ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนจากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

นายพนัส พงศ์ผลาดิสัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER ON CADMIUM AND ZINC WITH RICE GROWN IN CONTAMINATED SOIL ON SITE AT AMPHOE MAESOT CHANGWAT TAK

Mr. Panus Pongpaladisai

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนจากพื้นที่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
โดย	นายพนัส พงศ์ผลาดิสัย
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทรา ทองคำเภา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ พงศาพิชญ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พนัส พงศ์ผลาดิสัย : ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนจากพื้นที่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. (EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER ON CADMIUM AND ZINC WITH RICE GROWN IN CONTAMINATED SOIL ON SITE AT AMPHOE MAESOT CHANGWAT TAK) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 138 หน้า.

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีด้วยข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนจากพื้นที่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยทำการศึกษาในเรือนเพาะชำ ซึ่งแบ่งชุดการทดลองได้ 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2) ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ 4) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 5) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ และทำการปลูกข้าวสี่สายพันธุ์ ได้แก่ 1) ขาวดอกมะลิ105 2) กข6 3) พิษณุโลก3 และ 4) เหนียวสันป่าตอง ทำการเก็บตัวอย่างดิน และข้าว (ส่วนบนดิน และส่วนใต้ดิน) ที่ระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วัน นำมาวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดในดิน และส่วนต่างๆ ของข้าว ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ที่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว 120 วัน การสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน มีค่าต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ และปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง โดยมีค่าเท่ากับ 4.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้ดิน มีค่าต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 โดยมีค่าเท่ากับ 9.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการสะสมแคดเมียมในเมล็ด มีค่าต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ และปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 มีค่าการสะสมแคดเมียมในเมล็ดสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นปุ๋ยอินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้น 1000-2000 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถตรึงแคดเมียมไว้ได้ จึงควรมีการแนะนำเกษตรกรให้ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้นนี้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต พนัส พงศ์ผลาดิสัย

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5187210320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS : ORGANIC FERTILIZER / UPTAKE / RICE / CADMIUM / ZINC

PANUS PONGPALADISAI : EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER ON CADMIUM AND ZINC WITH RICE GROWN IN CONTAMINATED SOIL ON SITE AT AMPHOE MAESOT CHANGWAT TAK. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. PANTAWAT SAMPANPANISH, Ph.D., 138 pp.

This research was to study the effect of organic fertilizer on cadmium and zinc with rice grown in contaminated soil from Amphoe Maesot Changwat Tak . The pot experiment was separated into 5 sets. Set 1) non-contaminated soil without organic fertilizer 2) contaminated soil without organic fertilizer 3) contaminated soil with organic fertilizer 500 kg per rai 4) contaminated soil with organic fertilizer 1000 kg per rai and 5) contaminated soil with organic fertilizer 2000 kg per rai. The four rice cultivars were used in this study were Khao Dawk Mali105, RD6, Phitsanulok3 and Niaw San-pah-tawng. Rice samples were harvested after the growth periods of 1, 2, 3 and 4 months. After harvesting, the rice samples were separated into four parts: stem, root, husk and grain. After 4 months the result showed that the accumulation of cadmium in stem was found to be the least in the treatment of organic fertilizer 2000 kg per rai of Niaw San-pah-tawng, which was 4.10 mg Cd kg^{-1}. The accumulation of cadmium in root was found to be the least in the treatment of organic fertilizer 1000 kg per rai of Phitsanulok3, which was 9.19 mg Cd kg^{-1} after 4 months. The accumulation of cadmium in grain was found to be the least in the treatment of organic fertilizer 2000 kg per rai of Phitsanulok3, which was 0.06 mg Cd kg^{-1}. The accumulation of cadmium in grain was found to be the most in the treatment of organic fertilizer 0 kg per rai of Phitsanulok3, which was 0.29 mg Cd kg^{-1}. The treatment of organic fertilizer for 1000 to 2000 kg per rai can stabilize cadmium in soil, thus, this application of organic fertilizer should be introduced to local farmers.

Field of Study : Environmental Science..... Student's Signature Panus Pongpaladisai

Academic Year : 2010..... Advisor's Signature Pantawat Sampanpanish

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทรา ทองคำเภา และรองศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ พงศาพิชญ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นที่มีส่วนสำคัญในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

การทำ วิทยานิพนธ์ ครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนทุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ คุณมีชัย เซี่ยงหลิว และเจ้าหน้าที่จากหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์จากยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ที่สนับสนุนด้านสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ ขอขอบคุณคุณสุนิยม ตาปราบ จากกรมการข้าวที่เอื้อเฟื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อพิพัฒน์ คุณแม่กานดา พงศ์ผลาดิสัย และคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนทุนสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูป..... ฒ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 สมมุติฐาน..... 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 แคดเมียม..... 5

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคดเมียม..... 5

2.1.2 แหล่งที่มาของแคดเมียม..... 5

2.1.3 การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม..... 6

2.1.4 ความเป็นพิษของแคดเมียม..... 7

2.1.5 การปนเปื้อนแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม..... 9

2.1.6 มาตรฐานของแคดเมียมในดิน..... 10

2.2 สังกะสี..... 11

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสังกะสี..... 12

2.2.2 แหล่งที่มาของสังกะสี..... 12

2.2.3 การใช้ประโยชน์ของสังกะสี..... 12

2.2.4 โทษของสังกะสี..... 13

2.2.5 การปนเปื้อนสังกะสีในสิ่งแวดล้อม..... 14

บทที่ หน้า

2.3 ข้าว..... 14
2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว..... 14
2.3.2 การเจริญเติบโตของข้าว..... 19
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว..... 21
2.3.4 พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง..... 22
2.4 ปุ๋ยอินทรีย์..... 25
2.4.1 ลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์..... 25
2.4.2 ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์..... 25
2.4.3 การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช..... 29
2.4.4 ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน..... 29
2.5 การบำบัดโดยใช้พืช (phytoremediation)..... 31
2.5.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช..... 31
2.5.2 ชนิดของการบำบัดโดยใช้พืช..... 32
2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักโดยพืช..... 34
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 36
3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 39
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 39
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการปลูกข้าว..... 39
3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง..... 39
3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ..... 40
3.2 สถานที่ดำเนินการวิจัย..... 41
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 42
3.3.1 การเตรียมเรือนทดลอง..... 43
3.3.2 การเตรียมดิน..... 43
3.3.3 การเตรียมภาชนะปลูก..... 44
3.3.4 การเตรียมพืชทดลอง..... 44
3.3.5 การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์..... 44
3.3.6 การปลูกข้าว และการดูแลรักษา..... 46
3.3.7 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต..... 46

บทที่ หน้า

3.3.8 การเก็บตัวอย่าง..... 46
3.4 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและสังกะสี..... 47
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 48
4 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย..... 49
4.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบเบื้องต้นของดินที่ใช้ในการทดลอง..... 49
4.2 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำ..... 50
4.3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินทดลอง..... 52
4.4 ปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในดิน..... 53
4.4.1 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในดิน..... 53
4.4.2 ปริมาณการสะสมสังกะสีในดิน..... 64
4.5 อัตราการเจริญเติบโตของข้าว..... 74
4.5.1 อัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้ง..... 74
4.5.2 อัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้น..... 77
4.6 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในข้าว..... 80
4.6.1 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ)..... 80
4.6.2 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว)..... 86
4.6.3 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว และเมล็ดข้าว..... 92
4.7 ปริมาณการสะสมสังกะสีในข้าว..... 95
4.7.1 ปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ)..... 95
4.7.2 ปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว)..... 100
4.7.3 ปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนเปลือกข้าว และเมล็ดข้าว..... 105
4.8 ผลผลิตและค่าใช้จ่าย..... 109
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 111
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 111
5.1.1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในดิน..... 111
5.1.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในส่วนต่างๆ ของข้าว..... 112
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 113
รายการอ้างอิง..... 114

บทที่ หน้า

ภาคผนวก..... 122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... . 138

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	มาตรฐานโลหะหนักของคุณภาพดิน (Soil Guideline Value) เพื่อทำการเพาะปลูก	11
2.2	ปริมาณธาตุอาหารหลักเฉลี่ยในปุ๋ยคอกแต่ละชนิด	26
3.1	ผลการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ก่อนทำการทดลอง	45
3.2	ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว) ที่ใส่ลงไปในดิน	45
4.1	คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินเบื้องต้น	50
4.2	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	56
4.3	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	57
4.4	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	57
4.5	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	58
4.6	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	62
4.7	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	62
4.8	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	63
4.9	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	63
4.10	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	67
4.11	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์	67

ตารางที่ หน้า

4.12 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 68

4.13 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 68

4.14 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 72

4.15 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 72

4.16 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 73

4.17 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 73

4.18 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 83

4.19 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 84

4.20 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 84

4.21 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 85

4.22 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 89

4.23 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 89

4.24 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 90

4.25 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 90

ตารางที่ หน้า

4.26 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 93
4.27 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเมล็ดข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 94
4.28 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 98
4.29 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 98
4.30 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 99
4.31 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 99
4.32 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 103
4.33 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 103
4.34 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 104
4.35 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 104
4.36 ปริมาณสังกะสีในส่วนเปลือกข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 107
4.37 ปริมาณสังกะสีในส่วนเมล็ดข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์..... 108
4.38 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย (บาทต่อไร่) ในการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรกับงานวิจัย ... 110

ตารางผนวก หน้า

ข1	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid; SS) ในน้ำ.....	125
ข2	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ในน้ำ.....	126
ข3	ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved; BOD) ในน้ำ.....	127
ข4	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในน้ำ.....	128
ข5	ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ.....	129
ข6	ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^-) ในน้ำ.....	130
ข7	ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ในน้ำ.....	131
ข8	ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (ORP) ในน้ำ.....	132
ข9	ปริมาณการสะสมแคดเมียมในน้ำ.....	133
ข10	ปริมาณการสะสมสังกะสีในน้ำ.....	134
ข11	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดิน.....	135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังแสดงขอบเขตการดำเนินงานวิจัย	3
2.1	ลักษณะของราก	15
2.2	ลักษณะของลำต้น	16
2.3	ลักษณะของช่อดอก และดอก	17
2.4	ลักษณะของเมล็ด	18
2.5	ระยะการเจริญเติบโตของข้าว	20
3.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	42
4.1	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	54
4.2	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	55
4.3	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	55
4.4	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	56
4.5	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	60
4.6	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	60
4.7	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	61
4.8	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	61
4.9	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง	65

รูปที่ หน้า

4.10 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 65
4.11 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 66
4.12 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 66
4.13 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 70
4.14 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 70
4.15 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 71
4.16 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 71
4.17 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105..... 75
4.18 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์กข6..... 75
4.19 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3..... 76
4.20 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง..... 76
4.21 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105..... 78
4.22 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์กข6..... 78
4.23 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3..... 79
4.24 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง..... 79
4.25 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 81
4.26 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข6
ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 82

รูปที่ หน้า

4.27 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 82

4.28 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 83

4.29 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 87

4.30 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 87

4.31 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 88

4.32 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 88

4.33 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว ตามพันธุ์ข้าวทดลอง..... 92

4.34 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเมล็ดข้าว ตามพันธุ์ข้าวทดลอง..... 93

4.35 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 96

4.36 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... . 96

4.37 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 97

4.38 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 97

4.39 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 101

4.40 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 101

รูปที่ หน้า

4.41 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 102
4.42 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง..... 102
4.43 ปริมาณสังกะสีในส่วนเปลือกข้าว ตามพันธุ์ข้าวทดลอง..... 106
4.44 ปริมาณสังกะสีในส่วนเมล็ดข้าว ตามพันธุ์ข้าวทดลอง..... 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาคผนวก หน้า

ค1 การดำเนินงานวิจัยในเรือนทดลอง..... 136
ค2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 137

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทุกแหล่งกำเนิดของประเทศอยู่ในภาวะวิกฤตที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต อาทิ การปนเปื้อนของเสียอันตราย หรือโลหะหนักในดิน และแหล่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวมักเกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ อาทิ กิจกรรมการทำเหมือง และกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการเปิดหน้าดินเพื่อการเพาะปลูก ทำให้โลหะหนักมีการแพร่กระจายลงสู่น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และถูกสะสมในดิน รวมถึงสภาพธรรมชาติทางธรณีวิทยาก็เป็นสาเหตุที่สำคัญของการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยเกิดจากกระบวนการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติของพื้นที่ โดยเฉพาะการปนเปื้อนของแคดเมียมในบริเวณตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งมีการปนเปื้อนแคดเมียมเกิดขึ้นในดินและแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ และวิถีการดำเนินชีวิตของประชาชนในท้องที่ เช่น สูญเสียการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลผลิตทางการเกษตรมีการปนเปื้อนแคดเมียม เมื่อรับประทานเข้าไปสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและสะสมในสิ่งมีชีวิต

จากการรายงานการศึกษาของสถาบันการจัดการน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute) พบการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในดิน และพืชผลทางการเกษตรบริเวณลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยในระยะแรกระหว่างปี พ.ศ. 2541-2543 พบว่า ในแปลงนาข้าวบริเวณตำบลพะเด๊ะ มีปริมาณสารแคดเมียมในดินสูงกว่าค่ามาตรฐานที่สหภาพยุโรป (EU) กำหนดไว้ถึง 1,800 เท่า และร้อยละ 95 ของเมล็ดข้าวที่สุ่มตัวอย่างมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ด้วย ส่วนระหว่างปี พ.ศ. 2544-2546 ได้ขยายพื้นที่การศึกษาต่อเนื่องจากช่วงแรกมาตามลำห้วยแม่ตาว ซึ่งเป็นบริเวณท้ายน้ำ พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินมีค่าสูงถึง 72 เท่าจากค่ามาตรฐานที่สหภาพยุโรป (EU) กำหนดไว้ ในขณะที่ร้อยละ 80 ของตัวอย่างข้าวมีค่าการปนเปื้อนสารแคดเมียมสูงกว่าค่ามาตรฐานของญี่ปุ่น และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ(FAO) ดังนั้น จากปัญหาดังกล่าวควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงมีการส่งเสริมให้ประชาชนในพื้นที่เปลี่ยนจากการทำนาข้าวมาเป็นการปลูกอ้อยแทนเพื่อใช้ประโยชน์ในการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล อันเป็นการใช้พลังงานทดแทนจากพืช และเป็นตัวช่วยดูดดึงแคดเมียมที่ปนเปื้อนในพื้นที่ออกจากดินด้วย คุณสมบัติของอ้อยที่เป็นพืชที่ง่ายต่อการปลูก และดูแลรักษา มีความทนต่อสภาพภูมิประเทศ และสามารถขยายพันธุ์ได้ดี อีกทั้งเป็นพืชเศรษฐกิจที่ให้ผลตอบแทนเชิงพาณิชย์สูง ในทางตรงข้าม

ประชาชนบางส่วนที่มีนาข้าวอยู่ในพื้นที่ที่มีดินปนเปื้อนแคดเมียมไม่ยอมรับการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งพื้นที่บางส่วนไม่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย จึงยังคงที่จะปลูกข้าวต่อไปเพื่อใช้บริโภคเป็นหลัก ซึ่งคาดว่าผลผลิตที่ได้ย่อมมีการปนเปื้อนแคดเมียม ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบพันธุ์ข้าว 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข6 พิษณุโลก 3 และเหนียวสันป่าตอง ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว) โดยปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมสูงกว่า 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้เพื่อค้นหาสายพันธุ์ข้าวที่มีประสิทธิภาพในการตรึงแคดเมียมและสังกะสีไว้ในดินหรือรากข้าวมากที่สุด หรือให้มีการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในข้าวในปริมาณที่น้อยที่สุด ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว) อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแคดเมียมหรือความสามารถที่จะทำให้แคดเมียมมีความเสถียร และคงอยู่ในดินที่ปลูกด้วยพันธุ์ข้าวศึกษาต่างๆ และเพื่อให้ทราบว่าพันธุ์ข้าวใดที่ไม่ดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีไปสะสมที่เมล็ดข้าว ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรเลือกใช้พันธุ์ข้าวในการทำนาที่ปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสีอย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยต่อการบริโภคมากที่สุด

1.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีในข้าวที่ปลูกในดินที่มีปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ในระดับที่แตกต่างกัน

2) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่สะสมในส่วนต่างๆ ของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

3) เพื่อศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ในระดับที่แตกต่างกัน ต่อความสามารถของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ในการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 **สมมุติฐาน**

ประสิทธิภาพการดูดดึงหรือการตรึงแคดเมียมและสังกะสีไว้ในดินของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข6 พิษณุโลก3 และเหนียวสันป่าตอง มีความแตกต่างกันตามปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ในดินที่ปนเปื้อน และตามระยะเวลาของอายุพันธุ์ข้าวศึกษา

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

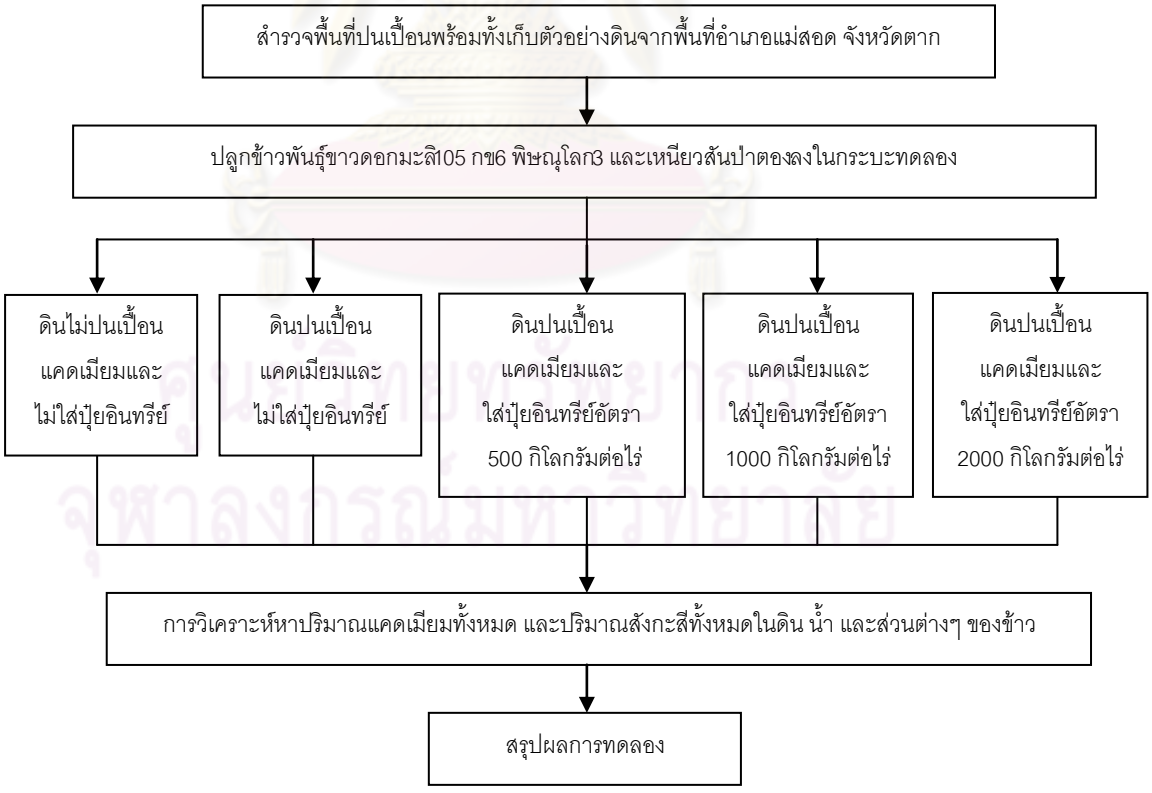
การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ในดินที่ใช้ปลูกข้าวต่อการดูดดึง หรือการตรึงไว้ของแคดเมียม และสังกะสีด้วยการปลูกข้าวสี่สายพันธุ์ในดินที่มีการปนเปื้อนจากพื้นที่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งมีขอบเขตการทดลองดังนี้

1) เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ105 กข6 พิษณุโลก3 และเหนียวสันป่าตองจากกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้คือ ปุ๋ยจากมูลวัว โดยแบ่งปริมาณการใส่ปุ๋ยเป็น 4 ระดับ คือ 0, 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่

3) ดินที่ใช้ในการศึกษา คือ ดินที่ปนเปื้อนจากบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งมีความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมเฉลี่ย 68.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นำมาทดลองในเรือนเพาะชำ

4) ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และส่วนต่างๆ ของข้าว คือ เมื่อข้าวมีอายุ 30, 60, 90 และ 120 วัน และทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) และปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) ซึ่งขอบเขตการศึกษาสามารถแสดงโดยสรุปได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงความสัมพันธ์ของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ในดินปนเปื้อนต่อการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในส่วนต่างๆ ของข้าวแต่ละสายพันธุ์ อันจะนำไปสู่การเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

2) สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมบริเวณอื่นๆ อีกทั้งเป็นการส่งเสริมและเป็นการให้คำแนะนำแก่เกษตรกรในการเลือกใช้สายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่ปนเปื้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แคดเมียม (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม II b ของตารางพีริออดิค (periodic table of elements) เช่นเดียวกับสังกะสีและปรอท มีสมบัติเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดงอได้ง่าย มีสีเงิน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 112.40 มีจุดหลอมเหลวที่ 320.9 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่ 767 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นเท่ากับ 8.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส ความดันไอของแคดเมียมมีค่า 1.4 มิลลิเมตรปรอท ที่ 400 องศาเซลเซียส และ 16 มิลลิเมตรปรอท ที่ 500 องศาเซลเซียส ดังนั้นในกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่นการอบแร่ การบัดกรี การหลอมเศษเหล็ก และการเผาของเสีย (incineration) จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการ และไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วไปเป็น cadmium oxide

แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีใน nitric acid และละลายได้ใน hydrochloric acid อย่างช้า ๆ และจะละลายได้ในกรดอ่อน ซึ่งจากคุณสมบัตินี้ แคดเมียมจึงเป็นอันตรายต่อคนแบบเฉียบพลันเมื่อกินเข้าไป

สารประกอบของแคดเมียม เช่น cadmium sulfate ($CdSO_4$), cadmium chloride ($CdCl_2$) และ cadmium nitrate ($Cd(NO_3)_2$) เป็นสารประกอบที่ไม่มีสี และละลายได้ดีในน้ำ นอกจากนี้แคดเมียมสามารถรวมกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับ cyanides และ amines

2.1.2 แหล่งที่มาของแคดเมียม

แคดเมียมเป็นแร่ที่พบกระจายปนกับแร่ชนิดอื่น ไม่ได้เป็นแร่ที่แยกเป็นเอกเทศ และมักพบปนอยู่กับแร่สังกะสีในปริมาณ 0.1-5% ซึ่งปริมาณแคดเมียมจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีในแร่ กล่าวคือ ถ้าในแร่มีปริมาณสังกะสีสูงปริมาณแคดเมียมจะสูงตามไปด้วย สำหรับแร่สังกะสีในประเทศไทยที่ขุดได้ในจังหวัดตากมีแคดเมียมประกอบอยู่ 0.23-0.38%

การผลิตแคดเมียมเริ่มตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 19 ปริมาณที่ผลิตได้ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการถลุงสังกะสี และบางส่วนได้ จากอุตสาหกรรมถลุงทองแดง และตะกั่ว IARC (International Agency for Research on Cancer) ได้รายงานปริมาณการผลิตแคดเมียมทั่วโลกในปี ค.ศ. 1973 มีปริมาณ 17,000 ตัน และประเทศที่ผลิตได้แก่ แคนาดา ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียตสังคมนิยม ฝรั่งเศส อิตาลี สเปน และยูโกสลาเวีย เป็นต้น สำหรับประเทศไทยเริ่มทำการผลิตแคดเมียมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 โดยผลิตจากแคดเมียม ซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานถลุงสังกะสี บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก ประมาณเดือนละ 1 ตัน ส่งจำหน่ายยังประเทศญี่ปุ่น ส่วนแคดเมียมที่ใช้ในประเทศ ได้จากการนำเข้าจากประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ออสเตรเลีย และสวิตเซอร์แลนด์ โดยนำเข้าทั้งชนิดที่แปรรูปแล้วและยังไม่ได้แปรรูป

2.1.3 การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และสินค้าอุปโภคดังนี้

2.1.3.1 ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น อัลลอยด์ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1% (cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์ อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่ว ซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20% ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์ (printing plates) อัลลอยด์ของทองแดง แคดเมียม และเซอร์โคเนียม ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆ ที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมีความแข็งและมีแรงดึงได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคดเมียม ใช้ผสมกับโลหะอื่นในอุตสาหกรรมเพชรพลอยและเครื่องประดับอัญมณีต่างๆ โดยอาจผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด (ทอง 75% เงิน 16.6%) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด (ทองแดง เงิน และทอง) ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงๆ ในการผสมกับโลหะอื่น เพื่อให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ (semiconductor) เช่น cadmium arsenide, cadmium antimonide และ cadmium telluride

2.1.3.2 ใช้ในการชุบโลหะ โดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และวิทยุ เป็นต้น

2.1.3.3 ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม สารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมซัลโฟซีลไนด์ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอินาเมล เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนัง หมึกพิมพ์และพลาสติก

2.1.3.4 ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cd – Ni battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกา และวิทยุเล็กๆ เป็นต้น

2.1.3.5 ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อราที่ใช้ในกิจการเกษตร ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์ ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้ในการถ่ายรูป เช่น Cd – Br, Cd – I ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น cadmium stearate และใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆ ที่ต้องระบายความร้อนมากๆ

2.1.4 ความเป็นพิษของแคดเมียม

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆ จะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามาก เพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16 -33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

2.1.4.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อกเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้ ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

2.1.4.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรัง ซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ได้แก่ ความเป็นพิษต่อปอดในคนที่หายใจเอาฝุ่นหรือไอ (fume) ของแคดเมียมเข้าไปติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด ประสิทธิภาพในการระบายลมของปอดจะลดลง ทำให้อากาศอยู่ภายในปอดนานกว่าปกติ มีอาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ออก นอกจากนี้ยังพบว่า แคดเมียมทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองและมีพังผืดในปอดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง เนื่องจากแคดเมียมจะเป็นตัวไปขัดขวางการสร้าง antitrypsin ซึ่งเป็นตัวควบคุม trypsin ในร่างกายคน ซึ่งสาร trypsin นี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองได้ ความเป็นพิษต่อไต ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกันจะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนที่ปอด จะเกิดแผลที่ไต พิษต่อไตจะปรากฏโดยผู้ป่วยมีอาการของโปรตีนยูเรีย คือ ไตจะมีการขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น microglobin lysozyme ribonuclease retinol binding protein และ immunoglobin chains โดยชนิดของโปรตีนที่ถูกขับออกมาจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าไตส่วนใดถูกทำลาย เช่น ถ้าโปรตีนขนาดใหญ่ถูกขับออกมา แสดงว่า โกลเมอรูรัส (glumerulus) ถูกทำลาย แต่ถ้าเป็นโปรตีนขนาดเล็กถูกขับออกมา แสดงว่า ส่วนของทิบูลถูกทำลาย นอกจากโปรตีนแล้วยังอาจมีสารอื่นๆ ถูกขับออกมากผิดปกติด้วย เช่น กรดอะมิโน ทำให้เกิดอาการ aminoaciduria แคลเซียม ทำให้เกิดอาการ hypercalciumuria และ กลูโคส ทำให้เกิดอาการ glucosuria เป็นต้น ความเป็นพิษที่กระดูก ที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อิไต อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือ กระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้ จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าวและหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิตจะทำให้เกิดความดันโลหิตสูง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคหัวใจ หัว

ใจเต้นผิดปกติ ในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรค อิไต อิไต และกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียมจะพบอาการของโรคโลหิตจางด้วย ความเป็นพิษต่อตับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อตับในคน แต่จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่า แคดเมียมในปริมาณน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป จากการทดลองในสัตว์ พบว่า แคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (sarcomar) เช่น กล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลอง

2.1.5 การปนเปื้อนแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม

แหล่งที่แพร่กระจายแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม คือ

1) จากอุตสาหกรรมตะกั่วและสังกะสี ได้แก่ การทำเหมือง การหลอมและถลุง ซึ่งอุตสาหกรรมแคดเมียมเหล่านี้จะปล่อยฝุ่น ไอ น้ำเสีย กากตะกอน ที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา

2) จากโรงงานชุบโลหะแคดเมียม ซึ่งของเสียจากโรงงานประเภทนี้จะมีแคดเมียมประมาณ 100-500 ppm และมีโลหะหนักอื่น ๆ รวมทั้งไซยาไนด์และสารเคมีอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย

3) จาก primary iron and steel industry และ secondary non-ferous metal industry อุตสาหกรรมประเภทนี้จะปล่อยฝุ่น ไอ น้ำเสีย กากตะกอนที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา

4) จากการเผาของเสีย (incineration) การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ เช่น พลาสติก เม็ดสี โลหะเคลือบ เศษเหล็ก เป็นต้น จะปล่อยแคดเมียมออกมาในรูป cadmium aerosols เช่น cadmium oxide (CdO)

5) จากยางรถยนต์ที่สึกหรอ ซึ่งยางรถยนต์มีแคดเมียมประกอบอยู่ประมาณ 20-90 ppm โดยเป็นสิ่งเจือปน (impurity) ใน zinc oxide ซึ่งเป็นสารรักษาความเร่ง

6) จากปุ๋ยฟอสเฟต โดยปุ๋ยฟอสเฟตมีแคดเมียมปนอยู่ เนื่องจากหินฟอสเฟตที่เป็นวัตถุดิบมีแคดเมียมประมาณ 2-170 ppm มีรายงานการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตจะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน เพราะ cadmium phosphate ละลายน้ำได้น้อย และส่วนที่ไม่ละลายพืชไม่สามารถดูดซึมได้ ดังนั้นแคดเมียมส่วนนี้จึงสะสมอยู่ในดิน แต่ถ้ามีการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียร่วมด้วยแคดเมียมจะละลายได้มากขึ้นเนื่องจากแคดเมียมจะไปรวมตัวกับแอมโมเนียเป็นอิออนที่ละลายน้ำได้ คือ $Cd(NH_3)_2^{+2}$ และ $Cd(NH_3)_4^{+2}$

7) จากการใช้ถ่านหินและ heating oil แคดเมียมเป็นธาตุปริมาณน้อยใน fossil fuels ดังนั้นเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ แคดเมียมจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและเถ้า ปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.25-5 ppm ถึงแม้จะไม่ทราบเ ปอร์เซ็นต์ที่แน่นอนของแคดเมียมที่ถูกปล่อยออกจากปล่อง หรือส่วนที่ถูกขจัดโดย scrubber หรือส่วนที่ถูกทำให้ตกตะกอน (precipitated) ก็ตาม แต่พบว่าในเถ้าจากถ่านหิน (coal ash) มีปริมาณแคดเมียมสูงถึง 150 ppm ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยใน heating oil มีประมาณ 0.3 ppm

8) จากกากตะกอนของน้ำทิ้ง (sewage sludge) กากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสีย จำนวน 56 แห่งในประเทศสวีเดน มีค่าเฉลี่ย 15.6 ppm และการใช้กากตะกอนเหล่านี้เพื่อเป็นปุ๋ย จะเป็นการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน ได้มีการคำนวณว่าจากการใช้ sewage sludge (ที่มี Cd~20 ppm หรือมากกว่า) จำนวน 2-3 ตัน/ปี ใส่ลงในพื้นที่เพาะปลูกที่ยังไม่มีปัญหามลพิษ (unpolluted agriculture soils ซึ่งมี Cd < 0.1-0.5 ppm) จะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดินเพาะปลูกนี้เป็น 1.2-6 ppm และพบว่าพืชบางชนิด เช่น ข้าว ข้าวสาลี สามารถดูดซึมแคดเมียมจากดินได้ดี

9) จากการสึกกร่อนของสังกะสี (corrosion of zinc) แคดเมียมเป็นสิ่งเจือปนในสังกะสี เมื่อโลหะหรือภาชนะที่ชุบสังกะสีเกิดการสึกกร่อนแคดเมียมก็จะแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

10) ยาสูบ (tobacco) จากการสูบบุหรี่พบว่ามีแคดเมียมออกสู่บรรยากาศ 1.4 µg/บุหรี่ 1 มวน

2.1.6 มาตรฐานของแคดเมียมในดิน

ในการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณโลหะหนักในดินจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นหลัก โดยเรียกว่า Soil Guideline Value (SGV) หรือค่ามาตรฐานคุณภาพดิน ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับ 25 พ.ศ. 2547 ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ได้ให้ความหมายมาตรฐานคุณภาพดินไว้คือ “มาตรฐานการปนเปื้อนของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่รับสัมผัสดินทั้งทางตรงและทางอ้อม” โดยกำหนดปริมาณแคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (cadmium and compounds) ในมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมต้องไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแบ่งตามมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่น ต้องไม่เกิน 810 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สำนัก งาน นโยบายและแผน

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีตัมภวา , 2550) ซึ่งการกำหนดค่าปริมาณโลหะหนักในแต่ละประเทศอาจแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของเกณฑ์ที่กำหนดของแต่ละประเทศ (ตารางที่ 2.1) โดยมาตรฐานคุณภาพดิน หรือ SGV เป็นค่าที่คำนวณจากหลักการด้านความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ในการได้รับโลหะหนัก และการป้องกันความเสี่ยงจากการเคลื่อนที่ของสารพิษเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารด้วย

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานโลหะหนักของคุณภาพดิน (Soil Guideline Value) เพื่อทำการเพาะปลูก

โลหะหนัก	มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเพาะปลูก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง)		
	ประเทศไทย	ประเทศอังกฤษ	ประเทศแคนาดา
สารหนู	3.9	20	14
โครเมียม	300	130	67
แคดเมียม	37	1 (pH 6) 2 (pH 7) 3 (pH 8)	
ปรอท	23	3	0.16
ตะกั่ว	400	450	55
นิกเกิล	1,600	50	43
เซเลเนียม	3,900	35	1.4

ที่มา: ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย, 2550

2.2 สังกะสี

สังกะสีเป็นโลหะที่มีการผลิตและนำมาใช้ประโยชน์เมื่อประมาณ 600 ปีมาแล้ว โดยช่วงแรกจะมีการใช้มากในแถบประเทศอินเดียและจีน โดยมีการผลิตเครื่องใช้ที่ทำจากโลหะสังกะสีผสม และนำสังกะสีออกไซด์มาผสมถ่านหินเพื่อใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา สำหรับกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีที่เป็นต้นแบบของเทคโนโลยีการถลุงสังกะสีในปัจจุบันถูกคิดค้นในปี 1738 โดยวิลเลี่ยม แชมเปี้ยม ทำให้มีการใช้สังกะสีอย่างแพร่หลาย และถือเป็นโลหะที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดเป็นอันดับสี่ในปัจจุบัน รองจากเหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดง (กิตติพันธ์ บางยี่ขัน, 2551)

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสังกะสี

สังกะสีเป็นธาตุลำดับที่ 25 เป็นธาตุแรกของหมู่ II B จัดเป็นธาตุโลหะ สังกะสีในรูปของแร่บริสุทธิ์ เป็นโลหะสีน้ำเงิน -ขาว มันวาว มีน้ำหนักโมเลกุล 65.37 ความถ่วงจำเพาะ 7.14 มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 419 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่ 907 องศาเซลเซียส สารประกอบของสังกะสีถูกใช้ในอุตสาหกรรม โลหะสังกะสีถูกนำมาผสมกับโลหะอื่นๆ เช่นทองเหลืองและทองแดง (Irwin et al., 1997)

2.2.2 แหล่งที่มาของสังกะสี

สังกะสีสามารถพบได้มากมายในธรรมชาติ โดยมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.0005% และ 0.02% บนผิวโลก สังกะสีพบได้ทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ และพบในอาหาร แร่สังกะสีสำคัญที่นำมาใช้ในการถลุงโลหะสังกะสี ได้แก่ สังกะสีซัลไฟด์ (ZnS) หรือ sphalerite ซึ่งเป็นแร่ที่พบในหลายประเทศ เ ช่น อเมริกา เม็กซิโก เปรู โบลิเวีย แคนาดา และออสเตรเลีย นอกจากนี้ยังมีแร่สังกะสีในรูปอื่นๆ เ ช่น สังกะสีคาร์บอเนต ($ZnCO_3$) หรือ smithsonite สังกะสีออกไซด์ (ZnO) หรือ zincite และแร่สังกะสีซิลิเกต (Zn_2SiO_4) ที่เรียกว่า willemite โดยแหล่งแร่สังกะสีที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ จีน อินเดีย พ ม่า เวียดนาม ไอร์แลนด์ รัสเซีย และคาซัคสถาน เ ป็นต้น สำหรับแหล่งแร่สังกะสีของประเทศไทยที่ใหญ่ที่สุดคือ เหมืองแม่สอด ที่จังหวัดตาก ซึ่งมีแร่สังกะสีซิลิเกตที่มีความเข้ มข้นประมาณ 50% แต่บางครั้งก็จะพบปะปนอยู่กับหินปูนและมีความเข้มข้นไม่สูงนัก (ความเข้ มข้น 2-12%) (กิตติพันธ์ บางยี่ขัน, 2551)

2.2.3 การใช้ประโยชน์ของสังกะสี (กิตติพันธ์ บางยี่ขัน, 2551)

สังกะสีถูกนำ ไปใช้ประโยชน์หล ายด้าน ตามคุณสมบัติที่มีมากมาย โดยอาจ แบ่งการใช้ประโยชน์ตามลักษณะการนำไปใช้ได้ดังนี้

1) ใช้เคลือบผิวเหล็กเพื่อ ป้องกันการเกิดสนิม และการผุกร่ อน โดยสังกะสีจะทำหน้าที่ป้องกัน 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกจะทำหน้าที่ป้ องกันผิวเหล็กไม่ใ ห้สัมผัสกับอากาศหรือสารอย่างอื่น และหากเกิดรอยขีดข่วนหรือผุกร่อนจนถึงผิวเหล็กแล้ว สังกะสีจะทำหน้ าที่ในขั้นต่อไปรูปของ galvanic action คือโลหะสังกะสีซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีไฟ ฟ้า (Electrochemical activity) สูงกว่าเหล็กจะทำ ตัวเป็นขั้วบวกและดึงออกซิเจนมาทำปฏิกิริยาเกิดเ ป็นสนิมแทนเหล็ก ทำ ให้ผิวเหล็กไม่ผุกร่อนแม้ผิวเหล็กจะสัมผัสถูกอากาศ การ ใช้งานด้านนี้มีสัดส่วนมากที่สุดโดยคิดเ ป็นร้อยละประมาณ 45-50 ของการบริโภคสังกะสีทั้งหมด

2) ใช้ทำทองเหลืองโดยผสมกับโลหะทองแดง และอาจมีโลหะอื่นๆ ผสมเพิ่มคุณสมบัติเป็นการเฉพาะต่อการใช้งาน เช่น ตะกั่ว อะลูมิเนียม ดีบุก พลวง และแมงกานีส เป็นต้น

3) สังกะสีออกไซด์ใช้ในอุตสาหกรรมยาง เซรามิก ยา สี สะท้อนแสง สังกะสีซัลเฟตใช้ในการผลิตสารทำใยสังเคราะห์เรยอน และสังกะสีคลอไรด์ใช้ทำยาดับกลิ่นปาก ยาฆ่าเชื้อ และยารักษาเนื้อไม้ไม่ให้ผุและติดไฟง่าย

4) สังกะสีฝุ่น (zinc dust) ใช้ในการผลิตสารเคมีที่ใช้ในการพิมพ์และย้อมผ้า ใช้ผสมกับอะลูมิเนียมผงเพื่อแก้น้ำกระด้าง ใช้เป็นสารผลิตก๊าซในคอนกรีตทำให้ได้รูพรุน ใช้เป็นสารเร่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ช่วยให้เกิดการคายไฮโดรเจนในการทำสบู่จากขี้ผึ้งพารา ฟิน นอกจากนี้ยังใช้ทำดอกไม้ไฟ ผงไฟแฟลช อุตสาหกรรมน้ำตาล และกระดาษ

5) ใช้ทำโลหะผสมสำหรับงานหล่อ (die casting) เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงให้คุณสมบัติที่ดีคือ ง่ายต่อการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังคงทน กลึงไสตกแต่งง่าย และมีสีสันสวยงาม โลหะผสมที่สำคัญได้แก่ อะลูมิเนียม แมกนีเซียม และทองแดง เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยโลหะสังกะสีผสมมีมากมาย เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ลูกบิดประตู ของเล่นเด็ก เครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องมือกล อุปกรณ์สำนักงาน และท่อน้ำ เป็นต้น

2.2.4 โทษของสังกะสี

สังกะสีเป็นธาตุที่พบอยู่ในอาหาร การได้รับสังกะสีน้อยเกินไปก็เป็นสาเหตุของปัญหาสุขภาพได้ แต่การได้รับสังกะสีในปริมาณที่มากเกินไปก็เป็นอันตราย การบริโภคสังกะสีในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้มีอาการปวดท้องอย่างกะทันหัน มีอาการคลื่นเหียน และอาเจียน เมื่อได้รับติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จะเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลหิตจางและลดปริมาณของไขมันดีในร่างกาย และพบว่าในหนูที่ได้รับอาหารที่มีสังกะสีในปริมาณมากจะทำให้เป็นหมันได้ แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าสังกะสีมีผลต่อการสืบพันธุ์ของมนุษย์หรือไม่ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2005)

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำมีความเป็นพิษอย่างยิ่งต่อสาหร่ายหลาย ๆ ชนิด รวมทั้งสัตว์จำพวกกุ้งและปลา ความเข้มข้นของสังกะสีที่มากมีผลกระทบโดยตรงต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดเล็กๆ เช่น molluscs, crustaceans, odonates และ ephemeropterans ในสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ สังกะสีที่ละลายอยู่ในน้ำโดยตรง จะเป็นพิษมากกว่าสังกะสีที่อยู่ในห่วงโซ่อาหาร ส่วนในสัตว์เลือดอุ่นพบว่า การได้รับสังกะสีมากเกินไปส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลน

ทองแดง มีผลต่อกระบวนการ metabolism ของเหล็ก และทำปฏิกิริยาทางเคมีกับตะกั่วและยาอีกด้วย (Irwin et al., 1997)

2.2.5 การปนเปื้อนสังกะสีในสิ่งแวดล้อม

สังกะสีบางส่วนถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมตามกระบวนการธรรมชาติ แต่ส่วนมากพบว่า เกิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การทำเหมืองแร่ การผลิตเหล็กกล้า การเผาถ่านและของเสีย สังกะสีพบอยู่ในดิน ตะกอน และฝุ่นในอากาศ ฝนและหิมะเป็นตัวที่เคลื่อนย้ายสังกะสีที่มีอยู่ในอากาศลงมาสู่ดิน สารประกอบสังกะสีบางชนิดสามารถเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ไปสะสมในทะเลสาบ ลำธาร และแม่น้ำ สังกะสีที่อยู่ในดินส่วนใหญ่จะยังคงจับกับอนุภาคดิน และไม่ละลายในน้ำ (ATSDR, 2005)

2.3 ข้าว (ประพาส วีระแพทย์, 2517; วัชรินทร์ บุญวัฒน์, 2527 และเรวัต เลิศฤทัยโยธิน, 2541)

2.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa* L.

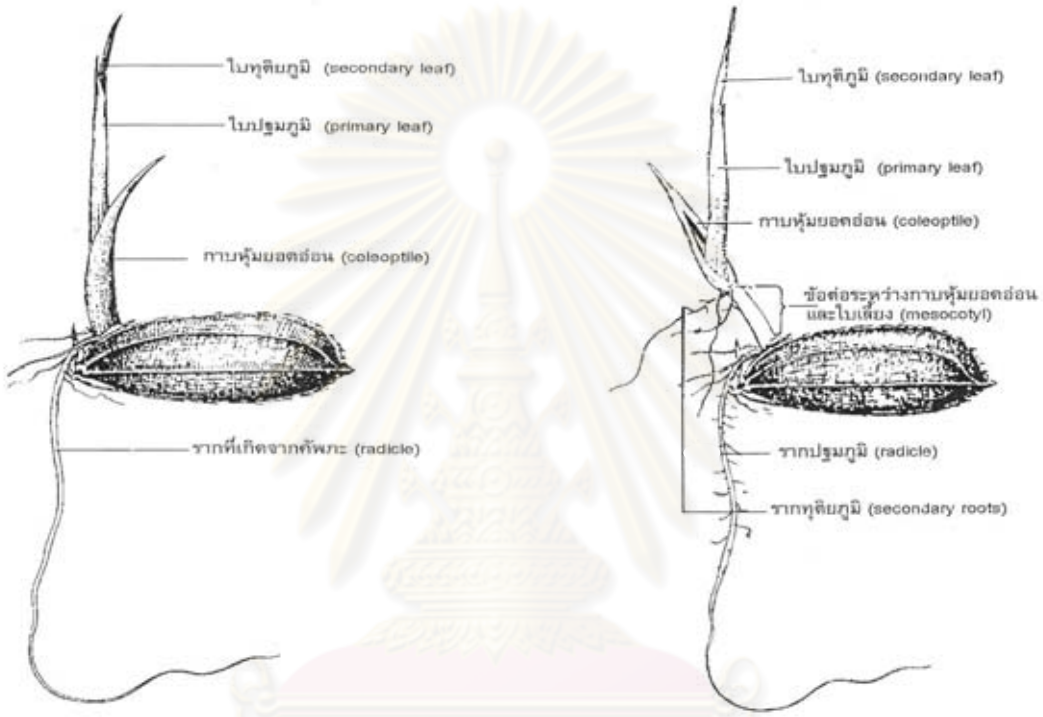
การจำแนกทางพฤกษศาสตร์

Class	Angiospermae
Subclass	Monocotyledonae
Family	Gramineae
Genus	Oryza
Species	sativa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) ราก

ข้าวมีระบบรากเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) ประกอบด้วยรากที่พัฒนามาจากส่วนแรดิเคิล (radicle) เรียกว่า primary root หรือ first seedling root และรากที่แตกแขนงออกมาเรียกว่า secondary root หรือ lateral root รากที่เกิดจาก scutellar node เรียกว่า seminal root ส่วนรากที่เกิดจากข้อใต้ดินตั้งแต่ coleoptilar node ขึ้นไป เรียกว่า adventitious root (รูปที่ 2.1)



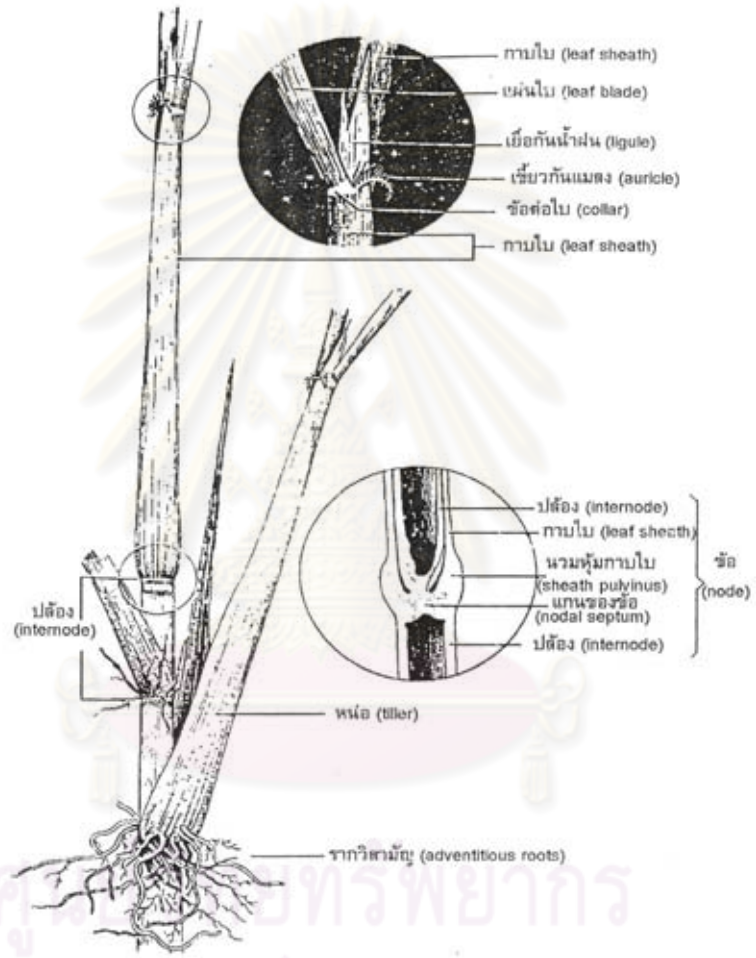
รูปที่ 2.1 ลักษณะของราก
ที่มา : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2544

2) ลำต้น

ลำต้น (haulm หรือ culm) ประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ข้อประกอบด้วย วงเจริญ (growth ring) ปุ่มกำเนิดราก (root primordia) ตา (bud) และรอยกาบใบ (leaf scar) ข้าวมีการแตกหน่อ (tillering) ลำต้นหลัก เรียกว่า main culm หน่อที่เจริญจาก main culm เรียกว่า primary tiller หน่อที่เจริญจาก primary tiller เรียกว่า secondary tiller และหน่อที่เจริญจาก secondary tiller เรียกว่า tertiary tiller ตามลำดับ

3) ใบ

ใบเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย กาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) บริเวณรอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบ (leaf collar) มีเยื่อกันน้ำหรือลิ้นใบ (ligule) หูใบหรือเขี้ยวใบ (auricle) ส่วนที่มีลักษณะคล้ายใบแต่ไม่มีเส้นกลางใบ เป็นสัน 2 สัน พบระหว่างหน่อหรือแขนงที่แตกจากลำต้นเรียกว่า prophyllum (รูปที่ 2.2)



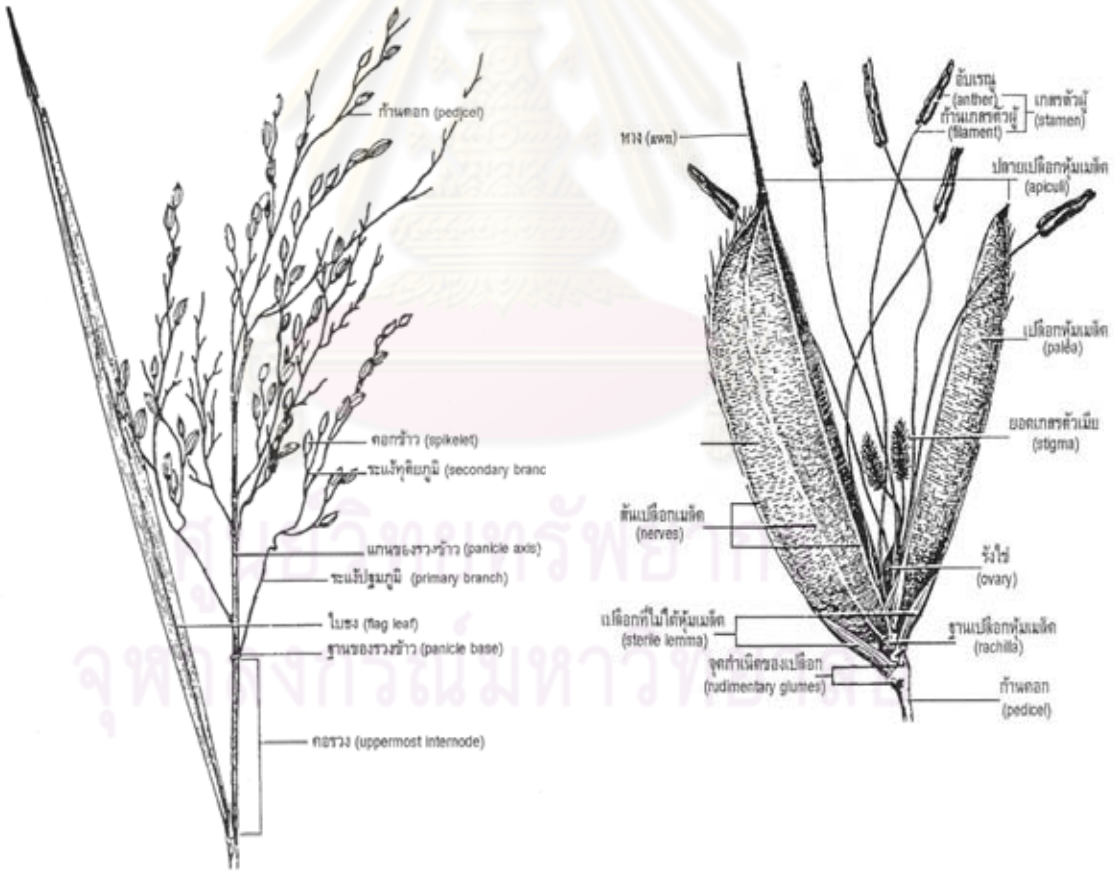
รูปที่ 2.2 ลักษณะของลำต้น
ที่มา : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2544

4) ช่อดอกและดอก

ช่อดอกเป็น แบบ panicle ปล้องสุดท้ายของลำต้น (uppermost internode) เป็นก้านช่อดอก (peduncle) แกนกลางช่อดอกเรียกว่า rachis หรือ panicle axis กิ่งที่แตกจาก rachis

เรียกว่า primary branch และกิ่งที่แตกจาก primary branch เรียกว่า secondary branch (รูปที่ 3) ดอกข้าว เกิดเป็นกลุ่มเรียกว่า spikelet ประกอบด้วย กลีบดอกที่หุ้ม spikelet 2 กลีบ ได้แก่ กลีบด้านนอก (outer glume) และกลีบด้านใน (inner glume) แต่มองเห็นไม่ชัด (rudimentary glume) ดอกประกอบด้วยดอกย่อย (floret) 3 ดอก มีดอกย่อยเพียงดอกเดียวที่มีการเจริญ เรียกว่า flowering glume ส่วนดอกย่อยที่ไม่เจริญเหลือเฉพาะส่วน lemma เรียกว่า sterile lemma หรือ non-flowering glume หรือ empty glume

ดอกย่อยที่มีการเจริญประกอบด้วยกลีบดอกย่อยด้านนอก (lemma) ที่มีเส้นตามความยาว 5 เส้น และกลีบดอกย่อยด้านใน (palea) ที่มีเส้นตามความยาว 3 เส้น ดอกย่อยประกอบด้วย เกสรตัวผู้ (stamen) ที่มีก้านชูละอองเกสรตัวผู้ (filament) และอับละอองเกสรตัวผู้ (anther) ส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) สั้น ปลายเกสรตัวเมีย (stigma) แยกเป็น 2 แฉก มีลักษณะคล้ายขนนกเรียกว่า plumose stigma และเยื่อรองรังไข่ (lodicule) อยู่ที่ส่วนฐานของรังไข่ (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของช่อดอก และดอก

ที่มา : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2544

5) ผล หรือเมล็ด

ผล หรือเมล็ดเป็นแบบ caryopsis ประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล (pericarp) ติดอยู่กับส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) มีเปลือกหุ้มซึ่งเป็นส่วนของ lemma และ palea เรียกว่า hull ผลของข้าวที่เก็บเกี่ยวมาเรียกว่า ข้าวเปลือก (hulled grain) เมื่อแกะส่วนของเปลือกหุ้มออก เห็นเยื่อหุ้มผล และเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีน้ำตาล เรียกว่า ข้าวกล้อง (brown rice grain) เมื่อขัดส่วนของเยื่อหุ้มสีน้ำตาลออกจะเป็น ข้าวสาร (kernel) ส่วนหัวของข้าวสารมีสีขาวขุ่น เรียกว่า จมูกข้าวหรือคัพภะ (embryo) ที่เหลือเป็นเอนโดสเปิร์ม (endosperm) คัพภะประกอบด้วยแรดิเคิล (radicle) พลูมูล (plumule) ใบเลี้ยงที่ไม่มีการพัฒนา (epiblast) และเนื้อเยื่อที่กั้นระหว่างคัพภะกับเอนโดสเปิร์ม (scutellum) บริเวณรอบนอกของเอนโดสเปิร์มมีชั้น aleurone layer และส่วนสีขาวขุ่นที่ด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวกับคัพภะ เรียกว่า ท้องปลาซิวหรือท้องไข่ (abdominal white) (รูปที่ 2.4)

รูปที่ 2.4 ลักษณะของเมล็ด

ที่มา : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2544

2.3.2 การเจริญเติบโตของข้าว (ไสว พงษ์เก่า และคณะ, 2525 และจำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

การศึกษาการเจริญเติบโต หรือสรีรวิทยาของพืชนั้นมีความสำคัญทำให้ทราบถึงขั้นตอนของกระบวนการมีชีวิตของพืช และอิทธิพลของปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อกระบวนการทำให้เกิดอาการผิดปกติหรือเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ถ้าเราสามารถศึกษาและเข้าใจการตอบสนองของพืชดังกล่าวได้แล้ว ก็สามารถนำความรู้นั้นไปปรับปรุงแก้ไขให้พืชเจริญเติบโตในสภาพปกติและให้ผลผลิตตามเป้าหมายได้ ในที่นี้จะได้กล่าวถึงการเจริญเติบโตของข้าวพอสังเขปเท่านั้น

การเจริญเติบโตของข้าวโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ (ดังรูปที่ 2.5) ได้ดังนี้

1) การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) โดยมี 2 ระยะคือ

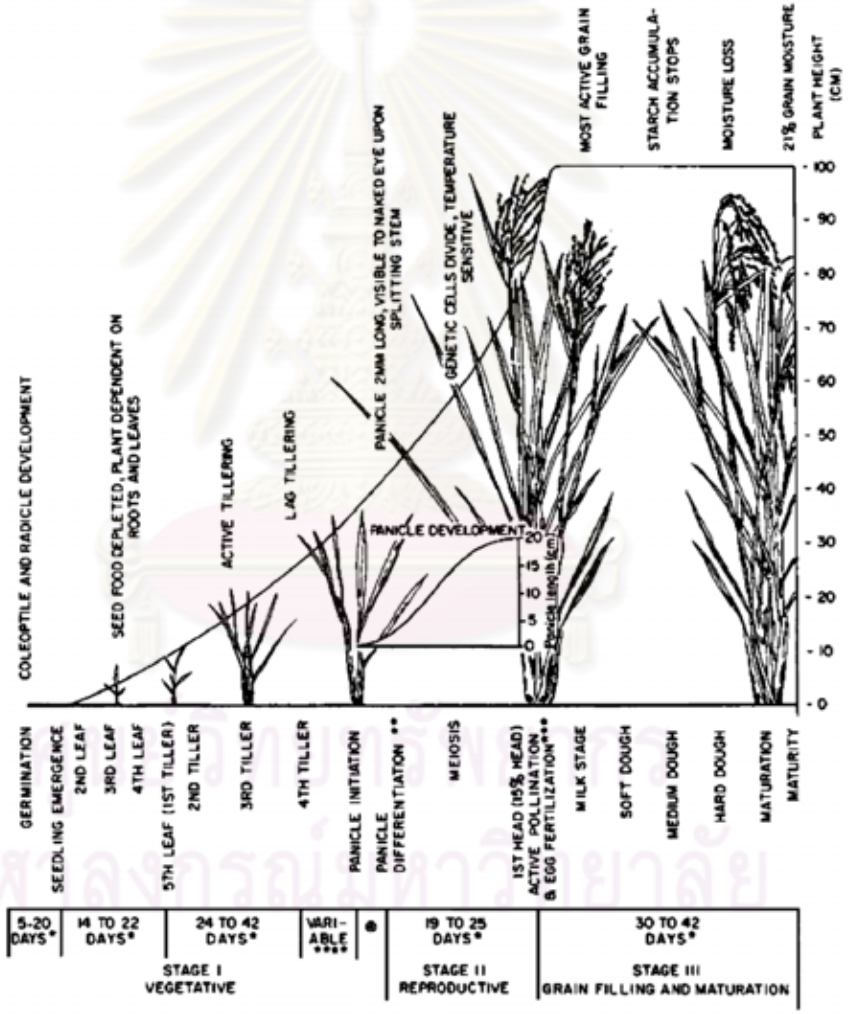
- ระยะต้นกล้า (seedling stage) เป็นระยะจากข้าวงอกจนกระทั่งถึงข้าวแตกกอ ใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วัน (ขึ้นอยู่กับพันธุ์) สิ้นสุดระยะนี้ต้นข้าวจะมีใบประมาณ 5-6 ใบ
- ระยะแตกกอ (tillering stage) นับจากข้าวเริ่มแตกกอจนถึงข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (panicle initiation) ใช้เวลาประมาณ 30-50 วันหลังจากระยะต้นกล้า ซึ่งระยะเวลาของระยะแตกกอนั้นขึ้นอยู่กับการตอบสนองต่อช่วงแสงของพันธุ์ข้าว

2) การเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (reproductive growth) เริ่มจากข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน ผ่านระยะตั้งท้อง (booting stage) จนถึงโผล่ช่อดอกและผสมเกสร (heading, flowering, fertilization) โดยจะใช้ระยะเวลาช่วงนี้ประมาณ 30-35 วัน ลักษณะของระยะต่าง ๆ มีดังนี้

- ระยะเริ่มสร้างช่อรวงอ่อน หลังจากแตกกอเต็มที่แล้วก็จะเข้าสู่ระยะสร้างช่อรวงอ่อน (พันธุ์ที่ไวแสงจะต้องได้รับช่วงแสงที่เหมาะสมก่อน จึงจะก่อให้เกิดระยะนี้ได้) ระยะนี้ต้นข้าวจะเปลี่ยนจากต้นที่มีลักษณะแบนเป็นต้นกลม และจะมีการยืดปล้อง (stem elongation) ในอัตรารวดเร็ว เมื่อผ่าลำต้นดูจะเห็นจุดกำเนิดช่อดอก (panicle primordium) ลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมีสีขาวปุยๆ และจะเจริญเติบโตเรื่อย ๆ เป็นช่อดอกที่มีดอกเรียกว่า spikelets
- ระยะตั้งท้อง เป็นระยะที่ดอกอ่อนของข้าวขยายตัวใหญ่ขึ้นจนเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ ตรงกาบใบธงจะอ้วนพองขึ้น

- ระยะออกดอกและผสมเกสร ระยะที่ช่อดอกโผล่จากกาบใบ (heading) ดอกข้าวบาน (flowering) และผสมเกสร (fertilization) ซึ่งจะเกิดพร้อมกันหรือเหลื่อมกันบ้างเพียงเล็กน้อย

3) การพัฒนาการของเมล็ด (grain development) ได้แก่ ระยะภายหลังการผสมเกสร โดยรังไข่ที่ได้รับการผสมจะเจริญเติบโต อาหารที่ได้รับ จากการสังเคราะห์แสงจะถูกสะสมในเมล็ด ดังนั้นจึงเรียกระยะนี้ว่า ระยะสะสมในเมล็ด (grain filling period) ในระยะแรกจะอยู่ในระยะน้ำนม (milky) เปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน (dough) จนกระทั่งเมล็ดสุก (ripening) เป็นแป้งแข็งเป็นระยะสุกแก่หรือเก็บเกี่ยว (harvest maturity) จะใช้เวลาการพัฒนาการของเมล็ดทั้งหมดประมาณ 25-30 วัน



รูปที่ 2.5 ระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ที่มา : Stansel, 1975

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว (ไสว พงษ์เก่า และคณะ, 2525; จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534 และคณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542)

สภาพนิเวศวิทยาของข้าวนั้นพบว่า ข้าวสามารถปรับตัวได้ดีตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 49 องศาเหนือ (ประเทศเชคโกสโลวาเกีย) จนถึง 35 องศาใต้ (รัฐนิวเซาท์เวลประเทศออกเตรเลีย) แต่ส่วนใหญ่จะพบว่าอยู่ในเขตร้อนระหว่างเส้น tropic of cancer (23 องศา 27 ลิปดาเหนือ) และ tropic of capricorn (23 องศา 27 ลิปดาใต้) ซึ่งได้แก่ประเทศต่าง ๆ ในเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แอฟริกาตะวันตก อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพดินฟ้าอากาศดังต่อไปนี้

1) ความสูงของพื้นที่ ข้าวขึ้นได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงที่สูง 2,500 เมตร สามารถเจริญเติบโต ได้ทั้งในที่ดอน (ข้าวไร่) และที่ลุ่มมีระดับน้ำตั้งแต่ 5 เซนติเมตร (ข้าวนาสวน) จนถึงหลายเมตร (ข้าวฟางลอย)

2) ดิน ขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทราย ส่วนใหญ่ชอบขึ้นในดินเหนียวและเหนียวร่วน มีความเป็นกรดและด่าง (pH) ตั้งแต่ 3-10 ขึ้นได้แม้กระทั่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

3) ปริมาณน้ำฝน มีความต้องการน้ำตั้งแต่ 875 มิลลิเมตรต่อปี (ข้าวไร่) จนถึง 2,000 มิลลิเมตรต่อปี (ข้าวนาสวน) ต่อปี แต่ควรมีการกระจายฝนที่ดีในพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำชลประทานหรือที่เรียกว่านาน้ำฝน ซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกข้าวได้ในนาปีเท่านั้น และการตอบสนองต่อความต้องการน้ำยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และช่วงของการเจริญเติบโต ในช่วงการเตรียมดินนั้นควรมีน้ำ ฝนประมาณ 150-200 มิลลิเมตรต่อปี ช่วงที่เป็นต้นกล้าต้องการประมาณ 250-400 มิลลิเมตรต่อปี จนถึงต้นกล้าอายุ 30-40 วัน ส่วนในช่วงปักดำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนั้นควรมีน้ำ ฝนอยู่ในระหว่าง 800-1,200 มิลลิเมตรต่อปี

4) แสงอาทิตย์ ปริมาณแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตโดยที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และช่วงเวลาสั้นยาวของกลางวันกลางคืนยังมีผลต่อการสืบพันธุ์ของข้าวไวแสง สำหรับความเข้มของแสงในฤดูฝนซึ่งมีเมฆหมอกมากนั้นจะ มีความเข้มแสง น้อยกว่าฤดูร้อน ดังนั้นผลผลิตข้าวส่วนใหญ่จึงน้อยกว่าเมื่อปลูกในฤดูฝน จากรายงานพบว่า ข้าวที่ปลูกในฤดูฝนจะให้ผลผลิตประมาณ 63 ถัง/ไร่ แต่ถ้านำพันธุ์เดียวกันไปปลูกในหน้าร้อนหรือหน้าแล้งจะได้ผล

ผลิตสูงถึง 73 ถัง/ไร่ (ใช้พันธุ์ กข11 กข7 และ กข1) แสงแดดจึงมีความจำเป็นมากในช่วงเริ่มสร้างดอกจนกระทั่ง 10 วันก่อนเมล็ดแก่

5) อุณหภูมิ ได้มีการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าว และการให้ผลผลิตโดยพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 25-33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน และการผสมเกสร เป็นต้น และยังพบว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไป ในช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ

6) ความชื้นสัมพัทธ์ อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ ในบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตของข้าวนั้นมักจะไม่ชัดเจน เพราะจะ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มแสงกับอุณหภูมิ ในทางกลับกันกล่าวคือ เมื่อความเข้มของแสงมากและอุณหภูมิสูงมักทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และเมื่ออุณหภูมิเย็นในเวลากลางคืนทำให้เกิดน้ำค้างสูง จะมีผลต่อการพัฒนาของเชื้อโรคของข้าวบางชนิด เช่น โรคใบไหม้ เป็นต้น

7) ลม ลมที่พัดถ่ายเทอยู่ตลอดเวลา (ความเร็วประมาณ 0.75-2.25 เซนติเมตร/วินาที) จะช่วยให้มีการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดี ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าลมแรงจะมีผลโดยตรงทำให้ต้นข้าวหักล้ม เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้

8) ฤดูปลูก ปลูกได้ตลอดปี แต่ควรหลีกเลี่ยงช่วงการปลูกที่ต้นข้าวจะออกดอกในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 33 องศาเซลเซียส และหลีกเลี่ยงการปลูกที่ต้องเก็บเกี่ยวในช่วงที่ฝนชุก เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ จึงจำเป็นต้องวางแผนการปลูกที่เหมาะสม

2.3.4 พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง (กรมการข้าว, 2553)

ขาวดอกมะลิ105 (Khao Dawk Mali 105)

เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าหอม ได้มาโดยนายสุนทร สีหะเนิน เจ้าพนักงานข้าว รวบรวมจากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อปีพ.ศ.2493-2494 จำนวน 199 รวง แล้วนำไปคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ (pure line selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง แล้วปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ท้องถิ่นในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จน

ได้สายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 4-2-105 ซึ่งเลข 4 หมายถึง สถานที่เก็บรวงข้าว คือ อำเภอบางคล้า เลข 2 หมายถึง พันธุ์ทดสอบที่ 2 คือ ขาวดอกมะลิ และเลข 105 หมายถึง แถวหรือรวงที่ 105 จากจำนวน 199 รวง คณะกรรมการการพิจารณาพันธุ์ข้าวให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2502

ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 140 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง ลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกับคอรวง เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาว ข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดข้าว กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.5 x 1..8 มิลลิเมตร คุณภาพข้าวสุก นุ่ม มีกลิ่นหอม ผลผลิตประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่ ทนแล้งได้ดีพอสมควร เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง คุณภาพการสีดี ทนต่อสภาพดินเปรี้ยว และดินเค็ม ข้อควรระวังคือ ไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ และโรคใบหงิก ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และหนอนกอ พื้นที่ ที่เหมาะสมในการเพาะปลูกคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน

กข6 (RD6)

เป็นพันธุ์ข้าวเหนียว ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ ที่มีการใช้รังสีชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ โดยใช้รังสีแกมมาปริมาณ 20 กิโลเรด อาบเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 แล้วนำมาปลูกคัดเลือกที่สถานีทดลองข้าวบางเขนและสถานีทดลองข้าวพิมาย จากการคัดเลือกได้ข้าวเหนียวหลายสายพันธุ์ในข้าวชั่วที่ 2 นำไปปลูกคัดเลือกจนอยู่ตัวได้สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดคือ สายพันธุ์ KDML105'65-G_2U-68-254 นับว่าเป็นข้าวพันธุ์ดีพันธุ์แรกของประเทศไทย ที่ค้นคว้าได้โดยใช้วิธีชักนำพันธุ์พืชให้เปลี่ยนกรรมพันธุ์โดยใช้รังสี คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2520

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นสูงประมาณ 154 เซนติเมตร ลำต้นแข็งปานกลาง เป็นข้าวไวต่อช่วงแสง ทรงกอกระจายเล็กน้อย ใบยาวสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง เมล็ดยาวเรียว เมล็ดข้าวเปลือกสีน้ำตาล ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 5 สัปดาห์ เมล็ดข้าว กว้าง x ยาว x หนา = 2.2 x 7.2 x 1.7 มิลลิเมตร คุณภาพการหุงต้มดี มีกลิ่นหอม ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล คุณภาพการสีดี คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม ผลผลิตประมาณ 666 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตสูงและทนแล้งดีกว่าพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ข้อควรระวังคือ ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง และโรคใบไหม้ ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว พื้นที่แนะนำคือ ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พิษณุโลก3 (Phitsanulok3)

เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าคู่ผสม กข 27 / LA29'73-NF1U-14-13-1-1 ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ กข27 และสายพันธุ์ LA29'73-NF$_1$U-14-13-1-1 ในปี พ.ศ. 2525 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPRLR82129-PSL-148-3-2 คณะกรรมการบริหารกรมวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 23 สิงหาคม 2545

ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 167 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง กอตั้ง ใบสีเขียว รวงแน่น ระแง้ถี่ คอรวงยาว ต้นแข็ง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 9 สัปดาห์ เมล็ดข้าว กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.4 x 1.7 มิลลิเมตร คุณภาพข้าวสุกร่วน นุ่ม ผลผลิตประมาณ 604 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานโรคไหม้ในภาคกลางได้ดีกว่า กข 27 และขาวตาแห้ง 17 ข้อควรระวังคือ ไม่ต้านทานโรคไหม้ในบางพื้นที่ และไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง ไม่ต้านทานแมลงบั่ว และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พื้นที่แนะนำคือ พื้นที่ลุ่มในเขตภาคเหนือตอนล่างที่ต้องการข้าวอายุปานกลาง

เหนียวสันป่าตอง (Niaw San-pah-tawng)

เป็นพันธุ์ข้าวเหนียว ได้จากการคัดเลือกข้าวเจ้าสายพันธุ์เหลืองใหญ่ 10-137-1 ซึ่งกลายพันธุ์เป็นข้าวเหนียว โดยนายมณี เชื้อวิโรจน์ เจ้าหน้าที่วิชาการ สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง นำไปปลูกคัดพันธุ์ใหม่ จนได้พันธุ์เหนียวสันป่าตอง 137-1-16 คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อ วันที่ 6 พฤษภาคม 2505

ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเหนียว สูงประมาณ 150 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง ต้นค่อนข้างแข็ง รวงยาว เมล็ดยาวเรียว เมล็ดข้าว กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.2 x 1.3 มิลลิเมตร ข้าวเปลือกสีน้ำตาล ระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 6 สัปดาห์ คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม ผลผลิต ประมาณ 526 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล และค่อนข้างต้านทานโรคไหม้ ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว กลายพันธุ์เป็นข้าวเจ้าได้ง่าย พื้นที่แนะนำคือ ภาคเหนือตอนบน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.4 ปุ๋ยอินทรีย์

2.4.1 ลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ธาตุอาหารในปุ๋ยจะเกิดประโยชน์ต่อพืชก็ต่อเมื่อได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เสียก่อนแล้วปลดปล่อยออกมาในรูปอนินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงซากพืช ซากสัตว์ ของเหลือทิ้งและผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งหากนำมาใช้เป็นปุ๋ยก็จัด ได้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพราะมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในสัดส่วนที่สูง นอกจากนี้ ยงยุทธ โอสถสภา (2542) ได้ให้ความหมายของปุ๋ยอินทรีย์ว่า เป็นปุ๋ยที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ (ยกเว้น คาร์บอเนต) ร่วมกับธาตุอาหารพืช (นอกเหนือจากไฮโดรเจน และออกซิเจน) อย่างน้อยหนึ่งธาตุ ส่วนใหญ่จะได้มาจากซากพืชและสัตว์ รวมทั้งมูลสัตว์ต่าง ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา , 2548; ธงชัย มาลา, 2550 และอำนาจ สุวรรณฤทธิ์, 2548)

2.4.2 ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา , 2548 และธงชัย มาลา, 2550)

ปุ๋ยอินทรีย์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกันมากบ้างน้อยบ้าง อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ในแง่ของการเป็นปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันมากนัก ปุ๋ยอินทรีย์อาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ โดยอาศัยลักษณะการกำเนิดขึ้นมาได้ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 ปุ๋ยมูลสัตว์ (animal manures) ได้แก่ มูลสัตว์ต่างๆ ที่สามารถรวบรวมมาได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะได้จากคอกสัตว์เลี้ยง จึงได้ชื่อว่าปุ๋ยคอก (farmyard manures) ซึ่งได้แก่มูลไก่ มูลสุกร มูลโค มูลกระบือ มูลแพะ มูลแกะ และมูลกระต่าย เป็นต้น ปุ๋ยมูลสัตว์บางชนิดอาจได้มาจากสัตว์บางชนิดที่ไม่ได้เลี้ยงซึ่งอาศัยรวมกันอยู่เป็นกลุ่มใหญ่ตามเกาะหรือถ้ำ ซึ่งได้แก่ มูลนก และมูลค้างคาว (guano) ซึ่งทั้งหมดนี้ประกอบไปด้วยส่วนของแข็งที่มาจากอุจจาระของสัตว์ ซึ่งจะเป็นเศษซากของพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนระหว่างทางของระบบย่อยของสัตว์ และส่วนที่เป็นปัสสาวะซึ่งอุดมไปด้วยเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารพืช อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของมูลสัตว์เหล่านี้จะประกอบไปด้วยธาตุใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์นั้น ๆ กินเข้าไป

และขึ้นอยู่กับโอกาสที่อุจจาระและปัสสาวะของสัตว์จะมารวมอยู่ในที่เดียวกัน ดังนั้นมูลนก มูลค้างคาว และมูลสัตว์เลี้ยงประเภทสัตว์ปีกจึงมีความเข้มข้นของ N, P และ K ในมูลสูง เพราะสัตว์เหล่านี้บริโภคปลา แมลง และสัตว์เล็กมากกว่าบริโภคอาหารที่มาจากพืช และในการขับถ่ายทั้งอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ปีกจะรวมกันออกจากระบบขับถ่ายมาพร้อมกัน สำหรับสัตว์ใหญ่ เช่น ช้าง ม้า โค กระบือ นั้น มักจะใช้พืชเป็นอาหาร จึงมักมีความเข้มข้นของ N, P และ K ในมูลค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ดี สัตว์เหล่านี้ถ้าใช้พืชตระกูลถั่วและเนื้อสัตว์ป่นเพิ่มไปในอาหาร มูลของมันจะมีคุณสมบัติที่จะใช้ทำปุ๋ยได้ดีขึ้น โดยองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในมูลสัตว์บางชนิด สามารถแสดงได้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณธาตุอาหารหลักเฉลี่ยในปุ๋ยคอกแต่ละชนิด

ชนิดของปุ๋ยคอก	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
โค	1.91	0.56	1.40
กระบือ	1.23	0.69	1.66
ไก่	3.77	1.89	1.76
เป็ด	2.15	1.33	1.15
ค้างคาว	3.11	12.20	1.84
นกนางแอ่น	5.82	8.42	0.58
แกะ	2.04	1.66	1.83
ม้า	2.33	0.83	1.31
สุกร	2.80	1.36	1.18

ที่มา: กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้, 2540

2.4.2.2 ปุ๋ยหมัก (composts) คือ ปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์สารที่ผ่านการหมักให้สลายตัวผุพังไปบางส่วน แต่การที่จะปล่อยให้สลายตัวผุพังไปเท่าใดก็ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อำนวยให้ชนิดของวัสดุที่ใช้ และกรรมวิธีในการหมัก ตลอดจนความต้องการของผู้ใช้ โดยปกติจะหมักให้อินทรีย์สารเหล่านั้นเปื่อยยุ่ยจนเป็นสีคล้ำหรือดำ ก็เป็นอันว่าใช้ได้ แต่ถ้าใช้ในการเพาะปลูกพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ล้มลุกที่ต้นเล็กอาจจะต้องหมักไว้จนกระทั่งมีลักษณะเป็นผงละเอียดจึงนำไปใช้ อินทรีย์สารที่นำมาหมักนั้นอาจเป็นเศษพืชอย่างเดียว หรือเป็นเศษพืชผสมซากสัตว์ หรืออาจผสมปุ๋ยคอกลงไปบางส่วนก็ได้ เมื่อนำมากองรวมกันและให้ความชื้นที่เหมาะจะทำให้เกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว ซึ่งสังเกตได้ว่าจะมีความร้อนเกิดขึ้นภายในกองปุ๋ย จึงต้องกลับกองปุ๋ยและรดน้ำให้ทั่ว และให้ทำเช่นนี้ประมาณ 2-3 ครั้ง และหมักไปจนกระทั่งความร้อนภายในกองปุ๋ยหมดไป

2.4.2.3 ปุ๋ยพืชสด (green manure) คือปุ๋ยที่ได้จากการใช้พืชสดชนิดต่าง ๆ ที่คาดว่าจะให้ประโยชน์ในแง่การเป็นปุ๋ยต่อพืชที่จะได้รับในการใส่พืชสดนั้น ๆ พืชที่ใช้เป็นปุ๋ยอาจเป็นพืชตระกูลถั่ว ตระกูลหญ้า หรือพืชอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพืชโตเร็วและมีลักษณะง่ายต่อการตัดหรือไถกลบ ซึ่งเมื่อปล่อยให้เจริญเติบโตมาระยะหนึ่ง จะได้อินทรีย์สารมากพอและมีธาตุอาหารพืชต่าง ๆ สะสมในส่วนของต้นในปริมาณสูง โดยทั่วไปมักนิยมใช้พืชตระกูลถั่วในระบบการปลูกธัญพืชต่าง ๆ แต่ถ้าเป็นการปลูกพืชหัว เช่น มันเทศ มันสำปะหลัง การใช้พืชตระกูลหญ้าและอื่น ๆ จะทำให้พืชหัวนั้นมีการลงหัวดีกว่าการใช้พืชตระกูลถั่วที่มีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไป สำหรับในสวนผลไม้ต่าง ๆ เช่นสวนส้ม อาจใช้หญ้าต่าง ๆ หญ้าคา ไปจนกระทั่งต้นแห้วหมู แทนการใช้พืชตระกูลถั่วซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาแทรกซ้อนทำให้ไม้ผลอ่อนแอได้ภายหลัง

2.4.2.4 พืชและสัตว์ชั้นต่ำในดิน เป็นที่ทราบกันดีว่า ในดินนั้นมีสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เจริญเติบโตอยู่มากมาย ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย แอคทิโนมันซีส รา เห็ด และสาหร่าย ซึ่งล้วนแต่เกี่ยวข้องกับสมดุลของการสร้างและย่อยสลายของอินทรียวัตถุ พืชชั้นต่ำหลายชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ทั้งพวกที่อาศัยอยู่อย่างอิสระ เช่น แบคทีเรีย azotobactor และ Clostridium สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวชนิดต่าง ๆ และพวกที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชอื่นอย่างพึ่งพาอาศัยกัน เช่น แบคทีเรีย rhizobium ซึ่งอาศัยอยู่ร่วมกับพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น พืชชั้นต่ำเหล่านี้มีอายุสั้นมาก จึงมีการเจริญเติบโตและมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็วมากในระหว่างช่วงเวลาที่สิ่งแวดล้อมเหมาะสม สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ของสัตว์เล็กในดินนั้นส่วนใหญ่เป็นผลต่อเนื่องมาจากกิจกรรมของพืชเล็ก ๆ ในดิน และปริมาณของอินทรียสารที่กลับคืนลงไปสู่ดิน เพราะบรรดาแมลงต่าง ๆ ทั้งหลายที่อาศัยอยู่บนดินนั้นล้วนแต่อาศัยกินพืชหรือซากพืชทั้งเล็กและใหญ่ ปริมาณของมูลไส้เดือนบนผิวดินย่อมแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้เป็นอย่างดี บรรดาธาตุอาหารต่าง ๆ จะเคลื่อนย้ายจากพืชไปยังสัตว์ต่าง ๆ และมูลของมัน และจะกลับมาเป็นอาหารของพืชในที่สุด ฉะนั้นการจัดการดินให้มีพืชและซากพืชอยู่เสมอจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของสัตว์เล็ก ๆ เหล่านี้ ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มพูนการสะสมของธาตุอาหารพืชในรูปเนื้อเยื่อของสัตว์

2.4.2.5 ซากสัตว์และผลพลอยได้จากโรงฆ่าสัตว์ การใช้ซากสัตว์ทำปุ๋ยให้แก่พืชได้กระทำกันมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว ในปัจจุบันมีโรงฆ่าสัตว์และอุตสาหกรรมแช่แข็งและบรรจุกระป๋องเนื้อสัตว์ต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย ผลพลอยได้จากเศษเลือด เนื้อ ขน หนัง และเครื่องในสัตว์นั้นจะมีไนโตรเจนอยู่สูง 10-15% และมีธาตุอื่น ๆ อยู่ครบถ้วนในปริมาณมากบ้างน้อยบ้าง ส่วนใหญ่จุลธาตุอาหารจะอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการที่พืชจะนำไปใช้ ในกระดูกสัตว์จะมีแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงเป็นพิเศษ จึงมักนิยมนำกระดูกป่นไปผสมในวัสดุที่ใช้ปักชำหรือตอนต้นไม้

2.4.2.6 ผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ปัจจุบันได้มีอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเกิดขึ้นมากมาย เช่น โรงสี โรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานหีบน้ำมันจากเมล็ดพืช เป็นต้น เศษวัสดุที่เป็นผลพลอยได้ที่เป็นกากหรือของเสียนั้นบางชนิดสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น กากอ้อยนำไปทำกระดาษ บางชนิดอาจนำไปใช้ในกิจการเลี้ยงสัตว์ เช่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง แต่ก็ยังมีอีกหลายชนิดซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ แต่สามารถที่จะนำมาใช้หรือปรุงแต่งให้เป็นปุ๋ยได้ เช่น แกลบ กากอ้อยป่น กากละหุ่ง กากเมล็ดนุ่น กากผงชูรส เป็นต้น สำหรับกากละหุ่ง กากเมล็ดนุ่นและกากผงชูรสนั้นสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้โดยตรงเนื่องจากมีไนโตรเจนอยู่สูง แต่แกลบและกากอ้อยป่นนั้นจะต้องปรุงแต่งโดยการเติมธาตุอาหารพืชที่ยังขาดลงไปแล้วหมักให้เปื่อยยุ่ยเสียก่อน จึง จะมีสภาพที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้

2.4.2.7 กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ในกระบวนการผลิตสินค้าของอุตสาหกรรมหลายชนิดจะมีการระบายน้ำเสียออกมา และมีอุตสาหกรรมหลายประเภทที่ในน้ำเสียนั้นมีอินทรีย์สารปะปนมาเป็นจำนวนมาก และสามารถแยกออกไปโดยการตกตะกอน ซึ่งตะกอนน้ำเสียนี้มักจะอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ และสามารถใช้ทำเป็นปุ๋ยได้อย่างดี แต่ตะกอนของเสียจากโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานถลุงโลหะ อาจจะมีโลหะหนักที่เป็นพิษกับสัตว์และมนุษย์ติดออกมาด้วยในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการจะนำตะกอนเหล่านี้ไปทำปุ๋ยจึงควรตรวจสอบปริมาณของธาตุโลหะหนักให้แน่ใจเสียก่อน ถ้ามีปริมาณสูงจริงก็ห้ามใช้เป็นปุ๋ยกับพืชที่มนุษย์บริโภคหรือพืชอาหารสัตว์ แต่ควรแนะนำให้ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับไม้ดอกไม้ประดับหรือเพื่อการผลิตในลักษณะการขยายพันธุ์พืช ซึ่งจะไม่ทำให้ธาตุโลหะหนักเหล่านั้นผ่านเข้าไปในวงจรอาหารของมนุษย์และสัตว์โดยตรง

2.4.3 การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2.4.3.1 ขั้นตอนของการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์

เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินและปุ๋ยได้รับความชื้นและสภาวะอื่น ๆ ที่เหมาะสม สารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ในปุ๋ยจะถูกปลดปล่อยออกมาและถูกดูดกินโดยจุลินทรีย์หรือรากพืช ในขณะเดียวกันอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและง่ายต่อการเข้าทำลายจะถูกทำให้ย่อยสลายโดยน้ำย่อยของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว ส่วนสารที่มีลักษณะโมเลกุลค่อนข้างซับซ้อนก็จะถูกย่อยสลายอย่างช้า ๆ และบางส่วนของโมเลกุลที่ถูกย่อยสลายไปบ้างแล้วแต่ยังมีลักษณะ aromatic ring ที่ซับซ้อนอยู่ อาจรวมตัวกับไอออนต่าง ๆ เกิดเป็นสารฮิวมัส ซึ่งเป็นองค์ประกอบอันสำคัญของอินทรียวัตถุในดินซึ่งคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้น เนื่องจากมันมักจะเข้าทำปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียวเกิดเป็น humus-clay complex ส่วนสารประกอบอินทรีย์พวก aliphatic หรือ straight chain นั้น ส่วนใหญ่จะค่อย ๆ ถูกย่อยสลายกลายเป็น CO_2 เข้าสู่บรรยากาศไปในที่สุด

2.4.3.2 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยอินทรีย์

ในขณะที่อินทรีย์สารต่าง ๆ ในปุ๋ ยอินทรีย์กำลังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์นั้น สารประกอบอินทรีย์รูปต่าง ๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนแปลงย่อยสลายไปตามลำดับ และในที่สุดอาจจะไปเป็นสารอนินทรีย์ที่มีธาตุ N และ P เช่น NH_4^+, NO_3^-, $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ซึ่งจุลินทรีย์และรากพืชดูดไปใช้ได้ ส่วนโพแทสเซียมในปุ๋ยซึ่งมักจะอยู่ในรูปไอออนที่ละลายน้ำได้ดีจะเป็นประโยชน์ต่อพืชทันที ส่วนโพแทสเซียมที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ในปุ๋ย จะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมาในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้ว เป็นอัตราที่ช้าและสม่ำเสมอกว่ามาก จึงทำให้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองดี และไม่ค่อยเกิดการเป็นพิษต่อพืช

2.4.4 ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.4.4.1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางเคมีของดิน โดยเหตุที่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณเหลือที่ละลายน้ำได้อยู่ในระดับที่ต่ำ และสลายตัวให้ฮิวมัสซึ่งมีความจุและเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงมักปรากฏผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินในลักษณะเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น เนื่องจากในปุ๋ยมีอินทรีย์สารที่มีตำแหน่งของการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในปริมาณสูง

มาก จึงช่วยเจือจางความเข้มข้นของไอออนที่อยู่บริเวณรอบ ๆ และควบคุมปฏิกิริยาเคมีในดินให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงไปมาอย่างฉับพลัน จึงช่วยให้พืชเจริญเติบโตสม่ำเสมอดีขึ้น

2.4.4.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางกายภาพของดิน เนื่องจากอินทรีย์สารในปุ๋ยมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่พอเหมาะ จึงปรากฏว่าเมื่อใส่ลงไปในดินจะทำให้ดินอุ้มน้ำดีขึ้น และปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ได้สูงขึ้น ทำให้อนุภาคหยาบ ๆ เกาะตัวกันดีขึ้น ส่วนดินเหนียวจะร่วนขึ้น โปร่งขึ้น มีการระบายน้ำและอากาศดีขึ้น ความหนาแน่นลดลง ไม่แข็งจัดเมื่อแห้ง และไม่จับติดเครื่องมือไถพรวนเมื่อมีความชื้นสูง อย่างไรก็ดีผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางกายภาพของ ดินจะไม่เป็นผลที่ยั่งยืน ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของปุ๋ยที่ใช้ ความถี่ในการใส่ปุ๋ย และอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบของปุ๋ย โดยพวกที่มีองค์ประกอบของ humic type อยู่สูงจะช่วยรักษาสภาพทางกายภาพของดินให้ดีอยู่ได้นาน ซึ่งพวกนี้มักได้มาจากสารที่มี aromatic compound เป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม อินทรีย์สารจากบางแหล่ง เช่น ใบของพืชจำพวก mints พวกสน และยูคาลิปตัส อาจมีสารประกอบประเภทไขมัน (fat) และไข (wax) เป็นสารประกอบ nonpolar hydrophobic อื่น ๆ อยู่มาก เมื่อใบของพืชเหล่านี้ร่วงหล่นลงสู่พื้นดิน สาร nonpolar hydrophobic เหล่านี้เป็นสารที่ค่อนข้างคงทนจึงมิได้ถูกย่อยสลายไปโดยง่าย เมื่อดินได้รับแสงแดด อุณหภูมิสูง สารเหล่านี้จะหลอมตัวเคลือบอนุภาคของดินบางส่วนไว้ ทำให้อนุภาคของดินเหล่านั้นไม่เปียกน้ำโดยง่ายและไม่อุ้มน้ำ ซึ่งอาจจะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชได้ แต่เมื่อสารเหล่านี้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คุณสมบัติดั้งเดิมของดินก็จะกลับมาตามปกติ

2.4.4.3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางชีวภาพของดิน ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าสารอินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์นั้นอยู่ในระหว่างขั้นตอนของการสลายตัว จึงมีสารให้พลังงานเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อใส่ลงไปในดินจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เชื้อราต่าง ๆ จะแทงกระจุกใยรา (mycelium) ลงไปในดินอย่างหนาแน่น สัตว์เล็ก ๆ จะมาใช้เป็นอาหารและชอนไชไปรอบบริเวณ ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์เหล่านี้ล้วนมีผลโดยตรงและโดยทางอ้อมต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ซึ่งในขณะนั้นจะทำให้มีการหมุนเวียนของธาตุอาหารในรูปต่าง ๆ ถ่ายทอดและถ่ายเทจากสิ่งมีชีวิตหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จึงเท่ากับเป็นกา รสงวนธาตุอาหารพืชต่าง ๆ ไม่ให้สูญหายไปในเวลาอันสั้น นอกจากนี้การปรากฏตัวและเพิ่มปริมาณของไส้เดือนและสัตว์เล็กสัตว์น้อยอื่น ๆ ภายหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ย่อมเป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอกให้ทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับสูง

2.4.4.4 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว (อนนท์ สุขสวัสดิ์ และคณะ, 2533) ทดลองใช้ปุ๋ยมูลไก่ทดแทนปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตของข้าว พบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตัวแทนพันธุ์ข้าวต้นสูงไวต่อช่วงแสง) จะตอบสนองได้ดีที่อัตรา 300-600 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับข้าวพันธุ์ กข23 (ตัวแทนพันธุ์ข้าวต้นเตี้ยไม่ไวต่อช่วงแสง) จะตอบสนองได้ดีที่อัตรา 600-1,200 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนในการใช้ปุ๋ยมูลวัวจะต้องใช้อัตราค่อนข้างสูงคือ 1,500-3,000 กิโลกรัม/ไร่ จึงจะสามารถเพิ่มผลผลิตได้เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี ซึ่งอาจจะเป็นอุปสรรคในการจัดหา ดังนั้นการใช้ปุ๋ยมูลวัวอัตราต่ำร่วมกับปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตข้าวน่าจะเป็นวิธีการที่ดีกว่า และในการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าว อัตรา 2,000-4,000 กิโลกรัม/ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี แต่อัตราการใช้จำนวนมากอาจเป็นอุปสรรคต่อการจัดหาและการนำไปใช้ จึงควรใช้ในอัตราต่ำร่วมกับปุ๋ยเคมีเช่นเดียวกัน ในส่วนของระยะเวลาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉพาะปุ๋ยมูลไก่และมูลวัวที่ระยะเวลา 1, 7 และ 14 วันก่อนปักดำ ไม่มีผลแตกต่างกันอย่างชัดเจน อาจกล่าวได้ว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยมูลวัวก่อนปักดำ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการเพิ่มผลผลิตข้าว

กรรณิกา นากลาง และคณะ (2527) ทดลองใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในนาข้าวคือ ปอเทือง ปุ๋ยหมัก และฟางข้าวอัตราต่างๆ ตั้งแต่ 1,000-4,000 กิโลกรัม/ไร่ โดยใส่ห่างกันช่วงละ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 8 ปี พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้ผลผลิตข้าว กข 7 สูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย ส่วนพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน การใส่ปุ๋ยหมักให้ผลผลิตข้าว กข 7 สูงกว่าใส่ปอเทืองและฟางข้าวตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่ามีการตอบสนองต่อปุ๋ยหมักได้สูงสุด รองลงมาคือ ใส่ฟางข้าวและปอเทือง ทั้งนี้การเพิ่มอัตราของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ให้ข้าวพันธุ์ กข 7 จำนวน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่การใส่ปุ๋ยเพิ่มมากเกินไปจะทำให้ผลผลิตลดลง

2.5 การบำบัดโดยใช้พืช (phytoremediation)

2.5.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช

Phytoremediation เป็นการใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษในบริเวณที่ปนเปื้อน เพื่อลดอันตรายของสารมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารมลพิษทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลาง ดิน น้ำ หรือ อากาศ เช่น ไ ตรไนโตรโทลูอีน (2,4,6-trinitrotoluene) ไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) เบนซีน (benzene) โทลูอีน (toluene) เอทิลเบนซีน (ethylbenzene) ไซลีน (xylene) โลหะหนัก (heavy metals) และ

นิวไคลด์กัมมันตรังสี (radionuclides) เป็นต้น การบำบัดสารมลพิษโดยใช้เทคโนโลยี phytoremediation สิ่งที่สำคัญคือ การเลือกใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษในบริเวณที่มีการปนเปื้อน นอกจากนี้ยังต้องมีความเข้าใจพฤติกรรมของสารมลพิษที่จะทำการบำบัดในตัวกลางนั้น ๆ และปัจจัยร่วมอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเพื่อช่วยให้การบำบัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ กระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ดังนั้น phytoremediation จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้บำบัดสารมลพิษโดยการพึ่งพาสิ่งที่มีอยู่แล้วในระบบธรรมชาติ และเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการบำบัดสารมลพิษ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีราคาแพงและเป็นสาเหตุของการทำลายธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น วิธีชะล้างดิน (soil washing) และวิธีการขุดลอกหน้าดิน ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรและต้นทุนในการบำบัดสูง (USEPA, 2000)

2.5.2 ชนิดของการบำบัดโดยใช้พืช (USEPA, 2000)

การบำบัดสารมลพิษโลหะหนัก โดยใช้เทคโนโลยี phytoremediation สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด

2.5.2.1 Phytoextraction เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษที่อยู่ในดิน และตะกอนดิน โดยใช้พืชไปดูด ดึงสารมลพิษโดยผ่านราก แล้วไปเก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็นลำต้น และใบ ซึ่งมีปัจจัยหลายประการที่จำกัดการบำบัดสารโลหะหนัก (metal phytoextraction) เช่น อัตราการดูด ดึงสารโลหะหนักโดยราก การนำไปใช้ประโยชน์ของโลหะหนักโดยพืช (metal bioavailability) สัดส่วนของสารโลหะหนักที่ถูกดูด ดึงโดยราก ความทนได้ของเซลล์พืชต่อสารโลหะหนักที่เป็นพิษ ดังนั้นพืชที่ใช้ในการบำบัดจึงควรมีความสามารถในการสะสมสารโลหะหนักโดยผ่านรากได้มาก และสามารถเคลื่อนย้ายสารโลหะหนักไปสู่ส่วนของต้นพืชได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ พืชควรมีกลไกในการลดความเป็นพิษของสารโลหะหนัก (detoxify) และมีความทนต่อปริมาณสารโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น เงิน แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม ทองแดง ปรอท แมงกานีส โมลิบดีนัม นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี และสารกัมมันตรังสีที่สามารถบำบัดโดยวิธีนี้ เช่น สตรอนเชียม- 90 (^{90}Sr) ซีเซียม- 137 (^{137}Cs) พลูโทเนียม-239 (^{239}Pu) และยูเรเนียม-238 (^{238}U)

2.5.2.2 Phytostabilization เป็นการใช้พืชเพื่อยับยั้งหรือลดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในดิน ตะกอนดิน หรือตม โดยการใช้รากพืชเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่และการดูดจับของสารมลพิษในดิน ตะกอนดิน หรือตม พืชที่ใช้ควรมีความสามารถในการลดปริมาณการซึมผ่านของน้ำในโครงสร้างของดิน เพื่อเป็นการลดปริมาณสารมลพิษปนเปื้อนไปสู่น้ำใต้ดิน ป้องกันการสึกกร่อน

ของหน้าดินและการกระจายของสารมลพิษไปยังบริเวณอื่น ๆ การบำบัดโดยวิธีนี้สามารถเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการดูดซับ (sorption) การตกตะกอน (precipitation) การเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) การรีดิวซ์เวเลนซีโลหะ (metal valence reduction) สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และสังกะสี

2.5.2.3 Phytovolatilization เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษโดยการใช้พืชไปดูดจับสารมลพิษด้วยกลไกที่เกิดขึ้นในต้นพืชเอง โดยจะมีการแปลง (tranformation) สารมลพิษให้อยู่ในรูปที่ระเหยได้และมีความเป็นพิษลดลงจากเดิม หลังจากนั้นสารมลพิษที่อยู่ในรูปที่ระเหยได้จะสามารถกำจัดออกโดยผ่านทางใบพืช ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ได้ให้ความสนใจ และศึกษาค้นคว้าวิจัย เพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืชที่สามารถทำหน้าที่พิเศษนี้ได้อย่าง ดี โดยสารโลหะหนักที่สามารถบำบัดด้วยวิธีนี้ เช่น ปรอท เป็นต้น

2.5.2.4 Rhizodegradation หรือชื่ออื่นที่มีการเรียกกัน เช่น rhizosphere biodegradation, phytostimulation, plant-assisted, bioremediation/degradation คือ การกำจัด หรือการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีการปนเปื้อนในดินโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่ออยู่บริเวณรากพืช เพราะบริเวณรากพืชจะมีของเหลวซึมออกมา ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน และเอมไซม์ ซึ่งจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร และยังช่วยเพิ่มปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในบริเวณรากพืช ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ ดิน ตะกอน กากตะกอน และน้ำใต้ดิน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธี Rhizodegradation คือ สารประกอบอินทรีย์ เช่น Total Petroleum Hydrocarbon (TPH), Polynuclear Aromatic Hydrocarbon (PAHs), Polychlorinated Biphenyls (PCBs) และสารกำจัดแมลงและศัตรูพืชบางชนิด เป็นต้น

2.5.2.5 Phytodegradation หรือรู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งก็คือ phytotransformation คือ การทำให้สารปนเปื้อนที่มีการเปลี่ยนรูป โดยเอนไซม์ที่พืชปล่อยออกมา หรือผ่านทางกระบวนการเมทตาโบริซึม (metabolism) ของพืช ตัวกลางที่สามารถใช้วิธีนี้ในการบำบัดได้ คือ ดิน ตะกอน กากตะกอน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน สารปนเปื้อนที่สามารถบำบัดได้โดยวิธี Phytodegradation คือ สารประกอบอินทรีย์

2.5.2.6 Rhizofiltration เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษ โดยการใช้รากพืชในการดักกรองสารมลพิษ หรือดูดซึมสารมลพิษในน้ำ เช่น น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำ ซึ่งวิธีนี้สามารถช่วยในการลดปริมาณกากมลพิษได้มาก ทั้งนี้เนื่องจาก

เฉพาะส่วนของรากพืชที่สะสมสารมลพิษเท่านั้นที่จำเป็นต้องบำบัดในขั้นตอนต่อไป โดยส่วนของใบและลำต้นที่ไม่ปนเปื้อนหลังจากการเก็บเกี่ยวก็จะทิ้งไปหรือนำไปทำประโยชน์อย่างอื่นได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาใช้ในการบำบัด เช่น พืชบางชนิดมีดอกที่สวยงาม จึงสามารถเก็บดอกไปขายในช่วงเวลาระหว่างการบำบัดได้อีกด้วย สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโครเมียม สำหรับสารกัมมันตรังสีที่สามารถบำบัดโดยวิธีนี้ เช่น ^{137}Cs และ ^{238}U เป็นต้น

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักโดยพืช (อรรณพ หอมจันทร์, 2544 อ้างถึงใน บัญชาการ วินัยพานิช, 2548)

2.5.3.1 ชนิดของโลหะหนัก

ชนิดของโลหะหนักนั้นมีส่วนสำคัญมากในการที่พืชจะดูดดึงโลหะหนักเหล่านี้ออกจากดิน เนื่องจากพืชนั้นมีความสามารถในการดูดดึงโลหะหนักในแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน กล่าวคือ พืชจะดูดดึงโลหะหนักชนิดที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าโลหะหนักชนิดที่ส่งผลเป็นพิษต่อพืชเพียงอย่างเดียว

2.5.3.2 รูปทางเคมีของโลหะหนัก

การดูดดึงโลหะหนักโดยพืชนั้น ส่วนใหญ่แล้วโลหะห นักในรูปเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) ที่ละลายน้ำแล้วนั้นพืชจะสามารถดูดดึงเข้าไปได้มากกว่าโลหะหนักในรูปสารประกอบอินทรีย์ (organic compound)

2.5.3.3 ชนิดของพืช

พืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้ความสามารถของพืชในการดูดดึงโลหะหนักแต่ละชนิดแต่ละรูปก็แตกต่างกันไปด้วย ตัวอย่างเช่น ในผักคะน้าจะมีความสามารถในการดูดดึงสังกะสีได้ดีที่สุดในรูปสังกะสีคลอไรด์

2.5.3.4 ลักษณะสมบัติบางประการของดิน

1) เนื้อดิน (soil texture) เนื้อดินที่แตกต่างกัน สามารถ ทำให้รากพืชเข้าถึง และดูดดึงโลหะได้ต่างกัน

2) การระบายน้ำ (drainage status) การที่ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้มากก็จะทำให้โลหะหนักเหล่านั้นสามารถที่จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่ายขึ้น พืชก็จะสามารถดูดดึงไปได้มากขึ้น

3) ความสามารถในการดูดจับโลหะหนักไว้ในดิน (sorptive capacity) หากว่าดินดูดจับโลหะหนักไว้อย่างแน่นหนาแล้วโอกาสที่พืชจะดูดดึงไปได้ย่อมลดลงไปด้วย ดังนั้นจึงมักพบว่า พืชสามารถดูดดึงและเคลื่อนย้ายโลหะหนักในดินทรายได้ดีกว่าในดินเหนียวอยู่เสมอ

2.5.3.5 สิ่งต่างๆ ที่เติมลงในดิน

สิ่งที่เติมเข้าไปในดินนั้นจะ ช่วยส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดดึงโลหะหนักในพืชมาก เนื่องจากสิ่งที่เติมเข้าไปนั้นอาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของโลหะหนัก และสารอาหารของพืชในดิน ทำให้พืชมีความสามารถในการดูดดึงโลหะหนักที่ปนเปื้อนนี้ลดลง ยกตัวอย่างเช่น สารคีเลต (chelating agent) ซึ่งได้แก่ EDTA, EDDS และ citric acid เป็นต้น

2.5.3.6 สภาพแวดล้อมอื่นๆ

1) อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิมีผลต่อพืชมาก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะพบว่า พืชสามารถดูดดึง แคดเมียม สังกะสี แมงกานีส และเหล็ก จากดินสู่พืชมากขึ้น

2.) ช่วงวัน (day length) ช่วงวันมีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักข องพืชเช่นกัน โดยที่ช่วงวันมากขึ้นพืชก็จะมีโอกาสสังเคราะห์แสงมากขึ้น ทำให้โอกาสที่พืชจะดูดดึงเอาโลหะหนักออกมาจากดินนั้นก็มีสูงขึ้นด้วย

3) ความเข้มแสง (intensity) ปริมาณของแสงมีส่วนในการดูดดึงโลหะหนักของพืชเช่นกัน เนื่องจากแสงที่มีความเข้มข้นพอเหมาะพืชก็จะสามารถสังเคราะห์แสงได้ดี ทำให้การดูดดึงโลหะหนักที่อยู่ในดินก็มีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4) ความชื้นในดิน (soil moisture) ความชื้นของดินก็มีส่วนที่พืชจะดูดดึงโลหะหนักไปจากดิน โดยพิจารณาจากการ osmosis ซึ่งต้องมีความเหมาะสมของความชื้นในดิน พืชจึงจะดูดสารต่างๆ ออกจากดินได้

5) ความชื้นในอากาศ (air humidity) ก็มีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักในดินเช่นกัน เนื่องจากความชื้นในอากาศนั้นมีผลต่อการคายน้ำของพืช ถ้าพืชคายน้ำออกมาได้น้อย แรงดึงที่รากก็จะต่ำทำให้พืชดูดดึงสารต่างๆ ในดินได้น้อยลงเช่นกัน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cottenies, Kiekans และ Landschoot (1984) ได้ศึกษาความสามารถของข้าวในการดูดดึงโลหะหนักจากกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมในพื้นที่นาข้าว พบว่า ข้าวมีความสามารถในการดูดดึงนิกเกิลเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของข้าวได้สูงสุด รองลงมาคือ แคดเมียม และสังกะสี ตามลำดับ

Chen (1992) ศึกษาการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในเมล็ด และรากของข้าวจากแหล่งต่างๆ ในประเทศญี่ปุ่นที่มีการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักมากน้อยแตกต่างกัน โดยพบว่า ความเข้มข้นสูงสุดของอาร์เซนิก ทองแดง แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว และสังกะสี ในเมล็ดข้าวมีค่าเท่ากับ 0.2, 6.0, 5.2, 0.26, 1.0 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และความเข้มข้นของอาร์เซนิก ทองแดง แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว และสังกะสีในรากข้าวเท่ากับ 1,182, 560, 97, 245, 423 และ 4,510 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่สะสมในข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณการปนเปื้อน และแหล่งของการปนเปื้อน

Kashem และ Singh (2000) ศึกษาการดูดดึงแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสีในข้าว โดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่ปลูกในสภาพดินไม่มีน้ำขัง และดินที่ที่มีน้ำขัง ผลการศึกษา พบว่า ข้าวที่ปลูกในสภาพดินที่มีน้ำขังมีการดูดดึงโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกในสภาพดินที่ไม่มีน้ำขัง โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียมในต้นข้าวที่โตเต็มที่ ฟางข้าว และเมล็ดข้าวสาร มีค่าเท่ากับ 84, 89 และ 79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การลดลงของนิกเกิลในต้นข้าวที่โตเต็มที่ ฟางข้าว และเมล็ดข้าวสาร มีค่าเท่ากับ 21, 63 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การลดลงของสังกะสีในข้าวที่โตเต็มที่ ฟางข้าว และเมล็ดข้าวสารมีค่าเท่ากับ52, 78 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Chen และ Chen (2002) ทำการศึกษาการดูดดึงแคดเมียมในดิน 3 แบบคือ ดินกรด ดินด่าง และดินนาข้าว โดยใช้สารอินทรีย์ที่ทำมาจากกากตะกอน และฟางข้าว ผลการศึกษา พบว่า ดินทั้ง 3 แบบนั้น อัตราการดูดซึมแคดเมียมสูงสุด มีค่า ลดลง เมื่อมีการใส่สารอินทรีย์ทั้งสองชนิด โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงนั้นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 17.3 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 93.9 เปอร์เซ็นต์ โดยดินกรดมีเปอร์เซ็นต์การดูดดึงลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ ดินนาข้าว และดินด่าง ตามลำดับ สรุปได้ว่า สารอินทรีย์นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า pH ในดิน และกรณีไม่ใส่สารอินทรีย์ พบว่า อัตราการดูดซึมแคดเมียมสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะอื่นๆ ของดิน แต่ถ้าใส่สารอินทรีย์ พบว่า อัตราการดูดซึมแคดเมียมสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เหมาะกับการทำให้แคดเมียมในดินเสถียร ดังนั้น จึงไม่เหมาะกับการฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อน

Pinto *et al*. (2004) ได้ศึกษาอิทธิพลของสารอินทรีย์ในการดูดดึงแคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็กในข้าวฟ่าง โดยปลูกข้าวฟ่างในสารละลายที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 0, 0.1, 1 และ 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีการใส่และไม่ใส่สารอินทรีย์ ปลูกเป็นระยะเวลา 20 วัน ผลการศึกษา พบว่า มวลชีวภาพของข้าวฟ่างนั้นลดลงที่ความเข้มข้นแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มวลชีวภาพของข้าวฟ่างนั้นไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุม และไม่มีการแสดงความเป็นพิษให้เห็น ส่วนการใส่สารอินทรีย์เข้าไปนั้นสามารถทำให้มวลชีวภาพของข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น ซึ่งสารอินทรีย์สามารถทำให้แคดเมียมนั้นยังอยู่ในสารละลายโดยการจับของลิแกนด์ของสารอินทรีย์ อีกทั้งสารอินทรีย์สามารถลดการดูดดึงทองแดง สังกะสี และเหล็กได้ด้วย

Lui *et al*. (2006) ศึกษาการดูดดึง และการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในข้าว 6 สายพันธุ์ โดยพบว่า ปริมาณของแคดเมียมที่ข้าวดูดดึงเข้าไปมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นประมาณ 0.73 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถเข้าไปสะสมอยู่ในส่วนของเมล็ด นอกจากนี้ ยังพบว่า ความแตกต่างของปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคดเมียม และปริมาณการสะสมแคดเมียมที่อยู่ในราก ลำต้น และใบของข้าวแต่ละสายพันธุ์นั้นไม่มีความแตกต่างกัน แต่ความแตกต่างของปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคดเมียม และปริมาณการสะสมแคดเมียมที่อยู่ในเมล็ดของข้าวแต่ละสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน อีกทั้งยังพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นแคดเมียมที่เปลือกข้าวนั้น มีปริมาณมากกว่าในฟางข้าว และเมล็ดข้าวถึง 5 เท่า และยังพบว่าปริมาณการสะสมแคดเมียมในผลผลิตข้าวนั้นอยู่ที่เปลือกข้าว เมล็ดข้าว และฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 40, 45 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สรุปได้ว่า รากข้าวมีความสามารถในการดูดดึงแคดเมียม และเคลื่อนย้ายแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินไปยัง

ส่วนยอดของข้าว และส่งต่อไปยังเมล็ด ข้าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แคดเมียมมีการกระจายตัวหรือเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่นๆ ของพืชที่อยู่เหนือดินได้

Azizur *et al*. (2007) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของอาร์เซนิก (As) ในส่วนต่างๆ ของข้าวจากพื้นที่การทำนาข้าวที่มีการปนเปื้อนอาร์เซนิก โดยพบว่า ข้าวมี ความสามารถการดูดดึงอาร์เซนิกไปสะสมในส่วนต่างๆ ได้แก่ รากข้าว ฟางข้าว เปลือกข้าว และข้าวสารในปริมาณ 51.9, 1.9, 1.6 และ 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

Mahara *et al*. (2007) ได้ทำการศึกษาผลของสารอินทรีย์ที่ได้มาจากธรรมชาติต่อการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแคดเมียมในดิน โดยเก็บสารอินทรีย์จาก 2 แหล่ง คือ จากแหล่งน้ำผิวดินที่มีออกซิเจน และแหล่งน้ำใต้ดินที่ไม่มีออกซิเจน และแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามน้ำหนักโมเลกุล คือ น้อยกว่า 1×10^3, $1–10 \times 10^3$, $10–100 \times 10^3$ และมากกว่า 100×10^3 ดาลตัน ผลการศึกษา พบว่า สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด (น้อยกว่า 1×10^3) สามารถจับกับแคดเมียมได้มากกว่าสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งสารอินทรีย์ที่ได้จากแหล่งน้ำใต้ดินสามารถจับกับแคดเมียมได้แข็งแรงกว่าสารอินทรีย์ที่มาจากแหล่งน้ำผิวดิน หรือสามารถกล่าวโดยสรุปคือ สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของแคดเมียมในดินได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

Murakami และ Ishikawa (2007) ทำการศึกษาการสะสมแคดเมียมโดยใช้พืช 3 ชนิด คือ ข้าว ถั่วเหลือง และข้าวโพด ซึ่งทำการทดลองในเรือนเพาะชำ และใช้ดินนาที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเท่ากับ 0.83-4.29 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมดินเป็นระยะเวลา 60 วัน ผลจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมไว้ที่รากมากกว่าส่วนยอด โดยข้าวมีการดูดดึงแคดเมียมมากกว่าถั่ว และข้าวโพด มีค่าเท่ากับ 187, 116 และ 19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการปลูกข้าว

1) เมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ105 กข6 พิษณุโลก3 และเหนียวสันป่าตอง

2) ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว) จากพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียม บริเวณอำเภ อแม่สอด จังหวัดตาก

3) ดินที่ใช้ในการศึกษา คือ ดิน นาข้าวที่ปนเปื้อน แคดเมียม จากบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

4) ภาชนะปลูก คือ ถังพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณปากถังกว้าง 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณก้นถังกว้าง 20 เซนติเมตร และความสูง 30 เซนติเมตร

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

1) พลั่วตักดิน และเสียม

2) ถุงพลาสติก

3) ปากกาทำเครื่องหมาย

4) ขวดพลาสติกขนาด 200 มิลลิลิตร และ 1000 มิลลิลิตร

5) ตลับเมตร

6) กล่องโฟมสำหรับบรรจุน้ำแข็งเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำ

7) เครื่อง DO Meter, pH Meter

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

1) สารเคมี ในการทดลองใช้สารเคมีเกรดงานวิเคราะห์ (Analytical Reagent Grade) สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ และข้าว ได้แก่ แคดเมียม (Cd) สังกะสี (Zn) ไนเตรท (NO_3^-) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD)

2) วัสดุในห้องปฏิบัติการ เป็นเครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เช่น ขวดรูปชมพู่ กระบอกตวง บิกเกอร์ ปิเปต ขวดปรับปริมาตร กรวยกรอง แท่งแก้ว กระจกนาฬิกา เป็นต้น และอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ถ้วยกระเบื้อง ตะแกรงร่อนดิน ช้อนตักสาร กระดาษกรองเบอร์ 40 กระดาษกรอง GF/C พาราฟิล์ม ขวดพลาสติก ถุงซิป เป็นต้น

3) เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter)

3.2) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (Analytical Balance)

3.3) ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven)

3.4) เตาแผ่ความร้อน (Hot Plate)

3.5) เครื่องเขย่าแบบหมุนวน (Mechanical Shaker)

3.6) เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter)

3.7) เครื่องบดตัวอย่าง (Blender)

3.8) ตู้ดูดอากาศ (Hood)

3.9) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Phamacia Biotech รุ่น Novaspec II

3.10) เครื่องมือสำหรับย่อยด้วยระบบ Microwave ยี่ห้อ Milestone รุ่น Ethos Sel

3.11) เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AAnalyst 800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 สถานที่ดำเนินการวิจัย

3.2.1 พื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างดินมาทำการทดลอง คือ บริเวณตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

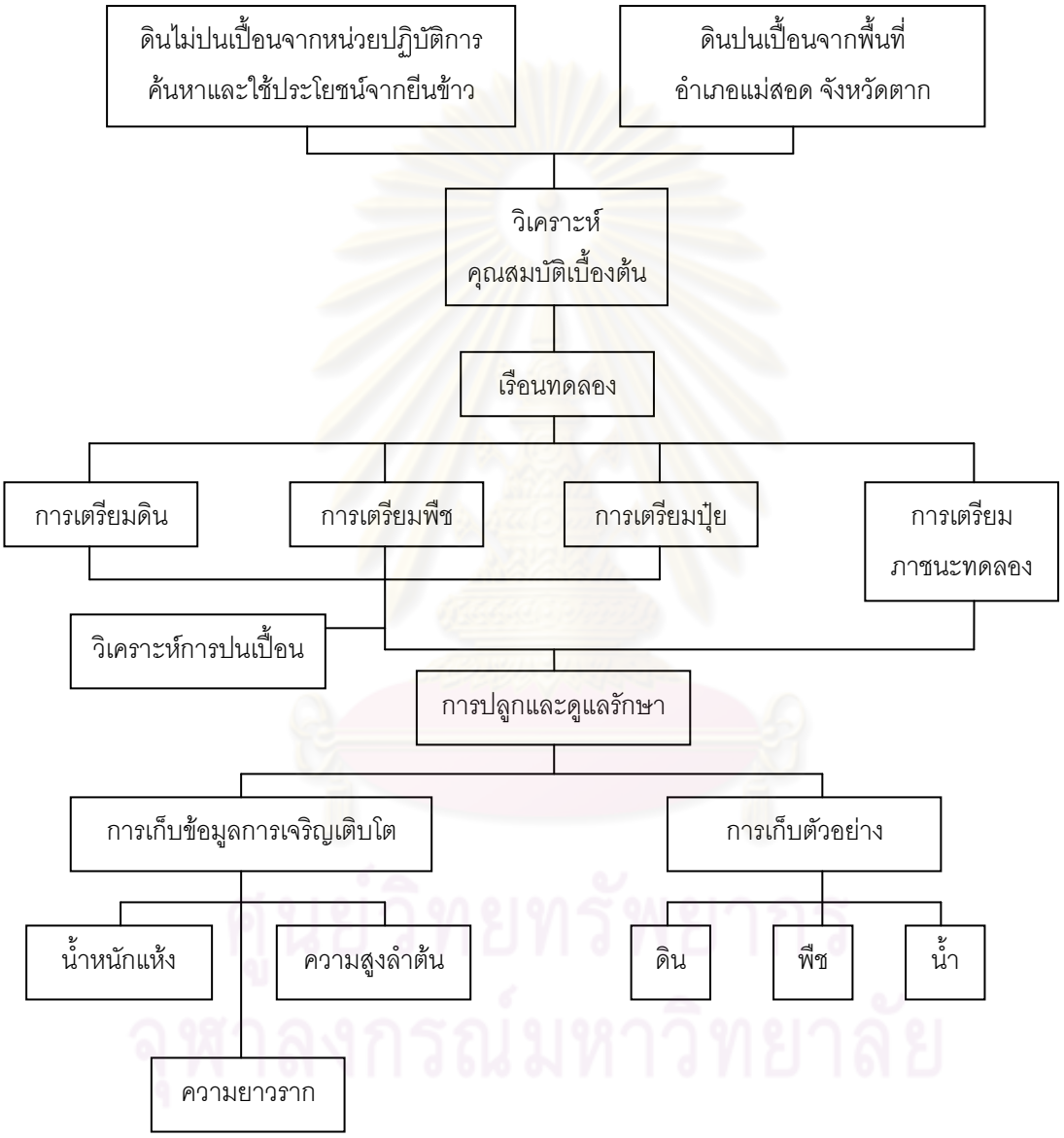
3.2.2 เรือนทดลอง ได้ทำการวิจัยที่หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์จากยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

3.3.3 ห้องปฏิบัติการ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

ได้สรุปขั้นตอนการวิจัย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมเรือนทดลอง

เรือนทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ตั้งอยู่ในพื้นที่ของ หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์จากยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ลักษณะของเรือนทดลอง เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หลังคาปิดด้วยวัสดุโปร่งใสสามารถกันฝน และรับแสงแดดได้ดี มีการป้องกันสัตว์ และแมลงศัตรูพืช ภายในประกอบด้วยบ่อซีเมนต์ขนาด 1.5 เมตร x 1.5 เมตร จำนวน 8 บ่อ ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ใช้บ่อซีเมนต์จำนวน 5 บ่อแบ่งตามชุดดินที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 1) ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2) ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ 4) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 5) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยในแต่ละบ่อใช้เป็นที่วางภาชนะปลูกข้าวจำนวน 16 ถัง จัดเป็น 4 แถวแบ่งตามพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 1) พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 2) พันธุ์กข6 3) พันธุ์พิษณุโลก3 และ 4) พันธุ์เหนียวสันป่าตอง โดยในแต่ละแถวประกอบด้วยภาชนะทดลองจำนวน 4 ถังตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง คือ 30, 60, 90 และ 120 วัน

3.3.2 การเตรียมดิน

ดินที่ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียม และดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมได้มาจากพื้นที่นาในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยเก็บตัวอย่างดิน ในสองพื้นที่นาที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร ปริมาณ 1000 กิโลกรัม จากนั้นนำดินทั้ง 2 ชุดมาทำการสุ่มดินตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการวิเคราะห์ คุณสมบัติของตัวอย่างดิน (Soil properties) โดยมีพารามิเตอร์ คือ เนื้อดิน (Soil texture) ปริมาณความชื้น (Moisture) พีเอช (pH) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ค่าการนำไฟฟ้าในดิน (EC) อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter; OM) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) และปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn)

3.3.3 การเตรียมภาชนะปลูก

ใช้ถังพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณปากถังกว้าง 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณก้นถังกว้าง 20 เซนติเมตร และความสูง 30 เซนติเมตร ชั่งดินที่ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียม 10 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ภาชนะปลูกจำนวนทั้งหมด 16 ถัง และ ชั่งดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม 10 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ภาชนะปลูกจำนวนทั้งหมด 64 ถัง

3.3.4 การเตรียมพืชทดลอง

คัดเลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 กข6 พิษณุโลก 3 และเหนียวสันป่าตอง จากกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยเมล็ดพันธุ์มีขนาด และน้ำหนักใกล้เคียงกัน และมีเปอร์เซ็นต์การงอกมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นสุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมโดยใช้วิธีการ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) โดยการย่อยด้วยกรด (Acid Digestion) ด้วยเครื่องมือสำหรับย่อยระบบไมโครเวฟ (Microwave Digestion) และตรวจวัดค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) ซึ่งพบว่า เครื่องไม่สามารถวัดค่าได้ แสดงให้เห็นว่า เมล็ดพันธุ์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียมแต่อย่างใด

3.3.5 การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองคือ ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ได้จากพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสี นำมาผึ่งให้แห้ง จากนั้นสุ่มปุ๋ยอินทรีย์ไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture) พีเอช (pH) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) และปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3.1 จากนั้นนำไปคำนวณตามปริมาณการใส่ในแต่ละถัง โดยคำนวณจากน้ำหนักดิน 10 กิโลกรัมต่อภาชนะปลูก (น้ำหนักแห้ง) ดังตารางที่ 3.2 และทำการใส่ลงไปในดินก่อนที่ทำการปลูกข้าว โดยสูตรการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ก่อนทำการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ความชื้น (%)	30.58
pH	8.5
ไนโตรเจน (%)	1.6
ฟอสฟอรัส (%)	1.0
โพแทสเซียม (%)	3.9
แคดเมียมทั้งหมด (mg kg^{-1})	ND
สังกะสีทั้งหมด (mg kg^{-1})	112.55

หมายเหตุ ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 3.2 ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว) ที่ใส่ลงไปในดิน

ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ในพื้นที่เกษตรกรรม (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณการใส่ในแต่ละภาชนะปลูก (กรัม)	ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อน้ำหนักดิน (กรัมต่อกิโลกรัมดิน)
500	13.52	1.35
1000	27.04	2.70
2000	54.08	5.41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.6 การปลูกข้าว และการดูแลรักษา

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ที่คัดเลือกแล้ว นำมาแช่น้ำในถาดเป็นเวลา 1-2 คืน จนเริ่มมีรากงอกออกมา จากนั้นนำลงปลูกในภาชนะทดลอง 3 เมล็ดต่อภาชนะปลูก ส่วนการดูแลรักษา คือ มีการให้น้ำ และควบคุมระดับน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลองจนถึงระยะที่ข้าวออกรวงเต็มที่ จึงปล่อยให้น้ำแห้งเพื่อให้เมล็ดข้าวแข็งแรงรอการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้ ตลอดระยะเวลาของการทดลองไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และสารเคมีใดๆ ทั้งสิ้น

3.3.7 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

1) การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้ง ทำโดยการเก็บข้อมูลหลังจากการเก็บตัวอย่างในช่วงที่ข้าวมีอายุ 30, 60, 90 และ 120 วัน โดยทำการชั่งน้ำหนักหลังจากการนำต้น ข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่

2) การเจริญเติบโตด้านความสูง ทำโดยการเก็บข้อมูลในช่วงที่ข้าวมีอายุ 7, 15, 21, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน โดยวัดความสูงจากผิวดินขึ้นไปจนถึงปลายใบที่สูงที่สุด

3.3.8 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดิน ข้าว และน้ำ ได้มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ครั้ง ดังนี้

- ช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน (ระยะต้นกล้า) วันที่ 24 ส.ค. 2552
- ช่วงต้นข้าวอายุ 60 วัน (ระยะแตกกอ) วันที่ 22 ก.ย. 2552
- ช่วงต้นข้าวอายุ 90 วัน (ระยะออกดอก) วันที่ 22 ต.ค. 2552
- ช่วงต้นข้าวอายุ 120 วัน (ระยะเก็บเกี่ยว) วันที่ 24 พ.ย. 2552

1) การเก็บตัวอย่างดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างดินทุกชุดการทดลอง โดยวิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในภาชนะทดลองมาทำการคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำดินผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ และนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำมาบด และร่อนผ่านตะแกรง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด และปริมาณสังกะสีทั้งหมด

2) การเก็บตัวอย่างข้าว โดยทำการเก็บตัวอย่างข้าว ทุกชุดการทดลอง โดยนำต้นข้าวมาล้างน้ำให้สะอาด 2-3 ครั้งและล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ครั้ง แล้วแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) และส่วนใต้ดิน (ราก) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ และนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นบดแยกส่วนของข้าวให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด และปริมาณสังกะสีทั้งหมดในส่วนต่างๆ ของข้าวโดยในการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายที่ 120 วันจะมีการเก็บตัวอย่างในส่วนเมล็ดข้าว และเปลือกข้าว (แกลบ) เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณการสะสม แคดเมียมและสังกะสีด้วยเช่นกัน

3) การเก็บตัวอย่างน้ำ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ขังอยู่ในภาชนะทดลอง ทุกชุดการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวด จำนวน 2 ขวด โดยขวดแรกใส่กรดไนตริก 65% จำนวน 2-3 หยด นำเข้าตู้เย็น และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดและสังกะสีทั้งหมด ขวดที่ 2 ไม่เติมสารเคมีใดๆ นำไปวิเคราะห์หาค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved; BOD) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^-) ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) และค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (Oxidation - Reduction Potential; ORP)

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและสังกะสี

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในดิน และส่วนต่างๆ ของข้าว 4 ส่วน คือ ส่วนเหนือดิน ส่วนใต้ดิน เมล็ดข้าว และเปลือกข้าว ใช้วิธีการ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) โดยการย่อยด้วยกรด (Acid Digestion) ด้วยเครื่องมือสำหรับย่อยระบบไมโครเวฟ (Microwave Digestion) และตรวจวัดค่าปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมด ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำ ใช้วิธีการ USEPA method 3051A (USEPA, 1998) โดยการย่อยด้วยกรด (Acid Digestion) ด้วยเครื่องมือสำหรับย่อยระบบไมโครเวฟ (Microwave Digestion) และตรวจวัดค่าปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมด ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่พืช ดูดดึง ได้ โดยวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยวิธีการโดยการสกัด Diethylene triamine pentaacetic acid (DTPA) ร่วมกับ $CaCl_2$ (กรมวิชาการเกษตร , 2544: 72-75) และนำไปวิเคราะห์ด้วยด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีในดิน และปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในข้าวที่ได้จากการทดลอง โดยนำค่าที่วิเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ถ้าแตกต่างกันจะทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่มใดที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นด้วยวิธีการของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวนั้นจะปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ Statistical Package for the Social Science (SPSS)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบเบื้องต้นของดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ดินไม่ปนเปื้อนแคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียม โดยดิน ทั้ง 2 ชุดนั้นได้นำมาจากสองพื้นที่นาในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบเบื้องต้นของดินที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 4.1) พบว่า ดินไม่ปนเปื้อนมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวร่วนปนทราย มีความชื้นในดิน 3.72 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 6.9 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเท่ากับ 7.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.24 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าเท่ากับ 2.89 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 0.145 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่าเท่ากับ 8 และ 74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินมีค่าต่ำมากจนไม่สามารถวัดค่าได้ และปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินมีค่าเท่ากับ 93.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินปนเปื้อนมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวร่วนมีความชื้นในดิน 34.53 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเท่ากับ 15.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.125 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าเท่ากับ 2.18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 0.109 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่าเท่ากับ 21 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินมีค่าเท่ากับ 68.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินมีค่าเท่ากับ 2716 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งดินทั้งสองชุดนั้นจัดว่าเป็นดินนาที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงกล่าวคือ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ (กรมการข้าว, 2553)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินเบื้องต้น

พารามิเตอร์	ดินไม่ปนเปื้อน	ดินปนเปื้อน
ดินทราย (%)	49.2	33.2
ดินทรายแป้ง (%)	27.6	32.0
ดินเหนียว (%)	23.2	34.8
เนื้อดิน	ดินร่วนเหนียวปนทราย	ดินร่วนเหนียว
ความชื้น (%)	3.72	34.53
pH	6.9	7.4
CEC (c $mol_{(+)}kg^{-1}$)	7.4	15.5
EC (ds m^{-1})	0.24	0.125
อินทรียวัตถุ (%)	2.89	2.18
ไนโตรเจน (%)	0.145	0.109
ฟอสฟอรัส (ppm)	8	21
โพแทสเซียม (ppm)	74	150
แคดเมียมทั้งหมด (mg kg^{-1})	ND	68.9
สังกะสีทั้งหมด (mg kg^{-1})	93.39	2,716

หมายเหตุ ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

4.2 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำ

การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำในภาชนะทดลองของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ที่ปลูกในดินทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2) ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ 4) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 5) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30, 60, 90 และ 120 วัน ได้มีการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved; BOD) ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^-) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน – รีดักชัน

(Oxidation - Reduction Potential; ORP) ปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมด และปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมด ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ (ตารางภาคผนวก ข) ดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำในภาชนะทดลอง พบว่า มีปริมาณสูงที่สุดที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30 และ 60 วัน และมีแนวโน้มลดลงในช่วงระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างที่ 90 และ 120 วัน ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา และทุกชุดดินทดลอง เนื่องมาจากของแข็งแขวนลอยที่พบเป็นตะกอนดิน ในช่วงเดือนแรกจึงพบในปริมาณมากอันเนื่องมาจากการเตรียมดินทำให้น้ำมีความขุ่น และมีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนต่อมาเนื่องจากไม่มีกิจกรรมที่ไปรบกวน ดินจึงมีการตกตะกอน และจับตัวกันเป็นก้อนมากขึ้น (เกริก ปิ่นตระกูล, 2550) สำหรับผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำ พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง และค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ มีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่างในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา และทุกชุดดิน ทดลอง เนื่องมาจากในช่วงแรกมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะมีออกซิเจนใช้ย่อยสลายอินทรีย์สารในดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา , 2529) จึงสามารถทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในน้ำต่ำ ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ สูง และในช่วงเดือนต่อมาเมื่อ อินทรีย์สารในดินมีจำนวนน้อยลงเป็นผลให้จุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจน เพื่อใช้ในกิจกรรมในการย่อยสลายน้อยลงจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเพิ่มสูงขึ้น และค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ลดต่ำลงตามไปด้วย ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่า ง พบว่า ในทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษา และทุกชุดดิน ทดลอง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างที่ไม่ชัดเจนตลอดช่วงระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง อาจเป็นเพราะว่าในการทดลองมีการเติมน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำอยู่ตลอดเวลา และไม่มีการควบคุม ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในน้ำก่อนเติม โดย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างตลอดระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วงค่า มาตรฐานของการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) ทั้งนี้ค่าความนำไฟฟ้า ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา และทุกชุดดิน ทดลอง มีค่าสูงที่สุดในช่วงเดือนแรก อาจเนื่องมาจากดินที่ใช้ได้จากแปลงนาของเกษตรกรที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีมาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งปุ๋ยเคมีมีสมบัติเป็นอนินทรีย์สาร เมื่อถูกน้ำชะล้างจึงสามารถละลายอยู่ในน้ำสูง ซึ่ง ปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าสูง ส่งผลทำให้ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (เกริก ปิ่นตระกูล ,2550) สำหรับช่วง ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน – รีดักชันในน้ำในภาชนะทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข6 พิษณุโลก3 และเหนียวสันป่าตอง อยู่ในช่วง 79-240, 153-214, 165-222 และ 64-226 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้เป็นบวก แสดงให้เห็นได้ว่าน้ำในภาชนะทดลองของ

ทุกพันธุ์ข้าวศึกษามีสารละลายที่อาจจะเป็นอิออน หรือโมเลกุลที่แสดงแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2545)

ปริมาณไนเตรทในน้ำในภาชนะทดลอง ในทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษา และทุกชุดดินทดลอง จากการศึกษาพบว่า ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง เนื่องมาจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของข้าวจึงมีการดึงไปใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ในช่วง 60 และ 90 วันปริมาณไนเตรทมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากเป็นระยะเวลาที่ข้าวมีความต้องการธาตุอาหารมาก คือช่วงระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (อรรควุฒิ , 2527 อ้างถึงใน เกริก , 2550) ส่วนปริมาณฟอสเฟต ในทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษา และทุกชุดดินทดลองพบว่า มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจน อาจเนื่องมาจากน้ำที่ใช้เติมในภาชนะทดลองมีปริมาณฟอสเฟตไม่คงที่ และไม่มีการควบคุมปริมาณฟอสเฟตก่อนเติม นอกจากนี้ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำ ในทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษา และในทุกชุดดินทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำมีการสะสมในปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่สะสมอยู่ในดิน ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีผลกับการกระจายตัวของแคดเมียมและสังกะสีแล้วทำให้เกิดสารประกอบโลหะเชิงซ้อน (Adriano, 2001) ซึ่งทำให้ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่ปนเปื้อนในดินมีการละลายออกมาในน้ำต่ำ

4.3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินทดลอง

การศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินปนเปื้อนที่ทดลองปลูกข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ ได้มีการวางแผนการทดลอง โดยแบ่งชุดดินที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2) ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ 4) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 5) ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30, 60, 90 และ 120 วัน พบว่า ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา และทุกชุดดิน ทดลอง ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 6-8 ซึ่งเป็นช่วงที่ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี (กรมการข้าว , 2553) นอกจากนี้ยังพบว่าในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก นัก เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินมีประจุลบ (net negatively charge) เป็นจำนวนมากและมีความสามารถดูดซับไอออนบวกได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลง ความเป็นกรดเป็นด่างได้ดี ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา equilibrium reaction ดังนั้นไม่ว่าจะมีการเพิ่มสารประกอบที่มีสมบัติเป็นกรดหรือด่างลงไปในดินก็ตาม ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันที ทั้งนี้เพื่อรักษา equilibrium

ดังนั้นการที่กรดหรือด่างจะสะสมอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) จึงมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก จึงเป็นสา เหตุให้ความเป็นกรดเป็นด่าง ของดินเปลี่ยนแปลงไป เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4.4 ปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในดิน

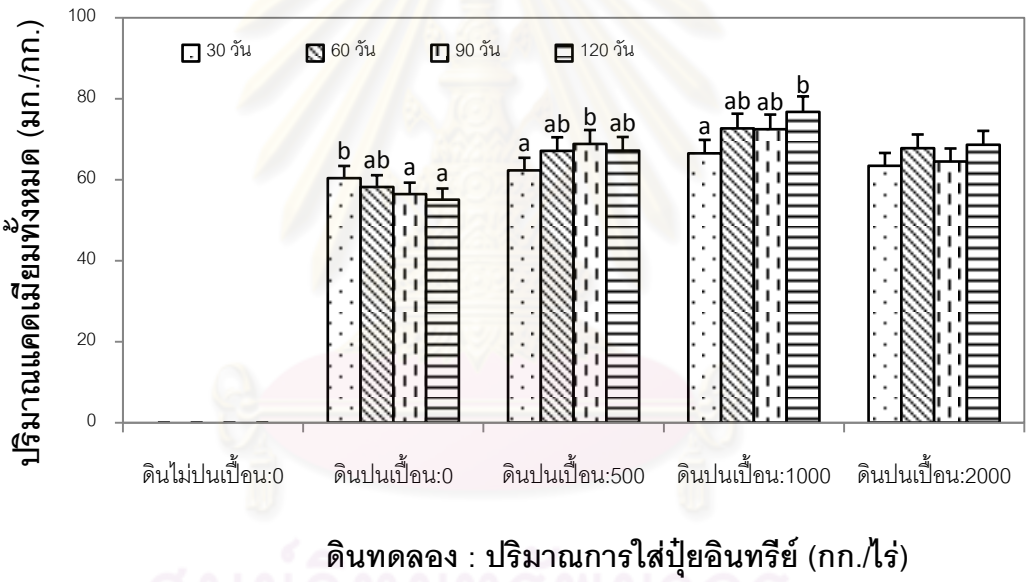
การศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียม และสังกะสีในดินของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ที่ปลูกในดินปนเปื้อนนั้นได้มีการวางแผนการทดลอง โดยแบ่งชุดดินที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30, 60, 90 และ 120 วัน ซึ่งทำเช่นเดียวกันในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ ส่วนการดูแลรักษาได้มีการรักษาระดับน้ำในภาชนะทดลองให้อยู่ระดับเดียวกันในทุกๆ ชุดของการทดลอง และทุกสายพันธุ์ข้าว นอกจากนี้ยังไม่มีการเติมสารเคมีใดๆ ลงในภาชนะทดลองตลอดระยะเวลาการปลูก เมื่อครบระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างได้ทำการเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่มไปทำการวิเคราะห์ เพื่อหาปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในดิน ทั้งนี้ผลของการสะสมแคดเมียม และสังกะสีในดินสามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

4.4.1 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในดิน

1) ปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมด

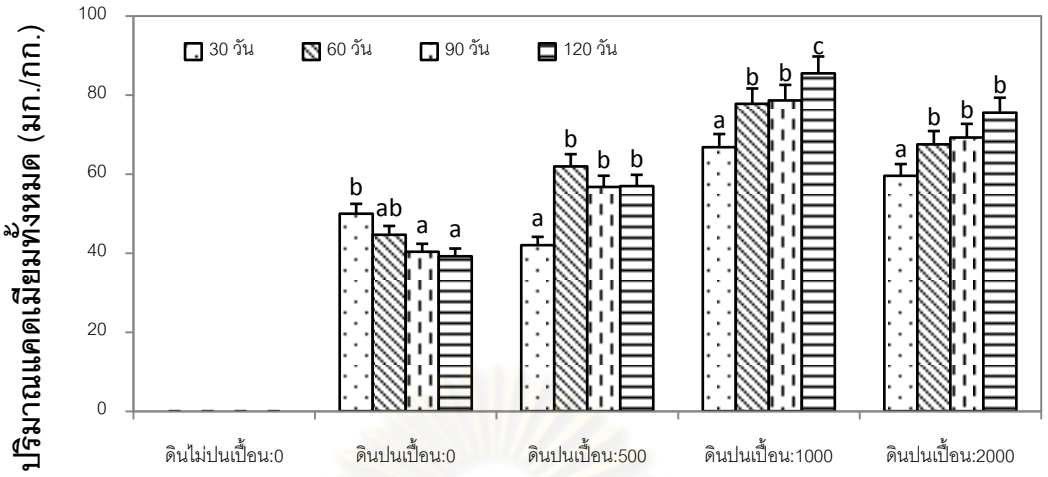
ผลการศึกษาพบว่า ในชุดดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ไม่พบปริมาณการสะสมแคดเมียมในดินที่ปลูกข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ เนื่องมาจากดินที่ใช้ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในดินก่อนเริ่มการทดลอง ส่วนผลการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 0, 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์พิษณุโลก 3 ในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 0, 500 และ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการสะสมแคดเมียมที่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab และ b) ส่วนในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า การสะสมแคดเมียมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนข้าวพันธุ์กข 6 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ในชุด

การทดลองที่ปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 0, 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมที่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc และ c) นอกจากนี้ยังพบว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนและไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มของปริมาณการสะสมแคดเมียมลดลง ส่วนในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500,1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินแคดเมียมสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในต้นข้าวได้ ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ วราภรณ์ ศรีตัมภวา (2550) ที่ทำการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อย ดังรูปที่ 4.1-4.4



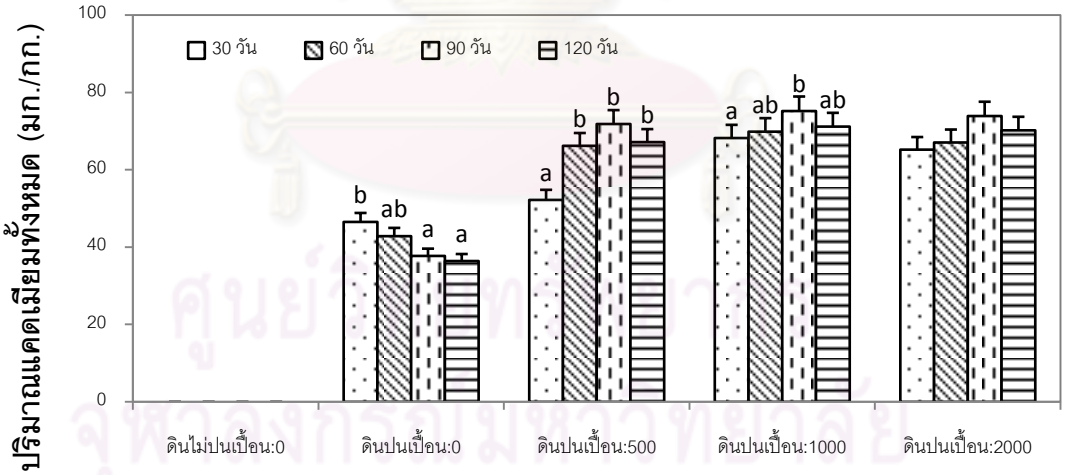
รูปที่ 4.1 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



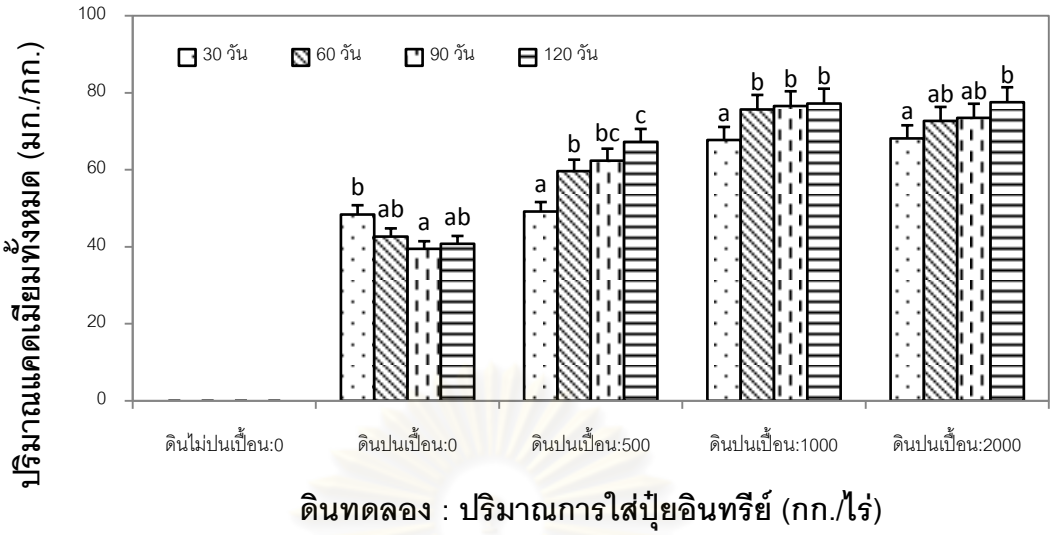
รูปที่ 4.2 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.3 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.4 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.2 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	60.37^{a}±1.22	58.19^{a}±2.46	56.43^{a}±1.18	55.06^{a}±1.68
ดินปนเปื้อน:500	62.29^{a}±1.15	67.11^{b}±2.61	68.82^{bc}±4.29	67.18^{b}±3.93
ดินปนเปื้อน:1000	66.5^{b}±3.78	72.66^{c}±4.55	72.45^{c}±4.49	76.73^{c}±2.26
ดินปนเปื้อน:2000	62.42^{a}±0.63	67.77^{bc}±2.59	64.48^{b}±4.38	68.62^{b}±3.47

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	49.97^{b}±3.31	44.64^{a}±4.34	40.34^{a}±2.67	39.2^{a}±4.57
ดินปนเปื้อน:500	42.01^{a}±4.28	61.94^{b}±5.65	56.74^{b}±4.55	56.96^{b}±4.23
ดินปนเปื้อน:1000	66.8^{d}±2.68	77.78^{c}±3.11	78.64^{d}±2.16	85.49^{d}±3.41
ดินปนเปื้อน:2000	59.56^{c}±3.99	67.52^{b}±4.08	69.25^{c}±4.12	75.54^{c}±4.62

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	46.53^{a}±3.25	42.85^{a}±5.15	37.74^{a}±1.80	36.42^{a}±4.14
ดินปนเปื้อน:500	52.22^{a}±4.56	66.21^{b}±3.75	71.85^{b}±4.31	67.17^{b}±3.19
ดินปนเปื้อน:1000	68.22^{b}±3.87	69.87^{b}±4.01	75.2^{b}±2.09	71.18^{b}±3.43
ดินปนเปื้อน:2000	65.22^{b}±3.59	67.07^{b}±3.22	73.91^{b}±3.58	70.21^{b}±6.49

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	48.36^{a}±2.74	42.63^{a}±3.51	39.45^{a}±5.47	40.76^{a}±3.24
ดินปนเปื้อน:500	49.14^{a}±3.92	59.62^{b}±4.09	62.34^{b}±4.29	67.22^{b}±2.38
ดินปนเปื้อน:1000	67.71^{b}±3.38	75.63^{c}±3.19	76.53^{c}±2.41	77.18^{c}±4.37
ดินปนเปื้อน:2000	68.12^{b}±3.64	72.66^{c}±4.55	73.45^{c}±4.05	77.52^{c}±3.15

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

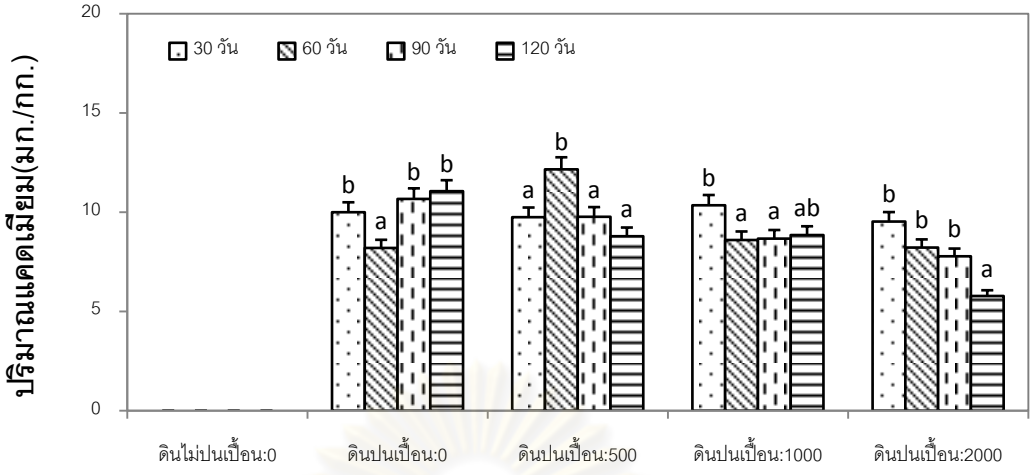
จากตารางที่ 4.2-4.5 แสดงให้เห็นถึงผลการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลองของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ พบว่า ในทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่ 30, 60, 90 และ 120 วัน ปริมาณการสะสมแคดเมียม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, b, bc และ c) นอกจากนี้ยังพบว่า ในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการสะสมแคดเมียมมากกว่าชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง และทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์มีสามารถตรึงแคดเมียมให้อยู่ในดินได้ เพราะอินทรีย์วัตถุมีประจุลบอยู่เป็นจำนวนมากทำให้ความสามารถในการดูดยึดประจุบวกสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ ประมาณ 2-30 เท่า ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินจับกับโลหะหนักที่มีประจุบวกได้ดี (ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย, 2550) โดยในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กข6 และพันธุ์พิษณุโลก 3 มีการสะสมแคดเมียมสูงที่สุดในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 76.73, 85.49 และ 75.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีการสะสมแคดเมียมสูงที่สุดใน

ชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างที่ 120 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 77.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2) ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้

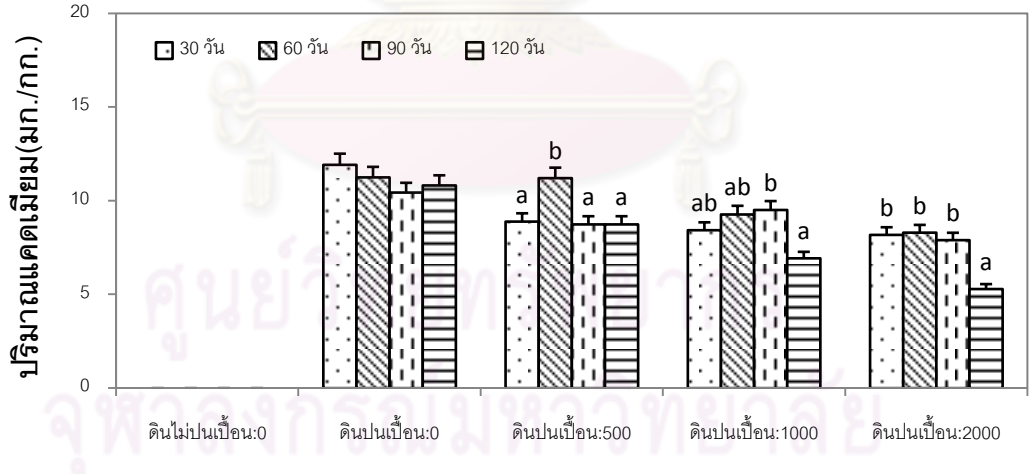
ผลการศึกษาพบว่า ในชุดดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ไม่พบปริมาณแคดเมียมในดินที่ปลูกข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ เนื่องมาจากดินที่ใช้ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในดินตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง ส่วนผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืช ดูดดึงได้ในดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 0, 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ พบว่า ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืช ดูดดึงได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืช ดูดดึงได้ในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ในข้าวพันธุ์กข 6 สำหรับปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืช ดูดดึงได้ในทุกชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น สำหรับในข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตองพบว่า ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืช ดูดดึงได้ในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 0, 500 และ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.5-4.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



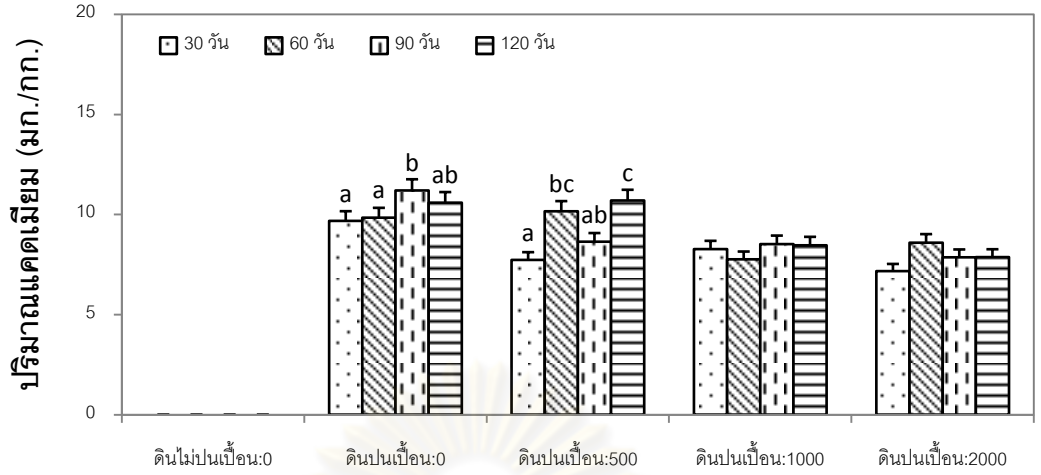
รูปที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมในรูปพืชที่ดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



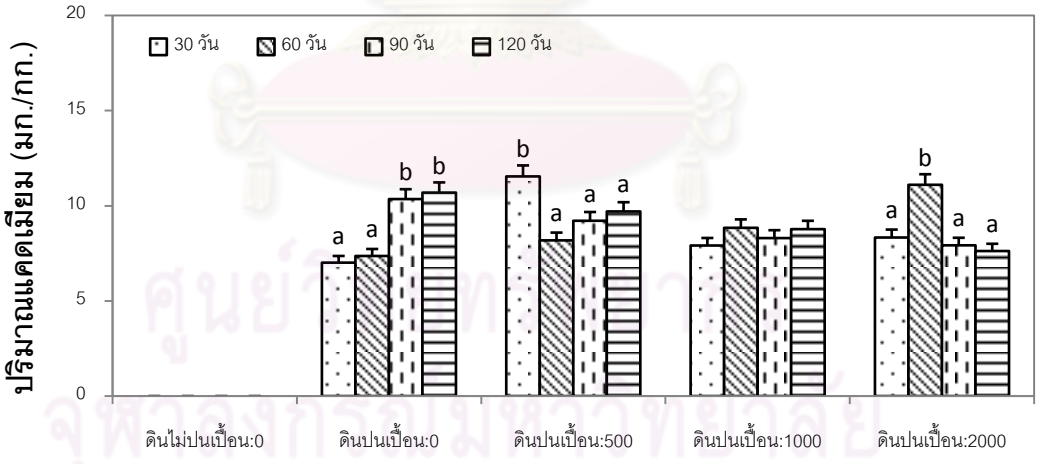
รูปที่ 4.6 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.7 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	10.0±0.77	8.20^{a}±0.22	10.67^{c}±1.10	11.06^{c}±0.61
ดินปนเปื้อน:500	9.75±1.08	12.16^{b}±0.84	9.77^{bc}±0.25	8.79^{b}±0.87
ดินปนเปื้อน:1000	10.35±0.71	8.60^{a}±1.08	8.67^{ab}±0.69	8.85^{b}±0.70
ดินปนเปื้อน:2000	9.53±1.44	8.22^{a}±1.22	7.78^{a}±0.45	5.78^{a}±0.58

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	11.92^{b}±0.15	11.25^{b}±1.56	10.44^{b}±1.48	10.82^{d}±0.77
ดินปนเปื้อน:500	8.89^{a}±1.42	11.21^{b}±0.39	8.74^{ab}±0.72	8.74^{c}±0.18
ดินปนเปื้อน:1000	8.43^{a}±0.71	9.27^{ab}±1.37	9.51^{ab}±1.57	6.93^{b}±1.32
ดินปนเปื้อน:2000	8.18^{a}±0.44	8.30^{a}±1.55	7.90^{a}±0.76	5.29^{a}±0.73

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	9.68^{b}±0.88	9.84^{b}±0.57	11.2^{b}±0.50	10.59^{b}±0.15
ดินปนเปื้อน:500	7.73^{a}±0.59	10.16^{b}±0.57	8.64^{a}±1.26	10.7^{b}±0.86
ดินปนเปื้อน:1000	8.27^{ab}±1.58	7.76^{a}±0.70	8.52^{a}±0.70	8.46^{a}±0.47
ดินปนเปื้อน:2000	7.17^{a}±1.12	8.59^{ab}±1.77	7.86^{a}±0.42	7.87^{a}±0.38

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	7.01^{a}±0.49	7.36^{a}±0.72	10.35^{c}±0.06	10.69^{c}±0.48
ดินปนเปื้อน:500	11.54^{c}±0.62	8.18^{a}±0.24	9.21^{b}±0.82	9.70^{bc}±1.49
ดินปนเปื้อน:1000	7.91^{ab}±0.86	8.84^{a}±1.09	8.30^{ab}±0.96	8.77^{ab}±0.64
ดินปนเปื้อน:2000	8.33^{b}±0.91	11.1^{b}±1.46	7.92^{a}±0.12	7.62^{a}±0.63

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

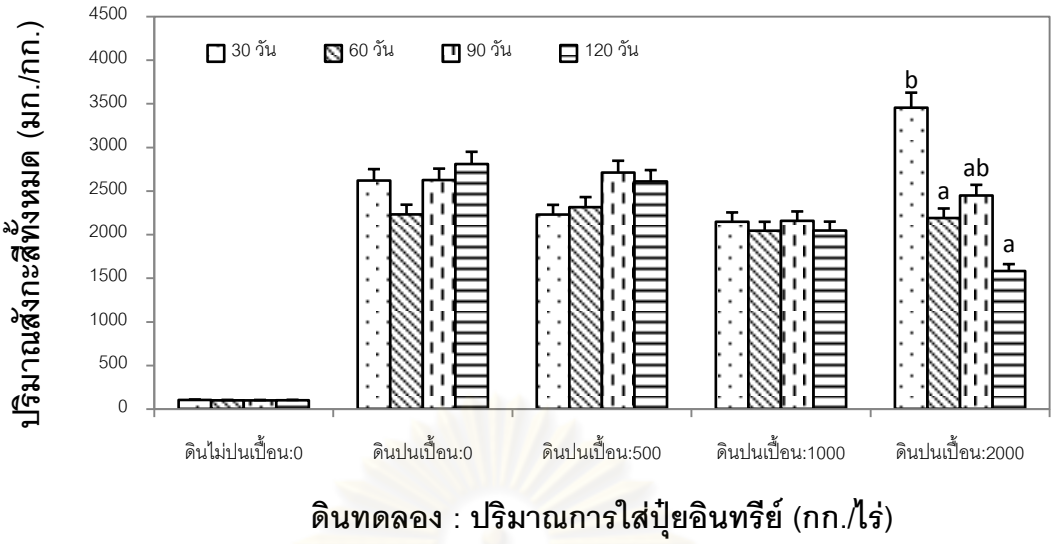
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.6-4.9 แสดงผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชสามารถ ดูดดึงได้ ในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ พบว่า ในทุกๆ พันธุ์ข้าวศึกษาที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างที่ 120 วัน มีปริมาณแคดเมียมที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc, c และ d) โดยในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณ แคดเมียมในรูปที่พืช ดูดดึงได้ต่ำกว่าชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อนทุกชุด โดยในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเท่ากับ 5.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวพันธุ์กข6 มีค่าเท่ากับ 5.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 มีค่าเท่ากับ 7.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีค่าเท่ากับ 7.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สามารถทำให้ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้มีค่าลดลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tu, Zheng และ Chen (2000) ที่ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีที่มีต่อรูปของโลหะหนักโดยพบว่า อิทธิพลของการใส่ปุ๋ยสามารถทำให้ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืช ดูดดึงได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น

4.4.2 ปริมาณการสะสมสังกะสีในดิน

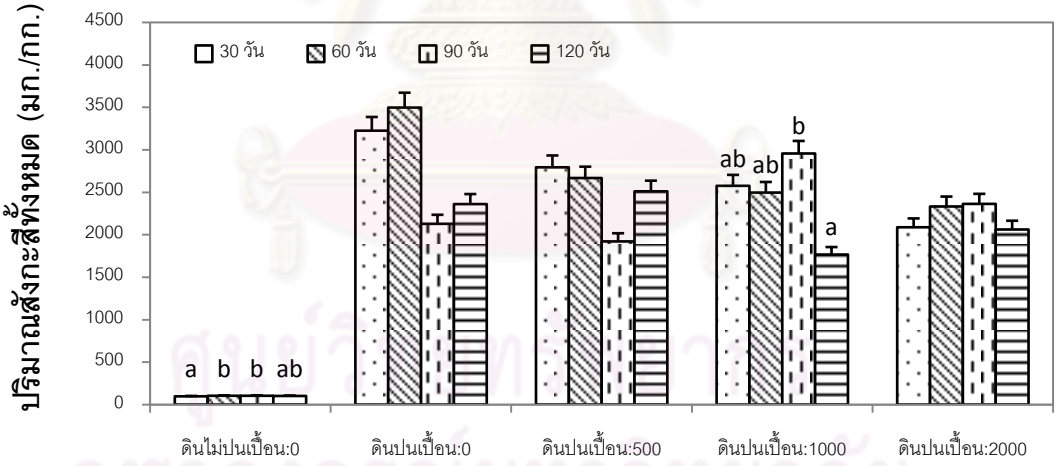
1) ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมด

ผลการศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในดินแต่ละชุดการทดลอง พบว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และพันธุ์พิษณุโลก3 มีปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab และ b) และมีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนในชุดการทดลองที่ใช้ดินเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และปลูกข้าวพันธุ์กข6 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง พบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab และ b) และมีแนวโน้มลดลง ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 วัน ดังรูปที่ 4.9-4.12



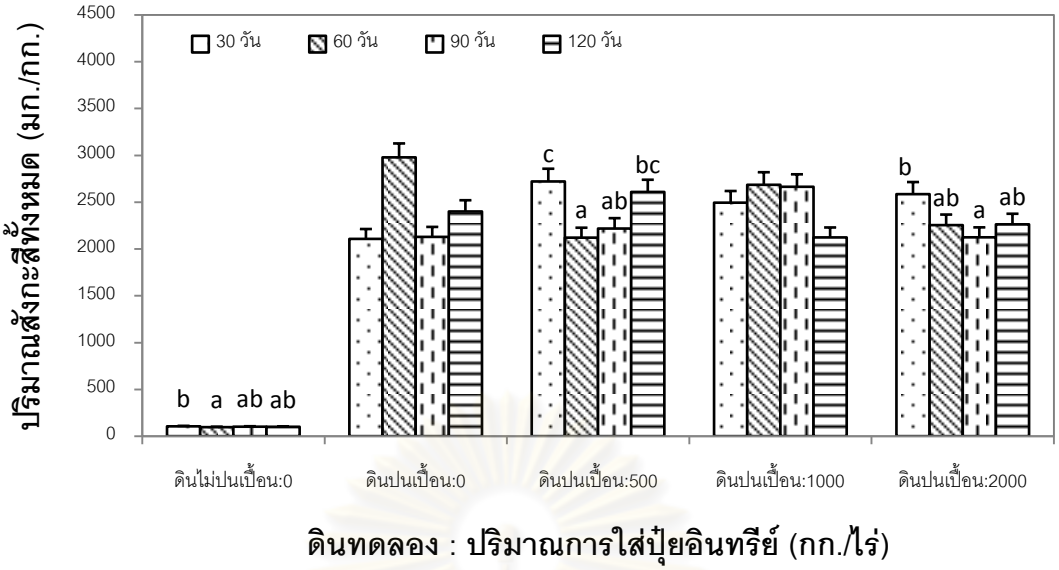
รูปที่ 4.9 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



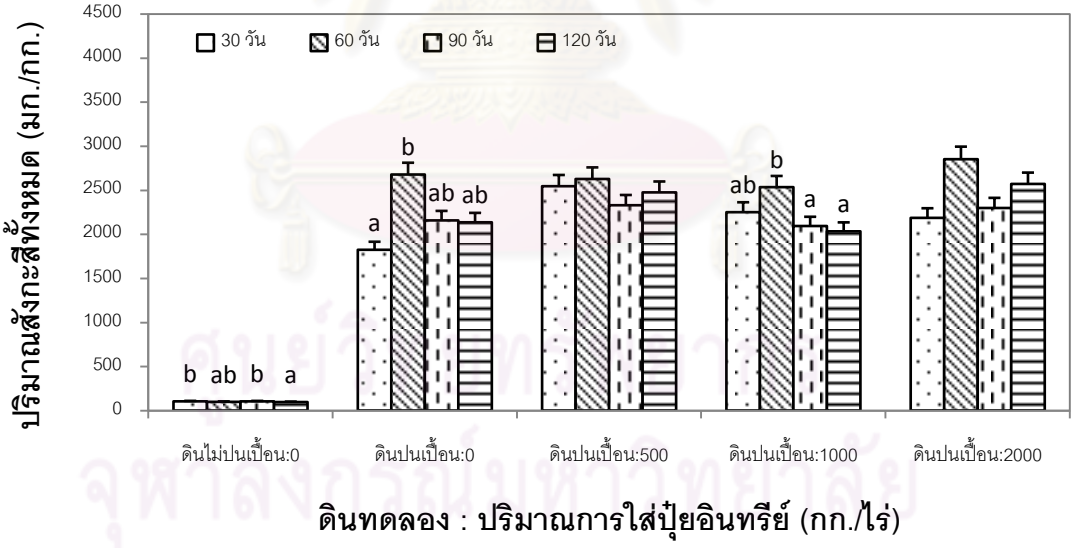
รูปที่ 4.10 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.11 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.12 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.10 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	102.35^{a}±3.93	97.79^{a}±1.71	97.33^{a}±1.31	98.77^{a}±2.30
ดินปนเปื้อน:0	2617.99^{bc}±770.56	2229.8^{b}±119.46	2623.67^{b}±273.52	2807.24^{c}±884.28
ดินปนเปื้อน:500	2227.97^{b}±56.08	2312.8^{b}±71.97	2709.41^{b}±129.88	2607.61^{bc}±966.60
ดินปนเปื้อน:1000	2145.34^{b}±70.04	2042.96^{b}±236.58	2156.09^{b}±367.70	2044.8^{bc}±122.21
ดินปนเปื้อน:2000	3453.29^{c}±1048.95	2188.22^{b}±322.56	2446.55^{b}±476.59	1580.7^{b}±149.82

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.11 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	96.69^{a}±1.26	103.29^{a}±5.35	103.19^{a}±1.34	101.08^{a}±1.36
ดินปนเปื้อน:0	3223.6^{c}±702.84	3495.48^{b}±1237.6	2127.18^{b}±91.60	2359.37^{c}±390.72
ดินปนเปื้อน:500	2792.13^{bc}±769.31	2666.26^{b}±622.16	1920.06^{b}±105.36	2509.69^{c}±147.95
ดินปนเปื้อน:1000	2574.41^{bc}±301.13	2494.84^{b}±214.30	2954.9^{c}±762.83	1765.44^{b}±119.20
ดินปนเปื้อน:2000	2086.54^{b}±421.40	2331.32^{b}±385.53	2361.75^{bc}±88.24	2060.4^{bc}±318.70

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.12 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	105.03^{a}±4.95	96.19^{a}±2.33	101.07^{a}±1.49	100.21^{a}±1.01
ดินปนเปื้อน:0	2106.66^{b}±375.53	2977.24^{b}±1062.48	2128.07^{b}±127.16	2399.43^{bc}±322.10
ดินปนเปื้อน:500	2720.05^{c}±190.59	2119.93^{b}±247.62	2217.2^{b}±242.61	2607.97^{c}±181.23
ดินปนเปื้อน:1000	2493.42^{bc}±471.64	2684.34^{b}±578.41	2663.1^{c}±41.39	2122.41^{b}±204.92
ดินปนเปื้อน:2000	2584.47^{bc}±175.92	2253.76^{b}±331.59	2123.5^{b}±117.00	2262.01^{bc}±164.17

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.13 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

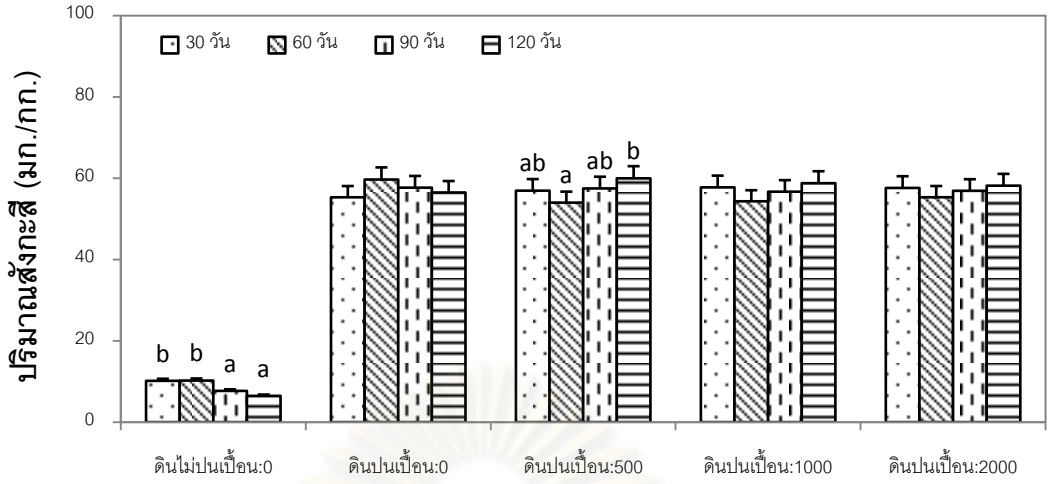
ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	103.65^{a}±5.81	98.06^{a}±2.52	103.36^{a}±2.34	95.67^{a}±1.57
ดินปนเปื้อน:0	1824.33^{b}±456.24	2678.86^{b}±413.45	2157.87^{b}±104.78	2136.46^{b}±171.36
ดินปนเปื้อน:500	2546.2^{c}±238.12	2628.13^{b}±273.58	2330.12^{b}±435.46	2475.96^{b}±667.90
ดินปนเปื้อน:1000	2251.2^{bc}±260.46	2535.55^{b}±253.15	2094.26^{b}±149.22	2033.78^{b}±136.03
ดินปนเปื้อน:2000	2186.72^{bc}±248.39	2852.77^{b}±548.32	2298.82^{b}±156.57	2571.93^{b}±395.69

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4.10-4.13 แสดงให้เห็นถึงผลการศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในดิน พบว่า ในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง ปริมาณการสะสมสังกะสี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, b, bc และ c) โดยในชุดการทดลองที่ใช้ดินไม่ปนเปื้อนมีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำกว่าทุกชุดการทดลองอื่นๆ ในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 วัน ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำที่สุดในชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน ที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 1580.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนข้าวพันธุ์กข6 พันธุ์พิษณุโลก3 และพันธุ์เหนียวสันป่าตองมี ปริมาณการสะสมสังกะสี ต่ำที่สุดในชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน ที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 1765.44, 2122.41 และ 2033.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับของพันธุ์ข้าว ทั้งนี้ปริมาณการสะสมสังกะสีมีค่าต่ำที่สุดในชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน และมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา อีกทั้งยังมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีผลต่อปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในดิน

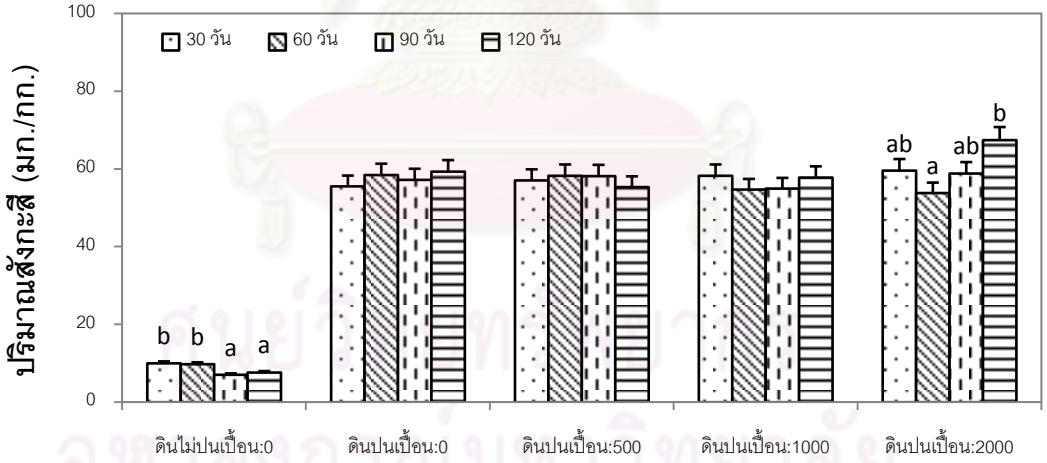
2) ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้

ผลการศึกษาปริมาณสังกะสีในรูปที่พืช ดูดดึงได้ในดินแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณสังกะสี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc และ c) และมีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในทุกๆ สายพันธุ์ข้าวศึกษา นอกจากนี้ ในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนและปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์พิษณุโลก3 พบว่า ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ ในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่และปลูกข้าวพันธุ์กข6 และพันธุ์เหนียวสันป่าตองพบว่า ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืช ดูดดึงได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 วัน ดังรูปที่ 4.13-4.16



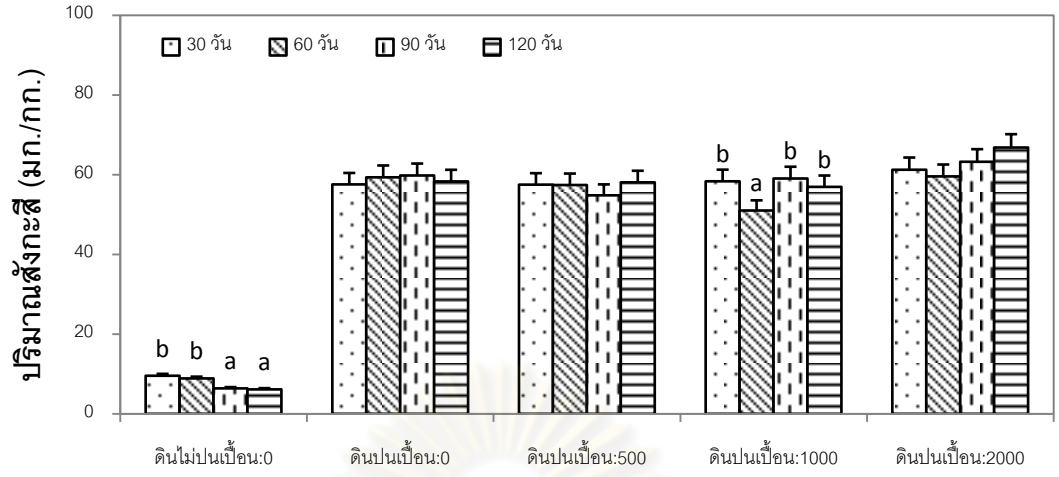
รูปที่ 4.13 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



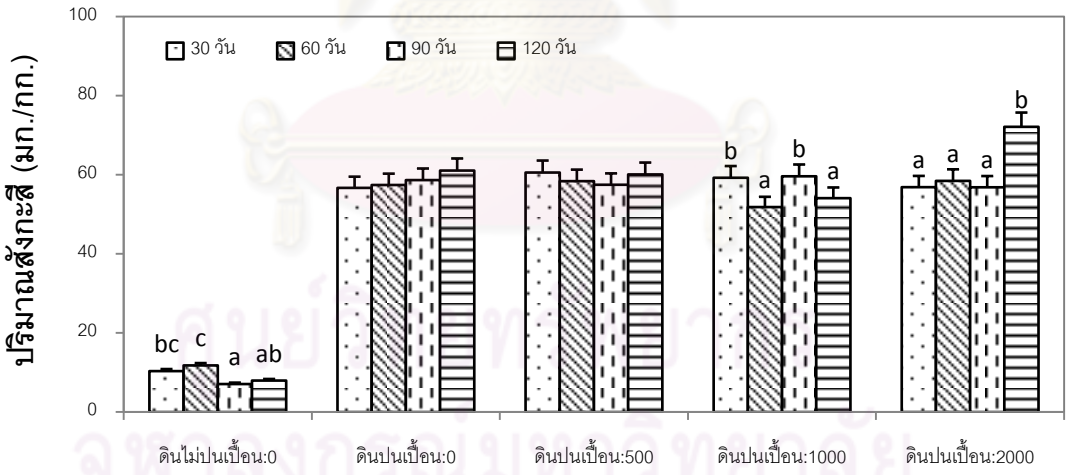
รูปที่ 4.14 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.15 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.16 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	10.16^{a}±0.37	10.22^{a}±0.20	7.68^{a}±1.81	6.46^{a}±0.45
ดินปนเปื้อน:0	55.29^{b}±3.17	59.66^{c}±1.52	57.66^{b}±2.17	56.47^{b}±1.60
ดินปนเปื้อน:500	56.92^{b}±2.98	53.98^{b}±2.53	57.47^{b}±2.68	59.95^{b}±2.66
ดินปนเปื้อน:1000	57.73^{b}±1.93	54.31^{b}±1.36	56.67^{b}±4.11	58.76^{b}±1.28
ดินปนเปื้อน:2000	57.59^{b}±1.44	55.3^{b}±1.33	56.89^{b}±0.86	58.15^{b}±3.28

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.15 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	10.00^{a}±0.48	9.78^{a}±0.97	7.06^{a}±0.69	7.63^{a}±1.81
ดินปนเปื้อน:0	55.52^{b}±2.06	58.43^{b}±3.63	57.19^{bc}±1.56	59.31^{bc}±1.57
ดินปนเปื้อน:500	57.05^{b}±0.55	58.24^{b}±6.08	58.15^{bc}±1.23	55.33^{b}±2.94
ดินปนเปื้อน:1000	58.24^{b}±5.46	54.7^{b}±2.76	54.95^{b}±2.60	57.78^{bc}±2.55
ดินปนเปื้อน:2000	59.57^{b}±2.06	53.8^{b}±3.84	58.82^{c}±2.17	67.41^{c}±11.11

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.16 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	9.55^{a}±0.78	8.88^{a}±0.13	6.38^{a}±1.03	6.13^{a}±0.37
ดินปนเปื้อน:0	57.57^{b}±3.60	59.35^{c}±1.08	59.81^{bc}±3.01	58.32^{b}±1.61
ดินปนเปื้อน:500	57.51^{b}±2.30	57.42^{b}±2.10	54.83^{b}±3.73	58.09^{b}±4.33
ดินปนเปื้อน:1000	58.35^{b}±0.17	51.02^{b}±1.73	59.05^{bc}±3.85	56.95^{b}±0.34
ดินปนเปื้อน:2000	61.25^{b}±1.26	59.58^{c}±6.03	63.25^{c}±4.07	66.83^{c}±3.00

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.17 ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มก.ต่อกก.)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	10.36^{a}±0.21	11.8^{a}±0.10	7.09^{a}±0.71	7.97^{a}±2.58
ดินปนเปื้อน:0	56.69^{b}±1.18	57.42^{c}±2.25	58.66^{b}±2.77	61.07^{b}±6.32
ดินปนเปื้อน:500	60.57^{c}±1.06	58.39^{c}±1.83	57.48^{b}±1.97	60.09^{b}±3.98
ดินปนเปื้อน:1000	59.25^{bc}±2.77	51.84^{b}±0.80	59.62^{b}±0.40	54.09^{b}±2.57
ดินปนเปื้อน:2000	56.87^{b}±2.18	58.46^{c}±2.44	56.84^{b}±2.19	72.13^{c}±7.98

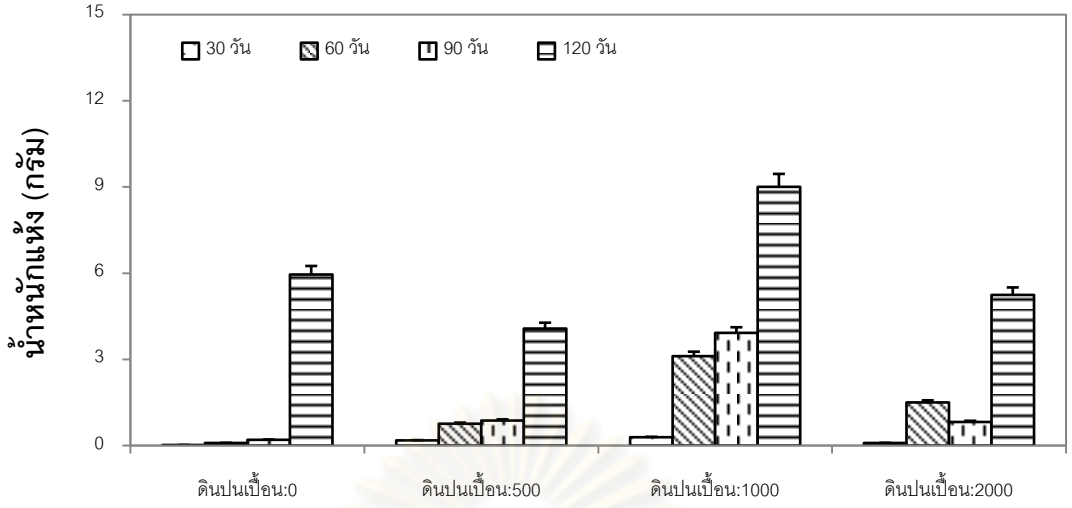
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4.14-4.17 แสดงผลการศึกษาปริมาณสังกะสีในรูปที่พืช ดูดดึงได้ พบว่า ในทุกๆ พันธุ์ข้าวศึกษาที่ทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, b, bc และ c) โดยที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่ 120 วันในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสังกะสีในรูปที่พืช ดูดดึงได้ไม่มีความแตกต่างกันตามปริมาณของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนข้าวพันธุ์กข6 พันธุ์พิษณุโลก3 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง พบว่า มีปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้สูงที่สุดในชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน ที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 67.41, 66.83 และ 72.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับพันธุ์ข้าว ซึ่งการที่ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน และมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษามีค่าไม่แตกต่างกัน หรือมีปริมาณที่สูงกว่าชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์นั้น แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อการปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ในดิน

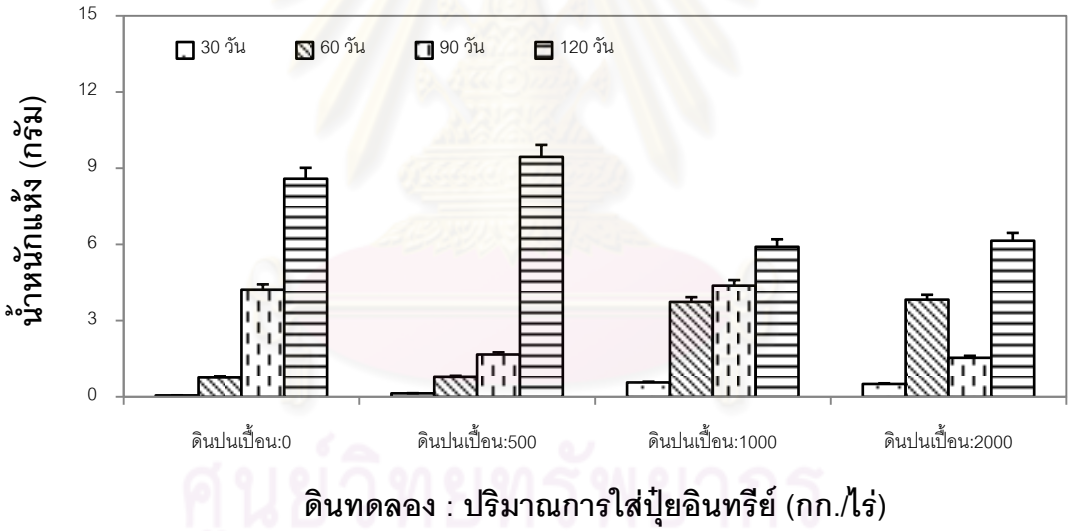
4.5 อัตราการเจริญเติบโตของข้าว

4.5.1 อัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้ง

การศึกษาอัตรา การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้ง โดยทำการเก็บข้อมูลหลังจากการเก็บตัวอย่างในช่วงที่ข้าวมีอายุ 30, 60, 90 และ 120 วัน ซึ่งได้ทำการชั่งน้ำหนักหลังจากการนำต้นข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ แบ่งชุดดินที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทำเช่นเดียวกันในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข6 พิษณุโลก3 และเหนียวสันป่าตอง ดังรูปที่ 4.17-4.20

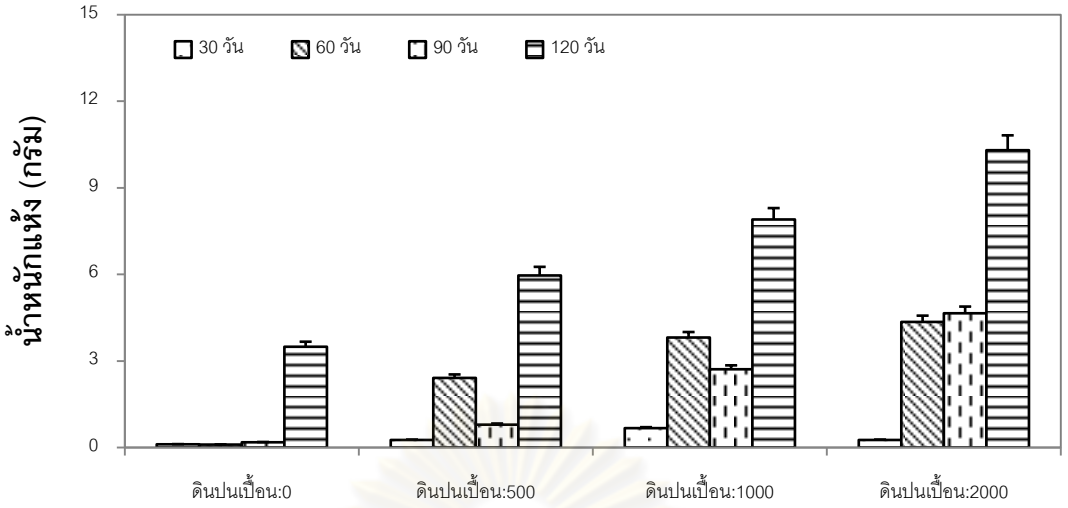


รูปที่ 4.17 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

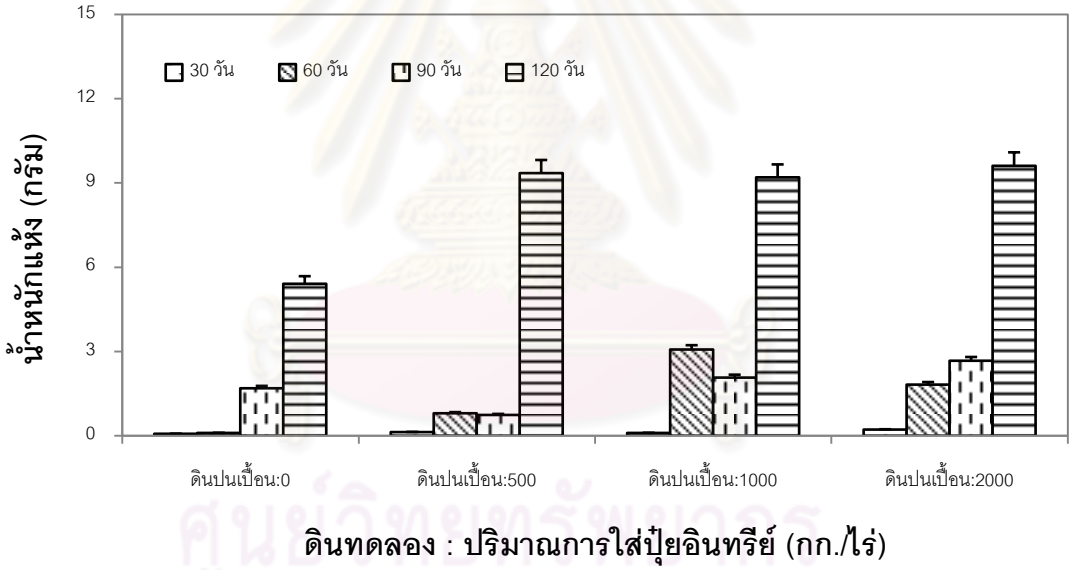


รูปที่ 4.18 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์กข6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3



รูปที่ 4.20 น้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง

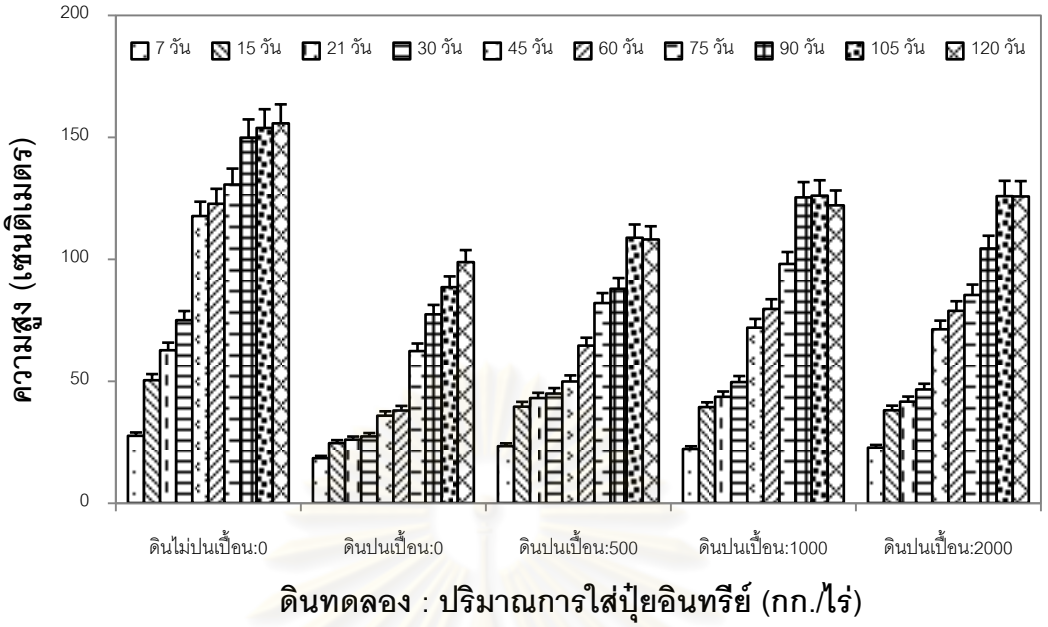
จากรูปที่ 4.17-4.20 แสดงให้เห็นถึงอัตรา การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้ง โดยพบว่า ในทุกชุดของการทดลอง และทุกสายพันธุ์ข้าวศึกษา มีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในชุดการทดลองที่ใช้ดินไม่ปนเปื้อนและไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์พบว่า มีน้ำหนักแห้งมากที่สุดในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง และในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา เนื่องจากในดินไม่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมใดๆ จึงทำให้ข้าวทุกสายพันธุ์มีการเจริญเติบโตได้ดี จากการศึกษาของ Balestrasse *et al.* (2003) รายงานว่าแคดเมียมมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และกระบวนการสังเคราะห์แสง

ลดลง โดยทั่วไปปริมาณแคดเมียมในพืชไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากแคดเมียมมีผลทำให้น้ำตาลไรบูโลสบิสฟอสเฟต และเอมไซม์ไรบูโลสบิสฟอสเฟตคาร์บอกซิเลสลดลง ส่งผลทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง (Liphaazi and Kirkham, 2006) และทำให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลงด้วย นอกจากนี้ในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนและมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า มีน้ำหนักแห้งมากกว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนและไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง และในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สมฤทัย ตันเจริญ (2545) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของการใส่ฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าว ที่ปลูกในชุดดินลพบุรีในสภาพขังน้ำ ซึ่งพบว่า ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีและฟางข้าวมีน้ำหนักแห้งต่ำกว่าข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีและฟางข้าว

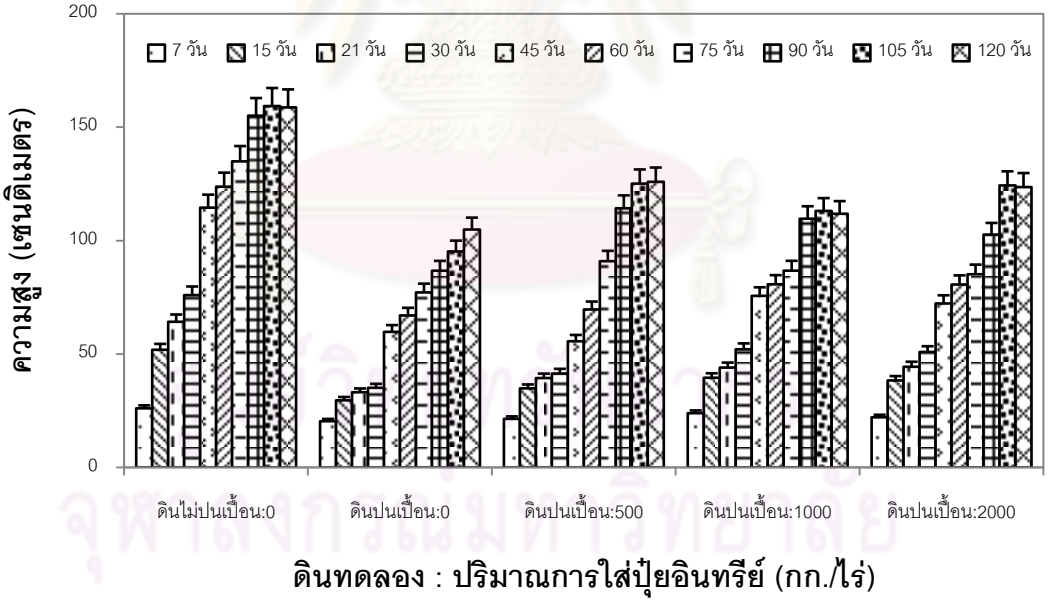
4.5.2 อัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้น

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตด้าน ความสูงของลำต้น โดยทำการเก็บข้อมูลในช่วงที่ข้าวมีอายุ 7, 15, 21, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน โดยวัดความสูงจากผิวดินขึ้นไปจนถึงปลายใบที่สูงที่สุด ซึ่งมีการแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยทำเช่นเดียวกันในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข6 พิษณุโลก3 และเหนียวสันป่าตอง ดังรูปที่ 4.21-4.24

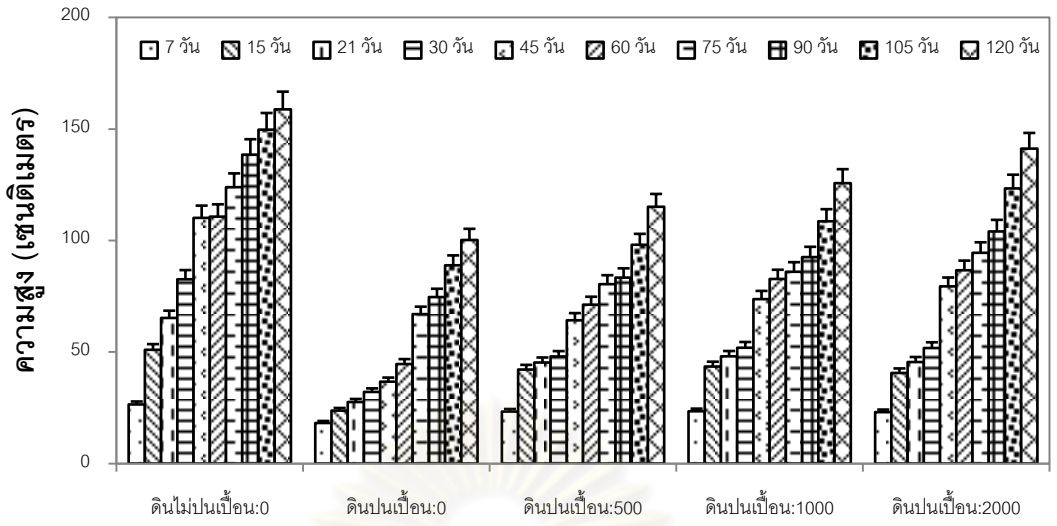
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



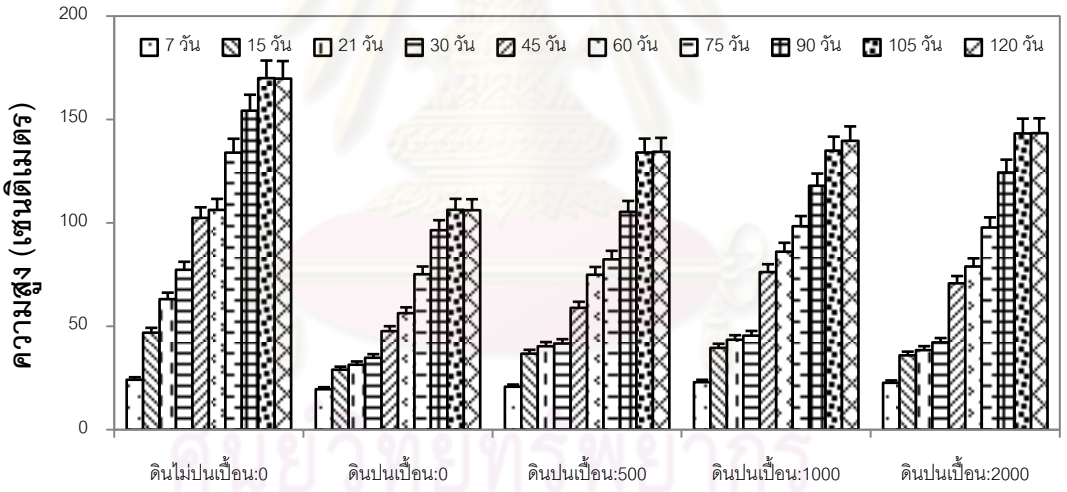
รูปที่ 4.21 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105



รูปที่ 4.22 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์กข6



รูปที่ 4.23 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3



รูปที่ 4.24 ความสูงลำต้นของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง

จากรูปที่ 4.21-4.24 แสดงผลการศึกษาอัตรา การเจริญเติบโตด้าน ความสูงของลำต้น ซึ่งในทุกชุดการทดลอง และทุกพันธุ์ข้าวศึกษา พบว่า มีความสูงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในชุดการทดลองที่ใช้ดินไม่ปนเปื้อนและไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ข้าวในทุกสายพันธุ์ที่ศึกษามีความสูงมากที่สุด ตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สรัตนา เสนาะ (2548) ที่ได้ทำการศึกษา การดูดดึงธาตุโลหะหนัก ด้วยหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อน

สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว พบว่า ข้าวที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนมีความสูงมากกว่าข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนที่ทุกระยะการเจริญเติบโต เนื่องมาจาก แคดเมียมเข้าจับกับเอมไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ทริพโทเฟนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมนออกซิน (Liu *et al*., 2003) ซึ่งฮอร์โมนออกซินมีหน้าที่ในการควบคุมการขยายตัวของเซลล์และกระตุ้นการแบ่งเซลล์ (ศรีสม สุวรรณวงศ์, 2546) นอกจากนี้ยังพบว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงมากกว่าชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง และในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับ มณีรัตน์ ม่วงศรี (2551) ที่ทำการศึกษาผลของการใส่ฟางข้าวและแกลบร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่มีต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในชุดดินพิมายและชุดดินร้อยเอ็ด ซึ่งพบว่า การใส่ฟางข้าวร่วมกับปุ๋ย NPK และใส่แกลบร่วมกับปุ๋ย NPK มีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าว โดยเฉพาะด้านความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ใส่ปุ๋ย NPK เพียงอย่างเดียว

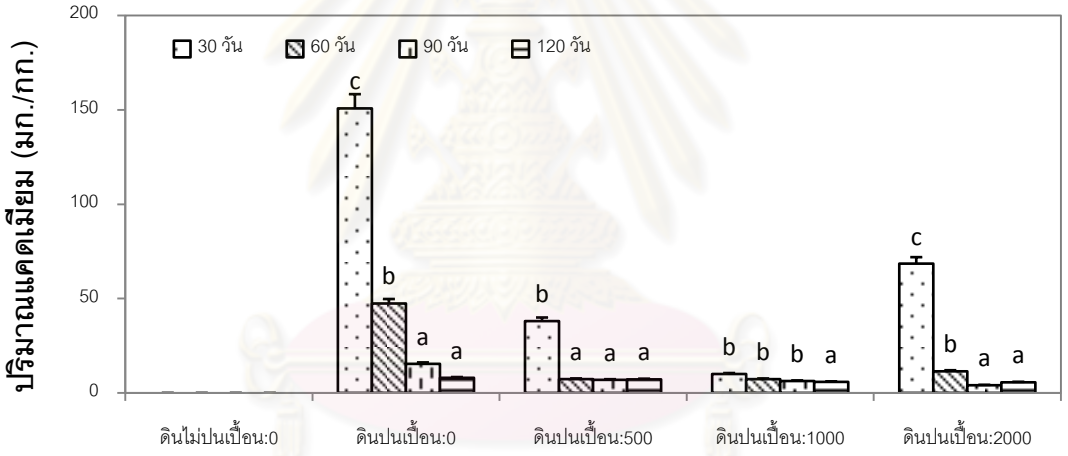
4.6 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในข้าว

การศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ที่ปลูกในดินปนเปื้อนนั้นได้มีการวางแผนการทดลอง โดยแบ่งชุดดินที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30, 60, 90 และ 120 วัน ซึ่งทำเช่นเดียวกันในข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ เมื่อครบระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างได้ทำการเก็บตัวอย่างข้าวไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในส่วนต่างๆ ของข้าว โดยในการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายที่ 120 วันได้มีการเก็บตัวอย่างในส่วนเมล็ดข้าว และเปลือกข้าวเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดด้วยเช่นกัน จากผลการศึกษาพบว่า ในชุดดินทดลองที่ไม่ปนเปื้อนและไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ไม่พบปริมาณการสะสมแคดเมียมในทุกส่วนของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ เนื่องจากดินที่ใช้ทดลองไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในดินแต่อย่างใด

4.6.1 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ)

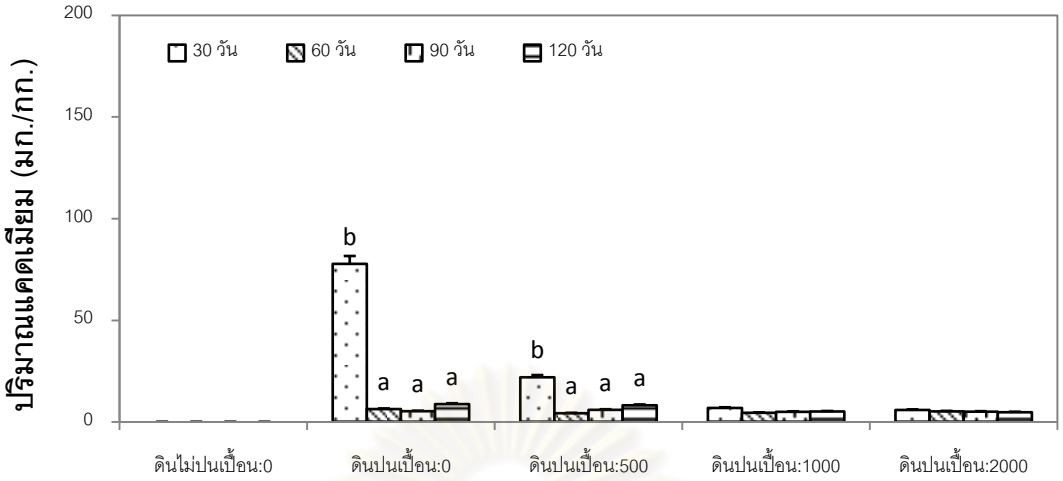
ผลการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแต่ละชุดการทดลองและมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 0, 500, 1000 และ

2000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ในทุกชุดการทดลอง ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, b และ c) ส่วนในข้าวพันธุ์กข6 พบว่า ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 0 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a และ b) และในข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 พบว่า ปริมาณการสะสมแคดเมียม ในชุดทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 0, 500 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, b และ c) นอกจากนี้ยังพบว่า ในทุก ชุดการทดลองของทุกๆ พันธุ์ข้าวศึกษา มีปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมด ในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ที่ มีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.25-4.28



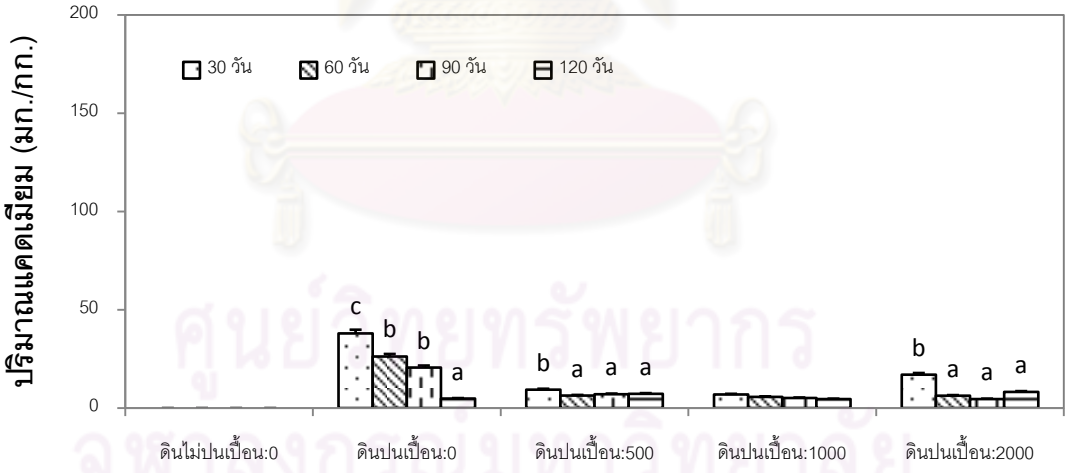
รูปที่ 4.25 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



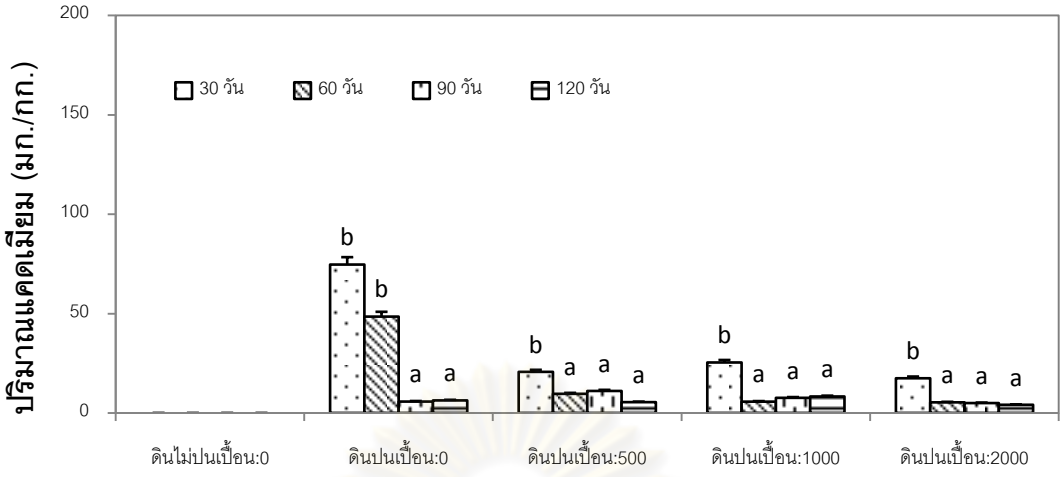
รูปที่ 4.26 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.27 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.28 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.18 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	150.72^{d}±2.86	47.37^{b}±24.25	15.39^{b}±3.68	8.00±0.77
ดินปนเปื้อน:500	38.04^{b}±0.38	7.31^{a}±3.88	6.92^{a}±2.31	7.17±2.95
ดินปนเปื้อน:1000	10.02^{a}±0.50	7.29^{a}±1.66	6.30^{a}±2.14	5.84±0.81
ดินปนเปื้อน:2000	68.49^{c}±1.83	11.44^{a}±4.10	4.07^{a}±1.31	5.61±1.53

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.19 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	77.71^{c}±9.97	6.23±0.82	5.18±1.61	8.67^{b}±1.11
ดินปนเปื้อน:500	21.88^{b}±8.75	4.18±0.69	5.85±0.76	8.09^{b}±0.87
ดินปนเปื้อน:1000	6.78^{a}±2.09	4.40±1.41	4.87±2.11	5.04^{a}±1.90
ดินปนเปื้อน:2000	5.79^{a}±0.98	5.09±1.42	4.95±2.87	4.67^{a}±0.23

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.20 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	37.98^{c}±2.44	26.23^{b}±4.02	20.61^{b}±3.79	4.84±1.29
ดินปนเปื้อน:500	9.36^{a}±1.65	6.36^{a}±0.62	7.03^{a}±0.70	7.24±0.26
ดินปนเปื้อน:1000	6.91^{a}±1.59	5.68^{a}±0.15	5.12^{a}±0.68	4.57±1.95
ดินปนเปื้อน:2000	16.99^{b}±6.80	6.29^{a}±0.56	4.57^{a}±1.75	8.21±2.95

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	74.61^{b}±8.90	48.44^{b}±32.90	5.71±2.78	6.29^{ab}±0.56
ดินปนเปื้อน:500	20.65^{a}±2.90	9.61^{a}±2.95	11.05±7.47	5.42^{ab}±2.79
ดินปนเปื้อน:1000	25.37^{a}±1.35	5.67^{a}±1.67	7.59±1.44	8.27^{b}±1.16
ดินปนเปื้อน:2000	17.43^{a}±2.35	5.32^{a}±2.29	4.96±2.30	4.10^{a}±0.77

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

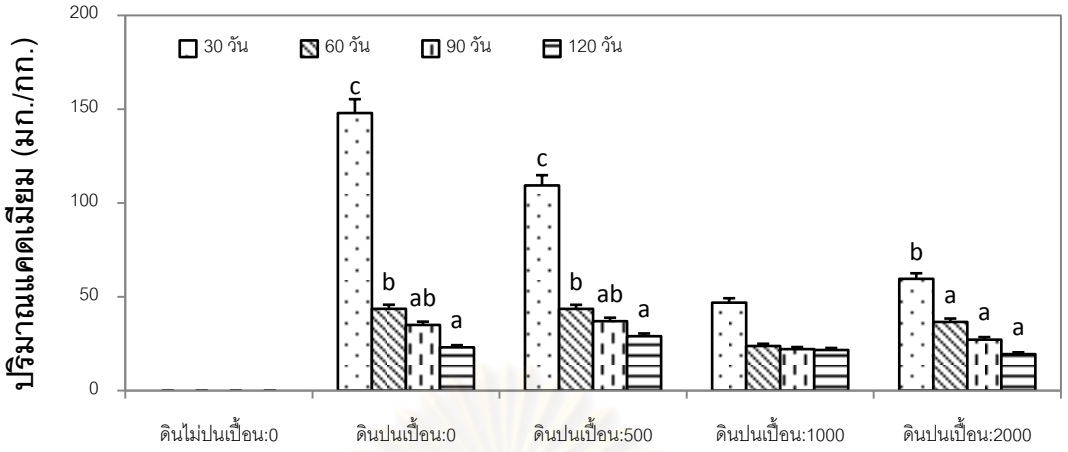
จากตารางที่ 4.18-4.21 แสดงผลการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ที่ปลูกในดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งชุดการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, b, c และ d) ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30, 60 และ 90 วัน ส่วนชุดการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์กข 6 พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, b และ c) ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30 และ 120 วัน สำหรับชุการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab และ b) ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างที่ 30, 60 และ 120 วัน นอกจากนี้พบว่า ในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ของทุกสายพันธุ์ข้าวศึกษา พบว่า มี ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ที่ทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง การศึกษาครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาการดูดดึงแคดเมียมในดินโดยใช้สารอินทรีย์ที่ทำมาจากกากตะกอนและฟางข้าว โดยผล

การศึกษาพบว่า การใส่สารอินทรีย์ในดินทำให้อัตราการดูดดึงแคดเมียมลดลง (Chen และ Chen, 2002) นอกจากนี้ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างที่ 120 วันของการศึกษาครั้งนี้พบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พันธุ์กข6 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณการสะสมแคดเมียม ในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 5.61, 4.67 และ 4.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับสายพันธุ์ข้าว ส่วนข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียม ในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 4.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.6.2 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว)

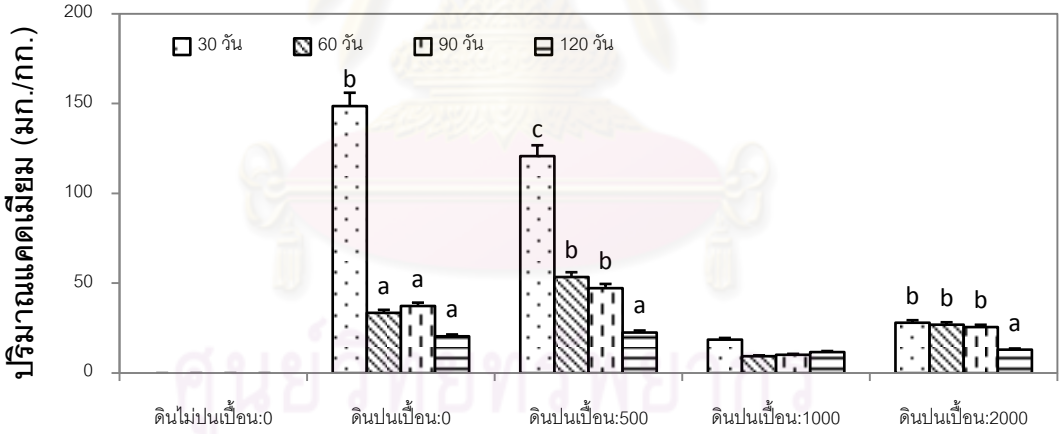
การศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ที่ปลูกในดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 0, 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์กข6 ในชุดการทดลอง ที่มีปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 0, 500 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, b, ab และ c) ส่วนข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab, b และ c) นอกจากนี้ยังพบว่าในทุก ชุดการทดลอง ของทุกพันธุ์ข้าวศึกษา ปริมาณการสะสมแคดเมียม ในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) มีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.29-4.32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



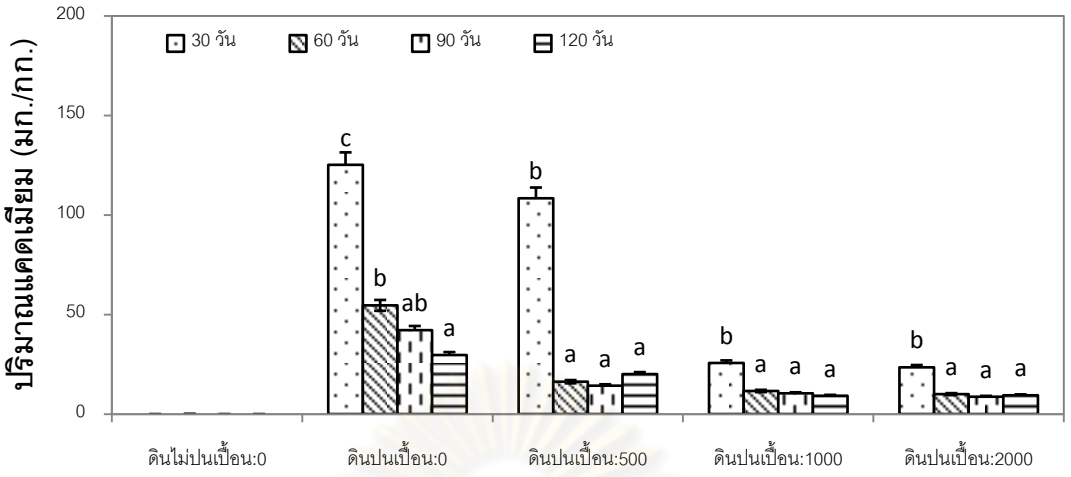
รูปที่ 4.29 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



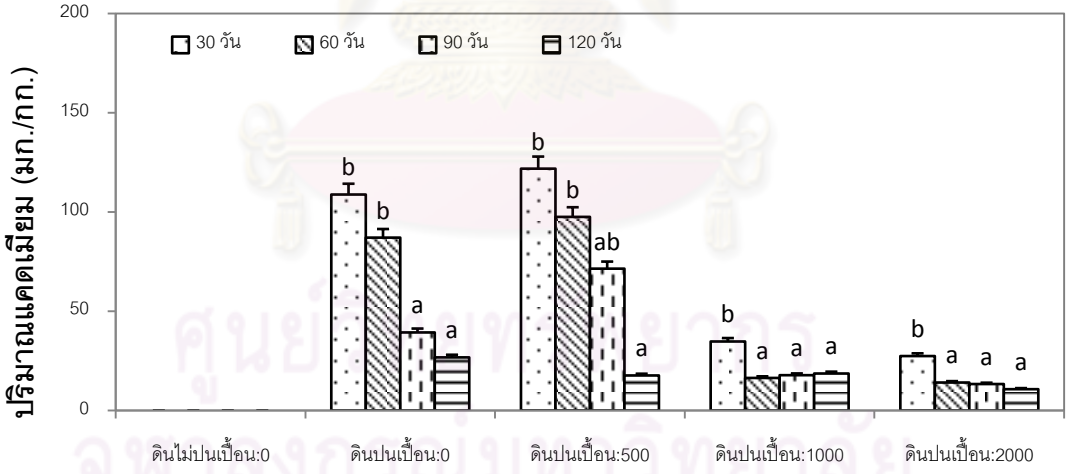
รูปที่ 4.30 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.31 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.32 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.22 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	147.87^{c}±15.65	43.57^{c}±3.49	34.98^{ab}±3.06	23.05±5.26
ดินปนเปื้อน:500	109.31^{b}±11.48	43.54^{c}±2.84	36.98^{b}±2.84	28.98±4.18
ดินปนเปื้อน:1000	46.86^{a}±26.44	23.76^{a}±3.50	22.09^{a}±4.78	21.63±3.47
ดินปนเปื้อน:2000	59.54^{a}±2.64	36.57^{b}±3.77	27.14^{ab}±15.24	19.43±8.69

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.23 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	148.68^{d}±20.02	33.57^{b}±7.14	37.39^{bc}±4.10	20.52^{ab}±6.16
ดินปนเปื้อน:500	120.83^{c}±15.80	53.52^{c}±2.57	47.31^{c}±8.33	22.61^{b}±5.55
ดินปนเปื้อน:1000	18.66^{ab}±5.21	9.43^{a}±3.53	10.22^{a}±6.65	11.72^{a}±3.32
ดินปนเปื้อน:2000	28.07^{b}±3.34	26.98^{b}±2.02	25.65^{b}±10.71	13.08^{a}±5.43

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	125.13^{c}±5.26	54.57^{b}±3.84	42.12^{b}±4.84	29.63±22.93
ดินปนเปื้อน:500	108.33^{b}±6.10	16.25^{a}±4.04	14.24^{a}±1.39	20.06±10.41
ดินปนเปื้อน:1000	25.65^{a}±3.48	11.58^{a}±4.32	10.41^{a}±1.94	9.19±3.07
ดินปนเปื้อน:2000	23.45^{a}±3.25	10.00^{a}±3.92	8.70^{a}±6.58	9.42±2.22

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.25 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	108.84^{b}±7.33	87.12^{b}±23.99	39.33^{ab}±15.01	26.76±7.17
ดินปนเปื้อน:500	121.88^{c}±6.53	97.57^{b}±5.60	71.48^{b}±60.37	17.65±7.50
ดินปนเปื้อน:1000	34.77^{a}±3.30	16.40^{a}±3.88	17.79^{a}±6.13	18.63±5.56
ดินปนเปื้อน:2000	27.43^{a}±2.69	14.09^{a}±3.60	13.33^{a}±4.95	10.73±6.30

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

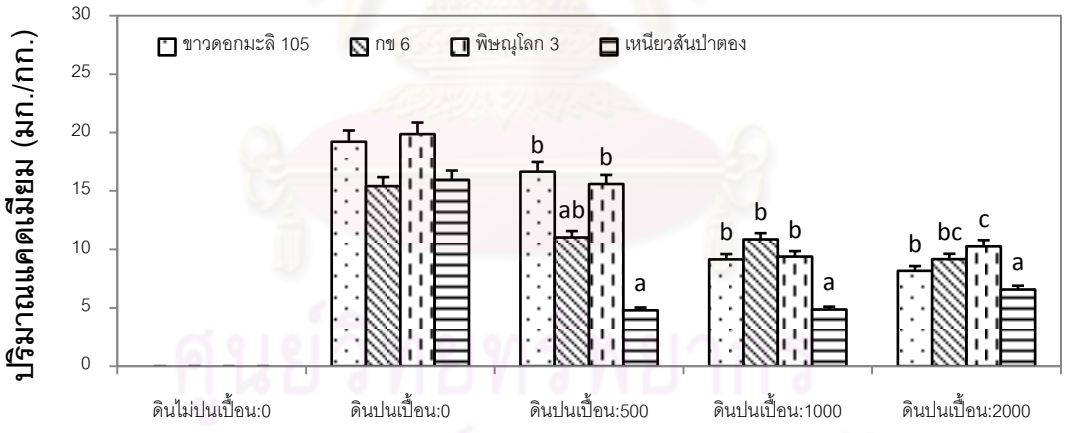
ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.22-4.25 แสดงผลของการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ที่ปลูกในดินปนเปื้อน โดยชุดการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พันธุ์พิษณุโลก3 และพันธุ์เหนียวสันป่าตองพบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc, c และ d) ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30, 60 และ 90 วัน ส่วนข้าวพันธุ์กข6 พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ที่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc, c และ c) ที่ทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ ชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ของทุกพันธุ์ข้าวศึกษาพบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียม ในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 วันของชุดการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 19.43 และ 10.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับสายพันธุ์ข้าว ส่วนข้าวพันธุ์กข6 และพันธุ์พิษณุโลก3 พบว่ามีปริมาณการสะสมแคดเมียม ในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 11.72 และ 9.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับสายพันธุ์ข้าว อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในทุกๆ สายพันธุ์ข้าว ที่ทำการศึกษาพบว่าในส่วนของรากข้าวมีการสะสมแคดเมียม ได้มากกว่าในส่วนของต้นข้าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา การสะสมแคดเมียมโดยใช้พืช 3 ชนิด คือ ข้าว ถั่วเหลือง และข้าวโพด โดยทำการทดลองในเรือนเพาะชำ และใช้ดินนาที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเท่ากับ 0.83-4.29 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมดินเป็นระยะเวลา 60 วัน ซึ่งพบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมไว้ที่รากมากกว่าส่วนยอด (Murakami, 2007) และจากงานวิจัยของ Tanaka *et al.* (2007) พบว่า แคดเมียมสามารถเคลื่อนย้ายจากรากสู่ตอซังและใบข้าวโดยผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ จากนั้นแคดเมียมจะเคลื่อนผ่านทางท่อลำเลียงอาหาร และเมล็ดข้าวซึ่งเป็นที่สะสมคาร์โบไฮเดรตจะได้สารอาหารรวมถึงแคดเมียมจากท่อลำเลียงอาหาร ซึ่งการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในท่อลำเลียงอาหารน้อยกว่าท่อลำเลียงน้ำส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องมีการสะสมแคดเมียมน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตอซังและใบ และปริมาณแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของพืชมีแนวโน้มเรียงจากมากไปหาน้อยมีดังนี้ ตอซัง > ใบ > เมล็ดข้าวกล้อง

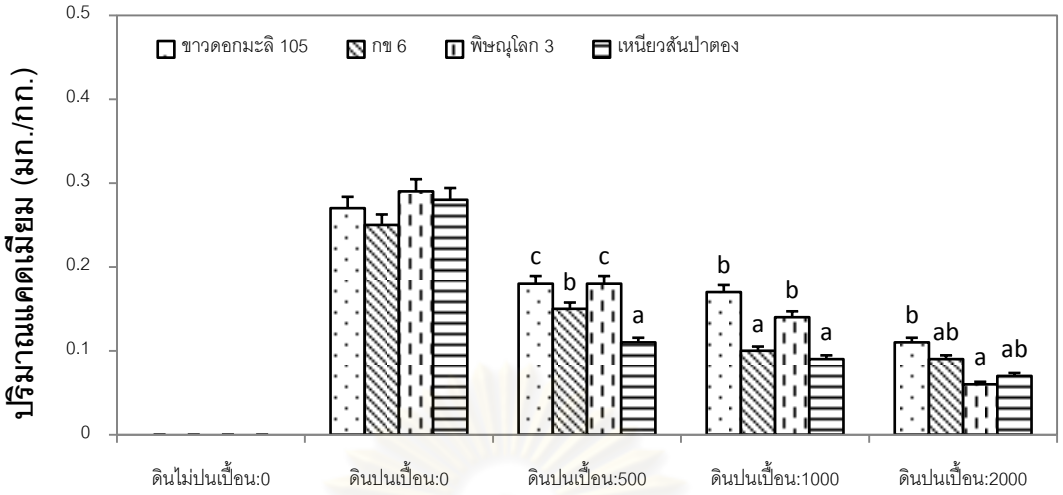
4.6.3 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว และเมล็ดข้าว

จากการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในเปลือกข้าว และเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 0, 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ที่ปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่มีค่า การสะสมแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว และเมล็ดข้าวที่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามพันธุ์ข้าวศึกษา (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc และ c) ส่วนในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์พบว่า การสะสมแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว และเมล็ดข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ของชุดการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตองมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในเปลือกข้าวต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่น ส่วนในเมล็ดข้าวพบว่า ใน ชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 500 และ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ของชุดการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตองมีปริมาณการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด และ สำหรับชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ของชุดการทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวต่ำที่สุด ดังรูปที่ 4.33-4.34



รูปที่ 4.33 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว ตามพันธุ์ข้าวศึกษา (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.34 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเมล็ดข้าว ตามพันธุ์ข้าวศึกษา (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.26 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนเปลือกข้าว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ขาวดอกมะลิ105	กข6	พิษณุโลก3	เหนียวสันป่าตอง
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	19.21^{c}±1.31	15.41^{b}±1.42	19.86±16.03	15.95±12.99
ดินปนเปื้อน:500	16.65^{b}±1.90	11.01^{a}±0.98	15.59±6.37	4.78±0.23
ดินปนเปื้อน:1000	9.14^{a}±1.24	10.84^{a}±1.34	9.38±0.56	4.85±0.96
ดินปนเปื้อน:2000	8.16^{a}±0.91	9.16^{a}±0.93	10.26±0.64	6.56±0.52

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.27 ปริมาณแคดเมียมในส่วนเมล็ดข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณแคดเมียมในส่วนเมล็ดข้าว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ขาวดอกมะลิ105	กข6	พิษณุโลก3	เหนียวสันป่าตอง
ดินไม่ปนเปื้อน:0	ND	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อน:0	0.27^{c}±0.04	0.25^{c}±0.02	0.29^{c}±0.03	0.28^{c}±0.03
ดินปนเปื้อน:500	0.18^{b}±0.01	0.15^{b}±0.02	0.18^{b}±0.01	0.11^{b}±0.02
ดินปนเปื้อน:1000	0.17^{b}±0.01	0.10^{a}±0.03	0.14^{b}±0.02	0.09^{ab}±0.03
ดินปนเปื้อน:2000	0.11^{a}±0.03	0.09^{a}±0.04	0.06^{a}±0.01	0.07^{a}±0.02

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

จากตารางที่ 4.26-4.27 แสดงปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในเปลือกข้าวและเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้พบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์กข 6 มีปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในเปลือกข้าวที่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, b และ c) ส่วนปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดใน เมล็ดข้าว ในทุกๆ พันธุ์ข้าวศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab, b และ c) นอกจากนี้ชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในเปลือกข้าว และเมล็ดข้าวน้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในทุกๆ พันธุ์ข้าวศึกษา อีกทั้งยังพบว่า ปริมาณการสะสมแคดเมียม ในเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และพันธุ์กข6 มีปริมาณต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 8.16 และ 9.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 มีปริมาณการสะสมแคดเมียม ในเปลือกข้าว ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 9.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตองพบว่า มีปริมาณการสะสมแคดเมียม ในเปลือกข้าว ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 4.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ปริมาณการสะสมแคดเมียม

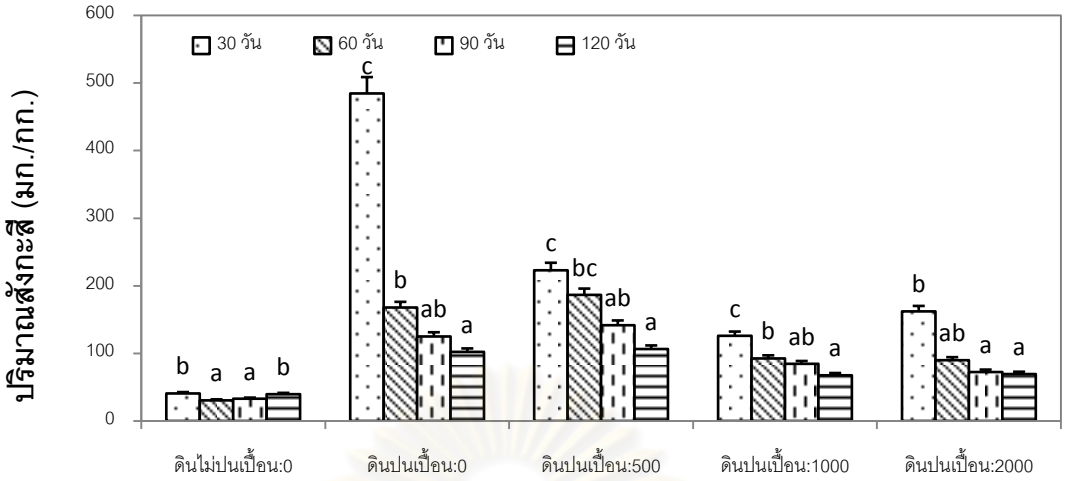
ในเมล็ดข้าวของทุกพันธุ์ข้าวศึกษา ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กข6 พันธุ์พิษณุโลก และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณการสะสมแคดเมียมใน เมล็ดข้าวต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 0.11, 0.09, 0.06 และ 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าการสะสมแคดเมียมไม่เกินค่ามาตรฐานตามที่ EU กำหนดไว้คือไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Commission Regulation, 2006) ในทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษา อีกทั้งยังพบว่า ทุกสายพันธุ์ข้าวศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมใน เปลือกข้าวมีค่าสูงเมื่อเทียบกับปริมาณการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าว เนื่องมาจากกรรมวิธีในการแยกเปลือกออกจากเมล็ดของงานวิจัยในครั้งนี้ไม่สามารถที่จะแยกเปลือกด้วยวิธีการสีด้วยเครื่องสีข้าวได้เพราะผลผลิตข้าวมีปริมาณน้อย จึงต้องทำโดยการแกะเปลือกด้วยมือทีละเมล็ดจึงอาจมีส่วนของรำข้าวที่มีการปนเปื้อนสูงที่สุดปะปนมากับเปลือกข้าวได้

4.7 ปริมาณการสะสมสังกะสีในข้าว

การศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆ ของข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ที่ปลูกในดินปนเปื้อนนั้นได้มีการวางแผนการทดลอง โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 30, 60, 90 และ 120 วัน เมื่อครบระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างได้นำข้าวตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสังกะสีทั้งหมดในส่วนต่างๆ โดยการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายที่ 120 วันได้มีการเก็บตัวอย่างในส่วนเมล็ดข้าว และเปลือกข้าวเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมสังกะสีด้วยเช่นกัน

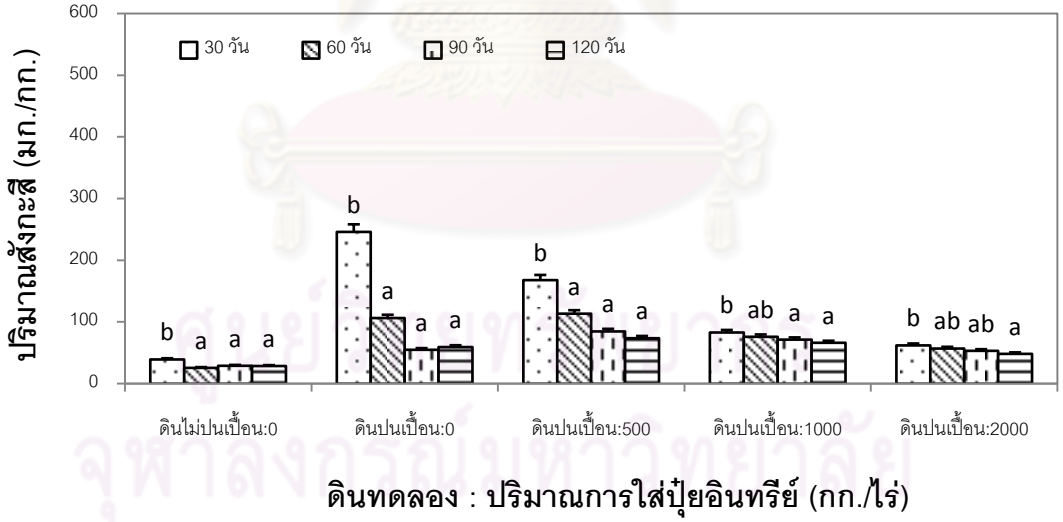
4.7.1 ปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ)

การสะสมสังกะสีทั้งหมดในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ที่ปลูกในดินแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ในทุกชุดการทดลองของทุกสายพันธุ์ข้าวศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc และ c) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในทุกชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนของทุกพันธุ์ข้าวศึกษามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.35-4.38



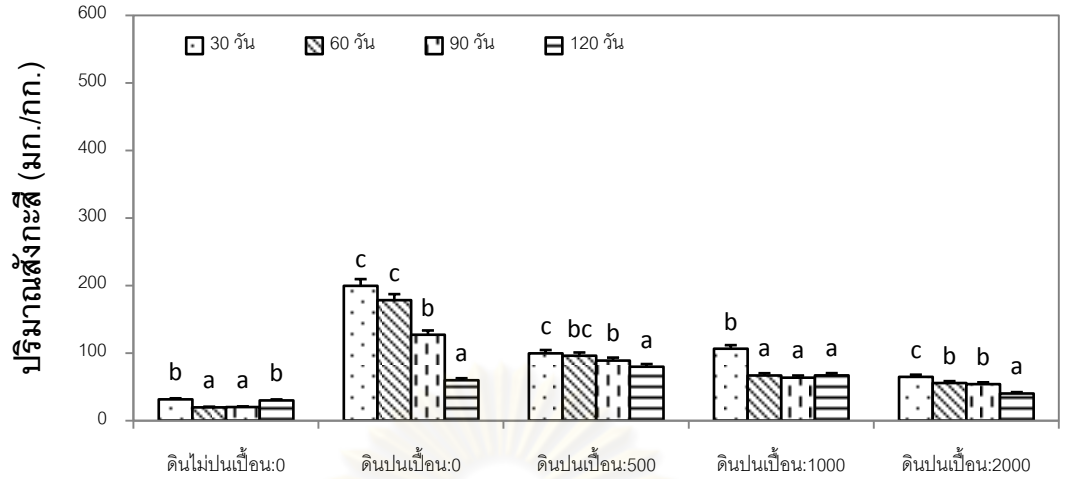
รูปที่ 4.35 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



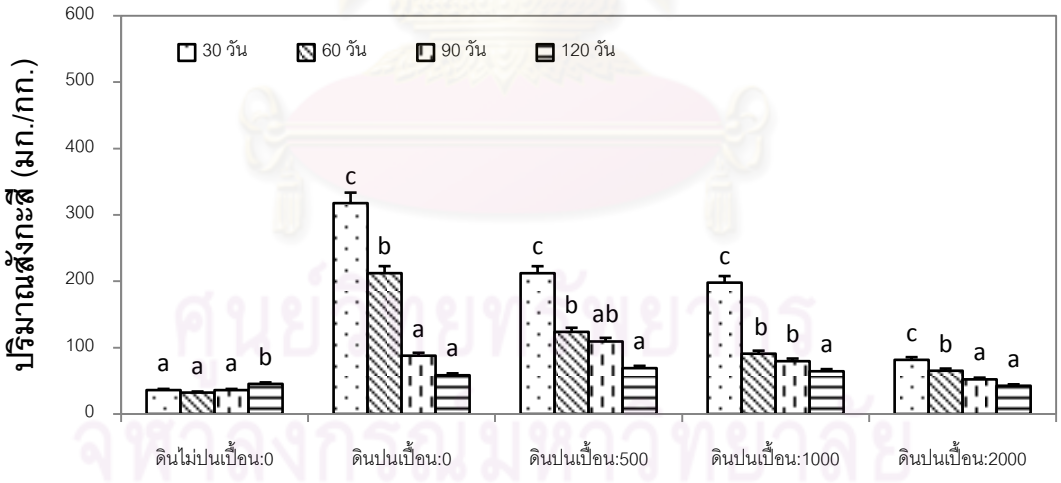
รูปที่ 4.36 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.37 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.38 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.28 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	40.71^{a}±2.41	30.47^{a}±3.56	32.93^{a}±1.36	39.62^{a}±2.30
ดินปนเปื้อน:0	484.30^{d}±30.48	167.79^{c}±47.20	124.96^{c}±19.38	102.19^{c}±3.32
ดินปนเปื้อน:500	222.83^{c}±46.57	186.46^{c}±13.57	141.59^{c}±20.74	106.40^{c}±1.22
ดินปนเปื้อน:1000	125.95^{b}±2.21	92.47^{b}±7.51	84.52^{b}±15.77	67.55^{b}±6.69
ดินปนเปื้อน:2000	162.06^{bc}±76.68	89.86^{b}±4.35	72.37^{b}±26.11	69.38^{b}±5.52

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.29 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	39.47^{a}±6.10	25.81^{a}±1.42	29.21^{a}±4.05	28.84^{a}±1.34
ดินปนเปื้อน:0	246.22^{c}±66.49	106.60^{d}±9.51	55.13^{b}±14.51	59.55^{bc}±0.22
ดินปนเปื้อน:500	168.07^{b}±37.96	113.68^{d}±8.28	84.90^{c}±6.13	73.90^{d}±13.23
ดินปนเปื้อน:1000	83.18^{a}±8.79	76.21^{c}±3.61	71.62^{c}±5.96	66.50^{cd}±2.63
ดินปนเปื้อน:2000	62.24^{a}±5.86	57.14^{b}±5.90	53.44^{b}±4.92	48.52^{b}±2.01

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.30 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	31.38^{a}±1.62	19.52^{a}±2.80	19.98^{a}±2.86	29.80^{a}±2.08
ดินปนเปื้อน:0	199.41^{d}±17.69	178.22^{d}±24.55	127.03^{c}±41.54	59.66^{c}±6.30
ดินปนเปื้อน:500	99.46^{c}±3.67	95.98^{bc}±4.68	88.77^{b}±3.89	79.68^{d}±2.86
ดินปนเปื้อน:1000	106.33^{c}±17.68	66.73^{b}±6.46	63.49^{b}±2.13	66.86^{c}±8.35
ดินปนเปื้อน:2000	64.67^{b}±3.61	55.55^{b}±1.25	53.90^{ab}±5.31	40.05^{b}±1.30

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.31 ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนเหนือดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	36.02^{a}±0.45	32.27^{a}±2.93	35.98^{a}±3.55	45.36^{a}±1.27
ดินปนเปื้อน:0	317.54^{c}±58.72	212.09^{c}±72.85	87.83^{d}±5.84	58.34^{b}±9.31
ดินปนเปื้อน:500	212.01^{b}±45.00	123.69^{b}±21.19	109.22^{e}±4.87	69.06^{b}±10.19
ดินปนเปื้อน:1000	197.84^{b}±13.71	90.85^{ab}±3.98	79.54^{c}±3.62	64.37^{b}±2.72
ดินปนเปื้อน:2000	81.56^{a}±8.11	65.16^{ab}±4.44	52.17^{b}±2.33	42.55^{a}±4.59

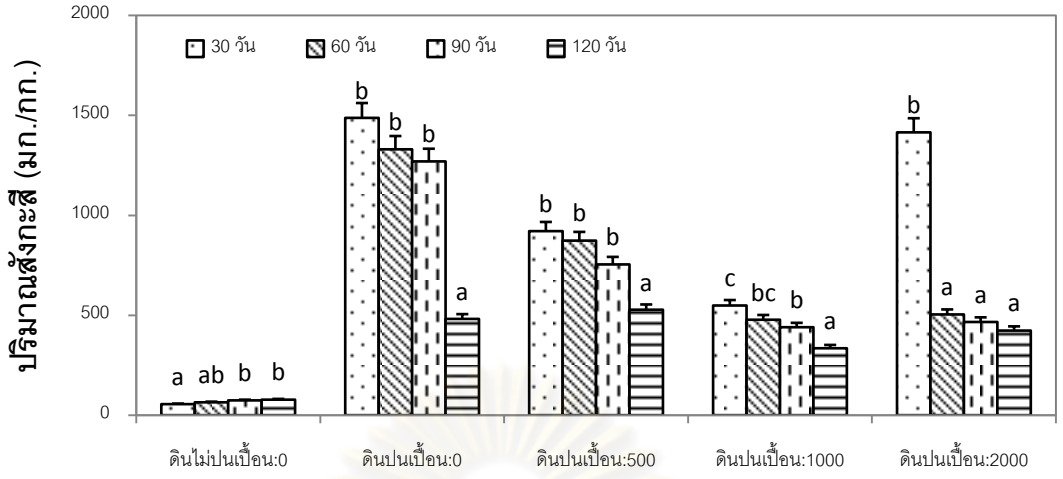
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.28-4.31 แสดงปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc, c และ d) โดยในชุดการทดลองที่ใช้ดินไม่ปนเปื้อนของทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำศึกษาพบว่า มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนในทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง โดยที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างที่ 120 วัน มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 67.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนข้าวพันธุ์กข 6 พันธุ์พิษณุโลก3 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง โดยที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างที่ 120 วัน มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 48.52, 40.05 และ 42.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับสายพันธุ์ข้าว อีกทั้งยังพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 30 วัน มีปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) ในชุดการทดลอง ที่ใช้ดินปนเปื้อน ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกปริมาณมีค่าต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pinto *et al*. (2004) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของสารอินทรีย์ในการดูดดึงแคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็กด้วยข้าวฟ่าง โดยมีการใส่และไม่ใส่สารอินทรีย์ ปลูกเป็นระยะเวลา20 วัน พบว่า สารอินทรีย์สามารถ ช่วยลดการดูดดึง สังกะสี ทองแดง และเหล็กได้เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ใส่สารอินทรีย์

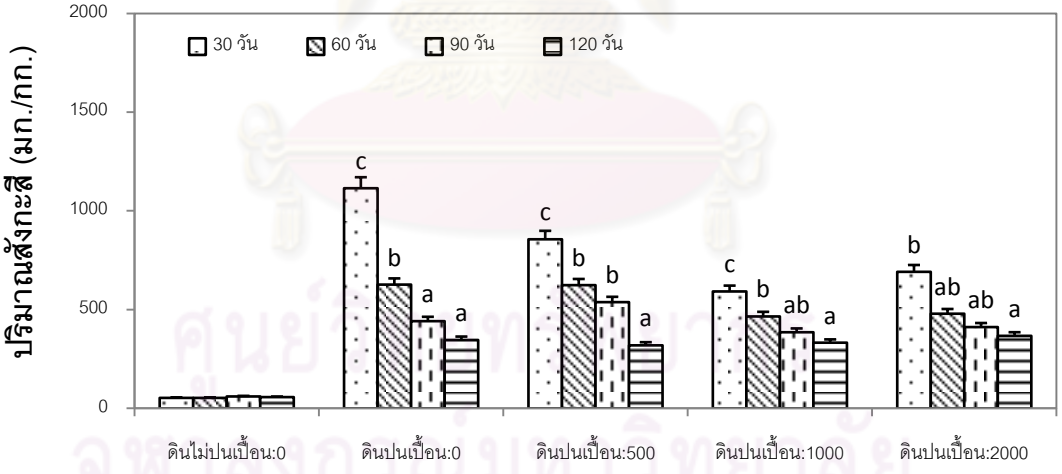
4.7.2 ปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว)

ผลการศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ที่ปลูกในดินแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ในทุกชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนของทุกพันธุ์ข้าวศึกษามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc และ c) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในทุกชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนของทุกสายพันธุ์ข้าวศึกษามีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาของการทดลองที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.39-4.42



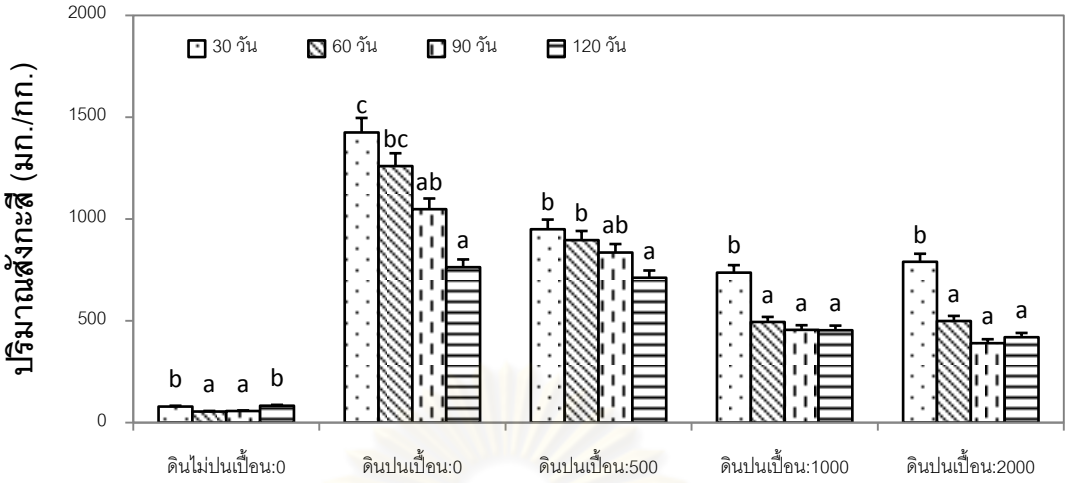
รูปที่ 4.39 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



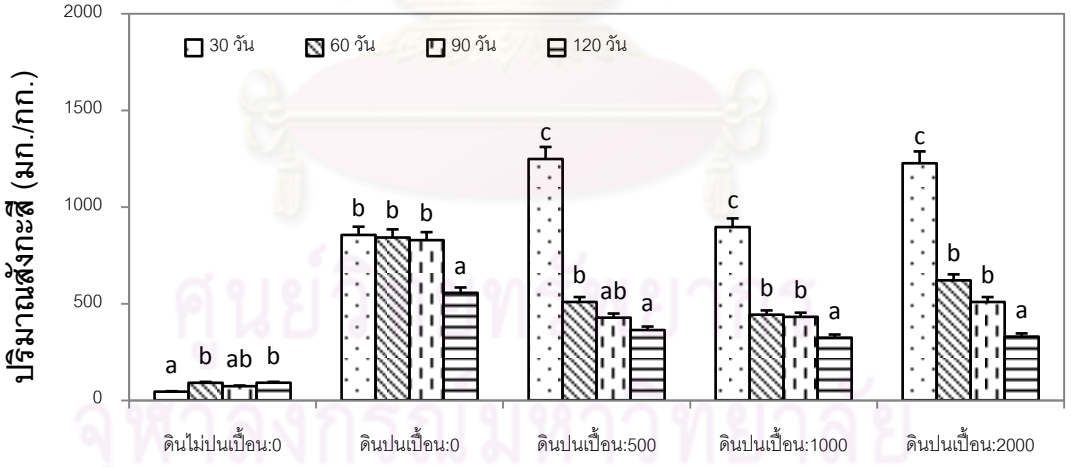
รูปที่ 4.40 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.41 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.42 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.32 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	55.16^{a}±5.02	64.30^{a}±10.83	73.93^{a}±6.61	77.51^{a}±5.90
ดินปนเปื้อน:0	1486.6^{d}±237.93	1329.4^{d}±319.67	1268.96^{d}±56.63	481.27^{bc}±86.34
ดินปนเปื้อน:500	920.26^{c}±106.99	872.83^{c}±112.34	753.82^{c}±9.74	527.35^{c}±164.64
ดินปนเปื้อน:1000	548.37^{b}±56.32	477.23^{b}±41.04	439.78^{b}±65.86	334.55^{b}±20.08
ดินปนเปื้อน:2000	1414.17^{d}±55.45	503.67^{b}±57.31	465.94^{b}±13.49	422.95^{bc}±107.74

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.33 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์กข 6 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	52.97^{a}±6.28	52.97^{a}±10.32	60.25^{a}±4.83	56.99^{a}±6.27
ดินปนเปื้อน:0	1115.43^{d}±73.97	627.10^{c}±78.58	441.84^{b}±134.30	346.42^{b}±40.53
ดินปนเปื้อน:500	856.78^{c}±96.47	624.36^{c}±73.64	538.21^{b}±8.64	319.28^{b}±6.93
ดินปนเปื้อน:1000	592.37^{b}±96.12	465.71^{b}±4.92	385.67^{b}±13.99	332.79^{b}±31.40
ดินปนเปื้อน:2000	691.82^{b}±46.10	479.56^{b}±13.21	411.86^{b}±263.03	367.37^{b}±83.39

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.34 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	78.62^{a}±17.71	54.29^{a}±8.90	56.82^{a}±0.69	82.80^{a}±2.96
ดินปนเปื้อน:0	1424.40^{d}±33.27	1259.37^{d}±39.35	1047.73^{d}±28.49	762.86^{d}±298.00
ดินปนเปื้อน:500	949.22^{c}±67.87	895.78^{c}±8.33	834.89^{c}±46.66	711.12^{cd}±122.41
ดินปนเปื้อน:1000	736.19^{b}±30.80	493.99^{b}±18.17	455.22^{b}±127.09	453.36^{bc}±51.89
ดินปนเปื้อน:2000	789.49^{b}±139.01	498.75^{b}±43.67	389.81^{b}±144.89	419.13^{b}±25.50

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.35 ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) ของข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ดินไม่ปนเปื้อน:0	44.54^{a}±10.19	90.36^{a}±29.42	72.65^{a}±6.33	90.74^{a}±7.97
ดินปนเปื้อน:0	855.05^{b}±222.26	841.72^{d}±28.87	828.13^{c}±86.06	555.67^{c}±136.56
ดินปนเปื้อน:500	1247.81^{c}±79.18	508.39^{bc}±5.87	427.19^{b}±17.24	363.17^{b}±84.18
ดินปนเปื้อน:1000	895.82^{b}±13.37	442.60^{b}±44.54	431.35^{b}±25.06	323.78^{b}±3.81
ดินปนเปื้อน:2000	1225.81^{c}±16.62	620.19^{c}±128.81	508.34^{b}±105.32	329.29^{b}±2.60

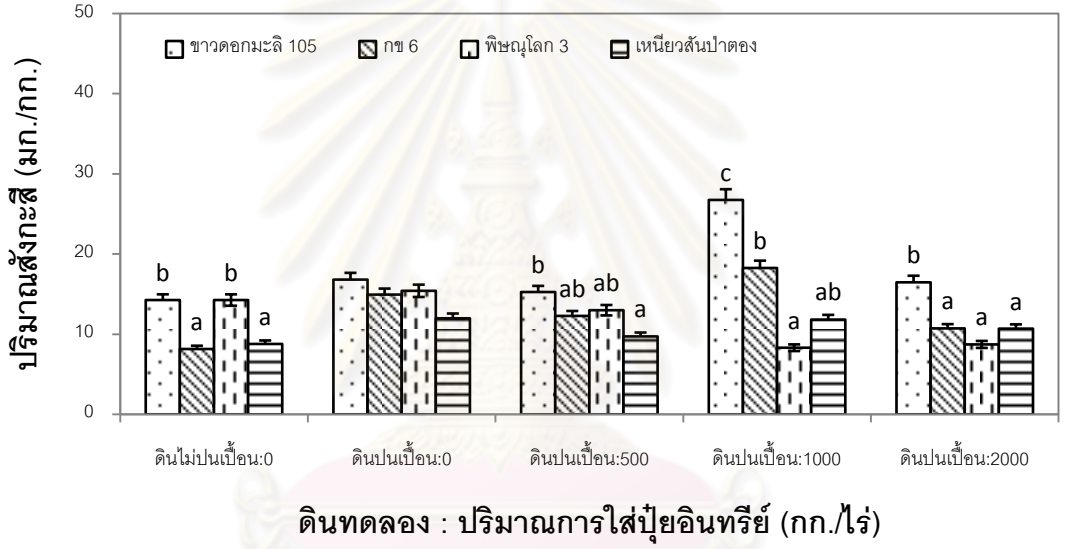
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4.32-4.35 แสดงผลการศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) โดยพบว่า ในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง ปริมาณการสะสมสังกะสี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, b, bc, c, cd และ d) โดยในชุดการทดลองที่ใช้ดินไม่ปนเปื้อนของทุกสายพันธุ์ข้าวศึกษามีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อน ในทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 วัน ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์เหนียวสันป่าตองมีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 334.55 และ 323.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์กข 6 มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 319.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 มีปริมาณการสะสมสังกะสีต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 419.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ ในทุกสายพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษาพบว่า รากข้าวมีการสะสม สังกะสีมากกว่าต้นข้าว ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการศึกษาของ Assawadithalerd (2009) ที่ทำการศึกษาผลของการเติมปุ๋ยอินทรีย์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการดูดซึมแคดเมียมในดินนาข้าวซึ่งพบว่า รากข้าวสามารถสะสมสังกะสีได้มากกว่าในส่วนต้นข้าว และเมล็ดข้าว อีกทั้งยังสอดคล้องกับ ผลการศึกษาการดูดดึงธาตุโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งผลการศึกษาพบว่า รากข้าวสามารถสะสมสังกะสีได้มากกว่าตอซัง และเมล็ดข้าว (สรัตนา เสนาะ, 2548)

4.7.3 ปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนเปลือกข้าว และเมล็ดข้าว

ผลการศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในเปลือกข้าว และเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในเปลือกข้าวในดินชุดที่ไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และชุดดินปนเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามพันธุ์ข้าวศึกษา (กลุ่มอักษร a, ab, b และ c) ส่วนปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในเมล็ดข้าว ในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ตามพันธุ์ข้าวศึกษา (กลุ่มอักษร a, b และ c) นอกจากนี้ยังพบว่า ใน ชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 0 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณการสะสมสังกะสีในเปลือกข้าวต่ำกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น และในชุดการทดลองที่ใช้ดิน

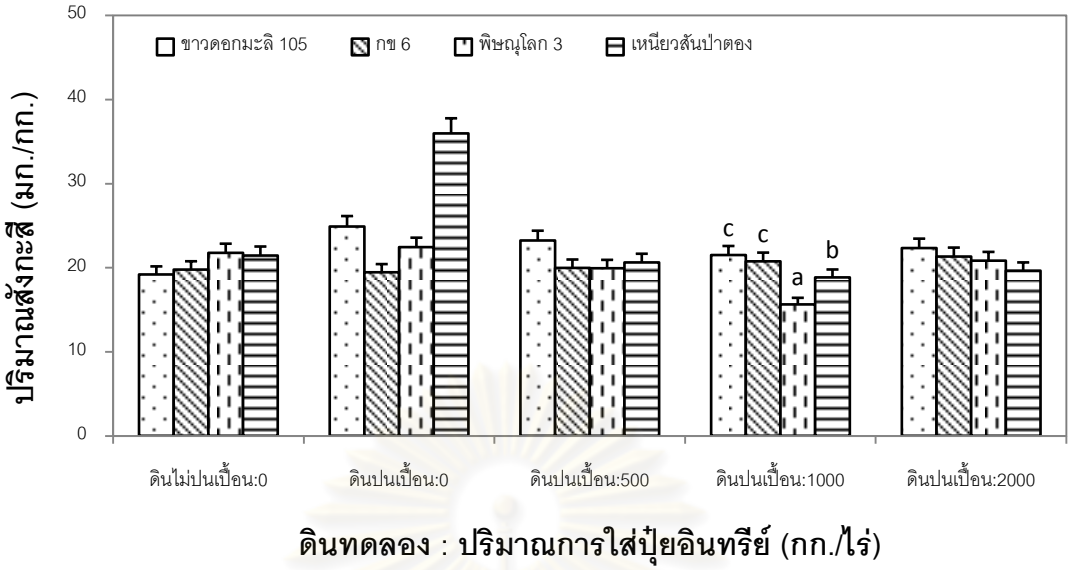
ปนเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 1000 และ 2000 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 มีปริมาณการสะสม สังกะสีในเปลือกข้าว ต่ำกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น ส่วน ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในเมล็ดข้าวในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ข้าวพันธุ์กข 6 มีปริมาณการสะสม สังกะสีต่ำที่สุด และในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 500 และ 1000 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 มีปริมาณการสะสม สังกะสีในเมล็ดข้าวต่ำที่สุด และในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวต่ำที่สุด ดังรูปที่ 4.43-4.44



รูปที่ 4.43 ปริมาณสังกะสีในส่วนเปลือกข้าว ตามพันธุ์ข้าวศึกษา (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.44 ปริมาณสังกะสีในส่วนเมล็ดข้าว ตามพันธุ์ข้าวศึกษา (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.36 ปริมาณสังกะสีในส่วนเปลือกข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนเปลือกข้าว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ขาวดอกมะลิ105	กข6	พิษณุโลก3	เหนียวสันป่าตอง
ดินไม่ปนเปื้อน:0	14.26^{a}±2.15	8.15^{a}±1.25	14.26^{ab}±1.05	8.78±2.43
ดินปนเปื้อน:0	16.81^{a}±2.41	14.94^{bc}±1.39	15.41^{b}±7.22	11.98±3.80
ดินปนเปื้อน:500	15.26^{a}±1.99	12.28^{abc}±2.43	12.99^{ab}±1.94	9.72±2.46
ดินปนเปื้อน:1000	26.75^{b}±0.79	18.26^{c}±6.11	8.31^{a}±1.84	11.82±2.91
ดินปนเปื้อน:2000	16.47^{a}±0.61	10.72^{ab}±2.31	8.72^{ab}±1.76	10.69±0.37

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.37 ปริมาณสังกะสีในส่วนเมล็ดข้าว ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (n=3)

ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณสังกะสีในส่วนเมล็ดข้าว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ขาวดอกมะลิ105	กข6	พิษณุโลก3	เหนียวสันป่าตอง
ดินไม่ปนเปื้อน:0	19.18[a]±0.53	19.76±1.46	21.75±1.80	21.43±1.77
ดินปนเปื้อน:0	24.88[b]±3.24	19.44±1.52	22.43±3.97	35.95±28.48
ดินปนเปื้อน:500	23.22[ab]±2.63	19.96±2.14	19.92±4.58	20.61±1.55
ดินปนเปื้อน:1000	21.49[ab]±0.74	20.74±0.57	15.62±0.22	18.83±1.25
ดินปนเปื้อน:2000	22.32[ab]±2.06	21.31±1.27	20.82±5.32	19.63±1.32

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้ง บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4.36-4.37 แสดงปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในเปลือกข้าวและเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินแต่ละชุดการทดลอง โดยพบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กข6 และพันธุ์พิษณุโลก 3 มีค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab, b, bc, c และ abc) และปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมดในเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กลุ่มอักษร a, ab และ b) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการสะสม สังกะสีในเปลือกข้าวของพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กข6 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใช้ดินไม่ปนเปื้อนและไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าเท่ากับ 14.26, 8.15 และ 8.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ของพันธุ์ข้าว นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 มีปริมาณการสะสม สังกะสีในเปลือกข้าว ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 8.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวของพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ใช้ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าเท่ากับ 19.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวพันธุ์กข 6 มีปริมาณการสะสม สังกะสีในเมล็ดข้าว ต่ำสุดในชุดการทดลองที่ใช้ดินปนเปื้อนแต่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าเท่ากับ 19.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณการสะสม สังกะสีในเมล็ดข้าว ต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 15.62 และ 18.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับของพันธุ์ข้าว อีกทั้งยังพบว่า

ปริมาณการสะสมสังกะสีในเปลือกข้าว และเมล็ดข้าวมีค่าต่ำกว่า ปริมาณการสะสม สังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นข้าว) เนื่องจากสังกะสีมีการเคลื่อนย้ายจากรากสู่ส่วนเหนือดินโดยการสร้างพันธะกับสารประกอบอินทรีย์ในท่อลำเลียงน้ำ และมีการสะสมในคลอโรพลาสต์ แวคิวโอล และผนังเซลล์ จึงส่งผลให้สังกะสีมีการสะสมในส่วนของลำต้น และใบข้าวมากกว่าที่จะสะสมใน เปลือกข้าว และเมล็ดข้าว (Kabata-Pendias and Pendias, 2001)

4.8 ผลผลิตและค่าใช้จ่าย

ผลการศึกษาปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกของข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนโดยคำนวณจากน้ำหนักผลผลิตข้าวหนึ่งต้นที่ปลูกในเรือนทดลองนำไปคูณกับจำนวนต้นข้าวที่ปลูกได้ในหนึ่งไร่ของเกษตรกรในพื้นที่ โดยผลการศึกษาพบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณผลผลิตมากที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 249.05 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โดยมีผลผลิตเท่ากับ 145.48 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนข้าวพันธุ์กข 6 มีปริมาณผลผลิตมากที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 282.88 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผลผลิตเท่ากับ 277 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 มีปริมาณผลผลิตมากที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 183.39 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีผลผลิตมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผลผลิตเท่ากับ 86.74 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง มีปริมาณผลผลิตมากที่สุดในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่โดยมีผลผลิตเท่ากับ 317.41 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผลผลิตเท่ากับ 160.91 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้ เห็นว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สามารถ ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ชุติวัฒน์ วรรณสาย และดิเรก อินตาพรม (2540) ที่ศึกษาผลของการจัดการฟางข้าวต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตของข้าวติดต่อกันระยะเวลา 4 ปี ในรูปแบบการจัดการต่างๆ 5 วิธีการ คือ การเกี่ยวตอซังออก ไถกลบตอซัง เผาตอซัง ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ฟางข้าว 2,000 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลการทดลองพบว่า การไถกลบตอซังหลังการเก็บเกี่ยวข้าว การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวหรือการใส่ฟางข้าว สามารถทำให้ ข้าวมีผลผลิตที่สูงกว่าวิธีการเกี่ยวตอซังออกจากแปลงนาหรือการเผาตอซังทิ้ง อย่างไรก็ตาม การทดลองในครั้งนี้ไม่ได้คาดหวังในเรื่องของผลผลิตที่ได้ เนื่องจากเป็นการทดลองในภาชนะปลูกโดยมีการ

ดูแลในเรือนเพาะชำเท่านั้น ดังนั้นผลผลิตที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จึงไม่สามารถเป็นคำตอบที่แท้จริงของการปลูกข้าวหรือการทำนาแบบอินทรีย์ได้

สำหรับผลการศึกษาการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย (เฉพาะค่าปุ๋ย) ในงานวิจัยกับกรรมวิธีของเกษตรกรในพื้นที่ พบว่า ค่าใช้จ่ายในงานวิจัยในทุกชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์นั้นต่ำกว่าค่าใช้จ่ายของเกษตรกร เนื่องจากในงานวิจัยไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีตลอดระยะเวลาการปลูกข้าว โดยการคำนวณราคาปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) นั้นคิดจากอัตรา 1 บาทต่อกิโลกรัม (อัตราราคาปุ๋ยคอกนั้นอยู่ในช่วง 1-4 บาทต่อกิโลกรัมขึ้นอยู่กับในแต่ละพื้นที่) ซึ่งรายละเอียดของค่าใช้จ่ายสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย (บาทต่อไร่) ในการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรกับงานวิจัยในครั้งนี้

การใส่ปุ๋ย	เกษตรกร	งานวิจัยในครั้งนี้		
		500 กก./ไร่	1000 กก./ไร่	2000 กก./ไร่
ปุ๋ยคอกก่อนปลูก	0	500-2000	1000-4000	2000-8000
ช่วงเพาะกล้า ปุ๋ย 16-20-0 (15 กก./ไร่)	225	0	0	0
ช่วงหลังดำ ปุ๋ย 16-20-0 (50 กก./ไร่)	750	0	0	0
ช่วงตั้งท้อง ปุ๋ย 16-20-0 (50 กก./ไร่)	750	0	0	0
ช่วงตั้งท้อง ปุ๋ยยูเรีย (50 กก./ไร่)	600	0	0	0
รวม	2325	500-2000	1000-4000	2000-8000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในดิน และส่วนต่างๆ ของข้าว โดยศึกษาในดินที่ใช้ในการทดลอง 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ดินไม่ปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และดินปนเปื้อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ และปลูกข้าวทั้งสี่สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข6 พิษณุโลก3 และเหนียวสันป่าตอง หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วัน ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในดิน

ปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกปริมาณ มีการสะสมมากกว่าในดินปนเปื้อนไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง และทุกพันธุ์ข้าวศึกษา แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยอินทรีย์สามารถตรึงแคดเมียมให้อยู่ในดินได้ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ให้ผลดีที่สุด และยังพบว่า ปริมาณการใส่ปุ๋ยระดับนี้ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 120 วัน ดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์กข 6 สามารถตรึงแคดเมียมไว้ในดินได้ดีที่สุด รองลงมาคือพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ขาวดอกมะลิ 105 และพิษณุโลก 3 ตามลำดับ ส่วน การศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในดินในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สรุปได้ว่า ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา และทุกชุดดินทดลอง ปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีผลต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมในรูปที่พืชสามารถ นำไปใช้ประโยชน์ได้ในดิน สำหรับในการศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมด และปริมาณการสะสมสังกะสีในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในดิน สรุปได้ว่าในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา ปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีผลต่อปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งหมด และปริมาณการสะสมสังกะสีในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในดิน

5.1.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในส่วนต่างๆ ของข้าว

1) ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าว

ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) และใต้ดิน (รากข้าว) ในดินที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกปริมาณมีการสะสมแคดเมียมต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา และในส่วนของพันธุ์ข้าวที่เป็นข้าวเจ้า มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) และใต้ดิน (รากข้าว) ต่ำที่สุดที่ปริมาณการใส่ปุ๋ย 1000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยที่ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง 120 วัน ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 มีปริมาณการสะสมแคดเมียมต่ำกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ส่วนพันธุ์ข้าวที่เป็นข้าวเหนียว มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) และใต้ดิน (รากข้าว) ต่ำที่สุดที่ปริมาณการใส่ปุ๋ย 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยที่ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง 120 วัน ข้าวพันธุ์กข6 มีปริมาณการสะสมแคดเมียมต่ำกว่าข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง สำหรับปริมาณการสะสมแคดเมียมในเปลือกข้าวนั้นในชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกปริมาณมีการสะสมแคดเมียมต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา โดยมีปริมาณการสะสมต่ำที่สุดในข้าวพันธุ์พิษณุโลก 3 ที่ปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนปริมาณการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวนั้นในดินที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกปริมาณมีปริมาณการสะสมแคดเมียมต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา โดยมีปริมาณการสะสมต่ำที่สุด ในปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยข้าวพันธุ์พิษณุโลก3 มีปริมาณการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด รองลงมาคือ พันธุ์เหนียวสันป่าตอง พันธุ์กข6 และขาวดอกมะลิ105 ตามลำดับ

2) ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆ ของข้าว

ปริมาณการสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) และใต้ดิน (รากข้าว) ในดินที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกปริมาณมีการสะสมแคดเมียมต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่ 30 วัน ในทุกพันธุ์ข้าวศึกษา ยกเว้นพันธุ์เหนียวสันป่าตอง โดยในส่วนเหนือดิน (ต้นและใบ) มีปริมาณการสะสมต่ำที่สุดในข้าวพันธุ์กข 6 ที่ปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 2000 กิโลกรัมต่อไร่ และในส่วนใต้ดิน (รากข้าว) มีการสะสมต่ำที่สุดในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการศึกษาปริมาณการสะสมสังกะสีในเปลือก และเมล็ดข้าว พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดดินทดลอง และทุกพันธุ์ข้าวศึกษา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทำการศึกษาวิจัยในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการปนเปื้อนจริง เพื่อจะได้ทราบถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงของปุ๋ยอินทรีย์ในการตรึงแคดเมียมในดิน

5.2.2 ควรมีการศึกษาในเชิงลึกในเรื่องของการเคลื่อนที่ของแคดเมียมในดิน และในส่วนต่างๆ ของข้าว เพื่อที่จะหาแนวทางแก้ไขอย่างตรงประเด็นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2.3 ควรมีการศึกษาการใช้สารชนิดอื่นที่ช่วยในการตรึงโลหะหนักไว้ในดินควบคู่ไปกับการปลูกข้าวพันธุ์อื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของสารแต่ละชนิด และข้าวแต่ละสายพันธุ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การข้าว, กรม. องค์ความรู้เรื่องข้าว. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/data_002/rice_xx2-02_New_index.html [2553, ตุลาคม 6]

กรรณิกา นากลาง สว่าง โรจนกุศล เบญจรัตน์ สวันตรัจฉ์ ประโยชน์ วงศ์สุข บุญโฮม ชำนาญกุล และเทิดศักดิ์ สง่าวงศ์. 2527. อิทธิพลของการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดและฟางข้าวติดต่อกันเป็นระยะเวลานานต่ออินทรียวัตถุในดินและผลผลิตข้าว. ใน รายงานผลการค้นคว้าวิจัยดินและปุ๋ยข้าว 2527, หน้า 8-17. กลุ่มงานวิจัยดินและปุ๋ยข้าว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้. 2540. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กรุงเทพมหานคร: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน. 2551. โลหะกับการพัฒนาประเทศ. ใน รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 3/2551. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

เกริก ปิ่นตระกูล. 2550. ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว , วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ควบคุมมลพิษ, กรม . 2540. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2545. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง แคดเมียม (cadmium), พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2542. พืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

ชิดชนก อัศวโภคี. 2550. ผลของตัวคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน *Helianthus annuus Linn*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชุติวัฒน์ วรรณสาย และดิเรก อินตาพรม. 2540. ผลของการจัดการฟางข้าวต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตข้าว. วารสารเกษตรนเรศวร 1: 30-35.

ทิพวรรณ พจนาภรณ์. 2552. ผลของอีดีทีเอและอีดีดีเอสต่อการดูดดึงโครเมียมและตะกั่วโดยใช้สับปะรดที่ปลูกในดินปนเปื้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ ใน เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัญชาการ วินัยพานิช. 2548. การบำบัดดินที่ปนเปื้อนทองแดงโดยใช้ผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประพาส วีระแพทย์. 2517. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพ มหานคร : กองการข้าว กรมวิชาเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มณีรัตน์ ม่วงศรี. 2551. ผลการใส่ฟางข้าวและแกลบร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อผลผลิตของข้าวที่ปลูกในชุดดินพิมายและชุดดินร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา ภาคสาขาวิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยงยุทธ โอสถสภา. 2542. ศัพท์ในวงการปุ๋ย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุจ เกษตรสุวรรณ. 2552. ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ใช้ปลูกข้าว และในเมล็ดข้าว แสดงถึงภาวะโภชนาการของประชากร อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา ภาคสาขาวิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เรวัต เลิศฤทัยโยธิน. 2541. ข้าว. ใน พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ, หน้า 5-11. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราภรณ์ ศรีตัมภวา . 2550. การดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อยที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชาการเกษตร, กรม. กองปฐพีวิทยา. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช . 500 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

วิชาการเกษตร, กรม. สถาบันวิจัยข้าว. 2544. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

วัชรินทร์ บุญวัฒน์. 2527. ข้าว . ใน พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ. เล่ม ที่ 1, หน้า 26-34. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2546. สรีรวิทยาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา . 2529. จุลชีววิทยาของดินเพื่อผลผลิตทางการเกษตร . พิมพ์ครังที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย. 2548. การศึกษาการกระจายตัวของแคดเมียมในดินและพืชในพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณใกล้เคียงเหมืองแร่สังกะสีในพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก . รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมฤทัย ตันเจริญ. 2545. อิทธิพลของการใส่ฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีในสภาพขังน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา ภาคสาขาวิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรัตนา เสนาะ. 2548. การดูดดึงธาตุโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา ภาคสาขาวิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไสว พงษ์เก่า อารีย์ วรัญญวัฒก์ ดุสิต ศิริพงษ์ พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์ วัชรินทร์ บุญวัฒน์ และสุรพล อุปดิสสกุล. 2525. พืชเศรษฐกิจ. เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนนท์ สุขสวัสดิ์ พนัส สุวรรณธาดา และดิเรก อินตาพรม. 2537. อิทธิพลของปริมาณและระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญและผลผลิตข้าว. วารสารวิชาการเกษตร. ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม 2537): 94-101.

อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, กรม. 2549. รายงานการศึกษาวิจัยสาเหตุการปนเปื้อนแคดเมียมในดินพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. กรุงเทพมหานคร.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .

ภาษาอังกฤษ

Adriano, D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. 2nd ed. New York: Springer.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2005. Toxicological Profilefor Zinc (Update). Atlanta, GA: U.S. Department of Public Health and Human Services, Public Health Service.

Assawadithalerd, M. 2009. Effect of organic fertilizer and potassium hydroxide addition on cadmium bioavaibility in paddy soil. Master's Thesis, Environmental Management, Graduate School, Chulalongkorn University.

Azizur, R.M., Hasegawa, H., Mahfuzur, R.M., and Miah, M. 2007. Accumulation of arsenic in tissues of rice plant (*Oryza sativa* L.) and its distribution in fractions of rice grain. Chemosphere 69 (6): 942-948.

Balestrasse, K.B., Maria, B.P., Sunana, G.M., and Maria, T.L. 2003. Effect of cadmium stress on metabolism in noules and root of soybean plant. Funct. Plant Biol. 30: 57-64.

Chang, T.T., and Bardenas, E.A. 1965. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. IRRI Tech.

Chen, T., and Chen, Z. 2002. Cadmium adsorption in soil influenced by dissolved organic matter derived from rice straw and sediment. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao (The journal of applied ecology) 13(2): 183-186.

Chen, Z.S. 1992. Metal contamination of flooded soils, rice plants and surface water in Asia. In D.C. Adriano (ed.), Biogeochemistry of Trace Meters, pp. 85-109. London: Lewis Pulb.

Cottenies, A., Kiekans, L., and Van Landschoot, G. 1984. Problem of the mobility and predictability of heavy metal uptake by plant. In P.L' Hermite and H. Ott (ed.), Processing and Use of Sewage Sludge, pp. 124-131. Hollan: D. Reidal.

Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Potash & Phoshphte Institute (PPI), Potash & Phoshphte Institute of Canada (PPIC) and IRRI. Oxford Graphic Printers Pte Ltd.

Epstein, E., and Bloom, A. J. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associations, Inc. Publishers.

Fageria, N. K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. USA: Taylor & Francis Group, CRC Press.

Freney, J.R., Spencer, K., and Jones, M.B. 1978. The diagnosis of sulfer deficiency in wheat. Agriculture Respond 29: 727-738.

Hanson, J. B. 1984. The function of calcium in plant nutrition. In P.B. Tinker and A. Louchli (ed.), Advance in Plant Nutrition. pp. 149-207. New York: Praeger Publishers.

Hillocks, R.J., Thresh, J.M., and Bellotti, A.C. 2002. Cassava: Biology, Production and Utilization. UK: CABI Publishing.

IRRI. 1977. Annual report for 1976. Philippines: Los Banos.

Irwin, R.J., Mouwkerik, M.V., Stevens, L., Seese, M.D., and Basham, W. 1997. Environmental Contaminates Encyclopedia Zinc Entry. Colorado, USA: Water resources division.

Jones, J. K., and Huber, D. M. 2007. Magnesium and plant disease. In L. C. Datnoff, W. H. Elmer, and D. M. Huber (ed.), Mineral nutrition and plant disease. pp. 95-100. St. Paul, MN: The American Phytopathological Society.

Juliano, J. B., and Aldama, M. J. 1937. Morphology of *Oryza sativa* Linnaeus. Philipp. Agric. 26: 1-134.

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace Element in Soils and Plant. 3rd ed. Florida: CRC Press.

Kashem, M.A., and Singh, B.R. 2001. Metal availability in contaminated soils: II. Uptake of Cd, Ni and Zn in rice plants grown under flooded culture with organic matter addition. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61: 257–266.

Liphaazi, M.S., and Kirkham, M.B. 2006. Physiological effects of heavy metals on plant growth and function. In B. Hunang (ed.), Plant-Environment Interaction. pp. 243-270. Florida: CRC Press.

Liu, J., Li, K., Xu, J., Liang, J., Lu, X., Yang, J., and Zhu, Q. 2003. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes. Field Crops Res. 83: 271-281.

Lui, J., Qian, M., Cai, Q., Yang, J., and Zhu, Q. 2006. Uptake and translocation of Cd in different rice cultivars and the relation with Cd accumulation in rice grain. Journal of Hazardous Materials 143(1-2): 443-447.

Mahara, Y., Kubota, T., Wakayama, R., Nakano-Ohta, T., and Nakamura, T. 2007. Effects of molecular weight of natural organic matter on cadmium mobility in soil environments and its carbon isotope characteristics. Science of The Total Environment 387(1-3): 220-227.

Mousavi, S.M., Bahmanyar, M.A., and Pirdashti, H. 2010. Lead and Cadmium Availability and Uptake by Rice Plant in Response to Different Biosolids and Inorganic Fertilizers. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 5(1): 25-31.

Murakami, M., Ae, N., and Ishikawa, S. 2007. Phytoextraction of cadmium by rice (*Oryza sativa* L.), soybean (*Glycine max* (L.) merr.), and maize (*Zea mays* L.). Environmental Pollution 145: 96-103.

Pierzynski, G., Kulakow, P., Erickson, L., and Jackson, L. 2001. Plant system technologies for environmental management of metals in soils: Educational materials. Journal of Natural Resources and Life Science Education 31: 31-37.

Pinto, A. P., Mota, A. M., Varennes, A., and Pinto, F. C. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. Science of The Total Environment 326(1-3): 239-247.

Shao, G.S., Chen, M.X., Wang, D.Y., Xu, C.M., Mou, R.X., Cao, Z.Y., and Zhang, X.F. 2008. Using iron fertilizer to control Cd accumulation in rice plants: A new promising technology. Science in China Series C: Life Sciences 51(3): 245-253.

Stansel, P. J. 1975. Market trends and agronomic suitability of key fertilizers commonly sold in world trade. In FAI-FAO Seminar on optimizing agricultural production under limited availability of fertilizers, 1974, pp. 101-130.

Tanaka, K., Fujimaki, S., Fujiwara, T., Yoneyama, T., and Hayashi, H. 2003. Cadmium concentrations in the phloem sap of rice plants (*Oryza sativa* L.) treated with a nutrient solution containing cadmium. Soil Sci: Plant Nutr. 49 (2): 311-313.

Tu, C., Zheng, C.R., and Chen, H.M. 2000. Effect of applying chemical fertilizers on forms of lead and cadmium in red soil. Chemosphere 41(1-2): 133-138.

USEPA. 2000. Introduction to Phytoremediation. EPA 600/R-99/107. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, USA.

USEPA. 1996. Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. Method. 3052, Washington D.C., USA.

USEPA. 1998. Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts. Method. 3051A, Washington D.C., USA.

Williams, C., Nascimento, A., and Xing, B. 2006. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.) 63(3): 299-311.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
สูตรการคำนวณ

1. การคำนวณหาปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดในตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดในตัวอย่าง} = \frac{A \times B}{C \times 1000}$$

A คือ ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดจากการวัดด้วย AAS (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B คือ ปริมาณสารละลายที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

C คือ น้ำหนักแห้ง (กรัม) หรือ ปริมาณของตัวอย่าง (ลิตร)

2. การคำนวณหาปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่พืชดูดดึงได้

$$\text{ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่พืชดูดดึงได้} = \frac{(A-B) \times C}{D}$$

A คือ ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดจากการวัดด้วย AAS (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B คือ ค่า Blank (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C คือ ปริมาตรน้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)

D คือ น้ำหนักดิน (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การคำนวณหาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อภาชนะทดลอง

กำหนดให้ ความลึกของดินบน (Top Soil) อยู่ระหว่าง 0-30 เซนติเมตร
(คำนวณความลึกของดินบนที่ 7 นิ้ว หรือเท่ากับ 17.78 เซนติเมตร)
ความหนาแน่นของดิน เท่ากับ 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1 ไร่ = 1,600 ตารางเมตร

ดิน 1 ไร่ = $(1{,}600\ m^2 \times 1.3 \times 100^3\ g/m^3 \times 0.1778\ m)$

= 369,824,000 g

= 369,824 kg

$$\text{ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อภาชนะทดลอง (กรัม)} = \frac{1000 \times A \times B}{369{,}824}$$

A คือ น้ำหนักดิน (กิโลกรัม)

B คือ อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (กิโลกรัมต่อไร่)

ที่มา : http://web.nkc.kku.ac.th/rattanasuda/e-learning/112202/chapter2.doc

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
คุณสมบัติของน้ำ และดินทดลอง

ตารางที่ ข1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid; SS) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	5491	1949	879	304
	ดินปนเปื้อน:0	1938	986	1095	1387
	ดินปนเปื้อน:500	2168	801	1154	611
	ดินปนเปื้อน:1000	9648	837	384	636
	ดินปนเปื้อน:2000	6818	1026	1506	858
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	3164	1681	1362	1314
	ดินปนเปื้อน:0	2358	1331	1094	718
	ดินปนเปื้อน:500	819	1703	372	315
	ดินปนเปื้อน:1000	3894	1609	583	674
	ดินปนเปื้อน:2000	589	1295	613	643
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	8285	2391	827	131
	ดินปนเปื้อน:0	1358	903	853	587
	ดินปนเปื้อน:500	1543	1405	892	351
	ดินปนเปื้อน:1000	471	2461	720	460
	ดินปนเปื้อน:2000	3583	1543	949	973
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	7993	1747	292	1462
	ดินปนเปื้อน:0	198	2190	543	602
	ดินปนเปื้อน:500	3428	1608	663	497
	ดินปนเปื้อน:1000	4087	2547	588	302
	ดินปนเปื้อน:2000	648	1385	918	1326

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	5.35	5.02	4.01	7.86
	ดินปนเปื้อน:0	6.82	6.41	7.38	9.85
	ดินปนเปื้อน:500	5.2	5.49	5.02	8.61
	ดินปนเปื้อน:1000	5.14	4.79	7.35	8.43
	ดินปนเปื้อน:2000	5.75	6.92	5.4	10.47
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	4.06	3.24	1.52	7.82
	ดินปนเปื้อน:0	5.75	6.27	4.86	7.67
	ดินปนเปื้อน:500	5.42	4.99	6.13	9.08
	ดินปนเปื้อน:1000	3.92	4.44	4.22	9.27
	ดินปนเปื้อน:2000	8.9	4.61	6.48	7.57
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	4.68	5.8	1.11	7.74
	ดินปนเปื้อน:0	8.33	8.01	6.67	10.07
	ดินปนเปื้อน:500	4.38	4.46	2.77	8.86
	ดินปนเปื้อน:1000	4	4.19	5.47	8.26
	ดินปนเปื้อน:2000	2.93	5.37	5.52	10.76
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	5.04	5.48	5.47	6.13
	ดินปนเปื้อน:0	5.99	7.27	8.92	9.14
	ดินปนเปื้อน:500	6.58	5.4	4.59	7.92
	ดินปนเปื้อน:1000	8.69	3.9	4.97	7.13
	ดินปนเปื้อน:2000	5.59	1.43	9.32	8.41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข3 ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved; BOD) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	25.2	15.84	10.56	6.6
	ดินปนเปื้อน:0	16.8	6.66	8.94	6.42
	ดินปนเปื้อน:500	20.4	8.64	13.44	4.98
	ดินปนเปื้อน:1000	45.75	9.42	7.92	5.58
	ดินปนเปื้อน:2000	52.05	16.5	21.12	0.36
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	15	8.04	15.9	6.12
	ดินปนเปื้อน:0	12.75	8.22	10.2	7.02
	ดินปนเปื้อน:500	9.9	8.52	8.64	4.62
	ดินปนเปื้อน:1000	42.45	9.6	12.12	14.34
	ดินปนเปื้อน:2000	31.8	8.94	10.38	7.08
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	41.1	23.58	8.46	7.38
	ดินปนเปื้อน:0	23.4	6.06	6.3	10.08
	ดินปนเปื้อน:500	22.2	5.04	6.72	6.6
	ดินปนเปื้อน:1000	28.8	6.72	10.26	7.38
	ดินปนเปื้อน:2000	39	9.72	7.68	12.18
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	52.65	5.52	8.22	19.98
	ดินปนเปื้อน:0	21	7.2	17.1	9.18
	ดินปนเปื้อน:500	23.55	5.28	6.96	7.62
	ดินปนเปื้อน:1000	39	13.32	6.66	7.98
	ดินปนเปื้อน:2000	35.85	7.92	11.82	11.28

ตารางที่ ข4 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	7.03	6.98	6.7	7.62
	ดินปนเปื้อน:0	6.92	7.45	7.26	7.88
	ดินปนเปื้อน:500	6.2	6.95	7.15	6.68
	ดินปนเปื้อน:1000	6.67	7.36	7.19	7.39
	ดินปนเปื้อน:2000	6.64	7.75	7.05	7.92
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	7.06	6.94	6.72	7.61
	ดินปนเปื้อน:0	7.03	8.01	7.23	7.72
	ดินปนเปื้อน:500	6.33	7.13	7.17	7.13
	ดินปนเปื้อน:1000	6.68	7.33	7.16	7.64
	ดินปนเปื้อน:2000	6.94	7.5	7.13	7.82
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	7.06	6.57	6.71	7.51
	ดินปนเปื้อน:0	6.98	8.1	7.23	7.92
	ดินปนเปื้อน:500	6.46	7.13	7.2	7.12
	ดินปนเปื้อน:1000	6.67	7.31	7.12	7.61
	ดินปนเปื้อน:2000	6.66	7.47	7.03	7.94
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	6.99	6.71	7.02	7.53
	ดินปนเปื้อน:0	7.12	8.11	7.17	7.85
	ดินปนเปื้อน:500	6.79	7.42	7.16	7.27
	ดินปนเปื้อน:1000	6.74	7.36	7.28	7.57
	ดินปนเปื้อน:2000	6.8	7.5	7.11	7.84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข5 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	3.1	1.6	0.7	0.77
	ดินปนเปื้อน:0	1.8	1.3	1.1	0.73
	ดินปนเปื้อน:500	3.4	2	2	0.8
	ดินปนเปื้อน:1000	3.2	1.5	0.62	0.68
	ดินปนเปื้อน:2000	1.7	1.7	0.84	0.96
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	2.7	1.2	0.66	0.69
	ดินปนเปื้อน:0	2.8	1.6	0.9	0.71
	ดินปนเปื้อน:500	2.9	1.3	0.87	0.79
	ดินปนเปื้อน:1000	4.1	1.5	0.68	0.74
	ดินปนเปื้อน:2000	1.3	1.5	1.2	0.76
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	4.9	0.73	0.65	0.84
	ดินปนเปื้อน:0	2.1	1.4	1.1	0.76
	ดินปนเปื้อน:500	4.9	1.8	1	0.75
	ดินปนเปื้อน:1000	4.1	1.7	0.76	0.7
	ดินปนเปื้อน:2000	3.9	1.3	0.79	0.64
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	2.1	0.76	0.56	0.72
	ดินปนเปื้อน:0	2.7	1.6	0.57	0.89
	ดินปนเปื้อน:500	2.3	1.4	0.98	0.84
	ดินปนเปื้อน:1000	1.1	1.4	0.73	0.95
	ดินปนเปื้อน:2000	2	2.2	0.9	1.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข6 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^-) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	1.017	0.035	0.031	0.401
	ดินปนเปื้อน:0	0.001	0.05	0.016	0.669
	ดินปนเปื้อน:500	0.074	0.021	0.033	0.106
	ดินปนเปื้อน:1000	0.037	0.027	0.02	0.338
	ดินปนเปื้อน:2000	0.02	0.072	0.441	0.107
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.057	0.026	0.198	0.401
	ดินปนเปื้อน:0	0.142	0.378	0.022	0.31
	ดินปนเปื้อน:500	0.241	0.203	0.204	0.382
	ดินปนเปื้อน:1000	0.024	0.046	0.022	0.029
	ดินปนเปื้อน:2000	0.037	0.105	0.038	0.293
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.001	0.032	0.034	0.179
	ดินปนเปื้อน:0	0.484	0.231	0.034	0.16
	ดินปนเปื้อน:500	0.011	0.063	0.403	0.191
	ดินปนเปื้อน:1000	0.017	0.015	0.351	0.033
	ดินปนเปื้อน:2000	0.031	0.021	0.13	0.407
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.055	0.073	0.023	0.028
	ดินปนเปื้อน:0	0.004	0.093	0.094	0.335
	ดินปนเปื้อน:500	0.009	0.026	0.311	0.259
	ดินปนเปื้อน:1000	0.019	0.101	0.247	0.079
	ดินปนเปื้อน:2000	0.02	0.101	0.023	0.617

ตารางที่ ข7 ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ค่าความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	454	298	395	379
	ดินปนเปื้อน:0	403	408	373	356
	ดินปนเปื้อน:500	436	369	393	364
	ดินปนเปื้อน:1000	469	369	300	350
	ดินปนเปื้อน:2000	666	402	491	539
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	435	321	390	433
	ดินปนเปื้อน:0	468	318	279	386
	ดินปนเปื้อน:500	482	319	323	350
	ดินปนเปื้อน:1000	443	320	288	340
	ดินปนเปื้อน:2000	426	378	332	369
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	397	353	389	435
	ดินปนเปื้อน:0	457	414	307	345
	ดินปนเปื้อน:500	445	328	215	322
	ดินปนเปื้อน:1000	444	344	314	347
	ดินปนเปื้อน:2000	592	337	423	343
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	522	307	276	415
	ดินปนเปื้อน:0	372	409	293	378
	ดินปนเปื้อน:500	367	326	345	344
	ดินปนเปื้อน:1000	408	319	320	363
	ดินปนเปื้อน:2000	510	343	430	444

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข8 ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (ORP) ในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ค่าความต่างศักดิ์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (มิลลิโวลต์)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	239.8	168.6	223.7	217.4
	ดินปนเปื้อน:0	206.9	169.5	220.8	210.7
	ดินปนเปื้อน:500	219.3	185.6	208	207.4
	ดินปนเปื้อน:1000	87.7	194.4	212.6	212.1
	ดินปนเปื้อน:2000	79.7	190.1	219.9	204.1
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	176	197.2	197.9	211.3
	ดินปนเปื้อน:0	184.5	196.1	211.3	206.7
	ดินปนเปื้อน:500	187.9	203.9	197.5	205.4
	ดินปนเปื้อน:1000	195.6	202.8	206.2	213.5
	ดินปนเปื้อน:2000	153.8	218.8	199.8	195
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	165.9	207	176.9	214.6
	ดินปนเปื้อน:0	174.7	211.2	189.1	215.3
	ดินปนเปื้อน:500	185.3	211.9	200.1	211.9
	ดินปนเปื้อน:1000	192.5	210.9	204.9	213.4
	ดินปนเปื้อน:2000	197.3	209.4	201.5	221.9
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	64.3	224.9	214.6	97.1
	ดินปนเปื้อน:0	170.3	216.4	214.1	143.2
	ดินปนเปื้อน:500	180.2	217.3	206.5	143.1
	ดินปนเปื้อน:1000	122	225.7	194.3	149.6
	ดินปนเปื้อน:2000	152.7	230.4	215.8	162.1

ตารางที่ ข9 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณการสะสมแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.072	0.096	0.235	0.214
	ดินปนเปื้อน:0	0.072	0.123	0.056	0.379
	ดินปนเปื้อน:500	0.062	0.082	0.123	0.354
	ดินปนเปื้อน:1000	0.085	0.092	0.066	0.261
	ดินปนเปื้อน:2000	0.077	0.026	0.082	0.397
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.029	0.078	0.095	0.121
	ดินปนเปื้อน:0	0.058	0.054	0.113	0.392
	ดินปนเปื้อน:500	0.02	0.089	0.122	0.131
	ดินปนเปื้อน:1000	0.071	0.035	0.131	0.283
	ดินปนเปื้อน:2000	0.082	0.057	0.036	0.275
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.065	0.023	0.185	0.16
	ดินปนเปื้อน:0	0.087	0.012	0.114	0.254
	ดินปนเปื้อน:500	0.057	0.074	0.28	0.198
	ดินปนเปื้อน:1000	0.064	0.103	0.17	0.216
	ดินปนเปื้อน:2000	0.097	0.053	0.11	0.17
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.118	0.048	0.165	0.137
	ดินปนเปื้อน:0	0.041	0.109	0.174	0.105
	ดินปนเปื้อน:500	0.105	0.077	0.147	0.301
	ดินปนเปื้อน:1000	0.106	0.053	0.142	0.198
	ดินปนเปื้อน:2000	0.111	0.116	0.122	0.368

ตารางที่ ข10 ปริมาณการสะสมสังกะสีในน้ำ

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ปริมาณการสะสมสังกะสี (มิลลิกรัม/ลิตร)			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.072	0.072	0.044	0.094
	ดินปนเปื้อน:0	0.424	1.121	2.047	5.656
	ดินปนเปื้อน:500	0.803	2.442	1.931	3.868
	ดินปนเปื้อน:1000	1.766	0.707	0.836	0.507
	ดินปนเปื้อน:2000	3.121	1.06	3.194	4.966
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.107	0.126	0.05	0.135
	ดินปนเปื้อน:0	0.486	0.59	0.986	0.662
	ดินปนเปื้อน:500	0.446	0.923	1.12	0.296
	ดินปนเปื้อน:1000	1.313	0.537	1.723	0.98
	ดินปนเปื้อน:2000	1.326	0.265	0.443	2.309
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.149	0.166	0.107	0.078
	ดินปนเปื้อน:0	0.325	0.204	1.585	1.548
	ดินปนเปื้อน:500	0.265	0.48	7.556	1.355
	ดินปนเปื้อน:1000	0.417	0.669	0.664	1.18
	ดินปนเปื้อน:2000	1.501	0.526	1.078	1.698
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	0.222	0.078	0.095	0.062
	ดินปนเปื้อน:0	0.365	0.213	0.69	0.444
	ดินปนเปื้อน:500	1.045	1.267	3.243	1.622
	ดินปนเปื้อน:1000	3.087	1.121	0.641	0.69
	ดินปนเปื้อน:2000	1.2	1.279	1.196	4.183

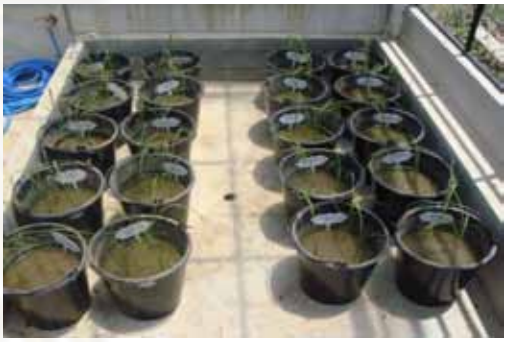
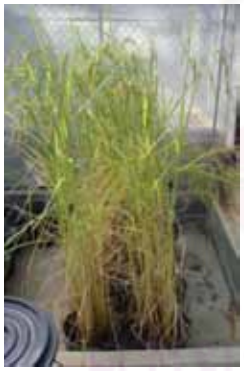
ตารางที่ ข11 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดิน

พันธุ์ข้าว	ดินทดลอง: ปริมาณการใส่ปุ๋ย	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง			
		30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน
ขาวดอกมะลิ105	ดินไม่ปนเปื้อน:0	6.86	7.5	6.33	7.35
	ดินปนเปื้อน:0	6.71	6.79	6.71	6.89
	ดินปนเปื้อน:500	7.86	7.85	7.8	7.83
	ดินปนเปื้อน:1000	7.89	7.88	8.01	7.75
	ดินปนเปื้อน:2000	7.8	7.67	7.78	7.81
กข6	ดินไม่ปนเปื้อน:0	6.89	7.39	6.46	7.29
	ดินปนเปื้อน:0	6.71	6.86	6.72	6.85
	ดินปนเปื้อน:500	7.87	7.84	7.85	7.81
	ดินปนเปื้อน:1000	7.86	7.81	7.96	7.84
	ดินปนเปื้อน:2000	7.89	7.88	8.01	7.88
พิษณุโลก3	ดินไม่ปนเปื้อน:0	6.91	6.55	7.27	7.42
	ดินปนเปื้อน:0	6.84	6.85	6.69	6.78
	ดินปนเปื้อน:500	7.4	7.53	7.55	7.77
	ดินปนเปื้อน:1000	7.93	7.82	7.94	7.89
	ดินปนเปื้อน:2000	7.93	7.94	7.87	7.84
เหนียวสันป่าตอง	ดินไม่ปนเปื้อน:0	7.52	6.66	7.03	7.2
	ดินปนเปื้อน:0	6.86	6.98	6.71	6.78
	ดินปนเปื้อน:500	7.79	7.78	8.02	7.74
	ดินปนเปื้อน:1000	7.83	7.27	7.64	7.38
	ดินปนเปื้อน:2000	7.96	7.9	7.83	7.97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

รูปภาพประกอบการทดลอง

1 2 3 4 5 6	1-2 การเตรียมโรงเรือน และภาชนะปลูก 3-4 การเตรียมพืช การปลูก และดูแลรักษา 5 การเจริญเติบโตของข้าวเมื่ออายุ 4 เดือน 6 การเก็บตัวอย่าง และวัดความสูงต้นข้าว

รูปที่ ค1 การดำเนินงานวิจัยในเรือนทดลอง

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>1 2
3 4
5 6</td><td>1 เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด
2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
3-4 เครื่องบดตัวอย่าง และตู้อบความร้อน
5 เครื่องมือย่อยด้วยระบบ Microwave
6 เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์</td></tr>
</table>

รูปที่ ค2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพนัส พงศ์ผลาดิสัย เกิดเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 ในระหว่างการศึกษาได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัย ในการประชุมระดับบัณฑิตศึกษา โดยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานดังต่อไปนี้

พนัส พงศ์ผลาดิสัย และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. “ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีของข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนจากพื้นที่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ” หนังสือประมวลผลการประชุมทางวิชาการ (Proceeding) ในการประชุมผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 2 จัดโดย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วันที่ 26 พฤศจิกายน 2553. 270-278.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย