซึมของน้ำไม่ดี ทำให้รากคะน้าเน่าและตาย

กลุ่มที่ 2 C = ตะกอน 50 % + ดิน 50%

F = ตะกอน 50 % + ดินทราย 50 %

D = ตะกอน 25% + ดิน 75 %

G = ตะกอน 25 % + ดินทราย 75 %

เมื่อเปรียบเทียบสูตร C F D และ G พบว่าในอัตราส่วนของตะกอนที่เท่ากัน เมื่อผสมกับดิน อัตราการเจริญเติบโตของผักคะน้าจะดีกว่าการผสมกับดินทราย เนื่องมาจากทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีที่เหมาะสมกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 3 C = ตะกอน 50 % + ดิน 50 %

H = ตะกอนหมัก 50 % + ดิน 50 %

เมื่อเปรียบเทียบสูตร C กับ H พบว่าในอัตราส่วนของดินที่เท่ากัน เมื่อผสมกับตะกอนหมัก อัตราการเจริญเติบโตของผักคะน้าจะดีกว่าการผสมกับตะกอนที่ไม่หมัก โดยมีน้ำหนักแห้งของผักคะน้าเท่ากับ 2.1863 กรัม

กลุ่มที่ 4 H = ตะกอนหมัก 50 % + ดิน 50 %

J = ตะกอนหมัก 50 % + ดินทราย 50 %

I = ตะกอนหมัก 25 % + ดิน 75 %

K = ตะกอนหมัก 25 % + ดินทราย 75 %

เมื่อเปรียบเทียบสูตร H J I และ K พบว่าในอัตราส่วนของตะกอนหมักที่เท่ากัน เมื่อผสมกับดิน อัตราการเจริญเติบโตของผักคะน้าจะดีกว่าการผสมกับดินทราย เนื่องมาจากทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ที่เหมาะสมกว่า

เมื่อเปรียบเทียบสูตร H กับ I และ J กับ K พบว่าเมื่ออัตราส่วนของตะกอนหมักมากขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจะลดลง ตามเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว

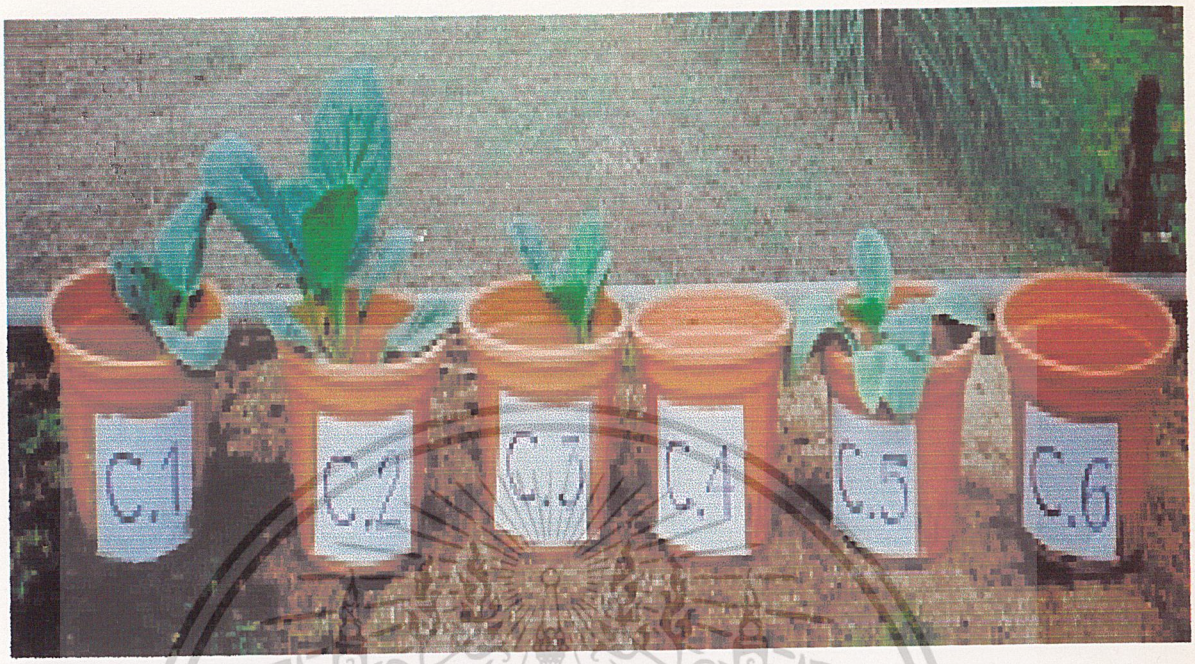
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงการเจริญเติบโตของคะน้าเมื่อทดลองในสูตร A - K

รูปที่ 4.1 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร A

รูปที่ 4.2 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร C

รูปที่ 4.4 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร E

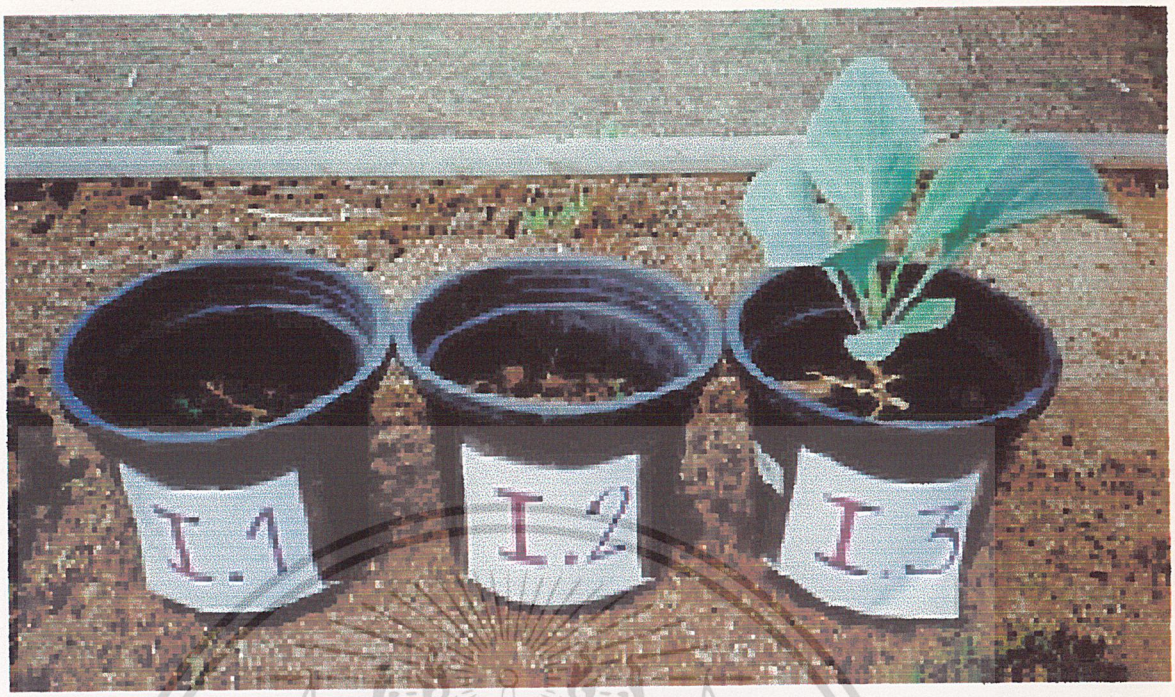
รูปที่ 4.6 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร G

รูปที่ 4.8 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร H

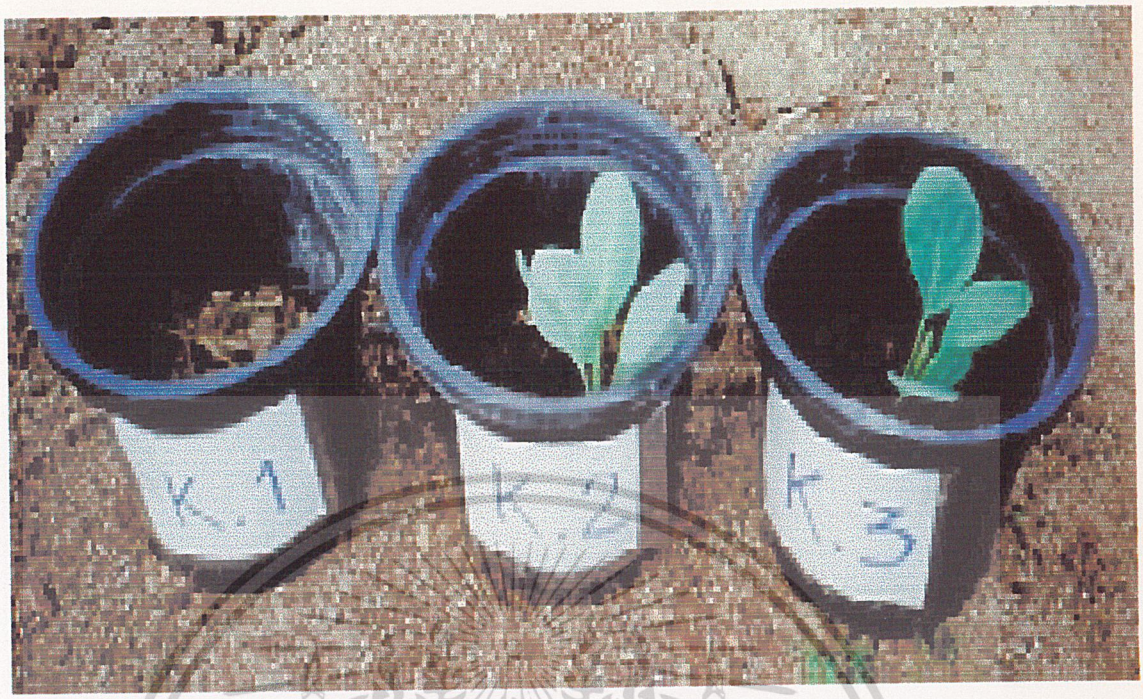
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร I

รูปที่ 4.10 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากสูตร K

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การทดลองที่ 2</u> การปลูกคะน้าโดยมีสูตรของตะกอนหมักดังตารางที่ 3.3 โดยใช้ระยะเวลาปลูก 64 วัน เมื่อครบกำหนดจึงทำการเก็บเกี่ยว และศึกษาการเจริญเติบโตจากน้ำหนักแห้งของผักคะน้า ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงน้ำหนักแห้งของผักคะน้า

สูตร	ส่วนผสมของวัสดุปลูก	น้ำหนักแห้งของผักคะน้า(กรัม)
A	ดิน	2.4946
B	ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	0.6356
C	ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	0.3663
D	ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	0.0324
E	ตะกอน + มูลไก่+ มูลนก + รำละเอียด (เติมยูเรีย)	0.0589
F	ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด	0.1899
G	ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด	2.5549
H	ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด	2.0941
I	ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด	4.2568

จากการนำตะกอนหมักไปปลูกผักคะน้า โดยสูตรของตะกอนหมักทั้ง 8 สูตรมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน และใช้ดิน 100 % เป็นตัวควบคุม จะพบว่า สูตรที่ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คือ สูตร I (ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด) ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.2508 กรัม รองลงมาคือ G A H B C F E และ D ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.5549 2.4946 2.0941 0.6356 0.3663 0.1899 0.0589 และ 0.0324 กรัมตามลำดับ

จากนั้นเมื่อนำน้ำหนักแห้งของคะน้าแต่ละสูตรมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า วัสดุที่ใช้ปลูกทั้ง 9 สูตรมีอย่างน้อย 2 สูตรที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละสูตรที่มีความสัมพันธ์กัน โดยแบ่งกลุ่มเปรียบเทียบได้ดังนี้

<u>กลุ่มที่ 1</u> เปรียบเทียบระหว่างสูตร A ดิน 100 % (ตัวควบคุม) กับตะกอนหมักสูตร G (ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด) และ H (ตะกอนหมัก + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ตะกอนหมักสูตร A กับสูตร G ไม่มีความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน และ ตะกอนหมักสูตร A กับสูตร H ไม่มีความแตกต่างกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า อัตราการเจริญเติบโตของผักคะน้าโดยใช้สูตร G และ H ไม่มีความแตกต่างกับสูตร A

<u>กลุ่มที่ 2</u> เปรียบเทียบวัสดุปลูกชนิดเดียวกันระหว่างที่ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์ และไม่ได้ใส่ยูเรีย ได้แก่

1. B = ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์
   F = ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด
2. C = ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์
   G = ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด
3. D = ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์
   H = ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด
4. E = ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์
   I = ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักคะน้าที่ใช้วัสดุปลูกสูตร B และ F พบว่าน้ำหนักแห้งของผักคะน้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.6356 และ 0.1899 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหนักแห้งของผักคะน้าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคู่อื่น ได้แก่สูตร C กับ G ซึ่งมีน้ำหนักแห้งของคะน้าเท่ากับ 0.3663 และ 2.5549 ตามลำดับ สูตร D กับ H ซึ่งมีน้ำหนักแห้งของคะน้าเท่ากับ 0.0324 และ 2.0941 ตามลำดับ สูตร E กับ I ซึ่งมีน้ำหนักแห้งของคะน้าเท่ากับ 0.0589 และ 4.2568 ตามลำดับ ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้ง 3 คู่มาพิจารณาระหว่างตะกอนหมักที่ใส่ยูเรียกับตะกอนหมักที่ไม่ใส่ยูเรีย จะพบว่า ตะกอนหมักสูตร G H และ I เจริญเติบโตได้ดีกว่าสูตร C D และ E ดังนั้นแสดงว่าผักคะน้าจะเจริญเติบโตในตะกอนหมักที่ไม่ใส่ยูเรียได้ดีกว่าตะกอนหมักที่ใส่ยูเรีย เนื่องมาจากการวิจัยนี้ได้ใส่ยูเรียในปริมาณที่มากเกินไปและนำตะกอนหมักไปปลูกโดยไม่ได้ผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น จึงทำให้ความเข้มข้นของยูเรียในตะกอนหมักสูง ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ไม่ดี ดังนั้นตะกอนหมักที่ได้จึงเหมาะกับการนำไปใช้โดยการเติมลงในดินเพื่อเพิ่มธาตุอาหารกับพืชมากกว่า

<u>กลุ่มที่ 3</u> เปรียบเทียบตะกอนหมักที่ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 อาทิตย์

1. B = ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์
2. C = ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์
3. D = ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์
4. E = ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด + ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักคะน้าที่ใช้วัสดุปลูกสูตร B C D และ E ผักคะน้าที่ปลูกโดยใช้ตะกอนหมักที่ใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์ สูตร B (ตะกอน + มูลวัว) มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด คือ มีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.6356 กรัม รองลงมาคือ C E และ D ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.3663 0.0589 และ 0.0324 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นแสดงว่า การใส่ยูเรียหลังหมัก 1 สัปดาห์จะทำให้ตะกอนหมักจากมูลวัวมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติทางเคมีที่ดี เช่น มีธาตุอาหารอยู่มาก และคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น เนื้อดินมีการผสมกันเป็นอย่างดี อุ้มน้ำได้ดี ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

กลุ่มที่ 4 เปรียบเทียบตะกอนหมักที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย

1. F = ตะกอน + มูลวัว + รำละเอียด
2. G = ตะกอน + มูลนก + รำละเอียด
3. H = ตะกอน + มูลไก่ + มูลวัว + รำละเอียด
4. I = ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักคะน้าที่ใช้วัสดุปลูกสูตร F G H และ I พบว่าผักคะน้าที่ปลูกโดยใช้ตะกอนหมักที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย สูตร I (ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก) มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด คือ มีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยท่ากับ 4.2568 กรัม รองลงมา คือ G H และ F ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.5549 2.0941 และ 0.1899 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นแสดงว่า ตะกอนหมักที่ไม่ได้ใส่ยูเรียที่มาจากมูลไก่ผสมมูลนกจะทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกอื่น ๆ เนื่องมาจากคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตะกอนหมักเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

จากการวิจัยเรื่องการนำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกผักคะน้า พบว่า การนำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมาปลูกผักคะน้าสามารถทำได้ทั้ง นำตะกอนไปผสมกับดินในอัตราส่วนที่เหมาะสมหรือนำตะกอนไปหมักกับมูลสัตว์ดังผลที่ได้กล่าวมาแล้ว จะทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดี และเมื่อนำผักคะน้าไปวิเคราะห์พบว่ามีโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นการนำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียไปปลูกผักคะน้าจึงเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง ทั้งยังปลอดภัยและประหยัดค่าใช้จ่ายให้กับเกษตรกรได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

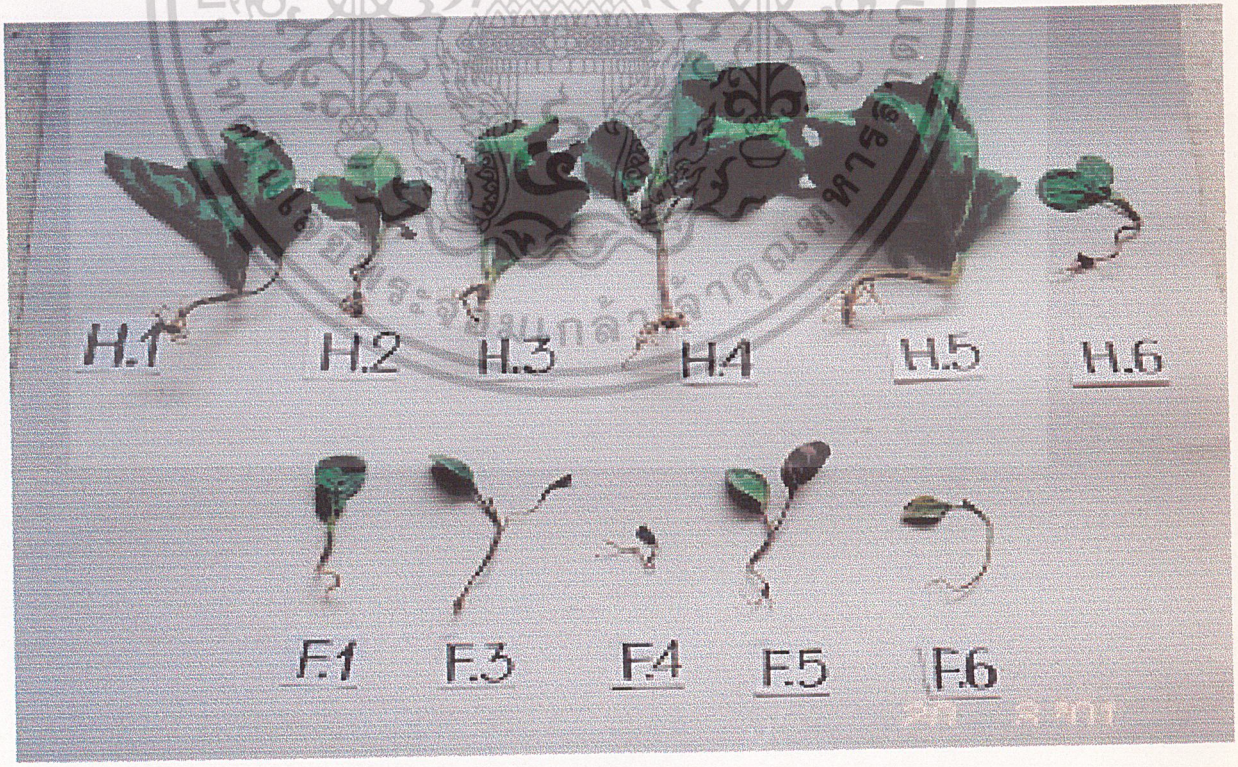
รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักแต่ละสูตร (A - I)

รูปที่ 4.12 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร A

รูปที่ 4.13 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร B

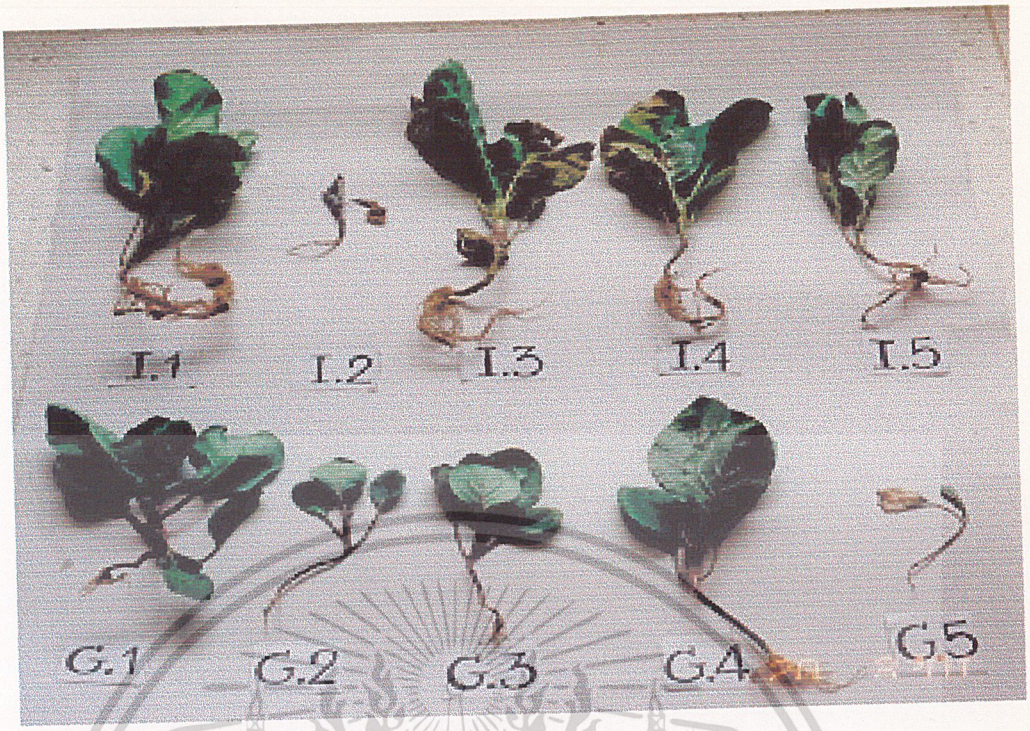
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร C D และ E



รูปที่ 4.15 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร F และ H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 รูปแสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าจากตะกอนหมักสูตร G และ I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

1. ด้านคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุที่ใช้ปลูก

เนื้อหรือความหยาบ ความละเอียดของวัสดุที่ใช้ปลูก เกี่ยวข้องกับความพรุน การอุ้มน้ำ การกักเก็บน้ำ การซึมซาบของน้ำ การถ่ายเทอากาศ การเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำ และปริมาณอาหารแร่ธาตุต่างๆ มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

และเนื่องจากคุณสมบัติของดินจังหวัดระยองเป็นดินทราย ซึ่งไม่มีอาหารและแร่ธาตุ ไม่อุ้มน้ำ ไม่กักเก็บน้ำ น้ำซึมซาบรวดเร็ว จึงไม่เหมาะสมกับการนำไปปลูกคะน้าโดยตรง ดังนั้นหากนำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี กักเก็บน้ำได้ดี น้ำเคลื่อนที่ขึ้นลงช้า มาผสมกับดินทรายในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะสามารถปลูกคะน้าได้ผลดีกว่า

2. ด้านคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ปลูก

ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่า CEC pH และแร่ธาตุอาหารต่างๆในดินทรายจะมีปริมาณที่น้อยไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักคะน้า เมื่อนำมาผสมกับตะกอนสามารถเพิ่มธาตุอาหารให้แก่คะน้าได้ทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น และเมื่อนำตะกอนไปหมักจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ปลูกเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเรื่องการนำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า ได้นำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทสำปะหลังพัฒนา จำกัดมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปลูกผักคะน้า

ในการทดลองได้นำตะกอนน้ำเสียมาปลูกผักคะน้า โดยแบ่งการทดลองออกเป็น2การทดลอง การทดลองแรกเป็นการศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัสดุปลูก (ดิน ดินทราย ตะกอน และตะกอนหมัก) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคะน้า โดยนำอัตราส่วนของวัสดุปลูกต่างๆดังตารางที่ 3.1 มาปลูกคะน้าเป็นระยะเวลา 61 วัน เมื่อครบกำหนดจึงทำการเก็บเกี่ยว วิเคราะห์น้ำหนักแห้งและปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า พบว่าอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุดได้แก่ ตะกอน 25% + ดิน 75% ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.8044 กรัม เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าโดยมีอัตราส่วนผสมของวัสดุปลูกเดียวกัน พบว่าผักคะน้าเจริญเติบโตในดินได้ดีกว่าดินทราย และเจริญเติบโตในตะกอนหมักได้ดีกว่าในตะกอนไม่ได้หมัก

การทดลองที่สอง เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสูตรของตะกอนหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า โดยนำสูตรต่างๆไปปลูกโดยมีอัตราส่วนดังตารางที่ 3.2 เป็นระยะเวลา 64 วัน เมื่อครบกำหนดจึงทำการเก็บเกี่ยวและวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของผักคะน้า พบว่าสูตรของตะกอนหมักที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ได้แก่ ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียดที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.2568 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าระหว่างตะกอนหมักที่ใส่ยูเรียและไม่ได้ใส่ยูเรีย พบว่าผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีในตะกอนหมักที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการวิจัยได้ผสมยูเรียในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นในการนำตะกอนหมักไปใช้ควรเติมยูเรียในปริมาณที่เหมาะสม และควรใช้ตะกอนหมักผสมลงในดินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของผักคะน้าได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อทำการศึกษาหาปริมาณโลหะหนักในผักคะน้าที่ได้ในการทดลองแรก พบว่าผักคะน้ามีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อยมาก ดังนั้นตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังสามารถนำมาปลูกคะน้าได้ โดยใช้อัตราส่วนของวัสดุปลูกที่เหมาะสม หรือนำมาทำตะกอนหมักเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับผักคะน้าได้ ซึ่งจะทำให้ผักคะน้ามี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญเติบโตที่ดี มีความปลอดภัยต่อการนำไปบริโภค และประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยให้กับเกษตรกร

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำตะกอนหมักไปใช้ประโยชน์ควรเติมตะกอนหมักลงในดิน เพื่อช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชเพราะจะทำให้ตะกอนหมักมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์, เคมีสิ่งแวดล้อม 1, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2535.

ดร.ถวิล ครุฑกุล, เกษตรยั่งยืนการใช้ดินและปุ๋ย, กรุงเทพฯ, 2540.

ดุลยนัย วนะภูติ, การใช้ประโยชน์กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเพื่อการปลูกผักคะน้าในดินเปรี้ยวจัด, วิทยานิพนธ์, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

ทรงศักดิ์ จุนถิระพงศ์, อุตุนิยมวิทยาเกษตร, ภาควิชาพืชศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์บางพระ, 2539, 346 หน้า.

ทิพวรรณ สิทธิ์รังสรรค์, ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตร, กรุงเทพฯ, โอเดียนสโตร์, 2542.

วันเพ็ญ ภูติจันทร์, พฤกษศาสตร์, ภาควิชาชีววิทยา สหวิทยาลัยอีสานใต้, กรุงเทพฯ, 2534.

วิรัตน์ ภูวิวัฒน์, อิทธิพลของความเข้มแสงระดับต่าง ๆต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าที่ปลูกในโรงเรือนตาข่าย, วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, 2539, หน้า 3 – 10.

สถานีทดลองพืชสวนฝาง, รายงานสรุปผลการค้นคว้าทดลองพืชผัก, โรเนียว, 2514 – 2517.

สายชล เกตุษา, สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้, ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2528, 364หน้า.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, 2518, หน้า 232-260.

สุทธิพร อนันต์สุชาติกุล, สรีรวิทยาการผลิตพืช, ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2524.

สุธาทิพย์ การรักษา, อิทธิพลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหวาน,วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. การใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดเพื่อการปรับปรุงดินปลูกพืชกระถางและใช้เป็นปุ๋ย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาปฐพีวิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2522.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Bautista, O.K. Preharvest factor affecting quality after harvest. *Asean Postharvest Horticultur Training Manual.* University of the Philippines. 1982, 1-10.

Baxter, J.C.; Aguila, M.; Brown,K. Heavy Metals and Persistent Organics at a Sewage Sludge Dispasal Site. *J. Environ. Qual.* 1983, 12, 311-319.

Booth, R.H. and R.L. Shaw Principle of Potato Storage. *International Potato Center*, Apartado. Lima peru, 1981, 3-11.

Carter, M.R. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Florida : Lews, Publishers, 1993.

Dowdy, R.H.; Larson, W.E. The Availability of Sludge-Borne Metals to Various Vegetable Crops. *J. Environ-Qual.* 1975, 4, 278-282.

Geraldson, C.M.,et al. Plant Analysis as an Aid in Fertilizing Vegetable, In Soil Testing and Plant Analysis. *Soil Sci. Soc. Amer.*, Mardison, Wisconsin. 1973,365-379.

Motomura, S. The Study on Advance in Rices Production by Soil Management. *The Report of the Joint – Research Work under the Cooperation Research Work Program between Thailand and Japan.* 1973.

Polprasert, e. *Organic Waste Recycling.* West Sussex : John Wiky & Sons, 1996.

Rechcigl, J.E. *Soil Amendments and Environmental Quality*, Florida Lewis Publishers, 1995.

Smith, S.R. Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environmental Oxon : Cab International, 1996.

Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D. *Soil Fertility and Fertilizers.* New York: Macmillan Publishing Company, 1985.

Vesilind, P.A. Treatment and Disposal of Waste Water Sludges. Michigan Ann Arbor Science Publishing, Inc, 1979.

White head, D.C. Some Aspects of the Influence of Organic Mater on Soil Fertility. *Soil and Fertilizers.* 1963, 76, 217-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของดิน

<u>การวัด pH ของดิน</u>

pH ของดินแป็นค่าของ H^+ ที่แตกตัวได้ใน soil solution ซึ่งอยู่ในสมดุลย์กับส่วนที่ไม่แตกตัวที่ดูดซับอยู่ที่อนุภาคของดิน ค่า pH ของดินเป็น intensity factor คือ บอกระดับความรุนแรงของกรด แต่จะมีฤทธิ์ของความเป็นกรดอยู่ได้นานมากน้อยแค่ไหน เมื่อถูกทำให้เป็นกลาง ก็จะขึ้นอยู่กับความเป็นกรดทั้งหมด หรือ total acidity ซึ่งทำได้โดยการหา lime requirement ซึ่งเป็น capacity factor

การวัด pH ของดินทำได้โดยใช้น้ำยาเปลี่ยนสี indicator paper หรือ glass electrode การวัด pH ด้วย indicator เราเรียกว่าเป็นการวัดแบบ colorimetric ถ้าวัดด้วย glass electrode ก็เป็นการวัดแบบ potentiometric หรือ electrometric การวัดแบบ colorimetric นั้นอาศัยหลักที่ว่า indicator จะมีสีเปลี่ยนไปเมื่อ activity ของ H^+ เปลี่ยนไป การวัดแบบนี้สะดวกและรวดเร็วเหมาะสำหรับการใช้ในไร่นา แต่ค่าที่วัดได้นั้นไม่ละเอียดและถูกต้องเหมือนกับการวัดโดยใช้ glass electrode ความเที่ยงตรงของ pH ที่วัดได้นั้นจะอยู่ระหว่าง $\pm$ 0.2 pH unit ในกรณีของ single indicator

ส่วนการวัดแบบ potentiometric นั้น เป็นการวัดค่า potential ที่เกิดขึ้น เมื่อจุ่ม glass electrode ลงไปในสารละลายที่มี H^+ โดยการเปรียบเทียบกับ reference electrod ค่า potential ที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนให้เป็น pH unit การวัดแบบนี้เหมาะสำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการ เพราะค่าที่วัดได้นั้นมีความเที่ยงตรงสูงกว่าแบบ colorimetric ($\pm$0.2 pH unit)

pH ของดินเป็นการวัดสมบัติทางเคมีของดินที่มีประโยชน์และให้ข้อมูลแก่เราได้อาทิ เช่น ถ้าดินมี pH น้อยกว่า 4 แสดงว่าดินนั้นจะมีกรดอิสระที่เกิดจาก oxidation ของ pyrite ถ้า pH น้อยกว่า 5.5 แสดงว่าดินนั้นควรจะมี Exchangeable Al และถ้ามี pH ระหว่าง 7.8 – 8.2 แสดงว่ามี $CaCO_3$ ในดินนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นการวัดค่า pH ไม่ได้ต้องการที่จะทราบว่าดินเป็นกรดอย่างเดียวแต่ตัวเลขที่ได้จะบอกถึงสมบัติของดินอื่น ๆ ด้วย เช่น ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สถานะของด่าง และอื่น ๆ

ดินยิ่งมีความเป็นกรดเท่าใดธาตุอาหารต่าง ๆ เหล่านี้ก็จะละลายได้มากขึ้น เช่น Fe Mn Zn Cu และจุลธาตุชนิดอื่น ๆ ดังนั้นดินที่มี pH ต่ำ ๆ ก็จะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในปริมาณที่มากจนเป็นพิษต่อพืชได้ ในทางตรงกันข้าม ดินที่มี pH สูงก็อาจขาดแคลนจุลธาตุบางตัวได้

นอกจากนั้นความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสก็ขึ้นอยู่กับ pH ของดินเป็นอย่างมาก กิจกรรมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ก็ขึ้นอยู่กับ pH ของดิน จุลินทรีย์ต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวก nitrifyer จะถูกยับยั้งในสภาพที่มี pH ต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม Thiobacillus thiooxidans ต้องการ pH ต่ำในการดำเนินกิจกรรม

ปัจจัยที่มีผลต่อการวัด pH โดยใช้ pH meter

1. Effect of dilution จากการทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำที่จะต้องใส่ลงไปในดินเพื่อทำให้เป็น suspention และวัด pH นั้นถ้าใส่น้ำในปริมาณตั้งแต่ moisture equivalent ถึงอัตราส่วน ดิน – น้ำ เท่ากับ 1 – 5 pH ที่วัดได้จะสูงขึ้นตามปริมาณน้ำที่มากขึ้น และอาจสูงกว่า 1 pH unit อัตราส่วน ดิน – น้ำ เท่ากับ 1 – 2.5 ก็ได้ยอมรับโดย Soil Reaction Committee of the International Society of Soil Science ในปี 1930 และอัตราส่วน ดิน – น้ำ เท่ากับ 1 – 1 ก็ได้ยอมรับกันในหลาย ๆ แห่ง ดังนั้นในการวัด pH ของดินควรจะกำหนดอัตราส่วนของ ดิน – น้ำ ให้ชัดเจน

2. Effecft of soluble salt pH ของ soil suspention จะลดลงถ้ามีปริมาณเกลือที่ละลายได้เพิ่มขึ้น โดยปกติแล้ว pH ของดินจะต่ำในฤดูแล้ง และมีค่าสูงขึ้นในฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการสะสมเกลือที่ละลายได้ในฤดูแล้ง และเนื่องจากมีการ leaching เกิดขึ้นในฤดูฝน ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญหานี้จึงมีผู้ใช้ 1 N KCl วัด pH แทนที่จะใช้น้ำ ต่อมา Schofield และ Taylor (1955) ได้แนะนำให้ใช้ 0.01 M $CaCl_2$ โดยใช้อัตราส่วน ดิน – น้ำยา เท่ากับ 1 – 2 ซึ่งมีข้อดีหลายอย่างคือ ลดปัญหาเกี่ยวกับอัตราส่วนของดินต่อน้ำ และอิทธิพลของเกลือได้ นอกจากนั้นยังทำให้ error ที่เกิดขึ้นจาก liquid potential ลดลงได้ pH ที่ได้โดยใช้ 0.01 M $CaCl_2$ จะต่ำกว่าค่าที่วัดโดยใช้น้ำประมาณ 0.5 pH unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Effect of equilibration of soil with CO_2 of the air อิทธิพลของ CO_2 คือ ทำให้ pH ของดินลดลง แต่อิทธิพลนี้จะมีน้อยมากในดินที่มี pH กว่า 7 พบว่าในดิน calcareous pH จะเปลี่ยนไปตามปริมาณ CO_2 ดังนั้นในการวัด pH ของดิน calcareous จึงนิยมทำกันหลังจาก equilibrate ดินกับ CO_2 ในบรรยากาศแล้ว

<u>วิธีการวัด pH ด้วย pH meter</u>

1.ใช้น้ำ

ชั่งดินตัวอย่าง 20 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 20 มล.ในบีกเกอร์ขนาด 100 ใช้แท่งแก้วคนให้ดินและน้ำเข้ากันก่อนวัด pH ประมาณ 30 นาที ในระหว่างที่วางทิ้งไว้ 30 นาทีนั้น ควรจะคนดินเป็นครั้งคราว ก่อนวัด pH จำเป็นต้อง standardize pH meter ด้วย buffer solution pH 7.0 และ 4.0 เสียก่อน แล้วจึงทำการวัด

2.ใช้ 0.01 M $CaCl_2$

ชั่งดินตัวอย่าง 10 กรัมผสมกับ 0.01 M $CaCl_2$ 20 มล. ในบีกเกอร์ขนาด 100 ใช้แท่งแก้วคนให้ดินและน้ำเข้ากันก่อนวัด pH ประมาณ 30 นาที ในระหว่างที่วางทิ้งไว้ 30 นาทีนั้น ควรจะคนดินเป็นครั้งคราว ก่อนวัด pH จำเป็นต้อง standardize pH meter ด้วย buffer solution pH 7.0 และ 4.0 เสียก่อน แล้วจึงทำการวัด

<u>การวิเคราะห์หาไนโตรเจน</u>

การวิเคราะห์หาไนโตรเจนมีอยู่ 2 วิธี คือ

1. Dumas method ซึ่งเป็นวิธี dry oxidation

วิธีของ Dumas นั้น ตัวอย่างดินจะถูกเผากับ CuO ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียสในห้องที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบไนโตรเจนส่วนใหญ่จะกลายเป็นก๊าซ N_2O ปนกับ CO_2 และผ่านไปยังโลหะทองแดงที่ร้อนเพื่อจะ reduce N_2O ให้เป็นไนโตรเจนก๊าซ และผ่านไปที่ CuO อีกครั้งหนึ่งเพื่อเปลี่ยน CO ให้เป็น CO_2 ก๊าซผสมระหว่าง $N_2 - CO_2$ ก็จะถูกนำไปผ่านด่างซึ่งจะดูดซับเอา CO_2 ไว้ เหลือแต่ก๊าซไนโตรเจนวัดปริมาตรได้

2. Kjeldahl method ซึ่งเป็นวิธี wet oxidation

วิธีของ Kjeldahl นั้นมักจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Digestion คือการเปลี่ยนไนโตรเจนในตัวอย่างให้เป็นแอมโมเนีย การ Digest นิยมต้มตัวอย่างกับ H_2SO_4 ที่เข้มข้นและมี catalyst อาจจะเป็น K_2SO_4 หรือ Na_2SO_4 ซึ่งช่วยทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และมี Hg Cu หรือ Se ซึ่งจะช่วยทำให้ organic matter สลายตัวเร็วขึ้น

2) Distillation คือการหาปริมาณแอมโมเนียโดยการให้ทำปฏิกิริยากับด่างและกลั่นเอา NH_3 ออกมาแล้วให้ละลายในกรด ในกรณีที่ใส่ Hg เป็น catalyst เวลากลั่นจะต้องใส่ด่างที่มี sodium thiosulfat , sodium sulfate หรือผงสังกะสีด้วย

3) Titration ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในกรดวิเคราะห์ได้โดยการ titrate กับกรดที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอน

<u>วิธีวิเคราะห์ total nitrogen โดย Kjeldahl method</u>

<u>อุปกรณ์และเครื่องมือ</u>

1) Balance , analytical

2) Digestion appratus

3) Distillation appratus

4) 100 ml. Cylinder

5) 500 ml. Kjeldahl flask

6) 500 ml. Erlenmeyer flask

<u>สารเคมี</u>

1) Sulfuric acid (H_2SO_4) , concentrated

2) Catalyst mixture (anhydrous) Na_2SO_4 or K_2SO_4 . $CuSO_4$ and Se metal (100 - 10 - 1)

3) Boric acid - indicator solution

ชั่ง Boric acid (H_3BO_3) 80 กรัม เติมน้ำปริมาณ 2,800 มิลลิลิตร ทำให้ร้อนจนกระทั่ง H_3BO_3 ละลายหมด ทำให้เย็น เติม mixed indicator 80 มิลลิลิตร (เตรียมโดยละลาย bromocresol green 0.099 กรัม และ methyl red 0.066 กรัม ใน ethanol 100 มิลลิลิตร) เติม 0.1 N NaOH ทีละน้อย จนกระทั่งสารละลายมีสีม่วงแดง (pH ประมาณ 5) เติมน้ำจนมีปริมาตร 4 ลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน

4) Sodium hydroxide (NaOH) 10 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่ง NaOH 400 กรัมใน flask ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำ 400 มิลลิลิตร เขย่าจน NaOH ละลาย ทำให้เย็น ปิดจุกตั้งทิ้งไว้หลายๆวันเพื่อให้ Na_2CO_3 ตกตะกอน ถ่ายเอาแต่น้ำใสลงไปใน flask เติมน้ำที่ไม่มี CO_2 ลงไปและปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเก็บไวในภาชนะที่กันไม่ให้ CO_2 เข้าได้

5) Standard sulfuric 0.05 N

วิธีการวิเคราะห์

Digestion ชั่งดินตัวอย่าง 10 กรัม (ดินตัวอย่างที่ใช้ควรผ่านตะแกรงขนาด 0.5 ม.ม.) ถ้าเป็นดินอินทรีย์วัตถุชั่งเพียง 5 กรัม ลงใน weighing cup โดยชั่งให้มีความละเอียดใกล้เคียง 0.001กรัม ใส่ดินตัวอย่างที่ชั่งแล้วรวมทั้ง weighing cup นี้ลงไปใน Kjeldahl flask จุ 500 ซีซี ในการบรรจุดินตัวอย่างลงไปใน flask ต้องระวังอย่าให้ดินหก และเกาะอยู่ที่คอของ flask ตวงสารผสม catalyst 1 ช้อน (ประมาณ 10 กรัม) ลงไปใน flask เติม H_2SO_4 ที่เข้มข้น 30 ซีซี. ลงไปเขย่า flask เบาๆ เพื่อให้ดินและกรดรวมเข้าด้วยกันแล้วนำไปวางบนเตาเพื่อทำการ digest เปิดไฟให้ร้อนเต็มที่ ในขณะที่ทำการ digest นี้ควรหมุน flask ทุกๆ 10 นาที เพื่อช่วยให้มีการคลุกเคล้ากันดีขึ้น เมื่อสีของของเหลวใน flask เริ่มใส เคี่ยวต่อไปอีกประมาณ 20 นาที แล้วจึงยก flask ออกมาจากเตา ปล่อย flask ทิ้งไว้ให้เย็นค่อยๆรินน้ำกลั่นลงไปใน flask ประมาณ 200 ซีซี. เขย่าให้เข้ากันแล้วรอจนของเหลวใน flask เย็นเท่าอุณหภูมิของห้องแล้วจึงดำเนินงานขั้นต่อไป

Distillation รินน้ำยา H_3BO_3 2% ประมาณ 50 ซีซีลงไปใน erlenmeyer flask ที่มีความจุ 500 ซีซี. แล้วนำไปวางที่ใต้ก้านของ condenser ของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายของก้าน condenser จุ่มอยู่ใต้ผิวของน้ำยา H_3BO_3 เปิดก๊อกน้ำเย็นให้ผ่าน condenser อยู่ตลอดเวลา ใส่ pumice 1 ช้อนชา รินน้ำยา NaOH ที่เข้มข้น ประมาณ 150 ซีซี. ลงไปใน Kjeldahl flask โดยค่อยๆรินไปตามผนังด้านในของคอ flask เพื่อให้น้ำยา NaOH ลงไปนอนอยู่ที่ก้นทั้งนี้เพื่อให้มีเนื้อที่สัมผัสทำปฏิกิริยาน้อยที่สุด ป้องกันไม่ให้แกส NH_3 สูญหายไปก่อนที่จะเริ่มทำการกลั่นต่อ flask เข้ากับเครื่องกลั่นทันที ตรวจข้อต่อเครื่องกลั่นทุกแห่งว่าอยู่ในสภาพที่แน่นหนาไม่มีรอยรั่ว ผสมน้ำยาใน flask ให้เข้ากันโดยการหมุน flask ไปรอบๆ ตัวอย่างช้าๆ (ขณะนี้ flask วางอยู่ที่เครื่องกลั่นแล้ว) อย่าลืมคลุกเคล้าน้ำยาใน flask ให้เข้ากันทันทีมิฉะนั้นแล้วอาจจะเกิดการระเบิดขึ้นได้

ปรับไฟของเตาให้แรงขึ้นเพื่อต้มให้ของผสมใน flask เดือด แล้วจึงค่อยปรับไฟให้ร้อนพอเหมาะที่จะให้ของเหลวใน flask เดือดอยู่เสมอ ขณะทำการกลั่นอยู่นี้ระวังอย่าให้ไฟดับหรือให้ไฟอ่อนลงเป็นอันขาด suction (back pressure) อาจจะเกิดขึ้นทำให้ H_3BO_3 ใน erlenmeyer flask ถูกดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับเข้าไปใน Kjeldahl flask ได้ และตรวจดูว่าอุณหภูมิของ distillate จะต้องน้อยกว่า 35 ^{0}C ดำเนินการกลั่นนี้ไปจนกระทั่งของเหลวที่กลั่นได้มีปริมาตรประมาณ 150 ซีซี. ก่อนที่จะหยุดทำการกลั่นจะต้องดึงเอา erlenmeyer flask ออกพร้องกับการล้างปลายของก้าน condenser ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นแล้วจึงปิดไฟได้ ปลด Kjeldahl flask เติมน้ำประปาลงไปใน flask เพื่อทำให้ของเหลวใน flask เย็นและเจือจางลงแล้วจึงค่อยรินทิ้ง

Titration ทำการ titrate ของเหลวที่กลั่นได้ด้วย standard HCl สีของน้ำยาจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นสีม่วง ที่จุดเริ่มเป็นสีม่วงนี้จะเป็นจุดยุติ (ถ้าท่านยังไม่คุ้นกับการใช้ indicator นี้ควรจะทดลองทำก่อน โดยใช้น้ำกลั่นซึ่งมี NH_4OH ผสมอยู่หยดสองหยดแล้วtitrate น้ำยานี้ด้วย standard HCl) บันทึกปริมาณของกรดไว้โดยอ่านจากบิวเรตให้ละเอียด 0.01 ซีซี.

หมายเหตุ

เปอร์เซ็นต์ของ nitrogen อาจคำนวณได้จากสูตรข้างล่างนี้

$$\%N = \frac{\text{ml HCl used (sample-blank titration) x normality ของ HCl x 1.4}}{\text{weight of soil sample (grams) x volume of sample (ml.)}}$$

การที่ต้องทำ blank นั้นก็เนื่องจากว่าสารเคมีบางอย่างอาจจะมี nitrogen ปนอยู่เป็น impurity ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาว่ามีอยู่เท่าไรเสียก่อน การทำ blank นี้ควรทำไปพร้อมกับตัวอย่าง และทำเหมือนตัวอย่างแต่ไม่มีดินเท่านั้น ทำการ digest, distill และ titrate ในทำนองเดียวกันกับของดินตัวอย่าง การทำ blank ควรจะทำทุกครั้งในแต่ละชุดของการ digest

การวิเคราะห์หา available nitrogen (ammonium and nitrate)

ส่วนใหญ่ไนโตรเจนในดินจะอยู่ในรูปของอินทรีวัตถุ มีส่วนน้อยมากที่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนเตรท และไนไตรท์ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอินทรีไม่จำเป็นต่อพืช ส่วนที่เป็นประโยชน์ได้แก่แอมโมเนียม ไนเตรท ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาจากกานสลายตัวของอินทรียวัตถุ โดยขบวนการต่างๆอาทิ เช่น ammonification และ nitrification โดยจุลินทรีย์ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม และไนเตรทจะเป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง แต่ปริมาณที่พบในดินจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องมาจากการชะล้าง พืชดึงดูดไปใช้ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ความชื้นและการถ่ายเทอากาศในดิน ดังนั้นปริมาณของแอมโมเนียมและไนเตรทจึงไปเป็นสิ่งที่น่าเชื่อถือในการที่จะบอกถึงสถานะของไนโตรเจนในดิน เนื่องจากไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอินทรียวัตถุ ดังนั้นปริมาณอินทรียวัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดจึงถูกไปใช้เป็น index ที่จะบอกถึง supplying power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไนโตรเจนที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ก็มีข้อจำกัดว่าอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากอินทรียวัตถุขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมหลายอย่าง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในดินหลังจาก incubation ก็จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนได้

การสกัดปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรท

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Balance
2. 250 ml. erlenmeyer flask
3. Shaking machine
4. Filtering apparatus
5. 20 ml. Volumeric pipet
6. 50 ml. Rlenmeyer flask
7. Buret
8. 5 ml. Automatic pipet

สารเคมีและน้ำยา

1. Magnesium Oxide (MgO) : เผา MgO ที่ 600 - 700 องศาเซลเซียส ในmuffle furnace เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นและเก็บไว้ด้วยฝาปิดที่มิดชิด

2. Boric acid – indicater soution : ชึ่ง H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำร้อน 700 ซีซี. ถ่าย solution ที่เย็นไปที่ volumetric flask ขนาด 1 ลิตร ที่มี ethanol 200 ซีซี และ mixed indicator 200 ซีซี. เมื่อผสมกันแล้วค่อยๆเติม 0.015 N NaOH จนกระทั่งได้สีม่วง (ใช้ solution 1 ซีซี. รวมกับน้ำ 1 ซีซี. สี ม่วง แดง ของ solution จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว)

3. Mixed indicator : ชั่ง bromocresol green 0.330 กรัม และ methyl.red 0.165 กรัม ใน ethanol 500 ซีซี.

4. Devarda alloy

Standard sulfuric acid (H_2SO_4) 0.005 N

6. Standard ammonium sulphate (1000 ppm N) ละลาย $(NH_4)_2SO_4$ ที่อบให้แห้งนี้ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง หนัก 4.719 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

ชั่งดิน 10 กรัม ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 ซีซี. เติม 2 N KCl 100 ซีซี. เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรอง นำสิ่งที่กรองได้ไว้กลั่นหาแอมโมเนียม และไนเตรท

วิธีการกลั่นหาแอมโมเนียม

รินน้ำยา H_3BO_3 – indicator solution 5 ซีซี. โดยให้ autumatic pipet ลงไปใน erlenmeyer flask ขนาด 50 ซีซี. นำไปวางที่ใต้ก้านของ condenser ของเครื่องกลั่น เตรียมดูดตัวอย่างที่จะนำมากลั่นโดยใช้ Volumeric pipet (ประมาณ 10 - 20 ซีซี.) ใส่ลงไปใน flask ที่จะกลั่น เติม MgO 0.2 กรัม ลงไป เติมน้ำและกลั่นจนกระทั่งได้ distillate 30 ซีซี. Titrate ด้วย 0.005 N H_2SO_4 จนกระทั่งสีของ distillate เปลี่ยนจากเขียวเป็นม่วงแดง

วิธีการกลั่นหาไนเตรท

หลังจากที่กลั่นแอมโมเนียมเสร็จแล้วให้เติม Devarda alloy 0.2 กรัม ลงใน flask ที่จะกลั่นเติม MgO 0.2 กรัม เติมน้ำ และปฏิบัติเหมือนกันในกรณีของการกลั่นหาแอมโมเนียมข้างต้น

หมายเหตุ ควรจะกลั่น $(NH_4)_2SO_4$ 1000 ppm N 1 ซีซี. ด้วยเพื่อเป็นการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นขณะกลั่นได้

การวิเคราะห์หาอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดินนิยมหาในรูปของอินทรีย์คาร์บอน เนื่องจากคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรีย์วัตถุ การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในดินวิเคราะห์ได้ทั้งวิธี combustion ซึ่งคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และโดยวิธีไตเตรตปริมาณ dicromate ($Cr_2O_7^{2-}$) ที่เหลือจากถูกอินทรีย์วัตถุ reduce ซึ่งเป็นวิธีของ Walkley – black หลักการก็คือ Oxidizing agent ($K_2Cr_2O_7$) ที่มากเกินพอจะ oxidize อินทรีย์คาร์บอนเป็น CO_2 โดยใช้ความร้อนจากกรดและวัดปริมาณ $Cr_2O_7^{2-}$ ที่เหลือโดยการไตเตรตด้วย reducing agent [$Fe(NH_4)_2(SO_4)5H_2O$]

สารเคมี

1. Standard potassium dicromate solution, 1.0 N ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (GR อบที่ 105° นาน 12 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ใน Volumetric flask

2. Conc. Sulfuric acid

ใช้กรด H_2SO_4 (GR) ที่มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 98% ถ้าดินในตัวอย่างมีคลอไรด์ (Cl) อยู่มากเติม Ag_2SO_4 ลงไปในกรดอัตรา 15 กรัม ต่อกรด H_2SO_4 1 ลิตร Ag_2SO_4 5 g. : H_2SO_4 1L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Redox indicator

ใช้ Barium diphenylamine sulfonate (BDS) 0.15% เตรียมโดยละลาย BDS 0.16 กรัม ในน้ำกลั่น 100 mLหรืออาจใช้ Diphenylamine 0.42% เตรียมโดยละลาย Diphenylamine 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 20 mL และ Conc.H2SO4 100 mL

4. Ferrous ammonium Sulfate (FAS) solution, 0.5 N

ละลาย Fe $((NH_4)_2SO_4)_2$ 5 H_2O (GR) 196.1 1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มล. ซึ่งมี conc.H2SO4 อยู่ 20 มล. แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาล (เพื่อกันแสง) และจะต้องปิดจุกให้แน่นเสมอเมื่อเก็บ

5.Conc. Phophoric acid (H_3PO_4) 85%

6. Sodium fluoride (NaF) ชนิดผง

<u>วิธีการ</u>

1. ชั่งดินซึ่งบดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.2 – 0.5 มม. หนัก 0.5 – 2.0 กรัม ใส่ใน erlemeyer flask ขนาด 250 มล. เติม standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ ลงไป 10.0 มล. โดยใช้ pipet แกว่ง flask เบาๆเพื่อให้ดินและสารละลายผสมกัน แล้วเติม Conc. H_2SO_4 ลง 20 มล. โดยพยายามล้างเม็ดดินให้ลงไปอยู่ในกรดให้หมด อย่าให้เม็ดดินเหลือเกาะอยู่ตามข้าง flask แกว่ง flask ค่อนข้างแรง ประมาณ 1นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งดินและสารละลายที่ผสมกันอยู่ (mixture) เย็นลงเท่าอุณหภูมิของห้อง

2. เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มล. แล้วเติม Conc. H_3PO_4 10 มล. (และ NaF 0.2 กรัม ในกรณีที่ใช้ diphenylamine เป็น redox indicator หรือจะไม่ใช้ก็ได้) แล้วจึงหยด indicator ลงไป 2-3 หยด แกว่ง flask จนผสม (mixture) เข้ากันดี สีของ mixture จะเป็นสีม่วงปนน้ำเงินหรือสีม่วงแดง

3. ไทเทรต mixture ด้วย FAS 0.5 N solution จาก Buret สีของ mixture จะเป็นสีม่วงเข้มขึ้นๆไตเตรตต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งจวนถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ค่อยๆหยด FAS ที่ละหยดจนถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนสีเขียวจัด (brilliant green)

4. เพื่อให้ได้ end point ที่ถูกต้อง เติม Standard 1.0 N $K_2Cr_3O_7$ ลงไปอีก 0.5 มล. เพื่อให้มี dicromate เหลือใน solution อีก สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือม่วงแดงอีกครั้ง แล้วค่อยๆไตเตรตต่อ โดยหยด FAS 0.5 N solution ลงไปที่ละหยด จนถึง endpoint อีกครั้ง

5. ถ้าหากพบว่า ดินตัวอย่างใดมี dichromate เหลืออยู่ในสารละลาย (ก่อนไตเตรต) น้อยมาก คือ น้อยกว่า 2 มล. (ตอนแรกเติม 1 N $K_2Cr_2O_7$ 10 มล. และถูก organic carbon ในดิน reduced ไปมากกว่า 8 มล. ในระหว่าง digestion) ซึ่ง solution จะเป็นสีเขียวก่อนที่จะไตเตรต ทำการวิเคราะห์ใหม่โดยใช้ดินให้น้อยลงกว่าเดิม

6. ทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินควบคู่ไปด้วยกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทุกชุด

7. ต้องทำการบันทึกจำนวน มล. ของ FAS solution ที่ใช้ในการไตเตรททั้งของ blank และของดินตัวอย่าง เพื่อนำเอาไปคำนวณหาปริมาณ O.C. ต่อไป

<u>การคำนวณ</u>

$$\% \text{ Organic matter (OM)} = 10.5 \times \frac{B - S}{B} \times \frac{0.67}{G}$$

เมื่อ 10.5 = มล.ของ standard $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้กับ Blank และกับตัวอย่างดิน

B = มล.ของ FAS solution ที่ใช้ไตเตรตกับ Blank

S = มล.ของ FAS solution ที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่างดิน

G = มล.ของ ดินเป็นกรัม

Factor 0.67 คำนวณมาจาก $(0.1\ N) \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.724}{0.77} \times 100$

เมื่อ 1.0 N = normality ของ standard $K_2Cr_2O_7$ (ถ้าหาก normality ของ standard K2Cr2O7 แตกต่างไปจาก 1.0 N สูตรทุกอันคูณด้วย normality ของ standard $K_2Cr_2O_7$) $\frac{12}{4000}$ = meq weight ของ carbon

ถ้าเตรียม standard $K_2Cr_2O_7$ solution ครั้งละมากๆ normality ของ standard $K_2Cr_2O_7$ อาจจะไม่เท่ากับ 1.0 N จริงๆในกรณีเช่นนี้จำเป็นต้องเตรียม standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ ที่แน่นอน โดยชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 4.904 กรัม ด้วย analytical balance แล้วทำเป็น 100 มล. เพื่อเอาไปไตเตรตกับ FAS 0.5 N solution แล้วเอา FAS 0.5 N solution ไปไตเตรตกับ Standard $K_2Cr_2O_7$ ที่เตรียมคราวละมากๆแล้วคำนวณ normality $K_2Cr_2O_7$ ที่เตรียมคราวละมากๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1.724 = \frac{100}{58} \text{ (OM มีคาร์บอน 58%)}$$

0.77 = % recovery ของ OC ในดินโดยวิธีนี้เท่ากับ 77

$$\% \text{ Organic Carbon (OC)} = \frac{\% \text{ OM}}{1.724}$$

<u>การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน</u>

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารของพืชธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญและมีบทบาทมากต่อการให้ผลผลิตพืช ปริมาณของฟอสฟอรัสในดินมีค่าประมาณ 0.02 – 0.5 % หรือมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.05 % โดยทั่วไปฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินสามารถแบ่งตามลักษณะที่คงอยู่ในดินได้เป็น 4 พวก คือ

1. ฟอสฟอรัสในรูปของอิออน หรือสารประกอบที่อยู่ในรูปของสารละลายดิน
2. ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดยึดที่ผิวของอนุภาคดินหรือสารประกอบต่าง ๆ ในดิน
3. ฟอสฟอรัสที่อยู่ในส่วนประกอบของอินทรียวัตถุ
4. ฟอสฟอรัสที่อยู่ในส่วนประกอบของแร่

อย่างไรก็ตามในด้านการศึกษาถึงพฤติกรรมของธาตุพืชอาหารจะแบ่งฟอสฟอรัสออกเป็น 2 รูป คือ

1.อินทรียฟอสฟอรัส หมายถึง ฟอสฟอรัสที่อยู่ในส่วนประกอบของอินทรียวัตถุในดิน ฟอสฟอรัสรูปนี้จะเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่ออินทรียวัตถุสลายตัว

2.อนินทรียฟอสฟอรัส หมายถึง ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารประกอบของแคลเซียม อะลูมินัม เหล็ก และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม คือ แคลเซียมฟอสเฟต (Ca – P) อะลูมินัมฟอสเฟต (Al – P) เหล็กฟอสเฟต (Fe – P) และ Occluded – P ซึ่งฟอสเฟตในรูปต่าง ๆ เหล่านี้มีความสำคัญต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่คาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อพืช เพราะการสกัดฟอสฟอรัสโดยน้ำยาชนิดต่าง ๆ นั้น จะสกัดเอาฟอสฟอรัสพวกอนินทรียฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ นี้ออกมาและปริมาณที่สกัดจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของรูปฟอสฟอรัสในดิน และปริมาณที่ละลายได้ของรูปเหล่านั้นในน้ำยาสกัดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การประเมินค่าฟอสฟอรัสในดิน</u>

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อจัดกลุ่มดินตามระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อการแนะนำการใช้ปุ๋ย
2. เพื่อประเมินผลตอบสนองของพืชต่อการใส่ปุ๋ยฟอสเฟต
3. เพื่อหาดัชนีความสามารถของดินในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้กับพืช

<u>หลักในการเลือกวิธีวิเคราะห์</u>

ในการประเมินค่าฟอสฟอรัสในดินนั้น วิธีที่เหมาะในการใช้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. น้ำยาสกัดหรือวิธีสกัดนั้น ๆ จะต้องสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกจากดินได้หมดหรือในสัดส่วนที่เหมาะสม และสามารถสกัดได้ดีในดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน
2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สามารถวัดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว
3. ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้นั้นต้องมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช

<u>หลักสำคัญในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส</u>

การประเมินค่าฟอสฟอรัสในดินทุกประเภทส่วนใหญ่จะวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ รูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และอินทรียฟอสฟอรัสนั้น ต่างใช้หลักการวิเคราะห์อันเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยหลักการสำคัญ 2 ประการ คือ

1. สกัดดินหรือย่อยดินให้อยู่ในรูปของสารละลาย
2. สารละลายดินที่ได้จากข้อ 1 จะวัดหาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีทำให้เกิดสี (Colorimetric method) และวัดความเข้มข้นของสีเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

<u>การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส</u>

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินทั่วไปมักจะทำการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสใน 2 รูป คือ

1. ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (Total P) การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดินต้องเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายให้มาอยู่ในรูปที่ละลายได้ และสามารถวัดหาปริมาณโดยวิธีทำให้เกิดสีวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลายคือการย่อยดินด้วยกรด $HclO_4$ เข้มข้น หรือ fusion ด้วย Na_2CO_3
2. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เป็นฟอสฟอรัสที่สกัดได้ ซึ่งมีวิธีสกัดต่าง ๆ กัน และน้ำยาสกัดต่าง ๆ เหล่านั้นสามารถจัดออกเป็น 4 กลุ่ม

2.1 กรดแก่อย่างเจือจาง ได้แก่สารละลายเจือจางของกรด HCl HNO_3 และ H_2SO_4 ซึ่งความเข้มข้นของกรดจะอยู่ระหว่าง 0.002 N – 0.075 N และ pH ของน้ำยาสกัดมีค่า 2 - 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กรดแก่อย่างเจือจางกับ complexing ion ซึ่ง complexing ion ที่ใช้มากคือ NH_4F ซึ่งส่วนใหญ่จะผสมกับกรด HCl ความเข้มข้นของกรดจะอยู่ระหว่าง 0.025 N – 0.1 N และความเข้มข้นของ NH_4F คือ 0.03 N

2.3 กรดอ่อนอย่างเจือจาง น้ำยาสกัดที่นิยมใช้คือ acetic lactic และ cetric

2.4 สารละลายของด่าง น้ำยาสกัดที่นิยมมากคือ $NaHCO_3$

<u>การหาปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำยาสกัด</u>

วิธีการหาฟอสฟอรัสในน้ำยาสกัดต้องทำให้เกิดสี โดยปกติจะมีอยู่ 2 วิธี คือ Molybdenum blue ซึ่งได้สีน้ำเงิน และวิธี ammonium metavanadate ได้สีเหลือง สำหรับวิธี Molybdenum blue นั้นมีหลักสำคัญคือ ในน้ำยา Molybdate ที่เป็นกรดซึ่งมี Orthophosphate ion อยู่นั้น จะเกิดสารประกอบของ phosphomolybdate ซึ่งเมื่อถูกรีดิวซ์ด้วย reducing agent จะเกิดสีน้ำเงินขึ้น และความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำยา วิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ Merphy and Reley ซึ่งใช้ ascobic acid เป็น reducing agent สีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจะเกิดเร็วมากภายใน 10 นาที และสีที่ได้นี้จะคงที่ถึง 24 ชั่วโมง วิธี Molybdenum blue นี้เหมาะที่จะหาฟอสฟอรัสที่มีปริมาณน้อย เช่น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สำหรับวิธี ammonium metavanadate นั้นจะเกิดสีเหลืองและสีที่ได้นั้นจะคงที่ภายใน 10 นาที วิธีนี้นิยมใช้หาฟอสฟอรัสที่มีปริมาณสูงเช่น ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน

<u>การหาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II</u>

น้ำยาสกัด Bray II มีส่วนผสมของกรด HCl และ NH_4F จึงสามารถสกัดฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ละลายง่ายในกรดเช่น พวกแคลเซียมฟอสเฟต (Ca – P) และบางส่วนของ เหล็กฟอสเฟต (Fe – P) และอะลูมินัมฟอสเฟต (Al – P) ขณะเดียวกัน NH_4F ก็สามารถสกัดพวกอะลูมินัมฟอสเฟต (Al – P) และเหล็กฟอสเฟต (Fe – P) ได้ดีเช่นกัน เนื่องจากในสภาพน้ำยาเป็นกรดนั้น F จะรวมกับ Al และ Fe เกิด Complexing agent ขึ้นทำให้ P ถูกปลดปล่อยดังนั้นน้ำยาสกัดนี้จึงสามารถสกัดรูปของอนินทรียฟอสฟอรัสออกมาได้ดี

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. เครื่องมือ - spectrophotometer

2. สารเคมี

2.1 Ammonium fluoride (NH_4F) 1 N โดยสารละลาย NH_4F 37 กรัมในน้ำกลั่นทำเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวด polyethylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Hydrochloric acid (HCl) 0.5 N dilute 20.7 มล. ของ HCl เข้มข้น 37 % ด้วยน้ำกลั่นแล้วทำเป็น 500 มล.

2.3 Extracting solution 1 N NH_4F จากข้อ 2.1 จำนวน 30 มล. ผสมกับ 200 มล. ของ 0.5 N แล้วทำให้เป็น 1 ลิตรซึ่งสารละลายที่ได้จะเท่ากับ 0.03 N NH_4F + 0.1 HCl

2.4 น้ำยา develop สี

2.4.1 ชั่ง ammonium molybdate $(NH_4)_6.Mo_7O.4H_2O$ 12 กรัมละลายในน้ำกลั่น 250 มล.

2.4.2 ชั่ง Potassium antimony tartrate ($KsbO.C_4H_4O_8$) 0.2908 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มล.

2.4.3 เตรียม 5 N H_2SO_4 โดยใช้ H_2SO_4 เข้มข้น 96 % 139 มล. ทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร

2.4.4 เอาน้ำยาในข้อ 2.4.1 และ 2.4.2 ผสมลงใน 5 N H_2SO_4 ตามข้อ 2.4.3 แล้วทำให้ได้ปริมาตร 2.5 ลิตร สารละลายที่ได้จะต้องใสไม่มีสี เก็บไว้ในขวดสีชา

2.5 Ascorbic acid

ละลาย Ascorbic acid ใน น้ำยา develop สี ตามข้อ 2.4.4 โดยใช้ Ascorbic acid 3 กรัมต่อน้ำยา develop สี 250 มล. ซึ่งการเตรียมสารละลายในข้อนี้จะต้องเตรียมวันต่อวันและเก็บไว้นานกว่า 24 ชม.ไม่ได้

2.6 Standard phosphorus solution

2.6.1 Standard phosphorus solution 50 ppm P โดยชั่ง KH_2PO_4 (อบที่ 105 องศาเซลเซียส 2 ชม.) 0.2196 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นทำเป็น 1 ลิตร

2.6.2 Standard phosphorus solution 5 ppm P โดยเตรียมจาก standard P ตามข้อ2.6.1

3 การเตรียมสารละลายดิน

ชั่งดิน 2 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 50 มล. เติมน้ำยาสกัด 50 มล. (อัตราส่วนดิน – น้ำยาสกัด = 1 – 10) เขย่าด้วยมือ 40 วินาที แล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

4 วิธีเทียบสี

เตรียมน้ำยามาตรฐานจาก Standard phosphorus solution 5 ppm โดยดูดน้ำยา 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 และ 15 มล. ใส่ใน volumetric flask 25 มล. ใส่น้ำกลั่นลงไปประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 มล. แล้วเติมน้ำยา Ascorbic acid ลงไป 5 มล. แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มล. เขย่าให้เข้ากันซึ่งจะได้ Standard phosphorus solution 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 และ 3.0 ppm P ตามลำดับ

ดูดสารละลายดินประมาณ 5 มล. ใส่ลง volumetric flask 25 มล เติมน้ำกลั่นประมาณ 15 มล. แล้วเติมน้ำยา Ascorbic acid ลงไป 5 มล. แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มล. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที จะได้สารละลายสีน้ำเงินที่คงที่ 24 ชม. นำสารละลายไปวัดสีเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 882 nm. จากการอ่านค่าซึ่งจะได้เป็น % T หรือ A ทำให้ได้ Standard curve และสามารถเทียบค่าของสารละลายดินได้

5 วิธีคำนวณ

$$\text{ppm P} = \frac{\text{ppm จาก curve} \times \text{total volume} \times \text{ml of extracted}}{\text{aliqout} \quad \text{weight of sample}}$$

<u>การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดิน</u>

โพแทสเซียมทั้งหมดในดินอยู่ในรูปของ

1. ส่วนประกอบของแร่ เช่น Mica , Feldspar
2. Interlattice ของแร่ดินเหนียว ได้แก่ Illite และ Vermiculite (1 – 10 %)

Non – exchangeable และ Water soluble K (0.1 – 2 %)

Exchangeable K และ Water soluble K เป็นรูปที่พืชดูดไปใช้ได้ แต่ Water soluble K มีอยู่น้อยมาก ดังนั้นการประเมินปริมาณ K ในดินเพื่อการเกษตรจึงมักใช้ค่า Exchangeable K และ Total K

<u>วิธีวิเคราะห์ Exchangeable K</u>

<u>สารเคมี</u>

1.น้ำยาสกัด 1 N ammonium acetate ($NH_4C_2H_3O_2$) pH 7 ละลาย 77.08 กรัม ammonium acetate ในน้ำกลั่นประมาณ 900 มล. ปรับ pH ให้เป็น 7 แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร

2. Standard K solution, 1000 ppm ละลาย 1.9070 กรัมของ potassium chloride ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิปริมาณ 105 องศาเซลเซียสมาแล้ว 2 ชม. ในสารละลาย 1 N ammonium acetate ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(หมายเหตุ อาจเตรียม Standard K solutionได้อีกวิธีหนึ่ง โดยการนำ Standard K solution ซึ่งบรรจุอยู่ใน ampoule มาปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนดไว้ด้วยน้ำยาสกัด)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างดินที่แห้ง 5 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 125 มล. เติมน้ำยาสกัด 50 มล. ปิดด้วยจุกยาง เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1

2. วิเคราะห์ปริมาณ K ใน filtrate ด้วย Flame photometer หรือ Atomic absorption spectrophotometer ที่ wavelength 768 nm.

3. ทำ standard curve โดยเตรียมจาก. Standard K solution 1000 ppm

การคำนวณ

$$\text{Exchange K , ppm} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (ppm)} \times \text{ปริมาตรของน้ำยาสกัด} \times \text{dilution factor}}{\text{น้ำหนักดิน}}$$

การวิเคราะห์หา Cation exchange capacity

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน

ทฤษฎี

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกหรือ CEC นิยมแสดงในหน่วยของมิลลิสมมูลต่อดินแห้ง 100 กรัม โดยเป็นปริมาณของประจุบวกซึ่งเกาะกับประจุลบที่ผิวเคลย์และสามารถแลกเปลี่ยนกับประจุบวกอื่นๆในสารละลายได้

ประจุลบที่เกิดจากผิวดินเกิดจากการแทนที่อสัณฐานในโครงสร้างของแร่ซิลิเกตหรือพันธะที่แตกหักที่ขอบของแร่ธาตุและที่ผิวนอกเคลย์ทำให้เกิดประจุลบซึ่งถูกสะเทินด้วยประจุบวก มีการหาค่า CEC ได้โดยอาศัยการเตรียมดินทำให้อิ่มตัว การชะล้างและการสะกัด ซึ่งอาจใช้วิธีการทำให้อิ่มตัวต่างกัน หรือประจุที่เข้าแทนที่ต่างกัน ตัวชะล้างต่างกัน และการควบคุมค่าพีเอช อาจจำแนกได้เป็น 4 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Summation method

ประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ถูกแทนที่ด้วยสารละลายเกลือที่อิ่มตัว ค่า CEC จะได้จากผลรวมของประจุบวกที่มีทั้งหมดในสารละลายที่ใช้ชะล้าง (leachate)

2) Direct displacement method

ใช้ประจุบวกชนิดหนึ่งเป็นดัชนี (Index ion) และทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนจนอิ่มตัวในดิน หลังจากปั่นเหวี่ยงแล้วทำการแทนที่โดยตรงด้วยสารละลายเกลือชนิดอื่นในดิน เมื่อทำการสกัดจะได้ประจุบวกและประจุลบที่อิ่มตัวผลต่างๆ ของประจุที่ได้จะเท่ากับ ค่า CEC ในดิน

3) Displacement after washing method

เมื่อทำให้ตำแหน่งที่แลกเปลี่ยนประจุบวกได้อิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นดัชนี ทำการล้างดินให้ปราศจากเกลือที่อิ่มตัว และปริมาณประจุดัชนีที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวดินจะถูกแทนที่และทำการวิเคราะห์หาปริมาณ

4) Radio – active tracer method

เมื่อทำการใช้ประจุบวกที่กำหนดอิ่มตัวในดิน นำสารละลายมาเจือจาง และ label ด้วยไอโซโทน กัมมันตรังสีของประจุบวกที่อิ่มตัว ความเข้มข้นของประจุบวกที่เป็นดัชนีในสารละลายที่หาได้ และการกระจายตัวของไอโซโทประหว่างสองวัฏภาค สามารถหาได้โดยวัดปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาในสารละลายและในดินกับสารละลาย

ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการหาค่า CEC ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการทำให้อิ่มตัว การล้าง และการสกัดสารละลายและองค์ประกอบของดิน

<u>อุปกรณ์และเครื่องมือ</u>

1.ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล.

2.เครื่องปั่นเหวี่ยง (centifuge)

3.หลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง

4.เครื่องเขย่า

5.ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล.

6.ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล.

7.บิวเรตขนาด 50 มล.

8.แผ่นให้ความร้อน (hot plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1นอร์มัล

-ตวงกรดอะซิติก 99.5 % 114ml. ใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาตรประมาณ 1L เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นลงไป 136 ml. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 1980 ml. วัด pH ของสารละลายแล้วปรับ pH ให้ได้ pH 7 ด้วยกรดอะซิติกหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 2L

2. สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลท 10 %

-ละลายแอมโมเนียมออกซาเลท 10 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้มีปริมาตร 100 ml.

3. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 %

-ตวงแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นมา 50 ml. เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100ml.

4. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N

-ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 53.5020 กรัม ในน้ำกลั่นล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร ปรับpH ของสารละลายให้ได้ pH 7 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

5. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N

-ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 13.3755 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้มีปริมาตร 1 L ปรับ pH ให้ได้ pH 7 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 N

-ละลายซิลเวอร์ไนเตรท 16.9910 กรัม ในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 1 L

7. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

8. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 %

-ละลายโซเดียมคลอไรด์ 2,000 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.7 ml. เพื่อทำให้สารละลายเป็นกรดแล้วทำให้มีปริมาตร 20 L ด้วยน้ำกลั่น

9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 %

-ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 1 L

10. สารละลายกรดบอริค 30 กรัม ในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 1 L

11. สารละลายกรดไฮโดรคลอริค 0.1 N

-ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 9 ml. เติมน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 1 L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. อินดิเคเตอร์ผสม

-ละลายโบรโมกรีซอลกรีน 0.22 กรัม และเมธิลเรด 0.75 กรัม ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % 96 ml. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ลงไป 35ml.

<u>การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl</u>

ชั่งโซเดียมเตตระบอเรต ($Na_2S_2O_3.7H_2O$) โดยชั่งมา 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 ml. นำมาไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยมีเมธิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ ก็จะทราบความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานจากสูตร

ความเข้มข้นของ HCl มาตรฐาน (N) = $\frac{\text{น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน}}{\text{ปริมาตรของ HCl มาตรฐานที่ใช้ X 0.1907}}$

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ชั่งตัวอย่าง 5-10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 ml. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1N ลงไป 60 ml. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน

2. เขย่าสารละลาย 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่า ๆ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงนาน 5 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง

3. ล้างตัวอย่างด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N ครั้งละ 30 ml. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยนำส่วนใสที่ได้จากการนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้งประมาณ 10 ml. ใส่ในหลอดทดลอง หยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N, แอมโมเนียมออกซาเลท 10% และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50% อย่างละ 2 – 3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)

4. ล้างตัวอย่างต่อด้วย สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ๆละ 30ml. โดยในการล้างแต่ละครั้งให้นำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3 –5 นาที เพื่อแยกส่วนใสออก จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 N 2 –3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวของ AgCl แสดงว่ายังมีคลอไรด์เหลืออยู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายที่ได้จากข้างต้นทิ้งไป นำตัวอย่างที่ได้มาล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% เพื่อไล่ NH4 ในตัวอย่าง โดยล้างครั้งละ 30 ml. ซ้ำ3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยงเก็บส่วนใสไว้

6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายตัวอย่างมาใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 ml. ปรับปริมาตรรวมจนมีปริมาตร 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น

7. นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมา โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไป 25 ml. ใส่ใน Kjcldahl flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์ (condenser) จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริค 3 % 50% ซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2 – 3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่น ไปไตเตรทด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

9. กลั่นแบลงค์และไตเตรทเช่นเดียวกับตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของดิน

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของวัสดุที่ใช้ปลูกหลังการทดลองที่ 1

1. pH

ตาราง ข - 1 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า pH ในแต่ละสูตร

สูตร	ค่า pH			เฉลี่ย
A	7.00	7.00	7.00	7.00
B	5.40	5.39	5.40	5.40
C	4.95	4.94	4.94	4.94
D	6.95	6.95	6.95	6.95
E	8.25	8.25	8.27	8.26
F	7.73	7.73	7.72	7.73
G	5.00	5.00	5.00	5.00
H	8.08	8.05	8.07	8.07
I	7.97	7.97	7.98	7.97
J	7.24	7.22	7.22	7.23
K	7.98	7.98	7.98	7.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด

ตารางที่ ข – 2 แสดงผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดของแต่ละสูตร

สูตร	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร H_2SO_4ที่ใช้ไทเทรต(มล.)	% ไนโตรเจนที่คำนวณได้
A	5.0005	136.10	1.91
	5.0005	137.00	1.92
	5.0006	136.40	1.91
		เฉลี่ย	1.91
B	5.0007	73.00	1.02
	5.0006	66.30	0.93
	5.0006	66.60	0.93
		เฉลี่ย	0.97
C	5.0009	27.60	0.39
	5.0009	27.60	0.39
	5.0007	37.10	0.52
		เฉลี่ย	0.43
D	5.0017	20.50	0.29
	5.0017	20.50	0.29
	5.0015	23.00	0.32
		เฉลี่ย	0.30
E	5.0013	14.20	0.20
	5.0013	14.10	0.20
	5.0013	14.20	0.20
		เฉลี่ย	0.20
F	5.0005	53.40	0.75
	5.0005	53.40	0.75
	5.0005	54.50	0.76
		เฉลี่ย	0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น.อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข – 2 แสดงผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดของแต่ละสูตร (ต่อ)

สูตร	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรต (มล.)	% ไนโตรเจนที่คำนวณได้
G	5.0001	12.50	0.18
	5.0000	12.00	0.17
	5.0000	12.10	0.17
		เฉลี่ย	0.17
H	5.0005	16.00	0.22
	5.0002	15.40	0.22
	5.0002	15.50	0.22
		เฉลี่ย	0.22
I	5.0006	23.90	0.34
	5.0006	23.50	0.33
	5.0006	23.60	0.33
		เฉลี่ย	0.33
J	5.0006	48.30	0.68
	5.0006	48.20	0.67
	5.0006	47.70	0.67
		เฉลี่ย	0.67
K	5.0005	11.20	0.16
	5.0005	11.40	0.16
	5.0005	12.10	0.17
		เฉลี่ย	0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ไนโตรเจนทั้งหมด} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ } H_2SO_4 \times \text{ปริมาตรที่ใช้ไทเทรต} \times 140}{\text{น้ำหนักดิน} \times \text{ปริมาตรตัวอย่างที่นำมาไทเทรต}}$$

ความเข้มข้นของ H_2SO_4 = 0.05 N

ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต (ml.)

น้ำหนักแห้งของดิน (g)

ปริมาตรตัวอย่างที่นำมาไทเทรต = 100 ml.

3. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส

ตารางที่ ข – 3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.2	0.148
0.4	0.295
0.6	0.405
0.8	0.451
1.0	0.499
1.2	0.537
1.4	0.636
1.6	0.690
1.8	0.726
2.0	0.780
3.0	0.995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้จากตารางไปคำนวณหาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่างแต่ละสูตร โดยการทำ least squares ดังนี้

ให้ X = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (ppm P)

Y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

ตาราง ข – 4 แสดงการทำ least squares

X	X^2	Y	Y^2	XY
0.20	0.04	0.14	0.02	0.02
0.40	0.16	0.29	0.08	0.11
0.60	0.36	0.40	0.16	0.24
0.80	0.64	0.45	0.20	0.36
1.00	1.00	0.49	0.24	0.49
1.2	1.44	0.53	0.28	0.64
1.40	1.96	0.63	0.40	0.89
1.60	2.56	0.69	0.47	1.10
1.80	3.24	0.72	0.52	1.30
2.00	4.00	0.78	0.60	1.56
3.00	9.00	0.99	0.99	2.98
รวม 14.00	24.40	6.16	4.01	9.74

จาก $x = my + b$ ——— (1)

$$m = \frac{n\sum xy - \sum x\sum y}{n\sum y^2 - (\sum y)^2}$$

n = จำนวนสูตร = 11 สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจะได้ $m = \frac{11(9.74) - 14(6.16)}{11(4.01) - (6.1)^2} = 3.34$

$$b = \frac{\sum y^2 \sum x - \sum y \sum xy}{n\sum y^2 - (\sum y)^2}$$

แทนค่าจะได้ $b = \frac{4.01(14) - 6.16(9.74)}{11(4.01) - (6.16)^2} = -0.599$

แทนค่า m และ b ลงในสมการที่ (1) จะได้

$$x = 3.34y - 0.59 \quad \text{—} \quad (2)$$

ตาราง ข – 5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างในแต่ละสูตร

สูตร	ค่าการดูดกลืนแสง
A	0.945
B	0.586
C	0.935
D	0.154
E	0.074
F	0.927
G	0.309
H	0.987
I	0.99
J	0.949
K	0.794

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างในแต่ละสูตร นำค่าการดูดกลืนแสง (y) มาหาค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (x) โดยแทนค่าลงในสมการที่ (2) จะได้ค่าเป็น ppm จาก curve

จากนั้นนำค่า ppm จาก curve ไปแทนค่าหา ppm P จากสูตร

$$\text{ppm P} = \frac{\text{ppm จาก curve} \times A \times B}{C \times D}$$

โดย A = ปริมาตรของสารละลายที่เจือจางทั้งหมด = 25 มล.

B = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้สกัดตัวอย่าง = 20 มล.

C = ปริมาตรของสารละลายที่ปิเปตเพื่อนำมาเจือจาง = 1 มล.

D = น้ำหนักของตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์ (กรัม)

เมื่อแทนค่าแล้วจะได้ผลของ ppm P และ % ของฟอสฟอรัส ดังตาราง

ตาราง ข – 6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในแต่ละสูตร

สูตร	น้ำหนักดิน (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง	ppm จาก curve	ppm P	% P
A	1.9998	0.945	2.560	640.0	0.064
B	2.0089	0.586	1.360	338.5	0.034
C	1.9899	0.935	2.520	633.2	0.063
D	2.0103	0.201	0.072	17.9	0.002
E	2.0012	0.197	0.059	14.7	0.002
F	1.9998	0.927	2.500	625.0	0.063
G	1.9987	0.309	0.433	108.3	0.110
H	2.0108	0.987	2.700	671.4	0.067
I	2.0153	0.99	2.710	672.3	0.067
J	2.0901	0.949	2.570	614.8	0.061
K	2.0032	0.794	2.050	511.6	0.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ตารางที่ ข – 7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า CEC

สูตร	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรต(มล.)	CEC (%)
A	5.0059	12.50	24.97
	5.0063	13.10	26.16
	5.006	12.90	25.76
		เฉลี่ย	25.63
B	5.0074	12.40	24.76
	5.0072	11.90	23.76
	5.0068	11.80	23.56
		เฉลี่ย	24.03
C	5.0061	11.60	23.17
	5.0064	12.00	23.96
	5.0063	11.90	23.77
		เฉลี่ย	23.63
D	5.0206	11.70	23.30
	5.0243	12.20	24.28
	5.0239	11.80	23.48
		เฉลี่ย	23.69
E	5.0236	8.50	16.92
	5.0254	11.20	22.28
	5.0229	10.10	20.10
		เฉลี่ย	19.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า CEC (ต่อ)

สูตร	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรต (มล.)	CEC (%)
F	5.0035	5.30	10.59
	5.0031	5.30	10.59
	5.0033	5.40	10.79
		เฉลี่ย	10.66
G	5.0038	2.20	4.39
	5.0043	2.20	4.39
	5.0029	2.10	4.19
		เฉลี่ย	4.33
H	5.0053	7.10	14.18
	5.0055	7.20	14.38
	5.0057	7.30	14.58
		เฉลี่ย	14.38
I	5.0056	12.50	24.97
	5.0128	14.20	28.32
	5.0078	13.70	27.35
		เฉลี่ย	26.88
J	5.015	7.70	15.35
	5.0237	5.30	10.5
	5.02	5.80	11.55
		เฉลี่ย	12.48
K	5.0028	5.50	10.99
	5.0031	5.50	10.99
	5.003	5.60	11.19
		เฉลี่ย	11.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณหา CEC

$$CEC = \frac{(A - B) \times N \times 100}{G}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของ HCl มาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาตรของ HCl มาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับ blank (ml)

N = ความเข้มข้นของ HCl มาตรฐาน (N)

G = น้ำหนักแห้งของดิน (g)

5. การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม

ตารางที่ ข – 8 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า Exchangeable K

สูตร	น้ำหนักดิน (กรัม)	ค่าที่อ่านได้ (ppm)	Exchangeable K (ppm)
A	5.0083	28.16	843.40
B	5.0078	32.67	978.57
C	5.0001	32.69	980.68
D	5.0073	16.79	502.96
E	5.0153	30.96	925.96
F	5.0142	32.96	985.99
G	5.0048	12.49	374.34
H	5.0082	32.92	985.98
I	5.0007	32.86	985.66
J	5.0021	32.32	969.19
K	5.005	26.86	804.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณหา Exchangeable K ,ppm

$$\text{Exchangeable K , ppm} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (ppm) X ปริมาตรของน้ำยาสกัด X dilution factor}}{\text{น้ำหนักดิน}}$$

เมื่อ น้ำหนักดิน (g)

ปริมาตรของน้ำยาสกัด = 50 ml

dilution factor = 3 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งของคะน้า

ตาราง ค – 1 แสดงน้ำหนักแห้งของผักคะน้า (การทดลองที่ 1)

Treatment (กรัม) / หน่วยทดลอง	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	-	0.2616	0.9035	5.9362	2.4575	-	3.6340	2.4356	-	-	-
2	-	-	-	5.3664	3.8236	-	-	-	-	-	0.396
3	-	-	1.7854	4.9132	2.1382	-	-	1.9370	4.3934	-	0.464
4	-	-	1.0280	5.8676	3.9642	-	-	-			
5	-	-	1.8751	-	-	-	3.6984	-			
6	-	-	-	6.9387	3.8314	-	2.5608	-			
เฉลี่ย	-	0.2616	1.3980	5.8044	3.2430	-	3.2977	2.1863	4.3934	-	0.430

ตาราง ค – 2 แสดงน้ำหนักแห้งของผักคะน้า (การทดลองที่ 2)

Treatment(กรัม) / หน่วยทดลอง	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	2.3137	1.9406	0.4101	0.0460	0.1389	0.3393	2.7531	1.5248	4.3700
2	2.2135	4.2971	-	0.0187	0.0570	-	0.5251	0.4681	0.4797
3	2.9182	0.2159	0.4193	-	0.0191	0.1742	1.3576	1.3805	6.2830
4	2.0674	1.7409	0.2317	-	0.0207	0.0379	3.5541	2.1080	3.3718
5	2.9605	2.3953	0.2384	-	0.0679	0.2764	0.1564	3.3629	3.0026
6	5.1146		0.5321		0.0498	0.1220		0.2248	
เฉลี่ย	2.4946	0.6356	0.3663	0.0324	0.0589	0.1899	2.5549	2.0941	4.2568

<u>หมายเหตุ</u> - คือ ไม่เจริญเติบโต

คือ ไม่มีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในพืช

1. การเตรียมตัวอย่างพืช

1.1 เทคนิคในการเลือกเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างพืชที่นำมาวิเคราะห์ต้องเป็นตัวแทนของพืชที่ปลูกอย่างแท้จริง ส่วนของพืช เช่น ต้น ใบ และราก รวมทั้งอายุของพืชและระยะการเจริญเติบโตจะต้องถูกบันทึกอย่างละเอียดขณะเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในพืชจะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุและส่วนต่าง ๆ ของพืช อนึ่งส่วนใดของพืชจะเหมาะสมที่สุดเพื่อใช้วิเคราะห์ธาตุอาหารนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ยกตัวอย่างเช่น ถั่วต่าง ๆ ใช้ใบอ่อนที่เจริญเต็มที่แล้ว ข้าวโพดใช้ใบตรงข้ามและใต้ฝัก เป็นต้น ส่วนระยะการเจริญเติบโตนั้นพวกถั่วจะสุ่มเก็บตัวอย่างใบเมื่อพืชอยู่ในระยะออกดอก ข้าวโพดเก็บเมื่อออกไหม สำหรับปาล์มน้ำมัน เมื่อต้นมีอายุ 2 – 3 ปี เก็บใบที่ 5 หลังจาก 5 ปี ขึ้นไปเลือกใบที่ 9

ในขณะเก็บตัวอย่างพืชให้ระวังการปนเปื้อน แหล่งที่มาของสารปนเปื้อนได้แก่ ดิน ฝุ่น สารเคมีที่พ่นเพื่อป้องกันกำจัดโรค แมลง และวัชพืช วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง เช่น ถุงกระดาษ ถุงผ้า กรรไกร แผ่นป้าย ฯลฯ ถ้าหากตัวอย่างพืชปนเปื้อนจะต้องมีการล้างให้สะอาดด้วยการจุ่มในสารละลายกรดเจือจางมักจะใช้ 0.1 N HCl และล้างออกด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง ผึ่งให้แห้งในที่ร่มก่อนจะนำเข้าตู้อบ การล้างตัวอย่างพืชอาจจะทำให้ธาตุอาหารบางชนิดที่ละลายน้ำได้ง่ายถูกชะล้างออกไป เช่น ทองแดง ดังนั้นถ้าหากตัวอย่างไม่มีสารปนเปื้อนมากนักจะไม่แนะนำให้ล้างเพียงแต่ใช้ผ้าที่สะอาดชุบน้ำเช็ดก็พอ

1.2 การอบแห้ง

ตัวอย่างพืชที่จะอบที่อุณหภูมิประมาณ 65 – 75 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้งสนิท อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสอาจจะทำให้องค์ประกอบบางอย่างในพืช เช่น โปรตีนสลายตัว ดังนั้นจะทำให้ค่าที่วิเคราะห์ผิดพลาด ในบางครั้งถาดโลหะอาจจะใช้เป็นภาชนะใส่ตัวอย่างพืชเพื่ออบแห้งได้เช่นกันแต่กินเนื้อที่ในเตาอบมาก อนึ่งถ้าจะต้องวิเคราะห์เหล็ก และสังกะสี ตัวอย่างพืชจะอบแห้งในถาดโลหะไม่ได้เด็ดขาด

ในการอบแห้งตัวอย่างพืชมักจะใช้เวลาน้อยที่สุด 24 ชั่วโมง หรืออาจนานถึง 48 – 72 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่าง โดยทั่วไปตัวอย่างจะต้องอบกระทั่งได้น้ำหนักแห้งคงที่ เที่อนำออกจากเตาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (30 นาที) แล้วต้องรีบชั่งน้ำหนักโดยเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิฉะนั้นพืชที่แห้งจะดูดความชื้นจากอากาศเข้าไปอีกทำให้น้ำหนักแห้งที่บันทึกมากกว่าที่เป็นจริง การชั่งน้ำหนักถ้าหากตัวอย่างน้อยควรนำออกจากถุงมาชั่งโดยตรง แต่ถ้าหากตัวอย่างมีขนาดใหญ่ให้ชั่งพร้อมถุงและหักน้ำหนักถุงออกภายหลัง

2. การย่อยสลายตัวอย่าง

2.1 บดตัวอย่างพืชให้มีขนาดเล็กพอเหมาะที่จะนำไปใส่หลอดย่อย

2.2 ชั่งตัวอย่างพืช 0.5 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง

2.3 เติมกรด HNO_3 เข้มข้น 4 มล. ปิดฝาหลอดย่อยให้สนิท จากนั้นนำเข้าเครื่อง Microwave Digestion แล้วตั้งโปรแกรมการย่อย

2.4 เมื่อครบกำหนดเวลานำออกมาหล่อเย็นประมาณ 30 นาที

2.5 นำหลอดย่อยออกมา จากนั้นถ่ายสารละลายที่ได้ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มล. ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มล.

2.6 ถ่ายสารละลายเก็บไว้ในขวดพลาสติกเพื่อจะนำไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า

ตาราง จ – 1 ตารางแสดงปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า (%) ของการทดลองครั้งที่ 1

สูตร	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	Fe	Mn
A	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
เฉลี่ย	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0.0062	ND	0.0035	0.0697	0.0337	0.0056	0.3169	0.1979
	0.0075	ND	0.0012	0.0705	0.0335	0.0063	0.3155	0.1619
เฉลี่ย	0.0685	-	0.0024	0.0701	0.0336	0.006	0.3162	0.1799
C	0.0559	ND	0.0045	0.0673	0.0069	0.0062	0.1581	0.3569
	0.058	ND	0.0025	0.0787	0.0072	0.0057	0.1493	0.4316
เฉลี่ย	0.057	-	0.0035	0.073	0.0071	0.006	0.1537	0.3942
D	ND	ND	0.0047	0.0886	0.0076	0.0055	0.3233	0.1258
	ND	ND	0.015	0.077	0.0076	0.0066	0.5033	0.1028
เฉลี่ย	-	-	0.031	0.0793	0.0076	0.0061	0.4133	0.1143
E	ND	ND	0.084	0.0935	0.008	0.0067	0.3005	0.1107
	ND	ND	0.046	0.0925	0.0081	0.0071	0.3635	0.0807
เฉลี่ย	-	-	0.065	0.093	0.008	0.0069	0.332	0.0957
F	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
เฉลี่ย	-	-	-	-	-	-	-	-
G	0.0217	ND	0.0086	0.1094	0.0092	0.0092	0.2179	0.3249
	0.0144	ND	0.0084	0.1046	0.009	0.0076	0.1898	0.3252
เฉลี่ย	0.018	-	0.0085	0.107	0.0091	0.0084	0.2038	0.3251
H	ND	ND	0.013	0.1094	0.0106	0.0061	0.1607	0.0474
	ND	ND	0.0097	0.1079	0.0103	0.0053	0.2118	0.055
เฉลี่ย	-	-	0.0114	0.1086	0.0104	0.0057	0.1862	0.0487
I	ND	ND	0.0146	0.1043	0.0105	0.0066	0.1525	0.2837
	ND	ND	0.0196	0.1069	0.0109	0.0077	0.179	0.3521
เฉลี่ย	-	-	0.0171	0.1056	0.0107	0.0072	0.1657	0.3177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ – 1 ตารางแสดงปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า (%) (ต่อ)

สูตร	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	Fe	Mn
J	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
เฉลี่ย	-	-	-	-	-	-	-	-
K	ND	ND	0.0142	0.1368	0.0102	0.009	0.4215	0.2676
	ND	ND	0.0129	0.1314	0.0108	0.0106	0.3681	0.2549
เฉลี่ย	-	-	0.0716	0.1341	0.0105	0.0098	0.3948	0.2638

หมายเหตุ NG = No Growth (ไม่เจริญเติบโต)

ND = No Detect (ไม่สามารถตรวจวัดได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
แผนงานทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
(Completely Randomized Design)

1) ลักษณะแผนงานทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

แผนงานทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์หรือแผนงานทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) เป็นแผนงานทดลองแบบที่ง่ายที่สุด เหมาะสำหรับงานทดลองที่การทดลองมีความสม่ำเสมอกัน ไม่มีความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น อายุ น้ำหนัก เป็นต้น หรือแม้จะมีความแปรผันน้อยมาก CRD สามารถใช้กับการทดลองที่มีทรีทเมนท์จำนวนมากๆ ได้ และแต่ละทรีทเม็นท์ไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนหน่วยทดลองเท่ากันหรือมีจำนวนซ้ำกัน

2) การสุ่มและการวางรูปผังการทดลอง (Randomization and Experimental Lay-out)

วิธีสุ่มหรือการจัดหน่วยทดลองให้รับทรีทเมนท์ ใช้วิธีสุ่มธรรมดา คือ ให้ทุกๆ หน่วยทดลองมีโอกาสเท่าๆ กัน ในการรับทรีทเมนท์ใดทรีทเมนท์หนึ่ง เช่น ถ้ามีสัตว์ทดลอง 6 ตัว และมีทรีทเมนท์ 3 ทรีทเมนท์ โอกาสที่สัตว์ทดลองตัวใดตัวหนึ่งจะได้รับทรีทเมนท์ที่ 1 เท่ากับ 1/6

ตัวอย่างการวางรูปผังการทดลอง

- ให้หน่วยทดลองมีทั้งหมด 15 หน่วยทดลอง
- ทรีทเมนท์มีทั้งหมด 3 ทรีทเมนท์
- จัดวางรูปผังการทดลองได้ดังตาราง

1	2	3	4	5	6	7	
T3	T2	T2	T2	T2	T3	T3	
8	9	10	11	12	13	14	15
T1	T1	T1	T3	T1	T1	T3	T2

3) ข้อดีและข้อเสียของการทดลองแบบสุ่ม

ข้อดี

- เป็นแผนงานทดลองที่สามารถยืดหยุ่นจำนวนทรีทเมนท์และจำนวนซ้ำได้ เพราะจำนวนทรีทเมนท์และจำนวนซ้ำถูกจำกัดโดยจำนวนหน่วยทดลองที่มีอยู่ทั้งหมด ดังนั้น จำนวนซ้ำขึ้นอยู่กับจำนวนทรีทเมนท์ จำนวนซ้ำอาจไม่เท่ากันในแต่ละทรีทเมนท์ก็ได้ แต่โดยทั่วไปนิยมให้มีจำนวนซ้ำเท่ากันทุกทรีทเมนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อมีข้อมูลเสียหายหรือบันทึกไม่ได้จะมีผลกระทบกระเทือนต่อการทดลองน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่น

- การวิเคราะห์ผลทางสถิติค่อนข้างง่ายและสะดวก ไม่ยุ่งยากซับซ้อน แม้จะใช้จำนวนซ้ำไม่เท่ากันทุกทรีทเมนท์

- มีจำนวนระดับขั้นความเสรีของความคลาดเคลื่อนจากการทดลองสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแผนงานทดลองแบอื่น

ข้อเสีย

- แผนงานทดลอง CRD จะใช้ได้ดีเฉพาะในกรณีที่หน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอ ถ้าหน่วยทดลองมีความแปรผันมากจะใช้แผนงานทดลองแบบนี้ไม่ได้ เพราะจะทำให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองสูงมาก

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับจำนวนประชากรที่ต้องการทดสอบมีมากกว่า 2 หมู่ หรืออาจกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับตัวแปรหรือปัจจัยที่ต้องการศึกษา ซึ่งอาจมีเพียงปัจจัยเดียวหรือหลาย ๆ ปัจจัยก็ได้ แต่ละปัจจัยแยกออกเป็นหลาย ๆ ระดับหรือหลายชนิด ซึ่งระดับหรือชนิดของตัวแปรก็คือทรีทเมนท์ นั่นเอง ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน เราจะแยกความแปรผันทั้งหมดที่เกิดขึ้นเนื่องจากส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสม เนื่องจากความแปรผันที่เกิดขึ้นในการทดลองเป็นผลเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น ความแปรผันที่เกิดขึ้นภายในประชากรแต่ละกลุ่มหรือภายในทรีทเมนท์เดียวกัน และความแปรผันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ทรีทเมนท์ต่างกัน

การจำแนกข้อมูลด้วยคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งหรืออาศัยปัจจัยเพียงอย่างเดียงเรียกว่าการจำแนกแบบทางเดียว (one – way classification) การวิเคราะห์ข้อมูลกรณีนี้เรียกว่าการวิเคราะห์ทางเดียว แต่ถ้าเราจำแนกข้อมูลด้วยคุณลักษณะหรือปัจจัย 2 ประการ เรียกว่า การจำแนกแบบ 2 ทาง (two – way classification) การวิเคราะห์ข้อมูลในกรณีนี้เรียกว่า การวิเคราะห์ 2 ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองครั้งที่ 1

ตาราง ช – 1 แสดงการวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักแห้งของคะน้า

ทรีทเมนท์(กรัม) / หน่วยทดลอง	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	รวม
1	--	0.2616	0.9035	5.9362	2.4575	--	3.6340	2.4356	--	--	--	
2	--	--	**	5.3664	3.8236	--	**	**	--	--	0.3963	
3	--	--	1.7854	4.9132	2.1382	--	--	1.9370	4.3934	--	0.4645	
4	--	--	1.0280	5.8686	3.9642	--	--	--				
5	--	--	1.8751	--	--	--	3.6980	--				
6	--	--	--	6.9387	3.8314	--	2.5608	--				
รวม	--	0.2616	5.5920	29.0221	16.2149	--	9.8932	4.3726	4.3934	--	0.8608	70.6106

หมายเหตุ ** คือ ตัดข้อมูล

-- คือ ไม่เจริญเติบโต

คือ ไม่มีการทดลอง

วิธีการคำนวณ

1) $\frac{X^2}{N} = \frac{(70.6166)^2}{23} = 216.78$

$t \quad ri$

2) $\sum_{i=1}^{} \sum_{j=1}^{} X_{ij}^2 = 0.2616^2 + 0.9035^2 + 1.7854^2 + \ldots + 0.4645^2 = 297.82$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3)\ \sum_{i=1}^{t} \frac{Xi^2}{ri} = \frac{0.2616^2}{1} + \frac{5.592^2}{4} + \ldots\ldots + \frac{0.8608^2}{2} = 290.77$$

4) SST = 2) - 1) = 81.04

5) SSTr = 3) - 1) = 73.99

6) SSE = SST - SSTr = 7.05

หมายเหตุ

X = ผลรวมของน้ำหนักแห้งทั้งหมด

N = จำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด

Xij = น้ำหนักแห้งของผักคะน้าในแต่ละสูตร

Xi = ผลรวมของน้ำหนักแห้งของผักคะน้าในแต่ละสูตร

ri = จำนวนหน่วยทดลองในแต่ละสูตร

SST = ผลบวกกำลังสองของทั้งหมด (total sum of squares)

SSTr = ผลบวกกำลังสองของทรีทเมนท์ (treatment sum of squares)

SSE = ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (error sum of squares)

โดย SST = SSTr + SSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ช – 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (ANOVA – one way classification)

สมมุติฐาน Ho = สูตรทั้ง 8 สูตรไม่แตกต่างกัน

H1 = สูตรทั้ง 8 สูตร มีอย่างน้อย 2 สูตรที่แตกต่างกัน

แหล่งของความแปรปรวน (source of variation)	SS (sum of square)	df (degree of freedom)	MS (mean squares)	F
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (treatment - SSTr)	73.99	7	10.57	22.49
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (error - SSE)	7.05	15	0.47	
ความแปรปรวนรวม (total - SST)	81.04	22		

จากตาราง F – test (α = 0.01)

$F_{7,15}$ (α = 0.01) = 4.14

F ที่คำนวณได้ = 22.49

ดังนั้น ค่า F ที่ได้ตกอยู่ในเขตวิกฤตจึงปฏิเสธสมมุติฐาน Ho

สรุปว่า สูตรทั้ง 8 มีอย่างน้อย 2 สูตรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

ตาราง ช – 3 แสดงการวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักแห้งของคะน้า

ทรีทเมนท์(กรัม) / หน่วยทดลอง	A	B	C	D	E	F	G	H	I	รวม
1	2.3137	1.9406	0.4101	0.0460	0.1389	0.3393	2.7531	1.5248	4.3700	
2	2.2135	**	--	0.0187	0.0570	--	**	**	**	
3	2.9182	0.2159	0.4193	--	0.0191	0.1742	1.3576	1.3808	6.2830	
4	2.0674	1.7409	0.2317	--	0.0207	0.0379	3.5541	2.1080	3.3718	
5	2.9605	2.3953	0.2384	--	0.0679	0.2764	**	3.3629	3.0026	
6	**		0.5321		0.0498	0.1220		**		
รวม	12.473	0.2616	1.8316	0.0647	0.3534	0.9498	7.6648	8.3765	17.027	55.0342

หมายเหตุ ** คือ ตัดข้อมูล

-- คือ ไม่เจริญเติบโต

คือ ไม่มีการทดลอง

วิธีการคำนวณ

1) $\frac{X^2}{N} = \frac{(55.0342)^2}{38} = 79.7$

2) $\sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{ri} X_{ij}^2 = 2.3137^2 + 2.2135^2 + 2.9182^2 + \ldots + 3.0026^2 = 166.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3)\ \sum_{i=1}^{t} \frac{Xi^2}{ri} = \frac{12.4733^2}{5} + \frac{6.2927^2}{4} + \ldots\ldots + \frac{17.0274^2}{4} = 151.5$$

4) SST = 2) - 1) = 86.7

5) SSTr = 3) - 1) = 71.8

6) SSE = SST - SSTr = 14.9

หมายเหตุ

X = ผลรวมของน้ำหนักแห้งทั้งหมด

N = จำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด

Xij = น้ำหนักแห้งของผักคะน้าในแต่ละสูตร

Xi = ผลรวมของน้ำหนักแห้งของผักคะน้าในแต่ละสูตร

ri = จำนวนหน่วยทดลองในแต่ละสูตร

SST = ผลบวกกำลังสองของทั้งหมด (total sum of squares)

SSTr = ผลบวกกำลังสองของทรีทเมนท์ (treatment sum of squares)

SSE = ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (error sum of squares)

โดย SST = SSTr + SSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ช – 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (ANOVA – one way classification)

สมมุติฐาน Ho = สูตรทั้ง 9 สูตรไม่แตกต่างกัน

H1 = สูตรทั้ง 9 สูตร มีอย่างน้อย 2 สูตรที่แตกต่างกัน

แหล่งของความแปรปรวน (source of variation)	SS (sum of square)	df (degree of freedom)	MS (mean squares)	F
ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (treatment - SSTr)	71.8	8	9.25	18.14
ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (error - SSE)	14.9	29	0.51	
ความแปรปรวนรวม (total - SST)	86.7	37		

จากตาราง F – test (α = 0.01)

$F_{8,29}$ (α = 0.01) = 3.20

F ที่คำนวณได้ = 18.14

ดังนั้น ค่า F ที่ได้ตกอยู่ในเขตวิกฤตจึงปฏิเสธสมมุติฐาน Ho

สรุปว่า สูตรทั้ง 9 มีอย่างน้อย 2 สูตรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการทดลองครั้งที่ 2

ตาราง ช – 5 แสดงการวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักแห้งของผักคะน้าระหว่างสูตร A กับ G

ทรีทเมนท์ / หน่วยทดลอง	A (กรัม)	G (กรัม)
1	2.3137	2.7531
2	2.2135	**
3	2.9182	1.3576
4	2.0674	3.5541
5	2.9605	**
6	**	
เฉลี่ย	2.4947	2.5549

หมายเหตุ ** ตัดข้อมูล ไม่มีการทดลอง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ t-test

เปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักแห้งของพืชสูตร A กับ G

H_0 : น้ำหนักแห้งของพืชสูตร A และ G ไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : น้ำหนักแห้งของพืชสูตร A และ G มีความแตกต่างกัน

เมื่อ

$\overline{X}_1$ = น้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยของสูตร A = 2.4947 กรัม

$\overline{X}_2$ = น้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยของสูตร G = 2.5549 กรัม

N_1 = จำนวนหน่วยการทดลองของสูตร A

N_2 = จำนวนหน่วยการทดลองของสูตร G

จากสูตร $S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \overline{x})^2}{N-1}}$,df $= n_1 + n_2 - 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณจะได้

S_1 = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสูตร A = 0.4156

S_2 = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสูตร G = 1.1116

Df = 6

จากสูตร $$t = \frac{(\overline{X}_1 - \overline{X}_2)}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{df}\left[\frac{(n_1+n_2)}{n_1 n_2}\right]}}$$

จากการคำนวณจะได้

t = 0.1135

เมื่อเปิดตาราง t –test ที่ df = 6 ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 3.143

จากค่า t ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.1135 ซึ่งตกอยู่ในเขตวิกฤต

แสดงว่ายอมรับ H_0 คือ น้ำหนักแห้งของพืชสูตร A และสูตร G ไม่มีความแตกต่างกัน

ตาราง ช – 6 แสดงการวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักแห้งของผักคะน้าระหว่างสูตร A กับ H

ทรีทเมนท์ / หน่วยทดลอง	A (กรัม)	H (กรัม)
1	2.3137	1.5248
2	2.2135	**
3	2.9182	1.3808
4	2.0674	2.1080
5	2.9605	3.3629
6	**	**
เฉลี่ย	2.4947	2.0941

หมายเหตุ ** ตัดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_0 : น้ำหนักแห้งของพืชสูตร A และสูตร H ไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : น้ำหนักแห้งของพืชสูตร A และสูตร H มีความแตกต่างกัน

เมื่อ

$\bar{X}_1$ = น้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยของสูตร A = 2.4947 กรัม

$\bar{X}_2$ = น้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยของสูตร H = 2.0941 กรัม

N_1 = จำนวนหน่วยการทดลองของสูตร A

N_2 = จำนวนหน่วยการทดลองของสูตร H

จากสูตร $S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$,$df = n_1 + n_2 - 2$

จากการคำนวณจะได้

S_1 = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสูตร A = 0.4156

S_2 = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสูตร H = 0.9024

Df = 7

จากสูตร $t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{df} \left[\frac{(n_1+n_2)}{n_1 n_2}\right]}}$

จากการคำนวณจะได้

t = 1.085

เมื่อเปิดตาราง t –test ที่ df = 7 ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 2.998

จากค่า t ที่คำนวณได้เท่ากับ 1.085 ซึ่งตกอยู่ในเขตวิกฤต

แสดงว่ายอมรับ H_0 คือ น้ำหนักแห้งของพืชสูตร A และสูตร H ไม่มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้