การศึกษาความเหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว

FEASIBILITY STUDY OF WASTEWATER SLUDGE FROM PEANUT FOOD FACTORY TO IMPROVE SOIL FOR RICE PLANTING

กัณฑมาศ อยู่เจริญ

KANTAMAS UJAROEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-SC-M-016-020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY OF WASTEWATER SLUDGE FROM PEANUT FOOD FACTORY TO IMPROVE SOIL FOR RICE PLANTING

KANTAMAS UJAROEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

KMITL-2013-SC-M-016-020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2013

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสง เพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว
Feasibility Study of Wastewater Sludge form Peanut Food Factory to Improve Soil for Rice Planting

นักศึกษา นางสาวกัณฑิมาศ อยู่เจริญ
รหัสประจำตัว 53651202
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์	สารชัยสิทธิ์	
ผศ.ดร.ชลอ	จารุสุทธิรัฐ	
ดร.เสาวภาค	สุขตระกูลเวศ	
ผศ.ดร.ชมพูนุท	ไชยรักษ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 **เวลา** 09.30 – 12.30 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง 502 ชั้น 5 อาคารจุฬาภรณวลัยลักษณ์ 1

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.คมสัน ธนะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
วันที่ 23 **เดือน** [illegible] **พ.ศ.** 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว
นักศึกษา	นางสาวกัณฑมาศ อยู่เจริญ
รหัสประจำตัว	53651202
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสมของการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว ทำการทดลองโดยใช้กากตะกอนผสมกับดิน ตามอัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสีย 0, 12, 24, 36 และ 48 kg/m^2 ดินที่ใช้มาจากแปลงนา 2 แหล่ง คือ ดินนาจังหวัดสมุทรปราการ และดินนาจังหวัดสุพรรณบุรี พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการปลูกมี 3 สายพันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว หลังการเก็บเกี่ยวทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเมล็ดและลำต้น การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นสู่เมล็ด การประเมินความสมดุลของโลหะหนักในระบบ และศึกษาอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียผสมกับดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว จากการศึกษาสมบัติของดินผสมกากตะกอนน้ำเสียก่อนการปลูกข้าว พบว่า ค่า CEC, OM, total N, avail. P และ avail. K สูงขึ้นเมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียลงไปในดินมากขึ้น และมีปริมาณของ Zn และ Cu ในบางชุดการทดลอง เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย ส่วนหลังการปลูกข้าว ค่า EC, OM, total N, avail. P และ avail. K ในดินผสมกากตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลง ข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 พบปริมาณโลหะหนักในลำต้นมากกว่าในเมล็ด ซึ่งปริมาณโลหะหนักยังอยู่ในระดับมาตรฐานปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช ยกเว้นปริมาณ Fe ในต้นข้าวที่มีปริมาณสูงกว่ามาตรฐาน ค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นไปสู่เมล็ดมีค่าน้อย สำหรับอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 ในดินนาสมุทรปราการ คือ 12 kg/m^2 และดินนาสุพรรณบุรี คือ 36 kg/m^2 จากอัตราส่วนนี้จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูง และมีคุณภาพดีมากที่สุด และจากการประเมินความสมดุลของโลหะหนักในระบบพบว่าในดินนาสมุทรปราการ (12 kg/m^2) มีปริมาณของ Fe, Zn, Cu และ Mn สูญหายไปจากระบบมากกว่าปริมาณโลหะหนักในดินนาสุพรรณบุรี (36 kg/m^2)

คำสำคัญ: กากตะกอนน้ำเสีย, โลหะหนัก, โรงงานแปรรูปถั่วลิสง, การปรับปรุงดิน, ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Feasibility Study of Wastewater Sludge from Peanut Food Factory to Improve Soil for Rice Planting
Student	Ms. Kantamas Ujaroen
Student ID	53651202
Degree	Master of Science
Program	Environmental Chemistry
Year	2013
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

ABSTRACT

The aim of this research was to study of wastewater sludge from peanut food factory to improve soil for rice planting. Paddy soils from Samutprakarn and Suphanburi were supplemented with various concentrations of wastewater sludge (0, 12, 24, 36 and 48 kg/m^2). Three types of rice (Khao Dawk Mali 105, Pathumthani 80 and RD1) were experimented. Chemical characteristics of soil and wastewater sludge were analyzed before and after planting. After harvesting, the concentration of heavy metals in grain and stem, translocation factor of heavy metals from stem to grain and mass balance of heavy metals were analyzed. The optimum conditions for the growth of rice were studied. It was found that the higher the amount of sludge mixing with soil, the higher the concentration of CEC, OM, total N, and avail. P and K were found in soil mixture. After mixing of sludge with soil, the concentration of Zn and Cu were found to be above Thailand permissible range of heavy metals in soil. After planting the rice, the value of EC, CEC, OM, total N, and avail. P and K were decreased significantly compared to those before planting. The concentration of heavy metals in grain and stem (Khao Dawk Mali 105, Pathumthani 80 and RD 1) were not higher than the standard limit for human consumption, except the concentration of Fe in stem. The translocation factor from stem to grain was low. The optimum ratio of sludge to Samutprakarn paddy soil was 12 kg/m^2 and the optimum ratio of sludge to Suphanburi paddy soil was 36 kg/m^2. From the heavy metals mass balance analysis, the loss of Fe, Zn, Cu and Mn from Samutprakarn paddy soil (12 kg/m^2) were higher than the loss of heavy metals from Suphanburi paddy soil (36 kg/m^2).

Keywords: wastewater sludge, heavy metals, peanut food factory, soil improvement, rice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุลวงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธ์ และผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวศ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำ ความถูกต้อง และเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณสมชาย เอี่ยมเยี่ยมดี รองผู้จัดการโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) และเจ้าหน้าที่ควบคุมบ่อบำบัดน้ำเสีย ที่อนุเคราะห์ข้อมูล และตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียมาทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาเคมีและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ว่าที่ร้อยตรีวิฑูรย์ แพรขาว ที่ช่วยให้คำปรึกษา ตรวจสอบความเรียบร้อย และเป็นกำลังใจให้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุลวงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

นางสาวกัณฑมาศ อยู่เจริญ
ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VIII

สารบัญรูป..... XIV

คำย่อและสัญลักษณ์..... XVI

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแปรรูปถั่วลิสง (โรงงาน แม่รวย จำกัด: โก๋แก่)..... 3

2.2 กากตะกอนน้ำเสีย (Wastewater Sludge)..... 3

2.2.1 การเกิดกากตะกอนน้ำเสีย..... 4

2.2.2 ลักษณะของกากตะกอนน้ำเสีย..... 4

2.2.3 การกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย..... 5

2.2.4 การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร..... 6

2.3 โลหะหนัก..... 8

2.3.1 ผลกระทบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสีย..... 8

2.3.2 ข้อควรคำนึงในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์..... 11

2.4 ดิน..... 12

2.4.1 เนื้อดิน..... 13

2.4.2 ปริมาณอนุภาคดินเหนียว..... 13

2.4.3 อินทรียวัตถุ..... 13

2.4.4 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก..... 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.5 ความเค็มของดิน..... 15
2.4.6 ความเป็นกรดด่างของดิน (pH ของดิน)..... 15
2.4.7 น้ำ..... 16
2.4.8 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช..... 17
2.4.9 ลักษณะดินจังหวัดสมุทรปราการ..... 21
2.4.10 ลักษณะดินจังหวัดสุพรรณบุรี..... 22
2.5 ข้าว..... 22
2.5.1 พฤกษศาสตร์ทั่วไป..... 22
2.5.2 การจำแนกชนิดข้าว..... 23
2.5.3 พันธุ์ข้าว..... 24
2.5.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม..... 26
2.5.5 การทำนาดำ (Transplanting rice)..... 29
2.5.6 การใช้แผ่นเทียบสีใบข้าว (Leaf Color Chart: LCC)..... 33
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 39
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี..... 39
3.1.1 อุปกรณ์..... 39
3.1.2 สารเคมี..... 39
3.2 ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ดิน และพืช..... 40
3.2.1 แหล่งที่มาของกากตะกอนน้ำเสีย..... 40
3.2.2 แหล่งที่มาของดิน..... 41
3.2.3 พืชทดลอง..... 42
3.3 การดำเนินการทดลอง..... 42
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียสำหรับการวิเคราะห์..... 42
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการวิเคราะห์..... 42
3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย และดิน..... 43
3.3.4 การเตรียมตัวอย่างพืชสำหรับการวิเคราะห์..... 43
3.3.5 การวางแผนการทดลอง..... 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.6 ขั้นตอนการปลูกข้าว และบันทึกผล..... 44

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 45

3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 45

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก (Translocation factor, TF)..... 46

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... 47

4.1 สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียก่อนปลูกพืช..... 47

4.1.1 สมบัติทั่วไป..... 47

4.1.2 ปริมาณโลหะหนัก และจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn)..... 49

4.2 สมบัติทางเคมีของดินนา (สมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ ก่อนปลูกข้าว..... 51

4.2.1 สมบัติทั่วไป..... 51

4.2.2 ปริมาณโลหะหนัก และจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn)..... 55

4.3 สมบัติทางเคมีของดินนา (สมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ หลังปลูกข้าว..... 58

4.3.1 สมบัติทั่วไป..... 58

4.3.2 ปริมาณโลหะหนัก และจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn)..... 63

4.4 ผลผลิตของข้าว..... 67

4.4.1 ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 67

4.4.2 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80..... 67

4.4.3 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข1..... 69

4.5 การเจริญเติบโตของข้าว..... 70

4.5.1 ความสูงของต้นข้าว..... 70

4.5.2 ความยาวของรากข้าว..... 75

4.5.3 การวัดสีใบข้าว..... 76

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในข้าว..... 79

4.6.1 ปริมาณโลหะหนักในข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6.2 ปริมาณโลหะหนักในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80..... 79

4.6.3 ปริมาณโลหะหนักในข้าวพันธุ์ กข1..... 79

4.6.4 การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก (Translocation factor, TF) จากลำต้นสู่เมล็ดข้าว..... 84

4.6.5 การประเมินความสมดุลของโลหะหนักในระบบ..... 86

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 87

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 87

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 88

เอกสารอ้างอิง..... 89

ภาคผนวก..... 95

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ดิน กากตะกอนน้ำเสีย และพืช..... 96

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์กากตะกอนน้ำเสีย และดิน..... 105

ภาคผนวก ค ผลการเจริญเติบโตของข้าว..... 134

ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน..... 146

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในพืช..... 168

ภาคผนวก ฉ สมดุลมวล (Mass balance)..... 183

ภาคผนวก ช การวิเคราะห์ทางสถิติ..... 190

ประวัติผู้เขียน..... 207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนน้ำเสีย.....	9
2.2	พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดต่อพืชและสัตว์ เกิดความเป็นพิษในดินกรด.....	12
2.3	ปริมาณเฉลี่ย (ppm) ของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมในดินภาคต่าง ๆ.....	21
3.1	เครื่องมือและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน และกากตะกอนน้ำเสีย ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว.....	43
3.2	เครื่องมือ และวิธีวิเคราะห์โลหะหนักของพืช.....	44
3.3	อัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสีย และดินที่ใช้ปลูกข้าว.....	45
4.1	สมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่).....	49
4.2	ปริมาณโลหะหนักของกากตะกอนน้ำเสียโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่).....	50
4.3	คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองก่อนปลูกข้าว.....	52
4.4	ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองก่อนปลูกข้าว.....	57
4.5	คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105.....	60
4.6	คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 80.....	61
4.7	คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1.....	62
4.8	ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105.....	64
4.9	ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80.....	65
4.10	ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.11 ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ 68

4.12 ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ 68

4.13 ผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ 69

4.14 ความยาวของรากข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง 76

4.15 การวัดสีของใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง 78

4.16 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 81

4.17 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 82

4.18 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1 83

4.19 การเคลื่อนที่ของโลหะหนักจากต้นสู่เมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง 85

4.20 การประเมินค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักในดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย 12 kg/m^2 สำหรับดินนาสมุทรปราการ และ 36 kg/m^2 สำหรับดินนาสุพรรณบุรี 86

ข-1 อนุภาคที่แพร่กระจายในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี 105

ข-2 ผลการวิเคราะห์ดิน และกากตะกอนน้ำเสีย ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF).... 106

ข-3 ความชื้น พีเอช การนำไฟฟ้า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และอินทรียวัตถุในกากตะกอนน้ำเสีย 107

ข-4 ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย 108

ข-5 ความชื้นในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 112

ข-6 ความชื้นในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข-7 ค่าพีเอช (pH) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข 1..... 115

ข-8 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าว (ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข 1)..... 116

ข-9 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 117

ข-10 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1..... 118

ข-11 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 120

ข-12 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1..... 121

ข-13 ปริมาณไนโตรเจนในดินทั้งหมด (Total N) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 123

ข-14 ปริมาณไนโตรเจนในดินทั้งหมด (Total N) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี80 และ กข1..... 124

ข-15 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 126

ข-16 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1..... 127

ข-17 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Avail. K) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 130

ข-18 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Avail. K) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1..... 131

ค-1 น้ำหนักเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1..... 135

ค-2 ความสูงของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ..... 137

ค-3 ความสูงของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี..... 138

ค-4 ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ..... 139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-5	ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี	140
ค-6	ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ	141
ค-7	ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี	142
ค-8	ความยาวรากข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 พันธุ์ และกข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี	143
ค-9	น้ำหนักต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และกข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี	144
ค-10	ค่า LCC (Leaf Color Chart, LCC) ของใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี และ พันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี	145
ง-1	ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในกากตะกอนน้ำเสีย	146
ง-2	ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในกากตะกอนน้ำเสีย	146
ง-3	ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในกากตะกอนน้ำเสีย	147
ง-4	ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในกากตะกอนน้ำเสีย	147
ง-5	ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินก่อนปลูกข้าว	148
ง-6	ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105	149
ง-7	ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80	150
ง-8	ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1	151
ง-9	ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินก่อนปลูกข้าว	152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง-10 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 153

ง-11 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80..... 154

ง-12 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1..... 155

ง-13 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินก่อนปลูกข้าว..... 156

ง-14 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 157

ง-15 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80..... 158

ง-16 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1..... 159

ง-17 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินก่อนปลูกข้าว..... 160

ง-18 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 161

ง-19 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80..... 162

ง-20 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1..... 163

จ-1 ปริมาณเหล็กในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 169

จ-2 ปริมาณเหล็กในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80..... 170

จ-3 ปริมาณเหล็กในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1..... 171

จ-4 ปริมาณสังกะสีในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105..... 172

จ-5 ปริมาณสังกะสีในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80..... 173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ-6	ปริมาณสังกะสีในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1	174
จ-7	ปริมาณทองแดงในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105	175
จ-8	ปริมาณทองแดงในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80	176
จ-9	ปริมาณทองแดงในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1	177
จ-10	ปริมาณแมงกานีสในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105	178
จ-11	ปริมาณแมงกานีสในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80	179
จ-12	ปริมาณแมงกานีสในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1	180
ฉ-1	ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของเหล็ก (Fe) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)	184
ฉ-2	ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของสังกะสี (Zn) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)	185
ฉ-3	ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของทองแดง (Cu) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)	186
ฉ-4	ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของแมงกานีส (Mn) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)	187
ช-1	ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของค่า CEC ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์	190
ช-2	ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์	196
ช-3	ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณทองแดง (Cu) ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 80 และ พันธุ์ กข1 ในดินนา 2 แหล่ง ที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ	201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	คำแนะนำในการใส่ปุ๋ยในนาข้าว	33
2.2	ตัวอย่างการอ่าน LCC	34
3.1	บ่อผึ่งกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่)	41
3.2	ดินดำ ตราดินละโว้	41
3.3	(ก) แปลงนาแหล่งที่ 1 จังหวัดสมุทรปราการ (ข) แปลงนาแหล่งที่ 2 จังหวัดสุพรรณบุรี	42
3.4	แผนการทดลองจากการจับสลากในกลุ่ม Sub plot ทั้ง 3 กลุ่ม	44
4.1	(ก) กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน แม่รวยจำกัด (โก๋แก่) (ข) กากตะกอนน้ำเสียหลังผึ่งลมจนแห้ง	47
4.2	(ก) ลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 48 kg/m^2 ที่ผสมในดินนาสมุทรปราการ (DSA) เทียบกับดินชุดควบคุม (ASA) (ข) ลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 48 kg/m^2 ที่ผสมในดินนาสุพรรณบุรี (DSU) เทียบกับดินชุดควบคุม (ASU)	51
4.3	ความสูงของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (ก) และในดินนาสุพรรณบุรี (ข)	71
4.4	ความสูงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (ก) และในดินนาสุพรรณบุรี (ข)	73
4.5	ความสูงของข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (ก) และในดินนาสุพรรณบุรี (ข)	74
4.6	สีใบข้าว และลักษณะของใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ	77
ก-1	การแบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงนาจังหวัดสมุทรปราการ	96
ข-1	ตารางสามเหลี่ยมสำหรับใช้พิจารณาประเภทของดิน	105
ข-2	กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสของกากตะกอนน้ำเสีย	109
ข-3	กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมของกากตะกอนน้ำเสีย	110
ข-4	กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสของดินก่อนปลูกข้าวและดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105	128
ข-5	กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสของดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และกข1	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข-6	กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมของดินก่อนการปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1	132
ง-1	กราฟมาตรฐานของเหล็กทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน	164
ง-2	กราฟมาตรฐานของเหล็กที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน	164
ง-3	กราฟมาตรฐานของสังกะสีทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน	164
ง-4	กราฟมาตรฐานของสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน	164
ง-5	กราฟมาตรฐานของทองแดงทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย	165
ง-6	กราฟมาตรฐานของทองแดงทั้งหมดในดิน	165
ง-7	กราฟมาตรฐานของทองแดงที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน	165
ง-8	กราฟมาตรฐานของแมงกานีสทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน	165
ง-9	กราฟมาตรฐานของแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน	166
จ-1	กราฟมาตรฐานของเหล็กในเมล็ดและต้นข้าว	181
จ-2	กราฟมาตรฐานของสังกะสีในเมล็ดและต้นข้าว	181
จ-3	กราฟมาตรฐานของทองแดงในเมล็ดและต้นข้าว	181
จ-4	กราฟมาตรฐานของแมงกานีสในเมล็ดและต้นข้าว	181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

กก./ไร่	กิโลกรัมต่อไร่
ซม.	เซนติเมตร
ลบ.ม./วัน	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชั่น สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
avail. K	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
avail. P	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
cmol/kg	มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม
EC	ค่าการนำไฟฟ้า
g	กรัม
kg/m^2	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
L	ลิตร
LCC	แผ่นเทียบสีใบข้าว (Leaf Color Chart, LCC)
M	โมลาร์
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
ml	มิลลิลิตร
mS/cm	มิลลิซิเมนต่อเซนติเมตร
N	นอร์มอล
OM	สารอินทรีย์
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน
Total N	ไนโตรเจนทั้งหมด
XRF	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์
°C	องศาเซลเซียส
%	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

โรงงานอุตสาหกรรมทางด้านอาหารหลายแห่ง มีกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของการบำบัดน้ำเสียเป็นจำนวนมาก รวมถึงกากตะกอนน้ำเสียภายในโรงงานแปรรูปถั่วลิสง ซึ่งในแต่ละเดือนต้องมีกระบวนการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียเหล่านี้ในปริมาณมาก โดยวิธีการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่นิยมใช้ ได้แก่ การฝังกลบ การเผา แต่ทั้ง 2 วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ มีค่าใช้จ่ายสูง และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ (Walter et al., 2006; Dai et al., 2007) การนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรเพื่อปรับปรุงดินและช่วยเพิ่มมวลชีวภาพให้กับพืชจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีผู้สนใจศึกษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีองค์ประกอบที่เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช เช่น N, P, K และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ (Martinez et al., 2003) แต่การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการเกษตรมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ กลิ่น ลักษณะกากตะกอนน้ำเสีย ความเหมาะสมของพื้นที่และดิน ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ในกากตะกอนน้ำเสีย เกลือ และโลหะหนัก (Jacobs, 1981) ปัจจัยดังกล่าวสอดคล้องกับมาตรฐานการผลิตพืชอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรที่ระบุไว้ว่าการนำของเหลวจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินต้องมีหลักฐานยืนยันว่าไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักและสารต้องห้าม (สุธาทิพย์, 2552) ซึ่งในปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียในการเพาะปลูกพืชทางเศรษฐกิจ (Singh and Agrawal, 2010) แต่ยังไม่มีการศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกพืช เพราะในกากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงน่าจะมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์พวก แป้ง ไขมัน และกากถั่ว รวมถึงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว ซึ่งข้าวเป็นอาหารหลักและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยผสมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินที่อัตราส่วนแตกต่างกัน เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้ข้าวเจริญเติบโตได้ดีและมีผลผลิตสูงสุด นอกจากนี้ ยังศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียและปริมาณโลหะหนักที่สะสมในเมล็ดข้าว เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในระยะยาวในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย และดินผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละอัตราส่วน ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว

1.2.2 ศึกษาอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว

1.2.3 ศึกษาปริมาณโลหะหนักในข้าว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียจากบ่อผึ่งกากตะกอนน้ำเสีย ภายในโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) และดินนาจังหวัดสมุทรปราการ และสุพรรณบุรี โดยวิเคราะห์ 11 พารามิเตอร์ ดังนี้ ขนาดของอนุภาคดิน (Particle size) ความชื้น (Moisture) พีเอช (pH) การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) อินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) และโลหะหนักทั้งหมดและที่เป็นประโยชน์ (เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) และทองแดง (Cu))

1.3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าว 3 สายพันธุ์ (ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และกข1) โดยแปรผันอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียกับดินนาจังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสุพรรณบุรี ในอัตราส่วน 0, 12, 24, 36 และ 48 kg/m^2 ทำซ้ำ 3 ซ้ำ ในแต่ละอัตราส่วน ใช้แผนการทดลองแบบสปลิทพล็อท (Split plot design) สังเกตการเจริญเติบโตจากความสูง ความยาวราก สีของใบ และผลผลิตของข้าว

1.3.3 ศึกษาปริมาณโลหะหนักในข้าว ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) และทองแดง (Cu) โดยวิเคราะห์ในลำต้นและเมล็ดข้าว ศึกษาการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นสู่เมล็ดข้าว และศึกษาความสมดุลของโลหะหนักในระบบ โดยใช้หลักการสมดุลมวล (Mass balance)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ และความปลอดภัยในการนำกากตะกอนน้ำเสีย มาใช้ในการปลูกข้าว

1.4.2 สามารถนำกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคการเกษตรได้

1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่าย ในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแปรรูปถั่วลิสง (โรงงาน แม่รวย จำกัด: โก๋แก่)

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ติดตั้งในโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) เป็นระบบบำบัดประเภทใช้อากาศแบบ เอ เอส (Activated Sludge) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม อัตราเร็วในการบำบัดมีความเร็วมาก ความต้องการใช้สถานที่ในการติดตั้งระบบน้อย ระยะเวลาที่ใช้ในการฟื้นตัวจากการล้มเหลวเร็วกว่าระบบอื่น (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

น้ำเสียภายในโรงงานแม่รวย จำกัด (โก๋แก่) มาจากกระบวนการผลิตทั้งหมด และกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงงาน ซึ่งน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตแต่ละวัน โดยเฉลี่ยแล้วมีน้ำเสียที่เข้าระบบประมาณ 150 ลบ.ม./วัน เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะถูกพักไว้ที่บ่อแรกซึ่งเป็นบ่อพักน้ำเสีย เพื่อลดภาระการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งไปยังบ่อเติมอากาศที่สามารถรองรับน้ำเสียได้ถึง 300 ลบ.ม./วัน ระบบนี้จะมีการเติมอากาศใต้น้ำด้วยหัวจ่ายอากาศ จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็ก ทำให้มีการแลกเปลี่ยนที่ดี มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบทั่วไป น้ำที่ผ่านการเติมอากาศแล้วจะถูกส่งไปยังบ่อตกตะกอน น้ำใสที่ผ่านการบำบัดจะไหลล้นผ่านทางส่วนบนของบ่อ ส่วนตะกอนจะตกลงสู่ด้านล่าง ตะกอนบางส่วนจะถูกสูบกลับไปยังบ่อเติมอากาศ และตะกอนส่วนที่เหลือจะส่งไปยังบ่อผึ่งกากตะกอนน้ำเสีย ขนาดของบ่อผึ่งกากตะกอน คือ 6 × 12 × 4 เมตร ปริมาณกากตะกอนน้ำเสียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการผลิตในแต่ละวัน เมื่อกากตะกอนน้ำเสียในบ่อผึ่งมีปริมาณมากเกินความจุของบ่อ โรงงานจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปทิ้งในพื้นที่ของโรงงานอีกแห่งหนึ่ง โดยไม่ได้นำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในด้านใดต่อไป

2.2 กากตะกอนน้ำเสีย (Wastewater Sludge)

กากตะกอนน้ำเสีย หมายถึง สิ่งที่สามารถแยกออกจากน้ำเสีย แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย หรือละลายอยู่ในน้ำเสีย รวมทั้งตะกอนของแข็งที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (สันทัด, 2549) ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างของแข็งจุลินทรีย์ และกากสารอินทรีย์ โลหะหนัก และอื่น ๆ ที่กรองออกจากโรงบำบัดน้ำเสีย (บุญจง, 2541) กากตะกอนที่แยกเอาน้ำออกไปแล้วบางส่วนโดยกระบวนการรีดน้ำจนมีความชื้นประมาณ 60-85 เปอร์เซ็นต์ สามารถจับเป็นก้อนได้ (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากตะกอนที่มาจากการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งแยกเอาของแข็งและสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสียแล้ว ปล่อยน้ำจากที่บำบัดแล้วทิ้งไป คงเหลือแต่กากตะกอนน้ำเสียที่ต้องผ่านกระบวนการบำบัด โดยลักษณะและปริมาณของกากตะกอนน้ำเสียจะแตกต่างกันไปตามชนิด และแหล่งที่มาของกากตะกอนน้ำเสียดังนั้นในการจัดการกากตะกอนจึงควรที่จะทราบชนิด ลักษณะ และปริมาณของกากตะกอนน้ำเสียที่กำจัดด้วย (นิตยา และประนอม, 2541)

2.2.1 การเกิดกากตะกอนน้ำเสีย

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็จะมีกากตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้นเสมอ จึงกล่าวได้ว่าต้นกำเนิดของกากตะกอนน้ำเสียคือ ของแข็ง สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เกลือแร่ต่างๆ ตลอดจนจุลินทรีย์หลายชนิด โดยกากตะกอนน้ำเสียจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามขั้นตอน วิธีการและชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียนั้น ๆ (วรรยารักษ์, 2548) กากตะกอนน้ำเสียที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กากตะกอนน้ำเสียที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการชีววิทยา เช่น ในระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) บ่อผันสภาพ (Oxidation Pond) เป็นต้น และกากตะกอนน้ำเสียที่เป็นสาร อนินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมเคมี โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น

2.2.2 ลักษณะของกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียที่เกิดจากการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนนี้ จะมีลักษณะสีน้ำตาลถึงดำ (เกศรัชฎา และนิสิตา, 2550) ถ้ากากตะกอนน้ำเสียอยู่ในสภาพที่มีอากาศจะไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ถ้าอยู่ในสภาพที่ไร้อากาศในระยะเวลาไม่นานนัก จะเกิดสภาพ Anaerobic ทำให้มีกลิ่นเหม็น

กากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) จะมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์พวก แป้ง ไขมัน และกากถั่ว ที่ได้จากกระบวนการผลิตเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีสารอนินทรีย์ที่ได้จากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโรงงานปะปนอยู่ด้วย

2.2.2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของกากตะกอนน้ำเสีย

1) อุณหภูมิของกากตะกอนน้ำเสีย เป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงระดับความร้อนของกากตะกอนน้ำเสีย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการควบคุมกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารในกากตะกอนน้ำเสีย

2) ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสีย มีผลต่อการละลายของอินทรีย์สาร และธาตุอาหารบางส่วนที่จะทำให้พืชสามารถดูดขึ้นไปใช้ได้ ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และลดลงมีผลต่อความเข้มข้นของค่า pH ที่เป็นตัวกลางในการละลายธาตุอาหาร เช่น แคลเซียม ฟอสเฟต จะสามารถละลายและปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดีเมื่อค่า pH ต่ำลง แต่ถ้าความชื้นมีมากจะสามารถทำให้ค่า pH สูงขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากตะกอนน้ำเสียน้อยลงส่งผลต่อการปล่อยสารประเภทสารประกอบเหล็ก และอลูมินัมฟอสเฟต ให้มีมากขึ้น (วรรยารักษ์, 2548)

2.2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย

พีเอช มาจากคำว่า Positive Potential of the Hydrogen ion (pH) สิ่งที่บ่งบอกความเป็นกรด คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) และสิ่งที่บ่งบอกความเป็นเบสคือความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ช่วงของ pH ที่พืชสามารถดูดธาตุอาหารส่วนใหญ่ไปใช้ได้ คือ pH 6.5-7.5 เป็นช่วงที่ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมาก และ pH 5.6-7.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมในการใช้ไนโตรเจนของพืช

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียจากระบบเอเอสควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5-8.0 และธาตุอาหารหลัก เช่น % Total Solid ของไนโตรเจน 2.4-5.0 ฟอสฟอรัส 2.8-11 และโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0.5-0.7 (วรรยารักษ์, 2548)

2.2.3 การกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย

การนำกากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้นไปกำจัดโดยวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการกำจัดกากตะกอนที่ใช้ในปัจจุบัน (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ได้แก่

2.2.3.1 การฝังกลบ (Landfill) เป็นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาฝังในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้และกลบด้วยชั้นดินทับอีกชั้นหนึ่ง

2.2.3.2 การหมักทำปุ๋ย (Composting) เป็นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาหมักต่อเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งเป็นการนำกากตะกอนน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืช เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่างๆ

ขณะที่อินทรียวัตถุในดินสลายตัว พวกธาตุอาหารต่าง ๆ จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และจุลธาตุอาหารต่าง ๆ ไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์มักถูกดึงไปใช้โดยพืชได้ง่าย ส่งผลให้ปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินลดลง ดังนั้นการเพิ่มหรือการเติมอินทรียวัตถุลงในดิน เมื่ออินทรียวัตถุเกิดการสลายตัวจะเกิดกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ขึ้น ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการสลายตัวของแร่ธาตุต่างๆ ในดินด้วย เมื่อใดก็ตามที่มีการเติมอินทรียวัตถุลงดิน ไนโตรเจนในอินทรียวัตถุนั้นอาจถูกย่อยสลายและถูกเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์โดยจุลินทรีย์ (Mineralization) ซึ่งทำให้เกิดไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชทันที หรือในบางกรณีไนโตรเจนในอินทรียวัตถุนั้น อาจถูกทำให้เปลี่ยนรูปจากสารอนินทรีย์ไปเป็นสารอินทรีย์โดยพวกจุลินทรีย์ก่อน (Immobilization) ซึ่งถ้าเหตุการณ์หลังเกิดขึ้นก่อน จะทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การพิจารณาว่า อินทรียวัตถุใดเมื่อเติมลงในดินแล้ว จะทำให้เกิดไนโตรเจนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ต่อพืชในช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังการเติมอินทรียวัตถุนั้นลงในดิน พิจารณาได้จากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน การสลายตัวของอินทรียวัตถุจะเป็นไปได้ดีต่อเมื่ออินทรียวัตถุนั้นมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10:1 หรือต่ำกว่า 10:1 และที่อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 ถือว่า เป็นค่าขีดจำกัดสูงที่สุดที่อินทรียวัตถุนั้นยังสามารถเกิดขบวนการเปลี่ยนอินทรียสารโดยจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544 ; Follett et al., 1981)

โดยทั่วไปกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำทิ้งและอื่น ๆ จะมีสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนประมาณร้อยละ 30-50 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 2.5-5.0 ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน จะมีค่าประมาณ 10-12:1 จึงทำให้สามารถเติมกากตะกอนลงในดิน ไม่ว่าจะเป็นวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดินหรือโรยบนผิวดิน แล้วปลูกพืชตามโดยทันที โดยปราศจากการเกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett et al., 1981)

เกศรัชฎา และนิสิตา (2550) พบว่าการนำกากตะกอนน้ำเสียมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสีย เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียพบว่า มีธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช และบำรุงดิน

จากการศึกษาของ สัตตะพงศ์ (2551) ในการทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการปลูกยางพาราขึ้นในพื้นที่ปลูกยางพารา ต.ไทรขึง อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี พบว่ากากตะกอนน้ำเสียรวมทั้งขี้แป้งซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานที่ผ่านขบวนการบำบัด จะมีธาตุอาหาร N P K อินทรียวัตถุที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นพืชได้เท่าเทียมกับปุ๋ยเคมี ดังนั้นการเติมอินทรียวัตถุโดยใช้สิ่งต่างๆเหล่านี้ เสมือนกับว่าเป็นการนำสิ่งที่ได้จากธรรมชาติกลับคืนสู่แหล่งที่มา

2.2.3.3 การเผา (Incineration) เป็นการนำกากตะกอนน้ำเสียที่เกือบแห้ง (ตั้งแต่ร้อยละ 40 ของของแข็งขึ้นไป) มาเผา เพราะเนื่องจากไม่สามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยหรือฝังกลบได้ (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.2.4 การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร

การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียทางการเกษตร เป็นวิธีกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีอื่น ๆ จากการศึกษาของ จิราพร (2544) ได้ดำเนินการศึกษาวิจัย โดยศึกษาผลของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแช่เยือกแข็งอาหารทะเลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม เพื่อเสนอเป็นทางเลือกอีกทางในการแก้ไข และการจัดการกับปัญหากากตะกอนน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นในอนาคตของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากตะกอนน้ำเสียสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดิน รวมทั้งเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับพืชได้ โดยจะต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบด้านต่าง ๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้อง (เกศรัชฎา และนิสิตา, 2550) บทบาทของกากตะกอนน้ำเสียมีทั้งการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพของดิน ดังนี้

2.2.4.1 บทบาทของกากตะกอนน้ำเสียในการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดิน

กากตะกอนน้ำเสียสามารถปรับปรุงโครงสร้างดิน โดยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความพรุน และเพิ่มความเสถียรของการเกิดเม็ดดิน เพิ่มความอุ้มน้ำของดิน

2.2.4.2 บทบาทของกากตะกอนน้ำเสียในการปรับปรุงลักษณะทางเคมีของดิน

เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียลงดิน อินทรียวัตถุในดินจะเพิ่มขึ้น กากตะกอนน้ำเสียจะเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ซึ่งสามารถที่จะดูดยึดประจุบวกต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชไว้ได้ดี ทำให้การสูญเสียธาตุอาหารพืชของดินจากการชะล้างของน้ำน้อยลง

ธาตุอาหารสำคัญ และจุลธาตุอาหารในดิน จะเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของกากตะกอนน้ำเสียโดยเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนน้ำเสีย และการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สมบัติของดิน ความชื้น อุณหภูมิ การใส่กากตะกอนน้ำเสียที่มี ค่า pH เป็นกลางลงดิน จะทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ค่า pH ของดินอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดย pH ของดินอาจลดลงเป็นผลสืบเนื่องมาจากการแทรกที่ไฮโดรเจนไอออนที่ยึดเกาะในดินของเกลือ อนินทรีย์ การย่อยสลายของอินทรียวัตถุจนได้กรดอินทรีย์ การเกิดไนตริ-ฟิเคชั่นของแอมโมเนียม ไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจน และการออกซิเดชั่นของซัลไฟด์ การใส่กากตะกอนน้ำเสียลงดินเพิ่มขึ้นอาจทำให้ pH ของดินลดลงได้ แต่จะลดเฉพาะในช่วงแรกของการใส่เป็นระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น (วรรยารักษ์, 2548)

Moreno et al (1997), Singh and Agrawal (2007) พบว่าในช่วงแรกสารอินทรีย์ในกากตะกอนน้ำเสียมีอยู่สูง เมื่อนำมาผสมกับดินทำให้มีอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และการแลกเปลี่ยนประจุ ในดินที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น

จากการศึกษาของ Singh and Agrawal (2010) เมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียกับดินที่ใช้ปลูกข้าว ในอัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสีย 3, 4.5, 6, 9 และ 12 kg/m^2 พบว่ากากตะกอนน้ำเสียช่วยทำให้ดินมีอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และการแลกเปลี่ยนสารอาหาร เพิ่มขึ้น และช่วยปรับ pH ของดินให้เป็นกลางมากขึ้น

2.2.4.3 บทบาทของกากตะกอนน้ำเสียในการปรับปรุงลักษณะทางชีวภาพของดิน

เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียลงดิน อินทรียวัตถุในกากตะกอนน้ำเสียจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดินทำให้มีการเพิ่มของจำนวนจุลินทรีย์ต่าง ๆ เช่น การแปรสภาพธาตุอาหารพืชในดิน การตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็งยกเว้น ปรอท ที่มีสถานะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้า และความร้อนดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Te และ Zn และกลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U

ความเป็นพิษของโลหะหนักเหล่านี้ เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่างกัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายนั้นเอง แหล่งที่มาสำคัญของโลหะหนักเหล่านี้ก็คือ กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตจากการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยมีผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต (ฐิติวรดา และคณะ, 2551)

2.3.1 ผลกระทบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสีย

เนื่องจากมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย ในปริมาณที่สูงกว่าปริมาณของโลหะหนักที่พบในดินทั่ว ๆ ไป ถ้าหากมีการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรโดยไม่พิจารณาให้รอบคอบ อาจมีผลทำให้ผลผลิตลดลง และหรืออาจนำอันตรายมาสู่มนุษย์ในลักษณะทวีความเป็นพิษ (Biomagnifications) โดยผ่านระบบห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากเกิดการสะสมของโลหะหนักอย่างมาก ในส่วนของพืชที่นำมาใช้รับประทานได้ (Baxter et al., 1983)

Singh and Agrawal (2010) พบว่าถ้ากากตะกอนที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงมาก การนำกากตะกอนมาปลูกข้าว จะทำให้ข้าวดูดซับโลหะหนัก มีการปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง Ni, Cd และPb ไปสู่ห่วงโซ่อาหารได้

กากตะกอนน้ำเสียที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน จะมีความแปรผันของปริมาณโลหะหนักต่างกัน Sommer and Stritesky (1976) จึงระบุว่าควรทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย ก่อนที่จะมีการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร ในทำนองเดียวกัน CAST (1976) ที่แนะนำว่ากากตะกอนน้ำเสียสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้อย่างปลอดภัย ถ้าหากมีการวางแผนที่ดีเกี่ยวกับอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสม ชนิดของพืชที่จะปลูก และระดับพีเอช รวมทั้งโลหะหนักในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศไทยการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร ส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน และการหมักเป็นปุ๋ย ดังนั้นจึงต้องมีมาตรฐานปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีในกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อความปลอดภัยต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว นอกจากนี้แต่ละประเทศก็มีมาตรฐานที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ สภาพอากาศ และลักษณะร่างกายของประชากรในแต่ละประเทศ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนน้ำเสีย (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

โลหะหนัก	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน กลุ่มสหภาพยุโรป (mg/kg)	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย (mg/kg)	ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์ (mg/kg)	ค่าที่กำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนน้ำเสียที่จะนำไปใช้ในการเกษตรในประเทศไทย (mg/kg)
As	-	30	50	-
Cd	30	0.15	5	20
Co	100	20	-	-
Cr	100	80	300	1,000
Cu	100	45	500	900
Pb	1	0.1	2	10
Ni	50	45	-	400
Hg	100	55	500	1,000
Zn	300	70	-	3,000

การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรจะทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Page, 1974) และความเข้มข้นของโลหะหนัก สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) ในดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน (Robertson et al., 1982; Baxter et al., 1983) ผลจากการเติมกากตะกอนลงในดินกรด (pH 4.2) และดินด่าง (pH 7.6) จะพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี เพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมกากตะกอนที่อัตราส่วน 160 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ ในดินกรด (Hyde et al., 1979) นอกจากนี้กากตะกอนมักสามารถทำให้ค่า pH ดินลดต่ำลงด้วย ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสในดินในรูปของไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้ และไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้เพิ่มมากขึ้น (King and Morris, 1972a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดลงของค่า pH ในดิน หลังจากเติมกากตะกอนน้ำเสีย มีผลเนื่องมาจากการเกิดกระบวนการเปลี่ยนเป็นไนเตรต (nitrification) และการเกิดกรดอินทรีย์ จึงทำให้เกิดการยอมรับทั่ว ๆ ไปว่า ดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียควรจะต้องมีการปรับสภาพดินให้มีค่า pH 6.5 (King and Morris, 1972b; Cunningham et al., 1975)

การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร โดยทั่วไปผลผลิตของพืชจะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนน้ำเสีย จนถึงอัตราเติมที่สูงระดับหนึ่งผลผลิตของพืชจะลดลง ซึ่งอัตราการเติมนี้มีความผันแปรขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย ชนิดของดินและพืช เช่น หญ้าเฟสคิว (Fascue) และหญ้าอัลฟอลฟา (Alfalfa) สามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตอบสนองต่อการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนน้ำเสียจนถึงอัตราการเติม 627 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ได้ (Stucky and Newman, 1977) ข้าวที่เจริญเติบโตในดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น 60%, 111%, 125%, 134% และ137% ที่อัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสีย 3, 4.5, 6, 9 และ 12 kg/m^2 ตามลำดับ (Singh and Agrawal, 2010) แต่ข้าวโพด และข้าวไรย์ ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจนให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อใช้อัตราเติมกากตะกอน 125 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ และผลผลิตลดลงเมื่ออัตราเติมกากตะกอนเป็น 502 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (Cunningham et al., 1975)

สำหรับพวกผัก เช่น แครอท ผักกาดหอม (lettuce) ถั่ว มันฝรั่ง หัวผักกาด และข้าวโพดหวาน Dowdy and Larson (1975) พบว่าผลจากการเติมกากตะกอนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงอย่างใดต่อการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ และไม่มีอาการขาดความสมดุลทางสรีรวิทยาของพืชปรากฏให้เห็น และยังรายงานว่าผลผลิตมันฝรั่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราเติมกากตะกอน 450 เมตริกตันต่อเฮกตาร์

ผลกระทบจากการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร ต่อปริมาณโลหะหนักในพืช พบว่าปริมาณโลหะหนักในข้าวที่ปลูกในดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย 6 kg/m^2 ต้นข้าว (ส่วนเหนือดิน) มีความเข้มข้นของ Pb ไม่เกินมาตรฐานของประเทศอินเดีย (2.5 mg/kg) แต่ในส่วนรากของข้าว (ส่วนใต้ดิน) มีความเข้มข้นของ Ni, Cd และ Pb สูงกว่ามาตรฐาน (Singh and Agrawal, 2010)

จากการศึกษาของ King and Morris (1972a, 1972b) กล่าวว่าปริมาณความเข้มข้นสูงของสังกะสี และทองแดงอาจเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง แต่ขณะเดียวกันปริมาณสังกะสีที่เข้มข้นเท่าเดิมทำให้ผลผลิตของหญ้ามิวด้าลดลงได้

การดึงดูดโลหะหนักเข้าไปสะสมในพืช ในส่วนที่นำไปรับประทานได้จะเป็นทางผ่านโดยตรงของโลหะหนักที่เข้าสู่มนุษย์ที่บริโภคพืชนั้น Downy and Larson (1975) ได้ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชที่ปลูกในดินที่เติมกากตะกอน กล่าวว่า ในระหว่างพืชต่าง ๆ กัน หลายชนิดนั้น ผักกาดหอม (Lettuce) จะเป็นผักที่มีการดูดดึงปริมาณโลหะหนักเข้าไปสะสมมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการไม่เติมกากตะกอน กับการเติมกากตะกอนด้วยอัตราเติม 450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกตันต่อเฮกตาร์ พบว่าปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นในผักกาดหอมมีดังนี้ คือ สังกะสีเพิ่มขึ้น 10 เท่า ทองแดงเพิ่มขึ้น 7 เท่า แคดเมียมเพิ่มขึ้น 4 เท่า แต่จากการศึกษาของ Schauer et al. (1980) กล่าวว่าการนำกากตะกอนมาใช้ปลูกพืชจำพวกผักโดยทั่วไปไม่ทำให้ปริมาณแคดเมียม และทองแดงในพืชเพิ่มขึ้น ส่วนสังกะสี และนิกเกิล จะเป็นโลหะหนักที่พืชจำพวกผักสามารถดึงดูดเข้าไปสะสมในผัก เมื่อเติมกากตะกอนในอัตราที่สูงขึ้น

จากการศึกษาของ Singh and Agrawal (2010) พบว่า ต้นข้าว (ส่วนเหนือดิน) มีปริมาณความเข้มข้นของ Pb ไม่เกินมาตรฐาน แต่ในส่วนราก (ส่วนใต้ดิน) มีปริมาณความเข้มข้นของ Ni, Cd และ Pb สูงเกินมาตรฐาน เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 5 kg/m^2 เช่นเดียวกับการปลูกข้าวสาลีในดินผสมกากตะกอน พบว่าโลหะหนักจะสะสมอยู่ในส่วนของรากมากกว่าเมล็ด แต่มีปริมาณโลหะหนักในระดับที่ยอมรับได้ (Sutapa and Bhattacharyya, 2008)

2.3.2 ข้อควรคำนึงในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาประโยชน์

ปัจจัยที่ควรคำนึงในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน ที่ปนอยู่และสามารถปลดปล่อยออกมาจากกากตะกอนน้ำเสีย เพราะปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในปริมาณมาก เมื่อถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน อาจก่อให้เกิดปัญหาในลักษณะชักนำให้เกิดการเติบโตของสาหร่าย และวัชพืชน้ำมากเกินไปในแหล่งน้ำ และเพิ่มปริมาณสารละลายไนเตรท ในน้ำใต้ดิน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กทารก หรือเป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงได้ ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มกำหนดให้การปนเปื้อนของปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ฐิติวรดา และคณะ, 2551)

ปัจจัยที่ควรคำนึงอย่างยิ่ง คือ โลหะหนัก เพราะว่าในกากตะกอนน้ำเสียจะมีโลหะหนักปนอยู่ด้วย ดังนั้น เมื่อนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรจึงเหมือนกับเป็นการเพิ่มปริมาณโลหะหนักให้แก่ดิน แต่ถ้ามีปริมาณโลหะหนักสะสมในดินมากเกินไป อาจทำให้เกิดความเป็นพิษของโลหะหนักแก่ดิน และพืช หรือเกิดความเป็นพิษต่อเนื่องไปยังมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคพืชนั้นด้วย ดังนั้นปัจจัยที่กล่าวข้างต้นจะต้องนำมาพิจารณา หาแนวทางที่เหมาะสม ในเรื่องเกี่ยวกับอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียรวมกับชนิดและค่า pH ของดิน ชนิดของพืช เมื่อมีการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร เพื่อทำให้เกิดผลผลิตของพืชสูงสุดโดยไม่มีการสะสมโลหะหนักในดินมากจนเกิดความเป็นพิษต่อพืช อีกทั้งปริมาณโลหะหนักที่พืชดึงเข้าไปสะสมนั้น แม้ว่าจะยังไม่ถึงระดับที่ไม่อาจชักนำอันตรายมาสู่มนุษย์และสัตว์ตามระบบห่วงโซ่อาหาร ฉะนั้นการวิจัยเกี่ยวข้องกับกากตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากความเป็นพิษของโลหะหนัก (King and Morris, 1972a,1972b; Downy and Lason, 1975; Kelling et al., 1977) ความสนใจเกี่ยวกับโลหะหนักจะมุ่งไปที่เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นธาตุอาหารเสริมแก่พืช แต่ถ้าหากมีปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Phytoxic) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตารางที่ 2.2 จะแสดงให้เห็นว่าโลหะหนักใดบ้างที่แสดงพฤติกรรมว่าเป็นสารที่จำเป็นต่อพืชและสัตว์ และสามารถแสดงความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์

ตารางที่ 2.2 พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดต่อพืชและสัตว์ (Neuhauser et al ., 1985) เกิดความเป็นพิษในดินกรด

ชนิดของโลหะ	พฤติกรรมที่แสดงว่าเป็นสารที่จำเป็นหรือมีประโยชน์		พฤติกรรมที่แสดงความเป็นพิษ	
	พืช	สัตว์	พืช	สัตว์
อลูมิเนียม	ไม่	ไม่	pH<5.5*	-
เหล็ก	เป็น	เป็น	pH <5*	-
แมงกานีส	เป็น	เป็น	pH<5*	-
สังกะสี	เป็น	เป็น	เป็น	10-20 ppm**
ทองแดง	เป็น	เป็น	เป็น	เป็นไปไม่ได้
นิกเกิล	ไม่	อาจจะ	เป็น	เป็น
แคดเมียม	ไม่	ไม่	-	เป็น
ตะกั่ว	ไม่	ไม่	-	-
โครเมียม	ไม่	เป็น	-	-
ปรอท	ไม่	ไม่	-	เป็น

หมายเหตุ: *เกิดความเป็นพิษในดินกรด

**ความเข้มข้นในส่วนของพืชแห้ง ซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อสัตว์ที่บริโภคพืชนั้น

2.4 ดิน

ดิน คือ วัตถุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ รวมกันเป็นชั้นจากส่วนผสมของแร่ธาตุต่าง ๆ ที่สลายตัวเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยรวมตัวกับอินทรียวัตถุที่สลายตัวเน่าเปื่อยผุพัง อยู่รวมกันเป็นชั้นบาง ๆ ห่อหุ้มโลก เมื่อมีอากาศและน้ำ ในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยในการกำเนิด การยังชีพ และการเจริญเติบโตของพืช (ปฐพีชล, 2544)

ดินนา หมายถึง ดินที่นำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว ซึ่งมีหลายประเภท เช่น การปลูกข้าวแบบปักดำ หว่านหรือหยอด การปลูกข้าวมักจะพบมากในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มสองฝั่งแม่น้ำ พื้นที่ราบในแถบชายฝั่งทะเล ตลอดไปจนถึงพื้นที่ราบสูงบนลานตะพักลำน้ำ และที่ราบบนพื้นที่สูงระหว่างหุบเขา ดินนาเป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เพราะโดยทั่วไปดินนาจะเป็นดินที่มีการระบายน้ำไม่ดี ทำให้น้ำขังได้ดี หรือเก็บน้ำได้ดีหรือเก็บน้ำได้ง่ายทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้ง ลักษณะของเนื้อดินมีหลายชนิด เช่น ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียว ไปจนถึงดินร่วน ดินเหนียว และดินเหนียวจัด ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบปีหนึ่งจะมีน้ำท่วมขังดินนาประมาณ 3-4 เดือน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในระยะการเจริญเติบโต และระยะออกรวงของข้าว ทำให้ดินนามีสภาพขาดออกซิเจน อันเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญของดินนาที่แตกต่างจากดินที่ใช้ปลูกพืชอื่น ๆ โดยทั่วไป สภาพขาดออกซิเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี ชีวเคมี และทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีทั้งผลดีและผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าว (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546) ส่วนประกอบของดินที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่

2.4.1 เนื้อดิน

เนื้อดิน หรือความหยาบความละเอียดของดินเกี่ยวข้องกับความพรุน (ขนาดของช่องว่าง และความต่อเนื่องของช่อง) การอุ้มน้ำ การกักเก็บน้ำ การซึมซับของน้ำ การถ่ายเทอากาศ การเคลื่อนที่ลงของน้ำในดิน และปริมาณอาหารแร่ธาตุของดิน ดินเนื้อหยาบ (ดินทราย) ไม่มีอาหาร แร่ธาตุ ไม่อุ้มน้ำ ไม่กักเก็บน้ำ น้ำซึมผ่านรวดเร็ว อากาศถ่ายเทได้ดี น้ำเคลื่อนที่หนีหายได้เร็วจึงไม่เหมาะสมต่อการทำนา เนื้อดินละเอียดมาก (ดินเหนียว) กักเก็บน้ำดี น้ำซึมซับได้ช้า อากาศถ่ายเทไม่ดี น้ำเคลื่อนที่ขึ้นลงช้า ปริมาณอาหารแร่ธาตุมักอุดมสมบูรณ์ จึงไม่ค่อยเหมาะสมต่อการปลูกไม้ผลในเขตที่มีฤดูแล้งยาวนาน และไม่มีน้ำชลประทานช่วยเสริม เนื้อดินที่พึงประสงค์คือ ดินร่วน (Loam) ซึ่งมีการอุ้มน้ำ กักเก็บน้ำ การซึมซับของน้ำ การถ่ายเทอากาศ การเคลื่อนที่ลงของน้ำ และปริมาณอาหารแร่ธาตุในระดับปานกลาง เหมาะสมต่อการปลูกไม้ผล หรือพืชไร่ หรือทำนาข้าว (ถวิล, 2540)

2.4.2 ปริมาณอนุภาคดินเหนียว

อินทรียวัตถุในดิน เกี่ยวข้องกับเนื้อดิน โครงสร้างดิน และความจุในการจับอาหาร แร่ธาตุประจุบวก ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณอาหาร แร่ธาตุในดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอนุภาคดินเหนียวควรอยู่ระหว่าง 10-35% ถ้าต่ำกว่า 10% ไม่เหมาะสม เนื่องจากน้ำเคลื่อนที่เร็วเกินไป อาหารแร่ธาตุต่ำ การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดรวดเร็ว หรือถ้าสูงกว่า 35% ดินมีโอกาสระบายน้ำช้ามาก การถ่ายเทอากาศไม่ดี การเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำช้าจนเกินไป ไถพวนยากลำบาก การเปลี่ยนแปลงสภาพความชื้นของดิน จากช้าออกไป เสียโอกาสปลูกพืชตามหลังข้าว (ถวิล, 2540)

2.4.3 อินทรียวัตถุ

เฉพาะส่วนของอินทรียวัตถุที่เน่าเปื่อยผุพังเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่เรียกว่า ฮิวมัส เท่านั้นที่นับว่าเป็นองค์ประกอบของดิน (ชิ้นส่วนของรากไม้ ใบไม้ ซากสัตว์ที่ยังเป็นรูปร่างอยู่ไม่นับว่าเป็นอินทรียวัตถุ) เมื่อเศษไม้ ใบไม้ สัตว์ตาย จุลินทรีย์หลายกลุ่มเข้ามาย่อยสลายทำให้เน่าเปื่อย มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารอื่น ๆ เกิดขึ้นมาก (รวมทั้งอาหารแร่ธาตุบางพวก) ท้ายที่สุดจะเหลือของแข็งที่ละเอียดยุ่ยจนไม่สามารถจำแนกได้ว่ามาจากสารอะไร มีสีคล้ำ ๆ ที่เรียกว่าฮิวมัส หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรียวัตถุในดิน อินทรียวัตถุในดินนี้ยังถูกจุลินทรีย์บางพวกย่อยสลายต่อไปได้อีก แต่ด้วยอัตราที่ช้ามาก และผลของการย่อยครั้งนี้จะได้อาหารแร่ธาตุที่พืชพร้อมจะนำไปใช้ได้ทันที เช่น แอมโมเนียม ไนเตรต ฟอสเฟต ซัลเฟต ฯลฯ

เฉพาะดินบนหรือผิวดินเท่านั้น (โดยเฉพาะดินในป่า) ที่มีโอกาสได้สะสมเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ถ้าหากไม่มีการพัดพาเคลื่อนย้ายไปที่อื่นเสียก่อน ก็จะเกิดเป็นชั้นอินทรียวัตถุอยู่เหนือผิวดิน เช่น ดินในป่า ดินล่างที่อยู่ลึกลงไปมีอินทรียวัตถุน้อยหรือไม่มีเลย การไถพรวนดินเสมือนทำให้คลุกอินทรียวัตถุลึกลงไปตามระดับความลึกของการไถพรวน การไถพรวนดินเพื่อการเพาะปลูกพืชเป็นการเร่งให้อินทรียวัตถุสลายตัวเร็วขึ้น เพราะดินมีการถ่ายเทอากาศดีขึ้น เหมาะสมต่อการเข้าทำงานของจุลินทรีย์ และได้ผลตอบแทน คือ มีการปลดปล่อยแร่ธาตุ อาหารต่าง ๆ ออกมาจากอินทรียวัตถุให้แก่พืช (ถวิล, 2540)

อินทรียวัตถุในดินอุ้มน้ำได้ดี สามารถดูดยึดแร่ธาตุต่าง ๆ ไว้ได้ นอกจากนี้ยังเป็นสารเชื่อมอนุภาคดินให้จับเป็นเม็ดทรงกลมขนาดใหญ่ (ทำให้ดินโปร่งมีการถ่ายเทอากาศ และระบายน้ำได้ดียิ่งขึ้น) และเมื่ออินทรียวัตถุถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลายยังให้อาหาร แร่ธาตุกับพืชอีกด้วย โดยเฉพาะไนโตรเจน (แอมโมเนียม ไนเตรต ไนไตรต์) ฟอสฟอรัส (ฟอสเฟต) และกำมะถัน (ซัลเฟต) เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคดินเหนียว อินทรียวัตถุในดินมีความสามารถมากกว่าหลายเท่า ในด้านการอุ้มน้ำ การดูดยึดอาหาร และแร่ธาตุ

หน้าที่ของอินทรียวัตถุในดิน คือ ให้อาหาร แร่ธาตุไนโตรเจนแก่พืช ช่วยอุ้มน้ำ ช่วยดูดยึดอาหารแร่ธาตุ ทำให้อนุภาคดินจับกันเป็นก้อนกลม ทำให้ดินร่วนโปร่ง ระบายน้ำดี ถ่ายเทอากาศดี

2.4.4 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

ในวัฏภาคของแข็งของดินส่วนใหญ่ จะมีประจุสุทธิเป็นลบอยู่บริเวณพื้นผิว และประจุลบที่มีจะถูกสะเทินด้วยประจุโดยมีการยึดเกาะไว้ที่ผิวของอนุภาค การยึดเกาะอยู่ในสภาวะที่สมดุลกับประจุในสารละลายดิน ประจุบวกจึงสามารถแลกเปลี่ยนไปมาระหว่างวัฏภาคของแข็งและของเหลวได้เรียกว่า ประจุที่สามารถแลกเปลี่ยนได้

ในกระบวนการกำเนิดดิน ซิลิกอน (IV) หรืออลูมิเนียม (III) ไอออนอาจถูกแทนที่ด้วยไอออนของโลหะหนักอื่นที่มีขนาดเท่ากันแต่มีประจุน้อยกว่า เพื่อชดเชยสภาพประจุที่มีสมดุลกับประจุลบที่มีอยู่ในโครงสร้าง จึงเกิดการดูดซับประจุบวกอื่น ๆ ไว้ที่ผิวเคลย์ได้ ประจุบวกที่มาดูดซับไม่จำเป็นต้องมีความจำเพาะเจาะจง เช่น K^+, Na^+, NH_4^+ ทำให้ประจุสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนกับสารละลายดินได้ ปริมาณที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ที่บอกในเทอมมิลลิสมมูลต่อดินแห้ง 100 กรัม (meg/100 g of dry soil) จึงเรียกได้ว่าเป็นความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกหรือค่าซีอีซีของดิน ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของอนุภาคคอลลอยด์ และดินตะกอน เนื่องจากเป็นกลไกในการปลดปล่อยอนุภาค เช่น K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} และอื่น ๆ สู่สารละลายดินและพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อรากพืชดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอาหารขึ้นไปจะมีการแลกเปลี่ยนด้วยไฮโดรเจนไอออนไว้แก่ผิวเคลย์ (ในตัวกลางที่เป็นน้ำที่มีกรดคาร์บอนิกละลายอยู่) ทำให้ดินนั้นมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น ดินจะทำหน้าที่ดูดซับและปล่อยออกมาเพื่อให้สมดุลได้

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

ส่วนในดินที่เป็นกรดจะมีสัดส่วน H^{+} และ Al^{3+} เพิ่มขึ้น ประจุที่สามารถแลกเปลี่ยนได้บนอนุภาคคอลลอยด์ยังรวมไปถึงพวกสารอาหารด้วย เช่น NH_4^{+}, Cu^{2+}, Co^{2+} และ Zn^{2+} แต่พวกสารอาหารจุลภาคมักยึดเกาะเป็นแบบจำเพาะ (Specific absorption) (กรองแก้ว, 2553a)

2.4.5 ความเค็มของดิน

ดินที่จัดว่าเป็นดินเค็ม คือ เมื่อมีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่มีค่ามากกว่า 4 mS/cm โดยทั่วไปมักพบในพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง ซึ่งมีอัตราการระเหยสูง ก่อให้เกิดการไหลซึมของเกลือในชั้นดินล่าง ๆ ขึ้นสู่ดินชั้นบนแบบ Capillary rise ดินประเภทนี้มีค่า pH สูงมากกว่า 8.5 พื้นผิวจะเห็นเป็นคราบเหลืองขาว ๆ ได้ จึงมักเรียกว่า White-alkali soil

การที่ดินมีโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในรูปคลอไรด์ หรือซัลเฟตมาก จะลดความสามารถในการเกิดออสโมซีสของน้ำในดิน และทำให้พืชดูดไปใช้ได้น้อย แต่จะก่อให้เกิดการแสดงทิศทางการไหลของน้ำและสารอาหารตรงกันข้ามกับการออสโมซีส ซึ่งเรียกว่า Plasmosis พืชบางชนิดจำพวก Halophyte เท่านั้นที่สามารถทนความเค็มได้สูงถึง 8-12 mS/cm เช่น ข้าวบาร์เลย์, หน่อไม้ฝรั่ง และ Sugar beet ถ้าความเค็มอยู่ในช่วง 6-8 mS/cm พืชพวกข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต, หัวบีท, มะเขือเทศ และกะหล่ำปลี พอทนได้บ้าง (กรองแก้ว, 2553a)

2.4.6 ความเป็นกรดด่าง (pH ของดิน)

ระดับความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต อยู่ที่ประมาณ 5.5-6.5 ถ้าระดับความเป็นกรด-ด่าง ของดินตามสภาพที่พืชกำลังเจริญเติบโตอยู่ (ไม่ใช่ค่า pH ของดินแห้งตามที่ปฏิบัติกันในห้องปฏิบัติการหรือมีอยู่ในรายงานต่าง ๆ) ดินจะมีสภาวะที่เหมาะสมต่อสัดส่วนของปริมาณอาหารแร่ธาตุต่าง ๆ ในสารละลายดิน คือ ถ้า pH ต่ำกว่า 5.5 และ pH สูงกว่า 6.5 สัดส่วนของธาตุบางธาตุผิดปกติไป คือธาตุหนึ่งอาจมากเกินไป ในขณะเดียวกันธาตุอื่นที่จำเป็นอาจน้อยเกินไป (ถวิล, 2540)

ความเป็นกรดของดิน ในบางกรณีอาจใช้ในเทอมปฏิกิริยาของดิน (Soil reaction) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของ H^{+} ที่ดูดซับบนอนุภาคของคอลลอยด์ที่ถือได้ว่าเป็นตัวเสริมความเป็นกรดได้ และสามารถรักษาสภาพการเปลี่ยนแปลง pH ได้ (Buffer capacity) เมื่อมีกรดหรือเบสความสามารถนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสัมพันธ์กับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ถ้ามีค่า CEC สูง จะมี Buffer capacity สูงด้วย การเกิดสภาพดินเปรี้ยวเนื่องมาจากเกิดกรด-อนุมูลซัลเฟตในดิน

ดินที่มีเฟอรัสซัลไฟต์ เช่น ดินตะกอนชายฝั่งทะเล เมื่อสัมผัสกับอากาศและความชื้นจะเกิดปฏิกิริยาทำให้ค่า pH ต่ำถึง 3.0 ได้ ดินบางแห่งที่ปรับสภาพมาจากบึงหรือหนองน้ำพบว่า มีความเป็นกรดสูง และความสามารถเกิดปฏิกิริยาทำให้การปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับไพไรต์ และมีพิษต่อรากพืชด้วย ดินที่ถูกปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่ที่มีไพไรต์จะเกิดกรด-อนุมูลซัลเฟตเช่นเดียวกัน

เมื่อหาปริมาณซัลเฟต และความเป็นกรดได้ จะเป็นค่าที่บ่งชี้ศักยภาพในการเกิดสภาพดินกรด ถ้าค่า pH สูงกว่า 3.0 แสดงว่ามี FeS_2 ในปริมาณน้อยหรือ ในดินมีแคลเซียมคาร์บอเนตเพียงพอในการสะเทินกรดที่เกิดขึ้นได้ แต่ถ้าค่า pH ต่ำกว่า 3.0 แสดงว่าดินสามารถเกิดสภาพดินกรดได้ดี ซึ่งดินกรดจัด จะทำให้เป็นพิษต่อพืช โดยการปลดปล่อยสารพิษ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ อลูมิเนียมไอออน (III) ซึ่งเป็นพิษมาก

การปรับสภาพความเป็นกรดของดินมักให้เติมปูนขาว (Liming) โดยอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตมาปรับสภาพ ในพื้นที่ซึ่งมีปริมาณฝนตกน้อยจะมีฤทธิ์เป็นเบส สามารถปรับสภาพโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของเหล็ก (III) หรือ อลูมิเนียม (III) ซัลเฟต ซึ่งปลดปล่อยกรดออกมาสะเทินกับสภาพเบส (กรองแก้ว, 2553a)

2.4.7 น้ำ

น้ำเป็นวัตถุดิบร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แป้ง-น้ำตาล โดยทั่วไปแล้วเพียงประมาณ 5% ของน้ำที่ผ่านเข้าไปในพืชถูกใช้ในการสร้างแป้ง–น้ำตาล และสารอื่น ๆ (หรือน้ำหนักแห้ง) และเป็นน้ำเหลวอยู่ในพืชอีกกว่า 90 % เป็นน้ำที่คายออกทางใบ น้ำในพืชทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน เช่น ทำให้เซลล์เต่งตัว เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แป้ง–น้ำตาล ช่วยในการขนย้ายแป้ง–น้ำตาล และสารต่าง ๆ ที่พืชผลิตขึ้นส่งไปยังที่เก็บต่าง ๆ หรือเป็นตัวเจือจางทำให้สิ่งต่าง ๆ ทำงานได้ตามปกติ เช่น น้ำในโปรโตรพลาส (Protoplasm) ทำให้โปรโตรพลาสทำงานคล่องตัวไม่แข็งเกาะกันอยู่นิ่ง

น้ำฝนที่ตกลงมาแม้จะถูกใบพืช แต่พืชใช้น้ำเช่นนี้ได้น้อยมาก เพราะน้ำเข้าสู่พืชได้เพียงเล็กน้อย น้ำที่เข้าสู่พืชส่วนใหญ่ (98%) มาจากน้ำใต้ดินที่รากดูดเข้ามา ปริมาณน้ำที่พืชต้องการในการดำรงชีพมากกว่า 500-1,000 เท่าของน้ำหนักแห้งของพืชเมื่อเฉลี่ยต่ออายุของพืช ดินจะต้องมีน้ำให้พืชใช้อย่างเพียงพอกับการคายน้ำทางใบตลอดเวลา และปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย (5%) เพื่อใช้ในการสร้างสมน้ำหนักแห้งเพื่อทำหน้าที่หล่อเลี้ยงส่วนที่ต้องการน้ำของพืช อัตราการคายน้ำของพืชต้นเล็กอาจเป็นเพียง 0.1 มิลลิเมตรต่อวัน แต่พอพืชเจริญเติบโตอัตราการคายน้ำอาจเพิ่มมากเป็น 10 มิลลิเมตร ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาของการที่ดินมีน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชะงักการเจริญเติบโตทันทีเพราะไม่มีน้ำไปทำหน้าที่ต่าง ๆ ในพืช โดยเฉพาะการเต่งตัวของเซลล์ (เพื่อรักษารูปร่าง) และการควบคุมอุณหภูมิภายในต้นพืชทำให้ขบวนการสังเคราะห์ต่าง ๆ หยุดชะงักหมด

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมผลผลิตของพืชที่ปลูกในเขตที่ไม่มีน้ำชลประทาน หรือแหล่งน้ำอื่นช่วย น้ำฝนอย่างเดียวไม่อยู่ในสภาพที่จะสามารถให้น้ำแก่พืชที่ปลูกในฤดูฝนอย่างเพียงพอตลอดเวลาที่พืชเจริญเติบโตได้ตามธรรมชาติ ในวันที่ฝนตกหนักอาจมีน้ำมากเกินไป แต่ถ้าฝนทิ้งช่วง 10-20 วัน (ยิ่งถ้าปลูกในกระถางยิ่งรวดเร็วมาก อาจเป็นเพียง 1-2 วันเท่านั้น) น้ำในดินจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ทำให้พืชเหี่ยวและชะงักการเจริญเติบโตได้หรืออาจรุนแรงถึงพืชตายได้

2.4.8 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

พืชและสัตว์ต้องประกอบด้วยโปรโตพลาสซึม (Protoplasm) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ชีวิตดำรงอยู่ได้ อย่างไรก็ตามสัตว์ต้องอาศัยพืชในการดำรงชีวิตในขณะที่พืชดำรงอยู่ได้เองโดยไม่ต้องอาศัยสัตว์เลยก็ได้ เมื่อพืชได้รับแสงแดด น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และธาตุอาหารที่จำเป็นอย่างครบถ้วน วัตถุดิบดังกล่าวที่พืชได้รับนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในเซลล์พืช ซึ่งทำให้สามารถดำรงชีวิต และแพร่พันธุ์ออกไปอย่างกว้างขวางได้

คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีนและสารที่ให้พลังงาน ธาตุอื่น ๆ ที่จำเป็นอีก 10 ธาตุ คือ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน มีความสำคัญต่อขบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆในพืช ซึ่งทำให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงได้ พืชได้รับธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน จากอากาศและน้ำ ส่วนธาตุอื่น ๆ นั้นมาจากดิน ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ ในพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายชนิด ดังนั้นความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชจึงแตกต่างกันไป แล้วแต่ละชนิดของพืชและปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ปริมาณธาตุอาหารในดินแบ่งย่อยออกเป็น ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม ดังนี้

2.4.8.1 หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารหลัก

1) ธาตุไนโตรเจน (N) เป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) และคลอโรฟิลล์ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญมากต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของพืช ทำให้ต้นพืชตั้งตัวได้เร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ทำให้ใบและลำต้นนั้นมีความแข็งแรง มีสีเขียวเข้ม ช่วยในการควบคุมการออกดอกให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลต่อผลผลิตของพืชในเวลาต่อมาอีกด้วย (นายเกษตร, 2554) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พบว่าขาดในนาข้าวทั่วไปโดยเฉพาะในนาดินทรายที่มีระดับอินทรียวัตถุต่ำเช่นที่พบทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยข้าวที่ขาดไนโตรเจนจะมีใบแก่หรือบางครั้งใบทั้งหมดเป็นสีเขียวอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายใบเหลือง ถ้าขาดรุนแรงใบแก่จะตายเหลือเพียงใบอ่อน ใบแคบ สั้นและตั้งตรง มีสีเขียวปนเหลือง การขาดไนโตรเจนมักเกิดในระยะข้าวแตกกอและระยะกำเนิดช่อดอก ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวมีความต้องการไนโตรเจนสูง การขาดไนโตรเจนส่งผลให้การแตกกอลดลง ต้นข้าวแคระแกรน แตกกอน้อย มีเมล็ดดีต่อรวงลดลงทำให้ผลผลิตข้าวลดลง (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553)

ไนโตรเจนในดินอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ จะไม่ถูกปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในทันที การประเมินค่าของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์เป็นทางหนึ่งของการประเมินค่าความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีการบ่มดิน ในสภาพขาดออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และวิเคราะห์หาค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เกิดขึ้น (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

2) ธาตุฟอสฟอรัส (P) มีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานซึ่งเป็นขบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟไลปิดอีกด้วย

ฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหารอันดับสองรองจากไนโตรเจน การตอบสนองของข้าวต่อฟอสฟอรัสในดินนา จะมีลักษณะการตอบสนองในช่วงต้น ๆ เท่านั้น เมื่อถึงจุดสูงสุดแล้ว การตอบสนองต่อไปจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก ถ้าเขียนเป็นเส้นกราฟก็เกือบจะเป็นเส้นตรง และอาจจะตกในตอนปลายเล็กน้อย สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสภาพน้ำขัง อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในดิน จะอยู่ในรูปของเหล็กฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟต และฟอสเฟตที่ละลายออกมาเป็นประโยชน์ในสภาพขาดออกซิเจนอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งในดินนาประเทศไทยจะมีเหล็กฟอสเฟตมากที่สุด ประมาณร้อยละ 35 ของปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินในสภาพน้ำขัง เหล็กฟอสเฟต ในรูปของเฟอร์ริคฟอสเฟต จะถูกเปลี่ยนเป็นเฟอร์รัสฟอสเฟต ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อข้าว (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

3) ธาตุโพแทสเซียม (K) จำเป็นต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารและสารบางชนิดในพืชควบคุมการเปิดปิดของปากใบ และเป็นธาตุที่กระตุ้นให้เอนไซม์ทำงานอีกด้วย

โพแทสเซียม เป็นธาตุอันดับสามรองจากไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งมักจะขาดแคลนในดินเนื้อหยาบโดยเฉพาะในดินทราย แต่เหตุที่ข้าวไม่ค่อยตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียม ถึงแม้จะเป็นดินพวกดินทรายก็ตาม มีสาเหตุเนื่องมาจากมีโพแทสเซียมอยู่ในน้ำ ในนา น้ำไหลบ่าแม่น้ำและน้ำชลประทาน พอกับความต้องการของข้าวที่ให้ผลผลิตในระดับปกติ

สภาพดินนาน้ำขัง เอื้ออำนวยให้มีโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นมาได้ เนื่องจากโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจะถูกแทนที่ด้วย แอมโมเนียม เฟอร์รัส และแมงกานีส ทำให้โพแทสเซียมในสารละลายดินมากขึ้น (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8.2 หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารรอง

ปริมาณเฉลี่ยธาตุอาหารรองในดินนาภาคต่าง ๆ ที่มีการสำรวจรวบรวมข้อมูลไว้ ได้แก่ ธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียมเป็นส่วนใหญ่

1) ธาตุแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการรองจากธาตุอาหารหลัก ปกติมีอยู่ในดินค่อนข้างมากเพียงพอต่อความต้องการของพืชทั่ว ๆ ไป แคลเซียมมีบทบาทหน้าที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเซลล์พืช เป็นส่วนประกอบของแคลเซียม แพ็คเตรท (Calcium pectate) และเป็นธาตุที่กระตุ้นให้เอนไซม์บางชนิดทำงาน

2) ธาตุแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการรองจากธาตุอาหารหลัก เช่นเดียวกับแคลเซียม ปกติจะมีอยู่ในดินเพียงพอกับการเจริญเติบโตของพืช แมกนีเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) และแมกนีเซียมที่ละลายน้ำเป็นแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available- Mg) ซึ่งมีในดินเนื้อละเอียดมากกว่าดินเนื้อหยาบ เช่นดินเหนียวมีมากกว่าดินทราย เป็นต้น แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายประการ คือ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ เป็น phosphate carrier ให้เกิดปฏิกิริยา phosphorylation ทำให้พลาสมาอยู่ในสภาพแขวนลอย มีส่วนในการสร้างน้ำมัน ช่วยในการหายใจเป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

จากการสำรวจพบว่าภาคกลางมีแคลเซียม และแมกนีเซียมอยู่ในระดับสูง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแคลเซียม และแมกนีเซียมในระดับต่ำ ภาคเหนือมีแคลเซียม และแมกนีเซียมในระดับปานกลาง ภาคใต้มีแคลเซียมในระดับต่ำ และแมกนีเซียมในระดับปานกลาง (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

2.4.8.3 หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารเสริม

ธาตุอาหารเสริม หรือจุลธาตุ เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อย ธาตุอาหารเหล่านี้มีความสำคัญเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองที่พืชจะขาดไม่ได้ ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุประจุบวก เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส ในดินมีปัจจัยควบคุมคล้าย ๆ กัน คือความเป็นกรดเป็นด่างของดิน กล่าวคือ ในสภาพดินเป็นกรดมาก ๆ จุลธาตุเหล่านี้จะละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืช อยู่ในสภาวะออกซิเดชันหรือรีดักชัน เช่น เหล็ก แมงกานีส และทองแดง ในดินนาน้ำขังดินเป็นกรดจัด ระบายน้ำไม่ดี จะละลายออกมามากจนเป็นพิษ หรือเมื่อทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ จะทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ธาตุเหล็ก (Fe) เป็นธาตุหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน หน้าที่สำคัญคือช่วยในกระบวนการปรุงอาหารของพืชให้เกิดความสมดุล อีกทั้งช่วยในกระบวนการหายใจของพืชให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ หากว่าพืชนั้นขาดธาตุเหล็กสามารถสังเกตได้จากใบจะมีสีออกเหลืองซีด โดยในระยะแรกจะพบบริเวณใบอ่อน โดยเส้นใบจะเป็นสีเขียว ส่วนพื้นที่ใบจะเป็นสีเหลือง จากนั้นจะลุกลามไปสู่ใบแก่กว่าตามลำดับ ผลผลิตก็จะลดลงอย่างมาก การแก้ไขสามารถทำได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมธาตุอาหารเสริมลงไปในดิน ควรให้ดินมีค่า pH อยู่ที่ 5.5-5.6 เพราะเป็นช่วงที่พืชสามารถดูดซับธาตุเหล็กไปใช้ได้ดี (นายเกษตร, 2554)

2) ธาตุแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อใบพืชมาก มีบทบาทในการสังเคราะห์แสงของพืช เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยในพืชอีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมกระบวนการทำงานของเหล็กและไนโตรเจนในพืชอีกด้วย พืชที่ขาดธาตุแมงกานีส สังเกตได้จากใบมีสีเหลือง ขณะที่เส้นใบยังเป็นสีเขียว ส่วนใบอ่อนอาจจะเกิดจุดขาวหรือเหลืองได้ ต้นนั้นโตช้ามีลักษณะไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบไปถึงการออกดอกและการติดผลอีกด้วย การเกิดอาการขาดธาตุแมงกานีสในพืชนั้นมักจะพบมากในดินที่เป็นด่าง หรือมีการใส่ปูนขาวมากเกินไป การแก้ไขสามารถทำได้โดยฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมที่มีส่วนผสมของแมงกานีส ไปตามใบของพืช (นายเกษตร, 2554)

3) ธาตุทองแดง (Cu) มีหน้าที่ในการสร้างส่วนต่าง ๆ ที่เป็นสีเขียวของพืช ทั้งช่วยเพิ่มโมเลกุลให้คลอโรฟิลล์และยังช่วยป้องกันไม่ให้ส่วนเหล่านี้ถูกทำลายอีกด้วย ส่งผลให้พืชนั้นมีอายุที่ยืนยาวขึ้น นอกจากนั้นธาตุทองแดงยังมีส่วนช่วยในการปรุงอาหาร เป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำย่อยของพืช อีกทั้งยังช่วยสนับสนุนให้พืชสามารถดูดธาตุเหล็กมาได้อีกด้วย อาการของพืชที่ขาดทองแดงจะพบว่า ในระยะแรกใบพืชนั้นจะมีสีเขียวผิดปกติจากนั้นจะค่อย ๆ เหลืองไปเรื่อย ๆ จะลามจากยอดไปสู่ลำต้น การขาดธาตุทองแดงในพืชมักจะพบในพื้นที่ที่เป็นดินกรด สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งมีปริมาณทองแดงมาก (นายเกษตร, 2554)

4) ธาตุสังกะสี (Zn) เป็นธาตุหนึ่งที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช บทบาทของธาตุชนิดนี้คือ การให้ฮอร์โมนในทุกส่วนของพืช เช่นการให้ฮอร์โมนหยุดยั้งการขยายของตาดอก และปล้อง ในพืชบางชนิดยังเป็นตัวกำหนดฮอร์โมนในการสร้างอาหารและสังเคราะห์แสงอีกด้วย การขาดธาตุสังกะสีจะทำให้ใบที่ใกล้ยอดอ่อนลีบ เล็กเหมือนใบพาย ปลายแหลม บริเวณเส้นใบจะเขียว แต่ส่วนอื่น ๆ ของใบจะออกสีเหลือง หากปล่อยไว้จะแห้งตายไปทั้งกิ่งและต้น (นายเกษตร, 2554)

ปริมาณของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี มีตัวเลขแสดงไว้สำหรับภาคต่าง ๆ ในตารางที่ 2.3 ซึ่งส่วนมากจะมีอยู่ในปริมาณที่พอต่อความต้องการของข้าว โอกาสที่ข้าวจะขาดธาตุเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นได้ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเฉลี่ย (ppm) ของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมในดินภาคต่าง ๆ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

ธาตุอาหาร	เหนือ	กลาง	ใต้	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ระดับเหมาะสม
ไนโตรเจนทั้งหมด	1,300	1,200	1,200	400	2,000-2,500
ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์	61	37	44	18	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	290	330	200	60	170
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	8	7	9	3	10-15
โพแทสเซียมทั้งหมด	6,370	7,900	5,720	1,280	-
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	107	219	83	47	60-90
แคลเซียม	1,800	2,400	580	800	1,000-2,000
แมกนีเซียม	288	840	216	96	120-360
เหล็ก	139	134	70	52	-
แมงกานีส	24	37	27	23	-
ทองแดง	10	5	2	1	-
สังกะสี	7	6	10	2	-

2.4.9 ลักษณะดินจังหวัดสมุทรปราการ

สภาพทั่วไปเป็นที่ราบ ไม่มีภูเขา มีแม่น้ำลำคลองตามธรรมชาติ และคลองชลประทาน ไหลผ่านมากกว่า 100 สาย และมีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านจากทางตอนเหนือของจังหวัดลงสู่ทางตอนใต้ ซึ่งสามารถทำให้แบ่งลักษณะพื้นที่ของจังหวัดออกเป็น 3 ตอน คือ บริเวณริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณตอนใต้ใกล้ชายฝั่งทะเล ซึ่งพื้นที่บริเวณนี้น้ำทะเลท่วมถึง พื้นดินจะเค็มจัดในช่วงฤดูแล้ง โดยมากเป็นที่ราบลุ่มมีการใช้ประโยชน์ที่ดินทางด้านการเพาะเลี้ยงกุ้ง และบริเวณสุดท้ายคือ บริเวณที่ราบกว้างใหญ่ทางตอนเหนือและตะวันออก ซึ่งเป็นพื้นที่กว้างมากมีประตูน้ำชลประทานหลายแห่ง เพื่อการกักกันน้ำเค็ม และระบายน้ำจืดออกจากพื้นที่ มีการใช้ที่ดินทางด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และนาข้าวเป็นส่วนใหญ่

2.4.9.1 กลุ่มชุดดิน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

เป็นกลุ่มชุดดินที่ 2 เนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินบนมีสีเทาหรือเทาแก่ ดินล่างมีสีเทา จุดประสีน้ำตาล และสีเหลืองหรือสีแดง พบตามที่ราบลุ่มภาคกลางส่วนใหญ่ มีน้ำแช่ขังลึก 20-50 ซม. นาน 3-5 เดือน ถ้าเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลจากทะเลจะพบสารจาโรไซต์สีเหลืองฟางข้าวในระดับความลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นดิน ลึก มีการระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลาง pH 4.5-5.5 ปฏิกิริยาดินค่อนข้างเป็นกรดจัด ฤดูน้ำขังนาน 3-5 เดือน

2.4.9.2 ความเหมาะสมในการปลูกพืช

เนื่องจากสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงราบลุ่ม เนื้อดินเป็นดินเหนียวการระบายน้ำเลว ในช่วงฤดูฝนจะมีน้ำขังอยู่ที่ผิวดิน ระหว่าง 4-6 เดือน จึงมีศักยภาพเหมาะสมที่จะใช้ทำนาในช่วงฤดูฝน แต่สามารถปลูกพืชไร่ พืชผัก หรือพืชอื่นที่มีอายุสั้นได้ในช่วงฤดูแล้ง สำหรับในบริเวณพื้นที่ที่มีน้ำชลประทานเข้าถึงหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ

ในการทำนาปลูกข้าวเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน โดยการปลูกพืชบำรุงดินแก้ไขเนื้อดินเหนียว และมีโครงสร้างค่อนข้างแน่นทึบ ด้วยปุ๋ยอินทรีย์ เช่นปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก 1.5-2.0 ตันต่อไร่ หรือใช้วัสดุปรับปรุงดินอย่างอื่น เช่น ขี้เลื่อย แกลบ กากน้ำตาล เป็นต้น ไถคลุกเคล้า และกลบลงในดิน ใส่ปูนมาร์ล หินปูนบด อัตรา 0.5-1.0 ตันต่อไร่ ไถคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ปล่อยน้ำแช่ประมาณ 10 วัน แล้วระบายน้ำออกแล้วค่อยขังน้ำใหม่ เพื่อทำเทือก และรอปักดำ หรือใช้น้ำล้างความเป็นกรดของดิน ประมาณ 4-5 ครั้ง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

2.4.10 ลักษณะดินจังหวัดสุพรรณบุรี

กลุ่มชุดดิน อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นกลุ่มชุดดินที่ 33 เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย สีดินเป็นสีน้ำตาล หรือ น้ำตาลแดง บางแห่งดินล่างลึก ๆ มีจุดประสีเทาและสีน้ำตาล อาจมีแร่ไมกา หรือก้อนหินปูนปะปนอยู่ด้วย เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำ พบบนสันดินริมน้ำเก่า และเนินตะกอนรูปพัด มีพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาด เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลาง ดินชั้นบนมักมีปฏิกิริยาเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5-6.5 ส่วนดินล่างมักมีความเป็นกรดน้อยกว่า ถ้ามีก้อนปูนปะปน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะวัดได้ประมาณ 7.5-8.0 ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวใช้ปลูกพืชไร่ต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด อ้อย ฝ้าย ยาสูบ ถั่วต่าง ๆ และสับปะรด บางแห่งปลูกไม้ผลหรือเป็นที่อยู่อาศัย ดินกลุ่มนี้ไม่มีปัญหาเรื่องการใช้ประโยชน์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537)

2.5 ข้าว

2.5.1 พฤกษศาสตร์ทั่วไป

ข้าวเป็นพืชล้มลุกที่มีใบเลี้ยงเดี่ยว ข้าวที่ปลูกเป็นอาหารของมนุษย์มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ Oryza sativa ปลูกมากในเอเชีย และ Oryza glaberrima ปลูกมากในแอฟริกาตะวันตก ข้าวทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกันที่ข้าวแอฟริกาไม่มีการแตกระแง้ที่สองจากระแง้แรกของรวงข้าว ในปัจจุบันข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอเชียได้รับความนิยม และมีผู้นำไปปลูกแทนข้าวแอฟริกามากขึ้น ข้าวเอเชียที่ปลูกกันในปัจจุบันแบ่งเป็น 3 พวกดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2.5.1.1 อินดิคา (indica) เมล็ดเรียว ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ตอบสนองต่อปุ๋ยน้อย แต่ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี ปลูกมากในเขตร้อนของทวีปเอเชีย เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ กัมพูชา และอินเดีย

2.5.1.2 จาปอนิคา (japonica) เมล็ดป้อมสั้น ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยสูง ปลูกมากในเขตกึ่งร้อน หรืออบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีนตอนเหนือ

2.5.1.3 จาวานิคา (javanica) เมล็ดค่อนข้างป้อมอ้วน ผลผลิตต่ำ ปลูกมาในอินโดนีเซีย และพม่า

2.5.2 การจำแนกชนิดข้าว

ข้าวที่กรมส่งเสริมการเกษตรแนะนำให้ชาวนาปลูกจำแนกตามปัจจัยแวดล้อม และคุณลักษณะบางประการดังนี้

2.5.2.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด

1) ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) ประกอบด้วยแป้ง (starch) ประมาณ 90 % ซึ่งแป้งนี้มีส่วนประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วนด้วยกันคือ Amylopectin 60-90 % และ amylose 10-30 %

2) ข้าวเหนียว (glutinous rice) ประกอบด้วย amylopectin ถึง 95 % มี amylose น้อยมาก บางครั้งพบว่าไม่มีเลย

2.5.2.2 จำแนกตามสภาพพื้นที่ปลูก

1) ข้าวไร่ (upland rice) คือข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและลาดชัน ไม่ต้องทำคันนากักเก็บน้ำ การเตรียมดินปลูกกระทำในขณะที่ดินแห้งพอประมาณ ปลูกโดยการหว่าน หยอดเป็นหลุม หรือโรยเป็นแถว แต่ต้องปลูกในฤดูการทำนาปี นิยมปลูกกันมากในบริเวณที่ราบสูง ตามไหล่เขาทั้งทางภาคเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คิดเป็นเนื้อที่การปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ

2) ข้าวนาสวน (lowland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่ว ๆ ไป ในสภาพที่สามารถจะรักษาระดับน้ำหล่อเลี้ยงสูงไม่เกิน 1 เมตร นิยมปลูกมากแทบทุกภาคของประเทศไทย คิดเป็นเนื้อที่การปลูกประมาณร้อยละ 80 ของเนื้อที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ

3) ข้าวขึ้นน้ำ หรือข้าวนาเมือง (floating rice) คือข้าวที่ปลูกกันในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ เนื่องจากข้าวพวกนี้มีลักษณะพิเศษในการยืดตัวหนีน้ำได้ ส่วนมากปลูกกันในแทบจังหวัดอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิจิตร อ่างทอง ชัยนาท และสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่ปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.3 จำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยว

1) ข้าวเบา (early variety) คือข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 90-100 วัน

2) ข้าวกลาง (medium variety) คือข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 100-120 วัน

3) ข้าวหนัก (late variety) คือข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 120 วันขึ้นไป

2.5.2.4 จำแนกตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง

1) ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive variety) ข้าวพวกนี้มีอายุการเก็บเกี่ยวไม่แน่นอน เพราะจะออกดอกในช่วงเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้นกว่ากลางคืน ในประเทศไทยช่วงดังกล่าวเริ่มเดือนตุลาคมฉะนั้นข้าวพวกนี้จะต้องปลูกในฤดูนาปีเท่านั้น

2) ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง (non-photoperiod sensitive variety) ข้าวพวกนี้มีอายุการเก็บเกี่ยวที่แน่นอน ออกดอกและเก็บเกี่ยวได้เมื่อครบอายุการเจริญเติบโตโดยที่ช่วงแสงจะไม่มีอิทธิพลในการบังคับให้ออกดอก จึงสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล แต่ไม่ควรปลูกในช่วงเก็บเกี่ยวอยู่ในระยะที่มีฝนตกชุก เพราะจะทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสูง

2.5.2.5 จำแนกตามรูปร่างของเมล็ด

1) ข้าวเมล็ดสั้น (shot grain) ความยาวไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร

2) ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium-long grain) ความยาว 5.51-6.60 มิลลิเมตร

3) ข้าวเมล็ดยาว (long grain) ความยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร

4) ข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) ความยาวมากกว่า 7.50 มิลลิเมตรขึ้นไป

2.5.2.6 จำแนกตามฤดูกาลปลูก

1) ข้าวนาปี หรือข้าวนาน้ำฝน (rain fed rice) คือข้าวที่ปลูกในฤดูทำนา สำหรับประเทศไทยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และจะเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์

2) ข้าวนาปรัง (off-season rice) คือข้าวที่ปลูกนอกฤดูกาลการทำนาปี จะเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมในบางท้องที่ และเก็บเกี่ยวอย่างช้าสุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในท้องที่ ๆ มีการชลประทานดี (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2.5.3 พันธุ์ข้าว

2.5.3.1 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาพันธุ์และได้ข้าวรวงที่ 105 ที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม และเมล็ดอ่อนนุ่ม เมื่อนำมาหุงต้ม ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงพันธุ์ให้บริสุทธิ์ตามหลักวิชาการจนได้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 คณะกรรมการการพิจารณาพันธุ์ ให้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2502 สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เหมาะสม ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่ ลักษณะทั่วไป เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสงเป็นข้าวต้นสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว ข้าวจะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายน ของทุกปี ระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 8 สัปดาห์ ขนาดเมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร ปริมาณอะมิโลส 12-17 % ผลผลิตประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดเรียวยาว ก้นงอน สีฟาง ข้อดีคือ มีกลิ่นหอม เมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ทนต่อสภาพแล้ง ทนต่อดินเปรี้ยวและดินเค็ม คุณภาพการขัดสีดี เมล็ดข้าวสารใส แข็ง มีท้องไข่น้อย นวดง่าย เนื่องจากเมล็ดหลุดร่วงจากรวงได้ง่าย เป็นที่ต้องการของตลาด ขายได้ราคาดี ข้อจำกัด ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคไหม้ และโรคใบหงิก ไม่ต้านทานแมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ต้นอ่อนล้มง่าย ถ้าปลูกในบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553)

2.5.3.2 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (Pathum Thani 80)

ข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 80 (กข31) จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ SPR85163-5-1-1-2 กับสายพันธุ์ IR54017-131-1-3-2 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี เมื่อ พ.ศ. 2536 ปลูกคัดเลือก ตั้งแต่ พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2539 ได้สายพันธุ์ SPR93049-PTT-30-4-1-2 ศึกษาพันธุ์ ประเมินลักษณะประจำพันธุ์และลักษณะทางการเกษตร ทดสอบความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ วิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและเคมีที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ประเมินผลผลิตและทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ในศูนย์วิจัยข้าวภาคกลาง และปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในนาเกษตรกร 8 จังหวัดในภาคกลางจนถึง พ.ศ. 2549 คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ กรมการข้าวมีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง ชื่อ ปทุมธานี 80 (กข31) เพื่อแนะนำให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2550 ลักษณะประจำพันธุ์ ปทุมธานี 80 (กข31) เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ต้นสูงเฉลี่ย 117 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 118 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีปักดำ และ 111 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม ใบสีเขียว กาบใบสีเขียว ใบธงตั้ง คอรวงยาว รวงยาว 29.9 เซนติเมตร ติดเมล็ด 90 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง 130 เมล็ด นวดง่าย เปลือกเมล็ดสีฟางเมล็ดไม่มีหาง ข้าวกล้องสีขาว เป็นท้องไข่น้อย รูปร่างเรียวยาว 7.39 มิลลิเมตร กว้าง 2.13 มิลลิเมตร หนา 1.84 มิลลิเมตร คุณภาพการสีดี ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว 47.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะมิโลส 27.3–29.8 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิแป้งสุกระดับปานกลาง แป้งสุกอ่อน ข้าวสุกค่อนข้างแข็ง ไม่หอม ระยะพักตัวของเมล็ด 5 สัปดาห์ ผลผลิต เฉลี่ย 745 กิโลกรัมต่อไร่ (ปักดำ) เฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ (นาหว่านน้ำตม) ลักษณะเด่น คุณภาพเมล็ดทางกายภาพสม่ำเสมอกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่างกอตั้ง ต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ผลผลิตสูง ปลูกโดยวิธีปักดำให้ผลผลิต 745 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าผลผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ และปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมให้ผลผลิตเฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าผลผลิตของพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่แนะนำ นาชลประทานภาคกลาง ข้อควรระวัง ปทุมธานี 80 (กข31) อ่อนแอต่อโรคไหม้ โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553)

2.5.3.3 ข้าวพันธุ์ กข1 (RD1)

ข้าว กข ย่อมาจาก "กรมการข้าว" ที่ปัจจุบันเปลี่ยนเป็นสถาบันวิจัยข้าว ข้าว กข1 เป็นข้าวที่ให้ผลผลิตสูง พันธุ์แรกของไทยที่ได้รับการผสมพันธุ์ขึ้นเมื่อปี 2512 เป็นข้าวที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติพัฒนาขึ้นจนได้รับสมญาว่า "ข้าวมหัศจรรย์" เพราะเป็นพันธุ์แรกของโลกที่ให้ผลผลิตสูงถึง 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าว กข1 ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์พื้นเมืองเหลืองทองนาปรัง กับไออาร์ 8 ผสมพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวบางเขนในฤดูนาปรังปี พ.ศ. 2509 โดยนายวรวิทย์ พาณิช-พัฒน์ แล้วทำการคัดเลือกแบบสืบตระกูลจนได้สายพันธุ์ BKN6617-56-1-2 ซึ่งเป็นข้าวเจ้าพันธุ์ผสมพันธุ์แรกที่ปลูกได้ตลอดปี ได้รับการรับรองพันธุ์จาก คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2512 ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 115 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 130 วัน ลำต้นและใบสีเขียวอ่อน ใบธงตั้งตรง เมล็ดเรียวยาว เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 3 สัปดาห์ ท้องไข่น้อย เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง × ยาว × หนา = 2.2 × 7.1 × 1.8 มิลลิเมตร ปริมาณอะมิโลส 29-30% คุณภาพข้าวสุกร่วน แข็ง ผลผลิต ประมาณ 742 กิโลกรัมต่อไร่ ลักษณะเด่น เป็นพันธุ์ที่เหมาะสำหรับปลูกในเขตชลประทาน ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยในระดับสูง แตกกอดี ลำต้นแข็งไม่ล้มง่าย ข้าวกล้องใส แกร่ง คุณภาพการสีดี ค่อนข้างต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล ข้อควรระวังไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบหงิก โรคใบขีดสีน้ำตาล โรคใบสีส้ม และโรคไหม้ ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว หนอนกอ และแมลงบั่ว พื้นที่ที่แนะนำในการปลูก ทุกภาคที่มีการชลประทาน (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553)

2.5.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

2.5.4.1 สภาพพื้นที่ดิน

ดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าว ควรมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี มีธาตุอาหารเป็นประโยชน์แก่ข้าวมากพอ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-6.5 และมีอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 5 % ควรเป็นดินที่มีหน้าดินลึก 30-50 เซนติเมตร ประกอบไปด้วยอนุภาคของดินเหนียวไม่ต่ำกว่า 30 % เพราะหลังจากการไถและคราดส่วนหนึ่งของอนุภาคดินจะตกตะกอนกลายเป็นชั้นดินดาน ช่วยลดการไหลซึมของน้ำที่กักเก็บไว้ในนา นอกจากนี้ดินเหนียวยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่วนดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว คือดินที่เป็นทรายจัด และดินร่วนปนทราย เพราะขาดคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำ ดินนาในภาคกลางและภาคเหนือส่วนใหญ่จะเป็นดินเหนียว และดินร่วนปนดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียว มีความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารได้ดี ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะไม่เหมาะสมต่อการทำนา ดินนาทางภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนดินเหนียว มีบางส่วนเป็นดินร่วนปนทราย แต่ความอุดมสมบูรณ์ดีกว่าทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากยังคงมีป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์เป็นที่มาของธาตุอาหารซึ่งถูกน้ำพัดพาลงสู่พื้นที่นาในที่ลุ่ม (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2.5.4.2 ความอุดมสมบูรณ์ของน้ำ

การให้น้ำแก่ต้นข้าวมากเกินไปไม่เป็นผลดีแก่ต้นข้าว เพราะจะทำให้ดินขาดออกซิเจน ดังนั้นจึงควรปล่อยให้ข้าวขาดน้ำบ้างเป็นระยะ ๆ ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่รากข้าวแล้วยังช่วยลดสารพิษลงอีกด้วย นอกจากนั้นยังทำให้ความชื้นรอบต้นข้าวสูงเหมาะสมต่อการแพร่กระจายของโรคและแมลง สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) แนะนำว่าการรักษาระดับน้ำสูงประมาณ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูกจะได้ผลผลิตสูงกว่าที่ให้ระดับน้ำสูง 15-20 เซนติเมตร เพราะหลังปักดำต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดีกว่าและปูนาทำลายน้อยกว่า เนื่องจากกลางวันร้อน แต่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทย เช่น พันธุ์เล็บมือนาง สามารถทนระดับน้ำสูงได้ดี จึงให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกัน

2.5.4.3 สภาพอากาศ

ความแปรผันของภูมิอากาศที่แปรเปลี่ยนไปตามวัน เวลา และสถานที่ นับเป็นปัจจัยธรรมชาติที่มีผลต่อการปลูกข้าวเป็นอย่างมาก แต่ถ้าเราสามารถที่จะเรียนรู้และทำความเข้าใจความแปรผันเหล่านั้นว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่มาเกี่ยวข้อง เราก็สามารถหลีกเลี่ยงความแปรผันของธรรมชาติที่อาจจะมีผลในเชิงลบต่อการปลูกข้าวได้ ภูมิอากาศรอบ ๆ ตัวเราที่มีอิทธิพลต่อการปลูกข้าว แบ่งออกได้ดังนี้

1) ความชื้น

แม้ว่าจะไม่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวมากเท่ากับปัจจัยทั้ง 4 ที่กล่าวแล้ว แต่จะมีผลต่อการแพร่กระจายของโรค เช่น ในช่วงที่บรรยากาศร้อนชื้น การแพร่กระจายของโรคไหม้ (blast) จะรวดเร็วมาก ถ้าเวลากลางคืนอากาศชื้นมาก เชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดก็จะแพร่กระจายได้รวดเร็วมาก มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวในที่สุด

2) ฝน

โดยปกติเกษตรกรไทยปลูกข้าวในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม) ทั้งนี้เพราะต้องอาศัยน้ำฝนทำให้พื้นนาอ่อนนุ่มจนไถพรวนได้ ข้าวต้องการน้ำฝนตลอดฤดูกาลไม่น้อยกว่า 1,200 มิลลิลิตร แต่ถ้าในพื้นที่นั้นมีฝนตกเกือบทุก ๆ 3-4 วัน รวมวันที่ฝนตกมากกว่า 15 วันในหนึ่งเดือน แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำฝนรวมไม่ถึง 900 มิลลิลิตร ก็จะไม่ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง ดังนั้นในการพิจารณาความเหมาะสมของปริมาณน้ำฝนต่อการปลูกข้าว ต้องคำนึงถึงการกระจายมากกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) พลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation)

พลังงานรังสีที่เป็นประโยชน์ต่อการปรุงอาหารของข้าว อยู่ในช่วงที่สายตามองเห็นได้ (visible length) คือ 380-720 นาโนเมตร สำหรับประเทศไทยพลังงานรังสีที่วัดได้ในหนึ่งวันช่วงระยะเวลาใกล้เก็บเกี่ยว คือ ประมาณ 350 แคลอรี่ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับที่วัดได้ในประเทศญี่ปุ่น (400 แคลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน) สาเหตุที่พลังงานรังสีที่วัดได้ในประเทศญี่ปุ่นมากกว่าประเทศไทย ก็เพราะในช่วงเดียวกันนี้ความยาวของเวลากลางวันในประเทศญี่ปุ่นมากกว่าในประเทศไทย

4) ลม

นอกจากจะช่วยระบายความร้อนแล้ว ยังช่วยรักษาระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้การปรุงอาหารของข้าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่มากกว่า 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีผลต่อการแพร่กระจายของโรคและแมลงศัตรูข้าวบางชนิด ทั้งอาจทำให้ใบข้าวฉีกขาด ต้นข้าวหักล้ม การสร้างและการสะสมอาหารหยุดชะงัก จึงควรปลูกไม้ยืนต้นบังลม (wind break) เพื่อลดความแรงการเข้าปะทะต้นข้าว

5) แสง

ความยาวของแสงในแต่ละวัน (day length) มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าว เพราะมีผลต่อปริมาณพลังงานแสงที่ข้าวจะได้รับรวมต่อวัน เช่น ในเดือนกรกฎาคมช่วงแสงแต่ละวันของประเทศญี่ปุ่นจะยาวกว่าประเทศไทยถึง 3 ชั่วโมง จึงทำให้ต้นข้าวในประเทศญี่ปุ่นมีเวลาในการสร้างและสะสมอาการนานกว่าต้นข้าวในประเทศไทย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของข้าวของญี่ปุ่นสูงกว่าไทย ข้าวที่เป็นพืชวันสั้น (short day plant) ฉะนั้นช่วงแสงที่ยาวกว่า 12 ชั่วโมง ในเวลากลางวันจะทำให้ข้าวที่ไวต่อแสงไม่ออกดอก จนถึงเดือนที่กลางวันสั้นกว่ากลางคืนในเดือนตุลาคม ความรู้เรื่องช่วงแสงช่วยให้ตัดสินได้ว่า ในท้องถิ่นนั้น ๆ ควรจะเลือกพันธุ์ข้าวประเภทใดมาปลูก ข้าวพันธุ์พื้นเมืองส่วนใหญ่ไวต่อช่วงแสง เมื่อปลูกช่วงฤดูฝนจะออกประมาณเดือนตุลาคม และเก็บเกี่ยวปลายเดือนพฤศจิกายน บางพันธุ์อาจจะล่าไปจนถึงเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่หมดฝนแล้ว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

6) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการติดเมล็ด (Osada et al, 1973) ประเทศในเขตอบอุ่นช่วงข้าวใกล้สุกแก่จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 22 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เวลาการสุกแก่ยืดออกไปอีก ข้าวมีเวลาสร้างน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น ส่วนในประเทศไทยช่วงฤดูการทำนาอุณหภูมิจะอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวสุกแก่เร็ว ได้ผลผลิตต่ำ นอกจากนี้ออกดอกในช่วงที่ร้อนจัดบรรยากาศแห้งแล้งจะติดเมล็ดน้อยมาก ทั้งนี้เพราะความร้อนทำให้ไข่ที่ได้รับการผสมเกสรแล้วไม่เจริญเป็นเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การทำนาดำ (Transplanting rice)

การทำนาดำ เป็นการนำต้นกล้าที่มีอายุ 20-30 วัน ซึ่งมีความสูง 25-30 เซนติเมตร ไปปักดำในแปลงที่ไถดะ ไถแปร และคราดจนดินเป็นเทือกดีแล้ว และขังน้ำไว้สูง 5-10 เซนติเมตร วิธีนี้ลดความเสี่ยงในการที่ข้าวจะถูกน้ำท่วมขังในช่วงแรก และลดปริมาณวัชพืชในนาได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับการทำนาหว่านนาน้ำตม เพราะเมื่อน้ำขณะที่ปักดำสูงวัชพืชก็ไม่สามารถงอกได้ วิธีนี้ใช้แรงงานมากทั้งในการถอนต้นกล้าและปักดำ แต่จะลดค่าใช้จ่ายในการควบคุมวัชพืช การทำนาดำมีขั้นตอนดังนั้น (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2.5.5.1 การเตรียมแปลงตกกล้า

แปลงตกกล้าควรอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ และควรเป็นแปลงที่สามารถทดน้ำเข้า และระบายน้ำออกได้สะดวก ดินมีความอุดมสมบูรณ์พอประมาณ ไม่ไกลแปลงปักดำมากนัก ขั้นตอนในการเตรียมแปลงตกกล้าคือ (ชาญ, 2536)

1) สูบน้ำเข้าแปลงจนท่วมแปลงกล้าประมาณ 10 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 2-3 วัน

2) ไถดะ ไถแปรแล้วคราด 2-3 ครั้ง เพื่อหมักวัชพืชลงดิน

3) คราดดินให้เหลวจนเป็นเทือกแล้วปรับให้เรียบ แบ่งแปลงให้ยาวไปตามทิศทางลม ขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 40 เมตร เว้นทางเดินระหว่างแปลง 50 เซนติเมตร ความยาวของแปลงอาจลดลงเหลือ 20 เมตร ก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของกระทงนา

4) หว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 1.5-2.0 กิโลกรัมต่อ 80 ตารางเมตร หรือปุ๋ยหมัก 1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร จากนั้นคลุกเคล้าปุ๋ยเข้ากับหน้าดิน

2.5.5.2 การเตรียมเมล็ดพันธุ์

เตรียมเมล็ดข้าวที่มีความงอกไม่ต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ 80 กิโลกรัม เพื่อหว่านในแปลงตกกล้า 1 ไร่ กล้าที่ได้ใช้ปักดำได้ประมาณ 20 ไร่ โดยใช้ 3-5 ต้นต่อจับ

2.5.5.3 การตกกล้า

คัดเลือกเมล็ดเฉพาะที่สมบูรณ์ โดยการใส่น้ำในภาชนะเติมเกลือลงไปจนเมื่อนำไข่ไก่สดใส่ลงไปแล้วมีส่วนลอยพ้นผิวน้ำประมาณ 2 มิลลิลิตร แช่เมล็ดแล้วคน 1-2 นาที แช่เมล็ดที่ลอยไม่สมบูรณ์ทิ้ง นำเมล็ดที่จมน้ำใส่กระสอบประมาณ ¾ ของความจุแล้วมัดปากให้แน่น นำไปแช่ในน้ำ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวางเรียงไว้โดยมีช่องระบายอากาศเล็กน้อยระหว่างกระสอบ แล้วจึงนำกระสอบเปียกปิดทับกองกระสอบที่มีเมล็ดข้าวอยู่ภายใน รดน้ำในตอนเช้าให้ชุ่ม พลิกกลับกระสอบในตอนเย็นเพื่อกระจายความชื้นภายในกระสอบ เมื่อครบ 36 ชั่วโมงลองเปิดดู ถ้าปรากฏรากสีขาวยาว 3-5 มิลลิเมตร ก็นำไปหว่านต้องกระจายเมล็ดพันธุ์ให้สม่ำเสมอ (อภิชาต และเสริม ศักดิ์, 2526)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.4 การดูแลแปลงตกกล้า

หลังจากหว่านเมล็ด 1-2 วัน ควรรักษาระดับน้ำให้อยู่ระดับเดียวกับเมล็ดข้าว หลังจากนั้นเพิ่มให้อยู่ระหว่าง 2-3 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้าอายุได้ 15 วัน ระบายน้ำออกให้ต้นกล้าขาดน้ำ 2 วัน แล้วจึงไขน้ำเข้า 3-5 เซนติเมตร จนต้นกล้าอายุ 25 วัน ปล่อยน้ำให้แปลงตกกล้าขาดน้ำอีก 2-3 วัน เพื่อให้รากรับออกซิเจนเต็มที่อีกครั้ง จนต้นกล้าอายุได้ 30 วัน จึงถอนไปปักดำ ต้นกล้าที่ได้จะสมบูรณ์แข็งแรง สีออกเขียวอมเหลือง ตั้งตัวเร็ว หลังการปักดำต้นกล้าตายน้อยไม่ต้องเสียเวลา และค่าแรงงานปลูกซ่อม ต้นข้าวเจริญเติบโตสม่ำเสมอ ชาวนาควรหมั่นตรวจสอบแปลงกล้าเสมอ หากพบเพลี้ยไฟเข้าทำลายให้ไขน้ำให้ท่วมมิดต้นข้าว 6-12 ชั่วโมง หรือใช้สาร เอส 85 2 ช้อนแกงพูน ผสมน้ำ 1 ปีบฉีด ถ้าอากาศร้อนชื้นสลับกัน 3-4 วัน ให้สังเกตโรคไหม้ซึ่งต้องใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืชควบคุม (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2.5.5.5 การถอนกล้า การปักดำ

ถอนกล้าอายุ 25-30 วัน แล้วนำมาล้างรากโดยใช้มือจับแยกรากที่โคนต้นสลัดน้ำในน้ำ จากนั้นจึงมัดเป็นกำบนแป้นตบกล้า จะทำให้รากข้าวเสมอกันปักดำได้สะดวก ต้นกล้าหนึ่งกำมี 800-1,000 ต้น ต้นกล้า 100 กำใช้ปักดำได้ 1 ไร่ เมื่อมัดเป็นกำแล้วจึงเคลื่อนย้ายไปแปลงปักดำ โดยวางเรียงแถวกระจายทั่วแปลงให้รากแช่น้ำตลอดเวลาจนถึงเวลาปักดำ

2.5.5.6 การใส่ปุ๋ยแปลงปักดำ

ควรเว้นระยะระหว่างต้น และระหว่างแถวให้พอเหมาะ ทั้งนี้ขึ้นกับคุณสมบัติ เช่น การแตกกอ ลักษณะของลำต้น และใบของแต่ละพันธุ์ (ข้าวพันธุ์ใหม่มักจะมีการแตกกอสูง ลำต้นเตี้ย และใบตั้งตรง) การปักดำทำได้สองวิธี คือ ดำคลอง เป็นการดำแถวยาว เมื่อเสร็จแล้วจะเห็นเป็นรูปสี่เหลี่ยม อีกวิธีคือ ดำส้าว เป็นการดำทแยงมุม เมื่อเสร็จจะเป็นรูปคล้ายสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน การดำอีกวิธีหนึ่งเรียกว่า ดำวิชาการ เป็นการดำที่มีการขึงเส้นลวดที่มีระยะปักดำตามความต้องการของแต่ละงานทดลองของนักวิชาการ โดยเฉลี่ยชาวนา 1 คน ปักดำข้าวได้วันละประมาณ 1 ไร่ ในแต่ละฤดูปลูก ชาวนา 1 คน จะทำนาดำได้ 10-12 ไร่ ปัญหาการขาดแคลนแรงงานปักดำ ทำให้ชาวนาส่วนหนึ่งหันมาทำนาหว่านน้ำตมแทน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2.5.5.7 การใส่ปุ๋ยแปลงปักดำ

ก่อนปักดำ 1 วันใส่ปุ๋ยรองสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วคราดกลบ แต่ถ้าใช้ปุ๋ยหมักควรใส่ก่อน 5-7 วัน อัตรา 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วจึงใส่ปุ๋ยเคมี 25 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนปักดำ 1 วัน (ดินนาที่เป็นดินทรายใช้ปุ๋ยสูตร 16-16-8) ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อข้าวเริ่มสร้างรวงถึงระยะตั้งท้อง คือ 45-50 วันหลังปักดำ ระยะนี้ข้าวต้องการปุ๋ยมาก ควรใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.8 การป้องกันศัตรูข้าว

ระยะ 10-20 วันหลังปักดำ ตรวจดูการระบาดของหนอนกอ เพลี้ยจักจั่น และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล การป้องกันใช้ฟูราดาน 3% G หว่านอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่หรือฉีดด้วย มาราไธออน (malathion) อัตรา 20 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร 45-50 วันหลังปักดำ เมื่อข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อนควรตรวจดูหนอนกอ ถ้าพบให้ฉีดเอส 85 หรือมาราไธออนอีกครั้ง

2.5.5.9 การระบายน้ำและเก็บเกี่ยว

หลังจากข้าวออกดอกได้ 15-20 วัน ระบายน้ำออกจากแปลงให้หมด เก็บเกี่ยวเมื่อข้าวอายุได้ประมาณ 120 วัน

2.5.5.10 การใส่ปุ๋ยอนินทรีย์

ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักนั้น แม้จะมีอยู่ในดินแต่ก็ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวตลอดฤดูกาล โดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งมักจะพบว่าข้าวมีความต้องการมากในช่วงการเจริญเติบโต การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนควรระวังในเรื่องอัตราการใส่ เพราะธาตุนี้นอกจากจะสูญหายได้ง่ายแล้วถ้าใส่มากเกินไปอาจทำให้ต้นข้าวหักล้มได้ง่าย ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมนั้น ใส่ก่อนปลูกครั้งเดียวในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับชนิดของดินตามคำแนะนำก็พอแล้ว อย่างไรก็ตามปุ๋ยที่ใส่กับข้าวจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยเพียงไร จะเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งนี้เพราะในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว จะมีความต้องการธาตุอาหารในประมาณที่แตกต่างกัน ความต้องการธาตุอาหารในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว สำหรับการทำนาดำ พอสรุปได้ดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

ในการทำนาดำแผนใหม่มีคำแนะนำในเรื่องอัตรา และเวลาการใส่ปุ๋ยสำหรับข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง และข้าวพันธุ์ไวแสง ดังนี้

1) หลังจากปักดำ 30-35 วัน ข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อแสง ต้องการอาหารในปริมาณมากเพื่อสร้างหน่อ เพิ่มความสูงและความกว้างยาวของใบ จึงจำเป็นต้องให้ปุ๋ยรองพื้นที่ให้เพียงพอ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน

2) ระยะแตกกอสูงสุดถึงเริ่มสร้างรวงอ่อน รวมเวลา 30-35 วัน ข้าวทั้งสองชนิดจะใช้อาหารน้อยมาก เพราะอยู่ในระหว่างหยุดการแตกกอ ในบางครั้งหน่อเล็ก ๆ ที่ออกใหม่อาจตายไปบ้าง ไม่มีการเพิ่มความสูงอย่างเช่นในระยะแรก ถ้าใส่ปุ๋ยโดยเฉพาะไนโตรเจน จะเกิดการสูญเสียหมดก่อนจะถึงระยะที่ข้าวต้องการธาตุอาหารมากจึงเป็นการสิ้นเปลืองโดยไม่มีประโยชน์

3) ระยะการสร้างรวงอ่อนจนถึงออกดอก คือประมาณ 60 วันหลังปักดำ (เมื่อนำต้นแม่มาผ่าตามยาวจะเห็นตุ่มสีเขียวอ่อนที่ข้อบนสุด) ข้าวต้องการธาตุอาหารมาก เพื่อเพิ่มจำนวนเมล็ดดีต่อรวง และแขนงที่ให้ผลผลิตได้ ให้ใส่ปุ๋ยครั้งที่สองได้ การให้ธาตุอาหารให้ถูกกับเวลาจะเพิ่มผลผลิต โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) จากออกดอกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว คือประมาณ 120 วันหลังปักดำ ระยะนี้ข้าวจะเพิ่มน้ำหนักรวงขึ้นเรื่อย ๆ ปุ๋ยที่ใส่แต่งหน้าครั้งที่สองอาจจะถูกใช้หมดไป ถ้ายังมีแรงงาน และปุ๋ยเพียงพอก็อาจจะใส่เป็นครั้งที่ 3

2.5.5.11 การใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ เป็นปัญหาที่ชาวนากำลังได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านการเตรียม และปริมาณธาตุอาหารในดิน ในอดีตเมื่อถึงฤดูน้ำหลากน้ำก็จะพัดตะกอนซึ่งประกอบไปด้วยอินทรียวัตถุเข้าสู่แปลงนา ทำให้ชาวนาไม่มีปัญหาเรื่องการเตรียมดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุช่วยให้ดินนาร่วนซุยไถพรวนได้ง่าย ทั้งยังให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวด้วย ปัจจุบันชาวนาไทยตื่นตัวในการแก้ไขปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ โดยนำปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษใบไม้ แกลบ หรือกากตะกอนน้ำเสีย มาใส่ลงในแปลงก่อนไถพรวน Singh และ Agrawal (2010) พบว่ากากตะกอนน้ำเสีย มีส่วนช่วยปรับสภาพทางกายภาพ และทางเคมีของดิน ซึ่งนอกจากจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวแล้วยังทำให้ดินกักเก็บน้ำ และดูดยึดธาตุอาหารต่าง ๆ ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวสูงขึ้น

2.5.5.12 การควบคุมวัชพืช

วัตถุประสงค์ในการควบคุมวัชพืช คือการลดปริมาณวัชพืชให้อยู่ในระดับที่ไม่เกิดผลเสียต่อผลผลิตข้าว ซึ่งทำได้หลายวิธีดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

1) เมื่อเตรียมแปลงนาดำเสร็จแล้ว ขังน้ำไว้ในแปลงตลอดเวลา ไม่น้อยกว่า 3-5 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการงอกของเมล็ดวัชพืช หรือเมล็ดข้าวดีด แต่ถ้าแปลงนามีวัชพืชมากควรปล่อยให้หน้าดินแห้ง 5-7 วัน จนวัชพืช หรือข้าวดีดเริ่มงอก แล้วจึงไขน้ำท่วม หลังจากนั้นคราดซ้ำอีกครั้งหรือสองครั้ง

2) การถอนด้วยมือ เป็นวิธีที่ชาวนาปฏิบัติเป็นประจำอยู่แล้ว เป็นการลดปริมาณวัชพืช และข้าวดีด ลงไปได้ระดับหนึ่ง แต่การถอนขณะที่ต้นข้าวกำลังเจริญเติบโตนั้น อาจทำให้ต้นข้าวชะงักการเจริญเติบโตได้ ดังนั้นถ้าเป็นนาดำควรทิ้งระยะไว้ 10-15 วันหลังปักดำ เพื่อให้ระบบรากข้าวพัฒนาได้ระยะหนึ่ง ก่อนจะถูกกระทบกระเทือนจากการถอนวัชพืช และในระยะนี้วัชพืชยังมีขนาดเล็ก ถอนง่ายและเบาแรง

2.5.5.13 การเก็บเกี่ยว

เมล็ดข้าวจะสุกแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 30 วันหลังออกดอก การเก็บเกี่ยวเร็วเกินไปทำให้ได้น้ำหนักของเมล็ดน้อย และเมื่อนำไปสีขัดเมล็ดจะหักมาก แต่ถ้าเก็บเกี่ยวช้าเกินไปเมล็ดข้าวอาจร่วนหล่นจากรวง ทำให้สูญเสียผลผลิตส่วนนั้นไป วิธีที่นำให้ปฏิบัติคือ ระบายน้ำออกจากแปลงนา หลังจากข้าวออกดอกได้ 20 วัน เพื่อเร่งให้ข้าวสุกแก่พร้อมกัน เมล็ดข้าวจะมีความชื้นต่ำและคุณภาพดี พื้นนาแห้งเก็บเกี่ยวข้าวได้สะดวก ข้าวที่เหมาะจะเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง ระยะ

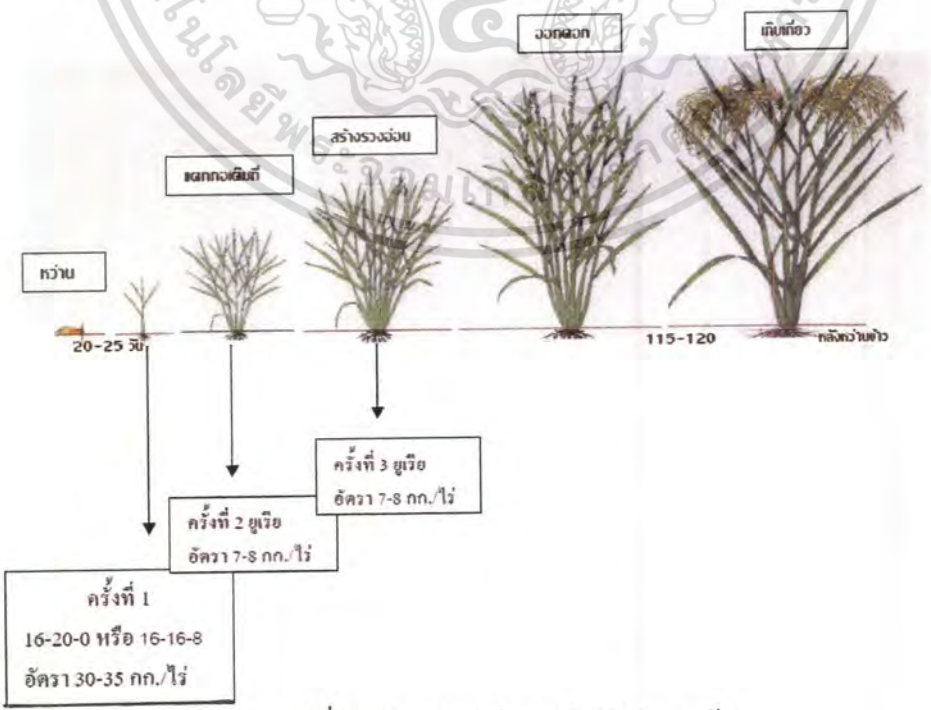
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลับพลึง ระยะนี้เมล็ดข้าวส่วนใหญ่จะสุกแก่หมดแล้ว สีเหลืองอร่าม การเก็บเกี่ยวที่ระยะนี้จะทำให้ได้เมล็ดที่แข็งแกร่ง สีได้เมล็ดเต็มสูง น้ำหนักเมล็ดดี ขายได้ราคาสูงเนื่องจาก เมื่อนำไปสีจะมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวหักต่ำ หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วต้องรีบขนมาเก็บไว้ในลานนวดข้าวทันที โดยต้องระวังเมล็ดข้าวจะหล่นจากร่วง ไม่ควรปล่อยข้าวไว้ในแปลงเพราะอาจถูกสัตว์ศัตรูข้าวเข้ากัดกิน Wimberly (1972) รายงานว่า ในกระบวนการเก็บเกี่ยวจนถึงการนวด มีโอกาสสูญเสียถึง 6-21 % ขึ้นอยู่กับความรอบคอบของชาวนา

2.5.6 การใช้แผ่นเทียบสีใบข้าว (Leaf Color Chart: LCC)

กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้นำแผ่นเทียบสี (Leaf Color Chart) หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่า แอลซีซี (LCC) ซึ่งพัฒนาโดยสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติที่ฟิลิปปินส์มาช่วยแก้ไขและลดปัญหาการใช้ปุ๋ยที่ไม่มีประสิทธิภาพ โดยการใช้แผ่นเทียบสีกับใบของต้นข้าวว่าต้องการธาตุไนโตรเจนเท่าใดจึงจะเหมาะสม

การใช้แผ่นเทียบสี (Leaf Color Chart : LCC) ในการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนเป็นปุ๋ยที่สูญเสียได้ง่ายในสภาพน้ำขัง ดังนั้นเพื่อให้การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวมีประสิทธิภาพคุ้มค่ากับราคาปุ๋ยที่นับวันจะสูงขึ้นทุกวัน จึงได้มีคำแนะนำให้แบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจน แต่การแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้มีประสิทธิภาพตรงต่อความต้องการของข้าว จึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการตัดสินใจเพื่อให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนได้ตรงช่วงเวลาความต้องการของข้าวที่ข้าวจะสามารถดูดใช้ปุ๋ยได้มากที่สุด ซึ่งสามารถประหยัดปุ๋ยลงได้มากกว่า 30 % คำแนะนำในการใส่ปุ๋ยแสดงดังรูปที่ 2.1 (กรมการข้าว, 2554)



รูปที่ 2.1 คำแนะนำในการใส่ปุ๋ยในนาข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีวิธีการใช้แผ่นเทียบสี ดังนี้

2.5.6.1 ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 อัตราและเวลาตามคำแนะนำแล้วใช้แผ่น LCC วัดใบข้าวทุก ๆ 7 วัน หลังการใส่ปุ๋ยครั้งแรก

2.5.6.2 เลือกใบข้าวสำหรับวัดแผ่นเทียบสี จำนวนอย่างน้อย 10 ใบ ตามจุดต่าง ๆ กระจายทั่วแปลง

2.5.6.3 เลือกใบจากใบบนที่สมบูรณ์และแผ่นใบแผ่เต็มที่ซึ่งเป็นใบที่โตเต็มวัย

2.5.6.4 วางใบข้าวที่จะวัด โดยให้แผ่นใบทาบตามแนวตั้งของใบลงบนแผ่นเทียบสี

2.5.6.5 ระวังอย่าให้ใบโดนแสง เพราะอาจทำให้สีเปลี่ยนไปได้ เนื่องจากการสะท้อนของแสงแดดเข้าสู่สายตาผู้วัด

2.5.6.6 อ่านค่าแผ่นเทียบสี (LCC) ดังตัวอย่างการอ่าน LCCในรูปที่ 2.2

วัดครั้งที่ 1 วัดครั้งที่ 2 วัดครั้งที่ 3

หลังการใส่ปุ๋ยครั้งแรก

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการอ่าน LCC

เมื่อระดับสีที่วัด ได้ค่า LCC = 3-4 โดยพิจารณา

ปลูกโดยวิธีการปักดำ ใช้ค่า LCC = 4 หรือน้อยกว่า

ปลูกโดยวิธีการหว่านน้ำตม ใช้ค่า LCC =3 หรือน้อยกว่า

พันธุ์ข้าวที่มีใบสีเข้ม ใช้ค่า LCC = 4 หรือน้อยกว่า

พันธุ์ข้าวที่มีใบสีอ่อน ใช้ค่า LCC = 3 หรือน้อยกว่า

จึงใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 7-8 กก./ไร่ สำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง และ 4-5 กก./ไร่ สำหรับข้าวไวต่อช่วงแสง วัดสีของใบข้าวและใส่ปุ๋ยเช่นนี้ไปจนถึงระยะกำเนิดช่อดอก (ข้าวแต่งตัว) (กรมการข้าว, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Singh and Agrawal (2010) ศึกษาเรื่อง อิทธิพลของการสะสมโลหะหนัก ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว ที่ปลูกในดินผสมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมือง Dinapur โดยศึกษาความเหมาะสมของอัตราส่วนกากตะกอนกับดิน ที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว (*Oryza sativa* L. cv. Pusa sugandha 3) โดยประเมินผลการสะสมโลหะหนักจากการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ และผลผลิตของข้าวที่เจริญเติบโตในดินผสมกากตะกอนที่อัตราส่วน 0, 3, 4.5, 6, 9 และ 12 kg/m^2 เมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวหลังจากที่เพาะปลูกได้ 125 วัน ผลการศึกษาพบว่ากากตะกอนมีส่วนช่วยปรับสภาพทางกายภาพ-เคมีของดิน แต่ส่งผลให้ดินมีโลหะหนักเพิ่มขึ้น และทำให้พืชมีการสะสมโลหะหนักสูงขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของลักษณะต้นข้าวมีความยาวรากลดลง แต่ความยาวลำต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อข้าวเจริญเติบโตในดินผสมกากตะกอน พบว่าผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น 60%, 111%, 125%, 134% และ137% ที่อัตราส่วนของกากตะกอน 3, 4.5, 6, 9 และ 12 kg/m^2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับดินชุดควบคุม เมื่อปลูกข้าวในดินผสมกากตะกอน 4.5 kg/m^2 พบว่า ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ต้นข้าว (ส่วนเหนือดิน) มีความเข้มข้นของ Ni และ Cd ไม่เกินมาตรฐานของประเทศอินเดีย (1.5 kg/m^2) และเมื่อปลูกข้าวในดินผสมกากตะกอน 6 kg/m^2 ต้นข้าว (ส่วนเหนือดิน) มีความเข้มข้นของ Pb ไม่เกินมาตรฐานของประเทศอินเดีย (2.5 kg/m^2) แต่ในส่วนรากของข้าว (ส่วนใต้ดิน) มีความเข้มข้นของ Ni, Cd และ Pb สูงกว่ามาตรฐาน

อุษณีย์ และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาเรื่องการศึกษาลักษณะสมบัติและความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนน้ำเสียชุมชน เพื่อนำไปใช้ในการเกษตร โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนและทดสอบการงอกของเมล็ดพืช กากตะกอน 3 ชนิด ที่ได้มาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม ได้แก่ กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนที่ศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอน ปริมาณธาตุอาหารหลัก และปริมาณโลหะหนัก ผลการศึกษาพบว่าลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด ที่วิเคราะห์ได้ ยังมีสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และปริมาณทองแดงและนิกเกิล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกากตะกอนที่นำไปใช้เพื่อการเกษตร สำหรับการทดสอบการงอกของเมล็ด พบว่าการงอกของเมล็ดและความยาวรากเฉลี่ยของต้นกวางตุ้ง และผักกาดขาวปลีที่เพาะในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนน่าจะใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ ถ้าสามารถ ควบคุมปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ หรือแก้ปัญหาเรื่องความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของโครเมียมและทองแดงที่สูงได้ โดยอาจใช้วิธีการ ตรึงด้วยสารเคมี เพื่อลดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งควรจะทำการศึกษาต่อไป

Ping et al (2008) ได้ทำการศึกษาผลกระทบในการปรับปรุงดินปนเปื้อน ที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง แคดเมียม และการเจริญเติบโตของข้าว โดยโลหะหนักในดินที่เกิดจากการปนเปื้อนของของเสียจากโรงงานหลอมโลหะ เป็นระยะเวลานานกว่า 20 ปี ทำให้มีความแปรปรวนของรูปแบบการเข้าสู่สิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก และมีการส่งผ่านไปสู่พืชได้ง่าย จึงเป็นไปได้ยากที่จะกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนหากจะนำดินนั้นมาใช้ปลูกข้าว ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เทคนิคในการลดโลหะหนักในรูปที่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ง่าย และลดการดูดซับโลหะหนักของข้าว โดยจะทำการศึกษาผลจากการปรับปรุงดินที่ปนเปื้อนที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ Denong 108 (*Oryza sativa* L.) จากแปลงนาที่ปนเปื้อนไปด้วยทองแดง และแคดเมียม ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือการใช้หินปูนในการปรับปรุงดิน ทำให้ข้าวมีผลผลิตของเมล็ดเพิ่มขึ้น 12.5-16.5 เท่า และมีความเข้มข้นของ Cu และ Cd ในเมล็ดลดลง 23%-50.4% การประยุกต์ใช้แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสเฟต แคลเซียมซิลิเกต มูลสุกร และถ่านหินเลน ทำให้ผลผลิตของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น 0.3-15.3 เท่า และในเมล็ดมีความเข้มข้น Cu และ Cd ลดลง

Sutapa and Bhattacharyya (2008) ศึกษาเรื่อง การสะสมโลหะหนักในข้าวสาลีที่ปลูกในดินและกากตะกอนจากพื้นที่อุตสาหกรรม โดยนำเอากากตะกอนที่อยู่ในบริเวณโรงงาน ชุบเคลือบโลหะ และโรงงานสิ่งทอ มาใช้ในการปลูกข้าวสาลี ในการทดลองจะใช้กระถางที่ใส่ดินชุดควบคุม และกระถางดินที่ผสมกับกากตะกอน (0%, 10%, 20% และ 30%) ปรับสภาพดินโดยเติมปูนขาว (0%, 0.5% และ 1%) ดินในธรรมชาติที่นำมาใช้มีความเป็นด่าง (pH > 8.3) และมีสารอินทรีย์คาร์บอน 0.34% และ 0.72% ตามลำดับ เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์พืชสามารถดูดซึมโลหะที่เป็นเหล็กได้ ต้นกล้าข้าวสาลีจากสองชุดการทดลองใช้กระถางที่มีขนาดความจุ 3 กิโลกรัม ใส่อัตราส่วนดินกับกากตะกอน และดินชุดควบคุม จะควบคุมการทดลองไปจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต มีการปรับการใช้กากตะกอนเพิ่มขึ้นเหมือนกันทั้งหมด เพื่อดูการดูดซึมโลหะในดินของพืช และยังปรับการใช้ปูนขาวให้ลดลงเพื่อดูประสิทธิภาพในการดูดซึมโลหะหนักในดินผสมกากตะกอน สารอินทรีย์คาร์บอนแสดงความสัมพันธ์ทางบวกกับโลหะหนักทั้งหมดยกเว้น Zn, Cr และ Pb ค่า CEC แสดงความสัมพันธ์ทางบวก ($R^2 > 0.7$) กับ Fe, Mn, Cu, Ni และ Cd แม้ว่าข้าวสาลีจะไม่สะสมโลหะหนักแต่มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่สูง ปัจจัยในการเคลื่อนที่จากต้นถึงเมล็ดพบน้อยกว่าในรากถึงต้นข้าวสาลี จึงทำให้อธิบายได้ว่าโลหะหนักมีการสะสมในเมล็ดน้อยกว่าในราก ในอัตราส่วนดินผสมกากตะกอน 10% ในดินที่ใส่ปูนขาว 0.5% ความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิดพบในช่วงที่ยอมรับได้ (USEPA) ดังนั้นการศึกษานี้จึงเสนอความเป็นไปได้ในการนำไปใช้บำบัดกากตะกอนในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Singh and Agrawal (2007) งานวิจัยนี้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ ในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมือง Dinapur มาใช้ในการปลูกถั่วเขียว (*Vigna radiata* L. cv. Malviya janpriya (HUM 6)) โดยจะทำการวัดผลการเจริญเติบโต ผลผลิต สารอาหาร และการสะสมโลหะหนัก ในดินผสมกากตะกอนในอัตราส่วน 6, 9 และ 12 kg/m^2 ผลการทดลองพบว่ากากตะกอนช่วยปรับคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดิน ทำให้ pH ของดินลดลง และเพิ่มสารอินทรีย์ ธาตุเหล็ก และโลหะหนักในดิน เมื่อปลูกถั่วเขียวในดินผสมกากตะกอนทุกอัตราส่วนพบว่า ถั่วเขียวมีความยาวลำต้น พื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อปลูกถั่วเขียวในดินที่ผสมกากตะกอนที่ 9 kg/m^2 ทำให้ถั่วเขียวมีความยาวรากเพิ่มขึ้นมากที่สุด การปลูกถั่วเขียวในดินผสมกากตะกอนแต่ละอัตราส่วนทำให้มีสารอาหาร และโลหะหนักในเมล็ดสูงขึ้น แต่โปรตีนกลับลดลง เมื่อปลูกถั่วเขียวในดินผสมกากตะกอนที่อัตราส่วน 9 kg/m^2 มีความเข้มข้นของ Pb และ Ni ในเมล็ดถั่วเขียวสูงกว่ามาตรฐานของประเทศอินเดีย และเมื่อปลูกถั่วเขียวในดินผสมกากตะกอนที่อัตราส่วน 12 kg/m^2 มีความเข้มข้นของ Cd ในเมล็ดถั่วเขียวสูงกว่ามาตรฐานของประเทศอินเดีย

วันเพ็ญ และ อารีรัตน์ (2543) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า โดยศึกษาองค์ประกอบของตะกอนน้ำเสีย พบว่าตะกอนน้ำเสียมีธาตุอาหารของพืชในปริมาณพอสมควร ได้ทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัสดุปลูก (ดิน ดินทราย ตะกอน และตะกอนหมัก) เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า ในส่วนที่สอง เป็นการเปรียบเทียบสูตรของตะกอนหมักสูตรต่างๆ ซึ่งการทดลองทั้ง 2 มีดินเป็นตัวควบคุม ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) หลังเก็บเกี่ยวจะทำการทดลองหาองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ปลูก ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักคะน้าโดยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุดได้แก่ ตะกอน 25% + ดิน 75% ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.8044 กรัม ผักคะน้าเจริญเติบโตในดินได้ดีกว่าดินทราย สูตรของตะกอนหมักที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุดได้แก่ ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด ที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.2568 กรัม ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ในตะกอนหมักที่ไม่ได้ใส่ยูเรียดีกว่าในตะกอนหมักที่ใส่ยูเรีย และผักคะน้าหลังเก็บเกี่ยวพบว่ามีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อยมาก

Jeyabaskaran and Sreeamulu (1998) ได้ทำการศึกษาผลจากการใช้กากตะกอนน้ำเสียในแปลงเพาะกล้า ที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก และผลผลิตของข้าว (ADT 36) ที่ปลูกในแปลงนา โดยทำการปลูกข้าวพันธุ์ ADT 36 ในแปลงนาทดลอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ และปรับปริมาตรเพื่อใช้ในแปลงนาหลัก โดยศึกษาการปนเปื้อนของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสังเกตผลผลิตของเมล็ด และฟางข้าว สารอาหาร และโลหะหนักในการเพาะปลูก ในการเพาะกล้าข้าวจะแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ แปลงเพาะแรก จะไม่ใส่กากตะกอน และแปลงเพาะที่สอง ใส่กากตะกอน 20 t ha^{-1} (1.6 t/800 m^{-2}) จากนั้นจะย้ายกล้าจากแปลงเพาะทั้งสองไปปลูกในแปลงนาหลัก โดยจะใส่ปุ๋ยในอัตราส่วนที่ต่างกัน คือ 0, 25, 75 และ 100% (120:50:50 kg NPK ha^{-1}) ผลการทดลองพบว่า ผลผลิตของเมล็ดและฟางข้าวที่ปลูกในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ย 75% (เพาะกล้าใส่กากตะกอน) เท่ากับ ข้าวที่ปลูกในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ย 100% (เพาะกล้าไม่ใส่กากตะกอน) จากการสังเกตการดูดซับโลหะหนักโดยการปลูกพืช พบว่าโลหะหนักที่สะสมในดิน และในข้าวไม่มีความเป็นพิษ ดังนั้นการทดลองนี้จะช่วยลดการใส่ปุ๋ยในการปลูกพืชได้ แนะนำให้ใส่ปุ๋ยที่ 25 % แต่อาจเป็นการเสี่ยงในการเติมโลหะหนักในแปลงนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Jeyway รุ่น 6405
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชั่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer Precisely รุ่น AAnalyst 200
3. เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy ยี่ห้อ Brukeraxs รุ่น SRS 3400
4. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) ยี่ห้อ Orin รุ่น model 125
5. เครื่องเขย่า (Orbital Skaker Gallenkamp) ยี่ห้อ GALLENKAMP
6. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น 250
7. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM No.1.152 H อ่านสเกลในหน่วยกรัมต่อลิตร
8. แท่งคนแบบ plunger
9. เครื่องกลั่น (Kfeltee system) ยี่ห้อ Fistreem Cyclon
10. เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด ยี่ห้อ Sanyoรุ่น CENTAUR 2
11. เครื่องชั่งละเอียดแบบ 4 ตำแหน่ง (Digital balance) ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TL-254
12. ตู้อบแบบอากาศร้อน ยี่ห้อ Fisher Scientific Worldwide รุ่น FT 01/124
13. เตานำความร้อน (hot plate)
14. ตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร
15. กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
16. ครกบดดิน
17. ถังพลาสติกขนาด 25×25×20 เซนติเมตร
18. ตลับเมตร

3.1.2 สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) 95% AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
2. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) AR Grade (บริษัท BDH Chemicals)
3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) AR Grade (บริษัท Fisher Chemical)
4. แอมโมเนียมออกซาเลท ($(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
6. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.H_2O$) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
7. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทต ($KSbO.C_4H_4O_6$) AR Grade (บริษัท Ajak Chemical)
8. แอสคอร์บิกเอซิด ($C_6H_8O_6$) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
9. ซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$) AR Grade (บริษัท Fisher Scientific)
10. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
11. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
12. โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol Green) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
13. เมทิลเรด (Methyl Red) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
14. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
15. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
16. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
17. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) AR Grade (บริษัท Fluka)
18. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) AR Grade (บริษัท Asia Pacific specialty Chemicals)
19. สารละลายกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น ($HClO_4$) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
20. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc.HCl) AR Grade (บริษัท Fisher Scientific)
21. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.H_2SO_4) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
22. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO_3) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
23. สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น (H_3PO_4) (บริษัท Carlo Erba)
24. กรดบอริก (H_3BO_3) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
25. กรดแอซิติก (CH_3COOH) AR Grade (บริษัท Carlo Erba)
26. ดีทีพีเอ (Diethylene triamine penta acetic acid) (บริษัท Fisher Scientific)

3.2 ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ดิน และพืช

3.2.1 แหล่งที่มาของกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย เก็บรวบรวมจากบ่อผึ่งกากตะกอนน้ำเสียของระบบการจัดการกากตะกอนชีวภาพ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) ดังรูปที่ 3.1 โดยสุ่มตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากหลาย ๆ จุด แล้วนำมาคลุกเคล้าผสมกันเป็นการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมใช้เป็นตัวแทนของกากตะกอนน้ำเสียทั้งบ่อ ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนจำนวน 3 ครั้ง เพื่อศึกษาความเสถียรของตัวอย่างกากตะกอนที่นำมาใช้ในการทดลอง (เก็บตัวอย่างในวันที่ 19 พฤษภาคม, 25 มิถุนายน และ 27 สิงหาคม 2554) สำหรับการทดลองเลือกกากตะกอนที่เก็บในครั้งที่ 3 มาใช้ปลูกข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 บ่อผึ่งกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่)

3.2.2 แหล่งที่มาของดิน

3.2.2.1 ดินที่ใช้เพาะกล้าข้าว

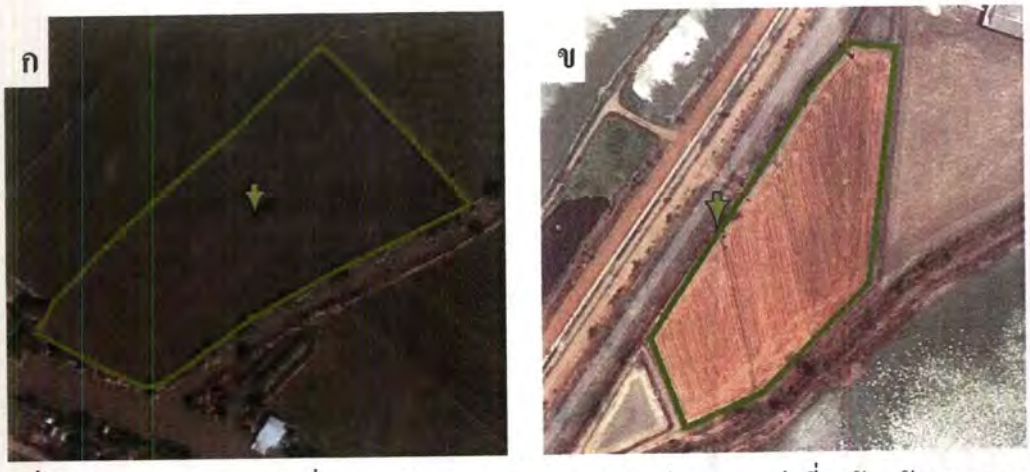
เป็นดินดำ ซึ่งหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ดินดำ ตราดินละโว้

3.2.2.2 ดินที่ใช้ผสมกากตะกอนน้ำเสีย

ดินที่ใช้ในการทดลองเก็บตัวอย่างดินมาจากแปลงนา 2 แหล่ง โดยสุ่มตัวอย่างดินจากหลาย ๆ จุด แล้วนำมาคลุกเคล้ามาผสมกัน เป็นการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมใช้เป็นตัวแทนของดินนาทั้งแปลง (ภาคผนวก ก.1) แปลงนาแหล่งที่ 1 อยู่ในพื้นที่ อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ พิกัดละติจูดที่ 13°37' 23.76" ลองติจูดที่ 100°53' 51.94" ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 19 พฤษภาคม 2554 (รูปที่ 3.3 (ก)) และแปลงนาแหล่งที่ 2 อยู่ในพื้นที่ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี พิกัดละติจูดที่ 14° 13' 57.86" ลองติจูดที่ 99°59' 9.32" ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 29 พฤษภาคม 2554 (รูปที่ 3.3 (ข))

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (ก) แปลงนาแหล่งที่ 1 จังหวัดสมุทรปราการ (ข) แปลงนาแหล่งที่ 2 จังหวัดสุพรรณบุรี

3.2.3 พืชทดลอง

ข้าวที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างของสายพันธุ์กันทั้งในช่วงการเจริญเติบโต (ไวแสง และไม่ไวแสง) และอายุการเก็บเกี่ยว (พันธุ์กลาง และพันธุ์หนัก) ดังนี้

3.2.3.1 ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าไวแสง อายุการเก็บเกี่ยวประมาณเดือนพฤศจิกายน แหล่งที่มาจากแปลงนาทดลองโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก

3.2.3.2 ปทุมธานี 80 เป็นข้าวเจ้า พันธุ์กลาง ไม่ไวแสง อายุการเก็บเกี่ยว 118 วัน แหล่งที่มาจากแปลงนาเพาะพันธุ์ข้าว จังหวัดสมุทรปราการ

3.2.3.3 กข1 เป็นข้าวเจ้า พันธุ์หนัก ไม่ไวแสง อายุการเก็บเกี่ยว 130 วัน แหล่งที่มาจากแปลงนาเพาะพันธุ์ข้าว จังหวัดสมุทรปราการ

การเตรียมกล้าข้าว เริ่มจากแช่เมล็ดข้าวในน้ำฝนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดข้าวขึ้นจากน้ำ บ่มให้รากงอกโดยใช้ผ้าคลุมเมล็ดข้าวไว้เป็นเวลา 36 ชั่วโมงนำเมล็ดข้าวไปเพาะในถาดเพาะ ที่ใส่ดินดำไว้แล้ว และรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับเดียวกับเมล็ดข้าว เมื่อข้าวมีอายุ 15 วัน นับจากวันที่หว่าน มีความสูงประมาณ 15-20 เซนติเมตร จึงย้ายลงปลูกในถังพลาสติก ที่ใส่ดินผสมกากตะกอนน้ำเสียไว้ตามอัตราส่วนตามตารางที่ 3.3

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียสำหรับการวิเคราะห์

นำตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่เก็บทั้ง 3 ครั้ง มาตากจนแห้ง บดกากตะกอนน้ำเสีย และนำไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บแยกไว้ในถุงพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป (ตารางที่ 3.1)

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการวิเคราะห์

นำตัวอย่างดินนา 2 แหล่ง มาตากจนแห้ง บดดิน และนำไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บแยกไว้ในถังพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป (ตารางที่ 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย และดิน

การนำกากตะกอนน้ำเสีย และดินมาปลูกข้าว ต้องวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย และดิน เพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวซึ่งจะมีพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน และกากตะกอนน้ำเสีย ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์*/เครื่องมือ
Particle Size Distribution	Particle size analysis (วิเคราะห์ก่อนทดลอง)
pH	pH meter
Conductivity	Conductivity meter
Organic Matter	Walkley and Black method
Total Heavy Metal	X-ray Fluorescence (XRF) (วิเคราะห์ก่อนทดลอง)
	Tri acid mixture (HNO_3:H_2SO_4:$HClO_4$(:5:1:1))
	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
Available Heavy Metal	DTPA extracting solution
	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
Total Nitrogen	Distillation method
Available Phosphorus	Bray No.II method
	UV-Spectrophotometer
Available Potassium	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
Moisture	Gravimetric method
Cation Exchange Capacity	Ammonium saturation method

*หมายเหตุ: วิธีการทดลองอยู่ในภาคผนวก ก.

3.3.4 การเตรียมตัวอย่างพืชสำหรับการวิเคราะห์

นำเมล็ดข้าว และลำต้นข้าว (ล้างดินออกจนหมด) มาอบที่อุณหภูมิ 65-70 °C จนแห้ง บดให้ละเอียด และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บแยกไว้ในถุงพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักต่อไป (ตารางที่ 3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือ และวิธีวิเคราะห์โลหะหนักของพืช

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์*/เครื่องมือ
Total Heavy Metal	Tri acid mixture (HNO_3:H_2SO_4:$HClO_4$(5:1:1))
	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

*หมายเหตุ :วิธีการทดลองอยู่ในภาคผนวก ก.

3.3.5 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสปลิทพล๊อท (Split-Plot Design) โดยกลุ่ม Main plot เป็นพันธุ์ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ (ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1) ส่วนกลุ่ม Sub plot เป็นอัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสีย 5 อัตราส่วน แต่ละกลุ่มจัดวางแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design (CRD)) ทำการสุ่มโดยวิธีการจับฉลาก แบ่งหน่วยการทดลองออกเป็น 30 หน่วยทดลองต่อข้าวหนึ่งสายพันธุ์ (ดังรูปที่ 3.4) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสีย 5 อัตราส่วน × ดินจากแปลงนา 2 แห่ง × จำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ หน่วยทดลองทั้งหมดจึงเท่ากับ 90 หน่วยทดลอง

รูปที่ 3.4 แผนการทดลองจากการจับสลากในกลุ่ม Sub plot ทั้ง 3 กลุ่ม

3.3.6 ขั้นตอนการปลูกข้าว และบันทึกผล

1) ผสมกากตะกอนน้ำเสียกับดิน (ดินนาจังหวัดสมุทรปราการ และดินนาจังหวัดสุพรรณบุรี) ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.3 ลงในถังพลาสติก ขนาด 25 × 25 × 20 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 10 วัน เพื่อให้ดินเกิดความเสถียร จากนั้นเก็บตัวอย่างดินนำไปวิเคราะห์ตามตารางที่ 3.1

2) หลังจากนั้นนำต้นกล้าข้าว (3 สายพันธุ์) แยกลงปลูกในถังพลาสติกที่เตรียมดินผสมกากตะกอนน้ำเสียไว้ ถังละ 5 ต้น (1 กอ กอละ 5 ต้น) ขังน้ำไว้สูง 5-10 เซนติเมตร (ใช้น้ำฝน และน้ำประปา) ตลอดระยะเวลาการปลูก กำจัดวัชพืชโดยการใช้มือถอน และคอยสังเกตศัตรูพืชเช่น หอยเชอรี่ หนอนม้วนใบ และหนอนกอข้าว ถ้าหากมีต้องรีบกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) บันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยการวัดความสูงของต้นข้าวทุกสัปดาห์ และบันทึกสีของใบข้าว (ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1) โดยใช้แผ่นเทียบสีใบข้าว วัดสีใบในช่วงที่ข้าวออกดอก

4) กางมุ้งให้ข้าวในช่วงที่ข้าวเริ่มออกดอก เพื่อป้องกันเกสรของข้าวแต่ละพันธุ์ผสมกัน และป้องกันศัตรูข้าว เช่น นก หนู เพลี้ย เป็นต้น

5) เก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ประมาณเดือนพฤศจิกายน (อายุข้าว 99 วัน) ส่วนข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุได้ 118 และ 130 วัน ตามลำดับ นับตั้งแต่วันเพาะกล้า เก็บเกี่ยวโดยใช้เคียวเกี่ยวข้าว

6) หลังการเก็บเกี่ยว วัดความยาวราก และทำการสุ่มตัวอย่างลำต้นข้าวจำนวน 3 ต้นต่อกระถาง ล้างดินออกให้หมด และนำไปอบที่ 65°C จนแห้ง ชั่งน้ำหนัก และนำไปวิเคราะห์ตามตารางที่ 3.2

7) นำเมล็ดข้าวที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดไปอบที่ 65°C จนแห้ง เพื่อชั่งหาน้ำหนักแห้งเชิงปริมาตร นอกจากนี้ชั่งน้ำหนักข้าวจำนวน 1,000 เมล็ด เพื่อหาน้ำหนักแห้งเชิงคุณภาพ และนำไปวิเคราะห์ตามตารางที่ 3.2

8) เก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปวิเคราะห์ตามตารางที่ 3.1 ต่อไป

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสีย และดินที่ใช้ปลูกข้าว

สูตร	กากตะกอนน้ำเสีย (g)	ดินตัวอย่าง*(g)	อัตราการใช้ (kg/m^2)
A	0	5,000	0
B	750	4,250	12
C	1,500	3,500	24
D	2,250	2,750	36
E	3,000	2,000	48

หมายเหตุ: *ดินตัวอย่าง คือ ดินจากแปลงนาจังหวัดสมุทรปราการ และแปลงนาจังหวัดสุพรรณบุรี (ใส่ดินที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบ one – way (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม MINITAB version 15 ทดสอบความแตกต่าง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิเคราะห์ข้อมูลของดินเปรียบเทียบภายในชุดการทดลอง และระหว่างชุดการทดลองของดินทั้งสองแหล่ง ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก (Translocation factor, TF)

การศึกษาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในลำต้นและเมล็ด สามารถบ่งชี้ได้ว่ามีการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นไปสู่เมล็ดข้าวมากน้อยเพียงใด จากการนำข้อมูลความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) ในเมล็ด และลำต้นของข้าว นำมาคำนวณค่าการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก (Translocation factor, TF) จากลำต้นสู่เมล็ด โดยใช้สูตร (Sutapa and Bhattacharyya, 2008)

$$TF = (C_{seed}/C_{stem})$$

C_{seed} = ความเข้มข้นของโลหะหนักในเมล็ด

C_{stem} = ความเข้มข้นของโลหะหนักในลำต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

กากตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) เป็นกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากบ่อตากกากตะกอนน้ำเสียของโรงงาน ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนน้ำเสียที่สังเกตได้ มีลักษณะเป็นตะกอนเหลว มีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นไม่รุนแรง (รูปที่ 4.1 ก) เมื่อนำกากตะกอนมาทำการผึ่งลมไว้ให้แห้งประมาณ 3-4 วัน สีของกากตะกอนเปลี่ยนเป็นสีดำ จับตัวกันเป็นก้อนแข็งคล้ายก้อนดิน ค่อนข้างมีกลิ่น (รูปที่ 4.1 ข) จากนั้นนำกากตะกอนน้ำเสียไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรจะได้เป็นผงตะกอนน้ำเสียที่มีน้ำหนักเบา มีกลิ่นเล็กน้อย

รูปที่ 4.1 (ก) กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) (ข) กากตะกอนน้ำเสียหลังผึ่งลมจนแห้ง

4.1 สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียก่อนปลูกพืช

ในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร ต้องวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียก่อนนำมาปลูกพืช เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงผลกระทบที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

4.1.1 สมบัติทั่วไป

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 4.1 จากผลการวิเคราะห์พบว่ากากตะกอนน้ำเสียมีความชื้นเฉลี่ยสูงถึง 93.48 % เมื่อเปรียบเทียบความชื้นของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งดินนาที่ใช้ปลูกข้าวเป็นดินที่อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยน้ำทำให้น้ำขังได้ดี ทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้ง (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546) การเติมกากตะกอนน้ำเสียอาจช่วยให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น

ค่าพีเอช (pH) ของกากตะกอนน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.94 ซึ่งมีสภาพเป็นด่างจัด เมื่อเปรียบเทียบ pH ของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ pH ที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของข้าว อยู่ระหว่าง 4.8-7.0 (กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์, 2555) หากค่า pH สูงหรือต่ำกว่านี้อาจทำให้ธาตุอาหารเกิดสารประกอบที่พืชดึงมาใช้ไม่ได้ (ถวิล, 2540) ซึ่งกากตะกอนน้ำเสียมีความเป็นด่างจัด เมื่อผสมลงในดินที่มีความเป็นกรดอาจช่วยปรับ pH ของดินให้มีความเป็นกรดลดลงได้

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) เป็นการวัดปริมาณเกลือ หรือดินเค็ม ค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.75 mS/cm กากตะกอนน้ำเสียมีความเค็มจัด เป็นอุปสรรคต่อพืชส่วนมาก มีเฉพาะพืชทนเค็มที่สามารถเจริญเติบโตได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 6-8 mS/cm พืชพวกข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต พอทนได้บ้าง (กรองแก้ว, 2553a) ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการปลูกข้าวเพราะข้าวเป็นพืชที่ทนความเค็มได้

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) ในกากตะกอนน้ำเสียไม่มีความแตกต่างกัน ในทั้ง 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง มีค่า CEC เฉลี่ยเท่ากับ 7.02 cmol/kg ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) กากตะกอนน้ำเสียจึงมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้น้อย ส่วนอินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) ในกากตะกอนน้ำเสียที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กากตะกอนน้ำเสียมีอินทรียวัตถุเฉลี่ยเท่ากับ 54.99 % ซึ่งจัดว่ากากตะกอนน้ำเสียมีระดับอินทรียวัตถุสูงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) กากตะกอนน้ำเสียซึ่งมีอินทรียวัตถุจะเกิดการสลายตัวและเกิดกรดอินทรีย์ต่างๆ ขึ้น ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการสลายตัวของแร่ธาตุต่าง ๆในดิน เมื่ออินทรียวัตถุสลายตัวโดยจุลินทรีย์ขั้นสุดท้ายจะได้ฮิวมัส ซึ่งฮิวมัสจะเป็นของแข็งที่มีอนุภาคละเอียดมากและมีบทบาทสำคัญคือ มีความสามารถดูดซับน้ำได้ดี มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) พบว่าไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ในกากตะกอนน้ำเสียที่เก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.56 % สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (avail. P) ในกากตะกอนน้ำเสียที่เก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 2 และ 3 ค่าเฉลี่ยของ avail. P ในกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง คือ 382.32 mg/kg ซึ่งถือว่ามีความเป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในระดับสูงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ส่วนโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (avail. K) ในกากตะกอนน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 663.28 mg/kg ถือว่ามีความเป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในระดับสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ซึ่งตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียในครั้งที่ 3 มีค่า avail. K สูงที่สุด ทั้งนี้ปริมาณธาตุอาหารหลักในกากตะกอนน้ำเสียมีอยู่ในปริมาณมาก การนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร อาจช่วยปรับให้ดินมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก่แก่) (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	กากตะกอนน้ำเสีย			
	เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1	เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 2	เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Moisture (%)	93.40 ± 0.06	93.36 ± 0.06	93.68 ± 0.05	93.48 ± 0.14
pH (1:5)*	9.31 ± 0.14	9.48 ± 0.14	8.01 ± 0.06	8.94 ± 0.66
EC (mS/cm)*	11.93 ± 0.10	11.83 ± 0.07	11.49 ± 0.05	11.75 ± 0.19
CEC (cmol/kg)*	6.93 ± 0.00	7.06 ± 0.09	7.07 ± 0.10	7.02 ± 0.10
Organic matter (%)*	54.71 ± 1.03	55.40 ± 0.92	54.87 ± 3.40	54.99 ± 0.29
Total N (%)*	0.54 ± 0.00	0.57 ± 0.00	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.01
Avail. P (mg/kg)*	357.80 ± 3.06	387.78 ± 1.82	401.38 ± 5.29	382.32 ± 18.20
Avail. K (mg/kg)*	649.17 ± 2.20	658.81 ± 21.77	681.85 ± 11.23	663.28 ± 13.71

หมายเหตุ: *คำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของกากตะกอนน้ำเสีย

ดังนั้น กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน แม่รวย จำกัด มีสมบัติบางพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรได้ เช่น สามารถปรับพีเอชของดินที่มีฤทธิ์เป็นกรดให้เป็นกลางได้ มีอินทรียวัตถุสูงช่วยทำให้ดินดูดซับน้ำได้ดี มีธาตุอาหารหลักในระดับที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูง เป็นต้น

4.1.2 ปริมาณโลหะหนัก และจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn)

จากการศึกษาปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย และในดินนา (ดินสมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) พบว่ามีธาตุ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) และทองแดง (Cu) ในตัวอย่างคล้ายกัน (ภาคผนวก ข-2) จึงเลือกที่จะใช้โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดนี้เป็นพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ต่อไป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสียแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณของ Zn ในกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางด้านปริมาณของ Fe ในตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียครั้งที่ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียครั้งอื่น ๆ ส่วนปริมาณ Mn และ Cu ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับครั้งที่ 2 และ 3 โลหะหนักที่พบมากที่สุดในกากตะกอนน้ำเสียคือ Fe มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,000.17 mg/kg รองลงมาคือ Mn มีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยเท่ากับ 162.44 mg/kg Zn มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 137.87 mg/kg และ Cu มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 11.86 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งกากตะกอนน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนักไม่เกินค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนน้ำเสียที่จะนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร (Zn: 3,000 mg/kg และ Cu: 900 mg/kg) (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หรือจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn) ในกากตะกอนน้ำเสียซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า การเก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง มีปริมาณจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn) ไม่แตกต่างกัน สำหรับจุลธาตุที่พบมากที่สุดในกากตะกอนน้ำเสียคือ Fe มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 126.34 mg/kg รองลงมาคือ Mn มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 103.23 mg/kg สำหรับ Zn มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 7.50 mg/kg และ Cu มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 6.96 mg/kg ซึ่งจุลธาตุทั้งหมดถือว่าอยู่ในระดับที่เกินพอสำหรับพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักของกากตะกอนน้ำเสียโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	กากตะกอนน้ำเสีย			
	เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1	เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 2	เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Total Fe (mg/kg)	1,003.85 ± 4.25	995.87 ± 2.87	1,000.78 ± 2.83	1,000.17 ± 0.66
Total Zn (mg/kg)	131.90 ± 1.15	136.79 ± 0.31	144.93 ± 0.44	137.87 ± 0.37
Total Cu (mg/kg)	11.47 ± 0.20	11.85 ± 0.01	12.26 ± 0.02	11.86 ± 0.09
Total Mn (mg/kg)	177.56 ± 2.53	150.53 ± 5.56	159.21 ± 1.38	162.44 ± 1.76
Avail. Fe (mg/kg)	114.05 ± 0.39	132.80 ± 0.68	132.18 ± 0.34	126.34 ± 0.15
Avail. Zn (mg/kg)	7.31 ± 0.03	7.35 ± 0.08	7.84 ± 0.07	7.50 ± 0.02
Avail. Cu (mg/kg)	7.43 ± 0.06	6.55 ± 0.12	6.91 ± 0.08	6.96 ± 0.03
Avail. Mn (mg/kg)	104.11 ± 0.35	102.32 ± 0.42	103.23 ± 0.25	103.23 ± 0.07

หมายเหตุ: ค่าที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนน้ำเสียที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรในประเทศไทย Zn: 3, 000 mg/kg และ Cu: 900 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551))

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) มาปลูกข้าว ซึ่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่วิเคราะห์นี้เป็นปริมาณที่จะคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เติมกากตะกอน โดยไม่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในทันที เนื่องจากการละลายได้ของธาตุเหล่านี้ขึ้นอยู่กับรูปเคมี ปฏิกิริยาทางเคมี กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ปริมาณแสง ความชื้น เป็นต้น (อรวรรณ, 2544) ในการเก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง พบว่าพารามิเตอร์โดยส่วนใหญ่ที่ใช้วิเคราะห์กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 3 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกกากตะกอนที่เก็บในครั้งที่ 3 มาใช้ปลูกข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สมบัติทางเคมีของดินนา (สมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่างๆ ก่อนปลูกข้าว

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๋แก่) มาปลูกข้าวได้ใช้อัตราส่วนระหว่างดินกับกากตะกอนน้ำเสีย 5 อัตราส่วนคือ 0 (ไม่เติมกากตะกอนน้ำเสีย), 12, 24, 36 และ 48 kg/m^2 โดยใช้ชื่อชุดการทดลอง A (ดินชุดควบคุม), B, C, D และ E ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.3

4.2.1 สมบัติทั่วไป

จากการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคของดิน พบว่าดินนาจังหวัดสมุทรปราการมีลักษณะเป็นดินเหนียว และดินนาจังหวัดสุพรรณบุรีมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (ภาคผนวก ข-1) หลังจากผสมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินในอัตราส่วนต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินแสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลดังกล่าวพบว่าเมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี ทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองเมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม เนื่องจากสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียที่มีความชื้นสูงเมื่อนำมาผสมลงในดินจึงทำให้ดินมีความชื้นสูงขึ้น แต่เมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีในอัตราส่วน 48 kg/m^2 ทำให้ดินมีลักษณะอ่อนตัวมาก เมื่อสังเกตด้วยสายตาปริมาตรโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม อาจส่งผลให้รากพืชไม่สามารถยึดเกาะกับดินได้ดีเท่าที่ควร (รูปที่ 4.2)

รูปที่ 4.2 (ก) ลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 48 kg/m^2 ที่ผสมในดินนาสมุทรปราการ (DSA) เทียบกับดินชุดควบคุม (ASA) (ข) ลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 48 kg/m^2 ที่ผสมในดินนาสุพรรณบุรี (DSU) เทียบกับดินชุดควบคุม (ASU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองก่อนปลูกข้าว (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Moisture (%)	58.24 ± 2.37	69.02 ± 1.56	69.93 ± 0.59	71.24 ± 1.53	74.45 ± 1.48	42.37 ± 1.29	53.10 ± 0.69	55.72 ± 0.90	60.77 ± 0.75	61.91± 0.99
pH (1:5)*	5.58 ± 0.11	5.87 ± 0.03	5.73 ± 0.04	5.65 ± 0.01	6.24 ± 0.07	5.95 ± 0.20	5.82 ± 0.02	5.84 ± 0.00	5.86 ± 0.03	5.98 ± 0.03
EC (mS/cm)*	3.01 ± 0.08	3.99 ± 0.29	5.54 ± 0.17	6.79 ± 0.53	8.29 ± 0.71	3.05 ± 0.07	3.91 ± 0.07	3.99 ± 0.37	4.09 ± 0.07	5.14 ± 0.04
CEC (cmol/kg)*	6.46 ± 0.09	7.14 ± 0.00	7.41 ± 0.10	7.75 ± 0.00	8.16 ± 0.00	4.08 ± 0.00	4.42 ± 0.10	5.09 ± 0.00	5.30 ± 0.00	6.86 ± 0.09
Organic matter (%)*	15.41 ± 0.40	17.55 ± 1.05	17.81 ± 0.26	17.94 ± 0.25	18.57 ± 0.63	11.65 ± 0.66	14.03 ± 1.54	14.25 ± 1.99	17.84 ± 0.30	19.50 ± 1.33
Total N (%)*	0.23 ± 0.00	0.40 ± 0.06	0.63 ± 0.01	0.72 ± 0.01	0.84 ± 0.02	0.25 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.49 ± 0.04	0.70 ± 0.07
Avail. P (mg/kg)*	71.78 ± 3.11	99.98 ± 10.70	174.64 ± 4.90	175.00 ± 1.85	319.29 ± 30.28	21.07 ± 2.17	47.63 ± 11.68	66.02 ± 18.20	82.79 ± 15.41	143.17 ± 2.85
Avail. K (mg/kg)*	330.91 ± 0.34	392.61 ± 1.37	398.88 ± 2.27	427.79 ± 3.02	489.52 ± 0.47	183.06 ± 2.66	191.66 ± 1.32	195.22 ± 1.78	225.01 ± 0.16	242.46 ± 1.11

หมายเหตุ: *คำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย

อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

4.2.1.1 พีเอช (pH)

ค่า pH ของดินนาสมุทรปราการ (ชุดการทดลอง A) คือ 5.58 และดินนาสุพรรณบุรี (ชุดการทดลอง A) คือ 5.95 ซึ่งจัดว่าเป็นกรดปานกลาง แต่เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่างๆ มีผลทำให้ดินนาสมุทรปราการมีค่า pH เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 6.24 (ชุดการทดลอง E) ซึ่งมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย (ตารางที่ 4.3) กากตะกอนน้ำเสียสามารถปรับสภาพความเป็นกรดของดินนาให้ลดลงได้เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 48 kg/m^2 (ชุดการทดลอง E) เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีความเป็นด่างจัด สารพวกด่างจึงทำปฏิกิริยาสะเทินกับ H^+ ในสารละลายดิน ทำให้ปริมาณ H^+ ลดลง pH จึงเพิ่มขึ้น (สุวรรณา, 2555) แต่ค่า pH ในดินนาสุพรรณบุรีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกชุดการทดลอง ส่วนค่า pH ที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของข้าว อยู่ระหว่าง 4.8-7.0 (pH จะสูงขึ้นจนเป็นกลางเนื่องจากการขังน้ำ) (กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์, 2555) ดังนั้นการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินอัตราส่วนต่างๆ ยังทำให้ดินมีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว

4.2.1.2 การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินนาสมุทรปราการ (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 3.01 mS/cm และดินนาสุพรรณบุรี (ชุดการทดลอง A) คือ 3.05 mS/cm ซึ่งมีความเค็มน้อยมาก จากการวิเคราะห์พบว่าค่าการนำไฟฟ้าในดินนาสมุทรปราการชุดการทดลอง C, D และ E มีค่า EC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม คือ 5.54, 6.79 และ 8.29 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ส่วนดินนาสุพรรณบุรีในชุดการทดลอง E พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับดินชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่น ๆ (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีค่าการนำไฟฟ้าสูง (11.75 mS/cm) มีสารละลายเกลือเข้มข้นสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) จึงเป็นเหตุให้มีสารละลายเกลือเข้มข้นมากกว่าในดิน ทำให้เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจึงสูงขึ้นตามไปด้วย สำหรับค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 6-8 mS/cm พืชพวกข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต พอทนได้บ้าง (กรองแก้ว, 2553a) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฐิติวรดา (2551) ที่ว่าดินที่ผสมกากตะกอนมาก จะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงตามไปด้วย ค่าการนำไฟฟ้าอาจเพิ่มมาจากการทำปฏิกิริยาของดิน ดังนั้นการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นแต่ข้าวยังสามารถเจริญเติบโตได้

4.2.1.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ในดินนาสมุทรปราการ (ชุดการทดลอง A) คือ 6.46 cmol/kg ซึ่งมีค่า CEC อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ส่วนค่า CEC ในดินนาสุพรรณบุรี (ชุดการทดลอง A) คือ 4.08 cmol/kg ซึ่งมีค่า CEC อยู่ในระดับต่ำ หลังจากเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าค่า CEC ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับดินชุดควบคุม (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากในกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนน้ำเสียมีค่า CEC (7.02 cmol/kg) สูงกว่าในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ทำให้เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นค่า CEC จึงสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นกากตะกอนน้ำเสียจึงช่วยปรับปรุงดินให้มีค่า CEC สูงขึ้นได้

4.2.1.4 อินทรียวัตถุ (Organic matter, OM)

อินทรียวัตถุในดินนาสมุทรปราการ (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 15.41 % ส่วนอินทรียวัตถุในดินนาสุพรรณบุรี (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 11.65 % (ตารางที่ 4.3) ซึ่งจัดว่ามีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) หลังจากเติมกากตะกอนน้ำเสียในดินนาทั้ง 2 แหล่ง พบว่ามีอินทรียวัตถุสูงที่สุดในชุดการทดลอง E อาจเนื่องมาจากในกากตะกอนน้ำเสียมีอินทรียวัตถุสูงกว่าในดิน เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนที่สูงจึงทำให้ระดับอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการปลูกพืช น่าจะช่วยทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี

4.2.1.5 ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P และ K)

ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ในดินนาสมุทรปราการมีลักษณะเป็นดินเหนียว (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 0.23 % และดินนาสุพรรณบุรีมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย มีไนโตรเจนทั้งหมดในดินเท่ากับ 0.25 % ซึ่งในดินนาทั้ง 2 แหล่ง มีค่าไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พบว่าขาดในนาข้าวทั่วไป โดยเฉพาะในนาดินทรายที่มีระดับอินทรียวัตถุต่ำ (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553) เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ส่งผลให้มีไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกชุดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับดินชุดควบคุม (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ศึกษานี้มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าในดิน เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้มีไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรจึงช่วยทำให้ดินมีไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) ในดินนาสมุทรปราการ (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 71.78 mg/kg ซึ่งถือว่ามีความเป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในระดับสูงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ส่วนในดินนาสุพรรณบุรี (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 21.07 mg/kg ซึ่งถือว่ามีความเป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในระดับสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) (ตารางที่ 4.3) เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (382.32 mg/kg) สูงกว่าในดิน จึงทำให้เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการปรับปรุงดิน น่าจะช่วยให้ดิน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น และน่าจะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (avail. K) ในดินนาสมุทรปราการ (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 330.91 mg/kg และดินนาสุพรรณบุรี (ชุดการทดลอง A) มีค่าเท่ากับ 183.06 mg/kg ซึ่งถือว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในระดับสูงมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ในทุกชุดการทดลอง ส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (663.28 mg/kg) สูงกว่าในดิน จึงทำให้เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราที่สูงขึ้น ดินจึงมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในทางการเกษตรน่าจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารหลักให้แก่ดินได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh and Agrawal, (2008) ที่กล่าวว่าการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรช่วยเพิ่มสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้

4.2.2 ปริมาณโลหะหนัก และจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn)

การนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ ควรคำนึงถึงผลกระทบของโลหะหนักที่อาจปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอนน้ำเสีย ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มีโอกาสเคลื่อนย้ายไปสะสมในดิน และส่วนต่างๆ ของพืช อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชได้ ดั้งนั้นจำเป็นต้องหาปริมาณโลหะหนักในดินที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียก่อนว่ามีอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใดทั้งในรูปที่เป็นประโยชน์ (จุลธาตุ) และโลหะหนักทั้งหมดที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียก่อนนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีแสดงดังตารางที่ 4.4 หลังจากเติมกากตะกอนน้ำเสีย พบว่าปริมาณของ Fe และ Mn มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม (ชุดการทดลอง A) ส่วนปริมาณ Zn และ Cu เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในชุดการทดลอง D และ E พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m^2 ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีพบว่ามีโลหะหนักสูงที่สุด สามารถเรียงลำดับปริมาณธาตุโลหะหนักได้ดังนี้ Fe > Mn > Zn > Cu (ตารางที่ 4.4) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินนาทั้ง 2 แหล่ง กับระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย พบว่าปริมาณของ Zn และ Cu ในดินนาสมุทรปราการ ในชุดการทดลอง D และ E เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานที่กำหนดไว้ในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (Zn: 70 mg/kg และ Cu: 45 mg/kg) (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ส่วนในดินนาสุพรรณบุรีมีปริมาณ Zn เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานที่กำหนดไว้ในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในชุดการทดลอง B, C, D และ E และมีปริมาณของ Cu เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานที่กำหนดไว้ในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ในชุดการทดลอง C, D และ E แต่ปริมาณของ Zn และ Cu ในดินทั้ง 2 แหล่ง ยังอยู่ในระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินของกลุ่มสหภาพยุโรป ที่กำหนดไว้ในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (Zn: 300 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg) (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ในทุกชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หรือจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn) ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีหลังจากเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น พบว่า ปริมาณของ Fe และ Cu ไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม (ชุดการทดลอง A) ส่วนปริมาณ Zn และ Mn ในดินนาทั้ง 2 แหล่ง เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม (ชุดการทดลอง A) (ตารางที่ 4.4) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ต่อพืชกับระดับความต้องการจุลธาตุของพืชรูปที่เป็นประโยชน์ในดินของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่ามีจุลธาตุ Fe, Zn, Cu และ Mn อยู่ในระดับที่เกินพอสำหรับพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ช่วยทำให้ดินมีธาตุอาหารเสริม (จุลธาตุ) เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองก่อนปลูกข้าว (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Total Fe (mg/kg)	1,490.86 ± 6.10	1,621.37 ± 3.25	1,663.26 ± 12.74	1693.42 ± 12.82	1,717.98 ± 18.40	1,499.58 ± 32.32	1,538.71 ± 8.13	1,592.26 ± 4.34	1,588.16 ± 4.38	1,622.81 ± 16.48
Total Zn (mg/kg)	66.26 ± 0.37	69.27 ± 2.29	69.47 ± 3.32	87.23 ± 11.31	98.94 ± 11.73	67.52 ± 4.30	76.60 ± 5.42	79.82 ± 2.84	80.80 ± 0.13	96.26 ± 0.39
Total Cu (mg/kg)	26.99 ± 0.79	34.21 ± 1.33	41.84 ± 1.37	50.71 ± 3.64	55.27 ± 0.15	39.80 ± 2.79	42.81 ± 1.30	52.65 ± 2.41	55.39 ± 0.11	59.88 ± 1.41
Total Mn (mg/kg)	79.60 ± 0.20	92.22 ± 0.25	104.70 ± 0.49	117.71 ± 2.38	126.11 ± 2.11	76.82 ± 0.39	87.67 ± 1.11	100.28 ± 4.39	118.94 ± 1.91	127.24 ± 2.85
Avail. Fe (mg/kg)	159.70 ± 8.13	160.40 ± 1.27	159.59 ± 1.59	168.16 ± 2.37	172.38 ± 1.86	163.97 ± 4.75	164.99 ± 5.88	165.13 ± 2.05	172.15 ± 6.00	176.81 ± 0.45
Avail. Zn (mg/kg)	3.57 ± 0.38	4.90 ± 0.23	6.17 ± 0.94	9.36 ± 2.22	11.75 ± 0.71	5.70 ± 0.03	7.34 ± 0.20	8.08 ± 0.74	8.67 ± 0.60	10.93 ± 1.01
Avail. Cu (mg/kg)	5.52 ± 0.19	5.83 ± 0.31	5.83 ± 0.31	5.54 ± 0.07	5.54 ± 0.08	6.24 ± 0.67	5.98 ± 0.41	6.03 ± 0.70	6.87 ± 0.33	7.13 ± 0.51
Avail. Mn (mg/kg)	14.15 ± 0.63	25.09 ± 0.04	36.75 ± 0.25	46.52 ± 0.22	56.26 ± 0.65	10.29 ± 0.29	23.14 ± 0.21	30.70 ± 0.90	43.00 ± 0.79	51.62 ± 0.35

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย Zn: 70 mg/kg และ Cu: 45 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป Zn: 300 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

4.3 คุณสมบัติของดินนา (สมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่างๆ หลังปลูกข้าว

การวิเคราะห์คุณสมบัติของดินนา และกากตะกอนน้ำเสียหลังการปลูกพืชนั้นเป็นการศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 4.5) ปทุมธานี 80 (ตารางที่ 4.6) และ กข1 (ตารางที่ 4.7)

4.3.1 คุณสมบัติทั่วไป

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว และดินร่วนปนทราย ตามลำดับ เมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียในดินนาทั้ง 2 แหล่ง หลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการปลูกน้อยกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่ามีความชื้นในดินที่ปลูกข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากระยะที่เมล็ดข้าวสุกแล้ว จะขังน้ำในถังพลาสติกเพียงเล็กน้อย เพื่อไม่ให้ดินแห้งและแข็งตัว ทำให้ดินมีความอิ่มตัวด้วยน้ำน้อยกว่าก่อนปลูกข้าว ซึ่งขังน้ำไว้สูงจนเกือบถึงปากถังพลาสติก จึงทำให้ดินมีความชื้นน้อยกว่าก่อนปลูกข้าว

4.3.1.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของดินนา (สมุทรปราการและสุพรรณบุรี) หลังการปลูกข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7) เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.3) จะเห็นว่าระยะเวลาในการปลูกที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ดังนั้นค่า pH จึงมีความเหมาะต่อการปลูกพืชต่อไปได้

4.3.1.2 การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity,EC)

ค่าการนำไฟฟ้าบ่งบอกถึงค่าความเค็มได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะพบว่าค่าการนำไฟฟ้าไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก (ตารางที่ 4.3) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า หลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.3) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ravindranet et al., (2007) ซึ่งสรุปไว้ว่าในดินที่ใช้ในการปลูกผักเบี้ยทะเล *(S. portulacastrum)* เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วจะมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง

4.3.1.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) หลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 4.5) และ ปทุมธานี 80 (ตารางที่ 4.6) พบว่าค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CEC ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละอัตราส่วน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5, 4.6) เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก ส่วนค่า CEC หลังการปลูกข้าวพันธุ์ กข1 (ตารางที่ 4.7) ในดินนาทั้ง 2 แหล่ง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.3)

4.3.1.4 อินทรียวัตถุ (Organic matter, OM)

อินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียหลังการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 มีระดับอินทรียวัตถุลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินประกอบด้วยอินทรีย์สารหลายชนิด เช่น สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน และสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส พืชจึงดูดสารอาหารต่างๆ เหล่านี้ ไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

4.3.1.5 ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P และ K)

ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ในดินนา (สมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) หลังปลูกข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว เนื่องจากพืชต้องการไนโตรเจนปริมาณมากในการเจริญเติบโตช่วงแรก เพื่อสร้างใบและลำต้น และในระยะข้าวแตกกอจึงมีปริมาณไนโตรเจนลดลงหลังจากการปลูกข้าว และไนโตรเจนเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้ดีอาจถูกชะออกมากับน้ำได้

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี หลังจากการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากพืชดึงไปใช้ในการแตกกอ การพัฒนาของราก ในการสร้างดอกและการสุกแก่ของข้าว

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K) ในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากโพแทสเซียมมีความจำเป็นต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Moisture (%)	45.38 ± 0.10	47.11 ± 0.50	47.41 ± 4.18	51.91 ± 1.33	59.18 ± 4.04	34.71 ± 4.73	45.00 ± 1.32	44.52 ± 1.12	46.74 ± 0.93	41.75 ± 3.28
pH (1:5)*	5.25 ± 0.05	5.65 ± 0.02	5.65 ± 0.05	5.77 ± 0.08	6.05 ± 0.00	5.42 ± 0.07	5.67 ± 0.26	5.70 ± 0.13	5.77 ± 0.25	5.57 ± 0.03
EC (mS/cm)*	2.10 ± 0.17	3.68 ± 0.32	4.14 ± 0.37	6.06 ± 0.26	7.14 ± 0.85	2.30 ± 0.20	3.18 ± 0.17	3.82 ± 0.11	3.87 ± 0.10	5.04 ± 0.09
CEC (cmol/kg)*	6.73 ± 0.00	7.40 ± 0.10	7.54 ± 0.00	8.29 ± 0.10	8.56 ± 0.00	4.48 ± 0.00	4.82 ± 0.10	5.43 ± 0.09	6.18 ± 0.10	6.93 ± 0.00
Organic matter (%)*	6.83 ± 3.55	10.51 ± 1.95	11.69 ± 1.34	12.67 ± 1.05	13.16 ± 0.48	7.86 ± 1.03	8.65 ± 0.12	8.88 ±1.76	9.90 ± 0.05	9.48 ± 1.23
Total N (%)*	0.14 ± 0.02	0.33 ± 0.00	0.34 ± 0.02	0.44 ± 0.03	0.45 ± 0.03	0.17 ± 0.00	0.21 ± 0.01	0.24 ± 0.04	0.33 ± 0.02	0.36 ± 0.03
Avail. P (mg/kg)*	24.28 ± 0.45	91.21 ± 7.01	109.85 ± 0.28	119.43 ± 3.48	122.85 ± 9.07	18.75 ± 0.21	23.07 ± 1.71	34.25 ± 1.09	52.93 ± 10.24	57.47 ± 4.62
Avail. K (mg/kg)*	173.92 ± 2.50	232.78 ± 0.59	238.72 ± 0.86	312.37 ± 3.50	344.80 ± 1.94	170.05 ± 3.48	185.62 ± 1.13	232.79 ± 1.58	243.60 ± 1.11	263.03 ± 2.30

หมายเหตุ: *คำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย

อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 80 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Moisture (%)	53.82 ± 1.08	54.33 ± 1.33	54.27 ± 1.57	54.39 ± 2.18	57.60 ± 0.54	45.03 ± 0.35	45.76 ± 2.51	50.50 ± 1.09	51.52 ± 0.60	53.03 ± 0.53
pH (1:5)*	5.63 ± 0.03	5.63 ± 0.00	5.78 ± 0.00	5.89 ± 0.11	6.06 ± 0.02	5.77 ± 0.11	5.64 ± 0.07	5.64 ± 0.02	5.79 ± 0.18	5.90 ± 0.03
EC (mS/cm)*	1.75 ± 0.38	2.85 ± 0.41	3.62 ± 0.30	5.17 ± 0.58	6.54 ± 0.05	2.11 ± 0.22	2.37 ± 0.29	2.83 ± 0.24	3.18 ± 0.22	4.13 ± 0.10
CEC (cmol/kg)*	6.46 ± 0.10	7.14 ± 0.00	7.34 ± 0.00	7.66 ± 0.11	8.09 ± 0.10	4.13 ± 0.07	4.42 ± 0.10	4.96 ± 0.10	5.91 ± 0.00	6.32 ± 0.00
Organic matter (%)*	2.96 ± 0.49	2.60 ± 1.04	3.36 ± 0.03	4.17 ± 0.54	4.51 ± 0.02	2.26 ± 0.03	3.36 ± 0.03	3.41 ± 0.02	3.36 ± 0.04	3.38 ± 0.01
Total N (%)*	0.16 ± 0.03	0.18 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.37 ± 0.04	0.15 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.27 ± 0.00	0.29 ± 0.02
Avail. P (mg/kg)*	28.49 ± 0.33	58.69 ± 4.50	110.92 ± 5.07	120.41 ± 1.17	133.60 ± 6.54	15.73 ± 2.97	22.21 ± 0.25	41.41 ± 2.43	45.18 ± 0.18	51.29 ± 2.34
Avail. K (mg/kg)*	132.80 ± 2.09	151.50 ± 0.76	215.45 ± 1.48	270.97 ± 3.64	42.31 ± 1.99	168.64 ± 1.74	172.72 ± 2.03	215.94 ± 1.22	279.73 ± 1.75	291.71 ± 19.69

หมายเหตุ: *คำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย

อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Moisture (%)	55.73 ± 6.45	55.69 ± 0.25	54.11 ± 0.86	56.38 ± 3.00	57.47 ± 6.07	44.41 ± 0.72	48.52 ± 1.27	46.82 ± 2.81	53.65 ± 1.87	54.75 ± 0.64
pH (1:5)*	5.48 ± 0.13	6.30 ± 0.08	6.18 ± 0.14	6.04 ± 0.09	6.33 ± 0.25	5.38 ± 0.07	5.60 ± 0.04	5.98 ± 0.29	5.70 ± 0.28	5.95 ± 0.29
EC (mS/cm)*	1.66 ± 0.12	2.77 ± 0.33	3.29 ± 0.18	4.69 ± 0.29	5.29 ± 0.28	1.83 ± 0.11	2.11 ± 0.17	2.37 ± 0.35	3.14 ± 0.15	3.92 ± 0.19
CEC (cmol/kg)*	5.85 ± 0.10	6.25 ± 0.10	6.52 ± 0.00	6.93 ± 0.00	7.47 ± 0.10	4.04 ± 0.10	4.28 ± 0.00	4.69 ± 0.00	5.23 ± 0.10	5.91 ± 0.17
Organic matter (%)*	1.12 ± 0.01	2.24 ± 0.02	3.00 ± 1.04	4.08 ± 0.56	4.47 ± 0.06	1.50 ± 1.06	2.25 ± 0.04	2.27 ± 0.02	2.25 ± 0.03	2.25 ± 0.00
Total N (%)*	0.11 ± 0.01	0.20 ± 0.03	0.22 ± 0.06	0.25 ± 0.03	0.25 ± 0.06	0.16 ± 0.04	0.15 ± 0.00	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.32 ± 0.07
Avail. P (mg/kg)*	23.75 ± 0.32	37.10 ± 0.59	39.71 ± 9.46	81.40 ± 12.23	85.29 ± 10.75	17.55 ± 0.11	14.83 ± 0.46	42.00 ± 4.46	44.10 ± 8.74	52.08 ± 7.44
Avail. K (mg/kg)*	122.98 ± 1.98	152.31 ± 0.50	160.09 ± 1.19	211.42 ±0.80	239.33 ± 14.67	123.29 ± 0.20	125.68 ± 1.30	147.03 ± 2.02	141.92 ±1.46	148.82 ± 2.66

หมายเหตุ: *คำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย

อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

4.3.2 ปริมาณโลหะหนัก และจุลธาตุ (Fe, Zn, Cu และ Mn)

การนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช ควรคำนึงถึงปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในดินทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 4.8) ปทุมธานี 80 (ตารางที่ 4.9) และ กข1 (ตารางที่ 4.10) เพื่อทราบถึงปริมาณโลหะหนักที่หลงเหลืออยู่ในดิน ทั้งในรูปที่เป็นประโยชน์ (จุลธาตุ) และโลหะหนักทั้งหมด

ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินนา (สมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าปริมาณของ Zn, Cu และ Mn ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว แต่ในดินนาสมุทรปราการมีปริมาณ Fe ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.8) สำหรับปริมาณโลหะหนักหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ในดินนาทั้ง 2 แหล่ง พบว่า Fe, Cu และ Mn มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว ส่วนปริมาณของ Zn และ Cu ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 4.9, 4.10)

ปริมาณโลหะหนักในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินนา (สมุทรปราการ และสุพรรณบุรี) ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียหลังปลูกข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณของ Fe, Zn, Cu และ Mn ในดินนาทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว ซึ่งอาหารเสริม (จุลธาตุ) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อย แต่ธาตุอาหารเหล่านี้มีความสำคัญเท่าเทียมกับธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองที่พืชจะขาดไม่ได้ แต่ถ้าในดินนาน้ำขัง หรือดินที่มีความเป็นกรดจัด ระบายน้ำไม่ดี เหล็ก แมงกานีส และทองแดง จะละลายออกมามากจนเป็นพิษ จะทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Total Fe (mg/kg)	1,418.41 ± 15.54	1,474.29 ± 8.46	1,532.10 ± 6.41	1,585.41 ± 7.36	1,644.93 ± 9.13	1,460.88 ± 27.76	1,470.93 ± 11.86	1,555.83 ± 16.68	1,587.79 ± 1.1	1,601.79 ± 9.74
Total Zn (mg/kg)	66.79 ± 2.92	69.61 ± 0.29	71.65 ± 0.43	84.27 ± 2.40	98.23 ± 6.44	66.33 ± 7.90	74.39 ± 0.76	78.59 ± 3.49	80.82 ± 0.35	94.50 ± 5.30
Total Cu (mg/kg)	20.44 ± 2.23	36.01 ± 9.55	47.18 ± 0.28	47.28 ± 0.19	48.98 ± 2.37	31.45 ± 2.14	39.17 ± 2.21	42.56 ± 0.11	42.65 ± 0.12	42.47 ± 0.18
Total Mn (mg/kg)	65.20 ± 1.23	75.69 ± 3.02	94.13 ± 0.56	109.23 ± 4.34	121.09 ± 1.06	69.38 ± 2.35	83.92 ± 4.27	96.83 ± 2.27	113.61 ± 0.95	123.88 ± 4.47
Avail. Fe (mg/kg)	144.26 ± 2.49	149.48 ± 1.28	151.43 ± 2.48	165.76 ± 0.35	167.57 ± 3.89	154.78 ± 0.76	166.66 ± 1.28	165.89 ± 0.75	167.94 ± 4.07	176.60 ± 1.33
Avail. Zn (mg/kg)	3.15 ± 0.51	4.81 ± 0.49	6.02 ± 0.92	6.65 ± 0.90	7.71 ± 0.28	5.48 ± 0.24	6.74 ± 0.61	7.94 ± 0.61	8.24 ± 0.43	9.55 ± 0.16
Avail. Cu (mg/kg)	5.83 ± 0.28	5.78 ± 0.51	5.57 ± 0.19	6.71 ± 1.71	6.76 ± 0.40	6.67 ± 0.28	6.92 ± 0.53	7.27 ± 0.13	7.25 ± 0.08	7.17 ±0.10
Avail. Mn (mg/kg)	12.24 ± 0.13	23.80 ± 0.98	31.83 ± 0.20	43.77 ± 0.17	54.41 ± 0.13	9.39 ± 0.08	21.17 ± 0.03	28.53 ± 0.12	41.45 ± 0.82	48.73 ± 0.04

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย Zn: 70 mg/kg และ Cu: 45 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป Zn: 300 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Total Fe (mg/kg)	1,395.97 ± 6.97	1,450.36 ± 24.23	1,520.68 ± 4.68	1,561.17 ± 2.82	1,612.16 ± 12.84	1,449.09 ± 11.34	1,466.42 ± 6.70	1,518.34 ± 13.95	1,537.52 ± 13.73	1,570.97 ± 2.82
Total Zn (mg/kg)	63.14 ± 6.31	65.17 ± 3.65	70.70 ± 0.78	84.75 ± 1.27	97.19 ± 1.05	56.52 ± 7.88	60.22 ± 0.61	73.62 ± 13.08	80.51 ± 0.55	92.27 ± 0.29
Total Cu (mg/kg)	11.03 ± 0.57	13.97 ± 0.21	28.15 ± 0.06	28.20 ± 0.34	39.49 ± 5.90	15.76 ± 2.21	23.68 ± 3.77	36.13 ± 4.49	37.60 ± 6.55	42.55 ± 7.62
Total Mn (mg/kg)	65.38 ± 2.44	72.52 ± 3.10	88.66 ± 2.19	98.44 ± 7.80	122.74 ± 3.19	68.70 ±1.23	77.11 ± 1.74	91.53 ± 2.33	106.13 ± 1.72	122.50 ± 3.39
Avail. Fe (mg/kg)	144.15 ± 1.31	148.42 ± 1.12	151.96 ± 1.11	157.99 ± 192	160.36 ± 7.62	151.45 ± 5.19	158.89 ± 1.57	165.28 ± 0.17	169.56 ± 1.26	173.13 ± 6.17
Avail. Zn (mg/kg)	2.51 ± 0.51	4.67 ± 0.73	5.50 ± 1.11	6.10 ± 0.11	7.44 ± 0.45	4.75 ± 0.79	6.78 ± 0.06	7.53 ± 0.07	8.25 ± 0.15	9.47 ± 0.97
Avail. Cu (mg/kg)	2.34 ± 0.33	3.44 ± 0.63	3.33 ± 0.51	4.58 ± 0.44	4.48 ± 1.18	4.49 ± 0.08	4.69 ± 0.31	4.16 ± 0.38	5.36 ± 1.30	6.00 ± 0.33
Avail. Mn (mg/kg)	12.07 ± 0.02	23.85 ± 0.78	31.30 ± 0.36	43.16 ± 1.04	54.42 ± 0.09	9.75 ± 0.39	20.68 ± 0.22	28.64 ± 0.28	40.49 ± 0.60	48.50 ± 0.47

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย Zn: 70 mg/kg และ Cu: 45 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป Zn: 300 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโลหะหนักของดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Total Fe (mg/kg)	1,385.70 ± 6.01	1,442.24 ± 7.10	1,523.16 ± 9.42	1553.16 ± 9.42	1,601.14 ± 5.28	1,423.29 ± 14.81	1437.03 ± 9.63	1,518.39 ± 7.37	1,531.93 ± 3.77	1,556.98 ± 7.67
Total Zn (mg/kg)	58.98 ± 1.09	64.11 ± 0.42	69.64 ± 0.64	82.00 ± 0.73	94.15 ± 10.73	54.84 ± 2.91	58.26 ± 0.52	65.10 ± 2.75	80.42 ± 0.36	89.51 ± 0.45
Total Cu (mg/kg)	5.33 ± 0.08	10.12 ± 0.03	24.31 ± 0.13	28.25 ± 0.15	40.03 ± 1.64	16.30 ± 2.16	24.01 ±3.47	30.31 ± 1.41	31.77 ± 0.73	32.36 ± 0.21
Total Mn (mg/kg)	65.55 ± 2.36	72.76 ± 2.13	80.97 ± 4.52	98.05 ± 1.92	111.68 ± 1.93	62.62 ± 3.24	71.13 ± 3.36	89.06 ± 2.00	99.06 ± 1.80	111.22 ± 6.22
Avail. Fe (mg/kg)	145.18 ± 2.14	147.14 ± 0.48	152.46 ± 0.54	158.51 ± 4.13	162.62 ± 7.78	155.20 ± 0.19	156.12 ± 0.07	166.01 ± 0.75	170.05 ± 0.87	174.01 ± 1.35
Avail. Zn (mg/kg)	2.56 ± 0.08	4.03 ± 0.02	5.07 ± 0.82	5.84 ± 1.11	6.97 ± 0.07	3.75 ± 0.40	6.56 ± 0.27	7.54 ± 0.24	8.19 ± 0.07	8.97 ± 0.08
Avail. Cu (mg/kg)	2.91 ± 0.76	3.80 ± 0.26	3.64 ± 0.51	4.16 ± 0.70	4.74 ± 0.70	4.37 ± 1.21	4.84 ± 1.25	5.15 ± 0.58	5.41 ± 0.51	5.59 ± 0.77
Avail. Mn (mg/kg)	12.30 ± 0.33	23.32 ± 0.37	30.39 ± 1.19	43.71 ± 0.23	53.90 ± 0.36	9.55 ± 0.06	20.17 ± 0.80	28.53 ± 0.00	39.68 ± 0.63	44.52 ± 1.34

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย Zn: 70 mg/kg และ Cu: 45 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป Zn: 300 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

4.4 ผลผลิตของข้าว

การวิเคราะห์ผลผลิตทั้งหมดของข้าว เพื่อชั่งหาน้ำหนักแห้งเชิงปริมาตร นอกจากนี้ชั่งน้ำหนักข้าวจำนวน 1,000 เมล็ด เพื่อหาน้ำหนักแห้งเชิงคุณภาพ สามารถประเมินได้ว่าชุดการทดลองใดที่มีความเหมาะสมในการปลูกข้าวในดินนาทั้ง 2 แหล่ง (ดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี) มากที่สุด และทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น ๆ ได้

4.4.1 ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ ในชุดการทดลอง B มีผลผลิตรวมทั้งหมดสูงที่สุด คือ 1,287.85 กก./ไร่ ส่วนชุดการทดลอง E มีน้ำหนักผลผลิตรวมต่ำที่สุด คือ 471.99 กก./ไร่ อาจเนื่องมาจากการใส่กากตะกอนน้ำเสียในปริมาณมากมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 8.28 mS/cm (ตารางที่ 4.3) เมื่อดินมีความเค็มสูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตของข้าวลดลง จากข้อมูลของกรมการข้าว ระบุว่าดินที่มีความเค็มมากกว่า 6 mS/cm ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวลดลงปานกลาง คือ ร้อยละ 20-50 (สำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว, 2552) และน้ำหนักแห้งเชิงคุณภาพ 1,000 เมล็ด ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.11) ทางด้านข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี พบว่าผลผลิตรวมทั้งหมด ในชุดการทดลอง D และ E มีผลผลิตสูงที่สุด คือ 879.10 กก./ไร่ และ 966.48 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลอง A มีน้ำหนักผลผลิตรวมต่ำที่สุด คือ 453.71 กก./ไร่ และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จากข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว ผลผลิตโดยทั่วไปของข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีประมาณ 336 กก./ไร่ (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553) ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในงานวิจัยมีผลผลิตสูงกว่าข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการปลูกข้าวในงายวิจัยนี้ มีการควบคุม ดูแลต้นข้าวได้ทั่วถึงมากกว่าการปลูกข้าวในแปลงนาทั่วไป จึงทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณสูงกว่าข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว ดังนั้นหากจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรในดินนาสมุทรปราการ (ดินเหนียว) ควรเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 12 kg/m^2 และในดินนาสุพรรณบุรี (ดินร่วนปนทราย) ควรเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 36 kg/m^2 จะทำให้ข้าวมีผลผลิตทั้งเชิงปริมาณ และคุณภาพสูงที่สุด

4.4.2 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ ในชุดการทดลอง B มีผลผลิตของข้าวสูงที่สุด คือ 1,922.64 กก./ไร่ (ตารางที่ 4.12) แต่เมื่อปลูกในดินชุดควบคุมทำให้มีน้ำหนักผลผลิตต่ำที่สุด คือ 488.69 กก./ไร่ เนื่องจากในชุดดินควบคุมไม่ได้เติมกากตะกอนน้ำเสีย จึงทำให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการสร้างเมล็ดของข้าว ส่วนน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.12) ทางด้านข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุพรรณบุรี ในชุดการทดลอง C และ D มีผลผลิตทั้งหมดของข้าวสูงที่สุด คือ 1,411.32 กก./ไร่ และ 1,414.66 กก./ไร่ ตามลำดับ และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน จากข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว ผลผลิตโดยทั่วไปของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีประมาณ 738 กก./ไร่ (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553) ซึ่งข้าวที่ปลูกในงานวิจัยมีผลผลิตสูงกว่าข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว ยกเว้นในดินชุดควบคุมที่มีผลผลิตน้อย ดังนั้นหากจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรควรเติมกากตะกอนน้ำเสียในดินนาสมุทรปราการ (ดินเหนียว) ที่อัตราส่วน 12 kg/m^2 และในดินนาสุพรรณบุรี (ดินร่วนปนทราย) ที่อัตราส่วน 36 kg/m^2 จะทำให้ข้าวมีผลผลิตทั้งเชิงปริมาณ และคุณภาพสูงที่สุด

ตารางที่ 4.11 ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ (Mean ± S.D.)

ชุดการทดลอง	ข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ		ข้าวที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี	
	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กก./ไร่)	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กก./ไร่)
A	16.55 ± 0.20	559.27 ± 79.30	21.10 ± 0.04	453.71 ± 141.03
B	19.73 ± 1.65	1,287.85 ± 131.44	17.67 ± 0.41	562.43 ± 145.18
C	19.95 ± 0.36	1,089.45 ± 127.89	20.75 ± 0.07	578.13 ± 65.02
D	20.65 ± 1.00	955.73 ± 127.89	18.44 ± 1.43	879.10 ± 344.47
E	14.53 ± 3.35	471.99 ± 187.61	19.17 ± 2.36	966.48 ± 218.68

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D : 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ตารางที่ 4.12 ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ (Mean ± S.D.)

ชุดการทดลอง	ข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ		ข้าวที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี	
	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กก./ไร่)	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กก./ไร่)
A	19.16 ± 0.10	488.96 ± 2.05	20.64 ± 0.17	492.62 ± 53.57
B	29.84 ± 1.04	1,922.64 ± 77.70	29.46 ± 1.81	963.41 ± 175.14
C	26.61 ± 1.10	1,883.05 ± 115.34	27.51 ± 0.85	1,411.32 ± 114.87
D	24.42 ± 0.05	1,194.49 ± 200.74	28.26 ± 0.14	1,414.66 ± 12.80
E	23.15 ±1.92	1,493.38 ± 7.81	27.33 ± 1.29	1,036.71 ± 289.18

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D : 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข1

ข้าวพันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ ในชุดการทดลอง B มีผลผลิตทั้งหมดของข้าวสูงที่สุด คือ 1,779.88 กก./ไร่ (ตารางที่ 4.13) และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ทางด้านข้าวพันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี ในชุดการทดลอง D มีผลผลิตทั้งหมดของข้าวสูงที่สุด คือ 1,853.78 กก./ไร่ และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน จากข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว ผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข1 โดยทั่วไป มีประมาณ 742 กก./ไร่ (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553) ซึ่งข้าวที่ปลูกในงานวิจัยมีผลผลิตสูงกว่าข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าว ยกเว้นในดินชุดควบคุมที่มีผลผลิตน้อย เนื่องจากในชุดดินควบคุมไม่ได้เติมกากตะกอนน้ำเสีย จึงทำให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการสร้างเมล็ดของข้าว ดังนั้นหากจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรควรเติมกากตะกอนน้ำเสียในดินนาสมุทรปราการ (ดินเหนียว) ที่อัตราส่วน 12 kg/m^2 และในดินนาสุพรรณบุรี (ดินร่วนปนทราย) ที่อัตราส่วน 36 kg/m^2 จะทำให้ข้าวมีผลผลิตทั้งเชิงปริมาณ และคุณภาพสูงที่สุด

ตารางที่ 4.13 ผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ (Mean ± S.D.)

ชุดการทดลอง	ข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ		ข้าวที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี	
	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กก./ไร่)	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (กรัม)	ผลผลิต (กก./ไร่)
A	21.74 ± 3.85	535.63 ± 98.21	15.03 ± 4.03	363.77 ± 103.12
B	28.82 ± 0.37	1,779.88 ± 464.67	28.52 ± 1.90	952.57 ± 218.00
C	27.64 ± 1.38	1,580.88 ± 198.55	23.83 ± 2.87	1,114.79 ±218.00
D	26.19 ± 0.89	1,605.97 ± 166.50	27.94 ± 1.49	1,853.78 ± 84.15
E	27.84 ± 0.08	1,591.94 ± 39.55	28.61 ± 0.28	1,470.98 ± 21.25

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D : 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

โดยสรุปข้าวที่ปลูกในงานวิจัยนี้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับประเภทของดิน และอัตราการใช้กากตะกอนน้ำเสีย คือ ถ้าดินนาเป็นดินเหนียวควรใช้กากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 12 kg/m^2 และถ้าดินนาเป็นดินร่วนปนทราย ควรใช้กากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 36 kg/m^2 จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

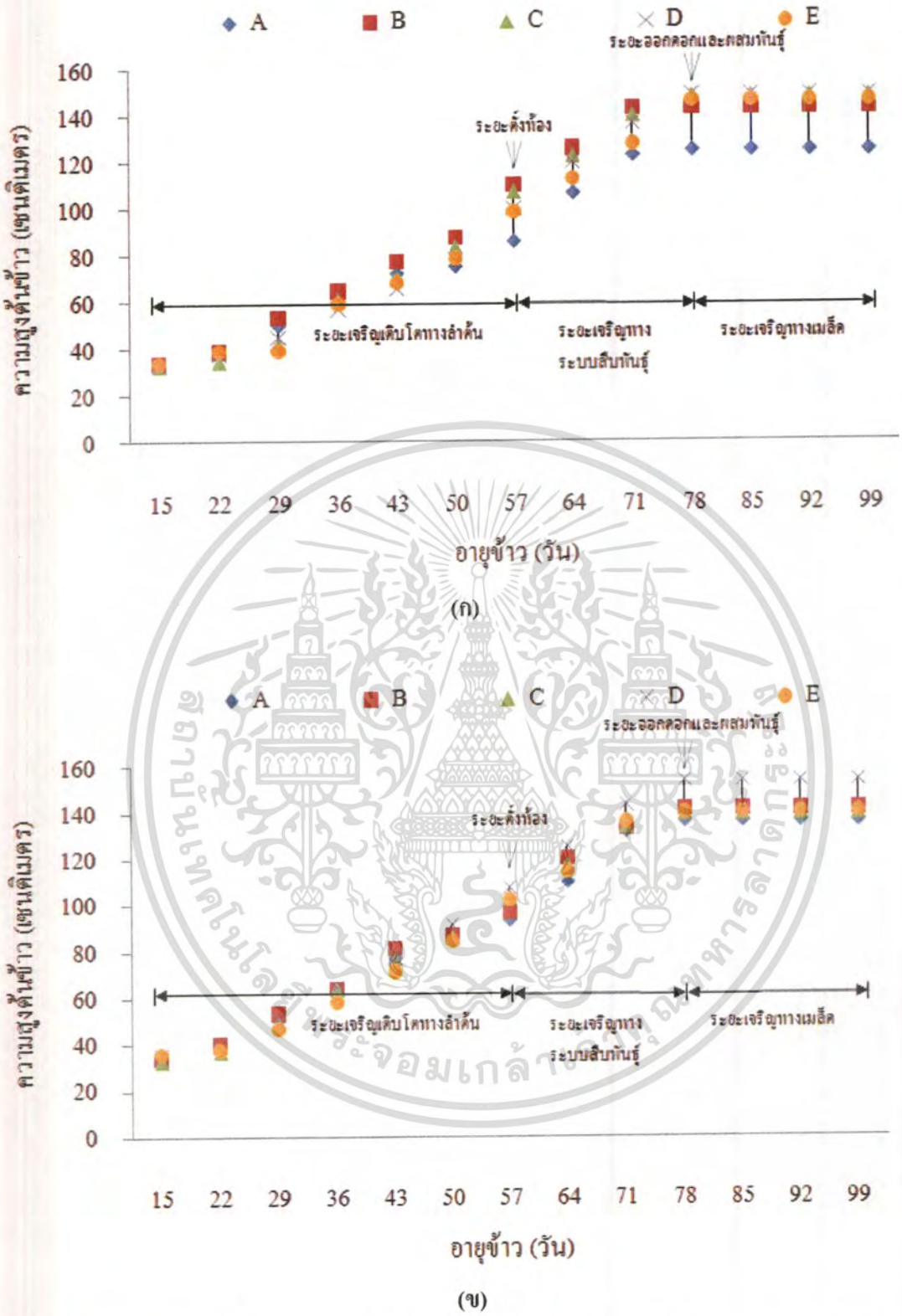
4.5 การเจริญเติบโตของข้าว

จากการศึกษาความสูง ความยาวราก และสีของใบ ของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 สามารถประเมินได้ว่าอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียใดที่เหมาะสมต่อการนำไปปลูกข้าวมากที่สุด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น ๆ ได้

4.5.1 ความสูงของต้นข้าว

ทำการวัดความสูง และเก็บข้อมูลทุกสัปดาห์ ตั้งแต่เริ่มปักกล้าข้าวจนถึงก่อนการเก็บเกี่ยว จากข้อมูลข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (รูปที่ 4.3 (ก)) และดินนาสุพรรณบุรี (รูปที่ 4.3 (ข)) ใช้ระยะเวลาในการปลูกทั้งหมด 99 วัน พบว่าหลังย้ายกล้าข้าวลงปลูกในถังพลาสติก ต้นข้าวมีความสูงเฉลี่ย 34 เซนติเมตร (ทุกชุดการทดลอง) ในระยะที่ข้าวแตกกอความสูงของต้นข้าวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก คือช่วงอายุข้าว 30-50 วัน จนถึงระยะการเจริญเติบโตทางระบบสืบพันธุ์ ข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อน ตั้งท้อง และออกดอกผสมพันธุ์ ข้าวมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ลำต้นจะเปลี่ยนจากลักษณะแบนเป็นกลม (มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2556) ความสูงจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือช่วงอายุ 60-80 วัน ส่วนในระยะที่ข้าวเจริญเติบโตทางเมล็ด เริ่มจากการผสมเกสรของดอกข้าว ภายในเมล็ดจะเปลี่ยนเป็นแป้งแข็ง จนกระทั่งสุกแก่ (มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2556) ในระยะนี้ความสูงของต้นข้าวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะระยะนี้ข้าวจะเน้นการเจริญเติบโตทางด้านเมล็ดมากกว่า คือช่วงอายุ 80-99 วัน จากการวัดความสูงในระยะเจริญเติบโตทางเมล็ด พบว่าข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีในชุดการทดลอง A มีความสูงน้อยที่สุด ส่วนข้าวที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในดินนาสมุทรปราการอยู่ในชุดการทดลอง C และ D มีความสูงเฉลี่ย 148 เซนติเมตร (รูปที่ 4.4 (ก)) ซึ่งความสูงของต้นข้าวไม่สอดคล้องกับผลผลิตของข้าว เนื่องจากผลผลิตของข้าวสูงที่สุดเมื่อปลูกในชุดการทดลอง B (1,287.85 กก./ไร่) (ตารางที่ 4.11) แต่ในชุดการทดลอง C และ D มีผลผลิตน้อยกว่าชุดการทดลอง B ส่วนข้าวที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในดินนาสุพรรณบุรีอยู่ในชุดการทดลอง D มีความสูงเฉลี่ย 153 เซนติเมตร (รูปที่ 4.4 (ข)) ซึ่งความสูงของต้นข้าวมีความสอดคล้องกับผลผลิตของข้าว เนื่องจากชุดการทดลอง D มีผลผลิตสูงที่สุด (879.10 กก./ไร่) (ตารางที่ 4.11) เมื่อเปรียบเทียบความสูงของข้าวในงานวิจัยนี้ กับข้าวที่ปลูกในดินทั่วไปตามข้อมูลของกรมการข้าวพบว่าข้าวที่ปลูกในทุกชุดการทดลองมีความสูงอยู่ในระดับเดียวกับข้อมูลของกรมการข้าว (สูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร) (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว, 2553) ยกเว้นข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่ผสมกากตะกอนน้ำเสีย (ดินชุดควบคุม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



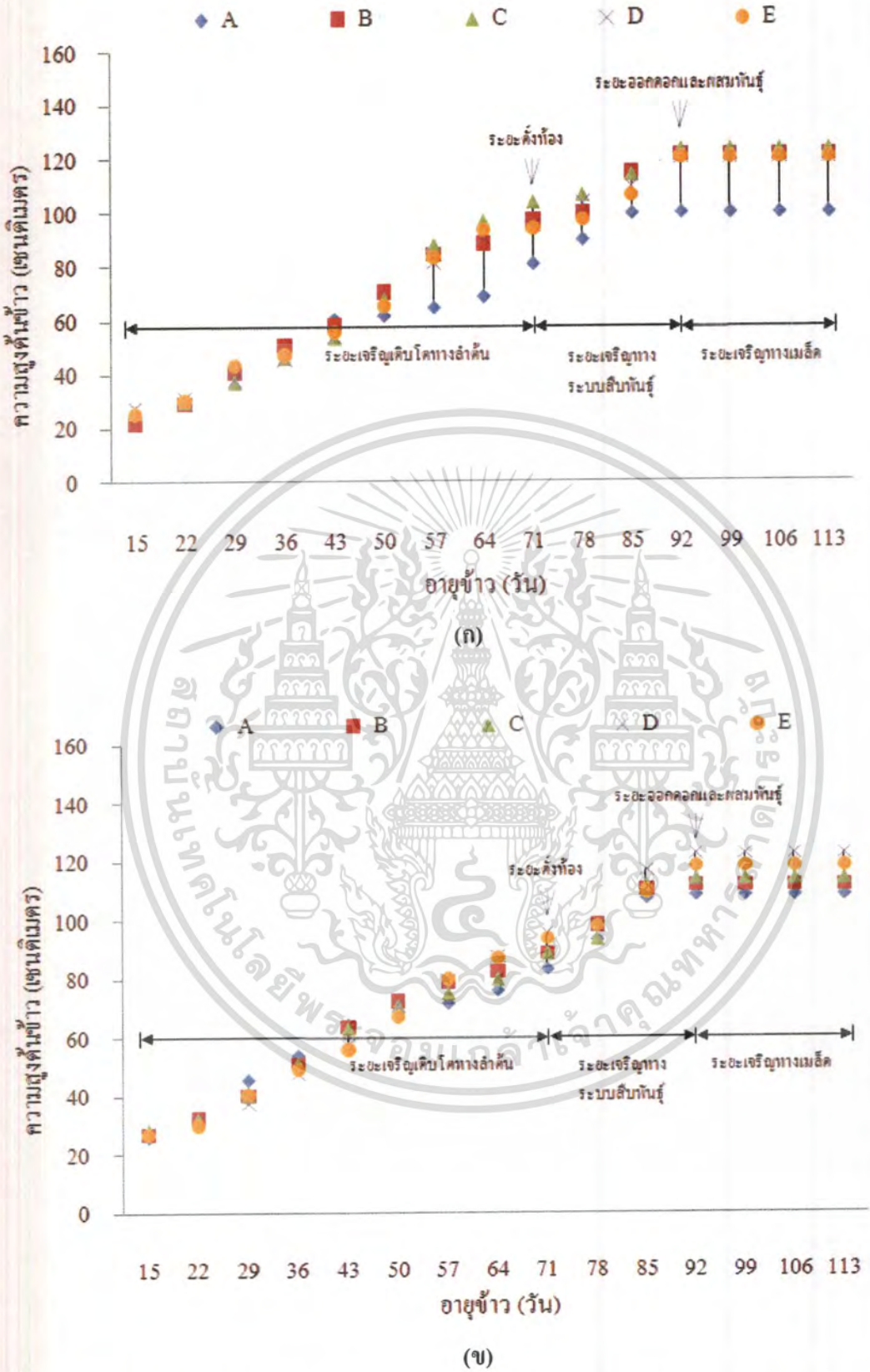
รูปที่ 4.3 ความสูงของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (ก) และในดินนาสุพรรณบุรี (ข) (อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (รูปที่ 4.5 (ก)) และดินนาสุพรรณบุรี (รูปที่ 4.5 (ข)) พบว่าหลังย้ายกล้าข้าวลงปลูกในถังพลาสติก ต้นข้าวมีความสูงเฉลี่ย 26-27 เซนติเมตร (ทุกชุดการทดลอง) ต้นข้าวมีระยะการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 จะมีระยะเวลาในการปลูกนานกว่าข้าวขาวดอกมะลิ โดยใช้เวลา 120 วัน จากการวัดความสูงในระยะเจริญเติบโตทางเมล็ด พบว่าข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีในชุดการทดลอง A มีความสูงน้อยที่สุด ส่วนข้าวที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในดินนาสมุทรปราการอยู่ชุดการทดลอง C มีความสูงเฉลี่ย 123 เซนติเมตร (รูปที่ 4.5 (ก)) ซึ่งความสูงของต้นข้าวไม่สอดคล้องกับผลผลิตของข้าว เนื่องจากผลผลิตของข้าวสูงที่สุดเมื่อปลูกในชุดการทดลอง B (1,922.65 กก./ไร่) (ตารางที่ 4.12) แต่ในชุดการทดลอง C มีผลผลิตน้อยกว่าชุดการทดลอง B ส่วนข้าวที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในดินนาสุพรรณบุรีอยู่ชุดการทดลอง D มีความสูงเฉลี่ย 122 เซนติเมตร (รูปที่ 4.5 (ข)) ซึ่งความสูงของของต้นข้าวมีความสอดคล้องกับผลผลิตของข้าว เนื่องจากชุดการทดลอง D มีผลผลิตสูงที่สุด (1,414.66 กก./ไร่) (ตารางที่ 4.12) เมื่อเปรียบเทียบความสูงของข้าวในงานวิจัยนี้ กับข้าวที่ปลูกในดินทั่วไปตามข้อมูลของกรมการข้าวพบว่าข้าวที่ปลูกในทุกชุดการทดลองมีความสูงอยู่ในระดับเดียวกับข้อมูลของกรมการข้าว (สูงเฉลี่ย 117 เซนติเมตร) (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว, 2553) ยกเว้นข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่ผสมกากตะกอนน้ำเสีย (ดินชุดควบคุม) เนื่องจากดินมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว

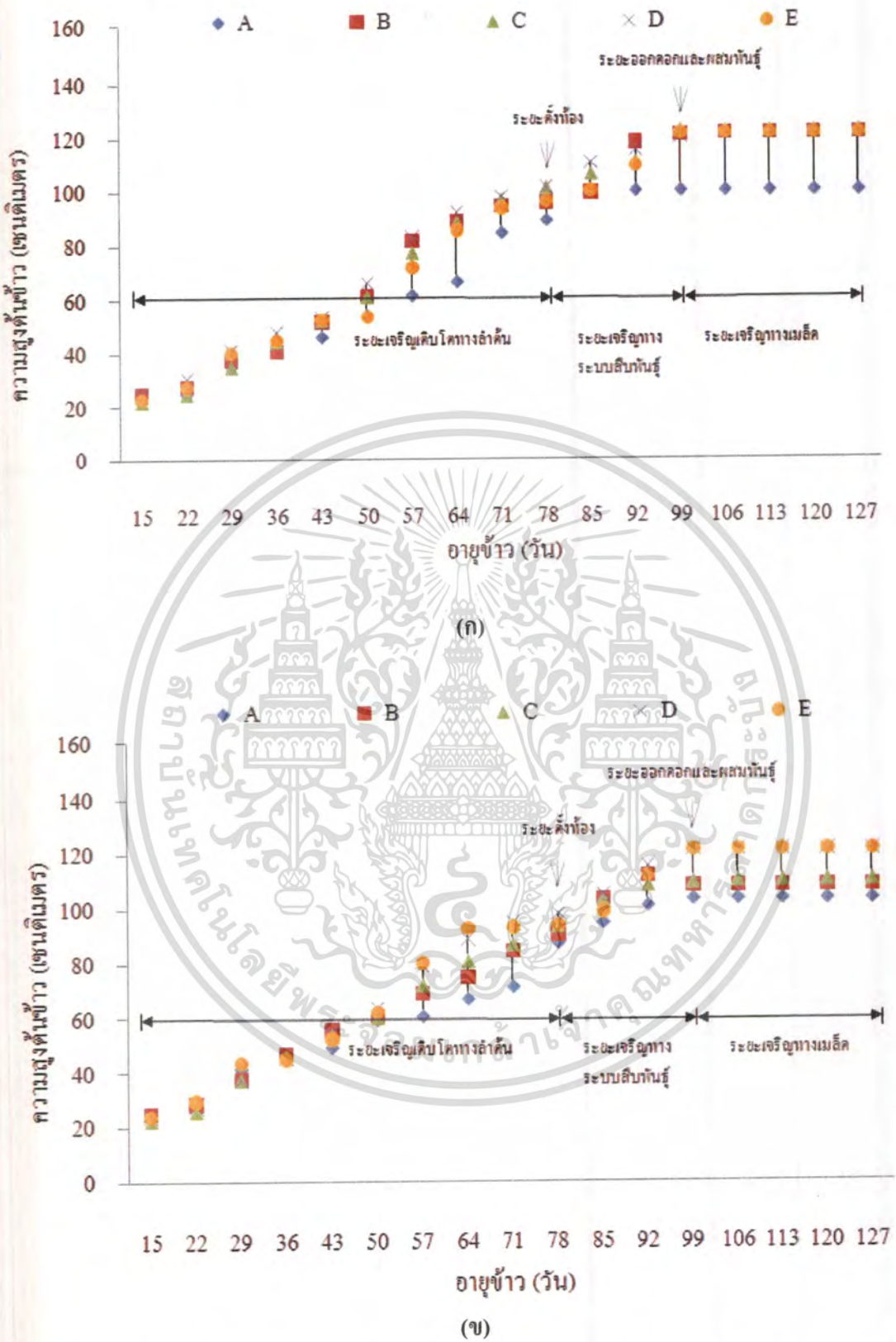
จากข้อมูลข้าวพันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (รูปที่ 4.6 (ก)) และดินนาสุพรรณบุรี (รูปที่ 4.6 (ข)) พบว่าหลังย้ายกล้าข้าวลงปลูกในถังพลาสติก ต้นข้าวมีความสูงเฉลี่ย 23-24 เซนติเมตร (ทุกชุดการทดลอง) ต้นข้าวมีระยะการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่ใช้ระยะเวลาในการปลูกนานกว่า คือ 130 วัน จากการวัดความสูงในระยะเจริญเติบโตทางเมล็ด พบว่าข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีในชุดการทดลอง A มีความสูงน้อยที่สุด ส่วนข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการในชุดการทดลอง B, C, D และ E มีความสูงไม่แตกต่างกัน มีความสูงเฉลี่ย 122 เซนติเมตร (รูปที่ 4.6 (ก)) ซึ่งความสูงของต้นข้าวมีความสอดคล้องกับผลผลิตของข้าว เนื่องจากชุดการทดลอง B มีผลผลิตสูงที่สุด (1,779.88 กก./ไร่) (ตารางที่ 4.13) ส่วนข้าวที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในดินนาสุพรรณบุรีอยู่ชุดการทดลอง D และ E มีความสูงเฉลี่ย 121 เซนติเมตร (รูปที่ 4.6 (ข)) ซึ่งความสูงของต้นข้าวมีความสอดคล้องกับผลผลิตของข้าว เนื่องจากชุดการทดลอง D มีผลผลิตสูงที่สุด (1,853.78 กก./ไร่) (ตารางที่ 4.13) เมื่อเปรียบเทียบความสูงของข้าวในงานวิจัยนี้ กับข้าวที่ปลูกในดินทั่วไปตามข้อมูลของกรมการข้าวพบว่าข้าวที่ปลูกในทุกชุดการทดลอง มีความสูงอยู่ในระดับเดียวกับข้อมูลของกรมการข้าว (สูงประมาณ 115 เซนติเมตร) (สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว, 2553) ยกเว้นข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่ผสมกากตะกอนน้ำเสีย (ดินชุดควบคุม) เนื่องจากดินมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสูงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (ก) และในดินนาสุพรรณบุรี (ข) (อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสูงของข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (ก) และในดินนาสุพรรณบุรี (ข) (อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดความสูงของต้นข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น พบว่าต้นข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนที่มากเกินไป (48 kg/m^2) ไม่ส่งผลดีต่อความสูงของต้นข้าว และทำให้รากข้าวยึดเกาะกับดินไม่ดี โค่นล้มได้ง่าย ต้นข้าวที่มีความสูงมากส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตน้อยลง เพราะข้าวมีการเจริญเติบโตทางลำต้นมากกว่าทางเมล็ด ทำให้ต้นข้าวมีลักษณะเฝือใบให้ผลผลิตน้อย เสี่ยงต่อการรบกวนของแมลงศัตรูพืช เช่นหนอนกอข้าว หากจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวในดินนาสมุทรปราการ (ดินเหนียว) ควรเติมกากตะกอนน้ำเสียที่อัตราส่วน 12 kg/m^2 จะทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตดี และให้ผลผลิตสูง ส่วนข้าวที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น พบว่าต้นข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้น และมีผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย หากจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวในดินนาสุพรรณบุรี (ดินร่วนปนทราย) ควรเติมกากตะกอนน้ำเสียที่อัตราส่วน 36 kg/m^2 จะทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตดี และให้ผลผลิตสูง

4.5.2 ความยาวของรากข้าว

ผลจากการวัดความยาวรากหลังการเก็บเกี่ยวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี แสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่าความยาวรากไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ยกเว้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรีในชุดการทดลอง E มีความยาวรากมากที่สุด ความรากยาวเฉลี่ยเท่ากับ 32.00 เซนติเมตร การเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้รากมีความยาวมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการทดลองนี้ปลูกข้าวในถังพลาสติกซึ่งมีพื้นที่จำกัด รากข้าวจึงไม่สามารถชอนไชในดินได้เหมือนกับข้าวที่ปลูกในแปลงนาปกติ ความยาวของรากจึงไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความยาวรากกับผลการทดลองด้านผลผลิต และความสูงของต้นข้าว พบว่าความยาวของรากข้าวไม่มีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ความยาวของรากข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง (Mean ± S.D.)

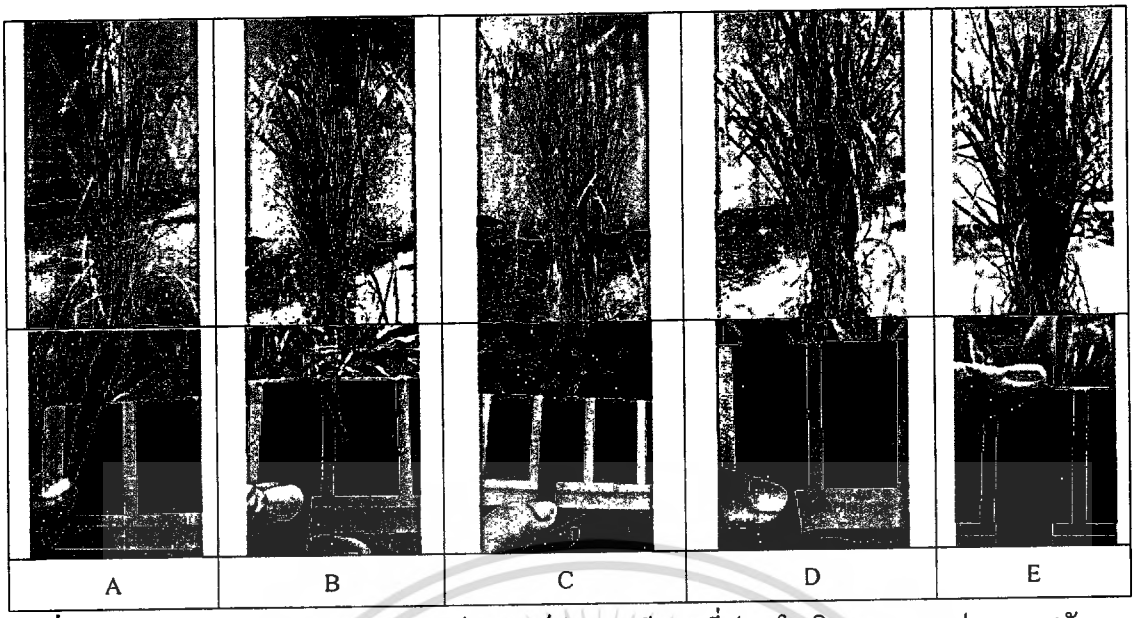
ชุดการทดลอง	ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ซม.)		ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (ซม.)		ข้าวพันธุ์ กข1 (ซม.)	
	ดินนาสมุทรปราการ	ดินนาสุพรรณบุรี	ดินนาสมุทรปราการ	ดินนาสุพรรณบุรี	ดินนาสมุทรปราการ	ดินนาสุพรรณบุรี
A	27.33 ± 1.70	22.00 ± 0.00	21.00 ± 0.00	24.67 ± 1.70	23.00 ± 1.63	24.00 ± 0.82
B	28.67 ± 2.62	23.33 ± 4.50	25.00 ± 3.74	30.00 ± 9.63	28.67 ± 1.25	25.33 ± 1.25
C	23.67 ± 1.63	28.67 ± 2.05	26.33 ± 0.47	28.00 ± 1.63	28.67 ± 0.94	28.33 ± 1.25
D	24.00 ± 1.63	28.00 ± 4.32	26.67 ± 6.02	25.33 ± 0.94	30.00 ± 0.82	28.00 ± 1.63
E	21.00 ± 0.00	32.00 ± 1.41	25.67 ± 2.05	23.00 ± 2.16	29.33 ± 1.25	27.00 ± 2.16

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

4.5.3 การวัดสีใบข้าว

การวัดสีใบข้าวโดยใช้แผ่นเทียบสี (Leaf Color Chart, LCC) ควรทำการวัดสีใบเมื่อข้าวมีอายุ 20-25 วัน (กรมการข้าว, 2554) แต่ในการทดลองนี้มีอุปกรณ์ไม่พร้อมที่จะทำการวัดสีใบข้าวได้ตรงตามคำแนะนำของกรมการข้าว จึงทำการวัดสีของใบข้าวเฉพาะในช่วงที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 มีการเจริญเติบโตทางเมล็ด (ระยะออกดอกและผสมพันธุ์) จากข้อมูลสีของใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี พบว่าเมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นทำให้ช่วงของสีใบมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในชุดการทดลอง E มีช่วงสีใบมากที่สุด มีค่า LCC เท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15) นอกจากนี้การแตกกอของข้าวและใบข้าวมีลักษณะเฟือใบมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ (รูปที่ 4.7) ส่วนในชุดการทดลอง A และ B มีช่วงสีใบน้อยที่สุด มีค่า LCC เท่ากับ 2 (ตารางที่ 4.15) การแตกกอของข้าว และใบข้าวมีน้อยกว่าชุดการทดลอง E อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.7) ดังนั้นเมื่อเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นทำให้ต้นข้าวมีลักษณะเฟือใบให้ผลผลิตน้อย ส่วนในชุดการทดลองที่ไม่เติมกากตะกอนน้ำเสียทำให้ดินมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวผลผลิตจึงมีน้อยตามไปด้วย การเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตดีเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สีใบข้าว และลักษณะของใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2)

จากข้อมูลของกรมการข้าวอธิบายการใช้แผ่นเทียบสีกับใบข้าว ว่าเป็นอุปกรณ์ช่วยในการตัดสินใจเพื่อให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนได้ตรงกับความต้องการของข้าวที่จะสามารถดูดใช้ปุ๋ยได้มากที่สุด โดยทำการวัดสีใบหลังการใส่ปุ๋ยครั้งแรก (อายุข้าว 20-25 วัน) สำหรับข้าวที่ปลูกโดยวิธีการปักดำ มีค่า LCC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 ควรใส่ปุ๋ยยูเรียเพิ่ม ในอัตรา 7-8 กก./ไร่ วัดสีใบข้าวและใส่ปุ๋ยเช่นนี้ไปจนถึงระยะออกดอก (กรมการข้าว, 2554) จากการวัดสีใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ที่ปลูกในการทดลองนี้ พบว่ามีค่า LCC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 ในทุกชุดการทดลอง อาจเนื่องจากไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สูญเสียได้ง่ายในสภาพน้ำขัง (กรมการข้าว, 2554) ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินจึงอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ค่า LCC (Leaf Color Chart (LCC)) ของใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง (Mean ± S.D.)

ชุดการทดลอง	ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80						ข้าวพันธุ์ กข1									
	ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ					ดินนาสุพรรณบุรี				
	อายุข้าว (วัน)			อายุข้าว (วัน)			อายุข้าว (วัน)					อายุข้าว (วัน)				
	99	106	113	99	106	113	99	106	113	120	127	99	106	113	120	127
A	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00
B	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00
C	3 ± 0.00	3 ± 0.50	2 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00	2 ± 0.00
D	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.50	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.50	3 ± 0.50
E	4 ± 0.00	4 ± 0.00	4 ± 0.00	4 ± 0.00	4 ± 0.00	4 ± 0.00	4 ± 0.00	4 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00	3 ± 0.00

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

แผ่นเทียบสีใบข้าว แบ่งระดับสีที่วัดออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 (ค่า LCC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 ควรใส่ปุ๋ยยูเรียเพิ่ม ในอัตรา 7-8 กก./ไร่)

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในข้าว

ในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ปัจจัยเรื่องโลหะหนักมีความสำคัญมาก เนื่องจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสียมีโอกาสเคลื่อนย้ายไปสะสมตามส่วนต่างๆ ของพืชก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ได้ (ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1) โลหะหนักในงานวิจัยนี้มุ่งไปที่ เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส เนื่องจากพบโลหะหนักเหล่านี้ในดินและกากตะกอนน้ำเสียก่อนการปลูกพืช และอาจสามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าวได้ (Phytotoxic)

4.6.1 ปริมาณโลหะหนักในข้าวขาวดอกมะลิ 105

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ (ตารางที่ 4.16) พบว่าในส่วนของเมล็ดข้าวมีปริมาณของ Fe และ Zn ไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ทางด้านปริมาณของ Cu และ Mn มีปริมาณสูงขึ้นในชุดการทดลอง D และ E ส่วนปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวที่ปลูกในดินนาทั้ง 2 แหล่ง มีปริมาณ Fe, Zn และ Mn สูงขึ้นในชุดการทดลอง D และ E แต่ปริมาณ Cu ในต้นข้าวที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี ไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง สำหรับอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่แนะนำให้ใช้ในดินนาสมุทรปราการ 12 kg/m^2 และในดินนาสุพรรณบุรี 36 kg/m^2 พบว่ามีธาตุโลหะหนักทั้งในเมล็ดและต้นข้าว เรียงลำดับดังนี้ Fe > Mn > Cu > Zn

4.6.2 ปริมาณโลหะหนักในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ (ตารางที่ 4.17) พบว่าเมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น Fe, Zn, Cu และ Mn สูงขึ้นในชุดการทดลอง D และ E ทางด้านปริมาณโลหะหนักในเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี มีปริมาณ Fe ไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ส่วนปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ มีปริมาณของ Mn ไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง สำหรับต้นข้าวที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี มีปริมาณ Cu ไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง สำหรับอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่แนะนำให้ใช้ในดินนาสมุทรปราการ 12 kg/m^2 และในดินนาสุพรรณบุรี 36 kg/m^2 พบว่ามีธาตุโลหะหนักทั้งในเมล็ดและต้นข้าว เรียงลำดับดังนี้ Fe > Mn > Cu > Zn

4.6.3 ปริมาณโลหะหนักในข้าวพันธุ์ กข1

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณโลหะหนักของข้าวที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี (ตารางที่ 4.18) จะพบว่าเมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นปริมาณ Fe และ Zn ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีปริมาณของ Cu และ Mn สูงที่สุดในชุดการทดลอง D และ E ส่วนปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวที่ปลูกในดินนาทั้ง 2 แหล่ง เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณของ Fe, Zn และ Mn เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ปริมาณของ Cu ในต้นข้าวไม่มีความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันในทุกชุดการทดลอง เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุโลหะหนักในอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่แนะนำให้ใช้ในดินนาสมุทรปราการ 12 kg/m^2 และในดินนาสุพรรณบุรี 36 kg/m^2 พบว่ามีธาตุโลหะหนักทั้งในเมล็ดข้าว เรียงลำดับดังนี้ Fe > Mn > Cu > Zn ส่วนในต้นข้าว เรียงลำดับดังนี้ Fe > Cu > Mn > Zn

ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่พบในข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี อยู่ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งปริมาณโลหะหนักในลำต้นข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณสูงกว่าในเมล็ดข้าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh and Agrawal (2010) ที่กล่าวว่าโลหะหนักจะสะสมอยู่ในส่วนของรากมากกว่าเมล็ด ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเมล็ดและลำต้นข้าว กับมาตรฐานปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช (Fe: 50-200 mg/kg, Zn: 80-200 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg) (Fergusson, 1990) ยกเว้นปริมาณ Fe ในต้นข้าวที่ปลูกในดินนาทั้ง 2 แหล่งที่มีปริมาณสูงกว่ามาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเมล็ดและลำต้นข้าว กับปริมาณโลหะหนักที่พบในข้าวโดยทั่วไป พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้งหมดไม่เกินปริมาณโลหะหนักที่พบในข้าว (Fe: 90-200 mg/kg, Zn: 20-160 mg/kg, Cu: 6-25 mg/kg และ Mn: 40-800) (Bardy, 2008) ยกเว้นปริมาณ Fe และ Cu (บางชุดการทดลอง) ในต้นข้าวที่ปลูกในดินนาทั้ง 2 แหล่งที่มีปริมาณสูงกว่าปริมาณโลหะหนักที่พบในข้าวโดยทั่วไป

การที่ข้าวมีการสะสมธาตุเหล็ก (Fe) ในปริมาณที่สูงอาจเนื่องมาจากในดินนาสมุทรปราการและสุพรรณบุรีมีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าธาตุอื่น ๆ ซึ่งเหล็กเป็นธาตุหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ช่วยในกระบวนการหายใจให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทางด้านแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อใบพืชมาก ช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืช และยังเป็นตัวควบคุมกระบวนการทำงานของเหล็กและไนโตรเจนในพืช ส่วนทางด้านสังกะสี (Zn) ข้าวนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ให้ฮอร์โมนในทุกส่วนของพืช ในการสร้างอาหารและสังเคราะห์แสง และทองแดง (Cu) ช่วยสร้างส่วนต่าง ๆ ที่เป็นสีเขียวของข้าว และยังช่วยสนับสนุนให้พืชสามารถดูดธาตุเหล็กมาใช้ได้อีกด้วย (นายเกษตร, 2554) แต่ถ้าในดินนาน้ำขัง และดินมีความเป็นกรดจัด ระบายน้ำไม่ดี เหล็ก แมงกานีส และทองแดง จะละลายออกมามากจนเป็นพิษ จะทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์		ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Fe	เมล็ด	80.55 ± 4.79	82.79 ± 2.51	84.48 ± 1.22	89.96 ± 1.68	95.56 ± 1.77	83.21 ± 0.28	86.72 ± 2.00	86.00 ± 0.96	91.76 ± 1.84	94.20 ± 0.29
(mg/kg)	ต้น	714.99 ± 32.83	823.77 ± 9.07	958.92 ± 28.55	958.99 ± 14.24	996.58 ± 15.10	534.78 ± 11.89	601.26 ± 3.65	614.08 ± 35.74	656.01 ± 37.17	782.81 ± 28.82
Zn	เมล็ด	3.69 ± 0.33	4.81 ± 1.03	5.63 ± 0.55	7.56 ± 0.34	8.19 ± 1.48	3.49 ± 0.39	4.30 ± 0.08	6.85 ± 0.43	6.67 ± 0.61	7.55 ± 0.26
(mg/kg)	ต้น	25.19 ± 1.80	26.52 ± 0.09	28.21 ± 0.09	29.65 ± 0.09	29.79 ± 0.06	29.21 ± 0.11	29.80 ± 014	31.28 ± 0.10	31.55 ± 0.33	31.01 ± 1.37
Cu	เมล็ด	1.55 ± 0.49	6.08 ± 0.22	11.36 ± 0.76	12.13 ± 4.55	17.02 ± 3.05	3.16 ± 1.17	6.02 ± 1.06	8.20 ± 1.64	11.60 ± 1.57	18.88 ± 2.26
(mg/kg)	ต้น	14.80 ± 0.89	22.18 ± 2.80	27.31 ± 3.48	35.69 ± 0.45	38.45 ± 0.15	33.14 ± 0.26	34.03 ± 0.28	35.10 ± 0.25	38.04 ± 1.86	38.45 ± 1.22
Mn	เมล็ด	12.90 ± 1.23	15.27 ± 0.42	18.92 ± 1.08	20.20 ± 0.36	21.69 ± 0.07	17.62 ± 0.38	18.12 ± 0.36	19.63 ± 0.38	21.73 ± 1.62	21.21 ± 0.05
(mg/kg)	ต้น	32.51 ± 0.47	33.73 ± 0.41	34.23 ± 1.47	34.25 ± 0.23	35.15 ± 0.33	30.89 ± 0.75	32.13 ± 0.51	34.66 ± 0.54	35.66 ± 1.02	34.06 ± 2.11

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช Fe: 50-200 mg/kg, Zn: 80-200 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg (Fergusson, 1990)

ปริมาณโลหะหนักที่พบในข้าวโดยทั่วไป Fe: 90-200 mg/kg, Zn: 20-160 mg/kg, Cu: 6-25 mg/kg และ Mn: 40-800 (Bardy, 2008)

ตารางที่ 4.17 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์		ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Fe	เมล็ด	83.15 ± 2.13	89.85 ± 1.13	90.64 ± 1.82	93.38 ± 1.75	97.06 ± 0.61	80.23 ± 1.05	82.91 ± 2.07	87.35± 1.29	90.98 ± 1.66	96.49 ± 0.63
(mg/kg)	ต้น	842.66 ± 30.01	635.85 ± 107.35	640.21 ± 96.26	692.92 ± 8.39	717.64 ± 8.59	526.61 ± 3.95	622.85 ± 2.12	677.69 ± 13.50	735.06 ± 11.70	791.57 ± 13.18
Zn	เมล็ด	3.58 ± 1.24	3.96 ± 0.18	4.79 ± 0.72	5.26 ± 0.23	5.54 ± 0.04	3.80 ± 1.18	4.96 ± 0.68	6.50 ± 1.62	8.84 ± 0.19	9.21 ± 0.10
(mg/kg)	ต้น	23.11 ± 0.17	23.18 ± 0.64	24.78 ± 1.35	26.52 ± 0.99	28.14 ± 0.05	28.92 ± 0.09	29.01 ± 0.43	30.01 ± 0.08	31.42 ± 0.30	31.98 ± 0.20
Cu	เมล็ด	2.46 ± 0.00	7.82 ± 0.58	10.70 ± 0.57	12.33 ± 1.04	16.46 ± 0.53	4.53 ± 1.15	6.59 ± 0.59	9.44 ± 0.56	12.33 ± 0.96	17.64 ± 1.52
(mg/kg)	ต้น	16.43 ± 0.59	24.67 ± 1.85	28.67 ± 1.15	30.82 ± 0.11	34.82 ± 1.29	38.02 ± 3.36	37.47 ± 1.65	40.39 ± 2.28	40.12 ± 4.83	42.46 ± 1.55
Mn	เมล็ด	13.34 ± 0.30	16.25 ± 0.39	20.80 ± 0.78	23.95 ± 0.29	25.71 ± 0.40	18.05 ± 0.54	18.19 ± 0.40	18.96 ± 0.21	20.03 ± 0.85	21.17 ± 0.51
(mg/kg)	ต้น	29.65 ± 0.49	31.64 ± 0.63	32.27 ± 0.76	33.59 ± 0.93	44.28 ± 1.00	30.17 ± 0.14	32.33 ± 0.09	33.09 ± 0.16	34.13 ± 0.38	34.64 ± 0.11

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช Fe: 50-200 mg/kg, Zn: 80-200 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg (Fergusson, 1990)

ปริมาณโลหะหนักที่พบในข้าวโดยทั่วไป Fe: 90-200 mg/kg, Zn: 20-160 mg/kg, Cu: 6-25 mg/kg และ Mn: 40-800 (Bardy, 2008)

ตารางที่ 4.18 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1 (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์		ชุดการทดลองของดินนาสมุทรปราการ					ชุดการทดลองของดินนาสุพรรณบุรี				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Fe	เมล็ด	85.66 ± 1.96	90.52 ± 2.02	93.84 ± 0.46	96.61 ± 0.44	98.99 ± 0.06	84.80 ± 3.04	87.69 ± 1.41	90.74 ± 1.93	96.40 ± 0.60	96.78 ± 0.20
(mg/kg)	ต้น	650.28 ± 22.69	621.64 ± 69.62	661.88 ± 20.01	690.17 ± 27.10	716.96 ± 7.44	771.93 ± 86.52	836.76 ± 84.19	904.67 ± 93.13	910.04 ± 5.11	917.35 ± 25.52
Zn	เมล็ด	3.03 ± 0.18	3.09 ± 0.03	3.35 ± 0.16	4.73 ± 0.28	4.94 ± 0.70	3.51 ± 0.32	5.35 ± 0.17	6.17 ± 0.79	5.81 ± 0.38	6.41 ± 0.48
(mg/kg)	ต้น	20.67 ± 1.91	23.70 ± 1.18	25.27 ± 0.32	25.92 ± 0.30	27.76 ± 0.42	25.88 ± 0.75	25.64 ± 0.30	26.32 ± 0.33	28.88 ± 0.02	31.76 ± 0.42
Cu	เมล็ด	2.47 ± 0.00	6.17 ± 2.67	10.28 ± 0.60	12.31 ± 1.98	14.39 ± 1.54	5.34 ± 0.58	6.58 ± 0.56	12.37 ± 1.76	13.63 ± 1.02	16.03 ± 2.03
(mg/kg)	ต้น	37.43 ± 0.59	37.70 ± 0.50	42.79 ± 0.72	43.19 ± 0.11	43.66 ± 0.67	39.04 ± 2.27	37.42 ± 1.50	39.07 ± 0.67	39.40 ± 2.06	41.53 ± 1.29
Mn	เมล็ด	15.99 ± 0.98	16.70 ± 0.81	21.29 ± 0.44	22.34 ± 0.15	24.35 ± 0.49	19.82 ± 0.84	21.57 ± 0.52	22.32 ± 1.75	22.06 ± 1.73	23.65 ± 0.49
(mg/kg)	ต้น	29.69 ± 0.44	31.41 ± 0.31	32.41 ± 0.27	34.74 ± 0.33	39.04 ± 0.57	30.39 ± 0.31	31.24 ± 0.13	32.53 ± 0.17	34.45 ± 0.14	35.94 ± 1.23

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช Fe: 50-200 mg/kg, Zn: 80-200 mg/kg และ Cu: 100 mg/kg (Fergusson, 1990)

ปริมาณโลหะหนักที่พบในข้าวโดยทั่วไป Fe: 90-200 mg/kg, Zn: 20-160 mg/kg, Cu: 6-25 mg/kg และ Mn: 40-800 (Bardy, 2008)

4.6.4 การเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก (Translocation factor, TF) จากลำต้นสู่เมล็ดข้าว

การศึกษาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในลำต้นและเมล็ด สามารถบ่งชี้ได้ว่ามีการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นไปสู่เมล็ดข้าวมากน้อยเพียงใด จากการนำข้อมูลความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) ในเมล็ดและลำต้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 นำมาคำนวณการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นสู่เมล็ด พบว่าในข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นสู่เมล็ดมีค่าน้อยกว่า 1 (ตารางที่ 4.19) ซึ่งถือว่ามีการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักน้อยมาก การสะสมของโลหะหนักในลำต้นจึงมีมากกว่าในเมล็ดข้าว ที่ปลูกในดินนาทุกอัตราส่วน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutapa and Bhattacharyya (2008) สรุปไว้ว่าปัจจัยในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นสู่เมล็ดของข้าวสาลี มีค่าน้อยกว่าการเคลื่อนย้ายจากรากสู่ลำต้นข้าวสาลี ซึ่งบ่งบอกได้ว่าการสะสมของโลหะหนักในส่วนของเมล็ดมีน้อยกว่าในลำต้นข้าวสาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 การเคลื่อนที่ของโลหะหนักจากต้นสู่เมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ กข 1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง (Mean ± S.D.)

ชุดการทดลอง		ข้าวขาวดอกมะลิ 105				ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80				ข้าวพันธุ์ กข1			
		Fe (เมล็ด/ต้น)	Zn (เมล็ด/ต้น)	Cu (เมล็ด/ต้น)	Mn (เมล็ด/ต้น)	Fe (เมล็ด/ต้น)	Zn (เมล็ด/ต้น)	Cu (เมล็ด/ต้น)	Mn (เมล็ด/ต้น)	Fe (เมล็ด/ต้น)	Zn (เมล็ด/ต้น)	Cu (เมล็ด/ต้น)	Mn (เมล็ด/ต้น)
ดินนาสมุทรปราการ	A	0.11 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.70 ± 0.03	0.40 ± 0.04	0.10 ± 0.01	0.16 ± 0.07	0.15 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.14 ± 0.03	0.07 ± 0.00	0.54 ± 0.03
	B	0.10 ± 0.00	0.18 ± 0.05	0.69 ± 0.05	0.45 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.17 ± 0.01	0.32 ± 0.00	0.51 ± 0.00	0.15 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.16 ± 0.09	0.53 ± 0.03
	C	0.09 ± 0.00	0.20 ± 0.02	0.61 ± 0.02	0.55 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.19 ± 0.02	0.37 ± 0.04	0.64 ± 0.01	0.14 ± 0.00	0.13 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.66 ± 0.01
	D	0.09 ± 0.00	0.26 ± 0.01	0.55 ± 0.06	0.59 ± 0.03	0.13 ± 0.00	0.20 ± 0.00	040 ± 0.04	0.71 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.29 ± 0.06	0.64 ± 0.01
	E	0.10 ± 0.00	0.27 ± 0.06	0.41 ± 0.03	0.62 ± 0.01	0.14 ± 0.00	0.20 ± 0.00	0.47 ± 0.04	0.58 ± 0.02	0.14 ± 0.00	0.18 ± 0.03	0.33 ± 0.04	0.62 ± 0.02
ดินนาสุพรรณบุรี	A	0.16 ± 0.00	0.12 ± 0.02	0.10 ± 0.04	0.57 ± 0.03	0.15 ± 0.00	0.13 ± 0.05	0.12 ± 0.03	0.60 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.65 ± 0.03
	B	0.14 ± 0.01	0.14 ± 0.00	0.18 ± 0.04	0.56 ± 0.02	0.13 ± 0.00	0.17 ± 0.03	0.18 ± 0.03	0.56 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.69 ± 0.02
	C	0.14 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.23 ± 0.06	0.57 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.22 ± 0.07	0.23 ± 0.03	0.57 ± 0.00	0.10 ± 0.02	0.24 ± 0.04	0.32 ± 0.05	0.69 ± 0.06
	D	0.14 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.30 ± 0.04	0.61 ± 0.08	0.12 ± 0.00	0.28 ± 0.01	0.31 ± 0.03	0.59 ± 0.02	0.11 ± 0.00	0.20 ± 0.02	0.35 ± 0.05	0.64 ± 0.06
	E	0.14 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.49 ± 0.06	0.63 ± 0.05	0.12 ± 0.00	0.29 ± 0.01	0.42 ± 0.05	0.61 ± 0.02	0.11 ± 0.00	0.20 ± 0.02	0.39 ± 0.07	0.66 ± 0.04

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย A: 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), B: 12 kg/m^2, C: 24 kg/m^2, D: 36 kg/m^2 และ E: 48 kg/m^2

4.6.5 การประเมินความสมดุลของโลหะหนักในระบบ

เพื่อความปลอดภัยในระยะยาวในการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงทำการประเมินความสมดุลของโลหะหนักในระบบ ว่ามีการเคลื่อนย้ายไปสู่สิ่งแวดล้อมอื่นหรือไม่ โดยใช้หลักของสมดุลมวล (mass balance) ซึ่งจะพิจารณาปริมาณโลหะหนัก 4 ชนิด คือ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) ในอัตราส่วนดินผสมกากตะกอนน้ำเสียที่แนะนำให้ใช้ในการปลูกข้าว คือ 12 kg/m^2 สำหรับดินนาสมุทรปราการ และ 36 kg/m^2 สำหรับดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1) รวมถึงปริมาณโลหะหนักในพืช (เมล็ด และต้นข้าว) แสดงดังตารางที่ 4.20

จากการประเมินความสมดุลของโลหะหนัก พบว่าในดินนาสมุทรปราการ (12 kg/m^2) ที่ปลูกข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณของ Fe, Zn, Cu และ Mn สูญหายไปจากระบบมากกว่าปริมาณโลหะหนักในดินนาสุพรรณบุรี (36 kg/m^2) จากข้อมูลน้ำหนักดินแห้งต่อกระถาง (ภาคผนวก ฉ) ที่ใช้ในการคำนวณ mass balance ในดินนาสมุทรปราการมีน้ำหนักดินแห้งต่อกระถางมากกว่าดินนาสุพรรณบุรี ในดินนาสมุทรปราการจึงมีโอกาสที่ไอออนของโลหะหนักจะถูกไหลชะมาจากอนุภาคดินมากกว่าดินนาสุพรรณบุรี และหากพืชนำไปใช้ไม่ทัน โลหะหนักเหล่านี้อาจถูกชะละลายไปกับน้ำ การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร จึงมีข้อควรระวังด้านการปนเปื้อนของโลหะหนักไปสู่สิ่งแวดล้อมอื่น โดยเฉพาะการเติมกากตะกอนน้ำเสียในดินนาสุพรรณบุรีในอัตราส่วน 36 kg/m^2 (ตารางที่ 4.4) ทำให้มีปริมาณ Zn และ Cu เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรควรทำการปรับสภาพกากตะกอนน้ำเสียให้มี Zn และ Cu ลดลงอยู่ในระดับพื้นฐานในดินก่อนนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในระยะยาว และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.20 การประเมินค่าความสมดุลของโลหะหนักในดินผสมกากตะกอนน้ำเสีย 12 kg/m^2 สำหรับดินนาสมุทรปราการ และ 36 kg/m^2 สำหรับดินนาสุพรรณบุรี (Mean ± S.D.)

ชนิดดิน	พันธุ์ข้าว	Fe (%)	Zn (%)	Cu (%)	Mn (%)
ดินนาสมุทรปราการ (12 kg/m^2)	พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	36.57 ± 1.24	30.27 ± 2.38	25.87 ± 24.36	41.21 ± 0.05
	พันธุ์ปทุมธานี 80	50.61 ± 0.97	24.97 ± 2.79	65.36 ± 1.72	36.79 ± 3.54
	พันธุ์ กข1	49.54 ± 0.33	24.05 ± 2.58	72.19 ± 1.69	34.83 ± 3.55
ดินนาสุพรรณบุรี (36 kg/m^2)	พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	21.66 ± 0.81	21.67 ± 1.01	33.19 ± 0.91	25.30 ± 1.60
	พันธุ์ปทุมธานี 80	16.33 ± 0.77	14.07 ± 0.47	45.54 ± 0.53	23.09 ± 1.99
	พันธุ์ กข1	10.35 ± 0.35	10.93 ± 5.24	44.88 ± 3.91	25.25 ± 2.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อใช้ปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย พบว่า มีคุณสมบัติบางพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ คือ มี OM อยู่ในระดับสูงมาก, มี avail. P และ avail. K ในระดับที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูง แต่อาจมี ค่า EC ที่เป็นอุปสรรคต่อพืชส่วนมาก มีเฉพาะพืชทนเค็มที่สามารถเจริญเติบโตได้ ทางด้านปริมาณโลหะหนัก (Fe, Zn, Cu และ Mn) มีค่าไม่เกินค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนน้ำเสียที่จะนำไปใช้ในการเกษตร ของกรมวิชาการเกษตร ส่วนเหล็ก และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีอยู่ในระดับที่เกินพอสำหรับพืช

5.1.2 จากการศึกษาคุณสมบัติของดินผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละอัตราส่วน ก่อนการปลูกข้าว พบว่าเมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสียในดินเพิ่มขึ้น ทำให้ปัจจัยที่เหมาะสมในการปลูกพืชเพิ่มขึ้นตามไปด้วย คือ CEC, OM, total N, avail. P และ avail. K ทางด้านโลหะหนักทั้งหมดเมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m^2 ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรีพบว่ามีโลหะหนักสูงที่สุด คือ Fe > Mn > Zn > Cu ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินนาทั้ง 2 แหล่งกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย พบว่า มีปริมาณของ Zn และ Cu ในบางชุดการทดลอง เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานที่กำหนดไว้ในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร สำหรับปริมาณธาตุโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ พบว่ามีจุลธาตุ Fe, Zn, Cu และ Mn อยู่ในระดับที่เกินพอสำหรับพืช ส่วนหลังการปลูกข้าว พบว่าปัจจัยที่ทำการศึกษา เช่น EC, OM, total N, avail. P และ avail. K หลังการปลูกพืชมีค่าลดลง ส่วนปริมาณโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ (Fe, Zn, Cu และ Mn) ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว

5.1.3 จากการศึกษาผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าว คือ ประเภทของดิน และอัตราการใช้กากตะกอนน้ำเสีย ในดินนาสมุทรปราการซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียวควรใช้กากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 12 kg/m^2 และในดินนาสุพรรณบุรีซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย ควรใช้กากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน 36 kg/m^2 จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีที่สุด ทางด้านการศึกษาความสูงของต้นข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น พบว่าต้นข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนที่มากเกินไป (48 kg/m^2) ไม่ส่งผลดีต่อความสูงของต้นข้าว และทำให้ผลผลิตลดลง ทางด้านการศึกษาความยาวของราก พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้รากมีความยาวมากขึ้น และจากการศึกษาสีใบข้าว โดยใช้แผ่นเทียบสีกับใบข้าว ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ช่วยในการตัดสินใจในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้ตรงกับความต้องการของข้าว พบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 ที่ปลูกในการทดลองนี้ ต้นข้าวยังมีความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนในทุกชุดการทดลอง

5.1.4 จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1 มีปริมาณโลหะหนักในลำต้นมากกว่าในเมล็ด ซึ่งปริมาณโลหะหนักในเมล็ดและลำต้นข้าวอยู่ในระดับมาตรฐานปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช ยกเว้นปริมาณ Fe ในต้นข้าวที่มีปริมาณสูงกว่ามาตรฐาน และทางด้านการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้น พบว่ามีการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากลำต้นไปสู่เมล็ดในปริมาณน้อย

5.1.5 จากการศึกษาความสมดุลของโลหะหนักในระบบ พบว่าในดินนาสมุทรปราการ (12 kg/m^2) ที่ปลูกข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณของ Fe, Zn, Cu และ Mn สูญหายไปจากระบบมากกว่าปริมาณโลหะหนักในดินนาสุพรรณบุรี ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้อาจถูกชะละลายไปกับน้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรผสมกากตะกอนน้ำเสียกับวัสดุปลูกอื่น ๆ ก่อนนำไปปลูกพืช เพื่อให้กากตะกอนน้ำเสียมีความชื้นลดลง และเหมาะสมต่อการปลูกพืช

5.2.2 ควรปรับอัตราการใช้กากตะกอนน้ำเสียให้น้อยลง เพื่อให้เหมาะกับการปลูกพืชชนิดอื่นที่ไม่สามารถทนความเค็มได้

5.2.3 ควรนำกากตะกอนน้ำเสียไปผ่านกระบวนการหมักทำปุ๋ยก่อน เพื่อกำจัดกลิ่น และมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้กากตะกอนน้ำเสียมีสภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร

5.2.4 ควรปรับสภาพกากตะกอนน้ำเสียโดยอาจใช้ตัวดูดซับทำให้มี Zn และ Cu ลดลงอยู่ในระดับพื้นฐานก่อนนำมาใช้ประโยชน์

5.2.5 ในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ควรเลือกพื้นที่ที่อยู่ไม่ไกลจากโรงงานที่มีกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อความสะดวก และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2554. **การใช้แผ่นเทียบสี (Leaf Color Chart: LCC) ในการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน.** ปทุมธานี : ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. เข้าถึงได้จาก. Available: http://ptt.ricethailand.go.th

กรมพัฒนาที่ดิน. 2537. **แผนการปฏิบัติการพัฒนาทรัพยากรที่ดินจังหวัดสุพรรณบุรี.** กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. **คู่มือการจัดการทรัพยากรที่ดินเบื้องต้นจังหวัดสมุทรปราการ.** กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า.** เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: วิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. หน้า 81-210.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. **เอกสารสนับสนุนระบบการจัดการคุณภาพ: GMP พืช พริก.** กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 27.

กรมวิชาการเกษตร. 2555. **การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์.** กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 4.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์. 2553a. **เคมีสิ่งแวดล้อม 2.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์. 2553b. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2553. **น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ : คุรุสภาลาดพร้าว. หน้า 28-29.

กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์. 2555. **การศึกษาคุณภาพดิน.** สำนักวิจัยและพัฒนา, กรมชลประทาน เข้าถึงได้จาก. Available : http://www3.rid.go.th /research/vijai _rid/ ss/ soilqc.html.

เกศรัชฎา กลั่นกรอง และนิสิตา คงไพฑูรย์. 2550. "คุยเฟื่องเรื่องตะกอน". **วารสารสำนักระบายน้ำ.** 5(11) : 12-13.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2547. **พืชเศรษฐกิจ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาไร่นา คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 27-51.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จิราพร จรรยาอ่อน. 2544. **"ผลกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแช่แข็งอาหารทะเลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม"**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาญ มงคล. 2536. **ข้าว.** หน่วยศึกษานิเทศก์, กรมการฝึกครู. หน้า 58-62.

ฐิติวรดา คำปัญโญ, พรทิพย์ โกศลสมบัติ และสินีนาฏ เจิมกลิ่น. 2551. **"การนำกากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการบำบัดทางเคมีมาปลูกดาวเรือง"**. โครงงานพิเศษ. ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ถวิล ครุฑกุล. 2540. **เกษตรยั่งยืน: การใช้ดินและปุ๋ย.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์รั้วเขียว.

นายเกษตร มั่งคั่ง. 2554. **20 วิธีทำปุ๋ยอินทรีย์แบบง่าย ๆ ทำขายก็รวย.** กรุงเทพฯ : ไพลินบุ๊คเน็ต. หน้า 21-28.

นิตยา มหาผล และประนอม ภูวนัตตรัย. 2541. **การปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมและการป้องกัน.** หน้า 49-56.

บุญจง ขาวสิทวงศ์. 2541. **ศัพท์ชื่อย่อด้านสิ่งแวดล้อม Environment term, Acrongme and Abrenation (อังกฤษ-ไทย).** กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที พี เอ็น เพรส. หน้า 248.

ปฐพีชล วายุอัคคี. 2544. **ดินและปุ๋ย.** นนทบุรี : ฐานเกษตรกรรม. หน้า 11-17.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2556. **ฐานการเรียนรู้ทางการเกษตร.** สำนักวิจัยฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เข้าถึงได้จาก. Available : http://www2.it.mju.ac.th/dbresearch/raebase/index.php/baselearning/rice/55-rice2.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2546. **เอกสารการสอนชุดวิชา ดิน น้ำ และปุ๋ย.** นนทบุรี : สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธราช. หน้า 5-25.

วรรยารักษ์ เครือมังกร. 2548. **"การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในผักกาดเขียวกวางตุ้ง โดยใช้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพที่ปลูกด้วยดินผสมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร"**. ปริญญานิพนธ์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

วันเพ็ญ น้อยตำแย และอารีรัตน์ หัฏฐะเมตตา. 2543. **"การนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า"**. ปริญญานิพนธ์. คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู. 2551. **"การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียผสมขี้แป้งเพื่อการเพาะชำยางชำถุง"**. วิทยานิพนธ์. คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. **ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา (Wastewater treatment system : selection, design, operation and problem solving).** กรุงเทพ ฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุธาทิพย์ การรักษา. 2552. **เอกสารประกอบการบรรยายในการฝึกอบรมโครงการสัมมนาการเชื่อมโยงเครือข่ายการผลิตอาหารสัตว์อินทรีย์ และผู้ผลิตปศุสัตว์อินทรีย์.** สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช กรมวิชาการเกษตร. หน้า 4.

สุวรรณา สาสนรักกิจ. 2555. **การวิเคราะห์ดินและการแปลความหมายในระดับห้องปฏิบัติการและไร่นา.** สำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา. เข้าถึงได้จาก. Available : http://118.175.21.24/ wbi1/index.htm, 23 เมษายน 2555.

สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว. 2553. **องค์ความรู้เรื่องข้าว.** กรุงเทพฯ : กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เข้าถึงได้จาก. Available : http://www.brrd.in.th/rkb/varieties/index.php.htm

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. 2552. **การวิจัยข้าวทนดินเค็มในภาคกลาง.** กรุงเทพฯ : กรมการข้าว. หน้า 8.

อภิชาต เถาว์โท และเสริมศักดิ์ อาวะกุล. 2526. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการปลูกข้าว.** กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพาณิช. หน้า 21-24.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2544. **การประเมินความเป็นประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ต่อการปลูกพืชอาหารสัตว์.** กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุษณีย์ อุยะเสถียร, สิริพร เอกวรานุกูลศิริ และปพิชญา ศรีเทพ. 2552. "การศึกษาลักษณะสมบัติและความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อนำไปใช้ในการเกษตร". **Environment and Natural Resources Journal.** 7 : 25-35.

Bardy, C. and Weil, R. 2008. **The nature and properties of soil.** Pearson education international. 720.

Baxter, J.C., Aguila, M. and Brown, K. 1983. "Heavy metals and persistent organic at a sewage sludge disposal site". **Journal of Environment Quality.** 12 : 311-319.

CAST. 1976. **Application of Sewage sludge to crop land: Appraisal of potential hazards of heavy metals to plants and animal. Report No. 64: Council for Agriculture Science And Technology (CAST).** Iowa : Amers.

Cunningham, J.D., Keeney, D.R. and Ryan, J.A. 1975. "Yield and metal composition of corn and rye grown on sewage sludge-amended soil". **Journal of Environment Quality.** 4 : 448-454.

Dai, J., Xu, M., Chen, J., Yang, X. and Ke, Z. 2007. "PCDD/F, PAH and heavy metals in the sewage sludge from six wastewater treatment plants in Beijing". **China. Chemosphere.** 66 (2) : 353-61.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dowdy, R.H. and Larson, W.E. 1975. "The availability of sludge-borne metals to various vegetable crops". **Journal of Environment Quality**. 4: 278-282.

Fergusson, J.E. 1990. **The Heavy Elements: Chemistry Environmental Impact and Health Effects**. Pergamum Press, England.

Follet, R., Donahue, R. and Murphy, L. 1981. **Soil and Soil Amendment**. New Jersey: Prentice hall.

Hyde, H.C., Page, A.L. Bingham, F.T., and Mahler, R.J. 1979. "Effect of heavy metals in sludge on agricultural crops". **Journal of the Water Pollution Control Federation**. 51 : 2475-2486.

Jacobs, L.W. 1981. **Sludge and its ultimate disposal : Agricultural application of sewage sludge**. Michigan, USA : Ann Arbor Science Publishers.

Jeyabaskaran, K.J. and Sreeamulu, U.S. 1998. "Effect of nursery application of sewage sludge on yield and heavy metal contents and uptake by rice (ADT 36) in the main field". **Journal of Environmental Biology**. 19 : 43-47.

Kelling, K.A., Walsh, D.R. Walsh, L.M. and Ryan, J.A. 1977. "A field study of the agricultural use of sewage sludge: III. Effect on uptake and extractability sludge- borne metals". **Journal of Environment Quality**. 6 : 352-358.

King, E. and Morris, Jr. 1972a. "Land disposal of liquid sewage sludge: I. The effect on yield, in vivo digestibility, and chemical composition of coastal Bermudagrass (*Cynodon dactylon* L. Pers)". **Journal of Environment Quality**. 1 : 325-329.

King, E. and Morris, Jr. 1972b. "Land disposal of liquid sewage sludge: II. The effect on soil pH, mangance, Zinc and growth and chemical composition of Rye (*Secale cereal* L. Pers)". **Journal of Environment Quality**. 1 : 425-429.

Martinez, F., Cuevas, G., Calvo, R. and Walter, I. 2003. "Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid Ecosystem". **Journal of Environment Quality**. 32 : 472–479.

Moreno, J.L., Garcia, C., Hernadez, T. and Ayuso, M. 1997. "Application of composted sewage sludge contaminated with heavy metals to an agricultural soil: effect on lettuce growth". **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. 4 : 565-573.

Neuhauser, E. F., Loehr, R.C., Milligan, D.L. and Malecki, M.R. 1985. "Toxicity of metals to the earthworm *Elsenia fetida*". **Biology and Fertility of Soils**. 1(3) : 149-152.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Osada, A., Sasiprapa, V., Rahongs, M., Dhammanuvong, S. and Chakrabandhu, H. 1973. "Abnormal Occurance of empty grains of indica rice plants in the dry, not season in Thailand". **Proceeding of the Crop. Science Society of Japan.** 42: 103-109.

Page, A.L., Xingxing, W., Taolin, Z., Dongmei, Z. and Yuanqiu, H.E. 1974. **Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural lands.** EPA. Report. OHIO : National Environmental Research Center.

Ping, LI. 2008. "Effects of several amendments on rice growth and uptake of copper and cadmium from a contaminated soil". **Journal of Environmental Sciences.** 20 : 449-455.

Ravindran, K.C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K. P. and Balasubramanian, T. 2007. "Restoration of saline land by halophytes for Indian soils". **Soil Biology & Biochemistry.** 39: 2661-2664.

Robertson, W.K., Lutrick, M.C. and Yuan, T.L. 1982. "Heavy applications of liquid-digested, composted and thermally-dried sewage sludge on three plants". **Bioresource Technology.** 99 : 7168-7175.

Schauer, R.S., Wright, W.R. and Pelchat, J. 1980. "Sludge-borne heavy metal availability and uptake by vegetable crop under field condition". **Journal of Environment Quality.** 9 : 69-73.

Singh, R.P. and Agrawal, M. 2007. "Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: Metal uptake by plant". **Ecological Engineering.** 36 : 969–972.

Singh, R.P., Agrawal, M. 2008. "Potential benefits and risks of land application of sewage sludge". **Waste Manage.** 28 : 347–358.

Singh, R.P. and Agrawal, M. 2010. "Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates". **Ecotoxicology and Environmental Safety.** 73 : 632–641.

Sommer, G. and Stritesky, A. 1976. "Determination of the toxic limits of cadmium, copper, lead and zinc by pot experiments with respect to the utilization of wastes in agriculture (Gefassversuche zur Ermittlung der Schadgrenzen von Cadmium, Kupfer, Blei and Zink im Hinblick auf den Einsatz von Abfallstoffen in der Landwirtachaft)". **Landwirtsch. Forsch.** 29 : 88-100.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stocky, D. J. and Newman, T. S. 1977. "Effect of dried anaerobically digested sewage sludge on yield and element accumulation in Tall fescus and Alfalfa". **Journal of Environment Quality**. 6 : 271-274.

Sutapa, B. and Bhattacharyya, A. K. 2008. "Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge". **Chemosphere**. 70 : 1264–1272.

Walter, I., Martinez, F. and Cala, V. 2006. "Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses". **Environmental Pollution**. 139 : 507-14.

Wimbery, J. 1972. "Review of store and processing of rice in Asia". **Agricultural Engineering Department, IRRI**. Los Banos, Laguna, Philippines.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์ดิน กากตะกอนน้ำเสีย และพืช

ก.1 การเก็บตัวอย่างดิน และกากตะกอนน้ำเสีย (ปรับใช้จาก กรมวิชาการเกษตร, 2555)

1. ใช้เสียมขุดดินตามจุดที่กำหนดไว้ใส่กระสอบพลาสติก จนครบทุกจุด
2. เทดินกองบนแผ่นผ้าใบและคลุกเคล้าให้เข้ากัน จะได้ตัวอย่างดินรวม (composite sample) ใช้เป็นตัวแทนของดินทั้งแปลงนา

รูปที่ ก-1 การแบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงนาจังหวัดสมุทรปราการ

ก.2 การเตรียมตัวอย่างดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. นำตัวอย่างดินมาผึ่งลม จนดินแห้ง
2. บดดินโดยใช้ครกบดดิน แล้วร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 2 มิลลิเมตร
3. เก็บแยกไว้ในถุงพลาสติกเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

ก.3 การหาขนาดของอนุภาคดิน (Particle size analysis) (กรองแก้ว, 2553b)

1. การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์

1.1 เทสารละลายคัลกอน จำนวน 100 ml ลงในกระบอกตวงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนถึงขีด 1 L ผสมให้ทั่วด้วยแท่งแก้วคนแบบ plungler ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20-25 °C)

1.2 ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวัง อ่านค่าจากสเกลที่รอยเว้าบนของของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์

2. การอ่านค่าจากสารละลายแขวนลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ชั่งดินที่ผึ่งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 mesh แล้ว 40 g (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือทรายใช้ 100 g) ลงในบิกเกอร์ขนาด 600 ml เติมสารละลายคัลกอน 100 ml และน้ำกลั่นประมาณ 300 ml ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

2.2 นำสารแขวนลอยดินที่เตรียมไว้ มากวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กประมาณ 5 นาที แล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 L

2.3 ปรับปริมาตรสารในข้อ 2.2 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 L ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่

2.4 จุ่มแท่งแก้วคนแบบ plunger แบบขึ้น–ลง เบา ๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ)

2.5 บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยมีฟอง เติมเอมิลอัลกอฮอล์ 1 หยด

2.6 ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังลงในสารแขวนลอย และอ่านสเกลเหมือนเดิม

2.7 เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการกวนผสมค่าที่อ่านได้ต้องหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์

2.8 ค่อย ๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง

2.9 เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนเดิม

<u>การคำนวณ</u>

$$\% \text{ sand} = \left(\frac{W - R_{40s}}{W}\right) \times 100$$

$$\% \text{ clay} = \left(\frac{R_{2hr}}{W}\right) \times 100$$

$$\% \text{ silt} = 100 - (\%\text{sand} + \%\text{clay})$$

ก.4 การเตรียมตัวอย่างดินวิเคราะห์ X-ray Fluorescence (XRF)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 0.5 g และชั่งกรดบอริก (H_3BO_3) 4.5 g บันทึกน้ำหนักรวมทั้งหมด
2. ผสมตัวอย่างกับกรดบอริกให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
3. นำตัวอย่างอัดเม็ด และส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล.

ก.5 การวิเคราะห์หาความชื้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. ชั่งบีกเกอร์ขนาด 250 ml
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 50 g (บันทึกน้ำหนักเปียก) ใส่บีกเกอร์
3. นำไปอบที่ 105-110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักดินคงที่ ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

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

ก.6 การวัดค่าพีเอช (pH) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 g ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 ml.
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 50 ml ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันหลาย ๆ ครั้ง ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที
3. นำสารละลายดินไปวัด pH ด้วยเครื่องวัด pH โดยใช้สายละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7 และ pH 4 ปรับเครื่องวัด pH ก่อนวัดตัวอย่าง

ก.7 การวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 ml
2. เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองหรือเขย่า 30 นาที ทิ้งค้างคืน รุ่งขึ้นกรอง (ถ้าเป็นดินเหนียว ทิ้งค้างคืน แล้วกรอง)
3. ก่อนนำสารละลายดินไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ต้องปรับเครื่องวัดด้วยสารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M และ 0.1 M โดยสารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M เครื่องจะอ่านได้ประมาณ 1,423 µS/cm ที่อุณหภูมิ 25 °C หรือสารละลายมาตรฐาน KCl 0.1 M เครื่องจะอ่านได้ประมาณ 129 dS/cm ที่อุณหภูมิ 25 °C
4. นำสารละลายดิน 1:5 ที่กรองได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้า ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

ก.8 การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5-10 gใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N ลงไป ประมาณ 60 ml ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งค้างคืน
2. กรองด้วยระบบสุญญากาศ
3. ชะล้างตัวอย่างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N จนกระทั่งไม่มีแคลเซียม (Ca) เหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยนำสารละลายส่วนที่ล้างดินแล้วมา 10 ml ใส่หลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 2-3 หยด แอมโมเนียมออกซาเลท 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % ไปทำให้เดือด ถ้ามีแคลเซียมเหลืออยู่จะเกิดตะกอนหรือสารละลายจะขุ่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชะดินตัวอย่างต่อ ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ประมาณ 150-200 ml จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$ 0.1 N))

5. หรับสารละลายดินที่ได้จากข้อ (4) ทิ้งไป และล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (acidified NaCl) 10% เพื่อให้ Na^+ ไล่ที่หรือแทนที่ NH_4^+ ในดินจนได้สารละลายดินประมาณ 225 ml

6. เทสารละลายดินที่กรองได้ใส่ในขวดกลั่น (Micro Kjeldahl tube)

7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่ NH_4^+ ออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 ml เพื่อให้สารละลายเป็นด่าง แอมโมเนียมที่กลั่นได้จะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก 3% 50 ml

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่น หยดอินดิเคเตอร์ผสม 5 หยด ทำให้เห็นสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว แล้วไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงที่จุดยุติ

9. กลั่น blank และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่าง

<u>การคำนวณ</u>

$$CEC = [(A - B)\, N \times 100] / X \qquad cmol/kg$$

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (ml)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน (g)

ก.9 การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter, OM) โดยวิธี Walkley and Black (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. ชั่งตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มม. (80 mesh) หรือ 0.5 มม. (32 mesh) โดยชั่งดินในช่วง 0.2-2.0 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml

2. ปิเปตสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 1 N 10 ml ลงในขวดรูปชมพู่ แกว่งเบา ๆ

3. เติม H_2SO_4 เข้มข้น 15 ml โดยเร็วและแกว่งขวดรูปชมพู่ ประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที (ถ้าพบว่าสารละลายดินตัวอย่างเป็นสีเขียวก่อนไทเทรต แสดงว่ามีสารอินทรีย์อยู่มาก ควรทำการวิเคราะห์ใหม่ โดยชั่งน้ำหนักดินให้น้อยกว่าเดิม)

4. เติมน้ำกลั่น 50 ml ทิ้งไว้ให้เย็น

5. แล้วเติมอินดิเคเตอร์ BDS 3-4 หยด สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนน้ำเงิน ถ้าใช้ O-phenantholine เป็นอินดิเคเตอร์ สีของสารละลายจะเป็นสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ไทเทรตสารละลายด้วย FAS ที่หาความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียวใส (ใช้ BDS เป็นอินดิเคเตอร์) หรือเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง (ใช้ O-phenantholine เป็นอินดิเคเตอร์)

7. ทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดิน แต่เติมสารเคมีต่าง ๆ เหมือนกัน และทำควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ใช้เป็น Method Blank

การคำนวณ

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

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท (นอร์มัล)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ blank (ml)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ ตัวอย่างดิน (ml)

W = น้ำหนักดิน (g)

ก.10 การวิเคราะห์ไนโตรเจนในดินทั้งหมด (Total Nitrogen) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 0.5-2.0 g ใส่ใน Micro Kjeldahl tube

2. เติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 1 g (K_2SO_4:$CuSO_4$: Se; 100:10:1) และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 ml

3. นำไปย่อยด้วยเตาย่อย (Digestion System) ในระยะแรกใช้ไฟอ่อน ๆ แล้วเพิ่มไฟให้แรงขึ้น

4. Digest จนสีของเหลวใน Kjeldahl flask เริ่มใส เดี่ยวต่อไปอีกประมาณ 20-30 นาที จึงยกออกมาจากเตา digest แล้วปล่อยไว้ให้เย็น

5. รินน้ำกลั่นประมาณ 10 ml ลงไปรอบ ๆ ก้านหลอดของ Micro Kjeldahl flask เขย่าของผสมให้เข้ากัน ปล่อยไว้จนเย็นอีกครั้งหนึ่ง แล้วเทใส่ volumetric flask ขนาด 100 ml เขย่าของเหลวให้เข้ากัน ปล่อยทิ้งไว้จนดินตกตะกอน เพื่อนำของเหลวใสข้างบนไปกลั่น

6. เตรียม Blank ตามวิธีการข้อ 2 ถึงข้อ 5 โดยไม่มีตัวอย่างดิน

7. เปิดเครื่องกลั่นและล้างเครื่องกลั่น 1 ครั้ง ด้วยการกลั่นน้ำกลั่น

8. นำตัวอย่างในข้อ (5) มาเข้าเครื่องกลั่น กำหนดให้เติมน้ำกลั่น 50 ml และ NaOH 40% 25 ml กลั่นประมาณ 4 นาที

9. เติมกรดบอริก 4% 25 ml ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml หยด mixed indicator ประมาณ 6-7 หยด สารละลายจะมีสีม่วงแดง นำไปรองรับการกลั่นจากข้อ (8) สารละลายนี้จะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว และรองรับจนได้สารละลายในขวดรูปชมพู่ประมาณ 150 ml

10. ไทเทรตสาระลายที่ได้จากการกลั่นในข้อ (9) กับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง

11. กลั่น Blank และไทเทรต เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>คำนวณ</u>

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

A = น้ำหนักดินตัวอย่าง (g)

B = มิลลิลิตรของ standard HCl ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง Blank

Y = มิลลิลิตรของ standard HCl ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

X = ความเข้มข้นของ HCl

1.4 = น้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของไนโตรเจน

ก.11 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. สารเคมี

1.1 สารละลายสกัด Bray II (0.03 N NH_4F 0.1 N HCl) ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride, NH_4F) 11.02 g ในน้ำกลั่น 8 L เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) ลงไป 86 ml แล้วปรับให้มีปริมาณ 10 L ปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 1.5-1.6

1.2 Stock solution (Reagent A: Sulfuric-molybdate-tartrate solution) ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate, $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O)]$) 50 gใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 L เติมน้ำกลั่น 200 ml คนให้ละลายหลังจากนั้น ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรท (antimony potassium tartrate, $KSbO.C_4H_4O_6$) 1.213 gในน้ำกลั่น 50 ml (ถ้าไม่ละลายนำไปอุ่นแต่ต้องไม่เกิน 60 °C) เมื่อละลายเข้ากันดีแล้ว เทใส่ในบีกเกอร์ที่ใส่แอมโมเนียมโมลิบเดต คนให้เข้ากันอีกครั้ง ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 700 ml ทิ้งไว้ให้เย็น เทลงในขวด Volumetric flask ขนาด 1 L แล้วทำให้มีปริมาตร 1 L ด้วยน้ำกลั่น เทเก็บไว้ในขวด pyrex สีน้ำตาลและเก็บไว้ในที่ในที่มืดและเย็น สารละลายเก็บไว้ได้นาน 6 เดือน

1.3 สารละลาย develop สี (Working solution, Reagent B) ละลาย ascorbic acid 1.76 g ในน้ำกลั่นประมาณ 1,600 ml เติมสารละลาย ข้อ (1.2) ลงไป 40 ml ทำให้มีปริมาตร 2 L ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 2 ชั่วโมง จึงนำมาใช้ สารละลายนี้เก็บได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง

1.4 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 mg/L

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4 ที่อบให้แห้งที่ 40 °C นาน 2 ชั่วโมง) 0.2195 g ในน้ำกลั่น ปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริก 1-2 หยด ปรับปริมาตรให้เป็น 1 L

1.5 นำสารละลายมาตรฐานข้อ (1.4) มาทำ standard set ให้มีความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 mg/L ด้วยสารละลายสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีทำ

2.1 ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 ml

2.2 เติมน้ำยาสกัด Bray II 10 ml เขย่า 1 นาที กรองโดยใช้เครื่องกรองลดความดัน

2.3 ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ในข้อ (2.2) อัตราส่วน 1 ต่อ Working solution 16 ส่วน (เท่ากับ 17 เท่า) ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ 30 นาที นำไปอ่านค่าความเข้มข้น ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 820 nm

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

<u>วิธีคำนวณ</u>

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

A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

B = สารละลายสกัด (ml)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set (ppm)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor) (เท่า)

ก.12 การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (avail. K) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. สารเคมี

1.1 สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate solution) 1 N pH 7.0

ผสม 57 ml ของกรดน้ำส้ม (glacial acetic acid) และ 68 ml ของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเกือบ 1 L ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 7 ด้วยการใช้กรดอะซิติก หรือด่างแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวปรับ จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้เท่ากับ 1 L

1.2 สารละลายโพแทสเซียมมาตรฐาน 1000 mg/L

ละลาย 1.907 g ของโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 ± 5 °C ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1 L

1.3 สารละลายโพแทสเซียมมาตรฐาน 100 mg/L

ปิเปตสารละลายข้อ (1.2) 10 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

1.4 Standard set ของโพแทสเซียม

สารละลายข้อ (1.3) ให้มีความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5 และ 2 mg/L

2. วิธีทำการวิเคราะห์

2.1 ชั่งดิน 2.5 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml

2.2 เติมสารละลายสกัด ข้อ (1.1) 25 ml

2.3 เขย่า 30 นาที ด้วยเครื่องเขย่า

2.4 กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 นำสารละลายที่กรองได้ ข้อ (2.4) วัดปริมาณโพแทสเซียม (K) โดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ถ้ามีความเข้มข้นมากต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่น

<u>คำนวณ</u>

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

A = น้ำหนักดินตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทที่ใช้สกัด (ml)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor) (เท่า)

D = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน (mg/L)

ก.13 การวิเคราะห์ธาตุอาหารเสริม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. สารเคมี

1.1 สารละลายสกัด ดีทีพีเอ (DTPA extracting solution), pH 7.30 ± 0.05

ละลาย DTPA (Diethylene triamine penta acetic acid) 19.67 g ด้วยน้ำกลั่นประมาณ 200 ml ผสมกับ TEA (Trietanolamine) 149.2 g ใช้แท่งแก้วคนช่วยละลาย DTPA และเติมแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรท (Calcium chloride dehydrate; $CaCl_2.2H_2O$) 14.7 g ซึ่งละลายน้ำแล้ว เทลงในขวดที่ใส่น้ำกลั่นประมาณ 9 L เขย่าให้สารละลายผสมกันและละลายหมด นำไปปรับ pH เป็น 7.3 ± 0.05 ด้วย 1 N ของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แล้วทำให้มีปริมาตร 10 L

2. วิธีทำ

2.1 ชั่งตัวอย่างดิน 10 g ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 50 ml

2.2 เติมสารละลายสกัด DTPA 20 ml

2.3 เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.4 กรองด้วยกระดาษกรอง No.42

2.5 นำสารละลายมาตรฐาน Fe, Zn, Cu และ Mn ความเข้มข้นต่าง ๆ และสารละลายที่กรองได้ ถ้ามีความเข้มข้นมากเกินไป ทำการเจือจางด้วยสารละลายสกัด นำไปวัดค่า Available ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

เหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. Fe) = $\frac{B \times df \times D}{A}$ mg/kg

A = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

B = ปริมาณของสารละลาย DTPA ที่ใช้สกัด (ml)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor) (เท่า)

D = ความเข้มข้นของเหล็กเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน mg/L ที่อ่านได้จากเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.14 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน และพืช (ประยุกต์ใช้จาก Singh and Agrawal, 2010)

1. สารเคมี

1.1 กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3)

1.2 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)

1.3 กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (conc. $HClO_4$)

(เตรียมสารละลายย่อยสลาย Tri acid โดยใช้อัตราส่วน HNO_3: H_2SO_4: $HClO_4$ เท่ากับ 5: 1: 1)

2. วิธีการ

2.1 ชั่งตัวอย่างดิน 0.5 g (ถ้าเป็นพืช ชั่งตัวอย่างพืช 1.0 g) ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml

2.2 เติมสารละลายกรด Tri acid ลงไป 20 ml

2.3 นำไปย่อยบนเตาให้ความร้อนโดยเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 80-100 °C จนกระทั่งควันสีน้ำตาลหมดไป

2.4 เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 °C ย่อยต่อจนปรากฏควันสีขาวประมาณ 30 นาที

2.5 ทิ้งไว้ให้เย็น และถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.6 กรองผ่าน syringe filter 0.45 micron เก็บสารละลายไว้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ก.15 การเตรียมตัวอย่างพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. นำตัวอย่างพืช อบที่อุณหภูมิประมาณ 65°C จนกระทั่งแห้งสนิท (อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส อาจจะทำให้องค์ประกอบบางอย่างในพืช เช่น โปรตีนสลายตัวดังนั้นจะทำให้ค่าที่วิเคราะห์ผิดพลาด)

2. ในการอบแห้งตัวอย่างพืชมักใช้เวลาอบที่ 24 ชั่วโมง หรืออาจนานถึง 48 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่าง โดยทั่วไปตัวอย่างจะต้องอบกระทั่งได้น้ำหนักแห้งคงที่

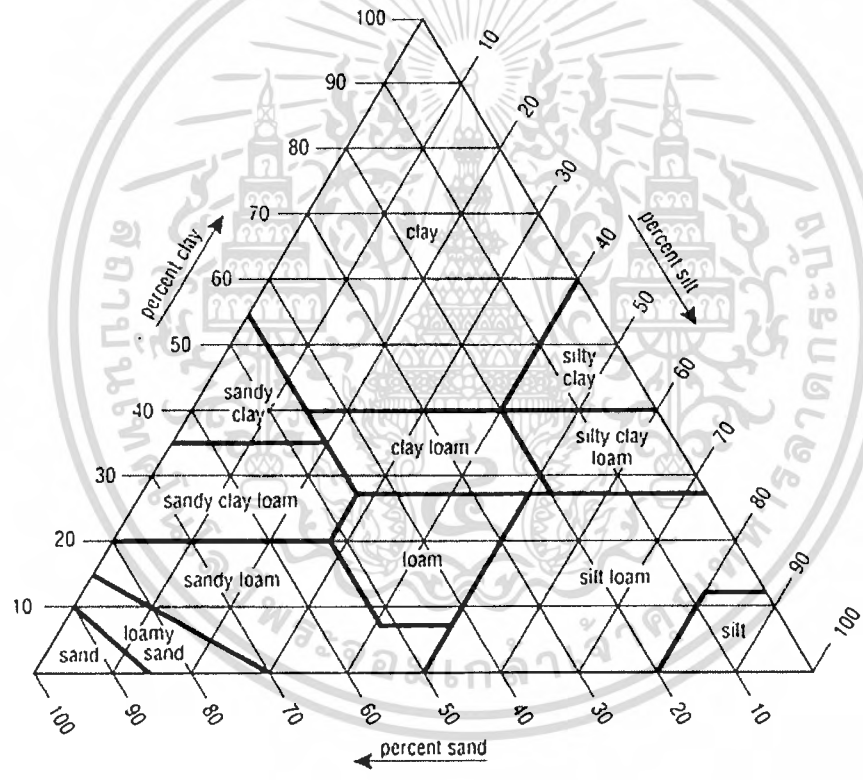
3. เมื่อนำออกจากเตาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (30 นาที) แล้วต้องรีบชั่งน้ำหนักโดยเร็ว มิฉะนั้นพืชที่แห้งจะดูดความชื้นจากอากาศเข้าไปอีกทำให้น้ำหนักแห้งที่บันทึกมากกว่าที่เป็นจริง การชั่งน้ำหนักถ้าหากตัวอย่างน้อยควรนำออกจากถุงมาชั่งโดยตรง แต่ถ้าหากตัวอย่างมีขนาดใหญ่ให้ชั่งพร้อมถุงและหักน้ำหนักถุงออกภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์กากตะกอนน้ำเสีย และดิน

ตารางที่ ข-1 ขนาดของอนุภาคดิน ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี

ตัวอย่างดิน	ค่าเฉลี่ย น้ำหนักดิน (g)	ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์		% Sand	% Clay	% Silt
		ที่ 40 วินาที	ที่ 2 ชั่วโมง			
ดินนาสมุทรปราการ	40.0063	27.50	17.00	31.26	42.49	26.25
ดินนาสุพรรณบุรี	40.0089	11.00	6.00	72.70	14.99	12.31



รูปที่ ข-1 ตารางสามเหลี่ยมสำหรับใช้พิจารณาประเภทของดิน

จากรูปสามเหลี่ยมจำแนกประเภทเนื้อดิน (รูปที่ ข-1)

ดินนาจังหวัดสมุทรปราการ มีเนื้อสัมผัสจัดว่าเป็นดินเหนียว (Clay)

ดินนาจังหวัดสุพรรณบุรี มีเนื้อสัมผัสจัดว่าเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ดิน และกากตะกอนน้ำเสีย ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

กากตะกอนน้ำเสีย		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ	
ชนิดของธาตุ	ผล (%)	ชนิดของธาตุ	ผล (%)	ชนิดของธาตุ	ผล (%)
Na_2O	7.73	MgO	1.72	MgO	2.13
MnO	3.13	SiO_2	71.60	SiO_2	82.20
Cl	5.19	CaO	2.00	TiO_2	2.47
CaO	29.80	TiO_2	2.04	Fe_2O_3	12.60
TiO_2	2.15	MnO	1.03	CuO	0.38
Fe_2O_3	14.40	Fe_2O_3	12.00	ZnO	0.43
CuO	1.25	CuO	0.32	MnO	0.81
ZnO	0.56	ZnO	0.22		
P_2O_5	16.4				
SO_3	19.5				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

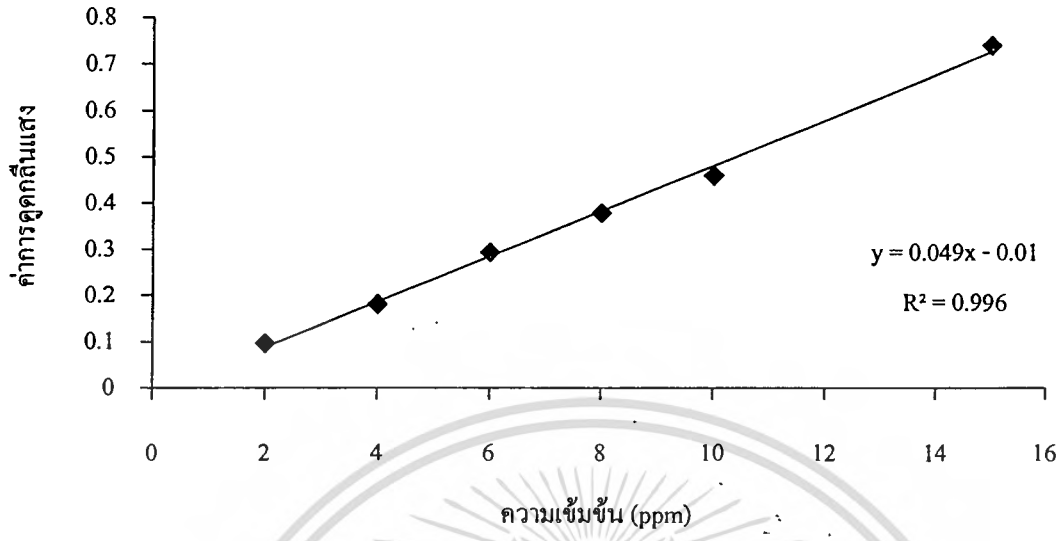
ตารางที่ ข-3 ความชื้น พีเอช การนำไฟฟ้า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และอินทรียวัตถุในกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ความชื้น			พีเอช		การนำไฟฟ้า		ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก				อินทรียวัตถุ				
		น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)
										Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง		
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1	1	50.0740	3.3352	93.34	0.5048	9.37	5.0067	12.00	5.0011	0.00	3.40	6.93	0.2129	3.20	0.70	2	54.18
	2	50.0670	3.2624	93.48	0.5093	9.45	5.0025	12.00	5.0056	0.00	3.40	6.93	0.2058	3.20	0.80	2	53.80
	3	50.0450	3.3217	93.36	0.5041	9.12	5.0036	11.78	5.0039	0.00	3.40	6.93	0.2136	3.20	0.60	2	56.16
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 2	1	50.0120	3.3060	93.39	0.5020	9.29	5.0176	11.74	5.0093	0.00	3.50	7.13	0.2069	3.20	0.70	2	55.75
	2	50.0890	3.2969	93.42	0.5011	9.52	5.0085	11.90	5.0018	0.00	3.40	6.93	0.2045	3.20	0.80	2	54.15
	3	50.0225	3.3593	93.28	0.5065	9.64	5.0064	11.86	5.0054	0.00	3.50	7.13	0.2130	3.20	0.60	2	56.32
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 3	1	50.0841	3.1746	93.66	0.5061	7.95	5.0184	11.42	5.0055	0.00	3.40	6.93	0.2110	3.20	0.50	2	59.04
	2	50.0496	3.1326	93.74	0.5074	8.10	5.0140	11.50	5.0026	0.00	3.50	7.14	0.2456	3.20	0.50	2	50.72
	3	50.0512	3.1916	93.62	0.5049	7.99	5.0126	11.55	5.0036	0.00	3.50	7.13	0.2271	3.20	0.50	2	54.85

ตารางที่ ข-4 ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ไนโตรเจนทั้งหมด				ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์			โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์				
		น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/Kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. K (mg/kg)
			Blank	ตัวอย่าง									
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1	1	0.5002	0.00	1.90	0.54	1.0104	35.7755	354.07	2.5011	0.5333	6.4975	10	649.46
	2	0.5004	0.00	1.90	0.54	1.0154	36.7143	361.57	2.5056	0.5360	6.5316	10	651.70
	3	0.5012	0.00	1.90	0.54	1.0148	36.3061	357.77	2.5039	0.5314	6.4734	10	646.33
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 2	1	0.5063	0.00	2.00	0.56	1.0238	39.6531	387.31	2.5093	0.5248	6.3899	10	636.62
	2	0.5010	0.00	2.00	0.57	1.0214	39.4082	385.82	2.5018	0.5350	6.5190	10	651.43
	3	0.5005	0.00	2.00	0.57	1.0225	39.8980	390.20	2.5054	0.5650	6.8987	10	688.39
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 3	1	0.5103	0.00	2.00	0.56	1.0405	42.4082	407.57	2.5055	0.5535	6.7532	10	673.83
	2	0.5005	0.00	2.00	0.57	1.0580	41.7551	394.66	2.5026	0.5530	6.7468	10	673.98
	3	0.5010	0.00	2.00	0.57	1.0445	41.9796	401.91	2.5036	0.5720	6.9873	10	697.73

กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส



รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสของกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่างการคำนวณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ

จากกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส (รูปที่ ข-2) ได้สมการดังนี้

$$y = 0.049x - 0.01$$

แทนค่า y ด้วยการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง เท่ากับ 0.7430 จะได้ค่า x = 15.3673 เพราะฉะนั้น ตัวอย่างมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เท่ากับ 15.3673 ppm (mg/L)

2. หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg) ของตัวอย่างจากสูตร

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

A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

B = สารละลายสกัด (ml)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor) (17 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

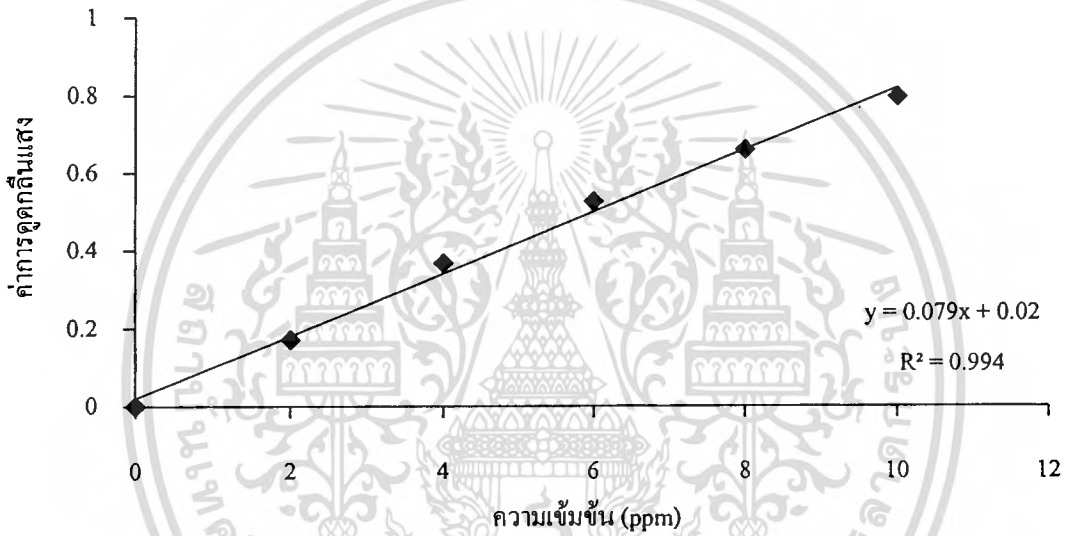
แทนค่าในสูตร

$$\text{Available P} = \frac{10 \times 17 \times 15.3673}{1.0104 \times 17}$$

$$\text{Available P} = 152.0913 \text{ mg/kg}$$

**ตัวอย่าง อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน เจือจางสารละลายของตัวอย่างเป็น 17 เท่า ในทุกตัวอย่าง

กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม



รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมของกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่างการคำนวณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ

จากกราฟมาตรฐานโพแทสเซียม (รูปที่ ข-3) ได้สมการดังนี้

$$y = 0.079x + 0.02$$

แทนค่า y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.5333 จะได้ x = 6.4975 เพราะฉะนั้น กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 6.4975 ppm (mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาปริมาณโพแทสเซียม (mg/kg) ในกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$\text{Available K} = \frac{D \times df \times B}{A} \text{ mg/kg}$$

A = น้ำหนักดินตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทที่ใช้สกัด (ml)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor) (เท่า)

D = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน (mg/L)

แทนค่าในสูตร

$$\text{Available K} = \frac{6.4975 \times 10 \times 25}{2.5011}$$

$$\text{Available K} = 649.46 \text{ mg/kg}$$

**ตัวอย่าง อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน โดยตัวอย่างกากตะกอนเจือจาง 10 เท่าในทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ความชื้นในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนการปลูกข้าว						ดินหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105					
		ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี		
		น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)
ชุดการทดลอง A	1	50.0084	19.3195	61.37	50.0061	29.5332	40.94	50.0047	27.3678	45.27	50.0074	29.7491	40.51
	2	50.0081	21.1403	57.73	50.0081	28.9487	42.11	50.0068	27.2519	45.50	50.0094	32.6584	34.70
	3	50.0025	22.1822	55.64	50.0098	27.9772	44.06	50.0095	27.3201	45.37	50.0095	35.5480	28.92
ชุดการทดลอง B	1	50.0020	14.6478	70.71	50.0070	23.3177	53.37	50.0086	26.0915	47.83	50.0094	27.1176	45.77
	2	50.0080	15.2930	69.42	50.0047	23.1155	53.77	50.0096	26.6391	46.73	50.0089	28.4336	43.14
	3	50.0035	16.5318	66.94	50.0085	23.9313	52.15	50.0059	26.6106	46.79	50.0022	26.9533	46.10
ชุดการทดลอง C	1	50.0061	15.1294	69.74	50.0099	21.9635	56.08	50.0099	23.4471	53.11	50.0045	28.1136	43.78
	2	50.0042	14.6372	70.73	50.0048	21.7076	56.59	50.0078	28.3970	43.21	50.0079	26.9500	46.11
	3	50.0024	15.3452	69.31	50.0013	22.7629	54.48	50.0048	27.0510	45.90	50.0093	28.1688	43.67
ชุดการทดลอง D	1	50.0016	13.3087	73.38	50.0026	19.1251	61.75	50.0032	24.9666	50.07	50.0021	25.9872	48.03
	2	50.0091	14.7782	70.45	50.0091	20.0360	59.94	50.0026	23.4254	53.15	50.0046	27.0802	45.84
	3	50.0077	15.0532	69.90	50.0022	19.6878	60.63	50.0039	23.7464	52.51	50.0042	26.8277	46.35
ชุดการทดลอง E	1	50.0022	12.9225	74.16	50.0025	19.7319	60.54	50.0062	17.9389	64.13	50.0068	27.7697	44.47
	2	50.0021	11.8031	76.39	50.0079	18.8406	62.32	50.0057	22.8914	54.22	50.0041	31.4313	37.14
	3	50.0079	13.6052	72.79	50.0020	18.5683	62.86	50.0071	20.4143	59.18	50.0091	28.1785	43.65

ตารางที่ ข-6 ความชื้นในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80						ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ กข1					
		ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี		
		น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความชื้น (%)
ชุดการทดลอง A	1	50.0069	23.6650	52.68	50.0067	27.2441	45.52	50.0033	26.8379	46.33	50.0065	27.9308	44.15
	2	50.0083	22.3709	55.27	50.0065	27.5780	44.85	50.0065	20.5823	58.84	50.0063	27.3069	45.39
	3	50.0065	23.2393	53.53	50.0051	27.6470	44.71	50.0040	19.5350	60.93	50.0097	28.1565	43.70
ชุดการทดลอง B	1	50.0073	22.1105	55.79	50.0090	25.4781	49.05	50.0077	22.0214	55.96	50.0071	24.9741	50.06
	2	50.0085	22.6950	54.62	50.0098	27.3755	45.26	50.0034	22.3225	55.36	50.0083	26.5254	46.96
	3	50.0075	23.7150	52.58	50.0092	28.5261	42.96	50.0038	22.1283	55.75	50.0033	25.7360	48.53
ชุดการทดลอง C	1	50.0080	22.0757	55.86	50.0098	25.3314	49.35	50.0058	23.0475	53.91	50.0051	28.2471	43.51
	2	50.0077	22.5938	54.82	50.0069	24.0232	51.96	50.0083	23.4154	53.18	50.0046	26.7151	46.57
	3	50.0083	23.9402	52.13	50.0074	24.9009	50.21	50.0051	22.3788	55.25	50.0094	24.8110	50.39
ชุดการทดลอง D	1	50.0062	23.0805	53.84	50.0084	24.0555	51.90	50.0087	21.8601	56.29	50.0050	24.4925	51.02
	2	50.0059	21.3582	57.29	50.0061	24.6665	50.67	50.0085	23.6253	52.76	50.0042	22.6616	54.68
	3	50.0094	23.9852	52.04	50.0061	24.0116	51.98	50.0082	19.9563	60.09	50.0095	22.3813	55.25
ชุดการทดลอง E	1	50.0047	21.2292	57.55	50.0078	23.1150	53.78	50.0064	17.5127	64.98	50.0082	22.8045	54.40
	2	50.0086	21.5202	56.97	50.0042	23.7068	52.59	50.0083	24.9539	50.10	50.0057	22.9005	54.20
	3	50.0050	20.8602	58.28	50.0065	23.6428	52.72	50.0085	21.3327	57.34	50.0065	22.1825	55.64

ตัวอย่างการคำนวณความชื้นในดิน

จากตัวอย่างดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าวในชุดการทดลอง A (ตารางที่ ข–5) น้ำหนักดินก่อนอบ เท่ากับ 50.0084 g น้ำหนักดินหลังอบ เท่ากับ 19.3195 g

จากสูตร

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

แทนค่าในสูตร

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\left(50.0084 - 19.3195\right)}{50.0084} \times 100$$

$$\text{ความชื้น (\%)} = 61.37$$

**ตัวอย่างดิน อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน ในทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ค่าพีเอช (pH) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข 1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนการปลูกข้าว				ดินหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105				ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80				ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ กข1			
		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี	
		น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)	น้ำหนักแห้ง (g)	pH (1:5)
ชุดการทดลอง A	1	5.0195	5.74	5.0168	6.19	5.0027	5.26	5.0070	5.37	5.0131	5.65	5.0023	5.61	5.0063	5.54	5.0057	5.38
	2	5.0482	5.50	5.0090	5.97	5.0150	5.30	5.0031	5.37	5.0032	5.59	5.0137	5.82	5.0092	5.60	5.0060	5.30
	3	5.0125	5.51	5.0216	5.70	5.0146	5.19	5.0085	5.51	5.0002	5.65	5.0111	5.87	5.0185	5.29	5.0138	5.46
ชุดการทดลอง B	1	5.0179	5.90	5.0058	5.80	5.0177	5.65	5.0086	5.85	5.0021	5.63	5.0099	5.63	5.0053	6.33	5.0035	5.57
	2	5.0412	5.83	5.0054	5.84	5.0021	5.67	5.0062	5.85	5.0137	5.62	5.0100	5.74	5.0071	6.19	5.0052	5.65
	3	5.0242	5.87	5.0115	5.83	5.0058	5.62	5.0127	5.30	5.0023	5.63	5.0030	5.56	5.0033	6.38	5.0147	5.58
ชุดการทดลอง C	1	5.0649	5.78	5.0393	5.83	5.0048	5.60	5.0134	5.52	5.0041	5.77	5.0031	5.65	5.0145	5.99	5.0142	5.95
	2	5.0738	5.68	5.0610	5.84	5.0142	5.64	5.0074	5.82	5.0058	5.77	5.0150	5.61	5.0067	6.19	5.0170	6.36
	3	5.0255	5.73	5.0059	5.84	5.0137	5.71	5.0077	5.75	5.0080	5.79	5.0018	5.65	5.0020	6.35	5.0091	5.64
ชุดการทดลอง D	1	5.0460	5.66	5.0622	5.82	5.0055	5.66	5.0221	5.96	5.0009	5.76	5.0017	5.91	5.0014	5.91	5.0049	6.06
	2	5.0410	5.65	5.0347	5.87	5.0138	5.85	5.0195	5.41	5.0010	5.89	5.0154	5.93	5.0040	6.11	5.0120	5.65
	3	5.0336	5.63	5.0344	5.88	5.0135	5.80	5.0557	5.94	5.0080	6.03	5.0139	5.54	5.0063	6.11	5.0074	5.38
ชุดการทดลอง E	1	5.0343	6.33	5.0243	5.94	5.0115	6.05	5.0096	5.56	5.0111	6.03	5.0052	5.94	5.0185	6.47	5.0024	6.07
	2	5.0468	6.17	5.0369	6.01	5.0105	6.04	5.0014	5.53	5.0030	6.06	5.0043	5.87	5.0091	5.97	5.0097	5.55
	3	5.0632	6.21	5.0273	5.98	5.0287	6.05	5.0044	5.61	5.0051	6.08	5.0025	5.89	5.0180	6.54	5.0167	6.24

ตารางที่ ข-8 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าว (ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข 1)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนการปลูกข้าว				ดินหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105				ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80				ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ กข1			
		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี	
		น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)	น้ำหนักแห้ง (g)	EC (mS/cm)
ชุดการทดลอง A	1	5.0152	2.90	5.0099	3.14	5.0027	2.11	5.0070	2.55	5.0131	2.29	5.0052	2.36	5.0063	1.60	5.0057	1.89
	2	5.0009	3.02	5.0005	2.98	5.0150	1.88	5.0031	2.28	5.0032	1.44	5.0043	1.84	5.0092	1.55	5.0060	1.68
	3	5.0050	3.10	5.0053	3.04	5.0146	2.31	5.0085	2.06	5.0002	1.51	5.0025	2.12	5.0185	1.84	5.0138	1.94
ชุดการทดลอง B	1	5.0018	4.39	5.0094	3.89	5.0177	3.26	5.0086	3.17	5.0041	3.37	5.0099	2.17	5.0053	3.20	5.0035	2.16
	2	5.0104	3.88	5.0127	3.83	5.0021	3.71	5.0062	3.40	5.0058	2.83	5.0100	2.77	5.0071	2.41	5.0052	1.88
	3	5.0088	3.70	5.0035	4.01	5.0058	4.05	5.0127	2.98	5.0027	2.36	5.0030	2.15	5.0033	2.70	5.0147	2.30
ชุดการทดลอง C	1	5.0113	5.61	5.0098	4.48	5.0048	3.97	5.0134	3.89	5.0021	3.69	5.0023	2.78	5.0145	3.40	5.0142	2.51
	2	5.0132	5.30	5.0080	3.60	5.0142	3.80	5.0074	3.67	5.0137	3.95	5.0137	2.56	5.0067	3.43	5.0170	1.88
	3	5.0216	5.70	5.0058	3.88	5.0137	4.64	5.0077	3.91	5.0228	3.22	5.0111	3.14	5.0020	3.04	5.0091	2.71
ชุดการทดลอง D	1	5.0157	7.31	5.0157	3.99	5.0055	5.76	5.0221	3.80	5.0009	4.96	5.0031	3.45	5.0014	4.63	5.0049	3.29
	2	5.0155	7.00	5.0017	4.15	5.0138	6.03	5.0195	4.02	5.0010	5.96	5.0150	3.16	5.0040	5.07	5.0120	3.21
	3	5.0150	6.07	5.0155	4.12	5.0135	6.39	5.0557	3.80	5.0080	4.59	5.0018	2.92	5.0063	4.38	5.0074	2.93
ชุดการทดลอง E	1	5.0024	8.12	5.0075	5.08	5.0115	6.60	5.0096	5.14	5.0111	6.60	5.0017	4.26	5.0185	5.65	5.0024	3.84
	2	5.0180	7.51	5.0120	5.17	5.0105	8.34	5.0014	5.07	5.0030	6.54	5.0154	4.03	5.0091	4.97	5.0097	4.18
	3	5.0193	9.23	5.0510	5.16	5.0287	6.48	5.0044	4.92	5.0051	6.48	5.0139	4.11	5.0180	5.26	5.0167	3.75

ตารางที่ ข-9 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ความเข้มข้น HCl = 0.1020 N)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนการปลูกข้าว								ดินหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105							
		ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี				ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี			
		น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)
			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง	
ชุดการทดลอง A	1	5.0039	0.00	3.20	6.52	5.0028	0.00	2.00	4.08	5.0000	0.00	3.50	7.14	5.0096	0.00	2.20	4.48
	2	5.0049	0.00	3.20	6.52	5.0035	0.00	2.00	4.08	5.0012	0.00	3.50	7.14	5.0064	0.00	2.20	4.48
	3	5.0021	0.00	3.10	6.32	5.0048	0.00	2.00	4.08	5.0034	0.00	3.50	7.14	5.0031	0.00	2.20	4.49
ชุดการทดลอง B	1	5.0026	0.00	3.50	7.14	5.0061	0.00	2.10	4.28	5.0033	0.00	3.70	7.54	5.0051	0.00	2.40	4.89
	2	5.0034	0.00	3.50	7.14	5.0016	0.00	2.20	4.49	5.0097	0.00	3.60	7.33	5.0064	0.00	2.30	4.69
	3	5.0036	0.00	3.50	7.13	5.0089	0.00	2.20	4.48	5.0045	0.00	3.60	7.34	5.0021	0.00	2.40	4.89
ชุดการทดลอง C	1	5.0012	0.00	3.60	7.34	5.0085	0.00	2.50	5.09	5.0062	0.00	3.70	7.54	5.0078	0.00	2.70	5.50
	2	5.0084	0.00	3.60	7.33	5.0087	0.00	2.50	5.09	5.0019	0.00	3.70	7.55	5.0033	0.00	2.60	5.30
	3	5.0036	0.00	3.70	7.54	5.0064	0.00	2.50	5.09	5.0017	0.00	3.70	7.55	5.0064	0.00	2.70	5.50
ชุดการทดลอง D	1	5.0038	0.00	3.80	7.75	5.0076	0.00	2.60	5.30	5.0030	0.00	4.10	8.36	5.0097	0.00	3.10	6.31
	2	5.0002	0.00	3.80	7.75	5.0024	0.00	2.60	5.30	5.0031	0.00	4.10	8.36	5.0087	0.00	3.00	6.11
	3	5.0024	0.00	3.80	7.75	5.0035	0.00	2.60	5.30	5.0036	0.00	4.00	8.15	5.0077	0.00	3.00	6.11
ชุดการทดลอง E	1	5.0028	0.00	4.00	8.16	5.0085	0.00	3.40	6.92	5.0030	0.00	4.20	8.56	5.0093	0.00	3.40	6.92
	2	5.0032	0.00	4.00	8.15	5.0034	0.00	3.30	6.73	5.0048	0.00	4.20	8.56	5.0046	0.00	3.40	6.93
	3	5.0013	0.00	4.00	8.16	5.0024	0.00	3.40	6.93	5.0087	0.00	4.20	8.55	5.0032	0.00	3.40	6.93

ตารางที่ ข-10 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 (ความเข้มข้น HCl = 0.1020 N)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80								ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ กข1							
		ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี				ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี			
		น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		CEC (cmol/kg)
			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง	
ชุดการทดลอง A	1	5.0015	0.00	3.20	6.53	5.0070	0.00	2.00	4.07	5.0012	0.00	2.90	5.91	5.0049	0.00	1.90	3.87
	2	5.0034	0.00	3.10	6.32	5.0041	0.00	2.00	4.08	5.0013	0.00	2.80	5.71	5.0039	0.00	2.00	4.08
	3	5.0016	0.00	3.20	6.53	5.0610	0.00	2.10	4.23	5.0018	0.00	2.90	5.91	5.0021	0.00	2.00	4.08
ชุดการทดลอง B	1	5.0002	0.00	3.50	7.14	5.0018	0.00	2.20	4.49	5.0061	0.00	3.10	6.32	5.0047	0.00	2.10	4.28
	2	5.0014	0.00	3.50	7.14	5.0018	0.00	2.20	4.49	5.0064	0.00	3.00	6.11	5.0035	0.00	2.10	4.28
	3	5.0069	0.00	3.50	7.13	5.0048	0.00	2.10	4.28	5.0038	0.00	3.10	6.32	5.0010	0.00	2.10	4.28
ชุดการทดลอง C	1	5.0060	0.00	3.60	7.34	5.0038	0.00	2.40	4.89	5.0092	0.00	3.20	6.52	5.0041	0.00	2.30	4.69
	2	5.0041	0.00	3.60	7.34	5.0034	0.00	2.40	4.89	5.0097	0.00	3.20	6.52	5.0088	0.00	2.30	4.68
	3	5.0031	0.00	3.60	7.34	5.0036	0.00	2.50	5.10	5.0034	0.00	3.20	6.52	5.0039	0.00	2.30	4.69
ชุดการทดลอง D	1	5.0073	0.00	3.80	7.74	5.0057	0.00	2.90	5.91	5.0073	0.00	3.40	6.93	5.0078	0.00	2.50	5.09
	2	5.0085	0.00	3.80	7.74	5.0098	0.00	2.90	5.90	5.0098	0.00	3.40	6.92	5.0045	0.00	2.60	5.30
	3	5.0340	0.00	3.70	7.50	5.0068	0.00	2.90	5.91	5.0014	0.00	3.40	6.93	5.0036	0.00	2.60	5.30
ชุดการทดลอง E	1	5.0021	0.00	4.00	8.16	5.0057	0.00	3.10	6.32	5.0054	0.00	3.70	7.54	5.0075	0.00	3.00	6.11
	2	5.0038	0.00	4.00	8.15	5.0031	0.00	3.10	6.32	5.0068	0.00	3.60	7.33	5.0069	0.00	2.80	5.70
	3	5.0034	0.00	3.90	7.95	5.0012	0.00	3.10	6.32	5.0087	0.00	3.70	7.53	5.0034	0.00	2.90	5.91

ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

จากตัวอย่างดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าวในชุดการทดลอง A (ตารางที่ ข–9) น้ำหนักดินเท่ากับ 5.0039 g ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง เท่ากับ 3.20 ml ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรต Blank เท่ากับ 0.00 ml ความเข้มข้นของ HCl เท่ากับ 0.1020 N

จากสูตร

$$CEC = [(A-B)\ N \times 100] / X \qquad cmol/kg$$

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (ml)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับ blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน (g)

แทนค่าในสูตร

$$CEC = [(3.20 - 0.00)\ 0.1020 \times 100] / 5.0039$$

$$CEC = 6.52\ cmol/kg$$

**ตัวอย่างดิน อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน ในทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนการปลูกข้าว										ดินหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105									
		ดินนาสมุทรปราการ					ดินนาสุพรรณบุรี					ดินนาสมุทรปราการ					ดินนาสุพรรณบุรี				
		น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)
			Blank	ตัวอย่าง				Blank	ตัวอย่าง				Blank	ตัวอย่าง				Blank	ตัวอย่าง		
ชุดการทดลอง A	1	0.2059	3.20	2.50	2	15.68	0.2201	3.20	2.60	2	12.58	0.2025	3.20	2.80	2	9.11	0.2161	3.20	2.90	2	6.40
	2	0.2176	3.20	2.50	2	14.84	0.2045	3.20	2.70	2	11.28	0.2026	3.20	3.00	2	4.55	0.2133	3.20	2.80	2	8.65
	3	0.2057	3.20	2.50	2	15.70	0.2082	3.20	2.70	2	11.08	0.2090	3.20	2.60	2	13.24	0.2165	3.20	2.80	2	8.52
ชุดการทดลอง B	1	0.2028	3.20	2.40	2	18.20	0.2231	3.20	2.60	2	12.41	0.2119	3.20	2.70	2	10.89	0.2131	3.20	2.80	2	8.66
	2	0.2007	3.20	2.40	2	18.39	0.2039	3.20	2.60	2	13.58	0.2278	3.20	2.70	2	10.13	0.2099	3.20	2.80	2	8.79
	3	0.2009	3.20	2.50	2	16.08	0.2007	3.20	2.50	2	16.09	0.2152	3.20	2.90	2	6.43	0.2172	3.20	2.80	2	8.50
ชุดการทดลอง C	1	0.2087	3.20	2.40	2	17.69	0.2005	3.20	2.50	2	16.11	0.2268	3.20	2.70	2	10.17	0.2098	3.20	2.70	2	11.00
	2	0.2099	3.20	2.40	2	17.58	0.2008	3.20	2.70	2	11.49	0.2061	3.20	2.60	2	13.43	0.2062	3.20	2.80	2	8.95
	3	0.2031	3.20	2.40	2	18.17	0.2131	3.20	2.50	2	15.15	0.2011	3.20	2.70	2	11.47	0.2068	3.20	2.90	2	6.69
ชุดการทดลอง D	1	0.2098	3.20	2.40	2	17.59	0.2035	3.20	2.40	2	18.14	0.2025	3.20	2.60	2	13.67	0.2026	3.20	2.80	2	9.11
	2	0.2033	3.20	2.40	2	18.15	0.2118	3.20	2.40	2	17.43	0.2110	3.20	2.60	2	13.12	0.2020	3.20	2.80	2	9.14
	3	0.2042	3.20	2.40	2	18.07	0.2056	3.20	2.40	2	17.95	0.2057	3.20	2.70	2	11.21	0.2560	3.20	2.70	2	9.01
ชุดการทดลอง E	1	0.2243	3.20	2.30	2	18.51	0.2095	3.20	2.40	2	17.62	0.2123	3.20	2.60	2	13.04	0.2098	3.20	2.80	2	8.80
	2	0.2144	3.20	2.30	2	19.37	0.2034	3.20	2.30	2	20.41	0.2190	3.20	2.60	2	12.64	0.2191	3.20	2.80	2	8.42
	3	0.2070	3.20	2.40	2	17.83	0.2029	3.20	2.30	2	20.46	0.2006	3.20	2.60	2	13.80	0.2058	3.20	2.70	2	11.21

ตารางที่ ข-12 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80									ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ กข1									
		ดินนาสมุทรปราการ					ดินนาสุพรรณบุรี				ดินนาสมุทรปราการ					ดินนาสุพรรณบุรี				
		น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร FAS (ml)		เจือจาง (เท่า)	OM (%)
			Blank	ตัวอย่าง				Blank	ตัวอย่าง				Blank	ตัวอย่าง				Blank	ตัวอย่าง		
ชุดการทดลอง A	1	0.2097	0.00	3.05	2	3.30	0.2052	0.00	3.10	2	2.25	0.2037	0.00	3.15	2	1.13	0.2060	0.00	3.20	2	0.00
	2	0.2087	0.00	3.05	2	3.32	0.2003	0.00	3.10	2	2.30	0.2091	0.00	3.15	2	1.10	0.2099	0.00	3.10	2	2.20
	3	0.2039	0.00	3.10	2	2.26	0.2072	0.00	3.10	2	2.23	0.2045	0.00	3.15	2	1.13	0.2007	0.00	3.10	2	2.30
ชุดการทดลอง B	1	0.2056	0.00	3.05	2	3.37	0.2033	0.00	3.05	2	3.40	0.2036	0.00	3.10	2	2.27	0.2005	0.00	3.10	2	2.30
	2	0.2023	0.00	3.15	2	1.14	0.2078	0.00	3.05	2	3.33	0.2067	0.00	3.10	2	2.23	0.2092	0.00	3.10	2	2.21
	3	0.2094	0.00	3.05	2	3.30	0.2063	0.00	3.05	2	3.35	0.2079	0.00	3.10	2	2.22	0.2049	0.00	3.10	2	2.25
ชุดการทดลอง C	1	0.2033	0.00	3.05	2	3.40	0.2025	0.00	3.05	2	3.42	0.2019	0.00	3.10	2	2.29	0.2011	0.00	3.10	2	2.29
	2	0.2078	0.00	3.05	2	3.33	0.2046	0.00	3.05	2	3.38	0.2051	0.00	3.10	2	2.25	0.2050	0.00	3.10	2	2.25
	3	0.2063	0.00	3.05	2	3.35	0.2014	0.00	3.05	2	3.44	0.2066	0.00	3.00	2	4.47	0.2032	0.00	3.10	2	2.27
ชุดการทดลอง D	1	0.2044	0.00	3.00	2	4.51	0.2091	0.00	3.05	2	3.31	0.2090	0.00	3.00	2	4.41	0.2040	0.00	3.10	2	2.26
	2	0.2028	0.00	3.05	2	3.41	0.2037	0.00	3.05	2	3.40	0.2099	0.00	3.05	2	3.30	0.2026	0.00	3.10	2	2.28
	3	0.2014	0.00	3.00	2	4.58	0.2055	0.00	3.05	2	3.37	0.2037	0.00	3.00	2	4.53	0.2081	0.00	3.10	2	2.22
ชุดการทดลอง E	1	0.2041	0.00	3.00	2	4.52	0.2041	0.00	3.05	2	3.39	0.2029	0.00	3.00	2	4.55	0.2043	0.00	3.10	2	2.26
	2	0.2039	0.00	3.00	2	4.53	0.2039	0.00	3.05	2	3.39	0.2093	0.00	3.00	2	4.41	0.2049	0.00	3.10	2	2.25
	3	0.2059	0.00	3.00	2	4.48	0.2059	0.00	3.05	2	3.36	0.2070	0.00	3.00	2	4.46	0.2053	0.00	3.10	2	2.25

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณอินทรียวัตถุ (OM)

จากตัวอย่างดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าวในชุดการทดลอง A (ตารางที่ ข–11) น้ำหนักดินเท่ากับ 0.2059 g ปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง เท่ากับ 2.50 ml ปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรต Blank เท่ากับ 0.00 ml ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท เท่ากับ 1.0989 N

จากสูตร

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

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท (นอร์มัล)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ blank (ml)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ ตัวอย่างดิน (ml)

W = น้ำหนักดิน (g)

แทนค่าในสูตร

$$\% \text{ Organic meter} = \frac{(3.20 - 2.50)\ 1.0989}{3.20} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{10^3} \times \frac{100}{0.2059} \times 10 \times 2 \text{ (เท่า)}$$

% Organic meter = 15.68

**ตัวอย่างดิน อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน ในทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13 ปริมาณไนโตรเจนในดินทั้งหมด (Total N) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนการปลูกข้าว								ดินก่อนการปลูกข้าว							
		ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี				ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี			
		น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)
			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง	
ชุดการทดลอง A	1	0.5032	0.00	0.80	0.23	0.5060	0.00	1.00	0.28	0.5085	0.00	0.40	0.11	0.5196	0.00	0.60	0.16
	2	0.5050	0.00	0.80	0.23	0.5042	0.00	0.80	0.23	0.5168	0.00	0.60	0.17	0.5034	0.00	0.60	0.17
	3	0.5051	0.00	0.80	0.23	0.5105	0.00	0.90	0.25	0.5173	0.00	0.50	0.14	0.5088	0.00	0.60	0.17
ชุดการทดลอง B	1	0.5003	0.00	1.10	0.31	0.5029	0.00	1.40	0.40	0.5094	0.00	1.20	0.34	0.5125	0.00	0.80	0.22
	2	0.5040	0.00	1.50	0.43	0.5067	0.00	1.30	0.37	0.5177	0.00	1.20	0.33	0.5131	0.00	0.70	0.19
	3	0.5002	0.00	1.60	0.46	0.5056	0.00	1.40	0.40	0.5271	0.00	1.20	0.33	0.5145	0.00	0.80	0.22
ชุดการทดลอง C	1	0.5395	0.00	2.40	0.64	0.5042	0.00	1.70	0.48	0.5048	0.00	1.30	0.37	0.5135	0.00	0.70	0.19
	2	0.5149	0.00	2.20	0.61	0.5003	0.00	1.50	0.43	0.5280	0.00	1.20	0.32	0.5082	0.00	0.80	0.22
	3	0.5353	0.00	2.40	0.64	0.5061	0.00	1.50	0.42	0.5023	0.00	1.20	0.34	0.5234	0.00	1.10	0.30
ชุดการทดลอง D	1	0.5213	0.00	2.60	0.71	0.5303	0.00	2.00	0.54	0.5336	0.00	1.50	0.40	0.5110	0.00	1.10	0.31
	2	0.5116	0.00	2.60	0.73	0.5363	0.00	1.90	0.51	0.5273	0.00	1.70	0.46	0.5081	0.00	1.30	0.37
	3	0.5233	0.00	2.60	0.71	0.5250	0.00	1.60	0.44	0.5237	0.00	1.70	0.46	0.5180	0.00	1.20	0.33
ชุดการทดลอง E	1	0.5345	0.00	3.20	0.85	0.5602	0.00	2.80	0.71	0.5169	0.00	1.50	0.41	0.5335	0.00	1.50	0.40
	2	0.5408	0.00	3.10	0.82	0.5209	0.00	2.20	0.60	0.5209	0.00	1.70	0.47	0.5012	0.00	1.20	0.34
	3	0.5159	0.00	3.10	0.86	0.5101	0.00	2.80	0.78	0.5090	0.00	1.70	0.48	0.5021	0.00	1.20	0.34

ตารางที่ ข-14 ปริมาณไนโตรเจนในดินทั้งหมด (Total N) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80							ดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ กข1						
		ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี		
		น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตร HCl (ml)		Total N (%)
			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง			Blank	ตัวอย่าง	
ชุดการทดลอง A	1	0.5057	0.00	0.65	0.18	0.5025	0.00	0.55	0.16	0.5016	0.00	0.45	0.13	0.5047	0.00	0.75	0.21
	2	0.5035	0.00	0.65	0.18	0.5024	0.00	0.55	0.16	0.5052	0.00	0.35	0.10	0.5050	0.00	0.45	0.13
	3	0.5057	0.00	0.40	0.11	0.5075	0.00	0.50	0.14	0.5043	0.00	0.35	0.10	0.5043	0.00	0.45	0.13
ชุดการทดลอง B	1	0.5000	0.00	0.65	0.19	0.5033	0.00	0.70	0.20	0.5035	0.00	0.75	0.21	0.5045	0.00	0.55	0.16
	2	0.5021	0.00	0.60	0.17	0.5077	0.00	0.85	0.24	0.5096	0.00	0.60	0.17	0.5073	0.00	0.55	0.15
	3	0.5012	0.00	0.60	0.17	0.5014	0.00	0.85	0.24	0.5003	0.00	0.80	0.23	0.5087	0.00	0.55	0.15
ชุดการทดลอง C	1	0.5009	0.00	0.95	0.27	0.5015	0.00	0.85	0.24	0.5079	0.00	0.50	0.14	0.5041	0.00	0.55	0.16
	2	0.5073	0.00	0.85	0.24	0.5070	0.00	0.80	0.23	0.5065	0.00	0.85	0.24	0.5053	0.00	0.60	0.17
	3	0.5005	0.00	0.95	0.27	0.5073	0.00	0.80	0.23	0.5002	0.00	0.95	0.27	0.5050	0.00	0.85	0.24
ชุดการทดลอง D	1	0.5073	0.00	0.85	0.24	0.5010	0.00	0.95	0.27	0.5035	0.00	0.90	0.26	0.5038	0.00	0.55	0.16
	2	0.5012	0.00	1.00	0.28	0.5047	0.00	0.95	0.27	0.5027	0.00	0.75	0.21	0.5041	0.00	0.60	0.17
	3	0.5033	0.00	0.90	0.26	0.5051	0.00	0.95	0.27	0.5049	0.00	1.00	0.28	0.5075	0.00	0.75	0.21
ชุดการทดลอง E	1	0.5074	0.00	1.45	0.41	0.5004	0.00	1.10	0.31	0.5080	0.00	1.15	0.32	0.5047	0.00	1.25	0.35
	2	0.5060	0.00	1.35	0.38	0.5087	0.00	0.95	0.27	0.5034	0.00	0.85	0.24	0.5092	0.00	1.40	0.39
	3	0.5025	0.00	1.10	0.31	0.5040	0.00	1.00	0.28	0.5037	0.00	0.65	0.18	0.5070	0.00	0.80	0.23

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณไนโตรเจนในดินทั้งหมด (Total N)

จากตัวอย่างดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าวในชุดการทดลอง A (ตารางที่ ข–13) น้ำหนักดินเท่ากับ 0.5032 g ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง เท่ากับ 0.80 ml ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรต Blank เท่ากับ 0.00 ml ความเข้มข้นของ HCl เท่ากับ 0.102 N

จากสูตร

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

A = น้ำหนักดินตัวอย่าง (g)

B = มิลลิลิตรของ standard HCl ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง Blank

Y = มิลลิลิตรของ standard HCl ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

X = ความเข้มข้นของ HCl

1.4 =น้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของไนโตรเจน

แทนค่าในสูตร

$$\% \text{ Total N} = \frac{1.4 \times 0.102\,(0.80 - 0.00)}{0.5032}$$

$$\% \text{ Total N} = 0.23$$

**ตัวอย่างดิน อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน ในทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-15 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนปลูกข้าว								ดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105							
		ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี				ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี			
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0229	0.3510	7.3673	72.02	1.0941	0.0930	2.1020	19.21	1.0993	0.1180	2.6122	23.76	1.0361	0.0837	1.9122	18.46
	2	1.0708	0.3460	7.2653	67.85	1.0072	0.1090	2.4286	24.11	1.0424	0.1170	2.5918	24.86	1.0183	0.0840	1.9184	18.84
	3	1.0142	0.3650	7.6531	75.46	1.0163	0.0890	2.0204	19.88	1.0959	0.1200	2.6531	24.21	1.0174	0.0845	1.9286	18.96
ชุดการทดลอง B	1	1.0015	0.5520	11.4694	114.52	1.0031	0.1960	4.2041	41.91	1.0161	0.4680	9.7551	96.01	1.0306	0.1140	2.5306	24.55
	2	1.0572	0.4890	10.1837	96.33	1.0845	0.1870	4.0204	37.07	1.0444	0.4060	8.4898	81.29	1.0463	0.0960	2.1633	20.68
	3	1.0080	0.4300	8.9796	89.08	1.0985	0.3340	7.0204	63.91	1.0339	0.4780	9.9592	96.33	1.0472	0.1130	2.5102	23.97
ชุดการทดลอง C	1	1.0105	0.8800	18.1633	179.75	1.0685	0.4700	9.7959	91.68	1.0080	0.5340	11.1020	110.14	1.0446	0.1610	3.4898	33.41
	2	1.0254	0.8750	18.0612	176.14	1.0423	0.2700	5.7143	54.82	1.0747	0.5670	11.7755	109.57	1.0208	0.1690	3.6531	35.79
	3	1.0081	0.8200	16.9388	168.03	1.0453	0.2540	5.3878	51.54	1.0254	0.7200	14.8980	145.29*	1.0458	0.1620	3.5102	33.56
ชุดการทดลอง D	1	1.0939	0.9140	18.8571	172.38	1.0961	0.4440	9.2653	84.53	1.0561	0.5900	12.2449	115.94	1.0604	0.2820	5.9592	56.20
	2	1.0255	0.8750	18.0612	176.12	1.0671	0.3200	6.7347	63.11	1.0726	0.6360	13.1837	122.91	1.0507	0.3170	6.6735	63.51
	3	1.0465	0.8950	18.4694	176.49	1.0940	0.5300	11.0204	100.73	1.0685	0.3340	7.0204	65.70*	1.0651	0.1940	4.1633	39.09
ชุดการทดลอง E	1	1.0400	1.8130	37.2041	357.73	1.0372	0.7080	14.6531	141.28	1.0354	0.6720	13.9184	134.43	1.0231	0.3030	6.3878	62.44
	2	1.0365	1.4310	29.4082	283.73	1.0911	0.7770	16.0612	147.20	1.0651	0.6260	12.9796	121.86	1.0577	0.2940	6.2041	58.66
	3	1.0565	1.6280	33.4286	316.41	1.0448	0.7120	14.7347	141.03	1.0380	0.5610	11.6531	112.26	1.0101	0.2440	5.1837	51.32

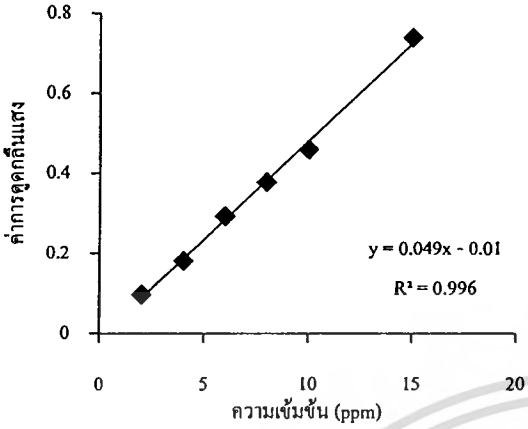
หมายเหตุ: * ไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย เพราะมีค่าแตกต่างจากข้อมูลซ้ำอื่นๆ ซึ่งใช้ Q-Test ในการพิสูจน์

ตารางที่ ข-16 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1

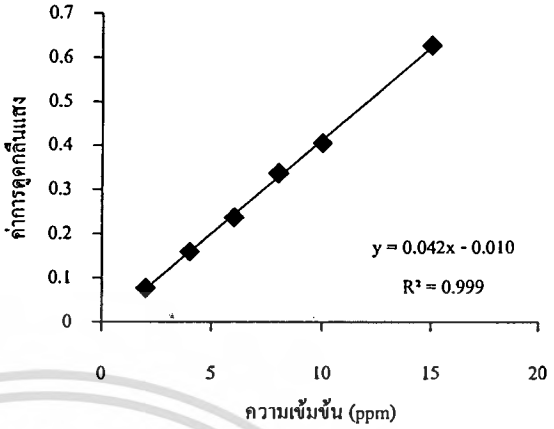
ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80								ดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1							
		ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี				ดินนาสมุทรปราการ				ดินนาสุพรรณบุรี			
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. P (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0006	0.1240	3.1905	31.89*	1.0039	0.0740	2.0000	19.92	1.0032	0.0910	2.4048	23.97	1.0064	0.0610	1.6905	16.80
	2	1.0076	0.1120	2.9048	28.83	1.0014	0.0480	1.3810	13.79	1.0028	0.0910	2.4048	23.98	1.0029	0.0630	1.7381	17.33
	3	1.0062	0.1090	2.8333	28.16	1.0070	0.0470	1.3571	13.48	1.0015	0.0880	2.3333	23.30	1.0034	0.0680	1.8571	18.51
ชุดการทดลอง B	1	1.0015	0.2340	5.8095	58.01	1.0087	0.0850	2.2619	22.42	1.0041	0.1440	3.6667	36.52	1.0038	0.0530	1.5000	14.94
	2	1.0092	0.2170	5.4048	53.55	1.0022	0.0820	2.1905	21.86	1.0045	0.1490	3.7857	37.69	1.0045	0.0500	1.4286	14.22
	3	1.0076	0.2630	6.5000	64.51	1.0018	0.0840	2.2381	22.34	1.0054	0.2090	5.2143	51.86*	1.0091	0.0550	1.5476	15.34
ชุดการทดลอง C	1	1.0039	0.4400	10.7143	106.73	1.0003	0.1630	4.1190	41.18	1.0092	0.1050	2.7381	27.13	1.0052	0.1610	4.0714	40.50
	2	1.0084	0.4900	11.9048	118.06	1.0005	0.1770	4.4524	44.50	1.0012	0.2000	5.0000	49.94	1.0034	0.1420	3.6190	36.07
	3	1.0078	0.4470	10.8810	107.97	1.0004	0.1520	3.8571	38.56	1.0074	0.1680	4.2381	42.07	1.0020	0.1980	4.9524	49.42
ชุดการทดลอง D	1	1.0045	0.4910	11.9286	118.75	1.0068	0.0970	2.5476	25.30*	1.0067	0.2710	6.6905	66.46	1.0005*	0.2120	5.2857	52.83
	2	1.0070	0.5030	12.2143	121.29	1.0053	0.1800	4.5238	45.00	1.0041	0.3330	8.1667	81.33	1.0061	0.1900	4.7619	47.33
	3	1.0080	0.5030	12.2143	121.17	1.0077	0.1820	4.5714	45.36	1.0075	0.3980	9.7143	96.42	1.0071	0.1260	3.2381	32.15
ชุดการทดลอง E	1	1.0034	0.5210	12.6429	126.00	1.0043	0.2120	5.2857	52.63	1.0012	0.3960	9.6667	96.55	1.0013	0.2180	5.4286	54.22
	2	1.0037	0.5500	13.3333	132.84	1.0017	0.2140	5.3333	53.24	1.0087	0.3650	8.9286	88.52	1.0051	0.2430	6.0238	59.93
	3	1.0030	0.5880	14.2381	141.96	1.0071	0.1930	4.8333	47.99	1.0020	0.2880	7.0952	70.81	1.0015	0.1670	4.2143	42.08

หมายเหตุ: * ไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย เพราะมีค่าแตกต่างจากข้อมูลซ้ำอื่นๆ ซึ่งใช้ Q-Test ในการพิสูจน์

กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส



รูปที่ ข-4 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสของดินก่อนปลูกข้าว และดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิข้าว 105



รูปที่ ข-5 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสของดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และกข1

ตัวอย่างการคำนวณ

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ

จากกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส (รูปที่ ข-4) ได้สมการดังนี้

$$y = 0.049x - 0.01$$

แทนค่า y ด้วยการดูดกลืนแสงของตัวอย่างดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าวในชุดการทดลอง A (ตารางที่ ข–15) เท่ากับ 0.3510 จะได้ค่า x = 7.3673 เพราะฉะนั้น ดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าวในชุดการทดลอง A มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เท่ากับ 7.3673 ppm (mg/L)

2. หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg) ของกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 จากสูตร

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

A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

B = สารละลายสกัด (ml)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor) (เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสูตร

$$\text{Available P} = \frac{10 \times 17 \times 7.3673}{1.0229 \times 17}$$

$$\text{Available P} = 72.02 \text{ mg/kg}$$

**ตัวอย่าง อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน เจือจางสารละลายของตัวอย่างเป็น 17 เท่า ในทุกตัวอย่าง

สูตรการคำนวณ Q-Test

$$Q = (Xa-Xb)/R$$

Xa = ค่าที่เราจะทดสอบ

Xb = ค่าที่อยู่ใกล้กับค่าที่เราต้องการทดสอบ (Xa) มากที่สุด

R = ค่าพิสัย (Range) หรือค่าสูงสุดลบค่าต่ำสุดของข้อมูลทั้งหมด

แล้วนำค่า Q ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติ (90% Interval) เมื่อจำนวนซ้ำเท่ากับ 3 ค่าวิกฤติจะเท่ากับ 0.94

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลตามตารางที่ ข-15 ดินนาสมุทรปราการหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชุดการทดลอง C มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ดังนี้ 106.09, 105.77 และ 141.30

$$Q = (145.29 - 110.14) / (145.29 - 109.57)$$

$$= 0.98$$

เมื่อนำค่า Q ที่คำนวณได้คือ 0.98 มาเทียบกับค่าวิกฤติ (0.94) พบว่าค่า Q ที่คำนวณได้มีค่าเกินค่าวิกฤติ จึงสามารถตัดข้อมูลที่สงสัยออก โดยไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

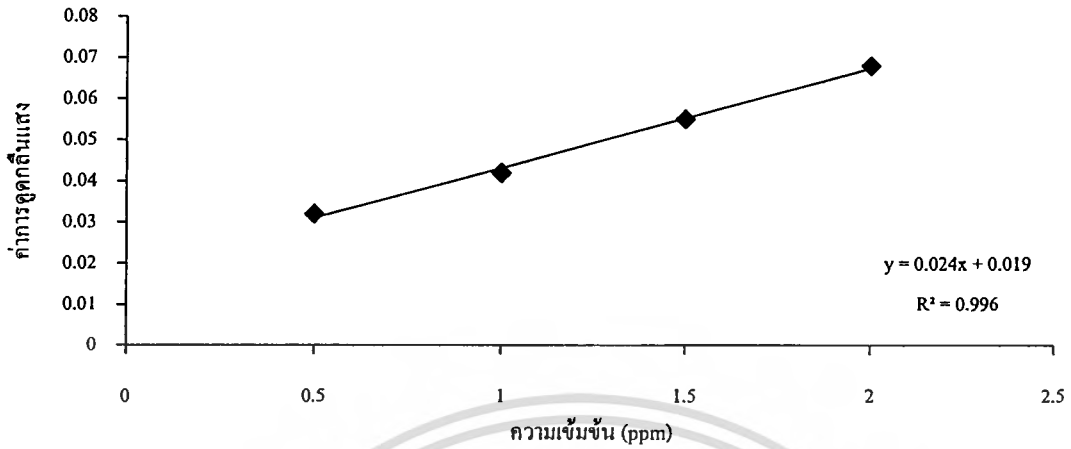
ตารางที่ ข-17 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Avail. K) ในดินก่อนปลูกข้าว และหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (เจือจาง 1 เท่า)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินก่อนปลูกข้าว						ดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105					
		ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี		
		น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	2.5039	33.1250	330.73	2.5028	17.9583	179.38	2.5000	17.1250	171.25	2.5096	16.7083	166.44
	2	2.5049	33.1250	330.60	2.5035	18.5833	185.57	2.5012	17.3333	173.25	2.5064	17.5208	174.76
	3	2.5021	33.1667	331.39	2.5048	18.4583	184.23	2.5034	17.7500	177.26	2.5031	16.9167	168.96
ชุดการทดลอง B	1	2.5026	39.3750	393.34	2.5061	19.0833	190.37	2.5033	23.3750	233.44	2.5051	18.4417	184.04
	2	2.5034	39.4333	393.80	2.5016	19.1250	191.13	2.5097	23.2917	232.02	2.5064	18.7083	186.61
	3	2.5036	39.1250	390.69	2.5089	19.4167	193.48	2.5049	23.3333	232.88	2.5061	18.6667	186.21
ชุดการทดลอง C	1	2.5012	39.6667	396.48	2.5085	19.8333	197.66	2.5062	23.8333	237.74	2.5078	23.1667	230.95
	2	2.5084	39.9583	398.25	2.5087	19.4167	193.49	2.5019	23.8750	238.57	2.5033	23.2917	232.61
	3	2.5036	40.2500	401.92	2.5064	19.5000	194.50	2.5017	24.0000	239.84	2.5064	23.5417	234.82
ชุดการทดลอง D	1	2.5038	47.6667	475.94	2.5076	22.5833	225.15	2.5030	31.5833	315.45	2.5097	24.3333	242.39
	2	2.5002	47.3750	473.71	2.5024	22.5000	224.78	2.5031	31.4583	314.19	2.5087	24.4167	243.32
	3	2.5024	46.9167	468.72	2.5035	22.5417	225.10	2.5036	30.7917	307.47	2.5077	24.5833	245.08
ชุดการทดลอง E	1	2.5028	48.9583	489.04	2.5085	24.2083	241.26	2.5030	34.2917	342.51	2.5089	26.1667	260.74
	2	2.5032	49.0000	489.37	2.5034	24.2500	242.17	2.5048	34.7917	347.25	2.5046	26.6667	266.18
	3	2.5013	49.0417	490.16	2.5024	24.4167	243.93	2.5087	34.5833	344.63	2.5032	26.2500	262.16

ตารางที่ ข-18 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Avail. K) ในดินหลังการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และ กข1 (เจือจาง 1 เท่า)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80						ดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1					
		ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสมุทรปราการ		
		น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	Avail. K (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	2.5015	13.1667	131.59	2.5070	17.0833	170.36	2.5012	12.1250	121.19	2.5049	12.3333	123.09
	2	2.5034	13.1250	131.07	2.5041	16.9583	169.31	2.5013	12.2083	122.02	2.5039	12.3750	123.56
	3	2.5016	13.5833	135.75	2.5061	16.6667	166.26	2.5018	12.5833	125.74	2.5021	12.3333	123.23
ชุดการทดลอง B	1	2.5002	15.2083	152.07	2.5018	17.0833	170.71	2.5061	15.2083	151.71	2.5047	12.4583	124.35
	2	2.5014	15.2083	152.00	2.5018	17.2083	171.96	2.5064	15.3333	152.94	2.5035	12.5417	125.24
	3	2.5069	15.0833	150.42	2.5048	17.5833	175.50	2.5038	15.2500	152.27	2.5010	12.7500	127.45
ชุดการทดลอง C	1	2.5060	21.6667	216.15	2.5038	21.7500	217.17	2.5092	15.9167	158.58	2.5041	15.0000	149.75
	2	2.5041	21.3750	213.40	2.5034	21.6667	216.37	2.5097	16.0833	160.21	2.5088	14.5417	144.91
	3	2.5031	21.7083	216.81	2.5036	21.4583	214.27	2.5034	16.1708	161.49	2.5039	14.6667	146.44
ชุดการทดลอง D	1	2.5073	26.6667	265.89	2.5057	28.1667	281.03	2.5073	21.2500	211.88	2.5078	14.1667	141.23
	2	2.5085	27.3750	272.82	2.5098	27.8333	277.25	2.5098	21.2917	212.09	2.5045	14.0833	140.58
	3	2.5034	27.4583	274.21	2.5068	28.1667	280.90	2.5014	21.0417	210.30	2.5036	14.4167	143.96
ชุดการทดลอง E	1	2.5021	41.9583	419.23	2.5057	26.4583	263.98	2.5054	23.1667	231.17	2.5075	14.5833	145.40
	2	2.5038	42.3750	423.11	2.5031	30.3750	303.37	2.5068	22.7500	226.88	2.5069	14.9583	149.17
	3	2.5034	41.9167	418.60	2.5012	30.7917	307.77	2.5087	26.0833	259.93	2.5034	15.2083	151.88

กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม



รูปที่ ข-6 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมของดินก่อนการปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1

ตัวอย่างการคำนวณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ

จากกราฟมาตรฐาน โพแทสเซียม (รูปที่ ข-6) ได้สมการดังนี้

$$y = 0.024x + 0.019$$

แทนค่า y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง เท่ากับ 0.0781 จะได้ x = 2.4625 เพราะฉะนั้น ตัวอย่างมีความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 2.4625 ppm (mg/L)

2. หาปริมาณ โพแทสเซียม (mg/kg) ดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าวในชุดการทดลอง A จากสูตร

$$\text{Available K} = \frac{D \times df \times B}{A} \text{ mg/kg}$$

A = น้ำหนักดินตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทที่ใช้สกัด (ml)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor) (เท่า)

D = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน (mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสูตร

$$\text{Available K} = \frac{2.4625 \times 1 \times 25}{2.5039}$$

$$\text{Available K} = 24.5866 \text{ mg/kg}$$

**ตัวอย่าง อื่น ๆ คำนวณในลักษณะเดียวกันในทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การเจริญเติบโตของต้นข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 น้ำหนักเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ข้าวขาวดอกมะลิ 105						ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80						ข้าวพันธุ์กข1					
		ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี		
		น้ำหนักเมล็ด (g/pot)	น้ำหนักเมล็ด (กก. / ไร่)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (g)	น้ำหนักเมล็ด (g/pot)	น้ำหนักเมล็ด (กก. / ไร่)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (g)	น้ำหนักเมล็ด (g/pot)	น้ำหนักเมล็ด (กก. / ไร่)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (g)	น้ำหนักเมล็ด (g/pot)	น้ำหนักเมล็ด (กก. / ไร่)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (g)	น้ำหนักเมล็ด (g/pot)	น้ำหนักเมล็ด (กก. / ไร่)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (g)	น้ำหนักเมล็ด (g/pot)	น้ำหนักเมล็ด (กก. / ไร่)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (g)
ชุดการทดลอง A	1	24.70	632.32	16.79	22.26	569.86	21.14	19.02	486.91	19.06	20.98	537.09	20.80	20.70	529.92	21.51	18.16	464.90	18.99
	2	17.54	449.02	16.56	20.94	536.06	21.06	23.10	591.36*	23.17*	16.30	417.28	16.34*	25.73	658.69	26.58	8.68	222.21	9.51
	3	23.30	596.48	16.30	9.97	255.23	10.00*	19.18	491.01	19.25	20.45	523.52	20.47	16.34	418.30	17.15	15.79	404.22	16.61
ชุดการทดลอง B	1	57.52	1,472.51	21.56	18.91	484.10	18.01	78.48	2,009.09	31.18	35.70	913.92	29.44	71.17	1,821.95	29.35	48.32	1,236.99	30.75
	2	45.98	1,177.09	20.07	17.08	437.25	17.09	75.71	1,938.18	29.74	46.81	1,198.34	31.69	46.52	1,190.91	28.60	35.68	913.41	28.72
	3	47.42	1,213.95	17.56	29.92	765.95	17.91	71.12	1,820.67	28.62	30.39	777.98	27.25	90.89	2,326.78	28.53	27.63	707.33	26.10
ชุดการทดลอง C	1	37.30	954.88	19.47	22.65	579.84	15.24*	78.89	2,019.58	27.81	49.50	1,267.20	28.15	59.09	1,512.70	25.70	27.49	703.74	21.62
	2	33.10	847.36	20.01	19.44	497.66	20.82	67.87	1,737.47	25.14	60.48	1,548.29	28.08	72.30	1,850.88	28.43	68.37	1,750.27	21.99
	3	57.27	1,466.11	20.37	25.66	656.90	20.68	73.91	1,892.10	26.88	55.41	1,418.50	26.31	53.87	1,379.07	28.81	34.78	890.37	27.89
ชุดการทดลอง D	1	44.18	1,131.01	21.89	51.60	1,320.96	20.09	36.19	926.46	24.37	66.57	1,704.19*	28.40	53.92	1,380.35	24.93	72.51	1,856.26	28.30
	2	32.40	829.44	20.64	18.77	480.51	16.60	48.73	1,247.49	24.47	54.76	1,401.86	28.12	69.42	1,777.15	26.72	68.34	1,749.50	25.97
	3	35.42	906.75	19.43	32.65	835.84	18.64	55.06	1,409.54	19.75*	55.76	1,427.46	32.10*	64.86	1,660.42	26.92	76.39	1,955.58	29.57
ชุดการทดลอง E	1	16.10	412.16	13.76	25.78	659.97	15.89	58.03	1,485.57	23.29	55.81	1,428.74	27.06	63.73	1,631.49	27.76	58.29	1,492.22	28.94
	2	28.35	725.76	19.00	42.35	1,084.16	21.33	43.49	1,113.34*	20.72	36.78	941.57	25.91	60.64	1,552.38	27.92	81.41	2,084.10*	28.25
	3	10.86	278.05	10.90	45.13	1,155.33	20.30	58.64	1,501.18	25.44	28.90	739.84	29.03	32.61	834.82*	24.45*	56.63	1,449.73	28.66

หมายเหตุ: * ไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย เพราะมีค่าแตกต่างจากข้อมูลซ้ำอื่นๆ ซึ่งใช้ Q-Test ในการพิสูจน์

สูตรการคำนวณ Q-Test

$$Q = (Xa-Xb)/R$$

Xa = ค่าที่เราจะทดสอบ

Xb = ค่าที่อยู่ใกล้กับค่าที่เราต้องการทดสอบ (Xa) มากที่สุด

R = ค่าพิสัย (Range) หรือค่าสูงสุดลบค่าต่ำสุดของข้อมูลทั้งหมด

แล้วนำค่า Q ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติ (90% Interval) เมื่อจำนวนซ้ำเท่ากับ 3 ค่าวิกฤติจะเท่ากับ 0.94

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลตามตารางที่ ค-1 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง A มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ดังนี้ 21.14, 21.06 และ 10.00

$$Q = (10.00 - 21.06) / (21.14 - 10.00)$$

$$= 0.99$$

เมื่อนำค่า Q ที่คำนวณได้คือ 0.99 มาเทียบกับค่าวิกฤติ (0.94) พบว่าค่า Q ที่คำนวณได้มีค่าเกินค่าวิกฤติ จึงสามารถตัดข้อมูลที่สงสัยออก โดยไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ความสูงของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ

ตัวอย่าง	วัดความสูง ครั้งที่	อายุข้าว (วัน)												
		15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99
ชุดการทดลอง A	1 (cm.)	38.00	38.00	49.00	68.00	78.00	80.00	84.00	100.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	2 (cm.)	34.00	40.00	57.00	65.00	78.00	80.00	96.00	120.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
	3 (cm.)	29.00	34.00	45.00	54.00	61.00	66.00	78.00	100.00	114.00	120.00	120.00	120.00	120.00
ชุดการทดลอง B	1 (cm.)	32.00	40.00	59.00	63.00	74.00	78.00	105.00	121.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
	2 (cm.)	37.00	40.00	54.00	65.00	79.00	95.00	117.00	130.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
	3 (cm.)	34.00	37.00	48.00	67.00	80.00	90.00	109.00	128.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
ชุดการทดลอง C	1 (cm.)	35.00	37.00	41.00	67.00	76.00	90.00	120.00	130.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
	2 (cm.)	30.00	30.00	44.00	55.00	62.00	67.00	93.00	119.00	140.00	150.00	150.00	150.00	150.00
	3 (cm.)	34.00	37.00	42.00	61.00	72.00	94.00	109.00	119.00	130.00	145.00	145.00	145.00	145.00
ชุดการทดลอง D	1 (cm.)	34.00	38.00	44.00	61.00	70.00	79.00	100.00	117.00	130.00	145.00	145.00	145.00	145.00
	2 (cm.)	33.00	39.00	46.00	57.00	65.00	75.00	100.00	122.00	130.00	151.00	151.00	151.00	151.00
	3 (cm.)	34.00	37.00	45.00	53.00	62.00	80.00	100.00	120.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
ชุดการทดลอง E	1 (cm.)	37.00	39.00	48.00	57.00	66.00	77.00	100.00	110.00	120.00	140.00	140.00	140.00	140.00
	2 (cm.)	33.00	38.00	51.00	59.00	65.00	80.00	106.00	119.00	140.00	154.00	154.00	154.00	154.00
	3 (cm.)	32.00	40.00	18.00	61.00	73.00	79.00	90.00	110.00	124.00	145.00	145.00	145.00	145.00

ตารางที่ ค-3 ความสูงของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี

ตัวอย่าง	วัดความสูง ครั้งที่	อายุข้าว (วัน)												
		15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99
ชุดการทดลอง A	1 (cm.)	32.00	39.00	51.00	63.00	76.00	87.00	100.00	120.00	136.00	137.00	137.00	137.00	137.00
	2 (cm.)	36.00	44.00	51.00	67.00	84.00	94.00	104.00	120.00	140.00	145.00	145.00	145.00	145.00
	3 (cm.)	34.00	38.00	49.00	62.00	72.00	74.00	76.00	90.00	120.00	127.00	127.00	127.00	127.00
ชุดการทดลอง B	1 (cm.)	34.00	40.00	47.00	64.00	71.00	86.00	100.00	118.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00
	2 (cm.)	35.00	40.00	56.00	62.00	88.00	90.00	103.00	120.00	135.00	147.00	147.00	147.00	147.00
	3 (cm.)	34.00	41.00	58.00	67.00	85.00	86.00	88.00	123.00	130.00	142.00	142.00	142.00	142.00
ชุดการทดลอง C	1 (cm.)	32.00	36.00	50.00	63.00	75.00	88.00	99.00	112.00	130.00	136.00	136.00	136.00	136.00
	2 (cm.)	35.00	39.00	49.00	64.00	77.00	80.00	109.00	125.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
	3 (cm.)	32.00	36.00	48.00	65.00	79.00	90.00	102.00	115.00	134.00	145.00	145.00	145.00	145.00
ชุดการทดลอง D	1 (cm.)	35.00	38.00	50.00	68.00	84.00	85.00	100.00	126.00	140.00	145.00	145.00	145.00	145.00
	2 (cm.)	35.00	39.00	51.00	62.00	72.00	95.00	114.00	120.00	140.00	160.00	160.00	160.00	160.00
	3 (cm.)	36.00	40.00	51.00	64.00	76.00	94.00	108.00	130.00	150.00	155.00	155.00	155.00	155.00
ชุดการทดลอง E	1 (cm.)	36.00	39.00	44.00	60.00	70.00	87.00	103.00	125.00	140.00	146.00	146.00	146.00	146.00
	2 (cm.)	34.00	38.00	49.00	58.00	75.00	93.00	105.00	119.00	130.00	140.00	140.00	140.00	140.00
	3 (cm.)	37.00	36.00	46.00	56.00	69.00	74.00	100.00	120.00	139.00	135.00	135.00	135.00	135.00

ตารางที่ ค-4 ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ

ตัวอย่าง	วัดความสูงครั้งที่	อายุข้าว (วัน)														
		15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99	106	113
ชุดการทดลอง A	1 (cm.)	24.00	30.00	39.00	47.00	55.00	64.00	67.00	70.00	80.00	90.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
	2 (cm.)	26.00	31.00	49.00	57.00	69.00	72.00	73.00	79.00	87.00	95.00	112.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	3 (cm.)	29.00	31.00	49.00	58.00	69.00	70.00	75.00	79.00	83.00	95.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
ชุดการทดลอง B	1 (cm.)	25.00	33.00	40.00	48.00	57.00	69.00	77.00	82.00	87.00	91.00	109.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	28.00	34.00	40.00	52.00	67.00	74.00	84.00	90.00	95.00	109.00	117.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	28.00	31.00	40.00	53.00	67.00	74.00	75.00	76.00	84.00	95.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
ชุดการทดลอง C	1 (cm.)	28.00	33.00	40.00	48.00	58.00	70.00	77.00	79.00	86.00	90.00	105.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	29.00	33.00	41.00	52.00	66.00	70.00	73.00	80.00	90.00	100.00	110.00	112.00	112.00	112.00	112.00
	3 (cm.)	28.00	30.00	39.00	53.00	65.00	72.00	75.00	80.00	90.00	100.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
ชุดการทดลอง D	1 (cm.)	28.00	35.00	40.00	49.00	56.00	71.00	77.00	84.00	96.00	100.00	120.00	130.00	130.00	130.00	130.00
	2 (cm.)	25.00	29.00	37.00	48.00	58.00	72.00	86.00	90.00	97.00	100.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	29.00	30.00	35.00	46.00	58.00	70.00	74.00	89.00	94.00	95.00	116.00	118.00	118.00	118.00	118.00
ชุดการทดลอง E	1 (cm.)	28.00	27.00	40.00	48.00	57.00	70.00	80.00	86.00	91.00	99.00	102.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	25.00	31.00	40.00	50.00	59.00	73.00	83.00	88.00	95.00	105.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	3 (cm.)	28.00	32.00	42.00	49.00	52.00	58.00	77.00	88.00	96.00	100.00	115.00	130.00	130.00	130.00	130.00

ตารางที่ ค-5 ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี

ตัวอย่าง	วัดความสูงครั้งที่	อายุข้าว (วัน)														
		15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99	106	113
ชุดการทดลอง A	1 (cm.)	24.00	30.00	39.00	47.00	55.00	64.00	67.00	70.00	80.00	90.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
	2 (cm.)	26.00	31.00	49.00	57.00	69.00	72.00	73.00	79.00	87.00	95.00	112.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	3 (cm.)	29.00	31.00	49.00	58.00	69.00	70.00	75.00	79.00	83.00	95.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
ชุดการทดลอง B	1 (cm.)	25.00	33.00	40.00	48.00	57.00	69.00	77.00	82.00	87.00	91.00	109.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	28.00	34.00	40.00	52.00	67.00	74.00	84.00	90.00	95.00	109.00	117.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	28.00	31.00	40.00	53.00	67.00	74.00	75.00	76.00	84.00	95.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
ชุดการทดลอง C	1 (cm.)	28.00	33.00	40.00	48.00	58.00	70.00	77.00	79.00	86.00	90.00	105.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	29.00	33.00	41.00	52.00	66.00	70.00	73.00	80.00	90.00	100.00	110.00	112.00	112.00	112.00	112.00
	3 (cm.)	28.00	30.00	39.00	53.00	65.00	72.00	75.00	80.00	90.00	100.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
ชุดการทดลอง D	1 (cm.)	28.00	35.00	40.00	49.00	56.00	71.00	77.00	84.00	96.00	100.00	120.00	130.00	130.00	130.00	130.00
	2 (cm.)	25.00	29.00	37.00	48.00	58.00	72.00	86.00	90.00	97.00	100.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	29.00	30.00	35.00	46.00	58.00	70.00	74.00	89.00	94.00	95.00	116.00	118.00	118.00	118.00	118.00
ชุดการทดลอง E	1 (cm.)	28.00	27.00	40.00	48.00	57.00	70.00	80.00	86.00	91.00	99.00	102.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	25.00	31.00	40.00	50.00	59.00	73.00	83.00	88.00	95.00	105.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	3 (cm.)	28.00	32.00	42.00	49.00	52.00	58.00	77.00	88.00	96.00	100.00	115.00	130.00	130.00	130.00	130.00

ตารางที่ ค-6 ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ

ตัวอย่าง	วัดความสูง ครั้งที่	อายุข้าว (วัน)																
		15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99	106	113	120	127
ชุดการทดลอง A	1 (cm.)	22.00	26.00	38.00	43.00	50.00	57.00	63.00	70.00	90.00	98.00	100.00	114.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	2 (cm.)	23.00	26.00	37.00	48.00	52.00	56.00	56.00	64.00	84.00	90.00	95.00	100.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
	3 (cm.)	22.00	24.00	31.00	35.00	37.00	50.00	66.00	70.00	80.00	92.00	106.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
ชุดการทดลอง B	1 (cm.)	25.00	27.00	35.00	38.00	41.00	57.00	74.00	87.00	90.00	92.00	95.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	2 (cm.)	25.00	27.00	38.00	41.00	59.00	67.00	85.00	90.00	97.00	99.00	102.00	120.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00
	3 (cm.)	25.00	29.00	39.00	43.00	55.00	60.00	86.00	90.00	97.00	99.00	102.00	120.00	134.00	135.00	135.00	135.00	135.00
ชุดการทดลอง C	1 (cm.)	25.00	28.00	40.00	46.00	52.00	67.00	83.00	90.00	100.00	101.00	110.00	115.00	127.00	130.00	130.00	130.00	130.00
	2 (cm.)	20.00	23.00	26.00	38.00	45.00	50.00	69.00	83.00	90.00	100.00	101.00	102.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	22.00	24.00	39.00	50.00	60.00	66.00	80.00	92.00	100.00	104.00	109.00	116.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
ชุดการทดลอง D	1 (cm.)	25.00	28.00	40.00	48.00	57.00	68.00	85.00	90.00	95.00	100.00	112.00	115.00	117.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	2 (cm.)	25.00	29.00	42.00	47.00	53.00	60.00	76.00	90.00	103.00	105.00	115.00	116.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	25.00	34.00	41.00	48.00	50.00	70.00	88.00	97.00	99.00	105.00	112.00	117.00	124.00	125.00	125.00	125.00	125.00
ชุดการทดลอง E	1 (cm.)	26.00	33.00	45.00	53.00	60.00	60.00	74.00	93.00	95.00	99.00	100.00	110.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	2 (cm.)	24.00	27.00	38.00	40.00	46.00	57.00	73.00	80.00	96.00	98.00	102.00	110.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00
	3 (cm.)	20.00	23.00	38.00	42.00	52.00	45.00	69.00	84.00	87.00	95.00	105.00	110.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00

ตารางที่ ค-7 ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสุพรรณบุรี

ตัวอย่าง	วัดความสูง ครั้งที่	อายุข้าว (วัน)																
		15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99	106	113	120	127
ชุดการทดลอง A	1 (cm.)	25.00	27.00	37.00	47.00	55.00	57.00	66.00	72.00	90.00	95.00	100.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	25.00	28.00	38.00	45.00	50.00	60.00	65.00	70.00	76.00	85.00	100.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	25.00	30.00	38.00	47.00	62.00	64.00	76.00	82.00	87.00	91.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00
ชุดการทดลอง B	1 (cm.)	25.00	27.00	37.00	47.00	55.00	57.00	66.00	72.00	90.00	95.00	100.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	25.00	28.00	38.00	45.00	50.00	60.00	65.00	70.00	76.00	85.00	100.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	25.00	30.00	38.00	47.00	62.00	64.00	76.00	82.00	87.00	91.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00
ชุดการทดลอง C	1 (cm.)	20.00	23.00	34.00	42.00	52.00	60.00	70.00	80.00	90.00	92.00	94.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00
	2 (cm.)	23.00	26.00	38.00	47.00	50.00	56.00	67.00	78.00	80.00	100.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
	3 (cm.)	25.00	29.00	40.00	49.00	58.00	64.00	79.00	84.00	90.00	95.00	110.00	112.00	113.00	115.00	115.00	115.00	115.00
ชุดการทดลอง D	1 (cm.)	25.00	28.00	39.00	43.00	51.00	62.00	79.00	92.00	98.00	100.00	110.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	2 (cm.)	25.00	29.00	40.00	50.00	56.00	67.00	79.00	90.00	95.00	100.00	103.00	110.00	113.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	3 (cm.)	22.00	25.00	32.00	43.00	57.00	62.00	78.00	84.00	90.00	99.00	109.00	120.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00
ชุดการทดลอง E	1 (cm.)	25.00	28.50	42.00	38.00	52.00	67.00	80.00	94.00	96.00	98.00	101.00	110.00	123.00	125.00	125.00	125.00	125.00
	2 (cm.)	25.00	32.00	46.00	53.00	60.00	63.00	83.00	90.00	94.00	98.00	100.00	115.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
	3 (cm.)	23.00	29.00	43.00	44.00	45.00	56.00	77.00	90.00	93.00	95.00	100.00	110.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00

ตารางที่ ค-8 ความยาวรากข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 พันธุ์ และกข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี		
		ความยาวราก (cm.) ข้าวขาวดอกมะลิ 105	ความยาวราก (cm.) ข้าวปทุมธานี 80	ความยาวราก (cm.) ข้าวกข1	ความยาวราก (cm.) ข้าวขาวดอกมะลิ 105	ความยาวราก (cm.) ข้าวปทุมธานี 80	ความยาวราก (cm.) ข้าวกข1
ชุดการทดลอง A	1	25.00	21.00	23.00	17.00*	23.00	24.00
	2	29.00	19.00*	21.00	22.00	27.00	23.00
	3	28.00	21.00	25.00	22.00	24.00	25.00
ชุดการทดลอง B	1	25.00	26.00	27.00	23.00	20.00	27.00
	2	30.00	29.00	30.00	18.00	27.00	24.00
	3	31.00	20.00	29.00	29.00	23.00	25.00
ชุดการทดลอง C	1	23.00	27.00	28.00	29.00	26.00	28.00
	2	21.00	26.00	28.00	26.00	28.00	30.00
	3	27.00	26.00	30.00	31.00	30.00	27.00
ชุดการทดลอง D	1	26.00	35.00	29.00	30.00	26.00	26.00
	2	24.00	24.00	31.00	22.00	24.00	28.00
	3	22.00	21.00	30.00	32.00	26.00	30.00
ชุดการทดลอง E	1	21.00	23.00	28.00	32.00	22.00	26.00
	2	25.00*	28.00	29.00	35.00*	26.00	25.00
	3	21.00	26.00	31.00	32.00	21.00	30.00

หมายเหตุ: * ไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย เพราะมีค่าแตกต่างจากข้อมูลซ้ำอื่นๆ ซึ่งใช้ Q-Test ในการพิสูจน์

ตารางที่ ค-9 น้ำหนักต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 80 และกข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ข้าวขาวดอกมะลิ 105				ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80				ข้าวพันธุ์กข1			
		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี		ดินนาสมุทรปราการ		ดินนาสุพรรณบุรี	
		น้ำหนักต้น (g/plant)	น้ำหนักต้น (g/pot)	น้ำหนักต้น (g/plant)	น้ำหนักต้น (g/pot)	น้ำหนักต้น (g/plant)	น้ำหนักต้น (g/pot)	น้ำหนักต้น (g/plant)	น้ำหนักต้น (g/pot)	น้ำหนักต้น (g/plant)	น้ำหนักต้น (g/pot)	น้ำหนักต้น (g/plant)	น้ำหนักต้น (g/pot)
ชุดการทดลอง A	1	4.51	54.12	3.77	33.90	3.47	31.20	3.70	37.00	3.09	21.61	3.80	30.37
	2	3.61	50.49	4.19	33.52	3.91	31.28	3.57	32.13	3.27	26.19	3.88	31.07
	3	2.18	24.02	3.48	24.34	4.24	38.19	3.77	22.60	3.23	29.10	4.07	36.60
ชุดการทดลอง B	1	2.73	81.99	4.02	64.27	4.75	95.00	3.84	46.12	3.51	87.67	3.75	44.96
	2	4.23	84.60	3.26	52.16	4.28	81.32	4.26	46.90	4.05	117.55	3.73	33.54
	3	3.64	91.08	3.85	53.85	4.60	101.27	3.80	41.84	4.59	128.61	4.08	57.12
ชุดการทดลอง C	1	5.54	88.64	3.58	71.67	4.21	113.58	4.39	70.29	4.61	69.15	3.77	64.03
	2	3.05	54.96	5.50	104.56	4.08	106.17	3.72	55.80	3.82	65.00	5.04	75.65
	3	4.13	78.53	3.46	72.73	4.53	117.87	4.46	80.34	4.65	116.25	4.28	68.43
ชุดการทดลอง D	1	3.10	58.90	3.78	83.16	3.30	72.60	3.62	90.58	3.93	74.73	4.63	83.28
	2	3.76	67.68	4.90	107.80	4.26	106.58	4.18	104.42	4.67	98.00	4.15	91.23
	3	4.05	68.91	5.23	115.06	4.16	99.92	4.21	96.83	3.68	73.53	4.37	74.23
ชุดการทดลอง E	1	3.66	51.24	3.02	63.49	4.47	84.99	4.47	58.07	4.22	92.77	3.88	89.24
	2	3.86	57.90	4.48	94.08	3.87	77.33	4.15	82.93	4.03	84.70	3.89	85.51
	3	3.53	56.48	3.01	60.20	5.03	105.63	4.09	94.15	4.26	93.79	4.32	99.44

ตารางที่ ค-10 ค่า LCC (Leaf Color Chart, LCC) ของใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี และ พันธุ์ กข1 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80						ข้าวพันธุ์ กข1									
		ดินนาสมุทรปราการ			ดินนาสุพรรณบุรี			ดินนาสมุทรปราการ					ดินนาสุพรรณบุรี				
		อายุข้าว (วัน)			อายุข้าว (วัน)			อายุข้าว (วัน)					อายุข้าว (วัน)				
		99	106	113	99	106	113	99	106	113	120	127	99	106	113	120	127
ชุดการทดลอง A	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ชุดการทดลอง B	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ชุดการทดลอง C	1	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ชุดการทดลอง D	1	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ชุดการทดลอง E	1	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3

หมายเหตุ: แผ่นเทียบสีใบข้าว แบ่งระดับสีที่วัดออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 (ค่า LCC น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 ควรใส่ปุ๋ยยูเรียเพิ่ม ในอัตรา 7-8 กก./ไร่)

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน

ตารางที่ ง-1 ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1	1	0.5048	0.5880	10.1053	1	1,000.92	10.0668	0.4940	11.4419	5	113.66
	2	0.5075	0.5910	10.1579	1	1,000.78	10.0039	0.4920	11.3953	5	113.91
	3	0.5012	0.5890	10.1228	1	1,009.86	10.0057	0.4950	11.4651	5	114.59
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 2	1	0.5020	0.5820	10.0000	1	996.02	10.0327	0.5780	13.3953	5	133.52
	2	0.5021	0.5840	10.0351	1	999.31	10.0160	0.5700	13.2093	5	131.88
	3	0.5030	0.5810	9.9825	1	992.29	10.0025	0.5740	13.3023	5	132.99
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 3	1	0.5061	0.5910	10.1579	1	1,003.55	10.0458	0.5720	13.2558	5	131.95
	2	0.5042	0.5850	10.0526	1	996.89	10.0127	0.5700	13.2093	5	131.93
	3	0.5050	0.5888	10.1193	1	1,001.89	10.0098	0.5730	13.2791	5	132.66

ตารางที่ ง-2 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1	1	0.5048	0.1770	0.4410	3	131.05	10.0668	0.7380	2.5599	5	7.33
	2	0.5075	0.1780	0.4436	3	131.11	10.0039	0.7280	2.5246	5	7.28
	3	0.5012	0.1790	0.4462	3	133.53	10.0057	0.7340	2.5458	5	7.34
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 2	1	0.5020	0.1830	0.4564	3	136.38	10.0327	0.7290	2.5282	5	7.27
	2	0.5021	0.1840	0.4590	3	137.12	10.0160	0.7340	2.5458	5	7.33
	3	0.5030	0.1840	0.4590	3	136.87	10.0025	0.7450	2.5845	5	7.45
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 3	1	0.5061	0.1950	0.4872	3	144.39	10.0458	0.7960	2.7641	5	7.92
	2	0.5042	0.1950	0.4872	3	144.94	10.0127	0.7850	2.7254	5	7.84
	3	0.5050	0.1960	0.4897	3	145.47	10.0098	0.7770	2.6972	5	7.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1	1	0.5048	0.0065	0.0395	3	11.74	10.0668	0.0480	0.7500	5	7.45
	2	0.5075	0.0064	0.0381	3	11.26	10.0039	0.0470	0.7344	5	7.34
	3	0.5012	0.0064	0.0381	3	11.40	10.0057	0.0480	0.7500	5	7.50
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 2	1	0.5020	0.0065	0.0397	3	11.86	10.0327	0.0420	0.6563	5	6.54
	2	0.5021	0.0065	0.0397	3	11.85	10.0160	0.0430	0.6719	5	6.71
	3	0.5030	0.0065	0.0397	3	11.83	10.0025	0.0410	0.6406	5	6.40
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 3	1	0.5061	0.0066	0.0413	3	12.23	10.0458	0.0440	0.6875	5	6.84
	2	0.5042	0.0066	0.0413	3	12.28	10.0127	0.0450	0.7031	5	7.02
	3	0.5050	0.0066	0.0413	3	12.26	10.0098	0.0440	0.6875	5	6.87

ตารางที่ ง-4 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1	1	0.5048	0.1160	0.6083	3	180.76	10.0668	1.0660	10.4545	5	103.85
	2	0.5075	0.1150	0.6000	3	177.34	10.0039	1.0670	10.4646	5	104.61
	3	0.5012	0.1130	0.5833	3	174.58	10.0057	1.0600	10.3939	5	103.88
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 2	1	0.5020	0.1040	0.5083	3	151.89	10.0327	1.0420	10.2121	5	101.79
	2	0.5021	0.1005	0.4792	3	143.15	10.0160	1.0460	10.2525	5	102.36
	3	0.5030	0.1060	0.5250	3	156.56	10.0025	1.0490	10.2828	5	102.80
กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 3	1	0.5061	0.1070	0.5333	3	158.07	10.0458	1.0570	10.3636	5	103.16
	2	0.5042	0.1080	0.5417	3	161.15	10.0127	1.0580	10.3737	5	103.61
	3	0.5050	0.1070	0.5333	3	158.41	10.0098	1.0520	10.3131	5	103.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5 ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินก่อนปลูกข้าว

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5031	0.8720	15.0877	1	1,499.48	10.0058	0.7200	16.6977	5	166.88	0.5081	0.9040	15.6491	1	1,539.96	10.0036	0.6790	15.7442	5	157.39
	2	0.5023	0.8630	14.9298	1	1,486.15	10.0049	0.7070	16.3953	5	163.87	0.5042	0.8730	15.1053	1	1,497.94	10.0245	0.7280	16.8837	5	168.42
	3	0.5038	0.8660	14.9825	1	1,486.94	10.0026	0.6400	14.8372	5	148.33	0.5026	0.8490	14.6842	1	1,460.82	10.0105	0.7170	16.6279	5	166.10
ชุดการทดลอง B	1	0.5035	0.9400	16.2807	1	1,616.75	10.0097	0.6990	16.2093	5	161.94	0.5025	0.8970	15.5263	1	1,544.91	10.0191	0.7210	16.7209	5	166.89
	2	0.5004	0.9380	16.2456	1	1,623.26	10.0042	0.6852	15.8884	5	158.82	0.5045	0.9000	15.5789	1	1,544.00	10.0067	0.7380	17.1163	5	171.05
	3	0.5007	0.9390	16.2632	1	1,624.11	10.0149	0.6930	16.0698	5	160.46	0.5043	0.8900	15.4035	1	1,527.22	10.0120	0.6780	15.7209	5	157.02
ชุดการทดลอง C	1	0.5038	0.9600	16.6316	1	1,650.61	10.0102	0.6833	15.8442	5	158.28	0.5042	0.9270	16.0526	1	1,591.89	10.0013	0.7168	16.6237	5	166.22
	2	0.5047	0.9790	16.9649	1	1,680.69	10.0045	0.6845	15.8721	5	158.65	0.5007	0.9240	16.0000	1	1,597.76	10.0037	0.7200	16.6977	5	166.91
	3	0.5030	0.9630	16.6842	1	1,658.47	10.0020	0.6980	16.1860	5	161.83	0.5035	0.9230	15.9825	1	1,587.14	10.0043	0.7000	16.2326	5	162.26
ชุดการทดลอง D	1	0.5022	0.9830	17.0351	1	1,696.05	10.0086	0.7120	16.5116	5	164.97	0.5057	0.9240	16.0000	1	1,581.97	10.0095	0.7604	17.6379	5	176.21
	2	0.5029	0.9910	17.1754	1	1,707.64	10.0003	0.7280	16.8837	5	168.83	0.5045	0.9270	16.0526	1	1,590.94	10.0018	0.7615	17.6616	5	176.58
	3	0.5028	0.9730	16.8596	1	1,676.58	10.0144	0.7369	17.0916	5	170.67	0.5032	0.9250	16.0175	1	1,591.57	10.0035	0.7060	16.3721	5	163.66
ชุดการทดลอง E	1	0.5061	1.0220	17.7193	1	1,750.57	10.0060	0.7412	17.1907	5	171.80	0.5063	0.9480	16.4211	1	1,621.67	10.0053	0.7605	17.6395	5	176.30
	2	0.5068	0.9984	17.3053	1	1,707.31	10.0177	0.7554	17.5209	5	174.90	0.5081	0.9640	16.7018	1	1,643.55	10.0115	0.7628	17.6930	5	176.73
	3	0.5036	0.9983	17.3035	1	1,717.98	10.0136	0.7359	17.0674	5	170.44	0.5083	0.9410	16.2982	1	1,603.21	10.0099	0.7656	17.7581	5	177.41

ตารางที่ ง-6 ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5044	0.8360	14.4561	1	1,433.00	10.0234	0.6380	14.7907	5	147.56	0.5026	0.8640	14.9474	1	1,487.00	10.0915	0.6690	15.5116	5	153.71
	2	0.5028	0.8290	14.3333	1	1,425.35	10.0080	0.6110	14.1628	5	141.51	0.5026	0.8270	14.2982	1	1,422.43	10.0058	0.6707	15.5512	5	155.42
	3	0.5074	0.8200	14.1754	1	1,396.87	10.0012	0.6200	14.3721	5	143.70	0.5085	0.8660	14.9825	1	1,473.20	10.1300	0.6781	15.7233	5	155.21
ชุดการทดลอง B	1	0.5073	0.8592	14.8632	1	1,464.93	10.0087	0.6490	15.0465	5	150.33	0.5047	0.8530	14.7544	1	1,461.70	10.0095	0.7150	16.5814	5	165.66
	2	0.5062	0.8692	15.0386	1	1,485.44	10.0168	0.6380	14.7907	5	147.66	0.5083	0.8600	14.8772	1	1,463.43	10.0120	0.7160	16.6047	5	165.85
	3	0.5004	0.8520	14.7368	1	1,472.51	10.0022	0.6490	15.0465	5	150.43	0.5065	0.8710	15.0702	1	1,487.68	10.0083	0.7270	16.8605	5	168.46
ชุดการทดลอง C	1	0.5031	0.8920	15.4386	1	1,534.35	10.0069	0.6670	15.4651	5	154.54	0.5028	0.8970	15.5263	1	1,543.99	10.0067	0.7112	16.4930	5	164.82
	2	0.5064	0.8920	15.4386	1	1,524.35	10.0089	0.6410	14.8605	5	148.47	0.5022	0.8960	15.5088	1	1,544.08	10.0095	0.7185	16.6628	5	166.47
	3	0.5013	0.8920	15.4386	1	1,539.86	10.0072	0.6530	15.1395	5	151.29	0.5054	0.9220	15.9649	1	1,579.43	10.0109	0.7182	16.6558	5	166.38
ชุดการทดลอง D	1	0.5005	0.9200	15.9298	1	1,591.39	10.0006	0.7158	16.6000	5	165.99	0.5020	0.9210	15.9474	1	1,588.38	10.0095	0.7371	17.0953	5	170.79
	2	0.5010	0.9200	15.9298	1	1,589.80	10.0099	0.7166	16.6193	5	166.03	0.5044	0.9240	16.0000	1	1,586.04	10.0080	0.7373	17.1000	5	170.86
	3	0.5057	0.9200	15.9298	1	1,575.03	10.0089	0.7132	16.5395	5	165.25	0.5009	0.9190	15.9123	1	1,588.37	10.0091	0.7000	16.2326	5	162.18
ชุดการทดลอง E	1	0.5051	0.9989	17.3140	1	1,713.92	10.0159	0.7000	16.2326	5	162.07	0.5033	0.9340	16.1754	1	1,606.94	10.0098	0.7540	17.4884	5	174.71
	2	0.5054	0.9650	16.7193	1	1,654.07	10.0099	0.7340	17.0233	5	170.06	0.5028	0.9350	16.1930	1	1,610.28	10.0027	0.7650	17.7442	5	177.39
	3	0.5089	0.9610	16.6491	1	1,635.80	10.0076	0.7360	17.0698	5	170.57	0.5076	0.9310	16.1228	1	1,588.14	10.0126	0.7670	17.7907	5	177.68

ตารางที่ ง-7 ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5035	0.8150	14.0877	1	1,398.98	10.0056	0.6270	14.5349	5	145.27	0.5049	0.8550	14.7895	1	1,464.59	10.0097	0.6660	15.4419	5	154.27
	2	0.5024	0.8060	13.9298	1	1,386.33	10.0012	0.6140	14.2326	5	142.31	0.5015	0.8340	14.4211	1	1,437.79	10.0018	0.6220	14.4186	5	144.16
	3	0.5047	0.8190	14.1579	1	1,402.60	10.0015	0.6250	14.4884	5	144.86	0.5039	0.8420	14.5614	1	1,444.87	10.0060	0.6728	15.6000	5	155.91
ชุดการทดลอง B	1	0.5050	0.8380	14.4912	1	1,434.78	10.0018	0.6360	14.7442	5	147.42	0.5009	0.8517	14.7316	1	1,470.51	10.0059	0.6860	15.9070	5	158.98
	2	0.5073	0.8400	14.5263	1	1,431.73	10.0040	0.6380	14.7907	5	147.85	0.5010	0.8526	14.7474	1	1,471.79	10.0035	0.6770	15.6977	5	156.92
	3	0.5046	0.8660	14.9825	1	1,484.59	10.0012	0.6470	15.0000	5	149.98	0.5055	0.8516	14.7299	1	1,456.96	10.0096	0.6940	16.0930	5	160.78
ชุดการทดลอง C	1	0.5060	0.8930	15.4561	1	1,527.29	10.0050	0.6599	15.3000	5	152.92	0.5085	0.8840	15.2982	1	1,504.25	10.0072	0.7124	16.5209	5	165.09
	2	0.5082	0.8913	15.4263	1	1,517.74	10.0044	0.6490	15.0465	5	150.40	0.5044	0.8960	15.5088	1	1,537.35	10.0016	0.7138	16.5535	5	165.51
	3	0.5085	0.8914	15.4281	1	1,517.02	10.0003	0.6580	15.2558	5	152.55	0.5031	0.8800	15.2281	1	1,513.42	10.0086	0.7132	16.5395	5	165.25
ชุดการทดลอง D	1	0.5013	0.9030	15.6316	1	1,559.10	10.0003	0.6780	15.7209	5	157.20	0.5038	0.9060	15.6842	1	1,556.59	10.0036	0.7340	17.0233	5	170.17
	2	0.5067	0.9161	15.8614	1	1,565.17	10.0001	0.6734	15.6140	5	156.14	0.5074	0.8940	15.4737	1	1,524.80	10.0064	0.7240	16.7907	5	167.80
	3	0.5032	0.9065	15.6923	1	1,559.25	10.0035	0.6930	16.0698	5	160.64	0.5081	0.8989	15.5596	1	1,531.16	10.0033	0.7363	17.0767	5	170.71
ชุดการทดลอง E	1	0.5023	0.9300	16.1053	1	1,603.15	10.0096	0.6820	15.8140	5	157.99	0.5016	0.9126	15.8000	1	1,574.96	10.0080	0.7650	17.7442	5	177.30
	2	0.5020	0.9450	16.3684	1	1,630.32	10.0080	0.6580	15.2558	5	152.44	0.5042	0.9140	15.8246	1	1,569.27	10.0002	0.7661	17.7698	5	177.69
	3	0.5030	0.9312	16.1263	1	1,603.01	10.0020	0.7360	17.0698	5	170.66	0.5045	0.9142	15.8281	1	1,568.69	10.0015	0.7090	16.4419	5	164.39

ตารางที่ ง-8 ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Avail. Fe) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Fe (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5023	0.8049	13.9105	1	1,384.68	10.0095	0.6140	14.2326	5	142.19	0.5044	0.8318	14.3825	1	1,425.70	10.0041	0.6708	15.5535	5	155.47
	2	0.5010	0.8079	13.9632	1	1,393.53	10.0015	0.6310	14.6279	5	146.26	0.5048	0.8200	14.1754	1	1,404.06	10.0030	0.6690	15.5116	5	155.07
	3	0.5032	0.8030	13.8772	1	1,378.89	10.0081	0.6350	14.7209	5	147.09	0.5080	0.8460	14.6316	1	1,440.12	10.0039	0.6690	15.5116	5	155.06
ชุดการทดลอง B	1	0.5043	0.8375	14.4825	1	1,435.90	10.0052	0.6370	14.7674	5	147.60	0.5014	0.8404	14.5333	1	1,449.28	10.0009	0.6736	15.6186	5	156.17
	2	0.5018	0.8350	14.4386	1	1,438.68	10.0024	0.6320	14.6512	5	146.48	0.5039	0.8310	14.3684	1	1,425.72	10.0049	0.6739	15.6256	5	156.18
	3	0.5056	0.8490	14.6842	1	1,452.16	10.0059	0.6360	14.7442	5	147.35	0.5063	0.8409	14.5419	1	1,436.09	10.0098	0.6735	15.6163	5	156.01
ชุดการทดลอง C	1	0.5024	0.8874	15.3574	1	1,528.40	10.0051	0.6608	15.3209	5	153.13	0.5075	0.8889	15.3840	1	1,515.67	10.0071	0.7120	16.5116	5	165.00
	2	0.5084	0.8871	15.3530	1	1,509.93	10.0034	0.6550	15.1860	5	151.81	0.5044	0.8909	15.4192	1	1,528.47	10.0036	0.7196	16.6884	5	166.82
	3	0.5025	0.8891	15.3881	1	1,531.15	10.0081	0.6580	15.2558	5	152.43	0.5039	0.8800	15.2281	1	1,511.02	10.0046	0.7170	16.6277	5	166.20
ชุดการทดลอง D	1	0.5019	0.9060	15.6842	1	1,562.48	10.0098	0.6870	15.9302	5	159.15	0.5077	0.9004	15.5860	1	1,534.96	10.0082	0.7310	16.9535	5	169.40
	2	0.5088	0.9087	15.7316	1	1,545.95	10.0072	0.6610	15.3256	5	153.15	0.5020	0.8900	15.4035	1	1,534.21	10.0041	0.7310	16.9535	5	169.47
	3	0.5063	0.9070	15.7018	1	1,550.64	10.0020	0.7040	16.3256	5	163.22	0.5045	0.8900	15.4035	1	1,526.61	10.0066	0.7390	17.1395	5	171.28
ชุดการทดลอง E	1	0.5018	0.9310	16.1228	1	1,606.50	10.0005	0.7000	16.2326	5	162.32	0.5023	0.9010	15.5965	1	1,552.51	10.0034	0.7570	17.5581	5	175.52
	2	0.5052	0.9300	16.1053	1	1,593.95	10.0014	0.7430	17.2326	5	172.30	0.5029	0.9010	15.5965	1	1,550.66	10.0058	0.7430	17.2326	5	172.23
	3	0.5040	0.9330	16.1579	1	1,602.97	10.0003	0.6610	15.3256	5	153.25	0.5030	0.9110	15.7719	1	1,567.79	10.0083	0.7520	17.4419	5	174.27

ตารางที่ ง-9 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินก่อนปลูกข้าว

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5031	0.0910	0.2205	3	65.75	10.0058	0.1220	0.3908	5	3.91	0.5081	0.1020	0.2487	3	73.43	10.0036	0.1740	0.5739	5	5.74
	2	0.5023	0.0920	0.2231	3	66.62	10.0049	0.0970	0.3028	5	3.03	0.5042	0.0880	0.2128	3	63.31	10.0245	0.1733	0.5715	5	5.70
	3	0.5038	0.0920	0.2231	3	66.42	10.0026	0.1180	0.3768	5	3.77	0.5026	0.0910	0.2205	3	65.81	10.0105	0.1720	0.5669	5	5.66
ชุดการทดลอง B	1	0.5035	0.0970	0.2359	3	70.28	10.0097	0.1450	0.4718	5	4.71	0.5025	0.1030	0.2513	3	75.01	10.0191	0.2150	0.7183	5	7.17
	2	0.5004	0.0910	0.2205	3	66.10	10.0042	0.1460	0.4754	5	4.75	0.5045	0.0980	0.2385	3	70.90	10.0067	0.2280	0.7641	5	7.64
	3	0.5007	0.0980	0.2385	3	71.44	10.0149	0.1600	0.5246	5	5.24	0.5043	0.1150	0.2821	3	83.89	10.0120	0.2162	0.7225	5	7.22
ชุดการทดลอง C	1	0.5038	0.0930	0.2256	3	67.18	10.0102	0.1630	0.5352	5	5.35	0.5042	0.1060	0.2590	3	77.05	10.0013	0.2110	0.7042	5	7.04
	2	0.5047	0.0930	0.2256	3	67.06	10.0045	0.1720	0.5669	5	5.67	0.5007	0.1140	0.2795	3	83.73	10.0037	0.2510	0.8451	5	8.45
	3	0.5030	0.1020	0.2487	3	74.17	10.0020	0.2240	0.7500	5	7.50	0.5035	0.1080	0.2641	3	78.68	10.0043	0.2600	0.8768	5	8.76
ชุดการทดลอง D	1	0.5022	0.0980	0.2385	3	71.23	10.0086	0.2120	0.7077	5	7.07	0.5057	0.1110	0.2718	3	80.62	10.0095	0.2350	0.7887	5	7.88
	2	0.5029	0.1290	0.3179	3	94.83	10.0003	0.2560	0.8627	5	8.63	0.5045	0.1110	0.2718	3	80.81	10.0018	0.2600	0.8768	5	8.77
	3	0.5028	0.1300	0.3205	3	95.62	10.0144	0.3630	1.2394	5	12.38	0.5032	0.1109	0.2716	3	80.96	10.0035	0.2770	0.9366	5	9.36
ชุดการทดลอง E	1	0.5061	0.1170	0.2872	3	85.12	10.0060	0.3180	1.0810	5	10.80	0.5063	0.1310	0.3231	3	95.72	10.0053	0.3330	1.1338	5	11.33
	2	0.5068	0.1340	0.3308	3	97.90	10.0177	0.3680	1.2570	5	12.55	0.5081	0.1327	0.3274	3	96.66	10.0115	0.3500	1.1937	5	11.92
	3	0.5036	0.1540	0.3821	3	113.80	10.0136	0.3490	1.1901	5	11.89	0.5083	0.1324	0.3267	3	96.40	10.0099	0.2820	0.9542	5	9.53

ตารางที่ ง-10 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5044	0.0980	0.2385	3	70.91	10.0234	0.1110	0.3521	5	3.51	0.5026	0.1050	0.2564	3	76.53	10.0915	0.1680	0.5528	5	5.48
	2	0.5028	0.0900	0.2179	3	65.02	10.0080	0.1110	0.3521	5	3.52	0.5026	0.0902	0.2185	3	65.20	10.0058	0.1750	0.5775	5	5.77
	3	0.5074	0.0900	0.2179	3	64.43	10.0012	0.0800	0.2430	5	2.43	0.5085	0.0807	0.1941	3	57.26	10.1300	0.1600	0.5246	5	5.18
ชุดการทดลอง B	1	0.5051	0.0960	0.2333	3	69.29	10.0087	0.1466	0.4775	5	4.77	0.5047	0.1012	0.2467	3	73.31	10.0095	0.2013	0.6702	5	6.70
	2	0.5054	0.0970	0.2359	3	70.01	10.0168	0.1499	0.4891	5	4.88	0.5083	0.1040	0.2538	3	74.91	10.0120	0.2010	0.6690	5	6.68
	3	0.5089	0.0970	0.2359	3	69.53	10.0022	0.1470	0.4789	5	4.79	0.5065	0.1037	0.2531	3	74.95	10.0083	0.2057	0.6856	5	6.85
ชุดการทดลอง C	1	0.5073	0.0990	0.2410	3	71.27	10.0069	0.1600	0.5246	5	5.24	0.5028	0.1142	0.2800	3	83.53	10.0067	0.2162	0.7225	5	7.22
	2	0.5062	0.0990	0.2410	3	71.42	10.0089	0.2190	0.7324	5	7.32	0.5022	0.1046	0.2554	3	76.28	10.0095	0.2350	0.7887	5	7.88
	3	0.5004	0.0990	0.2410	3	72.25	10.0072	0.1670	0.5493	5	5.49	0.5054	0.1048	0.2559	3	75.95	10.0109	0.2589	0.8729	5	8.72
ชุดการทดลอง D	1	0.5031	0.1190	0.2923	3	87.15	10.0006	0.1940	0.6444	5	6.44	0.5020	0.1109	0.2715	3	81.14	10.0095	0.2493	0.8391	5	8.38
	2	0.5064	0.1120	0.2744	3	81.27	10.0099	0.2340	0.7852	5	7.84	0.5044	0.1103	0.2701	3	80.32	10.0080	0.2284	0.7655	5	7.65
	3	0.5013	0.1150	0.2821	3	84.40	10.0089	0.1720	0.5669	5	5.66	0.5009	0.1105	0.2704	3	80.98	10.0091	0.2580	0.8697	5	8.69
ชุดการทดลอง E	1	0.5005	0.1210	0.2974	3	89.14	10.0159	0.2200	0.7359	5	7.35	0.5033	0.1270	0.3128	3	93.23	10.0098	0.2840	0.9613	5	9.60
	2	0.5010	0.1380	0.3410	3	102.10	10.0099	0.2400	0.8063	5	8.06	0.5028	0.1210	0.2974	3	88.73	10.0027	0.2870	0.9718	5	9.72
	3	0.5057	0.1410	0.3487	3	103.44	10.0076	0.2310	0.7746	5	7.74	0.5076	0.1390	0.3436	3	101.53	10.0126	0.2760	0.9331	5	9.32

ตารางที่ ง-11 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5035	0.0790	0.1897	3	56.53	10.0056	0.0630	0.1831	5	1.83	0.5049	0.0760	0.1821	3	54.09	10.0097	0.1587	0.5201	5	5.20
	2	0.5024	0.0850	0.2051	3	61.24	10.0012	0.0980	0.3063	5	3.06	0.5015	0.0680	0.1615	3	48.32	10.0018	0.1140	0.3627	5	3.63
	3	0.5047	0.0990	0.2410	3	71.63	10.0015	0.0860	0.2641	5	2.64	0.5039	0.0930	0.2256	3	67.17	10.0060	0.1650	0.5423	5	5.42
ชุดการทดลอง B	1	0.5050	0.0890	0.2154	3	63.98	10.0018	0.1200	0.3838	5	3.84	0.5009	0.0840	0.2026	3	60.66	10.0059	0.2062	0.6873	5	6.87
	2	0.5073	0.0860	0.2077	3	61.41	10.0040	0.1400	0.4542	5	4.54	0.5010	0.0840	0.2026	3	60.65	10.0035	0.2030	0.6761	5	6.76
	3	0.5046	0.0970	0.2359	3	70.12	10.0012	0.1710	0.5634	5	5.63	0.5055	0.0830	0.2000	3	59.35	10.0096	0.2020	0.6725	5	6.72
ชุดการทดลอง C	1	0.5060	0.0970	0.2359	3	69.93	10.0050	0.1940	0.6444	5	6.44	0.5085	0.0860	0.2077	3	61.27	10.0072	0.2220	0.7430	5	7.42
	2	0.5082	0.0980	0.2385	3	70.38	10.0044	0.1230	0.3944	5	3.94	0.5044	0.0940	0.2282	3	67.86	10.0016	0.2268	0.7599	5	7.60
	3	0.5085	0.0999	0.2433	3	71.78	10.0003	0.1850	0.6127	5	6.13	0.5031	0.1250	0.3077	3	91.74	10.0086	0.2260	0.7570	5	7.56
ชุดการทดลอง D	1	0.5013	0.1140	0.2795	3	83.63	10.0003	0.1810	0.5986	5	5.99	0.5038	0.1106	0.2709	3	80.65	10.0036	0.2504	0.8430	5	8.43
	2	0.5067	0.1190	0.2923	3	86.53	10.0001	0.1830	0.6056	5	6.06	0.5074	0.1120	0.2744	3	81.11	10.0064	0.2400	0.8063	5	8.06
	3	0.5032	0.1150	0.2821	3	84.08	10.0035	0.1890	0.6268	5	6.27	0.5081	0.1104	0.2702	3	79.77	10.0033	0.2460	0.8275	5	8.27
ชุดการทดลอง E	1	0.5023	0.1300	0.3205	3	95.71	10.0096	0.2330	0.7817	5	7.81	0.5016	0.1258	0.3098	3	92.66	10.0080	0.2410	0.8099	5	8.09
	2	0.5020	0.1330	0.3282	3	98.07	10.0080	0.2040	0.6796	5	6.79	0.5042	0.1259	0.3100	3	92.23	10.0002	0.2980	1.0106	5	10.11
	3	0.5030	0.1329	0.3279	3	97.80	10.0020	0.2300	0.7711	5	7.71	0.5045	0.1256	0.3092	3	91.94	10.0015	0.3010	1.0211	5	10.21

ตารางที่ ง-12 ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Avail. Zn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสนุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Zn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5023	0.0800	0.1923	3	57.43	10.0095	0.0820	0.2500	5	2.50	0.5044	0.0800	0.1923	3	57.19	10.0041	0.1330	0.4296	5	4.29
	2	0.5010	0.0830	0.2000	3	59.88	10.0015	0.0820	0.2500	5	2.50	0.5048	0.0793	0.1905	3	56.61	10.0030	0.1050	0.3310	5	3.31
	3	0.5032	0.0830	0.2000	3	59.62	10.0081	0.0870	0.2676	5	2.67	0.5080	0.0720	0.1718	3	50.73	10.0039	0.1150	0.3662	5	3.66
ชุดการทดลอง B	1	0.5043	0.0890	0.2154	3	64.06	10.0052	0.1249	0.4011	5	4.01	0.5014	0.0819	0.1972	3	58.99	10.0009	0.1890	0.6268	5	6.27
	2	0.5018	0.0880	0.2128	3	63.62	10.0024	0.1264	0.4063	5	4.06	0.5039	0.0810	0.1949	3	58.01	10.0049	0.2080	0.6937	5	6.93
	3	0.5056	0.0900	0.2179	3	64.66	10.0059	0.1253	0.4025	5	4.02	0.5063	0.0811	0.1950	3	57.78	10.0098	0.1950	0.6479	5	6.47
ชุดการทดลอง C	1	0.5024	0.0960	0.2333	3	69.67	10.0051	0.1410	0.4577	5	4.58	0.5075	0.0914	0.2216	3	65.49	10.0071	0.2160	0.7218	5	7.21
	2	0.5084	0.0960	0.2333	3	68.84	10.0034	0.1880	0.6232	5	6.23	0.5044	0.0963	0.2341	3	69.62	10.0036	0.2330	0.7817	5	7.81
	3	0.5025	0.0970	0.2359	3	70.42	10.0081	0.1360	0.4401	5	4.40	0.5039	0.0996	0.2425	3	72.18	10.0046	0.2270	0.7606	5	7.60
ชุดการทดลอง D	1	0.5019	0.1132	0.2774	3	82.92	10.0098	0.1350	0.4366	5	4.36	0.5077	0.1105	0.2705	3	79.93	10.0082	0.2450	0.8239	5	8.23
	2	0.5088	0.1123	0.2751	3	81.11	10.0072	0.1850	0.6127	5	6.12	0.5020	0.1105	0.2705	3	80.82	10.0041	0.2405	0.8081	5	8.08
	3	0.5063	0.1129	0.2767	3	81.97	10.0020	0.2110	0.7042	5	7.04	0.5045	0.1106	0.2708	3	80.51	10.0066	0.2457	0.8264	5	8.26
ชุดการทดลอง E	1	0.5018	0.1140	0.2795	3	83.55	10.0005	0.2070	0.6901	5	6.90	0.5023	0.1215	0.2987	3	89.21	10.0034	0.2630	0.8873	5	8.87
	2	0.5052	0.1480	0.3667	3	108.87	10.0014	0.2120	0.7077	5	7.08	0.5029	0.1216	0.2990	3	89.18	10.0058	0.2690	0.9085	5	9.08
	3	0.5040	0.1230	0.3026	3	90.05	10.0003	0.2081	0.6940	5	6.94	0.5030	0.1229	0.3023	3	90.15	10.0083	0.2653	0.8954	5	8.95

ตารางที่ ง-13 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินก่อนปลูกข้าว

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5031	0.0200	0.0882	3	26.31	10.0058	0.0340	0.5313	5	5.31	0.5081	0.0240	0.1275	3	37.63	10.0036	0.0420	0.6563	5	6.56
	2	0.5023	0.0206	0.0941	3	28.11	10.0049	0.0350	0.5469	5	5.47	0.5042	0.0260	0.1471	3	43.75	10.0245	0.0360	0.5625	5	5.61
	3	0.5038	0.0201	0.0892	3	26.56	10.0026	0.0370	0.5781	5	5.78	0.5026	0.0240	0.1275	3	38.04	10.0105	0.0370	0.5781	5	5.78
ชุดการทดลอง B	1	0.5035	0.0230	0.1176	3	35.05	10.0097	0.0350	0.5469	5	5.46	0.5025	0.0250	0.1373	3	40.97	10.0191	0.0350	0.5469	5	5.46
	2	0.5004	0.0220	0.1078	3	32.33	10.0042	0.0370	0.5781	5	5.78	0.5045	0.0260	0.1471	3	43.72	10.0067	0.0450	0.7031	5	7.03
	3	0.5007	0.0230	0.1176	3	35.25	10.0149	0.0400	0.6250	5	6.24	0.5043	0.0260	0.1471	3	43.74	10.0120	0.0360	0.5625	5	5.62
ชุดการทดลอง C	1	0.5038	0.0260	0.1471	3	43.78	10.0102	0.0350	0.5469	5	5.46	0.5042	0.0280	0.1667	3	49.58	10.0013	0.0410	0.6406	5	6.41
	2	0.5047	0.0250	0.1373	3	40.79	10.0045	0.0360	0.5625	5	5.62	0.5007	0.0290	0.1765	3	52.87	10.0037	0.0450	0.7031	5	7.03
	3	0.5030	0.0250	0.1373	3	40.93	10.0020	0.0500	0.7813	5	7.81	0.5035	0.0300	0.1863	3	55.49	10.0043	0.0460	0.7188	5	7.18
ชุดการทดลอง D	1	0.5022	0.0280	0.1667	3	49.78	10.0086	0.0350	0.5469	5	5.46	0.5057	0.0300	0.1863	3	55.25	10.0095	0.0430	0.6719	5	6.71
	2	0.5029	0.0270	0.1569	3	46.79	10.0003	0.0360	0.5625	5	5.62	0.5045	0.0300	0.1863	3	55.38	10.0018	0.0440	0.6875	5	6.87
	3	0.5028	0.0300	0.1863	3	55.57	10.0144	0.0530	0.8281	5	8.27	0.5032	0.0300	0.1863	3	55.53	10.0035	0.0470	0.7344	5	7.34
ชุดการทดลอง E	1	0.5061	0.0300	0.1863	3	55.21	10.0060	0.0420	0.6563	5	6.56	0.5063	0.0320	0.2059	3	61.00	10.0053	0.0410	0.6406	5	6.40
	2	0.5068	0.0300	0.1863	3	55.13	10.0177	0.0440	0.6875	5	6.86	0.5081	0.0310	0.1961	3	57.89	10.0115	0.0480	0.7500	5	7.49
	3	0.5036	0.0300	0.1863	3	55.48	10.0136	0.0340	0.5313	5	5.31	0.5083	0.0320	0.2059	3	60.76	10.0099	0.0480	0.7500	5	7.49

ตารางที่ ง-14 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5044	0.0090	0.0794	3	23.60	10.0234	0.0400	0.6250	5	6.24	0.5026	0.0110	0.1111	3	33.16	10.0915	0.0430	0.6719	5	6.66
	2	0.5028	0.0080	0.0635	3	18.94	10.0080	0.0360	0.5625	5	5.62	0.5026	0.0100	0.0952	3	28.42	10.0058	0.0450	0.7031	5	7.03
	3	0.5074	0.0080	0.0635	3	18.77	10.0012	0.0360	0.5625	5	5.62	0.5085	0.0110	0.1111	3	32.78	10.1300	0.0410	0.6406	5	6.32
ชุดการทดลอง B	1	0.5051	0.0090	0.0794	3	23.57	10.0087	0.0330	0.5156	5	5.15	0.5047	0.0120	0.1270	3	37.74	10.0095	0.0410	0.6406	5	6.40
	2	0.5054	0.0120	0.1270	3	37.69	10.0168	0.0370	0.5781	5	5.77	0.5083	0.0120	0.1270	3	37.47	10.0120	0.0430	0.6719	5	6.71
	3	0.5089	0.0140	0.1587	3	46.79	10.0022	0.0410	0.6406	5	6.40	0.5065	0.0130	0.1429	3	42.31	10.0083	0.0490	0.7656	5	7.65
ชุดการทดลอง C	1	0.5073	0.0140	0.1587	3	46.93	10.0069	0.0370	0.5781	5	5.78	0.5028	0.0130	0.1429	3	42.62	10.0067	0.0454	0.7094	5	7.09
	2	0.5062	0.0140	0.1587	3	47.04	10.0089	0.0340	0.5313	5	5.31	0.5022	0.0130	0.1429	3	42.67	10.0095	0.0470	0.7344	5	7.34
	3	0.5004	0.0140	0.1587	3	47.58	10.0072	0.0360	0.5625	5	5.62	0.5054	0.0130	0.1429	3	42.40	10.0109	0.0474	0.7406	5	7.40
ชุดการทดลอง D	1	0.5031	0.0140	0.1587	3	47.33	10.0006	0.0390	0.6094	5	6.09	0.5020	0.0130	0.1429	3	42.69	10.0095	0.0472	0.7375	5	7.37
	2	0.5064	0.0140	0.1587	3	47.02	10.0099	0.0320	0.5000	5	5.00	0.5044	0.0130	0.1429	3	42.48	10.0080	0.0462	0.7219	5	7.21
	3	0.5013	0.0140	0.1587	3	47.50	10.0089	0.0580	0.9063	5	9.05	0.5009	0.0130	0.1429	3	42.78	10.0091	0.0460	0.7188	5	7.18
ชุดการทดลอง E	1	0.5005	0.0150	0.1746	3	52.33	10.0159	0.0470	0.7344	5	7.33	0.5033	0.0130	0.1429	3	42.58	10.0098	0.0453	0.7078	5	7.07
	2	0.5010	0.0140	0.1587	3	47.52	10.0099	0.0420	0.6563	5	6.56	0.5028	0.0130	0.1429	3	42.62	10.0027	0.0468	0.7313	5	7.31
	3	0.5057	0.0140	0.1587	3	47.08	10.0076	0.0410	0.6406	5	6.40	0.5076	0.0130	0.1429	3	42.22	10.0126	0.0457	0.7141	5	7.13

ตารางที่ ง-15 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5035	0.0062	0.0349	3	10.40	10.0056	0.0170	0.2656	5	2.65	0.5049	0.0070	0.0476	3	14.15	10.0097	0.0280	0.4375	5	4.37
	2	0.5024	0.0063	0.0365	3	10.90	10.0012	0.0120	0.1875	5	1.87	0.5015	0.0070	0.0476	3	14.24	10.0018	0.0290	0.4531	5	4.53
	3	0.5047	0.0065	0.0397	3	11.79	10.0015	0.0160	0.2500	5	2.50	0.5039	0.0080	0.0635	3	18.90	10.0060	0.0292	0.4563	5	4.56
ชุดการทดลอง B	1	0.5050	0.0069	0.0460	3	13.67	10.0018	0.0270	0.4219	5	4.22	0.5009	0.0080	0.0635	3	19.01	10.0059	0.0320	0.5000	5	5.00
	2	0.5073	0.0070	0.0476	3	14.08	10.0040	0.0220	0.3438	5	3.44	0.5010	0.0090	0.0794	3	23.76	10.0035	0.0280	0.4375	5	4.37
	3	0.5046	0.0070	0.0476	3	14.16	10.0012	0.0170	0.2656	5	2.66	0.5055	0.0100	0.0952	3	28.26	10.0096	0.0390	0.6094	5	6.09
ชุดการทดลอง C	1	0.5060	0.0100	0.0952	3	28.23	10.0050	0.0260	0.4063	5	4.06	0.5085	0.0110	0.1111	3	32.78	10.0072	0.0240	0.3750	5	3.75
	2	0.5082	0.0100	0.0952	3	28.11	10.0044	0.0190	0.2969	5	2.97	0.5044	0.0130	0.1429	3	42.48	10.0016	0.0260	0.4063	5	4.06
	3	0.5085	0.0100	0.0952	3	28.09	10.0003	0.0190	0.2969	5	2.97	0.5031	0.0110	0.1111	3	33.13	10.0086	0.0300	0.4688	5	4.68
ชุดการทดลอง D	1	0.5013	0.0100	0.0952	3	28.50	10.0003	0.0290	0.4531	5	4.53	0.5038	0.0110	0.1111	3	33.08	10.0036	0.0300	0.4688	5	4.69
	2	0.5067	0.0099	0.0937	3	27.72	10.0001	0.0330	0.5156	5	5.16	0.5074	0.0110	0.1111	3	32.85	10.0064	0.0460	0.7188	5	7.18
	3	0.5032	0.0100	0.0952	3	28.39	10.0035	0.0260	0.4063	5	4.06	0.5081	0.0140	0.1587	3	46.86	10.0033	0.0270	0.4219	5	4.22
ชุดการทดลอง E	1	0.5023	0.0140	0.1587	3	47.40	10.0096	0.0260	0.4063	5	4.06	0.5016	0.0110	0.1111	3	33.23	10.0080	0.0360	0.5625	5	5.62
	2	0.5020	0.0110	0.1111	3	33.20	10.0080	0.0210	0.3281	5	3.28	0.5042	0.0130	0.1429	3	42.50	10.0002	0.0380	0.5938	5	5.94
	3	0.5030	0.0120	0.1270	3	37.87	10.0020	0.0390	0.6094	5	6.09	0.5045	0.0150	0.1746	3	51.91	10.0015	0.0412	0.6438	5	6.44

ตารางที่ ง-16 ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Cu) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Avail. Cu) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Cu (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5023	0.0051	0.0175	3	5.21	10.0095	0.0250	0.3906	5	3.90	0.5044	0.0071	0.0498	3	14.82	10.0041	0.0270	0.4219	5	4.22
	2	0.5010	0.0051	0.0181	3	5.42	10.0015	0.0130	0.2031	5	2.03	0.5048	0.0071	0.0495	3	14.72	10.0030	0.0190	0.2969	5	2.97
	3	0.5032	0.0051	0.0179	3	5.35	10.0081	0.0180	0.2813	5	2.81	0.5080	0.0081	0.0656	3	19.36	10.0039	0.0380	0.5938	5	5.94
ชุดการทดลอง B	1	0.5043	0.0061	0.0340	3	10.10	10.0052	0.0250	0.3906	5	3.90	0.5014	0.0082	0.0659	3	19.71	10.0009	0.0200	0.3125	5	3.12
	2	0.5018	0.0061	0.0340	3	10.17	10.0024	0.0260	0.4063	5	4.06	0.5039	0.0091	0.0810	3	24.10	10.0049	0.0340	0.5313	5	5.31
	3	0.5056	0.0061	0.0340	3	10.08	10.0059	0.0220	0.3438	5	3.44	0.5063	0.0100	0.0952	3	28.22	10.0098	0.0390	0.6094	5	6.09
ชุดการทดลอง C	1	0.5024	0.0092	0.0817	3	24.41	10.0051	0.0210	0.3281	5	3.28	0.5075	0.0106	0.1048	3	30.96	10.0071	0.0380	0.5938	5	5.93
	2	0.5084	0.0092	0.0817	3	24.12	10.0034	0.0280	0.4375	5	4.37	0.5044	0.0107	0.1063	3	31.63	10.0036	0.0320	0.5000	5	5.00
	3	0.5025	0.0092	0.0817	3	24.40	10.0081	0.0210	0.3281	5	3.28	0.5039	0.0100	0.0952	3	28.35	10.0046	0.0290	0.4531	5	4.53
ชุดการทดลอง D	1	0.5019	0.0100	0.0952	3	28.46	10.0098	0.0210	0.3281	5	3.28	0.5077	0.0106	0.1048	3	30.95	10.0082	0.0390	0.6094	5	6.09
	2	0.5088	0.0100	0.0952	3	28.08	10.0072	0.0270	0.4219	5	4.22	0.5020	0.0109	0.1095	3	32.73	10.0041	0.0310	0.4844	5	4.84
	3	0.5063	0.0100	0.0952	3	28.22	10.0020	0.0320	0.5000	5	5.00	0.5045	0.0107	0.1063	3	31.62	10.0066	0.0340	0.5313	5	5.31
ชุดการทดลอง E	1	0.5018	0.0127	0.1381	3	41.28	10.0005	0.0360	0.5625	5	5.62	0.5023	0.0108	0.1079	3	32.23	10.0034	0.0320	0.5000	5	5.00
	2	0.5052	0.0120	0.1270	3	37.70	10.0014	0.0250	0.3906	5	3.91	0.5029	0.0108	0.1079	3	32.19	10.0058	0.0326	0.5094	5	5.09
	3	0.5040	0.0127	0.1381	3	41.10	10.0003	0.0300	0.4688	5	4.69	0.5030	0.0109	0.1095	3	32.66	10.0083	0.0428	0.6688	5	6.68

ตารางที่ ง-17 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินก่อนปลูกข้าว

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5031	0.0750	0.2667	3	79.51	10.0058	0.1800	1.5051	5	15.04	0.5081	0.0740	0.2583	3	76.26	10.0036	0.1364	1.0646	5	10.64
	2	0.5023	0.0751	0.2675	3	79.88	10.0049	0.1671	1.3751	5	13.74	0.5042	0.0741	0.2592	3	77.10	10.0245	0.1331	1.0313	5	10.29
	3	0.5038	0.0750	0.2667	3	79.40	10.0026	0.1662	1.3657	5	13.65	0.5026	0.0740	0.2583	3	77.10	10.0105	0.1294	0.9939	5	9.93
ชุดการทดลอง B	1	0.5035	0.0800	0.3083	3	91.86	10.0097	0.2790	2.5051	5	25.03	0.5025	0.0780	0.2917	3	87.06	10.0191	0.2580	2.2929	5	22.89
	2	0.5004	0.0800	0.3083	3	92.43	10.0042	0.2800	2.5152	5	25.14	0.5045	0.0780	0.2917	3	86.72	10.0067	0.2600	2.3131	5	23.12
	3	0.5007	0.0800	0.3083	3	92.37	10.0149	0.2800	2.5152	5	25.11	0.5043	0.0790	0.3000	3	89.23	10.0120	0.2630	2.3434	5	23.41
ชุดการทดลอง C	1	0.5038	0.0850	0.3500	3	104.21	10.0102	0.3920	3.6465	5	36.43	0.5042	0.0840	0.3417	3	101.65	10.0013	0.3240	2.9596	5	29.59
	2	0.5047	0.0852	0.3517	3	104.52	10.0045	0.3980	3.7071	5	37.05	0.5007	0.0850	0.3500	3	104.85	10.0037	0.3350	3.0707	5	30.70
	3	0.5030	0.0854	0.3533	3	105.37	10.0020	0.3950	3.6768	5	36.76	0.5035	0.0810	0.3167	3	94.34	10.0043	0.3460	3.1818	5	31.80
ชุดการทดลอง D	1	0.5022	0.0910	0.4000	3	119.47	10.0086	0.4950	4.6869	5	46.83	0.5057	0.0910	0.4000	3	118.65	10.0095	0.4516	4.2485	5	42.44
	2	0.5029	0.0890	0.3833	3	114.34	10.0003	0.4896	4.6323	5	46.32	0.5045	0.0920	0.4083	3	121.41	10.0018	0.4510	4.2424	5	42.42
	3	0.5028	0.0910	0.4000	3	119.33	10.0144	0.4910	4.6465	5	46.40	0.5032	0.0900	0.3917	3	116.75	10.0035	0.4680	4.4141	5	44.13
ชุดการทดลอง E	1	0.5061	0.0950	0.4333	3	128.43	10.0060	0.5850	5.5956	5	55.92	0.5063	0.0930	0.4167	3	123.44	10.0053	0.5380	5.1212	5	51.18
	2	0.5068	0.0930	0.4167	3	123.32	10.0177	0.5980	5.7273	5	57.17	0.5081	0.0950	0.4333	3	127.93	10.0115	0.5470	5.2121	5	52.06
	3	0.5036	0.0940	0.4250	3	126.59	10.0136	0.5830	5.5759	5	55.68	0.5083	0.0960	0.4417	3	130.34	10.0099	0.5426	5.1677	5	51.63

ตารางที่ ง-18 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5044	0.0700	0.2250	3	66.91	10.0234	0.1506	1.2081	5	12.05	0.5026	0.0720	0.2417	3	72.12	10.0915	0.1258	0.9576	5	9.49
	2	0.5028	0.0690	0.2167	3	64.64	10.0080	0.1532	1.2339	5	12.33	0.5026	0.0710	0.2333	3	69.64	10.0058	0.1239	0.9384	5	9.38
	3	0.5074	0.0690	0.2167	3	64.05	10.0012	0.1533	1.2351	5	12.35	0.5085	0.0700	0.2250	3	66.37	10.1300	0.1242	0.9414	5	9.29
ชุดการทดลอง B	1	0.5051	0.0720	0.2417	3	71.77	10.0087	0.2644	2.3576	5	23.56	0.5047	0.0790	0.3000	3	89.16	10.0095	0.2403	2.1141	5	21.12
	2	0.5054	0.0750	0.2667	3	79.15	10.0168	0.2800	2.5152	5	25.11	0.5083	0.0750	0.2667	3	78.69	10.0120	0.2409	2.1202	5	21.18
	3	0.5089	0.0740	0.2583	3	76.14	10.0022	0.2560	2.2727	5	22.72	0.5065	0.0770	0.2833	3	83.91	10.0083	0.2411	2.1222	5	21.20
ชุดการทดลอง C	1	0.5073	0.0810	0.3167	3	93.63	10.0069	0.3490	3.2121	5	32.10	0.5028	0.0820	0.3250	3	96.96	10.0067	0.3120	2.8384	5	28.36
	2	0.5062	0.0810	0.3167	3	93.84	10.0089	0.3440	3.1616	5	31.59	0.5022	0.0830	0.3333	3	99.56	10.0095	0.3150	2.8686	5	28.66
	3	0.5004	0.0810	0.3167	3	94.92	10.0072	0.3460	3.1818	5	31.80	0.5054	0.0810	0.3167	3	93.98	10.0109	0.3140	2.8589	5	28.56
ชุดการทดลอง D	1	0.5031	0.0890	0.3833	3	114.29	10.0006	0.4633	4.3667	5	43.66	0.5020	0.0890	0.3833	3	114.54	10.0095	0.4421	4.1525	5	41.49
	2	0.5064	0.0850	0.3500	3	103.67	10.0099	0.4672	4.4061	5	44.02	0.5044	0.0890	0.3833	3	114.00	10.0080	0.4315	4.0455	5	40.42
	3	0.5013	0.0870	0.3667	3	109.71	10.0089	0.4632	4.3657	5	43.62	0.5009	0.0880	0.3750	3	112.30	10.0091	0.4516	4.2485	5	42.45
ชุดการทดลอง E	1	0.5005	0.0920	0.4083	3	122.38	10.0159	0.5724	5.4687	5	54.60	0.5033	0.0950	0.4333	3	129.15	10.0098	0.5140	4.8788	5	48.74
	2	0.5010	0.0910	0.4000	3	119.76	10.0099	0.5691	5.4354	5	54.30	0.5028	0.0930	0.4167	3	124.30	10.0027	0.5141	4.8793	5	48.78
	3	0.5057	0.0920	0.4083	3	121.12	10.0076	0.5692	5.4364	5	54.32	0.5076	0.0910	0.4000	3	118.20	10.0126	0.5135	4.8732	5	48.67

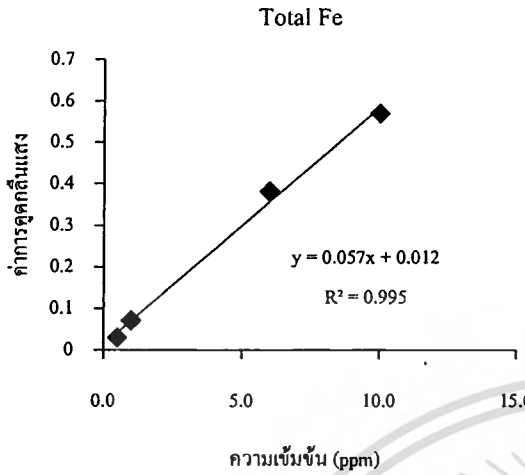
ตารางที่ ง-19 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5035	0.0700	0.2250	3	67.03	10.0056	0.1509	1.2111	5	12.10	0.5049	0.0710	0.2333	3	69.32	10.0097	0.1239	0.9384	5	9.37
	2	0.5024	0.0700	0.2250	3	67.18	10.0012	0.1504	1.2061	5	12.06	0.5015	0.0710	0.2333	3	69.79	10.0018	0.1259	0.9586	5	9.58
	3	0.5047	0.0680	0.2083	3	61.92	10.0015	0.1502	1.2040	5	12.04	0.5039	0.0700	0.2250	3	66.98	10.0060	0.1329	1.0293	5	10.29
ชุดการทดลอง B	1	0.5050	0.0740	0.2583	3	76.73	10.0018	0.2600	2.3131	5	23.13	0.5009	0.0730	0.2500	3	74.87	10.0059	0.2343	2.0535	5	20.52
	2	0.5073	0.0720	0.2417	3	71.46	10.0040	0.2635	2.3485	5	23.48	0.5010	0.0740	0.2583	3	77.35	10.0035	0.2390	2.1010	5	21.00
	3	0.5046	0.0710	0.2333	3	69.36	10.0012	0.2779	2.4939	5	24.94	0.5055	0.0750	0.2667	3	79.13	10.0096	0.2344	2.0545	5	20.53
ชุดการทดลอง C	1	0.5060	0.0800	0.3083	3	91.40	10.0050	0.3390	3.1111	5	31.10	0.5085	0.0790	0.3000	3	88.50	10.0072	0.3146	2.8646	5	28.63
	2	0.5082	0.0790	0.3000	3	88.55	10.0044	0.3380	3.1011	5	31.00	0.5044	0.0810	0.3167	3	94.17	10.0016	0.3182	2.9010	5	29.01
	3	0.5085	0.0780	0.2917	3	86.04	10.0003	0.3460	3.1818	5	31.82	0.5031	0.0800	0.3083	3	91.93	10.0086	0.3114	2.8323	5	28.30
ชุดการทดลอง D	1	0.5013	0.0810	0.3167	3	94.75	10.0003	0.4739	4.4737	5	44.74	0.5038	0.0850	0.3500	3	104.21	10.0036	0.4397	4.1283	5	41.27
	2	0.5067	0.0800	0.3083	3	91.28	10.0001	0.4400	4.1313	5	41.31	0.5074	0.0870	0.3667	3	108.40	10.0064	0.4315	4.0455	5	40.43
	3	0.5032	0.0870	0.3667	3	109.30	10.0035	0.4610	4.3434	5	43.42	0.5081	0.0860	0.3583	3	105.79	10.0033	0.4250	3.9798	5	39.78
ชุดการทดลอง E	1	0.5023	0.0920	0.4083	3	121.94	10.0096	0.5690	5.4343	5	54.29	0.5016	0.0940	0.4250	3	127.09	10.0080	0.5050	4.7879	5	47.84
	2	0.5020	0.0940	0.4250	3	126.99	10.0080	0.5704	5.4485	5	54.44	0.5042	0.0910	0.4000	3	119.00	10.0002	0.5158	4.8970	5	48.97
	3	0.5030	0.0910	0.4000	3	119.28	10.0020	0.5708	5.4525	5	54.51	0.5045	0.0920	0.4083	3	121.41	10.0015	0.5131	4.8693	5	48.69

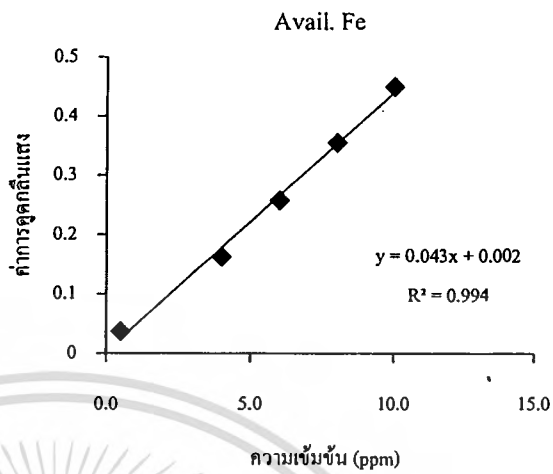
ตารางที่ ง-20 ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn) และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Avail. Mn) ในดินหลังปลูกข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Avail. Mn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	0.5023	0.0680	0.2083	3	62.21	10.0095	0.1575	1.2778	5	12.77	0.5044	0.0700	0.2250	3	66.91	10.0041	0.1247	0.9460	5	9.46
	2	0.5010	0.0700	0.2250	3	67.37	10.0015	0.1500	1.2020	5	12.02	0.5048	0.0680	0.2083	3	61.91	10.0030	0.1259	0.9586	5	9.58
	3	0.5032	0.0700	0.2250	3	67.07	10.0081	0.1511	1.2131	5	12.12	0.5080	0.0670	0.2000	3	59.06	10.0039	0.1261	0.9606	5	9.60
ชุดการทดลอง B	1	0.5043	0.0730	0.2500	3	74.36	10.0052	0.2608	2.3212	5	23.20	0.5014	0.0730	0.2500	3	74.79	10.0009	0.2387	2.0980	5	20.98
	2	0.5018	0.0710	0.2333	3	69.75	10.0024	0.2580	2.2929	5	22.92	0.5039	0.0720	0.2417	3	71.94	10.0049	0.2337	2.0475	5	20.46
	3	0.5056	0.0730	0.2500	3	74.17	10.0059	0.2670	2.3838	5	23.82	0.5063	0.0700	0.2250	3	66.66	10.0098	0.2200	1.9091	5	19.07
ชุดการทดลอง C	1	0.5024	0.0750	0.2667	3	79.62	10.0051	0.3360	3.0808	5	30.79	0.5075	0.0790	0.3000	3	88.67	10.0071	0.3137	2.8558	5	28.54
	2	0.5084	0.0740	0.2583	3	76.22	10.0034	0.3440	3.1616	5	31.61	0.5044	0.0800	0.3083	3	91.69	10.0036	0.3135	2.8534	5	28.52
	3	0.5025	0.0780	0.2917	3	87.06	10.0081	0.3160	2.8788	5	28.76	0.5039	0.0780	0.2917	3	86.82	10.0046	0.3136	2.8545	5	28.53
ชุดการทดลอง D	1	0.5019	0.0820	0.3250	3	97.13	10.0098	0.4622	4.3556	5	43.51	0.5077	0.0840	0.3417	3	100.95	10.0082	0.4300	4.0303	5	40.27
	2	0.5088	0.0840	0.3417	3	100.73	10.0072	0.4627	4.3606	5	43.57	0.5020	0.0830	0.3333	3	99.60	10.0041	0.4153	3.8818	5	38.80
	3	0.5063	0.0820	0.3250	3	96.29	10.0020	0.4670	4.4040	5	44.03	0.5045	0.0820	0.3250	3	96.63	10.0066	0.4270	4.0000	5	39.97
ชุดการทดลอง E	1	0.5018	0.0880	0.3750	3	112.10	10.0005	0.5650	5.3939	5	53.94	0.5023	0.0842	0.3433	3	102.53	10.0034	0.4680	4.4141	5	44.13
	2	0.5052	0.0890	0.3833	3	113.82	10.0014	0.5690	5.4343	5	54.34	0.5029	0.0890	0.3833	3	114.34	10.0058	0.4580	4.3131	5	43.11
	3	0.5040	0.0870	0.3667	3	109.13	10.0003	0.5600	5.3434	5	53.43	0.5030	0.0900	0.3917	3	116.80	10.0083	0.4900	4.6364	5	46.33

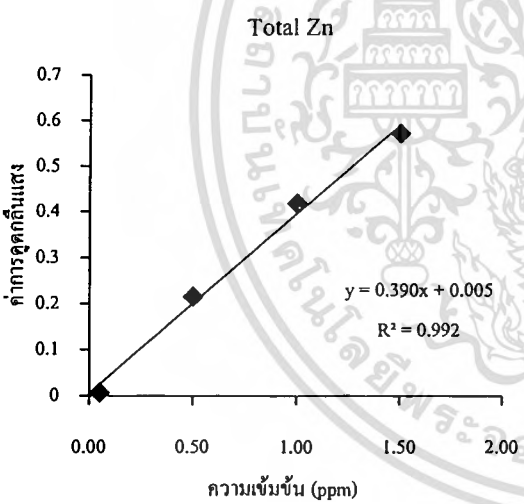
กราฟมาตรฐานโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน



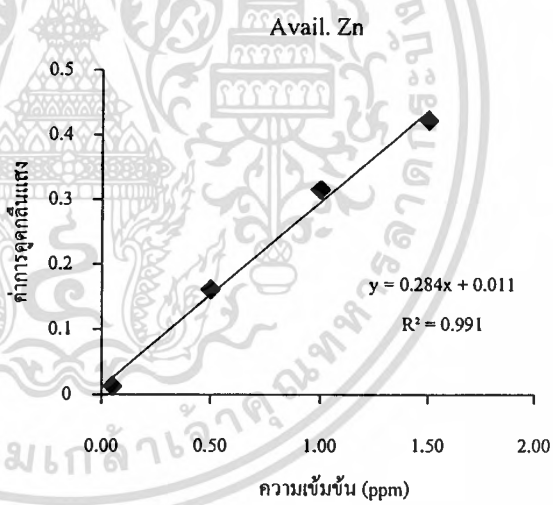
รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานของเหล็กทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน



รูปที่ ง-2 กราฟมาตรฐานของเหล็กที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน

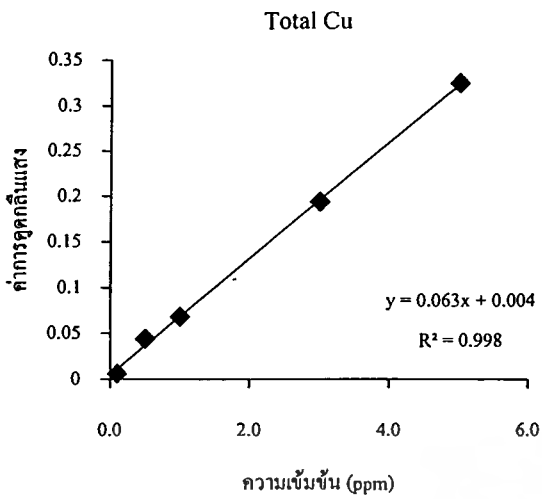


รูปที่ ง-3 กราฟมาตรฐานของสังกะสีทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน

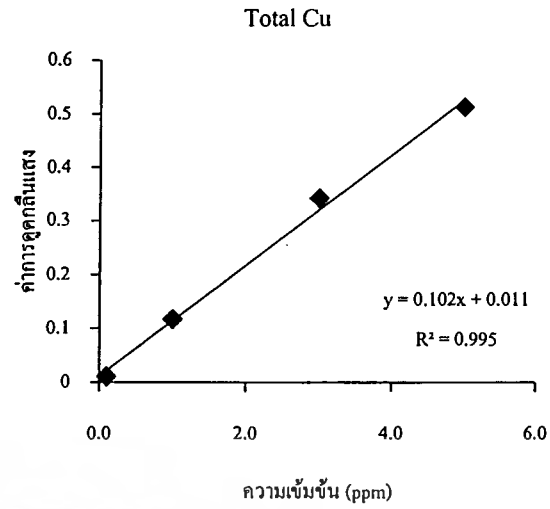


รูปที่ ง-4 กราฟมาตรฐานของสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน

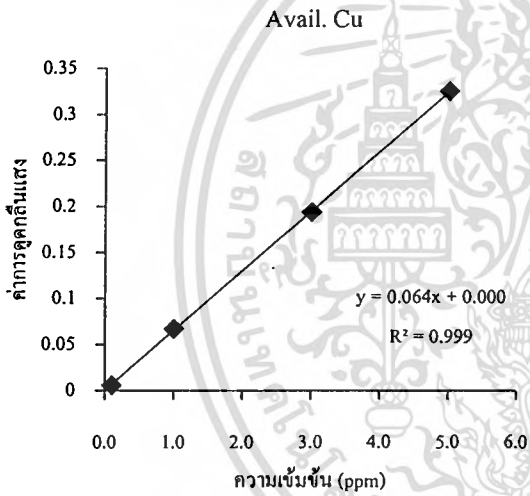
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



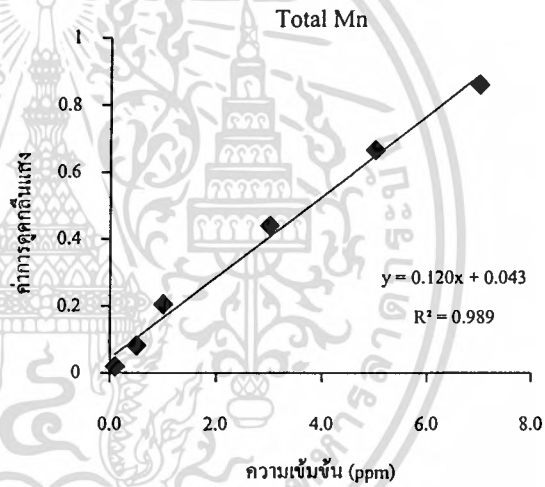
รูปที่ ง-5 กราฟมาตรฐานของทองแดงทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย



รูปที่ ง-6 กราฟมาตรฐานของทองแดงทั้งหมดในดิน

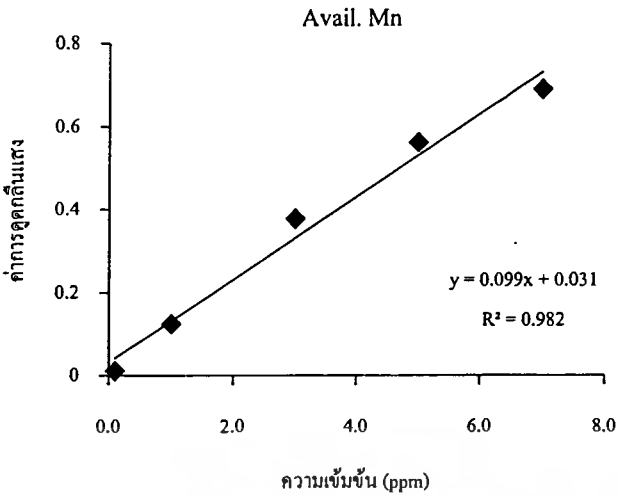


รูปที่ ง-7 กราฟมาตรฐานของทองแดงที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน



รูปที่ ง-8 กราฟมาตรฐานของแมงกานีสทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-9 กราฟมาตรฐานของแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย และดิน

ตัวอย่างการคำนวณโลหะหนักทั้งหมด

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ

จากกราฟมาตรฐานเหล็กทั้งหมด (รูปที่ ง-1) ได้สมการดังนี้

$$y = 0.057x + 0.012$$

แทนค่า y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.5880 จะได้ x = 10.1053 เพราะฉะนั้น กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 10.1053 ppm (mg/L)

2. หาปริมาณเหล็กทั้งหมด (mg/kg) ในกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1

จากค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้ (ข้อ 1) กากตะกอนน้ำเสีย มีความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 10.1053 ppm (mg/L) คือ

ในสารละลาย 1,000 ml มีเหล็กทั้งหมดอยู่ 10.1053 mg

ถ้าสารละลาย 50 ml จะมีเหล็กทั้งหมดอยู่ $\frac{10.1053 \times 50 \times 1\ (\text{เท่า})}{1,000} = 0.5052$ mg

เมื่อกากตะกอนน้ำเสียมีน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 0.5048 g ดังนั้น

ในกากตะกอนน้ำเสีย 0.5048 g มีเหล็กทั้งหมดอยู่ 0.5052 mg

ถ้าในกากตะกอนน้ำเสีย 1,000 g จะมีเหล็กทั้งหมดอยู่ $\frac{0.5052 \times 1,000}{0.5048}$

$= 1,000.92$ mg/kg

****สารตัวอย่าง (กากตะกอนน้ำเสีย และดิน) และโลหะหนักตัวอื่น คำนวณในลักษณะเดียวกัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณโลหะหนักที่เป็นประโยชน์

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ

จากกราฟมาตรฐานเหล็กที่เป็นประโยชน์ (รูปที่ ง-2) ได้สมการดังนี้

$$y = 0.043x + 0.002$$

แทนค่า y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.4940 จะได้ x = 11.4419 เพราะฉะนั้น กากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของเหล็กที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 11.4419 ppm (mg/L)

2. หาปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ (mg/kg) ในกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1

จากค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้ (ข้อ 1) กากตะกอนน้ำเสีย มีความเข้มข้นของเหล็กที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 11.4419 ppm (mg/L) คือ

ในสารละลาย 1,000 ml มีเหล็กที่เป็นประโยชน์ อยู่ 11.4419 mg

ถ้าสารละลาย 20 ml จะมีเหล็กที่เป็นประโยชน์ อยู่ $\frac{11.4419 \times 20 \times 5 \text{ (เท่า)}}{1,000}$

$= 1.1442$ mg

เมื่อกากตะกอนน้ำเสียมีน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 10.0668 g ดังนั้น

ในกากตะกอนน้ำเสีย 10.0668 g มีเหล็กที่เป็นประโยชน์อยู่ 1.1442 mg

ถ้าในกากตะกอนน้ำเสีย 1,000 g จะมีเหล็กที่เป็นประโยชน์อยู่ $\frac{1.1442 \times 1,000}{10.0668}$

$= 113.66$ mg/kg

ดังนั้นในกากตะกอนน้ำเสีย ครั้งที่ 1 มีเหล็กทั้งหมดอยู่ 113.66 mg/kg

**สารตัวอย่าง และโลหะหนักทั้งหมดตัวอื่น คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-1 ปริมาณเหล็กในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.1009	0.0660	0.5574	3	75.94	1.0200	0.3460	5.1475	3	756.99	1.0850	0.0686	0.6000	3	82.95	1.0000	0.2440	3.4754	3	521.31
	2	1.0643	0.0660	0.5574	3	78.56	1.0100	0.3100	4.5574	3	676.84	1.0478	0.0674	0.5803	3	83.08	1.0200	0.2530	3.6230	3	532.79
	3	1.0156	0.0680	0.5902	3	87.16	1.0000	0.3212	4.7410	3	711.15	1.0294	0.0670	0.5738	3	83.61	1.0100	0.2580	3.7049	3	550.24
ชุดการทดลอง B	1	1.0253	0.0680	0.5902	3	86.34	1.0000	0.3630	5.4262	3	813.93	1.0219	0.0685	0.5984	3	87.83	1.0000	0.2760	4.0000	3	600.00
	2	1.0650	0.0670	0.5738	3	80.81	1.0000	0.3661	5.4770	3	821.56	1.0164	0.0686	0.5992	3	88.43	1.0000	0.2750	3.9836	3	597.54
	3	1.0689	0.0673	0.5787	3	81.21	1.0200	0.3787	5.6836	3	835.82	1.0608	0.0682	0.5934	3	83.91	1.0100	0.2810	4.0820	3	606.23
ชุดการทดลอง C	1	1.1111	0.0694	0.6131	3	82.77	1.0000	0.4060	6.1311	3	919.67	1.0719	0.0690	0.6066	3	84.88	1.0000	0.2990	4.3770	3	656.56
	2	1.0867	0.0696	0.6164	3	85.08	1.0000	0.4266	6.4689	3	970.33	1.0429	0.0690	0.6066	3	87.24	1.0100	0.2660	3.8361	3	569.71
	3	1.0718	0.0693	0.6115	3	85.58	1.0100	0.4373	6.6443	3	986.77	1.0595	0.0690	0.6066	3	85.87	1.0100	0.2850	4.1475	3	615.97
ชุดการทดลอง D	1	1.0693	0.0701	0.6246	3	87.62	1.0100	0.4180	6.3279	3	939.78	1.0476	0.0700	0.6230	3	89.20	1.0100	0.2930	4.2787	3	635.45
	2	1.0543	0.0709	0.6377	3	90.73	1.0100	0.4320	6.5574	3	973.87	1.0325	0.0709	0.6377	3	92.64	1.0000	0.3200	4.7213	3	708.20
	3	1.0289	0.0703	0.6279	3	91.53	1.0300	0.4355	6.6148	3	963.31	1.0211	0.0708	0.6361	3	93.44	1.0200	0.2910	4.2459	3	624.40
ชุดการทดลอง E	1	1.0181	0.0710	0.6393	3	94.20	1.0100	0.4480	6.8197	3	1,012.82	1.0305	0.0715	0.6475	3	94.26	1.0200	0.3640	5.4426	3	800.39
	2	1.0280	0.0730	0.6721	3	98.07	1.0200	0.4470	6.8033	3	1,000.48	1.0275	0.0715	0.6475	3	94.53	1.0100	0.3630	5.4262	3	805.88
	3	1.0158	0.0710	0.6393	3	94.41	1.0300	0.4410	6.7049	3	976.44	1.0275	0.0712	0.6426	3	93.81	1.1000	0.3640	5.4426	3	742.18

ตารางที่ จ-2 ปริมาณเหล็กในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0034	0.0660	0.5574	3	83.32	1.0046	0.3600	5.3770	3	802.86	1.0041	0.0642	0.5284	3	78.93	1.0055	0.2490	3.5574	3	530.69
	2	1.0086	0.0650	0.5410	3	80.46	1.0029	0.3890	5.8525	3	875.33	1.0015	0.0652	0.5443	3	81.52	1.0015	0.2470	3.5246	3	527.90
	3	1.0073	0.0671	0.5754	3	85.69	1.0099	0.3810	5.7213	3	849.78	1.0053	0.0648	0.5377	3	80.23	1.0001	0.2440	3.4754	3	521.26
ชุดการทดลอง B	1	1.0027	0.0690	0.6066	3	90.74	1.0064	0.3500	5.2131	3	776.99	1.0092	0.0653	0.5459	3	81.14	1.0001	0.2864	4.1705	3	625.51
	2	1.0047	0.0690	0.6066	3	90.56	1.0097	0.2840	4.1311	3	613.72	1.0000	0.0669	0.5721	3	85.82	1.0077	0.2862	4.1672	3	620.31
	3	1.0031	0.0680	0.5902	3	88.25	1.0039	0.2430	3.4590	3	516.84	1.0013	0.0653	0.5459	3	81.78	1.0034	0.2861	4.1656	3	622.72
ชุดการทดลอง C	1	1.0075	0.0700	0.6230	3	92.75	1.0087	0.3350	4.9672	3	738.66	1.0085	0.0685	0.5984	3	89.00	1.0023	0.3010	4.4098	3	659.96
	2	1.0027	0.0680	0.5902	3	88.29	1.0093	0.3080	4.5246	3	672.43	1.0037	0.0676	0.5836	3	87.22	1.0046	0.3150	4.6393	3	692.72
	3	1.0010	0.0690	0.6066	3	90.89	1.0086	0.2410	3.4262	3	509.55	1.0083	0.0672	0.5770	3	85.84	1.0011	0.3090	4.5410	3	680.40
ชุดการทดลอง D	1	1.0001	0.0707	0.6343	3	95.13	1.0005	0.3180	4.6885	3	702.93	1.0075	0.0685	0.5984	3	89.09	1.0086	0.3270	4.8361	3	719.22
	2	1.0095	0.0706	0.6328	3	94.02	1.0090	0.3120	4.5902	3	682.38	1.0006	0.0699	0.6213	3	93.14	1.0038	0.3370	5.0000	3	747.16
	3	1.0082	0.0693	0.6115	3	90.98	1.0071	0.3160	4.6557	3	693.44	1.0083	0.0692	0.6098	3	90.72	1.0085	0.3350	4.9672	3	738.80
ชุดการทดลอง E	1	1.0076	0.0715	0.6469	3	96.30	1.0035	0.3260	4.8197	3	720.43	1.0081	0.0713	0.6443	3	95.86	1.0019	0.3500	5.2131	3	780.48
	2	1.0006	0.0718	0.6525	3	97.81	1.0019	0.3280	4.8525	3	726.49	1.0079	0.0715	0.6467	3	96.25	1.0035	0.3520	5.2459	3	784.14
	3	1.0032	0.0716	0.6492	3	97.07	1.0031	0.3200	4.7213	3	706.01	1.0060	0.0718	0.6530	3	97.36	1.0017	0.3620	5.4098	3	810.10

ตารางที่ จ-3 ปริมาณเหล็กในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	คินนาสมุทรปราการ										คินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Fe (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0048	0.0671	0.5754	3	85.90	1.0074	0.3090	4.5410	3	676.14	1.0059	0.0670	0.5738	3	85.56	1.0037	0.3150	4.6393	3	693.34
	2	1.0066	0.0680	0.5902	3	87.94	1.0020	0.2850	4.1475	3	620.89	1.0050	0.0680	0.5902	3	88.08	1.0057	0.3970	5.9836	3	892.45
	3	1.0055	0.0660	0.5574	3	83.15	1.0042	0.2990	4.3770	3	653.81	1.0050	0.0650	0.5410	3	80.74	1.0072	0.3310	4.9016	3	729.99
ชุดการทดลอง B	1	1.0012	0.0690	0.6066	3	90.87	1.0012	0.2970	4.3443	3	650.86	1.0073	0.0682	0.5934	3	88.37	1.0039	0.3250	4.8033	3	717.69
	2	1.0064	0.0700	0.6230	3	92.85	1.0001	0.3120	4.5902	3	688.46	1.0032	0.0683	0.5951	3	88.98	1.0046	0.3980	6.0000	3	895.88
	3	1.0077	0.0680	0.5902	3	87.85	1.0012	0.2460	3.5082	3	525.60	1.0040	0.0670	0.5738	3	85.72	1.0064	0.3990	6.0164	3	896.72
ชุดการทดลอง C	1	1.0071	0.0702	0.6264	3	93.30	1.0019	0.2940	4.2951	3	643.04	1.0043	0.0690	0.6066	3	90.59	1.0014	0.4360	6.6230	3	992.05
	2	1.0063	0.0704	0.6292	3	93.79	1.0092	0.3000	4.3934	3	653.01	1.0029	0.0700	0.6230	3	93.17	1.0050	0.3490	5.1967	3	775.63
	3	1.0023	0.0705	0.6310	3	94.43	1.0020	0.3130	4.6066	3	689.60	1.0009	0.0680	0.5902	3	88.44	1.0082	0.4200	6.3607	3	946.34
ชุดการทดลอง D	1	1.0055	0.0716	0.6492	3	96.84	1.0007	0.3277	4.8475	3	726.62	1.0036	0.0710	0.6393	3	95.56	1.0043	0.4010	6.0492	3	903.49
	2	1.0043	0.0712	0.6426	3	95.98	1.0071	0.3030	4.4426	3	661.70	1.0068	0.0716	0.6492	3	96.72	1.0072	0.4050	6.1148	3	910.66
	3	1.0098	0.0718	0.6530	3	96.99	1.0057	0.3110	4.5738	3	682.18	1.0009	0.0715	0.6468	3	96.93	1.0094	0.4080	6.1639	3	915.98
ชุดการทดลอง E	1	1.0052	0.0725	0.6633	3	98.98	1.0039	0.3231	4.7721	3	713.04	1.0012	0.0715	0.6469	3	96.92	1.0096	0.4130	6.2459	3	927.98
	2	1.0062	0.0725	0.6635	3	98.92	1.0003	0.3210	4.7377	3	710.44	1.0053	0.0716	0.6497	3	96.94	1.0051	0.4170	6.3115	3	941.92
	3	1.0043	0.0725	0.6633	3	99.07	1.0054	0.3294	4.8754	3	727.38	1.0095	0.0716	0.6493	3	96.49	1.0007	0.3910	5.8852	3	882.17

ตารางที่ จ-4 ปริมาณสังกะสีในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.1009	0.0149	0.0254	3	3.46	1.0200	0.0660	0.1564	3	23.00	1.0850	0.0147	0.0249	3	3.44	1.0000	0.0813	0.1956	3	29.35
	2	1.0643	0.0165	0.0295	3	4.16	1.0100	0.0710	0.1692	3	25.13	1.0478	0.0133	0.0213	3	3.05	1.0200	0.0821	0.1977	3	29.07
	3	1.0156	0.0141	0.0233	3	3.45	1.0000	0.0763	0.1828	3	27.42	1.0294	0.0157	0.0274	3	4.00	1.0100	0.0817	0.1967	3	29.21
ชุดการทดลอง B	1	1.0253	0.0204	0.0395	3	5.78	1.0000	0.0748	0.1790	3	26.85	1.0219	0.0166	0.0297	3	4.37	1.0000	0.0821	0.1977	3	29.65
	2	1.0650	0.0196	0.0374	3	5.27	1.0000	0.0715	0.1705	3	25.58	1.0164	0.0165	0.0295	3	4.35	1.0000	0.0830	0.2000	3	30.00
	3	1.0689	0.0144	0.0241	3	3.38	1.0200	0.0770	0.1846	3	27.15	1.0608	0.0165	0.0295	3	4.17	1.0100	0.0831	0.2003	3	29.74
ชุดการทดลอง C	1	1.1111	0.0193	0.0367	3	4.95	1.0000	0.0782	0.1877	3	28.15	1.0719	0.0224	0.0446	3	6.24	1.0000	0.0863	0.2085	3	31.27
	2	1.0867	0.0228	0.0456	3	6.30	1.0000	0.0787	0.1890	3	28.35	1.0429	0.0246	0.0503	3	7.23	1.0100	0.0868	0.2097	3	31.15
	3	1.0718	0.0207	0.0403	3	5.63	1.0100	0.0789	0.1895	3	28.14	1.0595	0.0245	0.0500	3	7.08	1.0100	0.0875	0.2115	3	31.42
ชุดการทดลอง D	1	1.0693	0.0272	0.0569	3	7.99	1.0100	0.0831	0.2003	3	29.74	1.0476	0.0209	0.0408	3	5.84	1.0100	0.0878	0.2123	3	31.53
	2	1.0543	0.0246	0.0503	3	7.15	1.0100	0.0830	0.2000	3	29.70	1.0325	0.0234	0.0472	3	6.85	1.0000	0.0881	0.2131	3	31.96
	3	1.0289	0.0252	0.0518	3	7.55	1.0300	0.0840	0.2026	3	29.50	1.0211	0.0244	0.0497	3	7.31	1.0200	0.0876	0.2118	3	31.15
ชุดการทดลอง E	1	1.0181	0.0288	0.0610	3	8.99	1.0100	0.0830	0.2000	3	29.70	1.0305	0.0251	0.0515	3	7.50	1.0200	0.0891	0.2156	3	31.71
	2	1.0280	0.0213	0.0418	3	6.10	1.0200	0.0840	0.2026	3	29.79	1.0275	0.0244	0.0497	3	7.26	1.0100	0.0888	0.2149	3	31.91
	3	1.0158	0.0300	0.0641	3	9.47	1.0300	0.0850	0.2051	3	29.87	1.0275	0.0261	0.0541	3	7.90	1.1000	0.0891	0.2156	3	29.41

ตารางที่ จ-5 ปริมาณสังกะสีในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0034	0.0120	0.0179	3	2.68	1.0046	0.0660	0.1564	3	23.35	1.0041	0.0150	0.0256	3	3.83	1.0055	0.0804	0.1934	3	28.85
	2	1.0086	0.0121	0.0182	3	2.71	1.0029	0.0650	0.1538	3	23.01	1.0015	0.0111	0.0156	3	2.34	1.0015	0.0802	0.1927	3	28.86
	3	1.0073	0.0190	0.0359	3	5.35	1.0099	0.0653	0.1546	3	22.96	1.0053	0.0187	0.0351	3	5.24	1.0001	0.0805	0.1937	3	29.05
ชุดการทดลอง B	1	1.0027	0.0150	0.0256	3	3.84	1.0064	0.0680	0.1615	3	24.08	1.0092	0.0188	0.0353	3	5.24	1.0001	0.0820	0.1974	3	29.61
	2	1.0047	0.0150	0.0256	3	3.83	1.0097	0.0650	0.1538	3	22.86	1.0000	0.0197	0.0376	3	5.63	1.0077	0.0800	0.1923	3	28.63
	3	1.0031	0.0160	0.0282	3	4.22	1.0039	0.0640	0.1513	3	22.60	1.0013	0.0155	0.0268	3	4.02	1.0034	0.0801	0.1926	3	28.80
ชุดการทดลอง C	1	1.0075	0.0150	0.0256	3	3.82	1.0087	0.0650	0.1538	3	22.88	1.0085	0.0160	0.0282	3	4.20	1.0023	0.0830	0.2000	3	29.93
	2	1.0027	0.0180	0.0333	3	4.99	1.0093	0.0720	0.1718	3	25.53	1.0037	0.0250	0.0513	3	7.66	1.0046	0.0837	0.2018	3	30.13
	3	1.0010	0.0195	0.0372	3	5.57	1.0086	0.0730	0.1744	3	25.93	1.0083	0.0250	0.0513	3	7.63	1.0011	0.0830	0.2000	3	29.97
ชุดการทดลอง D	1	1.0001	0.0188	0.0354	3	5.31	1.0005	0.0750	0.1795	3	26.91	1.0075	0.0275	0.0577	3	8.59	1.0086	0.0875	0.2115	3	31.46
	2	1.0095	0.0180	0.0333	3	4.95	1.0090	0.0710	0.1692	3	25.16	1.0006	0.0280	0.0590	3	8.84	1.0038	0.0860	0.2077	3	31.04
	3	1.0082	0.0195	0.0372	3	5.53	1.0071	0.0770	0.1846	3	27.50	1.0083	0.0288	0.0610	3	9.08	1.0085	0.0883	0.2136	3	31.77
ชุดการทดลอง E	1	1.0076	0.0196	0.0374	3	5.57	1.0035	0.0785	0.1885	3	28.17	1.0081	0.0294	0.0626	3	9.31	1.0019	0.0881	0.2131	3	31.90
	2	1.0006	0.0195	0.0371	3	5.56	1.0019	0.0781	0.1874	3	28.06	1.0079	0.0293	0.0623	3	9.27	1.0035	0.0879	0.2126	3	31.77
	3	1.0032	0.0193	0.0367	3	5.48	1.0031	0.0785	0.1885	3	28.18	1.0060	0.0287	0.0608	3	9.06	1.0017	0.0890	0.2154	3	32.25

ตารางที่ จ-6 ปริมาณสังกะสีในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Zn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0048	0.0136	0.0221	3	3.29	1.0074	0.0640	0.1513	3	22.53	1.0059	0.0130	0.0205	3	3.06	1.0037	0.0741	0.1772	3	26.48
	2	1.0066	0.0126	0.0195	3	2.90	1.0020	0.0520	0.1205	3	18.04	1.0050	0.0145	0.0244	3	3.64	1.0057	0.0739	0.1767	3	26.35
	3	1.0055	0.0126	0.0195	3	2.91	1.0042	0.0610	0.1436	3	21.45	1.0050	0.0150	0.0256	3	3.83	1.0072	0.0700	0.1667	3	24.82
ชุดการทดลอง B	1	1.0012	0.0130	0.0205	3	3.07	1.0012	0.0650	0.1538	3	23.05	1.0073	0.0190	0.0359	3	5.35	1.0039	0.0710	0.1692	3	25.29
	2	1.0064	0.0132	0.0210	3	3.13	1.0001	0.0640	0.1513	3	22.69	1.0032	0.0195	0.0372	3	5.56	1.0046	0.0730	0.1744	3	26.04
	3	1.0077	0.0130	0.0205	3	3.05	1.0012	0.0710	0.1692	3	25.35	1.0040	0.0184	0.0344	3	5.13	1.0064	0.0720	0.1718	3	25.61
ชุดการทดลอง C	1	1.0071	0.0144	0.0241	3	3.59	1.0019	0.0720	0.1718	3	25.72	1.0043	0.0240	0.0487	3	7.28	1.0014	0.0723	0.1726	3	25.85
	2	1.0063	0.0135	0.0218	3	3.25	1.0092	0.0710	0.1692	3	25.15	1.0029	0.0201	0.0387	3	5.79	1.0050	0.0745	0.1782	3	26.60
	3	1.0023	0.0134	0.0215	3	3.22	1.0020	0.0700	0.1667	3	24.95	1.0009	0.0192	0.0364	3	5.46	1.0082	0.0745	0.1782	3	26.51
ชุดการทดลอง D	1	1.0055	0.0174	0.0318	3	4.74	1.0007	0.0720	0.1718	3	25.75	1.0036	0.0190	0.0359	3	5.37	1.0043	0.0803	0.1931	3	28.84
	2	1.0043	0.0182	0.0339	3	5.07	1.0071	0.0740	0.1769	3	26.35	1.0068	0.0201	0.0387	3	5.77	1.0072	0.0807	0.1940	3	28.89
	3	1.0098	0.0165	0.0295	3	4.38	1.0057	0.0721	0.1721	3	25.66	1.0009	0.0214	0.0421	3	6.30	1.0094	0.0809	0.1945	3	28.90
ชุดการทดลอง E	1	1.0052	0.0154	0.0267	3	3.98	1.0039	0.0781	0.1874	3	28.01	1.0012	0.0220	0.0436	3	6.53	1.0096	0.0870	0.2103	3	31.24
	2	1.0062	0.0198	0.0379	3	5.66	1.0003	0.0781	0.1874	3	28.11	1.0053	0.0231	0.0464	3	6.92	1.0051	0.0880	0.2128	3	31.76
	3	1.0043	0.0185	0.0346	3	5.17	1.0054	0.0760	0.1821	3	27.16	1.0095	0.0201	0.0388	3	5.77	1.0007	0.0890	0.2154	3	32.29

ตารางที่ จ-7 ปริมาณทองแดงในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.1009	0.0050	0.0165	3	2.25	1.0200	0.0160	0.1074	3	15.80	1.0850	0.0050	0.0165	3	2.29	1.0000	0.0300	0.2231	3	33.47
	2	1.0643	0.0040	0.0083	3	1.16	1.0100	0.0152	0.1008	3	14.97	1.0478	0.0050	0.0165	3	2.37	1.0200	0.0300	0.2231	3	32.81
	3	1.0156	0.0040	0.0083	3	1.22	1.0000	0.0140	0.0909	3	13.64	1.0294	0.0070	0.0331	3	4.82	1.0100	0.0300	0.2231	3	33.14
ชุดการทดลอง B	1	1.0253	0.0080	0.0413	3	6.05	1.0000	0.0200	0.1405	3	21.07	1.0219	0.0090	0.0496	3	7.28	1.0000	0.0306	0.2281	3	34.21
	2	1.0650	0.0080	0.0413	3	5.82	1.0000	0.0240	0.1736	3	26.03	1.0164	0.0080	0.0413	3	6.10	1.0000	0.0306	0.2283	3	34.24
	3	1.0689	0.0085	0.0455	3	6.38	1.0200	0.0190	0.1322	3	19.45	1.0608	0.0070	0.0331	3	4.67	1.0100	0.0304	0.2264	3	33.63
ชุดการทดลอง C	1	1.1111	0.0140	0.0909	3	12.27	1.0000	0.0233	0.1678	3	25.17	1.0719	0.0090	0.0496	3	6.94	1.0000	0.0315	0.2355	3	35.33
	2	1.0867	0.0130	0.0826	3	11.41	1.0000	0.0290	0.2149	3	32.23	1.0429	0.0090	0.0496	3	7.13	1.0100	0.0313	0.2337	3	34.71
	3	1.0718	0.0120	0.0744	3	10.41	1.0100	0.0230	0.1653	3	24.55	1.0595	0.0120	0.0744	3	10.53	1.0100	0.0315	0.2357	3	35.00
ชุดการทดลอง D	1	1.0693	0.0190	0.1322	3	18.55	1.0100	0.0316	0.2364	3	35.10	1.0476	0.0110	0.0661	3	9.47	1.0100	0.0320	0.2397	3	35.59
	2	1.0543	0.0110	0.0661	3	9.41	1.0100	0.0325	0.2438	3	36.21	1.0325	0.0140	0.0909	3	13.21	1.0000	0.0340	0.2562	3	38.43
	3	1.0289	0.0100	0.0579	3	8.43	1.0300	0.0327	0.2455	3	35.75	1.0211	0.0130	0.0826	3	12.14	1.0200	0.0360	0.2727	3	40.11
ชุดการทดลอง E	1	1.0181	0.0170	0.1157	3	17.05	1.0100	0.0343	0.2587	3	38.42	1.0305	0.0200	0.1405	3	20.45	1.0200	0.0360	0.2727	3	40.11
	2	1.0280	0.0140	0.0909	3	13.26	1.0200	0.0348	0.2628	3	38.65	1.0275	0.0200	0.1405	3	20.51	1.0100	0.0340	0.2562	3	38.05
	3	1.0158	0.0200	0.1405	3	20.75	1.0300	0.0348	0.2628	3	38.27	1.0275	0.0160	0.1074	3	15.68	1.1000	0.0360	0.2727	3	37.19

ตารางที่ จ-8 ปริมาณทองแดงในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0034	0.0050	0.0165	3	2.47	1.0046	0.0170	0.1157	3	17.28	1.0041	0.0060	0.0248	3	3.70	1.0055	0.0300	0.2231	3	33.29
	2	1.0086	0.0050	0.0165	3	2.46	1.0029	0.0160	0.1074	3	16.07	1.0015	0.0060	0.0248	3	3.71	1.0015	0.0360	0.2727	3	40.85
	3	1.0073	0.0050	0.0165	3	2.46	1.0099	0.0160	0.1074	3	15.96	1.0053	0.0080	0.0413	3	6.17	1.0001	0.0352	0.2661	3	39.91
ชุดการทดลอง B	1	1.0027	0.0090	0.0496	3	7.42	1.0064	0.0220	0.1570	3	23.40	1.0092	0.0080	0.0413	3	6.14	1.0001	0.0350	0.2645	3	39.67
	2	1.0047	0.0090	0.0496	3	7.40	1.0097	0.0220	0.1570	3	23.33	1.0000	0.0090	0.0496	3	7.44	1.0077	0.0320	0.2397	3	35.68
	3	1.0031	0.0100	0.0579	3	8.65	1.0039	0.0251	0.1826	3	27.29	1.0013	0.0080	0.0413	3	6.19	1.0034	0.0330	0.2479	3	37.06
ชุดการทดลอง C	1	1.0075	0.0120	0.0744	3	11.07	1.0087	0.0250	0.1818	3	27.04	1.0085	0.0110	0.0661	3	9.83	1.0023	0.0370	0.2810	3	42.05
	2	1.0027	0.0110	0.0661	3	9.89	1.0093	0.0270	0.1983	3	29.48	1.0037	0.0100	0.0579	3	8.65	1.0046	0.0370	0.2810	3	41.96
	3	1.0010	0.0120	0.0744	3	11.15	1.0086	0.0270	0.1983	3	29.50	1.0083	0.0110	0.0661	3	9.84	1.0011	0.0330	0.2479	3	37.15
ชุดการทดลอง D	1	1.0001	0.0140	0.0909	3	13.64	1.0005	0.0280	0.2066	3	30.98	1.0075	0.0130	0.0826	3	12.30	1.0086	0.0390	0.2975	3	44.25
	2	1.0095	0.0130	0.0826	3	12.28	1.0090	0.0280	0.2066	3	30.72	1.0006	0.0120	0.0744	3	11.15	1.0038	0.0300	0.2231	3	33.34
	3	1.0082	0.0120	0.0744	3	11.07	1.0071	0.0280	0.2066	3	30.77	1.0083	0.0140	0.0909	3	13.52	1.0085	0.0378	0.2876	3	42.78
ชุดการทดลอง E	1	1.0076	0.0170	0.1157	3	17.22	1.0035	0.0300	0.2231	3	33.35	1.0081	0.0170	0.1157	3	17.22	1.0019	0.0360	0.2727	3	40.83
	2	1.0006	0.0160	0.1074	3	16.11	1.0019	0.0325	0.2438	3	36.50	1.0079	0.0190	0.1322	3	19.68	1.0035	0.0370	0.2810	3	42.00
	3	1.0032	0.0160	0.1074	3	16.06	1.0031	0.0310	0.2314	3	34.60	1.0060	0.0160	0.1074	3	16.02	1.0017	0.0390	0.2975	3	44.55

ตารางที่ จ-9 ปริมาณทองแดงในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Cu (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0048	0.0050	0.0165	3	2.47	1.0074	0.0330	0.2479	3	36.92	1.0059	0.0070	0.0331	3	4.93	1.0037	0.0320	0.2397	3	35.82
	2	1.0066	0.0050	0.0165	3	2.46	1.0020	0.0330	0.2479	3	37.12	1.0050	0.0070	0.0331	3	4.93	1.0057	0.0360	0.2727	3	40.68
	3	1.0055	0.0050	0.0165	3	2.47	1.0042	0.0340	0.2562	3	38.27	1.0050	0.0080	0.0413	3	6.17	1.0072	0.0360	0.2727	3	40.62
ชุดการทดลอง B	1	1.0012	0.0100	0.0579	3	8.67	1.0012	0.0333	0.2504	3	37.52	1.0073	0.0090	0.0496	3	7.38	1.0039	0.0330	0.2479	3	37.05
	2	1.0064	0.0090	0.0496	3	7.39	1.0001	0.0330	0.2479	3	37.19	1.0032	0.0080	0.0413	3	6.18	1.0046	0.0320	0.2397	3	35.79
	3	1.0077	0.0050	0.0165	3	2.46	1.0012	0.0340	0.2562	3	38.38	1.0040	0.0080	0.0413	3	6.17	1.0064	0.0350	0.2645	3	39.42
ชุดการทดลอง C	1	1.0071	0.0110	0.0661	3	9.85	1.0019	0.0380	0.2893	3	43.31	1.0043	0.0120	0.0744	3	11.11	1.0014	0.0350	0.2645	3	39.61
	2	1.0063	0.0110	0.0661	3	9.86	1.0092	0.0370	0.2810	3	41.76	1.0029	0.0120	0.0744	3	11.12	1.0050	0.0350	0.2645	3	39.47
	3	1.0023	0.0120	0.0744	3	11.13	1.0020	0.0380	0.2893	3	43.30	1.0009	0.0150	0.0992	3	14.86	1.0082	0.0340	0.2562	3	38.12
ชุดการทดลอง D	1	1.0055	0.0130	0.0826	3	12.33	1.0007	0.0380	0.2893	3	43.36	1.0036	0.0130	0.0826	3	12.35	1.0043	0.0370	0.2810	3	41.97
	2	1.0043	0.0110	0.0661	3	9.87	1.0071	0.0380	0.2893	3	43.08	1.0068	0.0141	0.0917	3	13.67	1.0072	0.0330	0.2479	3	36.92
	3	1.0098	0.0150	0.0992	3	14.73	1.0057	0.0380	0.2893	3	43.14	1.0009	0.0150	0.0992	3	14.86	1.0094	0.0350	0.2645	3	39.30
ชุดการทดลอง E	1	1.0052	0.0130	0.0826	3	12.33	1.0039	0.0380	0.2893	3	43.22	1.0012	0.0160	0.1074	3	16.10	1.0096	0.0360	0.2727	3	40.52
	2	1.0062	0.0150	0.0992	3	14.78	1.0003	0.0390	0.2975	3	44.61	1.0053	0.0180	0.1240	3	18.50	1.0051	0.0360	0.2727	3	40.70
	3	1.0043	0.0160	0.1074	3	16.05	1.0054	0.0380	0.2893	3	43.16	1.0095	0.0140	0.0909	3	13.51	1.0007	0.0380	0.2893	3	43.36

ตารางที่ จ-10 ปริมาณแมงกานีสในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.1009	0.0670	0.0839	3	11.43	1.0200	0.0860	0.2168	3	31.88	1.0850	0.0727	0.1238	3	17.11	1.0000	0.0850	0.2098	3	31.47
	2	1.0643	0.0680	0.0909	3	12.81	1.0100	0.0864	0.2196	3	32.61	1.0478	0.0727	0.1238	3	17.72	1.0200	0.0840	0.2028	3	29.82
	3	1.0156	0.0690	0.0979	3	14.46	1.0000	0.0865	0.2203	3	33.04	1.0294	0.0727	0.1238	3	18.04	1.0100	0.0852	0.2112	3	31.36
ชุดการทดลอง B	1	1.0253	0.0700	0.1049	3	15.35	1.0000	0.0877	0.2287	3	34.30	1.0219	0.0729	0.1252	3	18.37	1.0000	0.0862	0.2182	3	32.73
	2	1.0650	0.0710	0.1119	3	15.76	1.0000	0.0868	0.2224	3	33.36	1.0164	0.0728	0.1245	3	18.37	1.0000	0.0850	0.2098	3	31.47
	3	1.0689	0.0700	0.1049	3	14.72	1.0200	0.0876	0.2280	3	33.53	1.0608	0.0728	0.1245	3	17.60	1.0100	0.0860	0.2168	3	32.20
ชุดการทดลอง C	1	1.1111	0.0750	0.1399	3	18.88	1.0000	0.0890	0.2378	3	35.66	1.0719	0.0745	0.1364	3	19.08	1.0000	0.0878	0.2294	3	34.41
	2	1.0867	0.0760	0.1469	3	20.27	1.0000	0.0882	0.2322	3	34.83	1.0429	0.0748	0.1385	3	19.91	1.0100	0.0879	0.2301	3	34.17
	3	1.0718	0.0730	0.1259	3	17.62	1.0100	0.0860	0.2168	3	32.20	1.0595	0.0751	0.1406	3	19.90	1.0100	0.0891	0.2385	3	35.42
ชุดการทดลอง D	1	1.0693	0.0752	0.1413	3	19.82	1.0100	0.0877	0.2287	3	33.96	1.0476	0.0790	0.1678	3	24.03	1.0100	0.0880	0.2308	3	34.27
	2	1.0543	0.0752	0.1413	3	20.10	1.0100	0.0880	0.2308	3	34.27	1.0325	0.0751	0.1406	3	20.42	1.0000	0.0900	0.2448	3	36.71
	3	1.0289	0.0753	0.1420	3	20.70	1.0300	0.0889	0.2371	3	34.52	1.0211	0.0752	0.1413	3	20.75	1.0200	0.0900	0.2448	3	35.99
ชุดการทดลอง E	1	1.0181	0.0760	0.1469	3	21.64	1.0100	0.0893	0.2399	3	35.62	1.0305	0.0759	0.1462	3	21.27	1.0200	0.0898	0.2434	3	35.79
	2	1.0280	0.0762	0.1483	3	21.63	1.0200	0.0890	0.2378	3	34.97	1.0275	0.0758	0.1455	3	21.23	1.0100	0.0890	0.2378	3	35.31
	3	1.0158	0.0761	0.1476	3	21.79	1.0300	0.0892	0.2394	3	34.87	1.0275	0.0757	0.1448	3	21.13	1.1000	0.0876	0.2280	3	31.09

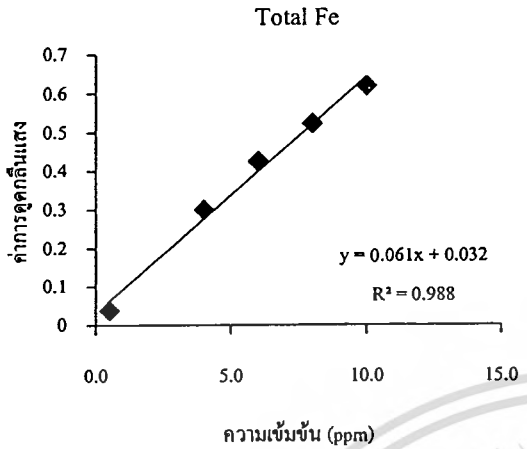
ตารางที่ จ-11 ปริมาณแมงกานีสในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

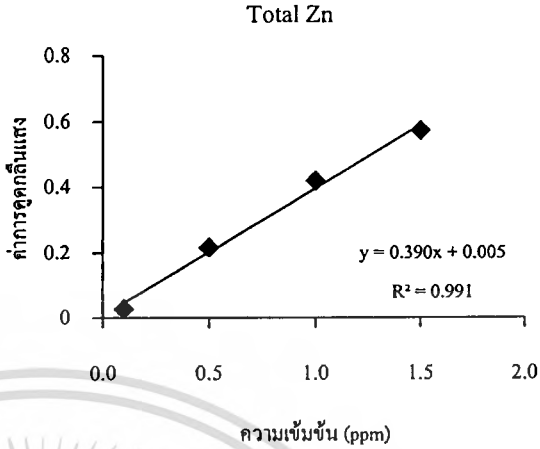
ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0034	0.0680	0.0909	3	13.59	1.0046	0.0840	0.2028	3	30.28	1.0041	0.0730	0.1259	3	18.80	1.0055	0.0841	0.2035	3	30.36
	2	1.0086	0.0680	0.0909	3	13.52	1.0029	0.0833	0.1979	3	29.60	1.0015	0.0720	0.1189	3	17.81	1.0015	0.0838	0.2014	3	30.16
	3	1.0073	0.0674	0.0867	3	12.91	1.0099	0.0830	0.1958	3	29.08	1.0053	0.0718	0.1175	3	17.53	1.0001	0.0836	0.2000	3	30.00
ชุดการทดลอง B	1	1.0027	0.0700	0.1049	3	15.69	1.0064	0.0845	0.2063	3	30.75	1.0092	0.0720	0.1189	3	17.67	1.0001	0.0859	0.2161	3	32.41
	2	1.0047	0.0708	0.1105	3	16.50	1.0097	0.0859	0.2161	3	32.10	1.0000	0.0724	0.1217	3	18.25	1.0077	0.0861	0.2175	3	32.37
	3	1.0031	0.0708	0.1108	3	16.56	1.0039	0.0857	0.2147	3	32.08	1.0013	0.0728	0.1245	3	18.65	1.0034	0.0858	0.2154	3	32.20
ชุดการทดลอง C	1	1.0075	0.0740	0.1329	3	19.78	1.0087	0.0850	0.2098	3	31.20	1.0085	0.0730	0.1259	3	18.72	1.0023	0.0865	0.2203	3	32.97
	2	1.0027	0.0750	0.1399	3	20.92	1.0093	0.0864	0.2196	3	32.63	1.0037	0.0731	0.1266	3	18.92	1.0046	0.0866	0.2210	3	33.00
	3	1.0010	0.0757	0.1448	3	21.69	1.0086	0.0867	0.2217	3	32.97	1.0083	0.0735	0.1294	3	19.25	1.0011	0.0868	0.2224	3	33.32
ชุดการทดลอง D	1	1.0001	0.0775	0.1573	3	23.60	1.0005	0.0860	0.2168	3	32.50	1.0075	0.0731	0.1266	3	18.84	1.0086	0.0873	0.2259	3	33.59
	2	1.0095	0.0784	0.1636	3	24.31	1.0090	0.0872	0.2252	3	33.47	1.0006	0.0745	0.1364	3	20.44	1.0038	0.0879	0.2301	3	34.38
	3	1.0082	0.0780	0.1608	3	23.93	1.0071	0.0884	0.2336	3	34.79	1.0083	0.0750	0.1399	3	20.81	1.0085	0.0881	0.2315	3	34.43
ชุดการทดลอง E	1	1.0076	0.0798	0.1734	3	25.82	1.0035	0.0960	0.2867	3	42.86	1.0081	0.0750	0.1399	3	20.81	1.0019	0.0881	0.2315	3	34.65
	2	1.0006	0.0790	0.1678	3	25.16	1.0019	0.0980	0.3007	3	45.02	1.0079	0.0750	0.1399	3	20.81	1.0035	0.0880	0.2308	3	34.49
	3	1.0032	0.0800	0.1748	3	26.14	1.0031	0.0980	0.3007	3	44.97	1.0060	0.0760	0.1469	3	21.90	1.0017	0.0882	0.2322	3	34.77

ตารางที่ จ-12 ปริมาณแมงกานีสในเมล็ด และต้นข้าวพันธุ์ กข1

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ดินนาสมุทรปราการ										ดินนาสุพรรณบุรี									
		น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักเมล็ด (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)	น้ำหนักต้น (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/L)	เจือจาง (เท่า)	Total Mn (mg/kg)
ชุดการทดลอง A	1	1.0048	0.0710	0.1119	3	16.70	1.0074	0.0841	0.2035	3	30.30	1.0059	0.0750	0.1399	3	20.86	1.0037	0.0845	0.2063	3	30.83
	2	1.0066	0.0710	0.1119	3	16.67	1.0020	0.0832	0.1972	3	29.52	1.0050	0.0730	0.1259	3	18.79	1.0057	0.0840	0.2028	3	30.25
	3	1.0055	0.0690	0.0979	3	14.60	1.0042	0.0830	0.1958	3	29.25	1.0050	0.0740	0.1329	3	19.83	1.0072	0.0839	0.2021	3	30.10
ชุดการทดลอง B	1	1.0012	0.0700	0.1049	3	15.72	1.0012	0.0847	0.2077	3	31.12	1.0073	0.0750	0.1399	3	20.83	1.0039	0.0850	0.2098	3	31.35
	2	1.0064	0.0720	0.1189	3	17.72	1.0001	0.0848	0.2084	3	31.26	1.0032	0.0760	0.1469	3	21.96	1.0046	0.0850	0.2098	3	31.32
	3	1.0077	0.0710	0.1119	3	16.65	1.0012	0.0854	0.2126	3	31.85	1.0040	0.0760	0.1469	3	21.94	1.0064	0.0848	0.2084	3	31.06
ชุดการทดลอง C	1	1.0071	0.0750	0.1399	3	20.83	1.0019	0.0856	0.2140	3	32.04	1.0043	0.0770	0.1538	3	22.98	1.0014	0.0859	0.2161	3	32.37
	2	1.0063	0.0760	0.1469	3	21.89	1.0092	0.0863	0.2189	3	32.53	1.0029	0.0780	0.1608	3	24.06	1.0050	0.0864	0.2196	3	32.77
	3	1.0023	0.0752	0.1413	3	21.14	1.0020	0.0862	0.2183	3	32.67	1.0009	0.0740	0.1329	3	19.91	1.0082	0.0862	0.2182	3	32.46
ชุดการทดลอง D	1	1.0055	0.0762	0.1483	3	22.12	1.0007	0.0884	0.2336	3	35.01	1.0036	0.0784	0.1636	3	24.46	1.0043	0.0878	0.2294	3	34.26
	2	1.0043	0.0765	0.1503	3	22.46	1.0071	0.0879	0.2301	3	34.27	1.0068	0.0754	0.1428	3	21.27	1.0072	0.0881	0.2315	3	34.47
	3	1.0098	0.0766	0.1510	3	22.44	1.0057	0.0885	0.2343	3	34.94	1.0009	0.0745	0.1364	3	20.44	1.0094	0.0883	0.2329	3	34.60
ชุดการทดลอง E	1	1.0052	0.0790	0.1678	3	25.04	1.0039	0.0920	0.2587	3	38.66	1.0012	0.0780	0.1608	3	24.10	1.0096	0.0883	0.2329	3	34.60
	2	1.0062	0.0780	0.1608	3	23.98	1.0003	0.0930	0.2657	3	39.85	1.0053	0.0770	0.1538	3	22.96	1.0051	0.0910	0.2517	3	37.57
	3	1.0043	0.0780	0.1608	3	24.02	1.0054	0.0920	0.2587	3	38.60	1.0095	0.0780	0.1608	3	23.90	1.0007	0.0890	0.2378	3	35.64

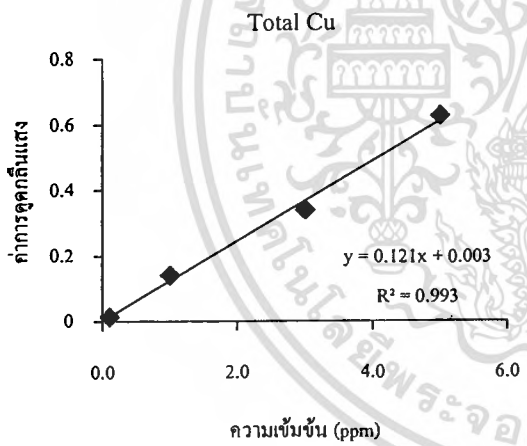
กราฟมาตรฐานโลหะหนักทั้งหมด

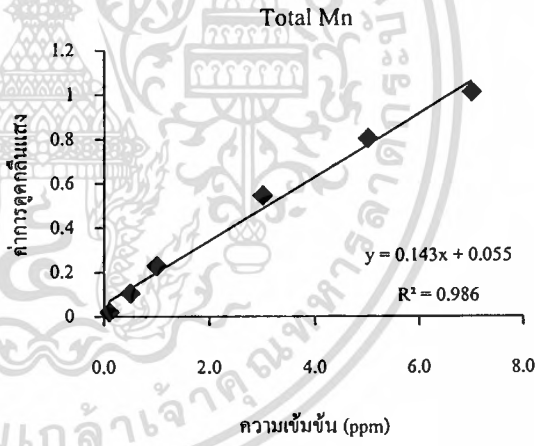




รูปที่ จ-1 กราฟมาตรฐานของเหล็กในเมล็ดและต้นข้าว

รูปที่ จ-2 กราฟมาตรฐานของสังกะสีในเมล็ดและต้นข้าว





รูปที่ จ-3 กราฟมาตรฐานของทองแดงในเมล็ดและต้นข้าว

รูปที่ จ-4 กราฟมาตรฐานของแมงกานีสในเมล็ดและต้นข้าว

ตัวอย่างการคำนวณโลหะหนักในพืช

1. หาความเข้มข้นจากกราฟ

จากกราฟมาตรฐานเหล็กในพืช (รูปที่ จ-1) ได้สมการดังนี้

$$y = 0.061x + 0.032$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชุดการทดลอง A เท่ากับ 0.0660 จะได้ x = 0.5574 เพราะฉะนั้น เมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชุดการทดลอง A มีความเข้มข้นของเหล็ก เท่ากับ 0.5574 ppm (mg/L)

2. หาปริมาณเหล็ก (mg/kg) ในเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชุดการทดลอง A

จากค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้ข้างต้น เมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชุดการทดลอง A มีความเข้มข้นของเหล็ก เท่ากับ 0.5574 ppm (mg/L)

ในสารละลาย 1,000 ml มีปริมาณเหล็กอยู่ 0.5574 mg

ถ้าสารละลาย 50 ml จะมีปริมาณเหล็กอยู่ $\frac{0.5574 \times 50 \times 3 \text{ (เท่า)}}{1,000} = 0.0836$ mg

เมื่อน้ำหนักเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชุดการทดลอง A เท่ากับ 1.1009 g ดังนั้น

ในเมล็ดข้าว 1.1009 g มีเหล็กทั้งหมดอยู่ 0.0836 mg

ถ้าในเมล็ดข้าว 1,000 g จะมีเหล็กทั้งหมดอยู่ $\frac{0.0836 \times 1,000}{1.1009} = 75.94$ mg/kg

ดังนั้นในเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชุดการทดลอง A มีเหล็กอยู่ 75.94 mg/kg

**สารตัวอย่าง และโลหะหนักทั้งหมดตัวอื่น คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

สมดุลมวล (Mass balance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของเหล็ก (Fe) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)

ชนิดดิน	พันธุ์ข้าว	ครั้งที่	Fe ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งก่อนปลูกข้าว (kg)	Fe ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/5kg)	Fe ในดินหลังปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งหลังปลูกข้าว (kg)	Fe ในดินหลังปลูกข้าว (mg/5kg)	Fe ในเมล็ดข้าว (mg/kg)	Fe ในเมล็ดข้าว (mg/pot)	น้ำหนักเมล็ดข้าว (g/pot)	Fe ในต้นข้าว (mg/kg)	Fe ในต้นข้าว (mg/pot)	น้ำหนักต้นข้าว (g/pot)	Fe หลังปลูกทั้งหมด	Mass balance (%)
ดินสมุทรปราการ (12 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	1,616.75	3.54	5,715.68	1,464.93	2.39	3,503.08	86.34	4.97	57.52	813.93	66.73	81.99	3,574.77	37.46
		2	1,623.26	3.47	5,634.25	1,485.44	2.34	3,470.88	80.81	3.72	45.98	821.56	69.50	84.60	3,544.10	37.10
		3	1,624.11	3.35	5,435.79	1,472.51	2.34	3,444.56	81.21	3.85	47.42	835.82	76.13	91.08	3,524.54	35.16
	ปทุมธานี 80	1	1,616.75	3.54	8,083.76	1,434.78	2.79	4,001.98	90.74	7.12	78.48	776.99	73.81	95.00	4,082.92	49.49
		2	1,623.26	3.47	8,116.31	1,431.73	2.73	3,909.88	90.56	6.86	75.71	613.72	49.91	81.32	3,966.65	51.13
		3	1,624.11	3.35	8,120.54	1,484.59	2.63	3,902.77	88.25	6.28	71.12	516.84	52.34	101.27	3,961.38	51.22
	กข1	1	1,616.75	3.54	8,083.76	1,435.90	2.80	4,017.93	90.87	6.47	71.17	650.86	57.06	87.67	4,081.45	49.51
		2	1,623.26	3.47	8,116.31	1,438.68	2.77	3,982.13	92.85	4.32	46.52	688.46	80.93	117.55	4,067.37	49.89
		3	1,624.11	3.35	8,120.54	1,452.16	2.79	4,047.65	87.85	7.98	90.89	525.60	67.60	128.61	4,123.23	49.22
ดินสุพรรณบุรี (36 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	1,581.97	3.09	4,884.47	1,588.38	2.40	3,814.32	89.20	4.60	51.60	635.45	52.84	83.16	3,871.77	20.73
		2	1,590.94	3.00	4,767.68	1,586.04	2.29	3,635.57	92.64	1.74	18.77	708.20	76.34	107.80	3,713.65	22.11
		3	1,591.57	3.03	4,824.53	1,588.37	2.32	3,680.97	93.44	3.05	32.65	624.40	71.84	115.06	3,755.86	22.15
	ปทุมธานี 80	1	1,581.97	3.09	4,884.47	1,556.59	2.59	4,039.12	89.09	5.93	66.57	719.22	65.15	90.58	4,110.20	15.85
		2	1,590.94	3.00	4,767.68	1,524.80	2.53	3,863.32	93.14	5.10	54.76	747.16	78.02	104.42	3,946.43	17.23
		3	1,591.57	3.03	4,824.53	1,531.16	2.60	3,979.68	90.72	5.06	55.76	738.80	71.54	96.83	4,056.28	15.92
	กข1	1	1,581.97	3.09	4,884.47	1,511.02	2.55	3,854.60	95.56	6.93	72.51	903.49	75.24	83.28	3,936.77	19.40*
		2	1,590.94	3.00	4,767.68	1,534.96	2.73	4,196.62	96.72	6.61	68.34	910.66	83.08	91.23	4,286.31	10.10
		3	1,591.57	3.03	4,824.53	1,534.21	2.76	4,237.95	96.93	7.40	76.39	915.98	68.00	74.23	4,313.36	10.60

หมายเหตุ: * ไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย เพราะมีค่าแตกต่างจากข้อมูลซ้ำอื่นๆ ซึ่งใช้ Q-Test ในการพิสูจน์

ตารางที่ ฉ-2 ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของสังกะสี (Zn) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)

ชนิดดิน	พันธุ์ข้าว	ครั้งที่	Zn ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งก่อนปลูกข้าว (kg)	Zn ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/5kg)	Zn ในดินหลังปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งหลังปลูกข้าว (kg)	Zn ในดินหลังปลูกข้าว (mg/5kg)	Zn ในเมล็ดข้าว (mg/kg)	Zn ในเมล็ดข้าว (mg/pot)	น้ำหนักเมล็ดข้าว (g/pot)	Zn ในต้นข้าว (mg/kg)	Zn ในต้นข้าว (mg/pot)	น้ำหนักต้นข้าว (g/pot)	Zn หลังปลูกทั้งหมด	Mass balance (%)
คณนามหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา (12 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	70.28	3.54	248.45	69.29	2.39	165.70	5.78	0.33	57.52	26.85	2.20	81.99	168.23	32.29
		2	66.10	3.47	229.43	70.01	2.34	163.59	5.27	0.24	45.98	25.58	2.16	84.60	166.00	27.65
		3	71.44	3.35	239.11	69.53	2.34	162.65	3.38	0.16	47.42	27.15	2.47	91.08	165.29	30.87
	ปทุมธานี 80	1	70.28	3.54	248.45	63.98	2.79	178.45	3.84	0.30	78.48	24.08	2.29	95.00	181.03	27.13
		2	66.10	3.47	229.43	61.41	2.73	167.71	3.83	0.29	75.71	22.86	1.86	81.32	169.86	25.97
		3	71.44	3.35	239.11	70.12	2.63	184.35	4.22	0.30	71.12	22.60	2.29	101.27	186.94	21.82
	กข1	1	70.28	3.54	248.45	64.06	2.80	179.27	2.69	0.19	71.17	23.05	2.02	87.67	181.48	26.96
		2	66.10	3.47	229.43	63.62	2.77	176.09	2.37	0.11	46.52	22.69	2.67	117.55	178.86	22.04
		3	71.44	3.35	239.11	64.66	2.79	180.23	2.71	0.25	90.89	25.35	3.26	128.61	183.74	23.16
สุพรรณบุรี (36 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	80.62	3.09	248.92	81.14	2.40	194.84	5.84	0.30	51.60	31.53	2.62	83.16	197.76	20.55
		2	80.81	3.00	242.17	80.32	2.29	184.12	6.85	0.13	18.77	31.96	3.45	107.80	187.69	22.50
		3	80.96	3.03	245.41	80.98	2.32	187.68	7.31	0.24	32.65	31.15	3.58	115.06	191.50	21.97
	ปทุมธานี 80	1	80.62	3.09	248.92	80.65	2.59	209.28	8.59	0.57	66.57	31.46	2.85	90.58	212.70	14.55
		2	80.81	3.00	242.17	81.11	2.53	205.50	8.84	0.48	54.76	31.04	3.24	104.42	209.22	13.61
		3	80.96	3.03	245.41	79.77	2.60	207.33	9.08	0.51	55.76	31.77	3.08	96.83	210.91	14.06
	กข1	1	80.62	3.09	248.92	79.93	2.55	203.90	5.37	0.39	72.51	28.84	2.40	83.28	206.69	16.96
		2	80.81	3.00	242.17	80.82	2.73	220.95	5.77	0.39	68.34	28.89	2.64	91.23	223.98	7.51
		3	80.96	3.03	245.41	80.51	2.76	222.40	6.30	0.48	76.39	28.90	2.15	74.23	225.03	8.30

ตารางที่ ฉ-3 ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของทองแดง (Cu) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)

ชนิดดิน	พันธุ์ข้าว	ครั้งที่	Cu ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งก่อนปลูกข้าว (kg)	Cu ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/5kg)	Cu ในดินหลังปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งหลังปลูกข้าว (kg)	Cu ในดินหลังปลูกข้าว (mg/5kg)	Cu ในเมล็ดข้าว (mg/kg)	Cu ในเมล็ดข้าว (mg/pot)	น้ำหนักเมล็ดข้าว (g/pot)	Cu ในต้นข้าว (mg/kg)	Cu ในต้นข้าว (mg/pot)	น้ำหนักต้นข้าว (g/pot)	Cu หลังปลูกทั้งหมด	Mass balance (%)
ดินสมุทรปราการ (12 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	35.05	3.54	123.91	23.57	2.39	56.36	6.05	0.35	57.52	21.07	1.73	81.99	58.44	52.84
		2	32.33	3.47	112.21	37.69	2.34	88.06	5.82	0.27	45.98	26.03	2.20	84.60	90.53	19.32
		3	35.25	3.35	117.97	46.79	2.34	109.44	6.38	0.30	47.42	19.45	1.77	91.08	111.52	5.47
	ปทุมธานี 80	1	35.05	3.54	123.91	13.67	2.79	38.14	7.42	0.58	78.48	23.40	2.22	95.00	40.94	66.96
		2	32.33	3.47	112.21	14.08	2.73	38.45	7.40	0.56	75.71	23.33	1.90	81.32	40.91	63.54
		3	35.25	3.35	117.97	14.16	2.63	37.21	8.65	0.62	71.12	27.29	2.76	101.27	40.59	65.59
	กข1	1	35.05	3.54	123.91	10.10	2.80	28.27	8.67	0.62	71.17	37.52	3.29	87.67	32.18	74.03
		2	32.33	3.47	112.21	10.17	2.77	28.14	7.39	0.34	46.52	37.19	4.37	117.55	32.86	70.71
		3	35.25	3.35	117.97	10.08	2.79	28.09	2.46	0.22	90.89	38.38	4.94	128.61	33.25	71.81
ดินสุพรรณบุรี (36 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	55.25	3.09	170.60	42.69	2.40	102.51	9.47	0.49	51.60	35.59	12.74	83.16	115.74	32.16
		2	55.38	3.00	165.97	42.48	2.29	97.38	13.21	0.25	18.77	38.43	12.17	107.80	109.80	33.85
		3	55.53	3.03	168.32	42.78	2.32	99.14	12.14	0.40	32.65	40.11	12.27	115.06	111.81	33.57
	ปทุมธานี 80	1	55.25	3.09	170.60	33.08	2.59	85.84	12.30	0.82	66.57	44.25	6.89	90.58	93.55	45.16
		2	55.38	3.00	165.97	32.85	2.53	83.22	11.15	0.61	54.76	33.34	5.94	104.42	89.78	45.91
		3	55.53	3.03	168.32	46.86	2.60	121.79	13.52	0.75	55.76	42.78	6.76	96.83	129.31	23.18*
	กข1	1	55.25	3.09	170.60	30.95	2.55	78.96	12.35	0.90	72.51	41.97	6.70	83.28	86.55	49.26
		2	55.38	3.00	165.97	32.73	2.73	89.47	13.67	0.93	68.34	36.92	6.25	91.23	96.66	41.76
		3	55.53	3.03	168.32	31.62	2.76	87.34	14.86	1.14	76.39	39.30	6.45	74.23	94.93	43.60

หมายเหตุ: * ไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย เพราะมีค่าแตกต่างจากข้อมูลซ้ำอื่นๆ ซึ่งใช้ Q-Test ในการพิสูจน์

ตารางที่ ฉ-4 ข้อมูลสมดุลมวล (mass balance) ของแมงกานีส (Mn) ในดินสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (12 kg/m^2) และในดินสุพรรณบุรี ชุดการทดลอง D (36 kg/m^2)

ชนิดดิน	พันธุ์ข้าว	ครั้งที่	Mn ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งก่อนปลูกข้าว (kg)	Mn ในดินก่อนปลูกข้าว (mg/5kg)	Mn ในดินหลังปลูกข้าว (mg/kg)	น้ำหนักดินแห้งหลังปลูกข้าว (kg)	Mn ในดินหลังปลูกข้าว (mg/5kg)	Mn ในเมล็ดข้าว (mg/kg)	Mn ในเมล็ดข้าว (mg/pot)	น้ำหนักเมล็ดข้าว (g/pot)	Mn ในต้นข้าว (mg/kg)	Mn ในต้นข้าว (mg/pot)	น้ำหนักต้นข้าว (g/pot)	Mn หลังปลูกทั้งหมด	Mass balance (%)
ดินสมุทรปราการ (12 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	91.86	3.54	324.74	71.77	2.39	171.62	15.35	0.88	57.52	34.30	2.81	81.99	175.31	46.01*
		2	92.43	3.47	320.81	79.15	2.34	184.93	15.76	0.72	45.98	33.36	2.82	84.60	188.48	41.25
		3	92.37	3.35	309.17	76.14	2.34	178.12	14.72	0.70	47.42	33.53	3.05	91.08	181.87	41.17
	ปทุมธานี 80	1	91.86	3.54	324.74	76.73	2.79	214.03	15.69	1.23	78.48	30.75	2.92	95.00	218.18	32.81
		2	92.43	3.47	320.81	71.46	2.73	195.14	16.50	1.25	75.71	32.10	2.61	81.32	199.00	37.97
		3	92.37	3.35	309.17	69.36	2.63	182.34	16.56	1.18	71.12	32.08	3.25	101.27	186.77	39.59
	กข1	1	91.86	3.54	324.74	74.36	2.80	208.08	15.72	1.12	71.17	31.12	2.73	87.67	211.92	34.74
		2	92.43	3.47	320.81	69.75	2.77	193.06	17.72	0.82	46.52	31.26	3.67	117.55	197.56	38.42
		3	92.37	3.35	309.17	74.17	2.79	206.73	16.65	1.51	90.89	31.85	4.10	128.61	212.34	31.32
ดินสุพรรณบุรี (36 kg/m2)	ขาวดอกมะลิ 105	1	118.65	3.09	366.33	114.54	2.40	275.06	24.03	1.24	51.60	34.27	2.85	83.16	279.15	23.80
		2	121.41	3.00	363.83	114.00	2.29	261.31	20.42	0.38	18.77	36.71	3.96	107.80	265.65	26.99
		3	116.75	3.03	353.91	112.30	2.32	260.24	20.75	0.68	32.65	35.99	4.14	115.06	265.06	25.10
	ปทุมธานี 80	1	118.65	3.09	366.33	104.21	2.59	270.40	18.84	1.25	66.57	33.59	3.04	90.58	274.70	25.01
		2	121.41	3.00	363.83	108.40	2.53	274.64	20.44	1.12	54.76	34.38	3.59	104.42	279.35	23.22
		3	116.75	3.03	353.91	105.79	2.60	274.95	20.81	1.16	55.76	34.43	3.33	96.83	279.45	21.04
	กข1	1	118.65	3.09	366.33	100.95	2.55	257.51	24.46	1.77	72.51	34.26	2.85	83.28	262.14	28.44
		2	121.41	3.00	363.83	99.60	2.73	272.31	21.27	1.45	68.34	34.47	3.14	91.23	276.91	23.89
		3	116.75	3.03	353.91	96.63	2.76	266.92	20.44	1.56	76.39	34.60	2.57	74.23	271.05	23.41

หมายเหตุ: * ไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย เพราะมีค่าแตกต่างจากข้อมูลซ้ำอื่นๆ ซึ่งใช้ Q-Test ในการพิสูจน์

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{mass balance (\%)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

C_0 = ปริมาณโลหะหนักก่อนปลูกข้าว

C_1 = ปริมาณโลหะหนักหลังปลูกข้าว

ปริมาณเหล็ก (Fe) ในดินก่อนปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ดินก่อนปลูกข้าว 1 kg มีปริมาณของเหล็ก 1,616.75 mg

ถ้ามีน้ำหนักดินแห้งในกระถาง 3.54 kg จะมีปริมาณของเหล็กเท่ากับ $\frac{1{,}616.75 \text{ mg} \times 3.54 \text{ kg}}{1 \text{ kg}}$

$= 5{,}715.68$ mg

ปริมาณเหล็ก (Fe) ในดินหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ดินหลังปลูกข้าว 1 kg มีปริมาณของเหล็ก 1,464.93 mg

ถ้ามีน้ำหนักดินแห้งในกระถาง 2.39 kg จะมีปริมาณของเหล็กเท่ากับ $\frac{1{,}464.93 \text{ mg} \times 2.39 \text{ kg}}{1 \text{ kg}}$

$= 3{,}503.08$ mg

ปริมาณเหล็ก (Fe) ในเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105

ในเมล็ดข้าว 1,000 g มีปริมาณของเหล็ก 86.34 mg

ถ้ามีเมล็ดข้าว 57.52 g จะมีปริมาณของเหล็กเท่ากับ $\frac{86.34 \text{ mg} \times 57.52 \text{ g}}{1{,}000 \text{ g}} = 4.97$ mg

ปริมาณเหล็ก (Fe) ในต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105

ในต้นข้าว 1,000 g มีปริมาณของเหล็ก 813.93 mg

ถ้ามีต้นข้าว 81.99 g จะมีความเข้มข้นของเหล็กเท่ากับ $\frac{813.93 \text{ mg} \times 81.99 \text{ g}}{1{,}000 \text{ g}} = 66.73$ mg

ปริมาณเหล็ก (Fe) ในดินหลังปลูกข้าวทั้งหมด

= ปริมาณ Fe ในดินหลังปลูกข้าว + ปริมาณ Fe ในเมล็ดข้าว + ปริมาณ Fe ในต้นข้าว

= 3,503 + 4.97 + 66.73

= 3,574.77 mg

แทนค่าในสูตร

$$= \frac{5{,}715.68 - 3{,}574.77}{5{,}715.68} \times 100$$

= 37.46 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณ Q-Test

Q = (Xa-Xb)/R

Xa = ค่าที่เราจะทดสอบ

Xb = ค่าที่อยู่ใกล้กับค่าที่เราต้องการทดสอบ (Xa) มากที่สุด

R = ค่าพิสัย (Range) หรือค่าสูงสุดลบค่าต่ำสุดของข้อมูลทั้งหมด

แล้วนำค่า Q ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติ (90% Interval) เมื่อจำนวนซ้ำเท่ากับ 3 ค่าวิกฤติจะเท่ากับ 0.94

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูล Mass balance (%) ของเหล็ก (Fe) ในดินนาสุพรรณบุรี ที่ปลูกข้าวพันธุ์กข1 (ตารางที่ ฉ-1) ดังนี้ 19.40, 10.10 และ 10.60

Q = (19.40 – 10.60) / (19.40 – 10.10)

= 0.95

เมื่อนำค่า Q ที่คำนวณได้คือ 0.95 มาเทียบกับค่าวิกฤติ (0.94) พบว่าค่า Q ที่คำนวณได้มีค่าเกินค่าวิกฤติ จึงสามารถตัดข้อมูลที่สงสัยออก โดยไม่นำมาคิดรวมกับค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิตินี้ใช้โปรแกรม Minitab (Version 15)

ตารางที่ ช-1 ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของค่า CEC ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

General Linear Model: d versus a, b, c			
Factor	**Type**	**Levels**	**Values**
a	fixed	2	1, 2
b	fixed	4	1, 2, 3, 4
c	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5

Analysis of Variance for c, using Adjusted SS for Tests						
Source	**DF**	**Seq SS**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F**	**P**
a	1	132.8220	132.8220	132.8220	16578.68	0.000
b	3	14.0782	14.0782	4.6927	585.74	0.000
c	4	57.0131	57.0131	14.2533	1779.08	0.000
a*b	3	1.0653	1.0653	0.3551	44.32	0.000
a*c	4	2.9889	2.9889	0.7472	93.27	0.000
b*c	12	0.9695	0.9695	0.0808	10.08	0.000
a*b*c	12	1.0364	1.0364	0.0864	10.78	0.000
Error	80	0.6409	0.6409	0.0080		
Total	119	210.6142				

S = 0.0895076 R-Sq = 99.70% R-Sq (adj) = 99.55%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-1 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของค่า CEC ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable c

All Paireise Comparisons amorg Levels of a*b*c

a = ประเภทดิน a1 = ดินสมุทรปราการ

a2 = ดินสุพรรณบุรี

b = ชุดการทดลอง b1 = ชุดการทดลองก่อนปลูกข้าว

b2 = ชุดการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

b3 = ชุดการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

b4 = ชุดการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ กข 1

c = สูตรการทดลอง c1 = A

c2 = B

c3 = C

c4 = D

c5 = E

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
a = 1, b = 1, c = 1				
1 1 2	0.680	0.07308	9.31	0.0001
1 1 3	0.950	0.07308	13.00	0.0001
1 1 4	1.293	0.07308	17.70	0.0001
1 1 5	1.701	0.07308	23.27	0.0001
1 2 1	0.683	0.07308	9.34	0.0001
1 2 2	0.948	0.07308	12.97	0.0001
1 2 3	1.088	0.07308	14.88	0.0001
1 2 4	1.835	0.07308	25.11	0.0001
1 2 5	2.103	0.07308	28.78	0.0001
1 3 1	0.002	0.07308	0.03	1.0000
1 3 2	0.681	0.07308	9.31	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-1 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p>0.05) ของค่า CEC ในดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
1 3 3	0.882	0.07308	12.07	0.0001
1 3 4	1.204	0.07308	16.47	0.0001
1 3 5	1.632	0.07308	22.33	0.0001
1 4 1	-0.609	0.07308	-8.33	0.0001
1 4 2	-0.206	0.07308	-2.82	0.6673
1 4 3	0.063	0.07308	0.86	1.0000
1 4 4	0.472	0.07308	6.46	0.0001
1 4 5	1.014	0.07308	13.88	0.0001
2 1 1	-2.378	0.07308	-32.54	0.0001
2 1 2	-2.040	0.07308	-27.92	0.0001
2 1 3	-1.363	0.07308	-18.65	0.0001
2 1 4	-1.156	0.07308	-15.82	0.0001
2 1 5	0.406	0.07308	5.56	0.0003
2 2 1	-1.973	0.07308	-27.00	0.0001
2 2 2	-1.632	0.07308	-22.33	0.0001
2 2 3	-1.022	0.07308	-13.98	0.0001
2 2 4	- 0.278	0.07308	-3.80	0.0977
2 2 5	0.473	0.07308	6.47	0.0001
2 3 1	-2.328	0.07308	-31.85	0.0001
2 3 2	- 2.038	0.07308	-27.88	0.0001
2 3 3	-1.495	0.07308	-20.45	0.0001
2 3 4	-0.548	0.07308	-7.50	0.0001
2 3 5	-0.136	0.07308	-1.85	0.9976
2 4 1	-2.446	0.07308	- 33.47	0.0001
2 4 2 -	2.174	0.07308	- 29.75	0.0001
2 4 3 -	1.769	0.07308	- 24.20	0.0001
2 4 4 -	1.225	0.07308	-16.76	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-1 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของค่า CEC ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t- Value	Adjusted p - Value
2 4 5	- 0.546	0.07308	-7.48	0.0001
a = 1, b = 1, c = 2				
1 1 3	0.270	0.07308	3.70	0.1300
1 1 4	0.613	0.07308	8.39	0.0001
1 1 5	1.021	0.07308	13.96	0.0001
1 2 1	0.002	0.07308	0.03	1.0000
1 2 2	0.268	0.07308	3.67	0.1397
1 2 3	0.408	0.07308	5.58	0.0003
1 2 4	1.155	0.07308	15.81	0.0001
1 2 5	1.423	0.07308	19.47	0.0001
1 3 1	-0.678	0.07308	-9.28	0.0001
1 3 2	0.001	0.07308	0.01	1.0000
1 3 3	0.202	0.07308	2.77	0.7068
1 3 4	0.523	0.07308	7.16	0.0001
1 3 5	0.952	0.07308	13.02	0.0001
1 4 1	-1.289	0.07308	-17.64	0.0001
1 4 2	-0.886	0.07308	-12.13	0.0001
1 4 3	-0.617	0.07308	-8.44	0.0001
1 4 4	-0.208	0.07308	-2.85	0.6479
1 4 5	0.334	0.07308	4.57	0.0092
2 1 1	-3.058	0.07308	-41.85	0.0001
2 1 2	-2.720	0.07308	-37.22	0.0001
2 1 3	-2.043	0.07308	-27.96	0.0001
2 1 4	-1.836	0.07308	-25.12	0.0001
2 1 5	-0.274	0.07308	-3.75	0.1131
2 2 1	-2.653	0.07308	-36.30	0.0001
2 2 2	-2.312	-0.07308	31.63	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-1 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของค่า CEC ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
2 2 3	-1.702	0.07308	-23.29	0.0001
2 2 4	-0.958	0.07308	-13.11	0.0001
2 2 5	- 0.207	0.07308	-2.84	0.6544
2 3 1	-3.008	0.07308	-41.15	0.0001
2 3 2	-2.718	0.07308	-37.19	0.0001
2 3 3	-2.175	0.07308	-29.76	0.0001
2 3 4	-1.228	0.07308	-16.81	0.0001
2 3 5	-0.816	0.07308	-11.16	0.0001
2 4 1	-3.126	0.07308	-42.78	0.0001
2 4 2	-2.854	0.07308	-39.05	0.0001
2 4 3	-2.449	0.07308	-33.51	0.0001
2 4 4	-1.905	0.07308	-26.07	0.0001
2 4 5	-1.226	0.07308	-16.78	0.0001
a = 1,b = 1, c = 3				
1 1 4	0.343	0.07308	4.70	0.0060
1 1 5	0.751	0.07308	10.27	0.0001
1 2 1	-0.268	0.07308	-3.66	0.1410
1 2 2	-0.002	0.07308	-0.03	1.0000
1 2 3	0.138	0.07308	1.88	0.9969
1 2 4	0.885	0.07308	12.11	0.0001
1 2 5	1.153	0.07308	15.78	0.0001
1 3 1	-0.948	0.07308	-12.98	0.0001
1 3 2	-0.270	0.07308	-3.69	0.1323
1 3 3	-0.068	0.07308	-0.93	1.0000
1 3 4	0.253	0.07308	3.47	0.2241
1 3 5	0.681	0.07308	9.32	0.0001
1 4 1	-1.559	0.07308	-21.33	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-1 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของค่า CEC ในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
1 4 2	-1.156	0.07308	-15.82	0.0001
1 4 3	-0.887	0.07308	-12.14	0.0001
1 4 4	-0.478	0.07308	-6.54	0.0001
1 4 5	0.064	0.07308	0.88	1.0000
2 1 1	-3.329	0.07308	-45.54	0.0001
2 1 2	-2.990	0.07308	-40.92	0.0001
2 1 3	-2.314	0.07308	-31.66	0.0001
2 1 4	-2.106	0.07308	-28.82	0.0001
2 1 5	-0.544	0.07308	-7.44	0.0001
2 2 1	-2.923	0.07308	-40.00	0.0001
2 2 2	-2.582	0.07308	-35.33	0.0001
2 2 3	-1.972	0.07308	-26.98	0.0001
2 2 4	-1.228	0.07308	-16.81	0.0001
2 2 5	-0.477	0.07308	-6.53	0.0001

p -Value ($p > 0.05$; ไม่แตกต่าง, $p < 0.05$; แตกต่าง)

จากตารางที่ ช-1 เมื่อพิจารณาที่ ค่า CEC ในดินสมุทรปราการก่อนปลูกข้าว ที่ชุดการทดลอง B (1 1 2) เปรียบเทียบกับ ในดินสมุทรปราการก่อนปลูกข้าว ที่ชุดการทดลอง A (a = 1, b = 1, c = 1) พบว่ามีค่า p-Value เท่ากับ 0.0001 ดังนั้นค่า CEC ในชุดการทดลอง A และ B จึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-2 ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

General Linear Model: d versus a, b, c			
Factor	**Type**	**Levels**	**Values**
a	fixed	2	1, 2
b	fixed	4	1, 2, 3, 4
c	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5

Analysis of Variance for c, using Adjusted SS for Tests						
Source	**DF**	**Seq SS**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F**	**P**
a	1	11418	11418	11418	43.31	0.000
b	3	205005	205005	68335	259.20	0.000
c	4	496958	496958	124239	471.25	0.000
a*b	3	26323	26323	8774	33.28	0.000
a*c	4	31771	31771	7943	30.13	0.000
b*c	12	11433	11433	953	3.61	0.000
a*b*c	12	4666	4666	389	1.47	0.001
Error	80	21091	21091	264		
Total	119	808665				

S = 5.38655 R-Sq = 86.98% R-Sq(adj) = 80.64%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-2 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable c

All Paireise Comparisons amorg Levels of a*b*c

a = ประเภทดิน a1 = ดินสมุทรปราการ

a2 = ดินสุพรรณบุรี

b = ชุดการทดลอง b1 = ชุดการทดลองก่อนปลูกข้าว

b2 = ชุดการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

b3 = ชุดการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

b4 = ชุดการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ กข 1

c = สูตรการทดลอง c1 = A

c2 = B

c3 = C

c4 = D

c5 = E

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
a = 1, b = 1, c = 1				
1 1 2	130.5	13.26	9.845	0.0001
1 1 3	172.4	13.26	13.004	0.0001
1 1 4	202.6	13.26	15.279	0.0001
1 1 5	234.4	13.26	17.683	0.0001
1 2 1	-72.4	13.26	-5.465	0.0004
1 2 2	-16.6	13.26	-1.249	1.0000
1 2 3	42.0	13.26	3.168	0.4058
1 2 4	94.6	13.26	7.132	0.0001
1 2 5	177.1	13.26	13.356	0.0001
1 3 1	-94.9	13.26	-7.157	0.0001
1 3 2	-40.5	13.26	-3.054	0.4887

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-2 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
1 3 3	29.8	13.26	2.250	0.9580
1 3 4	70.3	13.26	5.304	0.0007
1 3 5	121.3	13.26	9.150	0.0001
1 4 1	-105.2	13.26	-7.932	0.0001
1 4 2	-48.6	13.26	-3.667	0.197
1 4 3	32.3	13.26	2.437	08982
1 4 4	62.2	13.26	4.689	0.0062
1 4 5	110.3	13.26	8.318	0.0001
2 1 1	8.7	13.26	0.658	1.0000
2 1 2	47.9	13.26	3.609	0.1608
2 1 3	101.4	13.26	7.649	0.0001
2 1 4	97.3	13.26	7.340	0.0001
2 1 5	132.0	13.26	9.953	0.0001
2 2 1	-30.0	13.26	-2.261	0.9554
2 2 2	-19.9	13.26	-1.503	1.000
2 2 3	65.0	13.26	4.901	0.0029
2 2 4	96.7	13.26	7.297	0.0001
2 2 5	110.9	13.26	8.67	0.0007
2 3 1	-41.8	13.26	-3.151	0.4179
2 3 2	-24.4	13.26	-1.843	0.9979
2 3 3	27.5	13.26	2.073	0.9859
2 3 4	46.7	13.26	3.520	0.1988
2 3 5	80.1	13.26	6.043	0.0001
2 4 1	-67.6	13.26	-5.096	0.0014
2 4 2	-53.8	13.26	-4.060	0.0475
2 4 3	27.5	13.26	2.077	0.9856
2 4 4	41.1	13.26	3.098	0.4516

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-2 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
2 4 5	66.1	13.26	4.988	0.0021
a = 1, b = 1, c = 2				
1 1 3	41.9	13.26	3.16	0.4117
1 1 4	72.0	13.26	5.43	0.0004
1 1 5	103.9	13.26	7.84	0.0001
1 2 1	-203.0	13.26	-15.31	0.0001
1 2 2	-147.1	13.26	-11.09	0.0001
1 2 3	-88.5	13.26	-6.68	0.0001
1 2 4	-36.0	13.26	-2.71	0.7436
1 2 5	46.6	13.26	3.51	0.2026
1 3 1	-225.4	13.26	-17.00	0.0001
1 3 2	-171.0	13.26	-12.90	0.0001
1 3 3	-100.7	13.26	-7.60	0.0001
1 3 4	-60.2	13.26	-4.54	0.01103
1 3 5	-9.2	13.26	-0.69	1.0000
1 4 1	-235.7	13.26	-17.78	0.0001
1 4 2	-179.1	13.26	-13.51	0.0001
1 4 3	-98.2	13.26	-7.144	0.0001
1 4 4	-68.4	13.26	-5.16	0.0012
1 4 5	.20.2	13.26	-1.53	0.9999
2 1 1	-121.8	13.26	-9.19	0.0001
2 1 2	-82.7	13.26	-6.24	0.0001
2 1 3	-29.1	13.26	-2.20	0.9691
2 1 4	-33.2	13.26	-2.51	0.8669
2 1 5	1.4	13.26	0.11	1.0000
2 2 1	-160.5	13.26	-12.11	0.0001
2 2 2	-150.4	13.26	-11.35	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-2 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการ และดินนาสุพรรณบุรี ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว 3 สายพันธุ์

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
2 2 3	-65.5	13.26	-4.94	0.0025
2 2 4	-33.8	13.26	-2.55	0.8451
2 2 5	-19.6	13.26	-1.48	1.0000
2 3 1	-172.3	13.26	-13.00	0.0001
2 3 2	-155.0	13.26	-11.69	0.0001
2 3 3	-103.0	13.26	-7.77	0.0001
2 3 4	-83.9	13.26	-6.33	0.0001
2 3 5	-50.4	13.26	-3.80	0.0985
2 4 1	-198.1	13.26	-14.94	0.0001
2 4 2	-184.3	13.26	-13.90	0.0001
2 4 3	-103.0	13.26	-7.77	0.0001
2 4 4	89.4	13.26	-6.75	0.0001
2 4 5	-64.4	13.26	-4.86	0.0034

p -Value ($p > 0.05$; ไม่แตกต่าง, $p < 0.05$; แตกต่าง)

จากตารางที่ ช-2 เมื่อพิจารณาที่ ปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าว ที่ชุดการทดลอง B (1 1 2) เปรียบเทียบกับปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าว ที่ชุดการทดลอง A ($a = 1$, $b = 1$, $c = 1$) พบว่ามีค่า p-Value เท่ากับ 0.0001 ดังนั้นปริมาณเหล็กในดินนาสมุทรปราการก่อนปลูกข้าว ที่ชุดการทดลอง A และ B จึงมีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณทองแดง (Cu) ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 80 และ พันธุ์ กข1 ในดินนา 2 แหล่ง ที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ

General Linear Model: d versus a, b, c			
Factor	**Type**	**Levels**	**Values**
a	fixed	2	1, 2
b	fixed	3	1, 2, 3,
c	fixed	2	1, 2
d	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5

Analysis of Variance for c, using Adjusted SS for Tests						
Source	**DF**	**Seq SS**	**Adj SS**	**Adj MS**	**F**	**P**
a	1	187.53	187.53	187.53	755.66	0.000
b	2	499.31	499.31	249.66	1005.97	0.000
c	1	9735.60	9735.60	9735.60	39228.93	0.000
d	4	570.26	570.26	142.56	574.45	0.000
a*b	3	4.65	4.65	2.33	9.37	0.000
a*c	1	107.57	107.57	107.57	433.45	0.000
a*d	4	2.77	2.77	0.69	2.79	0.003
b*c	2	32.92	32.92	16.46	66.32	0.000
b*d	8	45.74	45.74	5.72	23.04	0.000
c*d	4	82.26	82.26	20.57	82.87	0.000
a*b*c	2	48.20	48.20	24.10	97.10	0.000
a*b*d	8	3.28	3.28	0.41	1.65	0.001
a*c*d	4	11.91	11.91	2.98	11.99	0.000
b*c*d	8	17.18	17.18	2.15	8.65	0.000
a*b*c*d	8	3.65	3.65	0.46	1.84	0.007
Error	120	29.78	29.78	0.25		
Total	179	11382.60				

S = 0.498171 R-Sq = 99.74% R-Sq(adj) = 99.61%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณทองแดง (Cu) ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 80 และ พันธุ์ กข1 ในดินนา 2 แหล่ง ที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable c

All Paireise Comparisons amorg Levels of a*b*c*d

a = ประเภทดิน a1 = ดินสมุทรปราการ

a2 = ดินสุพรรณบุรี

b = พันธุ์ข้าว b1 = พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

b2 = พันธุ์ปทุมธานี 80

b3 = พันธุ์ กข 1

c = ส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว c1 = เมล็ดข้าว

c2 = ต้นข้าว

d = สูตรการทดลอง c1 = A

d2 = B

d3 = C

d4 = D

d5 = E

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
a = 1, b = 1, c = 1, d = 1				
1 1 1 2	0.5959	0.4068	1.465	1.0000
1 1 1 3	0.8013	0.4068	1.970	0.9996
1 1 1 4	1.1895	0.4068	2.924	0.7649
1 1 1 5	1.7851	0.4068	4.389	0.2640
1 1 2 1	12.4136	0.4068	30.519	0.0003
1 1 2 2	13.2777	0.4068	32.643	0.0003
1 1 2 3	14.4769	0.4068	35.598	0.0003
1 1 2 4	15.9018	0.4068	39.094	0.0003
1 1 2 5	16.6135	0.4068	40.844	0.0003
1 2 1 1	1.2930	0.4068	3.179	0.5663

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณทองแดง (Cu) ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 80 และ พันธุ์ กข1 ในดินนา 2 แหล่ง ที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
1 2 1 2	13.2777	0.4068	32.643	0.0003
1 2 1 3	14.4769	0.4068	35.598	0.0003
1 2 1 4	15.6018	0.4068	39.094	0.0003
1 2 1 5	16.6135	0.4068	40.844	0.0003
1 2 2 1	1.2930	0.4068	3.179	0.5663
1 2 2 2	01.3414	0.4068	3.298	0.4697
1 2 2 3	2.1236	0.4068	5.221	0.0013
1 2 2 4	2.7530	0.4068	6.768	0.0003
1 2 2 5	3.1111	0.4068	7.649	0.0003
1 3 1 1	1.7055	0.4068	4.193	0.0502
1 3 1	2.1196	0.4068	5.211	0.0014
1 3 1 3	3.0635	0.4068	7.532	0.0003
1 3 1 4	4.3309	0.4068	10.648	0.0003
1 3 1 5	4.4201	0.4068	10.867	0.0003
1 3 2 1	16.5180	0.4068	40.609	0.0003
1 3 2 2	18.0282	0.4068	44.322	0.0003
1 3 2 3	20.6344	0.4068	50.729	0.0003
1 3 2 4	24.4993	0.4068	60.231	0.0003
1 3 2 5	24.5738	0.4068	60.414	0.0003
2 1 1 1	1.5842	0.4068	3.985	0.1220
2 1 1 2	2.8204	0.4068	6.934	0.0003
2 1 1 3	3.5165	0.4068	8.645	0.0003
2 1 1 4	4.4289	0.4068	10.888	0.0003
2 1 1 5	4.9365	0.4068	12.136	0.0003
2 1 2 1	14.5997	0.4068	35.893	0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณทองแดง (Cu) ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 80 และ พันธุ์ กข1 ในดินนา 2 แหล่ง ที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
2 1 2 2	16.5859	0.4068	40.776	0.0003
2 1 2 3	16.9682	0.4068	41.716	0.0003
2 1 2 4	18.4874	0.4068	45.451	0.0003
2 1 2 5	17.9973	0.4068	44.246	0.0003
2 2 1 1	4.1813	0.4068	10.280	0.0003
2 2 1 2	5.0063	0.4068	12.308	0.0003
2 2 1 3	6.2171	0.4068	15.285	0.0003
2 2 1 4	7.4601	0.4068	18.341	0.0003
2 2 1 5	8.6747	0.4068	21.327	0.0003
2 2 2 1	15.5264	0.4068	38.171	0.0003
2 2 2 2	17.3569	0.4068	42.672	0.0003
2 2 2 3	18.2002	0.4068	44.745	0.0003
2 2 2 4	20.1699	0.4068	49.587	0.0003
2 2 2 5	22.7402	0.4068	55.906	0.0003
2 3 1 1	5.4064	0.4068	13.291	0.0003
2 3 1 2	5.8202	0.4068	14.309	0.0003
2 3 1 3	6.6604	0.4068	16.374	0.0003
2 3 1 4	8.7097	0.4068	21.413	0.0003
2 3 1 5	9.0240	0.4068	22.185	0.0003
2 3 2 1	16.0894	0.4068	39.556	0.0003
2 3 2 2	18.5662	0.4068	45.645	0.0003
2 3 2 3	20.2119	0.4068	49.691	0.0003
2 3 2 4	24.0673	0.4068	59.169	0.0003
2 3 2 5	24.3192	0.4068	59.788	0.0003
a = 1, b = 1, c = 1, d = 2				
1 1 1 3	0.2054	0.4068	0.5049	1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณทองแดง (Cu) ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 80 และ พันธุ์ กข1 ในดินนา 2 แหล่ง ที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
1 1 1 4	0.5936	0.4068	1.4593	1.0000
1 1 1 5	1.1891	0.4068	2.9234	0.7655
1 1 2 1	11.8176	0.4068	29.0535	0.0003
1 1 2 2	12.6818	0.4068	31.1780	0.0003
1 1 2 3	13.8837	0.4068	34.1328	0.0003
1 1 2 4	15.3059	0.4068	37.6293	0.0003
1 1 2 5	16.0175	0.4068	39.3788	0.0003
1 2 1 1	0.6971	0.4068	1.7138	1.0000
1 2 1 2	0.7455	0.4068	1.8327	0.9999
1 2 1 3	1.5276	0.4068	3.7557	0.1766
1 2 1 4	2.1552	0.4068	5.3031	0.0010
1 2 1 5	2.5152	0.4068	6.1836	0.0003
1 2 2 1	14.6678	0.4068	36.0606	0.0003
1 2 2 2	16.2963	0.4068	40.0642	0.0003
1 2 2 3	19.1227	0.4068	47.0129	0.0003
1 2 2 4	21.6580	0.4068	53.2458	0.0003
1 2 2 5	22.7919	0.4068	56.0335	0.0003
1 3 1 1	1.1095	0.4068	2.7278	0.8826
1 3 1 2	1.5237	0.4068	3.7459	0.1810
1 3 1 3	2.4674	0.4068	6.0664	0.0003
1 3 1 4	3.7350	0.4068	9.1824	0.0003
1 3 1 5	3.8242	0.4068	9.4016	0.0003
1 3 2 1	15.9221	0.4068	39.1442	0.0003
1 3 2 2	17.4322	0.4068	42.8569	0.0003
1 3 2 3	20.0384	0.4068	49.2642	0.0003
1 3 2 4	23.9034	0.4068	58.9492	0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 (ต่อ) ค่าทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของปริมาณทองแดง (Cu) ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปทุมธานี 80 และ พันธุ์ กข1 ในดินนา 2 แหล่ง ที่เติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ

a b c	Difference of Means	SE of Difference	t - Value	Adjusted p - Value
1 3 2 5	23.977	0.4068	58.9492	0.0003
2 1 1 1	0.9883	0.4068	2.4297	0.9753
2 1 1 2	2.2245	0.4068	5.4989	0.0006
2 1 1 3	2.9205	0.4068	7.1801	0.0003
2 1 1 4	3.8330	0.4068	9.4233	0.0003
2 1 1 5	4.3406	0.4068	10.6713	0.0003
2 1 2 1	14.0037	0.4068	34.4280	0.0003
2 1 2 2	15.9900	0.4068	39.3112	0.0003
2 1 2 3	16.3722	0.4068	40.2509	0.0003
2 1 2 4	17.8915	0.4068	43.9860	0.0003
2 1 2 5	17.4014	0.4068	42.7810	0.0003
2 2 1 1	3.5854	0.4068	8.8145	0.0003
2 2 1 2	4.4104	0.4068	10.8429	0.0003
2 2 1 3	5.6211	0.4068	13.8195	0.0003
2 2 1 4	6.8642	0.4068	16.8755	0.0003
2 2 1 5	8.0781	0.4068	19.8615	0.0003

p -Value ($p > 0.05$; ไม่แตกต่าง, $p < 0.05$; แตกต่าง)

จากตารางที่ ช-3 เมื่อพิจารณาที่ ปริมาณทองแดงในเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ ชุดการทดลอง B (1 1 1 2) เปรียบเทียบกับปริมาณปริมาณทองแดงในเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ ชุดการทดลอง A ($a = 1, b = 1, c = 1, d = 1$) พบว่ามีค่า p-Value เท่ากับ 1.0000 ดังนั้นปริมาณทองแดงในเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาสมุทรปราการ ที่ชุดการทดลอง A และ B จึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวกัณฑมาศ อยู่เจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	17 กรกฎาคม พ.ศ. 2529
ที่อยู่	76 ม. 11 ต.บางบ่อ อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ 10560
ประวัติการศึกษา	2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม เกรดเฉลี่ย 2.87 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2553 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม เกรดเฉลี่ย 3.62 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิชาการ	เรื่อง การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Utilization of Wastewater Sludge to Improve Soil for Khao Dawk Mali 105 Rice Planting) วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม-มีนาคม 2556) เรื่อง การใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (Utilization of Wastewater Sludge in Peanut Food Factory to Improve Soil for Pathumthani 80 Rice Planting) วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 (เดือนกรกฎาคม-กันยายน 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้