ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี

หลักสูตรปฐพีวิทยา

เรื่อง

ผลของการจัดการดินและน้ำต่อการสะสมแคดเมียมและสังกะสีใน

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข. 6 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

Effect of Soil and Water Management on Cadmium and Zinc Accumulation in Rice (KDML 105 and RD 6) as Grown on Cadmium Contaminated Soil

โดย

นางสาวจันทนี เกลี้ยงมล

นายอุริศ พงศ์ถาวรสวัสดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบจาก

.....

ผศ.ดร.นุกูล ถวิลถึง

อาจารย์ที่ปรึกษา

หลักสูตรรับรองแล้ว

.....

รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม

ประธานบริหารหลักสูตรปฐพีวิทยา

วันที่ 23 เดือน มี.ค. 2555 พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

ผลของการจัดการดินและน้ำต่อการสะสมแคดเมียมและสังกะสีใน ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข. 6 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

Effect of Soil and Water Management on Cadmium and Zinc Accumulation in Rice (KDML 105 and RD 6) as Grown on Cadmium Contaminated Soil

โดย

นางสาวจันทนี เกลี้ยงมล

นายอุริศ พงศ์ถาวรสวัสดิ์

เสนอ

สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช

หลักสูตรปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	ผลของการจัดการดินและน้ำต่อการสะสมแคดเมียมและสังกะสีใน ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 6 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม
โดย	นางสาวจันทนี เกลี้ยงมล
	นายอุริศ พงศ์ถาวรสวัสดิ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
หลักสูตร	ปฐพีวิทยา
สาขา	เทคโนโลยีการผลิตพืช
คณะ	เทคโนโลยีการเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นุกูล ถวิลถึง

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการจัดการดินและน้ำต่อการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข.6 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม เพื่อประเมินผลของการจัดการดินร่วมกับการจัดการระบบการให้น้ำต่อการสะสมปริมาณแคดเมียมและสังกะสี ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 6 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม โดยทำการทดลองในกระถาง มีการจัดกลุ่มการทดลองแบบ 3 x 3 + 1 factorial in CRD (Completely Randomize Design) จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมี 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือ วิธีการใส่ปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิด (Triple Super Phospate: TSP, Diammonium Phosphate: DAP, Phosphate Rock: PR) โดยใส่ในอัตรา 5 kg/rai (0.3034 g phosphorus) และปัจจัยที่ 2 คือ การให้น้ำ 3 รูปแบบคือ (i) ให้น้ำอย่างเพียงพอ (Well water: WW) (ii) ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (Slightly dry-wet alternate irrigation: SD โดยมีการให้น้ำเมื่อศักย์ของน้ำมีค่า = -10 kPa) และ (iii) ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (Moderate dry-wet alternate irrigation: MD โดยมีการให้น้ำเมื่อศักย์ของน้ำมีค่า = -20 kPa) รวมทั้งหมด 9 ตำรับการทดลอง และมีตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยแต่มีการจัดการน้ำ 3 ตำรับเป็นตำรับควบคุม ทุกตำรับการทดลอง ยกเว้นตำรับควบคุมมีการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 24 kg/rai (1.4563 g nitrogen) และปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 6 kg/rai (0.3641 g potassium) ทำการปักดำข้าว 2 พันธุ์ ปลูกโดยใช้กล้าอายุ 1 เดือนจำนวน 4 ต้นต่อกระถาง การให้น้ำในระยะแรกตั้งแต่เริ่มปักดำจนถึงระยะออกดอก มีการให้น้ำปกติ (รักษาระดับน้ำที่ 5 cm) หลังจากข้าวออกดอก 7 วันจนถึงระยะเก็บเกี่ยว จัดระบบการให้น้ำเป็น 3 รูปแบบดังกล่าว ทำการเก็บเกี่ยวข้าวเมื่ออายุครบ 120 วัน โดยวัดการสะสมและการดูดดึงแคดเมียมและสังกะสี ทำการเก็บดินก่อนและหลังการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากผลการทดลองวิเคราะห์การสะสมแคดเมียมพบว่า ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไม่มีผลต่อการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆทั้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวพันธุ์ กข.6 ยกเว้นในส่วนของรากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยพบว่าการใส่หินฟอสเฟตจะส่งผลให้มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด (155 mg/Kg) ในขณะที่รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมของแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์ โดยพบว่าการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) จะส่งผลให้มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์เช่นเดียวกันและการวิเคราะห์การดูดดึงแคดเมียมพบว่า ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไม่มีผลต่อการดูดดึงแคดเมียมในส่วนต่างๆ ทั้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวพันธุ์ กข.6 ยกเว้นในส่วนของฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าในการใส่หินฟอสเฟตมีการดูดดึงแคดเมียมต่ำที่สุด (28.2 Kg/rai) ในขณะที่รูปแบบการจัดการน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมของแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์ โดยพบว่าการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) จะส่งผลให้มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์เช่นเดียวกัน ส่วนการสะสมสังกะสีพบว่า ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไม่มีผลต่อการสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ กข.6 ยกเว้นในส่วนของเมล็ดและราก โดยพบว่าในการที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด ในขณะที่รูปแบบการจัดการน้ำที่แตกต่างกันของข้าวทั้งสองพันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยในข้าวพันธุ์ กข.6 ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีในฟางข้าวและรากข้าว โดยการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างการสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ยกเว้นในข้าวกล้องพบว่า การจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) ส่งผลให้การสะสมสังกะสีต่ำที่สุด (47.11 mg/Kg) และเมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีในข้าวทั้งสองพันธุ์ และจากการวิเคราะห์การดูดดึงสังกะสีพบว่า ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้และรูปแบบการจัดการน้ำ ไม่ส่งผลต่อการดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แต่ส่งผลต่อการดูดดึงในข้าวพันธุ์ กข.6 โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด (475 Kg/rai) ส่วนในฟางข้าว การใส่หินฟอสเฟต (RP) มีการดูดดึงสังกะสีต่ำที่สุด (1,228 Kg/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่า การจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่ส่งผลต่อการดูดดึงสังกะสีในข้าวทั้งสองพันธุ์ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าว จากการทดลองครั้งนี้พบว่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของ FAO (0.4 mg/Kg) ประมาณ 5.45 – 10.98 เท่า สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ 3.25 – 11.53 เท่า สำหรับข้าวพันธุ์ กข. 6 ซึ่งถ้าหากบริโภคข้าวทั้งสองพันธุ์นี้ติดต่อกันเป็นเวลานานอาจจะส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์โดยก่อให้เกิด “โรคอิไตอิไต”ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลย หากไม่มีผู้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำข้อคิดที่เป็นประโยชน์และในโอกาสนี้จึงขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นุกูล ถวิลถึง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆทำให้การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนุจรี บุญแปลง และคุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ หลักสูตรปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และการเบิกใช้สารเคมี รวมทั้งป้าอั้มที่คอยอำนวยความสะดวกในการยืมและคืนอุปกรณ์ต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่ได้ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาและคอยเป็นกำลังใจสำคัญ ที่ทำให้ปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จันทนี เกลี้ยงมล

อุริศ พงศ์ถาวรสวัสดิ์

เมษายน 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาคผนวก	ค
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	33
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	45
สรุปผลการทดลอง	62
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางแสดงปริมาณแคดเมียมที่ส่งผลต่อร่างกาย	16
1.16.1	ค่ามาตรฐานมลพิษจากการประกอบการในเขตประกอบการเหมืองแร่และโลหกรรม	18
1.16.2	ค่ามาตรฐานมลพิษจากการประกอบการนอกเขตประกอบการเหมืองแร่และโลหกรรม	18
1.21.3	ตารางแสดงแหล่งปุ๋ยฟอสเฟตสำหรับนาข้าว	28
3.1	สมบัติทางเคมีของดิน	45
3.2	สมบัติทางกายภาพของดินก่อนการทดลอง	44
3.3	การสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	48
3.4	การดูดดึงของแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	49
3.5	การสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6	52
3.6	การดูดดึงแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6	53
3.7	การสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	55
3.8	การดูดดึงสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	57
3.9	การสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6	59
3.10	การดูดดึงสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาคผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	การสะสมแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	68
2	การสะสมแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6	69
3	การดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	71
4	การดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6	72
5	การสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	74
6	การสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6	75
7	การดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	77
8	การดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6	78
9	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	80
10	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	82
11	การเปรียบเทียบการดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	85
12	การเปรียบเทียบการดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	86
13	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	88
14	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	91
15	การเปรียบเทียบการดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	92
16	การเปรียบเทียบการดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

การปนเปื้อนของโลหะหนักของดินที่ทำการเกษตร นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนแคดเมียม ซึ่งมักจะมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ (เหมืองสังกะสี, ตะกั่วและทองแดง) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาไหม้กากของเสียหรือขยะจากโรงถลุงโลหะ จากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีแคดเมียมเจือปน และจากพื้นที่ฝังกลบขยะจากโรงงานอุตสาหกรมที่ใช้โลหะแคดเมียมเป็นต้น ประเทศไทยได้มีการรายงานปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียม เมื่อประมาณกลางเดือนมกราคม 2547 มีการสำรวจพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในพืชผลทางการเกษตรและในดินนาข้าว ในบริเวณตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก จากการสำรวจโดยสถาบัณการจัดการคุณภาพน้ำ (International Water Management Institute : IWMI) ในปี 2541- 2544 และ Voluntary Service Oversea (VSO,UK) ได้ร่วมดำเนินการศึกษาหาปริมาณแคดเมียมในดินนาข้าวและเมล็ดข้าวบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก สรุปผลการศึกษาพบความเข้มข้นของแคดเมียม จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน จำนวน 154 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 3.4 – 284 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือคิดเป็น 1.13 – 94 เท่า ของค่ามาตรฐานสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของประชาคมเศรษฐกิจยุโรป : The European Economic Community (EEC) Maximum Permissible (MB) (3.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และคิดเป็น 1,800 เท่าของค่าเฉลี่ยแคดเมียมในดินของประเทศไทย (0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)จากการวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดข้าวจำนวน 90 ตัวอย่าง พบแคดเมียมปนเปื้อน 0.1 – 44 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสูงเกินค่าเฉลี่ยแคดเมียมของข้าวในประเทศไทยที่พบเพียง 0.043 ± 0.019 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดดยค่าปนเปื้อนดังกล่าวร้อยล่ะ 95 สูงเกินค่ามาตรฐานสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของ CODEX Committee on food Additives and Contaminants (CCFAC) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในปี2544 – 2546 IMWMI และกรมวิชาการเกษตร ได้วิเคราะห์ตัวอย่างดิน 334 ตัวอย่างพบว่าดินนาข้าวมีแคดเมียมปนเปื้อน 0.46 – 218 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือคิดเป็น 72 เท่า ของ EEC MP และมากกว่า 1,450 เท่าของค่าเฉลี่ยแคดเมียมในดินของประเทศไทย จากการวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดข้าว จำนวน 434 ตัวอย่าง พบแคดเมียมปนเปื้อน < 0.01 – 7.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยค่าปนเปื้อนดังกล่าวร้อยล่ะ 84 สูงเกินค่ามาตรฐานสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของ CCFAC และคิดเป็น 38.5 เท่า ของค่ามตรฐานสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของ CCFAC

ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานทั้งทางด้านการเกษตร และสิ่งแวดล้อม ได้พยายามเข้าไปแก้ปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมดังกล่าว โดยการตัดปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมในห่วงโซ่อาหารที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชากร โดยการส่งเสริมให้เกษตรกรเปลี่ยนมาปลูกพืชพลังงานทดแทนโดยเฉพาะอ้อย อย่างไรก็ตามเนื่องจากพื้นที่เดิมเป็นแหล่งปลูกข้าวที่มคุณภาพและเป็นอาหารหลักของประชากรในท้องถิ่นและพื้นที่เดิมเป็นพื้นที่ลุ่มเหมาะแก่การปลูกข้าวจึงทำให้เกิดปัญหาเมื่อปลูกพืชอย่างอื่น ดังนั้นเกษตรกรจำนวนมากยังคงทำนาในบริเวณที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียมดังกล่าว โดยธรรมชาติแล้วแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้ดี และอยู่ในรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเข้าสู่ระบบชีวภาพ (bioavailability) ได้ ส่งผลให้พืชดูดดึงได้ในปริมาณสูง โดยเฉพาะข้าว (Cheng Wang- da et. al.) ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีในการลดการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าว โดยเฉพาะประเทสญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาชาจีน มีการศึกษาค่อนข้างหลาหหลาย เช้น การจัดการระพบการให้น้ำ (Takijima et. al. ,2008) การใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก (Sato et. al. 2010) การเลือกพันธุ์ข้าวที่ดูดดึงแคดเมียมในระดับต่ำ (Morishita et. al. 1987 , Arao and Ae,2003) การถมพื้นที่ปนเปื้อนด้วยดินที่ไม่มีการปนเปื้อนประมาณ 20 – 40 เซนติเมตร (Arao and Makino, 2010) การเติมปูนเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด – ด่างของดิน การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อลดการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในดิน (Thawornchaisit and Polprasert, C. 2009) การฟื้นฟูดินโดยวิธีกายภาพและเคมี และการบำบัดด้วยพืชสีเขียว (Sato et. al. 2010)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น มีการศึกษาค่อนข้างน้อยในประเทศไทย ดังนั้นถ้าหากได้มีการศึกษาหาเทคโนโลยีที่เหมาะสม กับสภาพภูมิอากาศ สภาพดิน และระดับการปนเปื้อน มีการลงทุนไม่สูงมากนัก และเกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ น่าจะสามารถลดระดับการปนเปื้อนแคดเมียมในข้าวและยังรักษาผลผลิตของข้าวให้อยู่ในระดับที่พอใจของเกษตรกรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการจัดการดินร่วมกับการจัดการระบบการให้น้ำต่อการสะสมปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ กข. 6 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การตรวจเอกสาร

1.1 สภาพบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.1.1ข้อมูลทั่วไป

ตำบลพระธาตุผาแดง เป็นตำบลที่ตั้งอยู่ในเขตการปกครองของอำเภอแม่สอดมีจำนวนหมู่บ้านทั้งสิน 6 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่บ้านค้างภิบาล หมู่บ้านหัวฝาย หมู่บ้านบ้านแม่ดาวใหม่ หมู่บ้านพะเด๊ะ หมู่บ้านถ้ำเสือหมู่บ้านขุนห้วยแม่สอด สภาพทั่วไปของตำบลพระธาตุผาแดง ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของที่ว่าการอำเภอแม่สอด ประมาณ 5 กิโลเมตร ห่างจากตัวจังหวัด 95 กิโลเมตร

จำนวนประชากรของตำบลและจำนวนประชากรในเขต อบต. 5,499 คน และจำนวนบ้านเรือน 1,837 หลังคาเรือน อาชีพของตำบล อาชีพส่วนใหญ่ของชาวบ้านในตำบลจะมีอาชีพทำนา อาชีพเสริมคือรับจ้างทั่วไป

1.2 ธรณีวิทยาของตำบลพระธาตุผาแดง

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ตำบลพระธาตุผาแดงจะเป็นแนวทางเดียวกันตั้งแต่ภาคเหนือตอนบน ได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอนทอดยาวมายังอำเภอแม่สอดจังหวัดตาก จนถึงทิศตะวันตกของประเทศไทย คือ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งรวมเรียกว่า “ธรณีวิทยาแนวแม่ฮ่องสอน-แม่สอด-ทองผาภูมิ” โดยชั้นหินที่สำคัญในแนวนี้ประกอบด้วยหินยุคไซลูเลียน-ดีโวเนียน-คาร์บอนิคเฟอรัส ส่วนใหญ่ได้แก่ หินเชิร์ต หินดินดาน หินทราย สลับชั้นกับชั้นหินปูน โดยมีหินทรายแดงและหินกรวดมนคาร์บอนิคเฟอรัสวางตัวอยู่บนแนวเทือกเขาต่อลงมาทางใต้ในเขตทองผาภูมิ พบหินส่วนใหญ่เป็นหินตะกอน หินอัคนีและหินแปรเพียงเล็กน้อย ซึ่งเชื่อว่าเป็นหินยุคแคมเบรียน พบเป็นแนวยาวอยู่สองบริเวณคือ บริเวณน้ำตกคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร และแนวระหว่างลำน้ำแควใหญ่กับแควน้อย ช่วงระหว่างอำเภอศรีสวัสดิ์ กับอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี โดยต่อเนื่องลงมาตามแนวลำน้ำแควใหญ่ถึงบริเวณด้านใต้ของอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นหินปูนและหินตะกอนมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง ยุคออร์โดวินเชียน-ดีโวเนียน ที่ถูกแปรสภาพขั้นต่ำไม่รุนแรงมากนัก ส่วนหินยุคดีโวเนียน-คาร์บอนิคฟอสฟอรัส พบอยู่บริเวณด้านตะวันตกของแม่น้ำแควน้อยต้อเนื่องลงไปทางใต้ ลักษณะประการหนึ่งในพื้นที่นี้ คือหินปูนยุคเพอร์เมียน หินทรายและหินทรายแป้งสีแดงที่เกิดจากการสะสมตัวในทะเลหมายุคมีโซโซอิกแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขึ้นไปถึงเขตอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สายแร่ของตำบลพระธาตุผาแดง

เนื่องจากแคดเมียมมีคุณสมบัติเหมือนแร่สังกะสีจึงทำให้พบธาตุทั้งสองชนิดอยู่ด้วยกันในธรรมชาติซึ่งสังกะสีจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบแต่แคดเมียมเป็นสารพิษจึงไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์สำหรับประเทศไทยพบแร่สังกะสีหลายแห่งแต่ส่วนใหญ่จะพบว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยที่พบพบเป็นแหล่งใหญ่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจซึ่งได้ดำเนินโครงการทำเหมืองและมีการผลิตในปัจจุบัน ได้แก่ แหล่งสังกะสีผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก ส่วนบริเวณที่มีศักยภาพทางแร่สังกะสีที่น่าสนใจได้แก่ บริเวณด้านตะวันตกของประเทศไทย ตั้งแต่จังหวัดแม่ฮ่องสอนลงมาจนถึงจังหวัดเพชรบุรี โดยมีบริเวณที่สำคัญๆ เช่น อ.แม่สอด จ.ตาก อ.ทองผาภูมิ จ. กาญจนบุรี (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี)

1.4 การปนเปื้อนในดินบริเวณที่ทำการศึกษา

เมื่อประมาณกลางเดือนมกราคม 2547 เกี่ยวกับการสำรวจ พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในพืชผลทางการเกษตรและในดินนาข้าว บริเวณตำบลพระธาตุผาแดงและตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตากของ IWMI (International Water Management Institute) ซึ่งเป็นองค์กรนานาชาติอิสระที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำและดินในประเทศกำลังพัฒนาได้ก่อให้เกิดความเคลื่อนไหวในชุมชนท้องถิ่น หน่วยงานของรัฐทั้งในส่วนกลางและท้องที่ และองค์กรอิสระที่เกี่ยวข้องด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อสืบค้นข้อมูล สำรวจสภาพพื้นที่ ตรวจสอบข้อเท็จจริง พิสูจน์หาสาเหตุและแหล่งที่มาของการปนเปื้อนและพิจารณาแนวทางการป้องกันแก้ไขปัญหา เป็นต้น

ในปี 2541 – 2544 IWMI และ Voluntary Service Oversea (VSO, UK) ได้ร่วมดำเนินการ ศึกษาหาปริมาณแคดเมียมในดินนาข้าวและเมล็ดข้าวบริเวณบ้านพะเด๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก สรุปผลการศึกษาพบความเข้มข้นของแคดเมียมในตัวอย่างดินที่เก็บจากที่นา จำนวน 154 แปลง มีค่าอยู่ในช่วง 3.4 – 284 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือคิดเป็น 1.13 – 94 เท่า ของค่าอนุโลม สูงสุดที่ยอมให้มีได้ของประชาคมเศรษฐกิจยุโรป : The European Economic Community (EEC) Maximum Permissible (MP) (3.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และคิดเป็น 1,800 เท่าของค่าเฉลี่ยแคดเมียม ในดินของประเทศไทย (0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) สำ หรับคุณภาพเมล็ดข้าวซึ่งเก็บตัวอย่างจากที่นา จำนวน 90 แปลง พบแคดเมียมปนเปื้อน 0.1 – 44 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสูงเกินค่าเฉลี่ยแคดเมียมในข้าวของประเทศไทยที่พบเพียง 0.043 + 0.019 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยค่าปนเปื้อนดังกล่าวร้อยละ 95 สูงเกินร่างอนุโลมสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของ CODEX Committee on Food Additives and Contaminants (CCFAC) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ต่อมาในปี 2544 – 2546 IWMI และกรมวิชาการเกษตร ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินนาข้าวจาก 334 แปลงนาที่ได้รับน้ำจากร่องน้ำขุดชลประทานที่ผันน้ำจากห้วยแม่ตาว บริเวณตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก และสรุปผลว่าดินนาข้าวมีแคดเมียมปนเปื้อน 0.46 – 218 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือคิดเป็น 72 เท่าของ EEC MP และมากกว่า 1,450 เท่าของค่าเฉลี่ยแคดเมียมในดินของประเทศไทย สำ หรับคุณภาพเมล็ดข้าวซึ่งเก็บตัวอย่างจากที่นาจำ นวน 434 แปลง พบแคดเมียมปนเปื้อน<0.01 – 7.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปนเปื้อนดังกล่าวร้อยละ 84 สูงเกินร่างอนุโลมสูงสุดที่ยอมให้มี ได้ของ CCFAC และคิดเป็น 38.5 เท่าของร่างอนุโลมสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของ CCFAC

1.5 การดำเนินงานของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ได้รับแจ้งผลการสำรวจพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมดังกล่าวข้างต้นจาก IWMI เมื่อประมาณกลางปี 2545 และด้วยความตระหนักดีถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ตลอดจนผลกระทบที่จะเกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อชุมชน เนื่องจากการพบแคดเมียมปนเปื้อนในเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลักและสินค้าส่งออกของประเทศไทยเป็นเรื่องละเอียดอ่อนที่ต้องการการวางแผนจัดการและแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมรอบคอบโดยไม่ก่อให้เกิดความตื่นตระหนกในสังคม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่จึงได้ส่งเจ้าหน้าที่จากสำ นักบริหารและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมเข้าสำรวจสภาพพื้นที่และเก็บตัวอย่างคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดิน น้ำ ตะกอนธารน้ำ และหางแร่ จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนมีนาคมและพฤษภาคม 2546 เพื่อพิสูจน์หาสาเหตุ แหล่งที่มาและความรุนแรงของปัญหาผลกระทบจากการแพร่กระจายของแคดเมียม รวมถึงเสนอแนะแนวทางมาตรการป้องกันแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป

1.6 ผลการศึกษาสำรวจดิน

จากการเจาะเก็บตัวอย่างและตรวจวิเคราะห์คุณภาพดินตามความลึกทุก 20 เซนติเมตร จากผิวดินถึงระดับลึก 1 - 2 เมตร จำนวน 28 หลุม ในพื้นที่ตำบลพระธาตุผาแดง ตำบลแม่ตาว และตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด พบดินในบริเวณต้นน้ำห้วยแม่ตาวและห้วยแม่กุก่อนไหลผ่านพื้นที่ศักยภาพแร่สังกะสีซึ่งเป็นที่ตั้งประทานบัตรเหมืองแร่ของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) และ บริษัท ตากไมนิ่ง จำกัด รวม 10 แปลง มีแคดเมียมอยู่ในระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ถึงต่ำมากตลอดความลึกของชั้นดินที่เก็บตัวอย่างหนา 1 เมตร สำหรับบริเวณแหล่งศักยภาพแร่สังกะสีซึ่งเป็นเทือกเขาสูงและพื้นที่ราบตะกอนเชิงเขา (colluvial plain) ทางทิศตะวันตกซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พบปริมาณแคดเมียมในดินสูงเกิน(ร่าง)มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและการเกษตร (37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) แต่ไม่เกิน(ร่าง)มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อธุรกิจบริการ อุตสาหกรรมหรือกิจกรรมอื่นๆ (810 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยส่วนใหญ่จะพบแคดเมียมปนเปื้อนตั้งแต่ระดับผิวดินจนถึงความลึกประมาณ 0.6 - 2 เมตร ด้วยความเข้มข้น 49 - 430 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนพื้นที่ราบตะกอนน้ำพา (alluvial plain) ตอนล่างถัดไปซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเช่นกัน พบปริมาณแคดเมียมในดินสูงเกิน(ร่าง)มาตรฐาน เล็กน้อยตั้งแต่ระดับผิวดินจนถึงความลึก 0.2- 0.4 เมตร โดยอยู่ในช่วง 37 - 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

และมีค่าลดลงและตื้นขึ้นตามระยะห่างจากแหล่งศักยภาพแร่สังกะสี จนกระทั่งอยู่ในเกณฑ์(ร่าง)มาตรฐานด้วยระยะห่างประมาณ 4 กิโลเมตร นอกจากนั้นยังพบว่าดินบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งอยู่ทางทิศเหนือและรองรับน้ำล้นจากกิจกรรมเหมืองแร่ทั้งหมด และดินบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่กุซึ่งอยู่ทางทิศใต้และไม่มีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับกิจกรรมการทำ เหมือง ต่างก็มีปริมาณแคดเมียมและสังกะสีสูงตลอดความลึกตั้งแต่ผิวดินจนถึง 0.6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 การติดตามเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ได้ดำเนินการตรวจสอบและกำกับดูแลการทำเหมืองของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) และบริษัท ตากไมนิ่ง จำกัด ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 แผนผังโครงการทำเหมืองและมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอตลอดมาซึ่งผลการติดตามตรวจสอบไม่ปรากฏพบสัญญาณหรือความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดปัญหาแต่ประการใด ประกอบกับการประมวลผลการตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ ตะกอนธารน้ำและตะกอนหางแร่ บริเวณประทานบัตรเหมืองแร่ของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำ กัด (มหาชน) และบริษัท ตากไมนิ่ง จำ กัด โดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่และโดยบริษัททั้งสอง รวมประมาณ 100 ครั้ง ตั้งแต่ปี 2535 จนถึงปัจจุบัน พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีปริมาณโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม สังกะสี ตะกั่ว ปรอท แมงกานีส และเงิน ปนเปื้อนโดยรวมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินมาโดยตลอด สำหรับตะกอนธารน้ำพบปริมาณแคดเมียมสูงในบริเวณประทานบัตร เช่น บ่อกักเก็บหางแร่และบ่อดักตะกอน ซึ่งอยู่ ในพื้นที่จำกัดและสามารถควบคุมไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ นอกจากนั้นความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำและดินในพื้นที่ดังกล่าวมีความเป็นกลางถึงด่าง (pH ประมาณ 7 – 8.5) ทำให้โลหะหนักส่วนใหญ่ตกตะกอนไม่ละลายน้ำ และไม่สามารถเคลื่อนที่หรือแพร่กระจายไปไกลจากแหล่งกำเนิด

1.8 สาเหตุและแหล่งที่มาการปนเปื้อนแคดเมียม

จากการประมวลผลการสำรวจสภาพพื้นที่ เก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม และติดตามเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยรอบพื้นที่ประทานบัตรเหมืองแร่สังกะสี กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ประเมินว่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณ ตำบลพระธาตุผาแดง ตำบลแม่ตาวและตำบลแม่กุ มีสาเหตุหลักมาจากกระบวนการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติของพื้นที่ตั้งแต่อดีตกาลยุคควอเทอร์นารี (Quaternary, 1.8 ล้านปีถึงปัจจุบัน) ภายหลังจากการยกตัวครั้งสุดท้ายของเทือกเขาหินปูนซึ่งเป็นแหล่งศักยภาพแร่สังกะสี โดยการยกตัวของแผ่นดินทำให้เกิดการพังทลายและพัดพาตะกอนดินและหินจากเทือกเขาแหล่งแร่สังกะสีที่มีแคดเมียมเกิดร่วมอยู่ด้วย มาทับถมสะสมตัวในบริเวณที่ราบตะกอนเชิงเขาและที่ราบตะกอนน้ำพาตอนล่าง จนกระทั่งมีความหนาเพิ่มขึ้น ดังปรากฏตามหลักฐานที่ขุดเจาะสำรวจพบแคดเมียมปนเปื้อนในดินบริเวณที่ราบตะกอนเชิงเขา มีความเข้มข้นสูงผิดปกติตลอดความลึกหนาถึง 0.6 - 2 เมตร โดยปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมและความหนาของชั้นดินที่พบการปนเปื้อนจะลดลงตามลำดับจากที่ราบตะกอนเชิงเขาตามระยะห่างจากเทือกเขาแหล่งศักยภาพแร่ไปสู่ที่ราบตะกอนน้ำพาตอนล่าง

เหตุผลสนับสนุนอีกประการหนึ่งต่อ ข้อสรุปที่ว่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมบริเวณอำเภอแม่สอด มีสาเหตุมาจากกระบวนตามธรรมชาติเป็นสำคัญ คือ การพบปริมาณแคดเมียมและสังกะสีปนเปื้อนสูงผิดปกติในชั้นดินและตะกอนธารน้ำของทั้งลุ่มน้ำห้วยแม่ตาวซึ่งรองรับน้ำล้นจากกิจกรรมเหมืองแร่และลุ่มน้ำห้วยแม่กุซึ่งอยู่ฝั่งตรงกันข้ามและไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมเหมืองแร่เนื่องจากทั้งสองห้วยต่างก็มีลำน้ำสาขาไหลมาจากยอดเขาเดียวกันที่เป็นแหล่งศักยภาพให้แร่สังกะสีและมีแคดเมียมเกิดร่วมอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 มาตรการป้องกันและแก้ไข

1.9.1 การตรวจสอบและกำกับดูแลการทำเหมือง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ จะดำเนินการติดตามตรวจสอบ กำกับดูแลและเฝ้าระวังการทำเหมืองแร่สังกะสีบริเวณ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ให้เป็นไปตามกฎระเบียบและข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 มีการดำเนินการถูกต้องและปลอดภัยตามแผนผังโครงการทำเหมืองและปฏิบัติตามมาตรการป้องกันแก้ไขและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยเคร่งครัดอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เพื่อการป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ ของประชาชน

1.9.2 มาตรการลดการปนเปื้อนของแคดเมียม

เพื่อการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินนาข้าวไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพพืชผลและสุขภาพอนามัยของประชาชนอำเภอแม่สอด กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ขอนำเสนอมาตรการเพื่อการบริหารจัดการด้วยกรรมวิธีที่สามารถดำเนินการในพื้นที่โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายดิน (In-Situ Cadmium Immobilization) ตามที่ได้รวบรวมและประมวลผลมาจากผลงานการวิจัยของสถาบันต่างๆ ร่วมกับผลการศึกษาสำรวจสภาพพื้นที่จริงบริเวณอำเภอแม่สอดดังนี้

1) มาตรการลดปริมาณแคดเมียมในรูปแบบที่พืชสามารถดูดซึมผ่านระบบรากได้ (Bio-availability)

1.1) การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH Manipulation) โดยใช้ $CaCO_3$ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของดินให้ไม่น้อยกว่า 8.5 ซึ่งจะทำ ให้ Cd^{+2} ตกตะกอนอยู่ในรูปของ CdCO3 (Octavite) ดังอาจอธิบายได้จาก Eh-pH ไดอะแกรมของแคดเมียม

1.2) การปรับเปลี่ยนวิธีการปลูกข้าวในระบบชลประทานโดยควบคุมระดับน้ำให้ท่วมแปลงนาอยู่เสมอ (Irrigation/redox Management) โดยเฉพาะในช่วงเมล็ดข้าวกำ ลังเจริญเติบโต เพื่อลดปริมาณแคดเมียมละลายจากแร่กรีนอคไคต์ (Greenockite : CdS) โดยการรักษาระดับ redox ของดินไว้ที่ -150 ถึง -200 mV

1.3) การเพิ่มขีดความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของดิน (Manipulation of Soil Adsorption Capacity) โดยการเติมแร่ดิน (Clay Minerals) เช่น แร่เบนโทไนต์ (Bentonite) แร่ดินขาว (Kaolinite) และแร่ซีโอไลต์ (Zeolite) หรือดินโคลนจากการล้างถ่านหิน (Coal-washing Fines) และของแข็งชีวมวลจากระบบบำบัดน้ำเสีย (Water Treatment Biosolids) เพื่อลดปริมาณแคดเมียมในรูปแบบที่พืชสามารถดูดซึมผ่านระบบรากได้

2) มาตรการลดปริมาณแคดเมียมในดินโดยการปลูกพืชที่ทนทานและสามารถดูดซึมโลหะได้เป็นปริมาณมาก (Phytoremediation : Cultivation of Hyperaccumulator Crops) กระทำโดยการปลูกพืชที่สามารถทนทานและดูดซึมแคดเมียมได้เป็นปริมาณมาก ได้แก่ *Thlaspi caerulescens* (Alpine Pennycress) โดยเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ จะสามารถเก็บเกี่ยวและนำไปกำจัดโดยการเผาหรือทิ้งในพื้นที่ที่มีแคดเมียมปนเปื้อนน้อย นอกจากนั้นพืชให้น้ำมันจากเมล็ด(Oilseed Crop) เช่น *Brassica juncea* (Indian Mustard)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ *Carthamus tinctorius* (Safflower : พืชจำ พวกคำฝอย) ยังสามารถดูดซึมและสะสมแคดเมียมที่ลำต้นและใบได้มากโดยไม่ปนเปื้อนในน้ำมันหรือเมล็ด ทำให้ได้ผลตอบแทนเชิงพาณิชย์ในขณะที่ทำ การบำบัดพื้นที่ดินปนเปื้อนไปด้วย

3) มาตรการปลูกพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหาร (Cultivation of Non-food Crops) ในกรณีที่แปลงนาใดมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนสูงมากและไม่สามารถใช้วิธีการดังกล่าวข้างต้นได้ ให้เปลี่ยนมาปลูกพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหารแทน โดยพืชที่ปลูกอาจเป็นไม้ยืนต้นโตเร็วที่ ให้ผลทางเศรษฐกิจไม่น้อยกว่าการปลูกข้าวของราษฎรในปัจจุบันเช่น ยูคาลิปตัส เป็นต้น

4) มาตรการลดการดูดซึมแคดเมียมในร่างกายมนุษย์

เนื่องจากผลงานวิจัยจำนวนมากพบว่าการบริโภคสังกะสี เหล็ก และแคลเซียม ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ จะสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคข้าวที่มีแคดเมียมปนเปื้อนได้ เพราะธาตุเหล่านี้สามารถลดการดูดซึมและแพร่กระจายของแคดเมียมในอวัยวะและเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกายการรับประทานข้าวกล้องเป็นประจำ จึงเป็นมาตรการหนึ่งที่ควรดำ เนินการโดยเร่งด่วน เนื่องจากข้าวกล้องมีสังกะสีและเหล็กสูงในเยื่อหุ้มเมล็ด

1.10 แผนงานดำเนินการในระยะยาว

เพื่อการวางแผนการบริหารจัดการสภาพปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมอย่างเป็นรูปธรรมและครบวงจร ในปีงบประมาณ 2547 กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ได้ดำเนินโครงการกำหนดมาตรฐานมลพิษและการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหกรรม เพื่อศึกษาชนิดของมลพิษและปริมาณการปล่อยมลพิษจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหะ ชนิดแร่สังกะสี จังหวัดตาก ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน สำหรับกำหนดค่ามาตรฐานการระบายมลพิษ พร้อมทั้งเสนอแนะมาตรฐานวิธีการจัดการมลพิษจากการประกอบ อุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหการชนิดแร่สังกะสีขึ้นโดยเฉพาะให้มีความชัดเจนเหมาะสมและทันต่อสถานการณ์ เพื่อให้บรรลุมาตรฐานการระบายมลพิษที่กำหนด โดยได้มอบหมายให้คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นผู้ดำเนินการศึกษา

บริเวณที่ได้ทำการศึกษาคือ บ้านพะเด๊ะ ต.พระธาตุผาแดง อ.แม่สอด จ.ตาก เป็นอำเภอหนึ่งทางตอนกลางของจังหวัดตาก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนจะอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว ซึ่งการปนเปื้อนนี้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือมีการทำเหมืองสังกะสีบริเวณยอดเขา ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแหล่งที่สำคัญที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค และการเกษตรกรรมในพื้นที่ดังกล่าว เนื่องจากแคดเมียมมีสมบัติใกล้เคียงกับสังกะสีทุกประการ ซึ่งมักอยู่รวมกันกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds) มีสีเหลืองและมักปนกับแร่สังกะสีซัลไฟด์เมื่อมีการปิดหน้าดินจากการทำเหมือง จึงทำให้แคดเมียมปะปนออกมาจากการชะล้างของน้ำฝนและไหลลงสู่ลำห้วยแม่ตาวในรูปของดินตะกอน ซึ่งผลการศึกษาขององค์กรนานาชาติ IWMI (International Water Management Institute) ซึ่งเป็นองค์กรนานาชาติอิสระที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำและดินในประเทศกำลังพัฒนาพบว่าในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณแร่แคดเมียมในดินเกินมาตรฐานสูงมากจนส่งผลต่อสุขภาพประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว พบความเข้มข้นของแคดเมียมในตัวอย่างดินที่เก็บจากที่นา จำนวน 154 แปลง มีค่าอยู่ในช่วง 3.4 –

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

284 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือคิดเป็น 1.13 – 94 เท่า ของค่าอนุโลมสูงสุดที่ยอมให้มีได้ขอประชาคมเศรษฐกิจยุโรป : The European Economic Community (EEC) Maximum Permissible (MP) (3.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และคิดเป็น 1,800 เท่าของค่าเฉลี่ยแคดเมียมในดินของประเทศไทย (0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยธรรมชาติแคดเมียมที่อยู่ในตะกอนดินหากมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7.7 จะอยู่ในรูป $Cd_3(PO_4)^2$ และจะอยู่ในรูป $CdCO_3$ เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 7.7 (Sadiq, 1992) หลังจากนั้นก็จะปนเปื้อนไปกับกระแสน้ำในลำห้วยจนถึงบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่เกิดปัญหาเมื่อเกษตรกรทำการปลูกข้าวแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดินก็จะถูกดูดขึ้นไปสะสมส่วนต่างๆของข้าวในรูปแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) สำหรับคุณภาพเมล็ดข้าวซึ่งเก็บตัวอย่างจากที่นาจำนวน 90 แปลง พบแคดเมียมปนเปื้อน 0.1 – 44 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสูงเกินค่าเฉลี่ยแคดเมียมในข้าวของประเทศไทยที่พบเพียง 0.043 + 0.019 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยค่าปนเปื้อนดังกล่าวร้อยละ 95 สูงเกินร่างอนุโลมสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของ CODEX Committee on Food Additives and Contaminants (CCFAC) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

1.11 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแคดเมียมและสังกะสี

1.11.1 ลักษณะโดยทั่วไปของแคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุในกลุ่มโลหะทรานซิชั่น จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับธาตุสังกะสีในตารางธาตุ สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cd ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เลขอะตอม	48
น้ำหนักอะตอม	112.40
ความหนาแน่น	8.65 $g \cdot cm^{-3}$
จุดหลอมเหลว	321 $^{\circ}C$
จุดเดือด	765 $^{\circ}C$
Covalent Radii	1.48×10^{-10} m

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน สามารถดัดและตีแผ่ได้ ละลายได้ในกรดทุกชนิด และละลายได้ดีในสารละลายเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) แคดเมียมไอออนไม่มีสีและเลขออกซิเดชั่น เท่ากับ +2 ในธรรมชาติจะพบแคดเมียมในรูปสินแร่ กรีนนอกไคท์ (Cds) และโอตาไวท์ ($CdCO_3$) โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะพบปะปนอยู่กับสินแร่โลหะซัลไฟด์อื่นๆ เช่น ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เมื่อเข้าสู่กระบวนการถลุงแร่แล้วจะได้สินแร่แคดเมียมซัลไฟด์ เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้โดยเฉพาะสินแร่สังกะสี เช่น Shalerite (ZnS) หรือ Calamine ($ZnCO_3$) จะพบแคดเมียมปะปนอยู่ประมาณร้อยละ 0.3 - 0.1 ออกมาถึงร้อยละ 3 (ศุภมาศ, 2539)

แคดเมียมพบกระจายอยู่ตามธรรมชาติในปริมาณที่น้อยแต่อาจพบมากในบางแหล่งที่มีการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ ความเข้มข้นของแคดเมียมในแหล่งน้ำจืดธรรมชาติน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/ลิตร ในน้ำทะเลพบแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.04-0.30 ไมโครกรัม/ลิตร สำหรับในดินมีแคดเมียมน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าหินตะกอนมีแคดเมียมอยู่ในช่วง 2-10 ppm. ซึ่งปริมาณแคดเมียมนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของดินสลายมาจากหินชนิดใด 0.1-1 ppm. และดินที่สลายจากหินตะกอนมีแคดเมียมประมาณ 0.3-11 ppm. (ฉัตรสินี, 2545)

แคดเมียม เป็นโลหะที่พบในสินแร่สังกะสี ตะกั่วและทองแดง โดยแคดเมียมเป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่ดังกล่าว แคดเมียมเป็นโลหะสีขาวเทา มีลักษณะอ่อนดัดได้ ภาวะพิษจากแคดเมียมเป็นภาวะพิษที่มีความสำคัญทางสาธารณสุขชนิดหนึ่ง เพราะโลหะชนิดนี้อาจมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อประชากรเป็นวงกว้าง ดังที่เคยปรากฏว่ามีการรับสัมผัสสารแคดเมียมในเขตโทยามา ในลุ่มน้ำจินซู ประเทศญี่ปุ่น พ.ศ. 2493 โดยเกิดจากการปนเปื้อนแคดเมียมในน้ำในระบบชลประทานทำให้มีการปนเปื้อนแคดเมียมในข้าวที่เพาะปลูกและบริโภคในบริเวณดังกล่าว จนเกิดโรค อิไต อิไต (Itai-itai) การปนเปื้อนในครั้งนั้นมาจากการทำเหมืองแร่ สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ในประเทศไทยมีการพบการปนเปื้อนในน้ำและนาข้าว บริเวณแม่ตาว ในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ในพ.ศ. 2547

แคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ ทางการหายใจ และจากทางเดินอาหาร โดยการดูดซึมในทางเดินหายใจในรูปไอหรือฝุ่นของแคดเมียมและมีการดูดซึมที่ปอดได้ประมาณร้อยละ 25 การดูดซึมนี้จะมากขึ้นถ้ามีการสัมผัสร่วมกับการสูบบุหรี่ ในทางเดินอาหารแคดเมียมจะถูกดูดซึมประมาณร้อยละ 5 และจะถูกดูดซึมเพิ่มขึ้นในผู้ที่มีภาวะขาดแคลเซียมและเหล็กในร่างกาย แคดเมียมในกระแสเลือดจับอยู่กับเม็ดเลือดแดงและการกระจายเข้าสู่ตับและจับกับโปรตีนอัลบูมิน และ metallothionein ในร่างกาย แคดเมียมจะถูกกำจัดออกจากร่างกายทางปัสสาวะและถูกดูดกลับไปสะสมที่ไตทำให้เกิดภาวะพิษต่อไต

อาการและอาการแสดง อาการเฉียบพลัน เกิดจากการหายใจเอาแคดเมียมในบรรยากาศเข้าไปในปริมาณเกิน 1 มก./ลบ.ม. ใน 8 ชั่วโมงของการทำงาน จะก่อให้เกิดโรคปอดอักเสบสารเคมี และกรณีที่รุนแรงจะเกิดภาวะปอดบวมน้ำ โดยทั่วไปจะเกิดภายใน 1-8 ชั่วโมงหลังจากได้รับไอควัน การหายใจเอาไปควันแคดเมียมออกไซด์ที่มีระดับสูงเกินกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง อาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 4-7 วัน ทางการกิน การได้รับแคดเมียมทางการกินอาหารที่เป็นกรดหรือเครื่องดื่ม ซึ่งมีแคดเมียมเกินกว่า 15 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อให้เกิดอาการแบบอาหารเป็นพิษ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องท้องเสีย และอาจเสียชีวิตได้จากการช็อคจากการเสียน้ำและเกลือแร่ในร่างกาย หรือไตวาย การกินแคดเมียมเข้าไปเกินกว่า 300 มิลลิกรัมจะทำให้เสียชีวิตได้

อาการเรื้อรัง ฝุ่นแคดเมียมออกไซด์ ทำให้เกิดพังผืดในเนื้อปอด และเกิดโรคถุงลมโป่งพอง และอาจเปลี่ยนแปลงเป็นพิษแคดเมียมเรื้อรังเฉพาะที่ได้ เช่น ในทางเดินหายใจ และการทำลายไต พบมีโปรตีนในปัสสาวะ ซีด เป็นต้น

นอกจากนี้ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเป็นระยะเวลานานจะพบลักษณะผิดปกติของกระดูก ได้แก่ ภาวะกระดูกอ่อน กระดูกพรุน ทำให้กระดูกหักง่าย ผู้ป่วยจะมีอาการปวดกระดูกขา เดินลำบาก และเกิดกระดูกโค้งและหักชนิด pseudofracture เวลาเดินจะปวดและร้องเจ็บ (อิไต อิไต) ทั้งหมดนี้เป็นผลโดยตรงของแคดเมียมต่อเมตาบอลิซึมของกระดูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.11.2 ลักษณะโดยทั่วไปของสังกะสี

สังกะสีเป็นธาตุในกลุ่มโลหะทรานซิชั่น จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับธาตุแคดเมียมในตารางธาตุ สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Zn ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เลขอะตอม	30
น้ำหนักอะตอม	65.38
ความหนาแน่น	7.14 $g \cdot cm^{-3}$
จุดหลอมเหลว	419.53 °C
จุดเดือด	907 °C
Covalent radius	122±4 pm

สังกะสีเป็นโลหะมันวาวสีฟ้าอ่อน หรือเป็นผงสีเทา คงรูปในอากาศแห้ง และจะถูกหุ้มด้วยคาร์บอเนตในอากาศชื้น พบในอากาศส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ZnO, ZnS และ $ZnSO_4$ จาก อุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การบด ย่อยแร่ ส่วนประกอบรั้วบ้านหลังคา หรือวัสดุ อื่นที่ใช้สังกะสีเป็นโลหะผสม นอกจากนี้ยังเกิดจากสารประกอบของสังกะสีที่นำมาทำยาฆ่าเชื้อรา เช่น zinc dimethyl dithiocarbamate ผลที่เกิดต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วง ถ้าได้รับไอฝุ่นของ Zn เข้าร่างกายมาก ๆ จะเกิดอาการไข้ที่เรียกว่า Zinc chills ซึ่งมีอาการจับไข้ หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน

ความสำคัญของสังกะสีต่อพืช (Importance of zinc for plants) สังกะสีมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด รวมทั้งพืช สังกะสีเป็นสารที่ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ในการทำปฏิกิริยา สังกะสีมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับขบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ของพืช ได้แก่ การสังเคราะห์ด้วยแสง และการสร้างน้ำตาล การสังเคราะห์โปรตีน การเจริญพันธุ์ และการเพาะด้วยเมล็ด การเติบโตอย่างสม่ำเสมอ การต้านทานโรค

การขาดสังกะสี (Zinc deficiency) เมื่อพืชได้รับสังกะสีในปริมาณที่ไม่เพียงพอ การทำงานของระบบชีวเคมีจะถูกทำลาย ซึ่งจะส่งผลต่อความสมบูรณ์และการเจริญเติบโตของพืชในทางลบ มีผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำ (หรืออาจจะเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่ได้) และคุณภาพไม่ดี ในกรณีที่มีการขาดสังกะสีอย่างรุนแรง จะสามารถสังเกตได้จากอาการต่างๆ เช่น ใบไม้มีสีเหลืองโดยที่เส้นของใบไม้ยังเขียวอยู่ (interveinal chlorosis) ใบไม้มีสีเหลืองแดง (bronzing of chlorotic leaves) ใบไม่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างผิดปกติ แคระแกร็น (stunting) และใบงอกเป็นกระจุก (resetting) อาการแอบแฝง เช่น ผลผลิตลดลงอย่างมาก อาจไม่สามารถตรวจพบเป็นเวลาหลายปีจนกว่าจะมีการทดสอบดิน หรือวินิจฉัยโรคพืช

จากการศึกษาขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization / FAO) พบว่าสังกะสีเป็นธาตุที่ขาดมากที่สุดธาตุหนึ่งในบรรดาสารอาหารรอง ซึ่งส่งผลกระทบเป็นวงกว้างต่อดินหลายชนิดในหลายพื้นที่การเพาะปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเอเชีย แอฟริกา และตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลาง นอกจากนี้ยังรวมถึงเม็กซิโก สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย พืชหลายชนิดได้รับผลกระทบจากการขาดสังกะสี รวมถึง พืชซึ่งเป็นสินค้าสำคัญของประเทศ เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และอื่นๆ, ผลไม้ต่างๆ เช่น มะนาว มะกรูด แอปเปิล ฝรั่ง สับปะรด และอื่นๆ, ถั่ว กาแฟ ชา, ผักต่างๆ เช่น ผักกาดแดง มันฝรั่ง มะเขือเทศ และอื่นๆ, พืชที่รับประทานไม่ได้ เช่น ฝ้าย ต้นแฟลกซ์ที่นำมาทำผ้าลินิน และอื่นๆ

1.12 แหล่งกำเนิดของแคดเมียมและสังกะสี

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติน้อย และหาค่อนข้างยากในสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่นๆ มักจะอยู่ในรูปสารประกอบซัลไฟด์ เป็นแคดเมียมซัลไฟด์ในรูปของ แร่ Greenockite (Cds) หรืออีกลักษณะหนึ่งคือ ปะปนในปริมาณน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นโลหะแคดเมียมส่วนใหญ่ จึงเป็นผลิตผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แร่โลหะอื่นๆประมาณ 0.3-1.0% ในเปลือกโลกมีแคดเมียมโดยเฉลี่ย 0.15-0.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัมในหินแกรนิตและหินแปรมีแคดเมียมน้อยกว่า1มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ในหินชั้นอาจมีแคดเมียม สูงถึง 11 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือสูงกว่านี้ โดยมีมากในหินดินดานที่มีปริมาณอินทรีย์สูง ในดินตะกอนของทะเลสาบ ในก้อนแมงกานีสออกไซด์ในมหาสมุทรและฟอสฟอไรต์ ในดินที่ยังไม่ถูกปนเปื้อนด้วยแคดเมียมจะมีปริมาณเฉลี่ยน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ปริมาณแคดเมียมในดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและการกำเนิดของดิน ดินที่กำเนิดจากหินชั้นจะมีปริมาณแคดเมียมได้น้อยกว่า ซึ่งมีรายงานว่าเคยพบปริมาณแคดเมียมสูงกว่า 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำประปา แคดเมียมในสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในที่สุด แต่ในแคดเมียมที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติยังมีปริมาณไม่สูงถึงขั้นเป็นพิษเป็นภัยต่อสิ่งมีชีวิต (ตีรณรรภ, 2549)

1.13 การเกิดปฏิกิริยาในดินของแคดเมียมและสังกะสี

1.13.1 ปฏิกิริยาในดินของแคดเมียม

แคดเมียมในหินอัคนีและหินตะกอนจะมีปริมาณไม่เกิน 0.3 ppm. และจะพบอยู่ร่วมกับสังกะสีเสมอ แต่ในดินที่เป็นกรดแคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ดีกว่าสังกะสี และแคดเมียมมีรูปสารประกอบได้เช่นเดียวกันกับกลุ่มแคตไอออน Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}

ในการสลายตัวของหินและแร่ แคดเมียมในดินอยู่ในสภาพการละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจอยู่ในรูปไอออนเชิงซ้อนและสารประกอบได้ดังนี้

แคตไอออน : $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$

แอนไอออน : $CdCl_3^{-}$, $CdCl_4^{2-}$, $Cd(OH)_3^{-}$, $Cd(OH)_4^{2-}$

สารประกอบ : CdO , $CdCO_3$

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมการเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดิน คือ pH และศักย์รีดอกซ์ซึ่งดินมีศักย์รีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น CdO หรือ CdO_3 หรืออาจอยู่ร่วมกับฟอสเฟตได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่า pH ระหว่าง 4.5-5.5 แต่ในดินที่เป็นด่าง แคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินั่มและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

1.13.2 ปฏิกิริยาในดินของสังกะสี

สังกะสีคงรูปในอากาศแห้ง และจะถูกหุ้มด้วยคาร์บอเนตในอากาศชื้นทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆ กับ ethanoic acid และทำปฏิกิริยารุนแรงกับ nitric acidความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียร

- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความชื้น
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : ก๊าซฮาโลเจน กรด เบส สารออกซิไดซ์ซึ่งอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง หรือ เป็นสาเหตุทำให้ ไฮโดรเจนเข้ามาเกี่ยวข้อง
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ความร้อนจะทำให้เกิดฟูมของซิ้งค์ออกไซด์
- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : ฝุ่นปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดลูกไฟขึ้นเองและลูกไฟติด เมื่อสัมผัสอากาศ การสัมผัสกับกรดหรืออัลคาไลด์ไฮดรอกไซด์จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ระเบิด ได้ เมื่อถูกความร้อนจะทำให้เกิดซิ้งค์ออกไซด์

1.14 วิธีการผลิตแคดเมียมและสังกะสี

แร่สังกะสีที่พบมากที่สุดในโลก ได้แก่ แร่สฟาเลอไรต์ (ZnS) การถลุงแร่ชนิดนี้เริ่มจากการนำสินแร่มาเผาในอากาศเพื่อเป็นสารประกอบออกไซด์ แล้วนำมาถลุงที่อุณหภูมิ 1100°C โดยใช้คาร์บอนหรือคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นตัวรีดิวซ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$ZnO\ (s) + C\ (s) \longrightarrow Zn(l) + CO\ (g)$

$ZnO\ (s) + CO\ (g) \longrightarrow Zn(l) + CO2\ (g)$

สังกะสีที่ได้อยู่ในรูปของเหลวที่ไม่บริสุทธิ์ ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อให้ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนจะเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งนำกลับมาใช้เป็นตัวรีดิวส์ได้อีก

ในประเทศไทยพบมากที่จังหวัดลำปาง แพร่ เพชรบูรณ์ เลย กาญจนบุรี และนครศรีธรรมราช สำหรับที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นแร่สังกะสีชนิดซิลิเกต คาร์บอเนตและออกไซด์ ในรูปของแร่เฮมิมอไฟต์ ($Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2H_2O$) สมิทโซไนต์ ($ZnCO_3$) และซิงไคต์ (ZnO) ตามลำดับ การถลุงแร่สังกะสีชนิดนี้จะเริ่มจากการนำแร่เปียกมาบดจนละเอียดแล้วให้ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก เกิดเป็นสารประกอบ $ZnSO_4$ ละลายอยู่ในสารละลาย ต่อมาจะปรับสภาพสารละลายให้เป็นตัวกลางด้วยหินปูนหรือปูนขาวแล้วกรองเพื่อแยกกากแร่ออกจากสารละลาย กากที่ได้จะปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยปูนขาวแล้วส่งไปเก็บในบ่อเก็บกากแร่เพื่อนำไปถลุงแยกโลหะ อื่น ๆ ต่อไป ส่วน $ZnSO_4$ ที่ละลายอยู่ในสารละลายยังไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากมีเกลือของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียม พลวงและทองแดงละลายอยู่ จึงกำจัดไอออนเหล่านี้ออกโดยเติมผงสังกะสีลงไป เพื่อให้โลหะเกิดเป็นโลหะ Cd Sb และCu ตกตะกอนอยู่ที่ก้นภาชนะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$Zn\,(s) + CdSO_4\,(aq) \longrightarrow ZnSO_4\,(aq) + Cd\,(s)$$
$$3Zn\,(s) + Sb2(SO_4)_3\,(aq) \longrightarrow 3ZnSO_4\,(aq) + 2Sb\,(s)$$
$$Zn\,(s) + CuSO_4\,(aq) \longrightarrow ZnSO_4\,(aq) + Cu\,(s)$$

โลหะCd Sb และCu จะถูกแยกออกจากสารละลาย $ZnSO_4$ ด้วยเครื่องกรองตะกอนแบบอัด ส่วนสารละลาย$ZnSO_4$ ที่แยกสารปนเปื้อนออกแล้วซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงมาก จะถูกส่งไปยังโรงแยกสารด้วยกระแสไฟฟ้าต่อไป

เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงในสารละลาย $ZnSO_4$ จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

ที่แคโทด : $Zn_2+\,(aq) + 2e- \longrightarrow Zn\,(s)$

ที่แอโนด : $H_2O\,(l) \longrightarrow 2H^+(aq) + 1/2O_2\,(g) + 2e-$

ปฏิกิริยารวม : $Zn_2+\,(aq) + H_2O\,(l) \longrightarrow Zn\,(s) + 2H^+\,(aq) + 1/2O_2\,(g)$

จากปฏิกิริยาพบว่าได้โลหะสังกะสีเกาะอยู่ที่ขั้วแคโทดและแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ส่วนในสารละลายจะมีกรดซัลฟิวริกเกิดขึ้นซึ่งสามารถนำกลับไปใช้ทำปฏิกิริยากับแร่สังกะสีได้อีก

ปัจจุบันมีการใช้โลหะสังกะสีอย่างกว้างขวาง โดยใช้เป็นสารเคลือบเหล็กกล้า เช่น อุตสาหกรรมแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ใช้ผสมกับทองแดงเกิดเป็นทองเหลืองเพื่อใช้ขึ้นรูปหรือหล่อผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ภาชนะเครื่องประดับ ใช้ผสมกับอะลูมิเนียมและแมกนีเซียมเพื่อนำมาหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น คาร์บูเรเตอร์ มือจับบานประตู นอกจากนี้สารประกอบออกไซด์ของสังกะสียังใช้ในอุตสาหกรรมยาง สี เซรามิกส์ ยา เครื่องสำอางและอาหารสัตว์

การแยกโลหะแคดเมียมทำได้โดยนำกากตะกอนมาบดให้ละเอียดแล้วละลายในกรดซัลฟิวริกทำให้ตัวกลางด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต กรองเพื่อแยกตะกอนออกจากสารละลายแคดเมียม เติมผงสังกะสีลงในสารละลายจะได้แคดเมียมพรุนตกตะกอนออกมา กรองแล้วนำไปสกัดด้วยกรดซัลฟิวริกอีกครั้ง แล้วทำสารละลายให้เป็นกลางด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต กรองและนำสารละลายที่ได้ไปแยกด้วยกระแสไฟฟ้า จะได้โลหะแคดเมียมเกาะที่แคโทด แล้วจึงนำไปหลอมและหล่อเป็นแท่งต่อไป

โลหะแคดเมียมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์นิกเกิล–แคดเมียม ทำสีในอุตสาหกรรมพลาสติก เซรามิกส์ ทำโลหะผสม และใช้โลหะแคดเมียมเคลือบเหล็กกล้า ทองแดงหรือโลหะอื่นๆ เพื่อป้องกันการผุกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.15 ความเป็นพิษของแคดเมียมและสังกะสี

1.15.1 แคดเมียม (Cd)

เป็นโลหะมีสีเงิน มีอยู่น้อยตามธรรมชาติ โดยทั่วไปแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจะพบในแหล่งทำเหมืองสังกะสีและตะกั่ว ในอุตสาหกรรม ยาสูบและบุหรี่ พลาสติกและยาง นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสม อะไหล่รถยนต์ โลหะผสมในอุตสาหกรรมเพชรพลอยอีกด้วย แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อาหาร และในยาสูบเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ และสะสมเพิ่มขึ้นในปริมาณสูงจะทำให้เกิดมะเร็ง ไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา
ซึ่งจะทำให้ไตพิการได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai disease)

1.15.2 สังกะสี (Zn)

ที่พบในอากาศส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ZnO, ZnS และ $ZnSO_4$ จากอุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การบด ย่อยแร่ ส่วนประกอบรั้วบ้านหลังคา หรือวัสดุ อื่นที่ใช้สังกะสีเป็นโลหะผสม นอกจากนี้ยังเกิดจากสาร ประกอบของสังกะสีที่นำมาทำยาฆ่าเชื้อรา เช่น zinc dimethyl dithiocarbamate ผลที่เกิดต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วง ถ้าได้รับไอฝุ่นของ Zn เข้าร่างกายมาก ๆ จะเกิดอาการไข้ที่เรียกว่า Zinc chills ซึ่งมีอาการจับไข้ หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน

1.15.3 ปริมาณที่ร่างกายได้รับแคดเมียมแล้วเกิดอันตราย

ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในร่างกายส่วนใหญ่จะเกิดจาการรับประทานเข้าไป ซึ่งทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน โดยการเกิดพิษจะแบ่งตามปริมาณแคดเมียมที่รับเข้าไป คือ

1. ตารางแสดงปริมาณแคดเมียมที่ส่งผลต่อร่างกาย

ปริมาณแคดเมียม/มิลลิกรัม	อาการ
3/90	อาเจียนแต่ไม่มีผลทำให้เสียหาย
15	อาเจียน
10/326	เกิดอาการความเป็นพิษอย่างรุนแรงแต่ไม่ถึงตาย
350/3500	อาจทำให้ถึงตายได้
1530/8900	ทำให้ตายได้

ที่มา : ศุภมาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับคนไทยได้รับแคดเมียมจากการกินอาหารและเครื่องดื่มสัปดาห์ละ 0.105-0.113 มิลลิกรัม ซึ่งยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ FAO และ WHO ที่กำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่มนุษย์จะได้รับไม่เกิน7ไมโครกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือ 420 ไมโครกรัม สำหรับผู้ที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

1.16 ค่ามาตรฐานของแคดเมียมและสังกะสี

นายอนุสรณ์ เนื่องผลมาก อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม แถลงว่า กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.) ได้ดำเนินโครงการกำหนดมาตรฐานมลพิษและการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหกรรม ชนิดแร่สังกะสี ซึ่งจากผลการศึกษาทำให้ได้ ค่ามาตรฐานมลพิษที่ปลอดภัยต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหกรรม ชนิดแร่สังกะสี พร้อมทั้งจัดทำคู่มือมาตรฐานวิธีการสำหรับผู้ประกอบการในการควบคุม ป้องกัน ติดตามเฝ้าระวังและแก้ไขปัญหามลพิษต่างๆ ที่เกิดจากการประกอบอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหกรรมที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพเผยแพร่ให้กับผู้ประกอบการและประชาชนที่สนใจ

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ได้มีการดำเนินโครงการกำหนดมาตรฐานมลพิษและการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหกรรม ชนิดแร่สังกะสี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่ามาตรฐานการระบายมลพิษจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหกรรม และเสนอแนะมาตรฐานวิธีการจัดการสิ่งแวดล้อมตลอดจนมาตรฐานวิธีการติดตาม ตรวจสอบ และเฝ้าระวังเพื่อให้บรรลุมาตรฐานการระบายมลพิษตามที่กำหนด โดยทำการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของมลพิษทุกชนิดที่ปล่อยออกจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่และ โลหกรรมที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จากการได้รับมลพิษตามหลักการขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : US EPA) พร้อมประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ในการกำหนดค่ามาตรฐานมลพิษดังกล่าว

จากผลการศึกษา ได้กำหนดค่ามาตรฐานมลพิษที่ปลอดภัยต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่และโลหกรรม ชนิดแร่สังกะสี เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ค่ามาตรฐานมลพิษจากการประกอบการในเขตประกอบการเหมืองแร่และโลหกรรม และค่ามาตรฐานมลพิษจากการประกอบการนอกเขตประกอบการเหมืองแร่และ โลหกรรม หรือในธรรมชาติที่ไม่ใช่พื้นที่ประกอบกิจกรรมเหมืองแร่ โดยค่ามาตรฐานที่ศึกษาเป็นค่ามาตรฐานโลหะหนักในดิน ตะกอนดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งได้มีการพิจารณาเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ศึกษา และการประเมินความเสี่ยงกับค่ามาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ค่ามาตรฐานดังกล่าวมีทั้งที่อ้างอิงตามมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมเดิมที่ใช้อยู่ปัจจุบันในประเทศที่มีความเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ และมาตรฐานที่ปรับปรุงจากต่างประเทศ เช่น Australia and New Zealand Draft ISQG – higher and lower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.16.1 ค่ามาตรฐานมลพิษจากการประกอบการในเขตประกอบการเหมืองแร่และโลหกรรม

ปริมาณโลหะหนัก	ค่ามาตรฐานจากการประกอบการในเขตประกอบการเหมืองแร่และโลหกรรม		
	แคดเมียม	สังกะสี	ตะกั่ว
ในน้ำทิ้ง (มิลลิกรัม/ลิตร)*	ไม่เกิน 0.03	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 0.2
ในน้ำทิ้งลงบ่อบาดาล (มิลลิกรัม/ลิตร)*	ไม่เกิน 0.01	ไม่เกิน 15	ไม่เกิน 0.05
ในตะกอนดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)**	ไม่เกิน 1.5	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 50
ในฝนที่ปนอยู่ในอากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ไม่เกิน 0.002***	ฟูมสังกะสีออกไซด์ ไม่เกิน 5,000* (เฉลี่ยตลอดระยะทำงาน	ไม่เกิน 1.5* (เฉลี่ย 1 เดือน)

1.16.2 ค่ามาตรฐานมลพิษจากการประกอบการนอกเขตประกอบการเหมืองแร่และโลหกรรม

ปริมาณโลหะหนัก	ค่ามาตรฐานจากการประกอบการนอกเขตประกอบการเหมืองแร่และโลหกรรม		
	แคดเมียม	สังกะสี	ตะกั่ว
ในแหล่งน้ำผิวดิน (มิลลิกรัม/ลิตร)*	ไม่เกิน 0.05	ไม่เกิน 1.00	ไม่เกิน 0.05
ในน้ำใต้ดิน (มิลลิกรัม/ลิตร)*	ไม่เกิน 0.03	ไม่เกิน 5.00	ไม่เกิน 0.01
ในดินและในตะกอนดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่เกิน 37*	ไม่เกิน 914.3**	ไม่เกิน 200**
ในฝนที่ปนอยู่ในอากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ไม่เกิน 0.002***	ฟูมสังกะสีออกไซด์ ไม่เกิน 5,000* (เฉลี่ยตลอดระยะทำงานปกติ)	ไม่เกิน 1.5* (เฉลี่ย 1เดือน)

(ที่มา; กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่)

หมายเหตุ * เป็นค่ามาตรฐานที่อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมเดิมที่ใช้อยู่ปัจจุบันของประเทศไทย

** เป็นค่ามาตรฐานที่ปรับปรุงจากมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ

*** เป็นค่ามาตรฐานที่ได้จากการคำนวณค่าความเสี่ยงจากการเป็นมะเร็งจากฝุ่นแคดเมียมที่จะมีผลกระทบต่อ คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.17 ความสัมพันธ์ระหว่าปุ๋ยฟอสเฟตกับการดูดดึงแคดเมียมในดิน

จากการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมในดิน และอ้อย รวมถึงปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้งค่าใช้จ่ายปุ๋ยเคมี อันจะนำไปสู่การเลือกใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เหมาะสมแก่การปลูกอ้อย ซึ่งการศึกษาทำการปลูกอ้อยพันธุ์ LK92-11 ในดินปนเปื้อนแคดเมียมจากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยทำการปลูกอ้อยในเรือนทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ทำการใส่ปุ๋ยเมื่ออ้อยมีอายุ 1 เดือน และหลังจากการใส่ครั้งแรก 5 เดือน ที่อัตรา 0 (ควบคุม), 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการเก็บตัวอย่างดิน และอ้อยในเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 ผลการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในดิน พบว่าอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินสูงขึ้น แต่ส่งผลยับยั้งปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้นั้นลดลง ส่วนการสะสมแคดเมียมของในส่วนต่างๆ ของอ้อยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ท่อนพันธุ์เดิม ราก ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย พบว่า รากอ้อยมีปริมาณการสะสมแคดเมียมมากที่สุด ตามด้วยท่อนพันธุ์เดิม ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย โดยที่อัตราของการใส่ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า รากอ้อยมีการสะสมแคดเมียมมากที่สุดเท่ากับ 22.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่ระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 2 และยังพบว่า ในเดือนที่ 8 ของการเก็บตัวอย่างมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในน้ำอ้อยน้อยที่สุดค่าเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ประสิทธิภาพการดูดดึงแคดเมียมของอ้อยที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมแก่การปลูกอ้อยในการศึกษาครั้งนี้ คือ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสามารถลดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินได้มากที่สุดเท่ากับ 14.97 เปอร์เซ็นต์ (ภารินี วนาพรรณ์)

การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตสามารถลดการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในดินได้ โดย Thawornchaisit and Polprasert (2009) ทำการศึกษาหาวิธีการทำให้แคดเมียมเสถียร (stabilization) ในดิน โดยการเติมปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิด (Triple superphospate: TSP, Diammonium phosphate: DAP และ Phosphate rock: PR) หลังจากบ่มปุ๋ยทั้ง 3 ชนิดกับดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม เป็นเวลา 60 วัน พบว่า TSP สามารถลดปริมาณแคดเมียมใน leachate ได้สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (306 mg/kg) โดยลดได้ 140 mg/kg รองลงมาคือ DAP (34 mg/kg) ในขณะที่ PR ลดได้ 7 mg/kg นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพของฟอสเฟตในการทำให้แคดเมียมเสถียร ขึ้นอยู่กับสัดส่วนโดยโมลของฟอสเฟตต่อแคดเมียม (mole ratio) โดยพบว่าสัดส่วน PO4/Cd 2:1 ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด และระยะเวลาในการบ่มอย่างน้อย 21 วัน สำหรับ TSP และ 28 วัน สำหรับ DAP นอกจากนี้ Brown et. al. (2004) ยังแสดงให้เห็นว่าฟอสเฟตสามารถลดอัตราการเข้าสู่ระบบชีวภาพ (bioavailability) ของแคดเมียมได้ โดยเก็บดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม จากการทำเหมือง สังกะสี และตะกั่ว ในรัฐมิสซูรี่ สหรัฐอเมริกา แล้วนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการเติมฟอสเฟตในตำรับต่างๆ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก ขณะเดียวกันทำการทดลองในแปลงปลูกหญ้า Fescue ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ควบคู่ไปด้วย จากผลการทดลองพบว่า การใส่ 3.2% Triple super phosphate และ 1% Phosphoric acid (H3PO4) ก็สามารถลดการสะสมแคดเมียมในพืชได้เช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ในขณะที่การใส่ Phosphate rock และการใส่ฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยหมัก กลับไม่มีผลต่อการลดอัตราการเข้าสู่ระบบชีวภาพ (bioavailability) ของแคดเมียม ซึ่งผู้วิจัยรายงานว่าการเติมฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยหมักมีผลให้ผลในทางลบต่อการลดอัตราการเข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบชีวภาพ (bioavailability) ของแคดเมียม อาจเนื่องมาจากฟอสเฟตและปุ๋ยหมักมีปฏิกิริยาต่อกันเอง ทำให้ลดการทำปฏิกิริยากับแคดเมียม

การเลือกพันธุ์ข้าวก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการปลูกข้าวในดินที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม โดยทั่วไปพบว่าปริมาณการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับผลผลิตของเมล็ด โดยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงจะมีการสะสมแคดเมียมสูงตามไปด้วย เพราะว่ามีระบบรากที่ดี และมีมวลของรากสูง ทำให้สามารถดูดดึงแคดเมียมได้สูง Liu et. al. (2005) พบว่าปริมาณการสะสมแคดเมียมในข้าว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณและกิจกรรมของราก ทำให้ข้าวแต่ละพันธุ์มีการสะสมแคดเมียมแตกต่างกัน Arao and Ae (2003) ทำการประเมินการสะสมแคดเมียมในข้าวจำนวน 49 พันธุ์ โดยปลูกในกระถางที่จำลองการปนเปื้อนด้วยแคดเมียม จากการศึกษาพบว่า มีความแตกต่างในการสะสมแคดเมียมอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว แต่พบความแตกต่างค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างดิน โดยชิ้นส่วนของข้าวที่พบว่ามีการสะสมแคดเมียมแตกต่างกันมากในแต่ละพันธุ์ คือ ราก ลำต้น และใบ ในขณะที่การสะสมแคดเมียมในเมล็ดจะขึ้นอยู่กับกลไกการเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากลำต้นสู่เมล็ดของแต่ละสายพันธุ์

Shi et. al. (2005) รายงานว่าซิลิกา (silica) สามารถเพิ่มความต้านทานการเป็นพิษของแคดเมียมในข้าวได้ โดยทดลองปลูกข้าวในระบบไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) ที่มีการเติมแคดเมียมให้อยู่ในระดับที่เป็นพิษ พบว่าซิลิกา (silica) ส่งผลให้มีการสะสมแคดเมียมในราก และยับยั้งการเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากรากไปยังลำต้นโดยสามารถลดการสะสมในลำต้นได้ถึง 33% ผู้วิจัยระบุว่าซิลิกา (silica) มีบทบาทคล้ายกับ ลิกนิน (lignin) และเป็นองค์ประกอบสำคัญในผนังเซลล์ของรากพืชที่มีแคดเมียมไปสะสมอยู่ นอกจากนี้ Chuanping Liu at. al. (2008) ยังรายงานผลของการให้ปุ๋ยซิลิกา (silica) ทางใบสามารถลดปริมาณการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวได้ โดยไม่มีผลต่อการสะสมในลำต้น ระยะที่เหมาะสมในการให้ปุ๋ยซิลิกา (silica) ทางใบ คือระยะข้าวแตกกอ

1.18 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1.18.1 ลักษณะและคุณสมบัติ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธ์ข้าวคุณภาพดี มีความนุ่มและหอม คุณภาพของเมล็ดเป็นเอกลักษณ์ประจำพันธุ์ เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากมีคุณภาพนุ่ม เมล็ดยาวเรียวใสเลื่อมมัน เป็นพันธุ์ข้าวที่ขายได้ราคาสูงเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวไวแสง พันธุ์อายุกลาง ช่วงอาจจะเก็บเกี่ยวประมาณ 22 พฤศจิกายน ที่แนะนำส่งเสริมให้ปลูกได้ทุกภาค เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้ดี (โอภาส วรวาท 2541)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอม ที่ได้จากการ นำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนา เกษตรกร อำเภอบางคล้า จังหวัด ฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาพันธุ์ และได้ข้าวของที่ 105 ที่มีลักษณะพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ มีกลิ่นหอม และเมล็ดอ่อนนุ่ม เมื่อนำมาหุงต้ม ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงพันธุ์ให้บริสุทธิ์ตาม หลักวิชาการจนได้พันธุ์ ข้าวขาวดอกมะลิ 105และรัฐบาลประกาศ ให้ขยายพันธุ์ส่งเสริมการปลูก ได้ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2502 เป็นต้นมา สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวขาว ดอกมะลิ 105 ที่เหมาะสม ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่

ลักษณะทั่วไป เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวต้นสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว ข้าวจะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายนของทุกปี ระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 8 สัปดาห์ ขนาดเมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดเรียวยาว ก้นงอน สีฟาง

ข้อดี ->

มีกลิ่นหอม เมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ทนต่อสภาพแล้ง ทนต่อดินเปรี้ยวและดินเค็ม คุณภาพการขัดสีดี เมล็ดข้าวสารใส แข็ง มีท้องไข่น้อย นวดง่าย เนื่องจากเมล็ดหลุดร่วงจากรวงได้ง่าย เป็นที่ต้องการของตลาด ขายได้ราคาดี ทนความแล้ง ทนดินกรด (ดินเปรี้ยว) และทนดินเค็มอยู่ในเกณฑ์ดี มีความต้านทานโรคไหม้คอร่วงและสามารถแข่งขันกับวัชพืชได้ดี ดินที่เหมาะแก่การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะปลูกในดินชนิดอะไรก็ได้ ตั้งแต่ในดินที่มีทรายจัด ในดินชุดร้อยเอ็ด จนถึงดินเหนียวจัดในดินชุดบางเขน รังสิต

ข้อเสีย

ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบจุด สีน้ำตาล และโรคไหม้และโรคใบหงิก ไม่ต้านทานแมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ต้นอ่อนล้มง่าย ถ้าปลูกในบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคจู๋ โรคขอบใบแห้ง โดยเฉพาะโรคไหม้

1.19 ข้าวพันธุ์ กข. 6

ข้าวเหนียว กข.6 เป็นพันธุ์ข้าวเหนียวซึ่งนิยมปลูกมากทางภาคอีสานตอนบน ส่วนใหญ่เป็นการปลูกไว้เพื่อเป็นการบริโภคในครัวเรือนจนพอที่เหลือจึงจะขายเป็นพันธุ์ข้าวที่กรมวิชาการเกษตร ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ โดยการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์ โดยใช้รังสีแกรมม่า ขนาด 20 กิโลแรตอาบเมล็ดพันธุ์ข้าว ขาวดอกมะลิ 105 ให้กลายเป็นพันธุ์ข้าวเหนียว แล้วนำมาปลูกคัดเลือกที่สถานีทดลองข้าวบางเขน และสถานีทดลองข้าวพิมาย จากการคัดเลือกได้ข้าวเหนียวหอมที่มีคุณภาพดีพันธุ์แรกที่ได้จากการอาบรังสี ปรับตัวได้ดี เป็นที่นิยมปลูก และรับประทานกันมาก คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ให้ใช้ขยายพันธุ์ได้ เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2520 และให้ชื่อพันธุ์ กข.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.19.1 ลักษณะและคุณสมบัติ

ลักษณะทั่วไป ลำต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ทนแล้งได้ดีปานกลาง คุณภาพการสีดี และคุณภาพการหุ่งต้มดีมาก ได้ข้าวสุกที่มีกลิ่นหอม อ่อนนุ่มให้ผลผลิตสูง ค่อนข้างต้านทานโรคไหม้ และโรคใบจุดสีน้ำตาล เป็นข้าวเหนียวไวต่อช่วงแสง ทรงกอแผ่เล็กน้อย ใบยาวสีเขียวเข้ม ใบธงตั้งตรง ความสูงประมาณ 154 เซนติเมตร ข้าวเปลือกสีน้ำตาล อายุเก็บเกี่ยว ประมาณวันที่ 21 พฤศจิกายน ของทุกปี ระยะฟักตัว ประมาณ 5 สัปดาห์ ขนาดเมล็ดข้าวกล้องยาว 7.23 มิลลิเมตร กว้าง 2.28 มิลลิเมตร หนา 1.77 มิลลิเมตร ผลผลิตประมาณ 660 กก./ไร่ เป็นข้าวเหนียว ลำต้นเขียว มีความสูงประมาณ 150 เซนติเมตร ซึ่งจัดว่าเป็นข้าวต้นสูง เป็นข้าวเปลือกสีฟาง (ข้าวขาว) เป็นข้าวชนิดไวแสง ปลูกได้เฉพาะในฤดูนาปีเท่านั้น โดยเก็บเกี่ยวประมาณวันที่ 22 พฤศจิกายน ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล ขนาดของเมล็ดสั้นกว่าข้าวเหนียวสันป่าตองเล็กน้อย รูปร่างของเมล็ดข้าวกล้องเหมือนข้าวขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ข้าวชนิดนี้มีระยะพักตัวประมาณ 7 สัปดาห์ ไม่มีท้องไข่

ข้อดี

ลำต้นสูงพอๆกับข้าวเหนียวสันป่าตอง ข้าวพันธุ์นี้ปรับตัวได้ดี แม้ว่าจะปลูกในนาของเกษตรกร ซึ่งอาจจะขาดการดูแลรักษาอย่างเต็มที่และเต็มไปด้วยโรคและแมลงรบกวน ต้านทานต่อโรคใบจุดสีน้ำตาล คุณภาพในการหุ้งต้มอ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม

ข้อเสีย

ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง ไม่ต้านทานแมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เมื่อปลูกไปนานๆ จะกลายเป็นข้าวจ้าวได้ง่าย

1.20 การใช้หินฟอสเฟตในประเทศไทย

เนื่องจากมีภาวะกดดันทางด้านเศรษฐกิจ ปุ๋ยมีราคาแพงและหายาก จึงทำให้เกิดการตื่นตัวค้นหาแหล่งแร่ฟอสเฟตอย่างจริงจังตั้งแต่ปี 2518 เป็นต้นมา แหล่งแร่หินฟอสเฟตในประเทศไทยที่พบส่วนใหญ่เป็นหินฟอสเฟตที่เกิดจากซากสัตว์และมูลสัตว์ดึกดำบรรพ์ สะสมอยู่ตามแอ่งหินปูนและตามถ้ำบริเวณเทือกเขาหินปูนทั่วไปทั้งภาคเหนือ ภาคกลางและภาคใต้ของประเทศ แหล่งที่มีรายงานว่ามีแร่หินฟอสเฟตมากที่สุดในปัจจุบันก็ได้แก่แหล่งแร่ที่บ้านสบเมย อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน แร่หินฟอสเฟตจากแหล่งนี้มีเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมด 38-39%นับว่าเป็นหินฟอสเฟตที่มีฟอสเฟตสูงและคุณภาพดีเหมาะสำหรับใช้ทำปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตและดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตได้ อีกแห่งหนึ่งที่พบว่ามีมากก็คือเขาก๊กม้า อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี แร่ที่นี่มีเปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตประมาณ 10-40% แหล่งแร่หินฟอสเฟตในประเทศไทยนับว่าน้อยมาก จึงเหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับนำมาใช้เป็นปุ๋ยชนิดเอามาบดให้ละเอียดและใช้ใส่โดยตรง หรือไม่ก็นำมาแปรสภาพง่าย ๆ เช่น เผาที่อุณหภูมิสูงหรือทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันทำเป็นปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตแบบโรงงานอุตสาหกรรมเล็ก ๆ ได้

1.20.1 ชนิดของหินฟอสเฟต

หินฟอสเฟตที่พบในประเทศไทย มี 2 พวก คือ หินฟอสเฟตที่เป็นหินตะกอนกับพวกที่เกิดจากมูลค้างคาว

1. หินฟอสเฟตที่เป็นหินตะกอน มีในจังหวัดต่าง ๆ แถบภาคเหนือและภาคกลางพวกนี้มีฟอสเฟตทั้งหมดร้อยละ 25-35 แต่ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์มีเพียงร้อยละ 2-5 เท่านั้น ขณะนี้ได้มีผู้ขุดมาบดเป็นผงละเอียดแล้วบรรจุกระสอบขายกันมาก สังเกตดูจะพบว่าปุ๋ยพวกนี้มีฟอสเฟตทั้งหมดสูงมาก แต่ส่วนที่เป็นประโยชน์แก่พืชในขณะนั้นมีเพียงเล็กน้อย

2. หินฟอสเฟตที่เกิดจากมูลค้างคาว พบตามถ้ำต่าง ๆ ในหลายจังหวัดภาคใต้เช่น กระบี่และพังงา เป็นต้น หินฟอสเฟตพวกนี้มีฟอสเฟตทั้งหมดประมาณร้อยละ 20 แต่ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ประมาณร้อยละ 10-15 หากเปรียบเทียบกับหินฟอสเฟตพวกแรกจะเห็นว่ามีฟอสเฟตทั้งหมดต่ำกว่า แต่ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์สูงกว่ามาก อย่างไรก็ตามเมื่อใส่ในดินแม้จะเป็นประโยชน์แก่พืชง่ายกว่าแต่ปริมาณฟอสเฟตที่จะสะสมในดินสำรองไว้ให้พืชในฤดูปลูกต่อ ๆ ไปนั้น สู้หินฟอสเฟตจากแถบภาคกลางและภาคเหนือไม่ได้

1.20.2 การใช้หินฟอสเฟตบดกับไม้ยืนต้น

แม้ว่าปุ๋ยฟอสเฟตบดจะละลายได้ยาก และมีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต แต่ถ้ารู้จักใช้ให้ถูกต้องก็จะได้ผลดีมาก ขณะนี้หินฟอสเฟตเป็นส่วนผสมของปุ๋ยสูตรที่ใช้กับยางพาราอยู่แล้ว สำหรับไม้ผลอาจใช้หินฟอสเฟตบดเป็นปุ๋ยรองก้นหลุมหรือใส่ประจำปีในกรณีที่ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยสูตรต่าง ๆ สำหรับดินที่มีฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำ ปุ๋ยนี้จะให้ผลดีเฉพาะเมื่อดินเป็นกรด ส่วนปริมาณที่ใช้กับไม้ผลแต่ละชนิดและไม้ผลอายุต่าง ๆ กันต้องพิจารณาให้เหมาะสม

1.20.3 ประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตเมื่อใช้แทนปุ๋ยเคมี

เนื่องจากปุ๋ยหินฟอสเฟตละลายน้ำได้ยากและปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้น้อยและช้า เพื่อผลิตปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายและใช้ได้ดีกับดินทุกสภาพความเป็นกรดด่าง จึงได้มีการนำเอากรดกำมะถันมาทำปฏิกิริยากับหินฟอสเฟตที่บดละเอียด ผลที่ได้คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หรือละลายน้ำได้ 16-20 % P_2O_5 เรียกว่าปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต หินฟอสเฟตที่ใส่ลงไปโดยตรงในดินส่วนมากจะละลายได้ช้ามาก ขึ้นอยู่กับชนิดของหินฟอสเฟตและความเป็นกรดของดิน ตลอดจนคุณสมบัติและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการกระจายของอนุภาคของหินฟอสเฟต ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตก็มีความสำคัญมากเช่นกัน อาทิ อัตราการชะล้างของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำโดยเฉพาะในดินทรายและปริมาณของดินเหนียวในดินจะมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งจะสามารถลดหรือป้องกันการชะล้างฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำได้ดังกล่าวข้างต้นลงไปสู่ชั้นล่างของดินได้ด้วย

1.20.4 การให้หินฟอสเฟตในดินกรดจัด

มีการทดลองใช้หินฟอสเฟตในบริเวณดินกรดจัดแถบภาคกลางของประเทศไทย และประเทศในเขตร้อนอื่น ๆ พบว่าหินฟอสเฟตจะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นในดินกรดจัด ทั้งนี้เพราะปุ๋ยนี้ละลายในสภาพที่เป็นกรดได้ดี และเมื่อหินฟอสเฟตละลายออกมาจะมีฤทธิ์เป็นด่างเล็กน้อย หินฟอสเฟตจึงเป็นตัวช่วยปรับปรุงดินไปในตัวด้วย กล่าวคือ เมื่อใส่หินฟอสเฟตบด 100 กิโลกรัม จะเกิดฤทธิ์ด่างขึ้นในดินเท่ากับการใส่ปูนประมาณ 10 กิโลกรัม ฤทธิ์ด่างนี้เองจะทำลายกรดในดินบางส่วนลงไปได้ทีละเล็กทีละน้อย

1.20.5 ปริมาณของดินเหนียวกับความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต

ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตในดินเหนียวจะลดลงเนื่องจากอาจจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างหินฟอสเฟตกับดินเหนียว จากรายงานการทดลองในประเทศออสเตรเลียพบว่าในดินทรายที่มีดินเหนียวปะปนอยู่แม้เพียงเล็กน้อย ก็จะลดความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลงระดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับดินทราย

1.20.6 ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตในดินทราย

หินฟอสเฟตจะมีศักยภาพต่อพืชในระดับเดียวกันกับปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตเมื่อใช้ในดินทรายแต่หินฟอสเฟตจะมีฤทธิ์ตกค้างในดินมากและจะเป็นประโยชน์ต่อพืชในฤดูปลูกต่อไปอีก 2-3 ปี เนื่องจากเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่ค่อย ๆ ละลายด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการประหยัดในการใส่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตในปีหลัง ๆ ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่ดีในยุคที่ปุ๋ยเคมีมีราคาแพง

1.21 ปุ๋ยฟอสฟอรัส (phosphorus fertilizer)

ธาตุฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และพืชต้องการในปริมาณที่มากเนื่องจากฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการช่วยเก็บและเปลี่ยนรูปพลังงาน กับขบวนการสร้างและทำลายต่าง ๆ ภายในพืช เช่น ขบวนการ ไกลโคไลซีส ขบวนการสร้างพวกน้ำตาล แป้ง และโปรตีน นอกจากนั้นยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ของ อา เอ็น เอ (RNA) และ ดี เอ็น เอ (DNA) ฟอสฟอรัสยังช่วยเร่งหรือเพื่อการเจริญเติบโตของระบบราก การออกดอก ออกผลของพืช การงอกของเมล็ดพืช และการเพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิตพืช ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำได้ง่าย และส่วนที่ละลายน้ำได้ยาก พืชสามารถนำเอาส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ละลายน้ำได้ง่ายไปใช้ ซึ่งอยู่ในรูปของ ฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่ในรูปของ กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid : P_2O_5) ปุ๋ยฟอสฟอรัส แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ได้มาจากธรรมชาติได้แก่ หินฟอสเฟตที่เกิดจาก หินอัคนี ซึ่งเกิดจากหินที่ละลายหลอมเหลวให้พื้นผิวโลก เกิดการแข็งตัวในภายหลังหรือได้จากแร่ฟอสเฟตที่เกิดจากการตกตะกอนในทะเล (marine phosphates) เป็นแร่ฟอสเฟตที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนของสารประกอบฟอสเฟตในทะเล หรือได้จากแร่ฟอสเฟตในรูปกัวโน (Guano) ที่เกิดจากการสะสมตัวของมูลนกทะเล และมูลค้างคาว

2. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ได้จากการสังเคราะห์ได้แก่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมดา (ordinary superphosphate) นิยมทำโดยนำเอาหินฟอสเฟต (rock phosphate) มาทำปฏิกิริยากับกรด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริค และกรดซัลฟิวริก ดังสมการ

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 7H_2SO_4 + 3H_2O \longrightarrow 3\,Ca(H_2PO_4)_2 + 7\,CaSO_4 + 2\,HF$$

ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตมีข้อดีดังต่อไปนี้คือ เป็นปุ๋ยที่มีสภาพทางกายภาพดี คือ ปั้นเป็นเม็ดที่แข็งแกร่ง และไม่ชื้นง่าย และ ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดเข้มข้นเรียกว่า ดับเบิ้ล หรือ ทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต มีปริมาณ กรดฟอสฟอริก (P2O5) อยู่ระหว่าง 40 – 46 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีในการผลิต คือ ใช้หินฟอสเฟต และกรดฟอสฟอรัสเป็นวัตถุดิบในการผลิตดังสมการ ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตเข้มข้นมีปริมาณของกรดฟอสฟอริกมากกว่าปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมดาประมาณ 2 เท่า จึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและ การเก็บรักษา ปุ๋ยไนโตรเจนฟอสเฟตปุ๋ยชนิดนี้ผลิตขึ้นโดยใช้กรดดินประสิว ทำปฏิกิริยากับหินฟอสเฟต

$$Ca_5(PO_4)_5F + 12\,H_5PO_4 + 9\,H_2O \longrightarrow 9\,Ca(H_2PO_4).H_2O + CaF_2$$

ทำให้ได้ปุ๋ยผสมระหว่าง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม จะอยู่ในรูปไนเตรต (NO_3^-) ทั้งหมด ดังสมการ

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 14\,HNO_5 + 3\,H_2O \longrightarrow 3\,Ca(H_2PO_4)_2.H_2O + 7\,Ca(NO_5)_2 + HF$$

$$Ca(H_2PO_4) + Ca(NO_5)_2 + 2\,NH_5 \longrightarrow 2\,CaHPO4 + 2\,NH_4NO_5$$

ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต เตรียมโดยใช้แอมโมเนียทำปฏิกิริยากับกรดออโทฟอสฟอรัส ปุ๋ยชนิดนี้ใช้มากมีด้วยกัน 2 ชนิดคือโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Monoammonia phosphate) เรียกชื่อย่อว่า เอ็มเอพี มีสูตรปุ๋ย 12 – 52 – 0 เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียมกับกรดฟอสฟอริค ดังสมการ

$$NH_5 + H_5PO_4 \longrightarrow NH_4H_2PO_4 + 32.16\ \text{keal} \ldots\ldots\text{ปุ๋ย MAP}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium phosphate) เรียกชื่อย่อว่า ดี เอ พี (DAP) มีสูตรปุ๋ยว่า 16 – 48 – 0 เกิดจากการทำปฏิกริยาระหว่างแอมโมเนียกับ ออโทฟอสฟอรัส ดังสมการ

$H_5PO_4 + 2\ NH_5$ ⟶ (NH4)2 HPO4 +51.45 keal .....ปุ๋ย DAP

ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต ละลายน้ำได้ดี และมีธาตุอาหารหลักสองธาตุ คือ NP (รวมกันสูงถึง 64 %) ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และแรงงาน มีคุณสมบัติในการเก็บรักษาทางฟิสิกส์ที่ดี จึงประหยัดค่าเก็บรักษา

1.21.1 การขาดฟอสฟอรัส (Phosphorus deficiency)

ฟอสฟอรัส (P) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ Adenosine triphosphate (ATP) นิวคลีโอไทล์ (Nucleotile) กรดนิวคลีอิก (Nucleic acids) และฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ฟอสฟอรัสจะช่วยในการแตกกอ การพัฒนาของราก การออกดอกและการสุกแก่ของข้าว ปุ๋ยฟอสเฟตจะจำเป็นมากสำหรับข้าวที่ระบบรากยังไม่พัฒนาเต็มที่ เช่นหลังการปักดำใหม่ๆ ดังนั้นจึงควรใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนการปักดำหรือในวันปักดำ

ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะแคระแกรน การแตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรงและมีสีเขียวเข้ม ลำต้นผอมเรียว ข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวงและจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ใบอ่อนสมบูรณ์ดีแต่ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด ถ้าพันธุ์ข้าวที่ปลูกสามารถผลิต Anthocyanin ได้ใบอาจเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีม่วง ในดินที่เป็นกรดการขาดฟอสฟอรัสมักจะเกิดร่วมกับเหล็กเป็นพิษ

1.21.2 อาการขาดฟอสฟอรัสในข้าว

ฟอสฟอรัส (P) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของAdenosine triphosphate (ATP) นิวคลีโอไทล์ (Nucleotile) กรดนิวคลีอิก (Nucleic acids) และฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ฟอสฟอรัสจะช่วยในการแตกกอ การพัฒนาของราก การออกดอกและการสุกแก่ของข้าว ปุ๋ยฟอสเฟตจำเป็นมากสำหรับข้าวที่ระบบรากยังไม่พัฒนาเต็มที่ เช่นหลังการปักดำใหม่ๆ ดังนั้นจึงควรใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนการปักดำหรือในวันปักดำ ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัส มีอาการแคระแกรน แตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรงและมีสีเขียวเข้ม ลำต้นผอมเรียวข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวงและจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ใบอ่อนสมบูรณ์ดีแต่ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด ถ้าพันธุ์ข้าวที่ปลูกสามารถผลิต Anthocyanin ได้ใบอาจเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีม่วง ในดินที่เป็นกรด การขาดฟอสฟอรัสมักจะเกิดร่วมกับเหล็กเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษา ของอำนาจ สุวรรณฤทธิ์และคณะ (2540) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อคุณภาพเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ105 ได้ทำการทดลองในกระถางและในนารวม 6 การทดลอง เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่หุงสุกแล้ว วัดคุณภาพโดยวิธีประสาทสัมผัส จากผลการทดลองได้ข้อสรุปและคำแนะนำดังนี้ คือ

1) ความหอมของข้าวหุงสุกไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ผลผลิตข้าวเปลือก น้ำหนักแห้งรวมของข้าว และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในต้นข้าว แต่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในข้าวเปลือก โดยความหอมของข้าวหุงสุกสูงสุดเมื่อข้าวเปลือกมีฟอสฟอรัส 0.28%

2) ความนุ่มของข้าวหุงสุกมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวเปลือก น้ำหนักแห้งรวม และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอ รัส ในข้าวเปลือก และอัตราการใส่ปุ๋ย แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในต้นข้าว โดยความนุ่มสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่เริ่มให้ผลผลิตข้าวเปลือกสูงสุด

3) ความขาว ความเหนียว และความเลื่อมมันของข้าวหุงสุกมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวเปลือก น้ำหนักแห้งรวม เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในข้าวเปลือก เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในต้นข้าว และอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยสมบัติเหล่านี้จะสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่เริ่มให้ผลผลิตข้าวเปลือกสูงสุด

4) ดินที่จะปลูกข้าวขาวดอกมะลิให้ได้คุณภาพสูง คือ ดินที่มีฟอสฟอรัสไม่เกินระดับที่เริ่มให้ผลผลิตข้าวเปลือก สูงสุด

5) หากต้องการผลิตข้าวให้ได้คุณภาพสูง จะต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่เริ่มให้ผลผลิตข้าวเปลือกสูงสุด และต้องระวังไม่ให้ปุ๋ยเกินอัตราที่เริ่มให้ผลผลิตสูงสุด

6) ดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อข้าวเกินระดับที่เริ่มให้ผลผลิตสูงสุด ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพราะจะทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพต่ำ การขาดฟอสฟอรัสเกิดจากการมีระดับฟอสฟอรัสในดินนาต่ำ หรือถูกตรึงโดยอนุภาคดินเหนียว จนพืชนำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ (จะเกิดในดินที่เป็นกรดจัด) การใส่ปุ๋ยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช วิธีการปลูกแบบนาหว่านมีโอกาสทำให้ข้าวขาดฟอสฟอรัสมากกว่าปลูกแบบปักดำ เพราะต้นข้าวจะหนาแน่นกว่า และมีรากตื้นกว่าข้าวที่ปลูกแบบปักดำ

การจัดการเพื่อการป้องกันและแก้ไขการขาดฟอสฟอรัสทำได้ ดังนี้

- ควรไถกลบฟางข้าวลงในแปลง เพราะถึงแม้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวจะมีน้อย แต่จะช่วยรักษาระดับฟอสฟอรัสในดินในระยะยาวการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตปุ๋ยคอกและวัสดุอินทรีย์อื่นๆ ให้กับข้าวอย่างพอเพียงเพื่อชดเชยกับธาตุอาหารที่สูญเสียไปจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การใส่สารปรับปรุงบำรุงดิน เช่น ปูนมาร์ล ปูนขาว หรือ โดโลไมด์ เพื่อช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟต

1.21.3 ตารางแสดงแหล่งปุ๋ยฟอสเฟตสำหรับนาข้าว

ชนิด	สูตร	ปริมาณธาตุอาหาร	หมายเหตุ
Single superphosphate	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ + $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	7-9% P 12% S 13-20% Ca	ละลายได้ดี,ปฏิกิริยาเป็นกลาง (16-21% P_2O_5)
Triple superphosphate	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	18-22% P 1.4% S 9-14% Ca	ละลายได้ดี,ปฏิกิริยาเป็นกลาง (41-50% P_2O_5)
Monoammoniumphosphate (MAP)	$NH_4H_2PO_4$	22% P 11% N	ละลายได้ดี, ปฏิกิริยาเป็นกรด (51% P_2O_5)
Diammoniumphosphate (DAP)	$(NH_4)HPO_4$	20-23% P 18-21% N	ละลายได้ดี, ปฏิกิริยาเป็นกรด (46-53% P_2O_5)
Urea phosphate	$CO(NH_2)_2+H_3PO_4$	18% N 20% P	ละลายได้ดี (46% P_2O_5)
Partly acidulated rock phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$	10-11% P	ละลายน้ำได้มากกว่า 1/3 (23-26% P_2O_5)
Rock phosphate, บดละเอียด	$Ca_3(PO_4)_2$	11-17% P 33-36%Ca	ออกฤทธิ์ช้า (25-29% P_2O_5)

*ที่มา : กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.22 การจัดการน้ำต่อผลผลิตของข้าว

1.22.1 ความสำคัญของน้ำต่อพืช

น้ำมีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของพืช เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่มีมากที่สุดภายในต้นพืช การเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ต้องอาศัยน้ำทั้งสิ้น เพราะน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลาง นอกจากนี้การดูดอาหารในดิน การเคลื่อนที่ของอาหารภายในต้นก็อาศัยน้ำเป็นตัวนำ ความเต่งของเซลล์ยังทำให้พืชต่างๆ สามารถตั้งตัวอยู่ได้ เนื่องจากน้ำทำให้เซลล์เต่งและน้ำยังเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เนื่องจากน้ำสามารถรับความร้อนต่อหน่วยได้สูง บทบาทของน้ำสรุปได้ดังนี้

1. น้ำเป็นส่วนประกอบภายในต้นพืชถึง 85-90 เปอร์เซ็นต์ และเป็นส่วนประกอบของเมล็ดแห้งและสปอร์ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

2. น้ำทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของเซลล์ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เนื่องจากความสามารถรับความร้อน (heat capacity) สูง มีความสามารถรับความร้อนที่ทำให้เป็นไอ (heat of vaporization) สูง และมีความสามารถในการนำความร้อนสูง (thermal conductivity) โดยทั่วไปพืชอยู่กลางแจ้งตลอดเวลา ดังนั้นจึงได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จำนวนมาก การคายน้ำของพืชช่วยในการระบายความร้อนให้พืช

3. น้ำเป็นตัวทำละลาย เช่น ละลายแร่ธาตุต่าง ๆ เกิดการลำเลียงแร่ธาตุของพืช

4. น้ำเป็นตัวพยุงให้พืชตั้งตัวอยู่ได้ ช่วยให้เซลล์พืชเต่ง ทำให้เซลล์มีรูปร่างคงตัว เมื่อพืชขาดน้ำทำให้เหี่ยวเฉาในพืชยังช่วยให้เกิดการเปิดปิดของปากใบ และการเคลื่อนไหวของพืชด้วย

5. น้ำเป็นแหล่งของก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจน ซึ่งก๊าซออกซิเจนก็ถูกนำไปใช้ในการหายใจ และก๊าซไฮโดรเจนก็ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง

6. น้ำเป็นตัวร่วมในปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึม น้ำ เป็นแหล่งที่ใช้ในการผลิต ATP เช่น การย่อยแป้งเป็นน้ำตาล การสังเคราะห์ด้วยแสง

1.22.2 การลำเลียงน้ำของพืช (Presentation Transcript)

การดูดน้ำของราก น้ำและแร่ธาตุที่รากดูดซึมจากดินที่บริเวณส่วนปลายของรากที่เรียกว่า บริเวณขนราก (Root hair zone) จะมีขนรากจำนวนมาก ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวที่ สัมผัสกับน้ำซึ่งแทรกตัวอยู่ในช่องว่างภายในดินได้เป็นจำนวนมาก ขนรากดูดน้ำโดยกระบวนการ ออสโมซิส (Osmosis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำ การที่น้ำและแร่ธาตุที่รากดูดซึมจากดินจะผ่านเซลล์ชั้นนอก คือ เอพิเดอร์มิสเข้าสู่เซลล์ชั้นใน คือ คอร์เทกซ์ เอนโดเดอร์มิส และ ไซเลมของราก โดยอาศัยการลำเลียงทางด้านข้าง (Lateral transport) โดย มี 2 วิธี

1.อะโพพลาสต์ (Apoplast) คือ การที่น้ำและแร่ธาตุผ่านจาก เซลล์หนึ่งไปยังเซลล์หนึ่ง โดย ผ่านช่องว่างระหว่างผนังเซลล์ในชั้นคอร์เทกซ์และผ่าน เซลล์ที่ไม่มีชีวิต (ยกเว้นเอนโดเดอร์มิส) คือ เทรคีดและเวสเซล

2. ซิมพลาสต์ (Simplast) คือ การที่น้ำและแร่ธาตุผ่านจาก เซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง โดยผ่านทางไซโทพลาซึมที่เชื่อมต่อกันและทะลุไปอีกเซลล์หนึ่งโดยผ่านทางพลาสโมเดสมาตา (Plasmodesmata)

ดังนั้นการที่น้ำและแร่ธาตุสามารถผ่านไปจึงเป็นการผ่านชั้นเยื่อหุ้มเซลล์เท่านั้นเมื่อน้ำและแร่ธาตุเคลื่อนมาถึงเอนโดเดอร์มิสซึ่งมีแคสพาเรียนสตริป (Casparian strip)กั้นอยู่ที่ผนังเซลล์น้ำและแร่ธาตุจะผ่านไปตามผนังเซลล์ไม่ได้จึงต้องใช้วิธีซิมพลาสต์ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเอนโดเดอร์มิสเข้าสู่ไซโทพลาซึมแล้วจึงเข้าสู่สตีลจนถึงไซเลม แล้วพืชจะลำเลียงน้ำต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ทั้งยอด ลำต้น กิ่ง และใบ เพื่อส่งน้ำไปให้ทุก ๆ เซลล์ของต้นพืช

1.22.3 กลไกการลำเลียงน้ำของพืช

กลไกที่พืชใช้ในการลำเลียงน้ำจากรากไปยังส่วนต่าง ๆ เช่น แรงดันราก (Root pressure) แรงดึงจากการคายน้ำ (Transpiration pull) เป็นต้น

แรงดันราก (Root pressure) เมื่อพืชดูดน้ำทางรากตลอดเวลา ทำให้ปริมาณน้ำในรากมีจำนวนมากขึ้นจนเกิดแรงดัน ถ้าตัดลำต้นในระดับสูงกว่าดินในกระถาง 1-2 เซนติเมตร ที่บริเวณรอยตัดจะเห็นของเหลวซึมออกมา นำมาต่อกับเครื่องมือ มาโนมิเตอร์ (Manometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความดันทำให้สามารถคำนวณหาแรงดันรากได้

แรงดึงเนื่องจากการคายน้ำ (Ttranspiration pull) โจเซฟ โบห์ม (Josef Bohm) ได้ทดลองต้มน้ำในบีกเกอร์ให้ร้อน เพื่อทำให้น้ำในหม้อดินเผาซึ่งเป็น หม้อพรุนร้อนขึ้น ทำให้ ฟองอากาศในหลอดคะปิลลารีถูกไล่ออก ไปเมื่อเอาบีกเกอร์ที่มีน้ำร้อนออก ทำให้น้ำมีอยู่เต็มหลอดคะปิลลารี เมื่อตั้งทิ้งไว้สักระยะหนึ่งน้ำจะระเหยออกไปจากหม้อพรุน ทำให้ระดับปรอทขึ้นไปได้สูงถึง 100 เซนติเมตรเนื่องจากน้ำมีแรงดึงดูด ระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันเอง ที่เรียกว่า โคฮีชัน (Cohesion) จึงสามารถที่จะดึงน้ำให้ไหลไปตามท่อได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ขาดตอน เมื่อน้ำในหม้อพรุนระเหยออกไป น้ำในโมเลกุลถัดไปจึงถูกดูดตามไปอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเลมเป็นท่อลำเลียงของพืชที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก เปรียบเหมือนหลอดคะปิลารี ซึ่งมีแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของน้ำกับ ผนังด้านข้างของหลอด เรียกว่า แอดฮีชัน (Adhesion) ทำให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นไปในหลอดเล็ก ๆ นี้ได้สูงกว่าหลอดที่มีรูใหญ่กว่า กระบวนการนี้เรียกว่า คะปิลลารีแอคชัน (Capillary action) คะปิลลารีแอคชัน จึงเป็นกระบวนการหนึ่งของการลำเลียงน้ำในท่อไซเลมรวมทั้งเมื่อพืชคายน้ำออกทางปากใบทำให้เกิด แรงดึงในท่อไซเลม ดึงน้ำขึ้นสู่ลำต้นและใบได้ รากจึงเกิดแรงดึงน้ำจากดินเข้ามาในท่อไซเลมได้ เมื่อพืชคายน้ำออกทางใบทำให้เกิดแรงดึงน้ำขึ้นตามท่อไซเลม แรงดึงนี้เรียกว่า แรงดึงเนื่องจากการคายน้ำ (Transpiration pull) และโมเลกุลของน้ำมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เรียกว่า โคฮีชัน (Cohesion) ทำให้การไหลของน้ำในท่อไซเลมจึงต่อเนื่องกันได้ หากไซเลมเกิดมีฟองอากาศเข้าไปแทรกอยู่ด้วยเหตุใดก็ตามจะทำให้การลำเลียงน้ำในท่อไซเลม ช้ากว่าเดิม หรือหยุดชะงักได้

ปัจจัยที่ควบคุมการลำเลียงน้ำ ปริมาณน้ำในดิน เมื่อน้ำในดินมีปริมาณมากพอ อัตราการดูดน้ำของรากจะมีมากตามไปด้วย แต่ถ้ามีปริมาณน้ำในดินมากเกินไปจนเกิดการท่วมขังอยู่ที่โคนต้นพืชมากจนเกินไป อัตราการดูดน้ำก็จะลดน้อยลงเพราะอุณหภูมิในดิน อุณหภูมิในดินมีส่วนเกี่ยวข้องกับการลำเลียงน้ำด้วยอุณหภูมิในดินต้องไม่สูงหรือต่ำเกินไปสารละลายในดิน การที่สารละลายในดินมีความเข้มข้นสูงมากไปทำให้พืชต้องสูญเสียน้ำให้กับดินอากาศในดิน เพราะรากต้องการออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของพีระยศ แข็งขันและคณะ(2539) ซึ่งได้ศึกษาผลของการขาดน้ำในระยะการเจริญเติบโตต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทำการทดลองที่เรือนทดลอง ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร ศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ขาดน้ำระยะเจริญเติบโตทางลำต้นร่วมกับระยะกำเนิดช่อดอกทำให้ได้ผลผลิตลดลงมากที่สุด 38 % เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ขาดน้ำ โดยมีผลทำให้จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1000 เมล็ดที่ได้ต่ำ และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูงเมื่อพิจารณาการขาดน้ำเพียงครั้งเดียว ข้าวขาดน้ำในระยะออกดอก มีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดลดลงมากที่สุด 32 % ข้าวขาดน้ำในระยะกำเนิดช่อดอกมีผลต่อผลผลิตน้อยกว่าการขาดน้ำในระยะอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสามารถรักษาความเต่งของเซลล์ไว้ได้ดีในขณะขาดน้ำและมีการฟื้นตัวอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับน้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นกลไกอย่างหนึ่งในการปรับตัวของพืชในสภาวะขาดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.22.4 ความต้องการน้ำและการให้น้ำแก่ข้าว

ปริมาณความต้องการน้ำของข้าวในแปลงนา แตกต่างกันไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น ฤดูกาล วิธีการปลูก พันธุ์ข้าว ลักษณะดิน เป็นต้น ตัวอย่างความต้องการน้ำของข้าวอายุ 120 วัน แตกต่างกันตามฤดูกาลและวิธีการปลูก คือ

การปลูก	นาปี	นาปรัง
หว่านน้ำตม	1,500 ลบ.ม./ไร่	2,000 ลบ.ม./ไร่
ปักดำ	1,200 ลบ.ม./ไร่	1,600 ลบ.ม./ไร่

*ปริมาณน้ำดังกล่าวนี้รวมปริมาณน้ำสำหรับเตรียมแปลงประมาณ 300 – 500 ลบ.ม./ไร่ แล้ว

ข้าวส่วนมากเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในสภาพที่มีน้ำขัง ดังนั้นวิธีการให้น้ำแก่ข้าวที่นิยมกันโดยทั่วไป คือ การให้มีน้ำขังในแปลงนาตลอดฤดูปลูก แต่ในสถานการณ์ที่น้ำขาดแคลน การปล่อยให้น้ำแห้งเป็นครั้งคราวเพื่อประหยัดน้ำ ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถปฏิบัติได้

1.การให้น้ำแบบขังต่อเนื่อง (Continuous flooding)โดยในระยะกล้าหรือช่วง 20 – 30 วันหลังข้าวงอกและระยะแตกกอควรรักษาระดับน้ำให้อยู่ที่ประมาณ 5 ซม. ก็พอเพียง เพราะระดับน้ำที่สูงมากจะทำให้ต้นข้าวยืดตัว ลำต้นอ่อน ล้มง่าย และทำให้แตกกอน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้าข้าวขาดน้ำในระยะนี้จะทำให้ต้นข้าวเกิดอาการแคระแกร็น แตกกอน้อย และยังทำให้มีวัชพืชเกิดขึ้นมากด้วย ในระยะต่อมาเมื่อข้าวกำเนิดช่อดอกหรือเริ่มสร้างรวงอ่อน (ประมาณ 25 – 30 วันก่อนข้าวออกดอก) จนถึง 15 วัน หลังข้าวออกดอก ควรรักษาระดับน้ำให้พอเพียง 5 – 10 ซม. เพราะถ้าข้าวขาดน้ำในระยะนี้ จะทำให้เมล็ดลีบและผลผลิตลดลงมาก ดังนั้น การให้น้ำแบบขังต่อเนื่องนี้ ควรมีระดับน้ำ 5 – 10 ซม. ตลอดฤดูปลูก และไม่ควรให้ระดับน้ำสูงเกิน 15 ซม. เพราะนอกจากสิ้นเปลืองน้ำแล้วยังอาจทำให้ผลผลิตลดลง จนถึงระยะก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน จึงระบายน้ำออก เพื่อให้ข้าวสุกแก่พร้อมกันและพื้นนาแห้งเหมาะต่อการเก็บเกี่ยว

2.การให้น้ำแบบดินเปียกสลับแห้ง (Intermittent Irrigation) เป็นวิธีที่สมควรนำมาใช้เมื่อมีน้ำไม่พอเพียงที่จะให้น้ำแบบขังต่อเนื่องได้ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ซึ่งทำได้โดยให้น้ำระดับ 5 ซม. หลังข้าวงอก 20 วัน แล้วปล่อยให้น้ำแห้งจนดินเริ่มแตกระแหง จึงให้น้ำอีกครั้งระดับ 5 ซม. สลับกันเช่นนี้จนถึงระยะกำเนิดช่อดอกหรือข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อน จึงรักษาระดับน้ำ 5 ซม. จนถึง 15 วันหลังข้าวออกดอก จึงปล่อยให้น้ำแห้งก่อนเก็บเกี่ยว การให้น้ำแบบนี้ สามารถลดปริมาณการใช้น้ำลงได้ถึง 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.22.5 ระดับน้ำที่เหมาะสมในระยะต่างๆของการปลูกข้าว

1.ระยะข้าวเป็นต้นกล้า : ระบายน้ำออกจากแปลงเทือกให้ดินหมาดๆ จนกว่าต้นข้าวจะสูงประมาณ 7-10 เซนติเมตร ระบายน้ำเข้านาให้น้ำอยู่บริเวณโคนต้นกล้า 3-5 เซนติเมตรแล้วค่อยๆเพิ่มระดับน้ำ

2.ระดับน้ำช่วงข้าวแตกกอ : ระดับที่เหมาะสมประมาณ 5-10 เซนติเมตร ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี

3.ระดับน้ำช่วงข้าวสร้างรวงอ่อน (กำเนิดช่อดอก) ถึง ข้าวออกดอก:ระดับน้ำประมาณ 10-20 เซนติเมตร

4.ระดับน้ำหลังข้าวออกดอก คงรักษาระดับน้ำไปจนหลังข้าวออกดอกแล้ว 15-20 วัน จึงปล่อยให้น้ำในนาลดระดับลงจนแห้งก่อนเก็บเกี่ยว ให้ดินพอมีความชื้นและเครื่องจักรลงทำงานเก็บเกี่ยวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)
2. EC meter (Model HI 8733)
3. pH meter (Model HI 9025)
4. เครื่อง Vortex
5. เครื่องชั่ง (Denver Instrument TB-214,TB-202)
6. เครื่องบดตัวอย่างพืช
7. เครื่องเขย่า (Sheker NO.8315)

2.1.2 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Volumetric Flask
2. Cusible
3. Cylinder
4. Beaker
8. Test Tube
9. rack
10. Marker
11. Auto Pipet 1 ml. , 5 ml. , 10 ml.
12. ช้อนตักสาร
13. แท่งแก้วคนสาร
14. กระบอกน้ำกลั่น
15. ขวดพลาสติกขนาด 60 cc.
16. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บดินและเตรียมตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สารเคมี

1. Conc. Hydrochloric Acid (Conc. HCl)
2. 1 N HCl
3. Standard Solution Cadmium (Std. Cd)
4. Standard Solution Zinc (Std. Zn)
5. Stock standard solution 100 ppm K
6. Stock standard solution 100 ppm Ca
7. Stock standard solution 100 ppm Mg
8. Stock standard solution 100 ppm Na
9. Stock standard solution 100 ppm P
10. Stock standard solution 100 ppm Cu
11. Stock standard solution 100 ppm Zn
12. Ammonium acetate (Na_4OAc)
13. Ammonium fluoride (NH_4F)
14. Ammonium molybdateAntimony potassium tartrate
15. Ascorbic acid
16. Bromocresol grean
17. Boric acid (H_3BO_3)
18. Copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$)
19. Distillation water
20. Ethyl alcohol 95 %
21. ferrous sulfate heptahydrate ($FeSO_4.7H_2O$)
22. Hydrochloric acid (HCl)
23. Metallic selenium
24. Methyl red
25. O- phenanthroline – ferrous complex Indicator
26. Perchloric acid ($HClO_4$)
27. Phosphoric acid (H_3PO_4)
28. Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$)
29. Potassium sulfate (K_2SO_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30. Sodium hydroxide (NaOH)
31. Strontium chloride ($SrCl_2$)
32. Stock standard solution 100 ppm K
33. Stock standard solution 100 ppm Ca
34. Stock standard solution 100 ppm Mg
35. Stock standard solution 100 ppm Na
36. Stock standard solution 100 ppm P
37. Stock standard solution 100 ppm Cu
38. Stock standard solution 100 ppm Zn
39. Sulfuric acid (H_2SO_4)

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 แผนการทดลอง

จัดกลุ่มทดลองแบบ 3 x 3 + 1 Factorial in CRD (Completely Randomize Design) ประกอบด้วยตำรับการทดลอง 2 ปัจจัย โดยปัจจัยแรก คือ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิด (Triple super phosphate : TSP , Diammonium phosphate : DAP , Phosphate rock : PR) และปัจจัยที่ 2 คือ การให้น้ำ 3 รูปแบบคือ การให้น้ำอย่างเพียงพอ (well – water : WW) การให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (slightly dry – wet alternate irrigation : SD โดยมีการให้น้ำเมื่อศักย์ของน้ำมีค่า = - 10 kPa) และการให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (moderate dry – wet alternate irrigation : MD โดยมีการให้น้ำเมื่อศักย์ของน้ำมีค่า = - 20 kPa) การให้น้ำเริ่มตั้งแต่มีการปักดำจนถึงก่อนข้าวออกดอก ให้น้ำแบบปกติโดยรักษาระดับน้ำที่ 5 เซนติเมตร หลังจากข้าวออกดอก 7 วัน จนถึงระยะการเก็บเกี่ยว จัดการน้ำ 3 รูปแบบดังที่กล่าวมา รวมตำรับการทดลอง 9 ตับรับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และมีตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเป็นตำรับควบคุม ทำการปลูกข้าวจำนวน 2 พันธุ์ (ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 6) ดังนั้นมีจำนวนกระถางทดลองทั้งหมด 72 กระถาง ซึ่งแสดงตำรับการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำรับ	ปุ๋ยฟอสเฟต	รูปแบบการให้น้ำ	สัญลักษณ์
1	Triple super phospate: TSP	Well water: WW	TSP/WW
2		Slightly dry-wet alternate irrigation: SD	TSP/SD
3		Moderate dry-wet alternate irrigation: MD	TSP/MD
4	Diammonium phosphate: DAP	Well water: WW	DAP/WW
5		Slightly dry-wet alternate irrigation: SD	DAP/SD
6		Moderate dry-wet alternate irrigation: MD	DAP/MD
7	Phosphate rock: PR	Well water: WW	PR/WW
8		Slightly dry-wet alternate irrigation: SD	PR/SD
9		Moderate dry-wet alternate irrigation: MD	PR/MD
10	No – Phosphate	Well water: WW	-/WW
11		Slightly dry-wet alternate irrigation: SD	-/SD
12		Moderate dry-wet alternate irrigation: MD	-/MD

- Well water : WW = ให้น้ำอย่างเพียงพอ
- Slightly dry-wet alternate irrigation : SD = ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย
- Moderate dry-wet alternate irrigation : MD = ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง

โดยทุกตำรับได้รับปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ในอัตรา 18 – 12 – 12 กิโลกรัม/ไร่ ($N - P_2O_5 - K_2O$) ซึ่งเป็นอัตรา 2 เท่า ที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำในนาข้าว เนื่องจากทำการทดลองในกระถาง

2.2.2 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง

เก็บดินที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม ของอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พร้อมทั้ง วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และ ทางกายภาพ เช่น ความเป็นกรด – ด่าง (pH) , ค่าการนำไฟฟ้า (EC) , อินทรียวัตถุ (OM) , ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ,โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (CEC), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), โซเดียม (Na) , ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cadmium), เนื้อดิน (Soil Texture),ความหนาแน่นรวม (Bulk density), ความชื้นที่ระดับความจุความชื้นสนาม (Field Capacity, FC) ความชื้นที่ระดับจุดเหี่ยวถาวรของพืช (Permanent Wilting Point , PWP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สถานที่ทำการทดลอง

เรือนทดลอง ที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

2.2.4 การดำเนินการทดลอง

1) เตรียมกระถางทดลอง โดยตากดินให้แห้ง หลังจากผสมดินให้เข้ากันดีแล้ว ชั่งดินใส่กระถางทดลอง กระถางละ 20 kg ทำดินให้เป็นโคลน พร้อมเติมหินฟอสเฟตตามอัตราที่กำหนด หลังจาก 7 วัน ทำการปักดำข้าว โดยใช้ต้นกล้าจำนวน 3 ต้นต่อจับ หลังจากนั้นใส่ปุ๋ยที่เหลือตามอัตราที่กำหนด

2) รักษาระดับน้ำในกระถางให้อยู่ในระดับ 5 cm ในทุกตำรับการทดลอง พร้อมทั้งสังเกตและบันทึกการเจริญเติบโต และกำจัดโรคและแมลง ตลอดระยะเวลาการปลูกข้าว

3) หลังจากข้าวออกดอก 7 วัน:

- ตำรับที่ให้น้ำอย่างเพียงพอ (Well water: WW) รักษาระดับน้ำไว้ที่ 1 cm จนถึงระยะก่อนเก็บเกี่ยว
- ตำรับที่ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (Slightly dry-wet alternate irrigation: SD) ให้ปล่อยให้น้ำแห้งโดยธรรมชาติ จนกระทั่งศักย์ของน้ำ มีค่า = -10 kPa (วัดโดย Tensiometer) ให้เติมน้ำ ให้อยู่ในระดับ 1 cm และให้น้ำเปียกสลับกับน้ำแห้ง จนถึงระยะก่อนเก็บเกี่ยว
- ตำรับที่ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (Moderate dry-wet alternate irrigation: MD) ให้ปล่อยให้น้ำแห้งโดยธรรมชาติ จนกระทั่งศักย์ของน้ำ มีค่า = -20 kPa (วัดโดย Tensiometer)ให้เติมน้ำให้อยู่ในระดับ 1 cm และให้น้ำเปียกสลับกับน้ำแห้ง จนถึงระยะก่อนเก็บเกี่ยว

4) เก็บเกี่ยวข้าว เมื่อข้าวอายุได้ประมาณ 130 วัน หลังจากการปักดำ

5) เก็บเกี่ยวตัวอย่างดินในแต่ละกระถางการทดลอง โดยใช้ soil tube เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี รวมถึงปริมาณแคดเมียม

2.2.5 การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

1) วัดความสูงของต้นข้าวในระยะที่ข้าวมีอายุเก็บเกี่ยว โดยวัดตั้งแต่ผิวดินจนถึงปลายของรวงข้าวที่ยาวที่สุด

2) เก็บข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิต เช่น จำนวนรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และน้ำหนัก 1000 เมล็ด

3) ผลผลิตเมล็ดข้าวและฟางข้าว ทำการแยกเมล็ดและฟางข้าว โดยคำนวณผลผลิตเมล็ดต่อกระถาง ที่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฟางข้าวคำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) สำหรับสัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางข้าวคำนวณที่น้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี

- เก็บตัวอย่างดินในแต่ละกระถางทดลอง โดยใช้ soil tube นำตัวอย่างทั้งหมดผึ่งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทางเคมีโดย

1) การวิเคราะห์ความเป็นกรดด่างของดิน pH (ดิน:น้ำ = 1:1)

1.1 ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ลงใน beaker

1.2 เติมน้ำ 10 มล. (ในกรณีที่ต้องการวัด pH ที่อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:2 หรือ 1:5 ให้เพิ่มปริมาณน้ำตามสัดส่วน) คนให้เข้ากัน และคนเป็นครั้งคราวระหว่างที่ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่า pH ด้วย pH meter ที่ standardize แล้ว

2) การวัดความนำไฟฟ้าจากสารละลายดิน (EC) (ดิน:น้ำ = 1:5)

2.1 ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ใน beaker 100 มล. เติมน้ำกลั่น 50 มล.

2.2 เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 1 ชม. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าความนำไฟฟ้า

3) การวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black

3.1 ชั่งดิน 2 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask

3.2 เติม $K_2Cr_2O_7$ 1 N 5 มล. โดยใช้ pipet แกว่ง flask เบา ๆ ให้ดินผสมกับสารละลาย

3.3 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นจำนวน 10 มล. โดยเร็ว ให้กรดผสมกับ soil suspension โดยตรง แกว่ง flask ไปรอบๆ เบาๆ จนดินและสารละลายผสมกันดี หลังจากนั้นเขย่าแรงขึ้นเป็นเวลา 1 นาที

3.4 ตั้ง flask ไว้ให้ทำปฏิกิริยา 30 นาที

3.5 เติมน้ำ 15-20 มล. และหยด O- phenanthroline indicator 3-5 หยด

3.6 Titrate soil suspension กับ 0.5 N $FeSO_4$ เมื่อใกล้ถึง end point สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวเข้ม ที่จุดนี้ค่อยๆเติม $FeSO_4$ ลงไปช้าๆ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวอมน้ำเงินเป็นสีแดง (ควรดูสีในบริเวณที่สว่าง และใช้ back ground สีขาว เพื่อจะได้เห็นสีชัดเจนยิ่งขึ้น) ถ้า end point ที่ได้ไม่ชัดเจน ควรกรองสารละลายก่อนการ titrate

3.7 ทำ blank (ไม่ใส่ตัวอย่างดิน) โดยวิธีเดียวกัน เพื่อเป็นตัว standardize $K_2Cr_2O_7$ และเป็นตัวเปรียบเทียบปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่ถูก reduced โดยดินตัวอย่าง

3.8 ในกรณีที่พบว่า สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ถูก reduced โดยตัวอย่างดินมากกว่า 75% ให้ทำการวิเคราะห์ใหม่โดยลดปริมาณดินลง

3.9 นำค่าอินทรีย์คาร์บอนที่ได้คูณด้วย 1.724

4) การวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้(Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+})ในดิน

4.1) การเตรียม Standard solution (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+})

4.1.1 การเตรียม Standard K ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std. มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การเตรียม Standard Na ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. และใส่ $SrCl_2$ 12.5 มล.แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

4.1.3 การเตรียม Standard Ca ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. และใส่ SrCl2 12.5 มล.แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

4.1.4 การเตรียม Standard Mg ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std. มา 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 และ 7.5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

4.2) วิธีสกัดดินด้วย Na_4OAc

- ชั่งตัวอย่างดิน 2.5 g (2 mm.) ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมน้ำยาสกัด NH_4OAc ลงไป 25 ml เขย่าติดต่อกันนาน 30 นาที (180 รอบต่อนาที) กรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 สารละลายนี้ใช้วัด K โดยวิธี atomic absorption (สารละลายที่ได้ถ้ายังไม่สามารถวัดในวันนั้น ให้เก็บไว้ในตู้เย็น)

5) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

5.1) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัส

5.1.1 ไปเปต aliquot ที่ได้จากการสกัดดิน1-10 มล.(ขึ้นกับปริมาณP ใน aliquot ถ้า developสีแล้วสีเข้มหรือจางเกินให้ลดหรือเพิ่มปริมาณ aliquot ตามความเหมาะสมใส่ในหลอดทดลองขนาด 75 มล.

5.1.2 ถ้าใช้ aliquot ที่ได้จากการสกัดโดยวิธี Olsen ต้องปรับ pH ของ aliquot ให้เป็น 5 ซึ่งทำได้โดยไปเปตสารละลาย $NaHCO_3$ 0.5 M pH 8.5 มา 5 มล. แล้วหยด H_2SO_4 5 N ลงไปทำปฏิกิริยาโดยใช้ p-nitrophenol เป็น indicator(มีสีเหลืองในด่าง ในกรดไม่มีสี)วัดปริมาตรกรด H_2SO_4 5 N ที่ใช้เติมกรด H_2SO_4 นี้ใน unknown ทุกตัว

5.1.3 เติมน้ำกลั่น 20 มล.แล้วเติม reagent B (molybdate-ascorbic acid)4 มล. เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 นาที วัดค่า% Transmittance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ wavelength 882 nm แล้วอ่านค่าความเข้มข้นของ P ในสารละลายจาก Standard curve

5.2) การทำ Standard curve ของ P

5.2.1 เตรียม Standard phosphate 5 ppm P โดยใช้ Standard phosphate 100 ppm P มาทำให้เจือจางลง 20 เท่า

5.2.2 ไปเปต Standard phosphorous 5 ppm จำนวน 0,1,2,3,4 และ 5 มล. ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 มล.เติมสารละลายที่ใช้สกัด(extracting solution)จำนวนเท่ากับที่ใช้ในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขย่าให้เข้ากัน เติม reagent B ลงไป 4 มล. แล้วเติมน้ำลงไปและปรับปริมาตรเป็น 25 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที (สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของ P เท่ากับ 0,0.2,0.4,0.6,0.8,และ 1.0 ppm)

5.2.3 plot กราฟระหว่างค่าของ % T ที่อ่านได้จาก spectrophotometer กับความเข้มข้นของ P โดยใช้กระดาษกราฟแบบ semi-logarithmic

2.2.7 การเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี

- เก็บตัวอย่างพืช ได้แก่ ฟาง และเมล็ด นำตัวอย่างไปอบพร้อมทั้งบดตัวอย่าง เพื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์พืช

- การเก็บตัวอย่างราก โดยค่อยๆ แยกรากออกจากดินให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หลังจากนั้นล้างด้วยด้วยน้ำประปาจนกระทั่งสะอาด แล้วตากทิ้งไว้ให้พอหมาดๆจากนั้นจึงนำไปชั่งน้ำหนักก่อนอบ แล้วจึงนำไปอบและบันทึกน้ำหนักหลังอบ และนำตัวอยากไปบดเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

- การเตรียมตัวอย่างข้าวกล้อง นำเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากผลผลิต มากระเทาะเปลือกข้าวออกก็จะได้เป็นตัวอย่างข้าวกล้อง

1) การวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช โดยวิธี conventional Kjeldahl

1.1 ชั่งตัวอย่างพืชจำนวน 0.25 กรัม ใส่ใน digestion tube ขนาด 100 มล.

1.2 เติม salt mixture ปริมาณใกล้เคียงกับน้ำหนักพืชที่ใช้

1.3 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 4 มล.

1.4นำไปย่อยสลายบนเตาด้วยความร้อนต่ำๆ หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึง 380°C เมื่อได้สารละลายใส digest ต่อไปอีก 1 ชั่วโมง แล้วยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปกลั่นหาไนโตรเจน

2) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในพืช

- ชั่งตัวอย่างพืช 0.2-0.25 กรัม ใส่ใน crucible นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ใน muffle furnace เมื่อตัวอย่างที่เผาเย็นลง เติม HCl 1 N จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 คืน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความถี่ 420 nm.

3) การวิเคราะห์โพแทสเซียมในพืช

- ชั่งตัวอย่างพืช 0.2-0.25 กรัม ใส่ใน crucible นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ใน muffle furnace เมื่อตัวอย่างที่เผาเย็นลง เติม HCl 1 N จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 คืน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การวิเคราะห์สังกะสีในพืช

- ชั่งตัวอย่างพืช 0.2-0.25 กรัม ใส่ใน crucible นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 oC เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ใน muffle furnace เมื่อตัวอย่างที่เผาเย็นลง เติม HCl 1 N จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 คืน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)

5) การวิเคราะห์แคดเมียมในพืช

- ชั่งตัวอย่างพืช 0.2-0.25 กรัม ใส่ใน crucible นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ใน muffle furnace เมื่อตัวอย่างที่เผาเย็นลง เติม HCl 1 N จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 คืน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)

2.2.8 การแปลความหมายผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน

1. ความเป็นกรดด่างของดิน (Soil pH) ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด เป็นด่างของดิน (Land Classification Division และ FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	<3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.5
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.6-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly alkaline)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าการนำไฟฟ้าและระดับความเค็มของดิน (Electrical Conductivity; EC) ; วัดโดยวิธีการสกัดดินด้วยที่อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้ววัดสารละลายที่สกัดได้ เรียกว่า EC extract (ECe)

ค่าการนำไฟฟ้า ($dS\ m^{-1}$)	**ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S\ cm^{-1}$)**	**ระดับความเค็ม**
<2	<2000	ไม่เค็ม
2-4	2000-4000	เค็มเล็กน้อย
4-8	4000-8000	เค็มปานกลาง
8-16	8000-16000	เค็มมาก
>16	>16000	เค็มจัด

3. ระดับอินทรียวัตถุ (Organic Matter; OM) ; ระดับอินทรียวัตถุ (Organic Matter) (% Organic Carbon x 1.724)

ระดับ (rating)	**พิสัย (ร้อยละ)**
ต่ำมาก (VL)	< 0.5
ต่ำ (L)	0.5-1.0
ค่อนข้างต่ำ (ML)	1.0-1.5
ปานกลาง (M)	1.5-2.5
ค่อนข้างสูง (HM)	2.5-3.5
สูง (H)	3.5-4.5
สูงมาก (VH)	> 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ; ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (USDA)

ธาตุอาหารพืช	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช (mg kg^{-1})				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ฟอสฟอรัส (P)	<3	3-10	11-15	15-45	>45
โพแทสเซียม (K)	<30	30-60	61-90	91-120	>120
แคลเซียม (Ca)	<400	400-1000	1001-2000	2001-4000	>4000
แมกนีเซียม (Mg)	<36	36-120	121-365	366-975	>975
กำมะถัน (S)*	<5	5-10	11-20	21-30	>30

* สำหรับค่ามาตรฐานของกำมะถันในดินไม่ค่อยจะมีผู้ศึกษามากนัก ส่วนใหญ่จะศึกษาวิจัยกำมะถันในพืชมากกว่า ดังนั้น จึงนำค่ามาตรฐานของห้องปฏิบัติการของ Albion Labpratories, Inc. มาใช้ในการจัดระดับกำมะถันที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

8) การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ; ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (USDA)

ธาตุอาหารพืช	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช (mg kg^{-1})				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ฟอสฟอรัส (P)	<3	3-10	11-15	15-45	>45
โพแทสเซียม (K)	<30	30-60	61-90	91-120	>120
แคลเซียม (Ca)	<400	400-1000	1001-2000	2001-4000	>4000
แมกนีเซียม (Mg)	<36	36-120	121-365	366-975	>975
กำมะถัน (S)*	<5	5-10	11-20	21-30	>30

* สำหรับค่ามาตรฐานของกำมะถันในดินไม่ค่อยจะมีผู้ศึกษามากนัก ส่วนใหญ่จะศึกษาวิจัยกำมะถันในพืชมากกว่า ดังนั้น จึงนำค่ามาตรฐานของห้องปฏิบัติการของ Albion Labpratories, Inc. มาใช้ในการจัดระดับกำมะถันที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

8) การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 สมบัติของดินก่อนการทดลอง

3.1.1 สมบัติทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 3.1) ที่ระดับความลึกของดิน 0 - 15 เซนติเมตร ดินมี pH (1:1) 7.57 มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 139 uS/cm มีปริมาณอินทรียวัตถุ 3.23 % มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Available P) ที่สกัดโดย Bray ll 9.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Exchangeable base (Ca^{2+},Mg^{2+},K^{+},Na^{+}) แคลเซียม 42.8 me/100g แมกนีเซียม 3.37 me/100g โพแทสเซียม 0.28 me/100 g โซเดียม 0.86 me/100 g การอิ่มตัวด้วยเบส (BS) Base Saturation 267 % ค่า Cation Exchangeable capacity 17.58 me/100 g และ Total Cd 98.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางเคมีของดิน

ความลึก (cm)	pH (1:1)	EC (µS/cm)	OM (%)	Avail P Bray ll (mg/kg)	Exchangeable (mg/kg)				BS (%)	CEC (me/100g)	Total Cd (mg/kg)
					Ca	Mg	K	Na			
0-15	7.57	139	3.23	9.36	8577	409.78	64.37	265.88	267	17.58	98.3
15-30	7.51	102	2.00	8.79	2986	297.92	31.28	165.53	136	13.28	131.5

3.1.2 สมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 3.2) ในระดับความลึก 0-15 cm ที่ได้ทำการวิเคราะห์พบว่า ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) 1.03 g/cm^3 ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (Particle Density) 2.16 g/cm^3 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 95.4 % ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง และมีการกระจายขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution ,%) โดยมีเปอร์เซ็นต์ Sand, Silt, Clay เป็น 21.62, 56.00 และ 22.42 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพของดินก่อนการทดลอง

ความลึก (cm)	Bulk Density (g/cm^3)	Particle Density (g/cm^3)	Moisture (%)	Particle Size Distribution (%)			Textural Class
				Sand	Silt	Clay	
0-15	1.03	2.16	95.4	21.62	56	22.42	SiL
15-30	1.24	2.15	65.1	89.14	6.44	4.42	S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสะสมแคดเมียมในข้าว

3.2.1 การสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1) การสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.3) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมสะสมอยู่ในเมล็ดอยู่ในช่วง 3.08 – 3.32 mg/Kg ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันพบว่า การสะสมแคดเมียมในเมล็ดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการจัดการน้ำแบบให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง(MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 3.75 mg/Kg ,รองลงมาเป็นการการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีการสะสมแคดเมียม 3.32 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ(WW) มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 2.49 mg/Kg , เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 2.18 – 4.39 mg/Kg โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตควบคู่กับการการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (No P/MD)มีการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 4.39 mg/Kg ในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำ แบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีการสะสมแคดเมียมต่ำสุด 2.18 mg/Kg เมื่อเปรียบเทียบการสะสมแคดเมียมในการทดลองครั้งนี้กับค่ามาตรฐานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) พบว่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (0.4 mg/Kg) ถึง 5.45 – 10.98 เท่า ถ้าหากบริโภคเข้าไปจะส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์โดยการ เกิด “โรคอิไต อิไต”ได้

2) การสะสมแคดเมียมในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.3) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมสะสมอยู่ในฟางข้าวในช่วง 3.21 – 4.57 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในฟางข้าวพบว่า การสะสมแคดเมียมในฟางข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 5.22 mg/Kg รองลงมาเป็นการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีการสะสมแคดเมียม 3.77 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ(WW) ส่งผลให้การสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 2.72 mg/Kg ,เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีการสะสมแคดเมียมในฟางข้าว อยู่ในช่วง 1.96 – 5.50 mg/Kg โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (DAP/MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด ตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (DAP/MD) และในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (RP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำสุด 1.96 mg/Kg

3) การสะสมแคดเมียมในข้าวกล้อง

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.3) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการสะสมแคดเมียมอยู่ในช่วง 3.04 – 3.19 mg/Kg , ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในข้าวกล้องพบว่า การสะสมแคดเมียมในข้าวกล้องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมสะสมในช่วง 2.31 - 3.84 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสะสมแคดเมียม อยู่ในช่วง 2.00 – 4.66 mg/Kg โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง(TSP/MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 4.66 mg/Kg และตำรับที่ใส่ ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มใน การสะสมแคดเมียมต่ำสุด 2.00 mg/Kg เมื่อเปรียบเทียบการสะสมแคดเมียมในการทดลองครั้งนี้กับค่ามาตรฐานของ FAO พบว่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (0.4 mg/Kg) ถึง 5 – 11.65 เท่า

4) การสะสมแคดเมียมในรากข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในรากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.3) พบว่าส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 243 mg/Kg และตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP)มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 155 mg/Kg , ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในรากข้าว พบว่ามีการสะสมแคดเมียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 234 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ(WW) มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 143 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีการสะสมแคดเมียมในรากข้าว อยู่ในช่วง 92 – 274 mg/Kg โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง(TSP/MD)มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 274 mg/Kg และในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (RP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำสุด 92.33 mg/Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Parameter	Cd in grain (mg/Kg)				Cd in straw (mg/Kg)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	2.98 a	3.84 a	4.39 a		2.50 a	3.81 ab	4.50 a	
TSP	2.18 a	3.40 a	3.67 a	3.08 a	3.08 a	5.20 a	5.42 a	4.57 a
DAP	2.94 a	2.59 a	3.993 a	3.15 a	3.13 a	3.20 ab	5.50 a	3.94 a
RP	2.35 a	3.97 a	3.64 a	3.32 a	1.96 a	2.91 b	4.75 a	3.21 a
Mean	2.49 B	3.32 AB	3.75 A		2.72 B	3.77 B	5.22 A	
P	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
Water	*	*	*		*	*	*	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

Parameter	Cd in Cargo Rice (mg/Kg)				Cd in root (mg/Kg)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	3.50 a	3.38 a	3.90 a		158 a	185 a	263 a	
TSP	2.00 a	2.68 a	4.66 a	3.11 a	199 a	257 a	274 a	243 a
DAP	2.82 a	3.40 a	3.35 a	3.19 a	137 a	164 a	238 a	180 b
RP	2.13 a	3.49 a	3.50 a	3.04 a	92.3 a	184 a	189 a	155 b
Mean	2.31 B	3.19 AB	3.84 A		143 B	202 A	234 A	
P	ns	ns	ns		*	*	*	
Water	ns	ns	ns		*	*	*	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

3.2.2 การดูดดึงของแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1) การดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.4) พบว่าไม่ส่งผลต่อการดูดดึงแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมอยู่ในเมล็ดในช่วง 28.2 – 31.6 Kg/rai ซึ่งตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีแนวโน้มในดึงดูดแคดเมียมสูงที่สุด 31.6 Kg/rai รองลงมาคือตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) มีการดูดดึงแคดเมียม 31.2 Kg/rai และตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีแนวโน้มในการดูดดึงแคดเมียมต่ำที่สุด 28.2 Kg/rai, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน พบว่า มีการดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในช่วง 25.2 – 33.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kg/rai โดยการการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีแนวโน้มในการดูดดึงแคดเมียมสูงที่สุด 33.5 Kg/rai รองลงมาเป็นการ จัดการน้ำแบบให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (MD) มีการดูดดึงแคดเมียม 32.4 Kg/rai, และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ(WW) มีการดูดดึงแคดเมียมต่ำที่สุด 24.9 Kg/rai, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 18.1 – 43.0 Kg/rai โดยในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (RP/WW) มีการดูดดึงแคดเมียมต่ำสุด 18.1 Kg/rai

2) การดูดดึงแคดเมียมในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.4) พบว่าไม่ส่งผลต่อการดูดดึงแคดเมียมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมอยู่ในเมล็ดในช่วง 33.9 – 59.3 Kg/rai ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันพบว่า มีการดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในช่วง 32.8 – 59.2 Kg/rai เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 16.4 – 70.7 Kg/rai โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (RP/WW) มีการดูดดึงแคดเมียมต่ำสุด 16.4 Kg/rai

ตารางที่ 3.4 การดูดดึงของแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Parameter	Cd in grain (Kg/rai)				Cd in straw (Kg/rai)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
-	26.3 a	26.3 a	43.0 a		24.3 a	33.2 a	50.7 a	
TSP	24.0 a	34.2 a	36.8 a	31.6 a	41.8 a	70.7 a	65.4 a	59.3 a
DAP	33.5 a	25.9 a	34.3 a	31.2 a	40.0 a	46.1 a	66.4 a	50.8 ab
RP	18.1 a	40.4 a	26.1 a	28.2 a	16.4 a	39.3 a	45.9 a	33.9 b
Mean	25.2 A	33.5 A	32.4 A		32.8 B	52.0 AB	59.2 A	
P	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

1) การสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.5) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมสะสมอในเมล็ดข้าว อยู่ในช่วง 2.71 – 3.19 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในเมล็ดข้าวพบว่า การสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 3.84 mg/Kg รองลงมาเป็นการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีการสะสมแคดเมียม 3.58 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 1.53 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 1.30 - 4.61 mg/Kg พบว่าในตำรับที่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (RP/MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 4.61 mg/Kg และตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 1.30 mg/Kg เมื่อเปรียบเทียบการสะสมแคดเมียมในการทดลองครั้งนี้กับค่ามาตรฐานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) พบว่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (0.4 mg/Kg) ถึง 3.25 – 11.53 เท่า

2) การสะสมแคดเมียมในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.5) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมสะสมในฟางข้าว อยู่ในช่วง 3.32 – 3.44 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในฟางข้าว พบว่าการสะสมแคดเมียมในฟางข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 4.23 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 1.76 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าการสะสมแคดเมียมในฟางข้าวอยู่ในช่วง 1.59 – 4.85 mg/Kg โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตควบคู่กับการการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (No P/MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 4.85 mg/Kg และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำสุด 1.59 mg/Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การสะสมแคดเมียมในข้าวกล้อง

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในข้าวกล้องพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.5) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมสะสมในข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 2.57 – 3.44 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในข้าวกล้อง พบว่าการสะสมแคดเมียมในข้าวกล้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 4.07 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 1.58 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการสะสมแคดเมียมในข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 1.16 – 5.08 mg/Kg โดยในตำรับที่ใส่ตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต ควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (RP/MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 5.08 mg/Kg และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำสุด 1.16 mg/Kg เมื่อเปรียบเทียบการสะสมแคดเมียมในการทดลองครั้งนี้กับค่ามาตรฐานของหน่วยงาน สูงกว่าค่ามาตรฐาน 0.4 mg/Kg เป็น 2.9 – 12.7 เท่า

4) การสะสมแคดเมียมในรากข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในรากข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.5) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมสะสมในรากข้าว อยู่ในช่วง 208 – 247 mg/Kg โดยในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 247 mg/Kg รองลงมาเป็นตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) มีการสะสมแคดเมียม 209 mg/Kg และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 208 mg/Kg , ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในรากข้าว พบว่าการสะสมแคดเมียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (MD) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด 280 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 150 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสะสมแคดเมียม อยู่ในช่วง 100 – 298 mg/Kg พบว่าในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำสุด 100 mg/Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 การสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

Parameter	Cd in grain (mg/Kg)				Cd in straw (mg/Kg)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	1.91a	2.65 a	4.36 ab		2.55a	2.93 a	4.85 a	
TSP	1.30a	3.67 a	3.18 b	2.71 a	1.59b	4.28 a	4.30 a	3.38 a
DAP	1.94a	3.47 a	3.75 ab	3.05 a	2.04ab	4.37 a	3.93 a	3.44 a
RP	1.36a	3.62 a	4.61 a	3.19 a	1.66ab	4.06 a	4.25 a	3.32 a
Mean	1.53 B	3.58 A	3.84 A		1.76 B	4.23 A	4.16 A	
P	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
Water	**	**	**		**	**	**	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

Parameter	Cd in Cargo Rice (mg/Kg)				Cd in root (mg/Kg)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	2.55 a	2.93 a	4.85 a		158 ab	196 a	255 a	
TSP	1.16 b	3.32 a	3.24 b	2.57 a	100 b	253 a	270 a	208 a
DAP	2.02 ab	3.66 a	3.90 ab	3.19 a	112 ab	243 a	272 a	209 a
RP	1.58 ab	3.68 a	5.08 a	3.44 a	239 a	205 a	298 a	247 a
Mean	1.58 B	3.55 A	4.07 A		150 B	234 A	280 A	
P	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
Water	**	**	**		**	**	**	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

3.2.4 การดูดดึงแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

1) การดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.6) พบว่าไม่ส่งผลต่อการดูดดึงแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมอยู่ในเมล็ดในช่วง 30.3 – 43.1 Kg/rai โดยตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP)มีแนวโน้มในการดูดดึงแคดเมียมสูงที่สุด 43.1 Kg/rai รองลงมาเป็นตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีการดูดดึงแคดเมียม 37.9 Kg/rai และตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 30.3 Kg/ไร่, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันพบว่าการดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีแนวโน้มในการดูดดึงแคดเมียมสูงที่สุด 33.5 Kg/rai และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ(WW) มีการดูดดึงแคดเมียมต่ำที่สุด 24.9 Kg/rai, เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 11.9 – 62.5 Kg/rai โดยในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (RP/WW) มีการดูดดึงแคดเมียมต่ำสุด 11.9 Kg/rai

2) การดูดดึงแคดเมียมในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.6) พบว่าไม่ส่งผลต่อการดูดดึงแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบแคดเมียมอยู่ในเมล็ดในช่วง 30.3 – 43.1 Kg/rai โดยตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP)มีแนวโน้มในการดูดดึงแคดเมียมสูงที่สุด 43.1 Kg/rai รองลงมาเป็นตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีการดูดดึงแคดเมียม 37.9 Kg/rai และตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP)มีแนวโน้มในการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด 30.3 Kg/rai, ส่วนการจัดการน้ำที่ แตกต่างกันพบว่าการดูดดึงแคดเมียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีแนวโน้มในการดูดดึงแคดเมียมสูงที่สุด 50.5 Kg/rai และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ(WW) มีการดูดดึงแคดเมียมต่ำที่สุด 18.3 Kg/rai, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 13.0 – 59.1 Kg/rai โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการดูดดึงแคดเมียมต่ำสุด 13.0 Kg/rai

ตารางที่ 3.6 การดูดดึงแคดเมียมในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

Parameter	Cd in grain (Kg/rai)				Cd in straw (Kg/rai)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
-	20.6 a	30.9 a	37.5 b		25.4 a	30.9 a	38.0 a	
TSP	8.90 a	48.4 a	33.7 b	30.3 a	13.0 a	53.2 a	45.7 a	37.3 a
DAP	25.2 a	51.6 a	52.5 a	43.1 a	27.6 a	59.1 a	51.0 a	45.9 a
RP	11.9 a	39.2 a	62.5 a	37.9 a	14.4 a	39.4 a	49.2 a	34.4 a
Mean	15.3 B	46.4 A	49.5 A		18.3 B	50.5 A	48.7 A	
P	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
Water	**	**	**		**	**	**	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสะสมสังกะสีในข้าว

3.3.1 การสะสมของสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1) การสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.7) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบสังกะสีสะสมในเมล็ดข้าว อยู่ในช่วง 48.3 – 53.0 mg/Kg ,ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในเมล็ดข้าว พบว่ามีการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าสังกะสีสะสมอยู่ในเมล็ดข้าว อยู่ในช่วง 49.3 – 51.5 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าว อยู่ในช่วง 43.2 – 56.5 mg/Kg พบว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตควบคู่กับการการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (No P/MD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 56.5 mg/Kg ในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (RP/WW) มีแนวโน้มใน การสะสมสังกะสีต่ำสุด 47.33 mg/Kg

2) การสะสมสังกะสีในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.7) พบว่าส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) โดยพบสังกะสีสะสมอยู่ในฟางข้าว อยู่ในช่วง 137– 200 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในฟางข้าว พบว่ามีการสะสมสังกะสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบสังกะสีสะสมอยู่ในช่วง 133 – 199 mg/Kg , เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบว่ามีการสะสมสังกะสีในฟางข้าว อยู่ในช่วง 109 – 342 mg/Kg โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 342 mg/Kg ในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต ควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (RP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 109 mg/Kg

3) การสะสมสังกะสีในข้าวกล้อง

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันในข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.7) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการสะสมสังกะสีอยู่ในช่วง 50.4 – 56.2 mg/Kg , ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในข้าวกล้องพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (MD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 63.3 mg/Kg การจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) ส่งผลให้การสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 47.11 mg/Kg ,เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญทางสถิติต่อการสะสมสังกะสีอยู่ในช่วง 38.9 – 84.3 mg/Kg โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (No P/ WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 84.3 mg/Kg และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (RP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 38.9 mg/Kg

4) การสะสมสังกะสีในรากข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในรากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.7) พบว่าส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 752 mg/Kg และในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 592 mg/Kg , ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในรากข้าว พบว่าการสะสมสังกะสี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสังกะสีสะสมอยู่ในรากข้าว ในช่วง 629 – 673 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีการสะสมสังกะสีในรากข้าว อยู่ในช่วง 579 – 818 mg/Kg พบว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ย ทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 818 mg/Kg และในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต ควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (RP/SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 579 mg/Kg

ตารางที่ 3.7 การสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Parameter	Zn in grain (mg/Kg)				Zn in straw (mg/Kg)			
Phosphorus (P) /water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	43.2 a	54.3 a	56.5 a		139 a	123 a	144 a	
TSP	50.5 a	56.4 a	51.9 a	52.9 a	342 a	116 a	141 a	199 a
DAP	50.1 a	47.9 a	51.9 a	50.0 ab	147 a	117 a	147 a	137 a
RP	47.3 a	47.0 a	50.7 a	48.3 b	108 a	116 a	141 a	138 a
Mean	49.3 A	50.4 A	51.5 A		199 A	133 A	143 A	
P	*	*	*		ns	ns	ns	
Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

Parameter	Zn in Cargo Rice (mg/Kg)				Zn in root (mg/Kg)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	84.3 a	47.6 a	55.6 b		626 b	642 a	717 a	
TSP	51.0 a	45.1 a	54.9 b	50.3 a	818 a	716 a	721 a	752 a
DAP	51.3 a	58.1 a	56.7 b	55.4 a	601 b	591 a	687 a	626 b
RP	38.9 a	51.2 a	78.4 a	56.1 a	600 b	578 a	597 a	592 b
Mean	47.1 B	51.5 AB	63.3 A		673 A	628 A	669 A	
P	ns	ns	ns		*	*	*	
Water	*	*	*		ns	ns	ns	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

3.3.2 การดูดดึงของสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1) การดูดดึงของสังกะสีในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.8) พบว่าไม่ส่งผลต่อการดูดดึงสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบการดูดดึงสังกะสี อยู่ในช่วง 387 - 512 Kg/rai ,ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในเมล็ดข้าว พบว่ามีการดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า อยู่ในช่วง 449 - 503 Kg/rai, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าว อยู่ในช่วง 328 - 572 Kg/rai พบว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (DAP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 572 Kg/rai และตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (RP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 47.33 Kg/rai

2) การดูดดึงของสังกะสีในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 3.8) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบการดูดดึงสังกะสี อยู่ในช่วง 1501 – 2538 Kg/rai, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในฟางข้าว พบว่ามีการดูดดึงสังกะสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบสังกะสีอยู่ในช่วง 1604 – 2414 Kg/rai, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบว่ามีการดูดดึงสังกะสีในฟางข้าว อยู่ในช่วง 1032 – 4357 Kg/rai โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 4357 Kg/rai ในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต ควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (RP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 1032 Kg/rai

ตารางที่ 3.8 การดูดดึงสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Parameter	Zn in grain (Kg/rai)				Zn in straw (Kg/rai)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
-	383 a	367 a	528 a		1331 a	1067 b	1606 a	
TSP	450 a	560 a	525 a	512 a	4357 a	1565 ab	1693 a	2538 a
DAP	572 a	484 a	453 a	503 a	1853 a	1664 ab	1782 a	1766 a
RP	328 a	465 a	368 a	387 a	1032 a	2131 a	1339 a	1501 a
Mean	450 A	503 A	449 A		2414 A	1787 A	1604 A	
P	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

3.3.3 การสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

1) การสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.9) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบสังกะสีสะสมอยู่ในเมล็ด อยู่ในช่วง 47.6 – 48.0 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในเมล็ดข้าว พบว่าการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าสังกะสีสะสมในเมล็ด อยู่ในช่วง 45.6 - 53.1 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพบว่ามีการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าว อยู่ในช่วง 35.3 – 59.3 mg/Kg โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (DAP/MD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงสุด 59.3 mg/Kg ในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (No P/SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 35.3 mg/Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การสะสมสังกะสีในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.9) พบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบสังกะสีสะสมอยู่ในฟางข้าว อยู่ในช่วง 126 – 159 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในฟางข้าว พบว่าการสะสมสังกะสีในฟางข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงสุด 164 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 110 mg/Kg, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ามีการสะสมสังกะสีในฟางข้าวอยู่ในช่วง 91.6 – 192 mg/Kg โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (DAP/SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงสุด 192 mg/Kg และในตำรับที่ใส่ปุ๋ย ทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 91.6 mg/Kg

3) การสะสมสังกะสีในข้าวกล้อง

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในข้าวกล้องพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.9) พบว่าส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีสังกะสีสะสมสูงที่สุด 66.6 mg/Kg ในขณะที่ตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีสังกะสีสะสมต่ำที่สุด 44.8 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในข้าวกล้อง พบว่าการสะสมสังกะสีในข้าวกล้องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าสังกะสีสะสมอยู่ในข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 48.8 – 59.6 mg/Kg , เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามีการสะสมสังกะสีในข้าวกล้อง อยู่ในช่วง 40.8 – 81.4 mg/Kg โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (TSP/SD) มีแนวโน้มในการสะสมสูงสุด 81.4 mg/Kg และในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต ควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (RP/SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 40.9 mg/Kg

4) การสะสมสังกะสีในรากข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในรากข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.9) พบว่าส่งผลต่อการสะสมสังกะสีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 703 mg/Kg และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 628 mg/Kg, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในรากข้าว พบว่ามีการสะสมสังกะสีในรากข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยการจัดการน้ำแบบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

744 mg/Kg และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 578 mg/Kg,เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) พบว่ามีการสะสมสังกะสีในรากข้าว โดยในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (TSP/SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงสุด 796 mg/Kg และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (DAP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 530 mg/Kg

ตารางที่ 3.9 การสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

Parameter	Zn in grain (mg/Kg)				Zn in straw (mg/Kg)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	37.3 a	35.3 b	46.1 a		108 a	147 a	163 a	
TSP	47.4 a	51.9 a	44.7 a	48.0 a	91.5 a	156 a	175 a	140 a
DAP	44.9 a	38.8 b	59.3 a	47.6 a	119 a	192 a	164 a	158 a
RP	41.8 a	45.9 ab	55.2 a	47.6 a	119 a	144 a	116 a	126 a
Mean	44.7 A	45.5 A	53.0 A		110 B	164 A	152 AB	
P	ns	ns	ns		ns	ns	ns	
Water	ns	ns	ns		*	*	*	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

Parameter	Zn in Cargo Rice (mg/Kg)				Zn in root (mg/Kg)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
No P	42.5 a	50.3 a	47.4 a		593 a	638 b	653 ab	
TSP	64.4 a	81.4 a	54.0 a	66.6 a	582 a	796 a	730 a	703 a
DAP	50.8 a	56.5 a	49.5 a	52.2 ab	530 a	773 a	581 b	628 b
RP	50.6 a	40.8 a	42.9 a	44.8 b	621 a	662 b	654 ab	645 ab
Mean	55.3 A	59.6 A	48.8 A		578 C	744 A	655 B	
P	*	*	*		*	*	*	
Water	ns	ns	ns		**	**	**	
P x Water	ns	ns	ns		*	*	*	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at p < 0.05, ** = significant at p < 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การดูดดึงสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

1) การดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในเมล็ดข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.10) พบว่าส่งผลต่อการสะสมสังกะสีในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงที่สุด 648 Kg/rai ในขณะที่ตำรับการใส่ปุ๋ยปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 475 Kg/rai ,ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในเมล็ดข้าว พบว่าการดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบ อยู่ในช่วง 400 – 669 Kg/rai, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพบว่ามีการดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าว อยู่ในช่วง 295 – 819 Kg/rai โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง (DAP/MD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงสุด 819 Kg/rai และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 295 Kg/rai

2) การดูดดึงสังกะสีในฟางข้าว

จากการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ในฟางข้าวพันธุ์ กข.6 (ตารางที่ 3.10) พบว่าส่งผลต่อการสะสมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) มีแนวโน้มในการดูดดึงสังกะสีสูงที่สุด 2094 Kg/rai และตำรับที่หินฟอสเฟต (RP) มีแนวโน้มในการดูดดึงสังกะสีต่ำที่สุด 1228 Kg/rai, ส่วนการจัดการน้ำที่แตกต่างกันในฟางข้าว พบว่าการสะสมสังกะสีในฟางข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงสุด 1973 Kg/rai และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 1105 Kg/rai, เมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ามีการสะสมสังกะสีในฟางข้าวอยู่ในช่วง 761 – 2594 Kg/rai โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย (DAP/SD) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีสูงสุด 2594 Kg/rai และในตำรับที่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตควบคู่กับการจัดการน้ำแบบให้อย่างเพียงพอ (TSP/WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำสุด 761 Kg/rai

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 การดูดดึงสังกะสีในส่วนต่างๆของข้าวพันธุ์ กข.6

Parameter	Zn in grain (Kg/rai)				Zn in straw (Kg/rai)			
Phosphorus (P) / water	WW	SD	MD	Mean	WW	SD	MD	Mean
-	378 ab	413 b	387 c		1065 ab	1558 b	1303 a	
TSP	295 b	673 a	458 bc	475 b	761 b	1913 ab	1891 a	1522 ab
DAP	559 a	565 ab	819 a	648 a	1557 a	2594 a	2132 a	2094 a
RP	346 b	502 ab	731 ab	527 ab	998 ab	1412 b	1275 a	1228 b
Mean	400 B	580 A	669 A		1105 B	1973 A	1766 A	
P	*	*	*		*	*	*	
Water	*	*	*		*	*	*	
P x Water	ns	ns	ns		ns	ns	ns	

หมายเหตุ : WW = Well water (ให้น้ำอย่างเพียงพอ), SD = Slightly dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งเล็กน้อย), MD = Moderate dry-wet alternate irrigation (ให้น้ำแบบเปียกสลับกับแห้งปานกลาง), TSP = Triple super phosphate, DAP = Diammonium phosphate, RP = Phosphate rock , ns = not significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.สรุปผลการทดลอง

1.การสะสมแคดเมียม

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไม่มีผลต่อการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ทั้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวพันธุ์ กข.6 ยกเว้นในส่วนของรากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยพบว่าตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตจะส่งผลให้มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด (155 mg/Kg) ในขณะที่รูปแบบการจัดการน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมของแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์ โดยพบว่าการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) จะส่งผลให้มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่า ไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามพบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีการสะสมแคดเมียมต่ำกว่า ข้าวพันธุ์ กข.6 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวพบว่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (FAO ; 0.4 mg/Kg) ถึง 5.45 – 10.98 เท่า ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ 3.25 – 11.53 เท่า ในข้าวพันธุ์ กข. 6 ซึ่งถ้าหากบริโภคข้าวทั้งสองพันธุ์นี้เข้าไปจะส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์โดยการเกิด “โรคอิไต อิไต”ได้

2.การดูดดึงแคดเมียม

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไม่มีผลต่อการดูดดึงแคดเมียมในส่วนต่างๆ ทั้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวพันธุ์ กข.6 ยกเว้นในส่วนของฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตมีการดูดดึงแคดเมียมต่ำที่สุด (28.2 Kg/rai) ในขณะที่รูปแบบการจัดการน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อการสะสมของแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์ โดยพบว่าการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) จะส่งผลให้มีการสะสมแคดเมียมต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามพบว่าการดูดดึงแคดเมียมในข้าวทั้งสองพันธุ์ อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันโดยพบ 39.17 Kg/rai ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ 38.13 Kg/rai ข้าวพันธุ์ กข.6

3.การสะสมสังกะสี

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไม่มีผลต่อการสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆ ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ยกเว้นในส่วนของเมล็ดและราก โดยพบว่าในตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด (48.3 mg/Kg ในเมล็ด, 592 mg/Kg ในราก) และในข้าวพันธุ์ กข. 6 ไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆ ของพืช ยกเว้นในข้าวกล้อง(ตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 44.8 mg/Kg)และราก (ตำรับที่ใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด 628 mg/Kg) ในขณะที่รูปแบบการจัดการน้ำที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆ ของข้าวทั้งสองพันธุ์ ยกเว้นในส่วนของข้าวกล้อง (ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105),ฟางและราก (ข้าวพันธุ์ กข. 6) โดยพบว่าการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด (47.1, 110 และ 578 mg/Kg ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำพบว่าไม่ส่งผลต่อการสะสมสังกะสีในข้าวทั้งสองพันธุ์ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบการสะสมสังกะสีระหว่างพันธุ์ข้าวทั้งสองชนิด พบว่าข้าวพันธุ์ กข.6 มีการสะสมสังกะสีต่ำกว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

4.การดูดดึงสังกะสี

ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้และรูปแบบการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน พบว่าไม่ส่งผลต่อการดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แต่ส่งผลต่อการดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6 โดยพบว่าตำรับการใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) มีการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด(475 Kg/rai) และในฟางข้าวตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต (RP) มีการดูดดึงสังกะสีต่ำที่สุด (1,228 Kg/ไร่) และการจัดการน้ำแบบให้น้ำอย่างเพียงพอ (WW) มีแนวโน้มในการสะสมสังกะสีต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาถึง interaction ระหว่างการจัดการดินและน้ำ พบว่าไม่ส่งผลต่อการดูดดึงสังกะสีในข้าวทั้งสองพันธุ์ อย่างไรก็ตามพบว่าการดูดดึงสังกะสีในข้าวทั้งสองพันธุ์ อยู่ในระดับที่แตกต่างกันกันโดยพบในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สูงถึง 1,201 Kg/rai และข้าวพันธุ์ กข.6 มีการดูดดึงสังกะสี 1,082 Kg/rai

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กองวิเคราะห์ดิน : 2540. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินกับการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ. 59 หน้า.

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา: 2541. ปทานุกรมปฐพีวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 169 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา : 2530. คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรงเทพฯ. 119 หน้า.

พิชิต พงษ์สกุล และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์: 2442. การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน วารสารดินและปุ๋ย 21: หน้า 71-82

พีระยศ แข็งขัน และอนัตน์ พลธานี: 2539. ผลของการขาดน้ำในระยะการเจริญเติบโตต่างๆที่มีผลต่อการ

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1. กรมพัฒนาที่ดิน : 184 หน้า

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, ศุภรัตน์ จิตต์จำนง, เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง, จินตนา จิตต์จำนง, พักตร์ทิพา เดชพละ, ธรรมรัตน์ จำกอง และอรุณี บุญหรรษา : 2540. ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อคุณภาพเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105. Agricultural Extension and Communication and Agro-Industry, Bangkok (Thailand): หน้า 145-157.

Allison, L.E. 1965.Organic Carbon. *In* Methods of soil analysis, part 2 no. 9 p 1367-1378. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin

Arao, T. and Ae, N. 2003. Genotypic variations in cadmium concentration of rice grain. Soil Sci. Plant Nutr. 49: 473-479.

Arao, T. and Makino, T. 2010. Countermeasures against heavy metal contamination of agriculture soil in Japan. Seminar at the Office of Research and Development of Agricultural Production, Department of Agriculture, Bangkok Thailand.2 March 2010.

Beck, R. 1999. Soil Analysis Handbook of Reference Methods. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press, USA. 247 p.

Blakemore, L.C. , P.L. Searle and B.K. Daly. 1987. Methods for Chemical Analysis of Soils. NZ Soil Bureau Scientific Report 80. Lower Hutt, New Zealand. 103 p.

Bower , C.A. and L.V.Wilcox. 1965. Soluble salts. pp 933-951. In Methods of Soil Analysis Part 2. C.A. Black (ed). American Society of Agronomy Inc., Publisher. USA.

Brown, S., Chaney, R., Hallfrisch, J., Ryan, J.A., Berti, W.R., 2004. In situ soil treatments to reducethe phyto- and bioavailability of lead, zinc, and cadmium.Journal of environmental quality 33 : 522-531.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pp 891-913 Amer. Soc. Agron., Madison, Wis.

Cheng Wang-da, Yao Hai-gen, Zhang Hong-mei, Tao Xian-guo. 2009. Influences of Cadmium on Grain Mineral Nutrient Contents of Two Rice Genotypes Differing in Grain Cadmium Accumulation. Rice Science (June 2009), 16 (2): 151-156.

Chuanping Liu, Fangbai Li, ChunlingLuo, Xinming Liu, Shihua Wang, Tongxu Liu, Xiangdong Li. 2008. Foliar application of two silica sols reduced cadmium accumulation in rice grains. Journal of Hazardous Materials. 161: 1466-1472.

FAO. 1979 a. Soil Survey Investigation for Irrigation. Soil Bull. No. 42. FAO, Rome.Landon, J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual. Addison Wesley Longman Limited. England.

Honda, R., Swaddiwudhipong, W., Nishijo, M., Mahasakpan, P., Teeyakasem, W.,Ruangyuttikarn,W., Satarug, S., Padungtod, C. and Nakagawa, H. 2010. Cadmium induced renal dysfunction among residents of rice farming area downstream from a zinc-mineralized belt in Thailand. Toxicology Letters.

Huang Dong-Fen, Xi Ling-Lin,Wang Zhi-Qin, Liu Li-Jun, and Yang Jian-Chang. 2008.Effect of Irrigation Patterns during Grain Filling on Grian Quality and Concentration and Distribution of Cadmium in Different Organs of Rice. Acta Agronomica Sinica, 34 (3): 456-464.

Liu J G, Zhu Q S, Zhang Z J, Xu J K, Yang J C, Wong M H. 2005. Variantions in cadmium accumulation among rice cultivars and types and selection of cultivars for reducing cadmium in the diet. J Sci Food Agric, 85: 147-153.

Morishita, T., Fumoto, N., Yoshizawa, T. and Kagawa, K. 1987. Varietal differences in cadmium levels of rice grains of japonica, indica, javanica, and hybrid varieties produced in the same plot of field, Soil Sci. Plant Nutr. 33: 629-637.

Peech , M. 1965. Hydrogen-Ion Activity. pp. 914-926. In Methods of Soil Analysis Part 2. C.A. Black (ed.) American society of Agronomy, Inc., Publisher. USA

Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992.Austrain Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods. Inkata Press, Sydney, Australia. 330 p.

Shi, X., Zhang, C., Wang, H. and Zhang, F. 2005. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. Plant and Soil 272: 53-60.

Simmons, R. W., Pongsakul, P., Saiyasitpanich, D., Klinpholap, S., 2005. Elevated levels of cadmium and zinc mineralized area and elevated levels of cadmium in rice Grain downstream of a zinc mineralized aera in Thailand: implications for public health. Environ. Geochem. Health: 27, 501-511.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simmons, R. W., Noble, A.D., Pongsakul, P., Sukreeyapongse, O., Chinabut, N., 2009. assessment. Cadmium-hazard mapping using a general linear regression model (Irr-Cad) for rapid risk Environ. Geochem. Health: 31, 71-79. Environ. Geochem. Health: 27, 501-511

Soil Survey Laboratory Staff. 1992. Reaction (pH). pp 274-276. In Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigations report No. 42 , V.2.0.

Takijima, Y., Katsumi, F. and Koizumi, S. 1973. Cadmium contamination of soils and rice plants caused by zinc mining. III. Effects of water management and applied organic wastes on the control of Cd uptake by plants. Soil Sci. Plant Nutr. 19, 183-193

Thawornchaisit, U. and Polprasert, C. 2009. Evaluation of phosphate fertilizers for the stabilization of cadmium in highly contaminated soil. Journal of Hazardous Materials. 165: 1109-1113.

Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil. Sci. Amer. Proc. 63: p 257.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 การสะสมแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in grian (mg/Kg)	Cd in straw (mg/Kg)	Cd in Cargo rice (mg/Kg)	Cd in root (mg/Kg)
1	TSP/WW	1	1	2.08	2.56	1.81	127
2	TSP/WW	1	2	1.00	1.17	0.75	151
3	TSP/WW	1	3	3.46	5.52	3.43	320
4	TSP/SD	2	1	3.18	4.93	3.02	249
5	TSP/SD	2	2	3.26	5.23	1.61	212
6	TSP/SD	2	3	3.75	5.44	3.41	310
7	TSP/MD	3	1	3.85	6.84	3.45	296
8	TSP/MD	3	2	4.43	6.15	7.99	204
9	TSP/MD	3	3	2.73	3.26	2.54	322
10	DAP/WW	4	1	2.96	4.00	3.08	139
11	DAP/WW	4	2	3.09	2.63	2.77	168
12	DAP/WW	4	3	2.78	2.75	2.60	104
13	DAP/SD	5	1	3.42	4.43	3.21	148
14	DAP/SD	5	2	1.90	2.54	1.79	117
15	DAP/SD	5	3	2.44	2.63	5.21	228
16	DAP/MD	6	1	5.66	6.69	5.22	295
17	DAP/MD	6	2	3.24	4.77	2.52	204
18	DAP/MD	6	3	2.89	5.05	2.30	214
19	PR/WW	7	1	1.99	2.17	1.55	121
20	PR/WW	7	2	2.19	2.72	2.25	91.1
21	PR/WW	7	3	2.87	0.98	2.59	64.5
22	PR/SD	8	1	4.07	1.21	3.60	138
23	PR/SD	8	2	2.78	2.84	2.45	149
24	PR/SD	8	3	5.05	4.68	4.41	264
25	PR/MD	9	1	3.86	6.16	3.72	218
26	PR/MD	9	2	3.83	4.70	3.29	194
27	PR/MD	9	3	3.24	3.39	3.49	156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in grian (mg/Kg)	Cd in straw (mg/Kg)	Cd in Cargo rice (mg/Kg)	Cd in root (mg/Kg)
28	-/WW	10	1	4.48	3.08	4.03	205
29	-/WW	10	2	2.85	2.43	2.96	175
30	-/WW	10	3	1.61	1.99	3.50	93.0
31	-/SD	11	1	3.42	3.48	3.40	220
32	-/SD	11	2	4.16	4.51	3.27	222
33	-/SD	11	3	3.94	3.45	3.48	112
34	-/MD	12	1	3.95	3.86	3.78	235
35	-/MD	12	2	3.83	5.40	2.92	320
36	-/MD	12	3	5.39	4.24	5.01	235

ตารางผนวกที่ 2 การสะสมแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in grian (mg/Kg)	Cd in straw (mg/Kg)	Cd in Cargo rice (mg/Kg)	Cd in root (mg/Kg)
1	TSP/WW	1	1	1.09	1.62	0.91	137
2	TSP/WW	1	2	1.58	1.31	1.66	63.0
3	TSP/WW	1	3	1.22	1.83	0.91	101
4	TSP/SD	2	1	3.09	3.22	2.41	270
5	TSP/SD	2	2	4.21	4.43	3.96	168
6	TSP/SD	2	3	3.71	5.18	3.58	320
7	TSP/MD	3	1	2.70	3.56	2.51	200
8	TSP/MD	3	2	3.38	5.04	3.55	225
9	TSP/MD	3	3	3.45	4.29	3.65	385
10	DAP/WW	4	1	1.68	1.79	1.76	99.2
11	DAP/WW	4	2	1.37	1.43	1.48	101
12	DAP/WW	4	3	2.76	2.89	2.82	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in grian (mg/Kg)	Cd in straw (mg/Kg)	Cd in Cargo rice (mg/Kg)	Cd in root (mg/Kg)
13	DAP/SD	5	1	3.03	4.32	2.89	252
14	DAP/SD	5	2	1.57	2.40	1.88	253
15	DAP/SD	5	3	5.81	6.39	6.22	223
16	DAP/MD	6	1	4.08	3.62	4.38	310
17	DAP/MD	6	2	3.71	5.29	3.77	249
18	DAP/MD	6	3	3.46	2.89	3.54	257
19	PR/WW	7	1	1.75	1.74	2.35	120
20	PR/WW	7	2	1.22	1.45	1.27	372
21	PR/WW	7	3	1.10	1.80	1.12	224
22	PR/SD	8	1	3.99	4.47	4.36	192
23	PR/SD	8	2	2.44	3.54	2.52	198
24	PR/SD	8	3	4.42	4.17	4.16	226
25	PR/MD	9	1	4.61	4.21	5.21	285
26	PR/MD	9	2	4.76	4.12	5.02	278
27	PR/MD	9	3	4.46	4.42	5.02	332
28	-/WW	10	1	1.74	2.57	2.57	169
29	-/WW	10	2	1.76	2.13	2.13	147
30	-/WW	10	3	2.23	2.94	2.94	158
31	-/SD	11	1	2.31	2.64	2.64	207
32	-/SD	11	2	3.03	3.29	3.29	192
33	-/SD	11	3	2.61	2.87	2.87	188
34	-/MD	12	1	5.62	6.49	6.49	305
35	-/MD	12	2	3.59	4.05	4.05	207
36	-/MD	12	3	3.88	4.01	4.01	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 การดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in straw (Kg/rai)	Cd in grian (Kg/rai)
1	TSP/WW	1	1	31.9	20.8
2	TSP/WW	1	2	7.01	3.64
3	TSP/WW	1	3	86.6	47.5
4	TSP/SD	2	1	67.9	29.0
5	TSP/SD	2	2	58.5	23.2
6	TSP/SD	2	3	85.7	50.3
7	TSP/MD	3	1	82.8	28.5
8	TSP/MD	3	2	75.1	52.8
9	TSP/MD	3	3	38.3	29.0
10	DAP/WW	4	1	56.7	31.9
11	DAP/WW	4	2	28.3	31.1
12	DAP/WW	4	3	35.1	37.4
13	DAP/SD	5	1	75.0	32.6
14	DAP/SD	5	2	31.0	18.3
15	DAP/SD	5	3	32.2	26.8
16	DAP/MD	6	1	74.1	45.2
17	DAP/MD	6	2	70.4	38.7
18	DAP/MD	6	3	54.6	19.1
19	RP/WW	7	1	12.1	6.30
20	RP/WW	7	2	24.8	11.4
21	RP/WW	7	3	12.4	36.6
22	RP/SD	8	1	16.9	42.5
23	RP/SD	8	2	30.9	23.2
24	RP/SD	8	3	70.1	55.6
25	RP/MD	9	1	65.8	29.6
26	RP/MD	9	2	44.0	22.3
27	RP/MD	9	3	27.8	26.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in straw (Kg/rai)	Cd in grian (Kg/rai)
28	-/WW	10	1	33.3	40.9
29	-/WW	10	2	19.3	20.8
30	-/WW	10	3	20.2	17.2
31	-/SD	11	1	28.0	16.3
32	-/SD	11	2	41.6	36.2
33	-/SD	11	3	30.1	26.4
34	-/MD	12	1	38.8	29.9
35	-/MD	12	2	70.0	40.0
36	-/MD	12	3	43.3	59.2

ตารางผนวกที่ 4 การดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in straw (Kg/rai)	Cd in grian (Kg/rai)
1	TSP/WW	1	1	14.1	5.03
2	TSP/WW	1	2	13.3	17.2
3	TSP/WW	1	3	11.6	4.45
4	TSP/SD	2	1	33.2	31.6
5	TSP/SD	2	2	57.9	61.1
6	TSP/SD	2	3	68.4	52.6
7	TSP/MD	3	1	31.9	21.8
8	TSP/MD	3	2	63.4	46.7
9	TSP/MD	3	3	41.9	32.6
10	DAP/WW	4	1	20.5	19.9
11	DAP/WW	4	2	14.7	15.5
12	DAP/WW	4	3	47.7	40.2
13	DAP/SD	5	1	57.6	43.7
14	DAP/SD	5	2	31.8	21.5
15	DAP/SD	5	3	87.8	89.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Number	Management	Treatment	Rep	Cd in straw (Kg/rai)	Cd in grian (Kg/rai)
16	DAP/MD	6	1	43.8	51.8
17	DAP/MD	6	2	66.3	47.6
18	DAP/MD	6	3	43.0	58.0
19	RP/WW	7	1	18.5	19.2
20	RP/WW	7	2	11.8	10.1
21	RP/WW	7	3	12.9	6.5
22	RP/SD	8	1	43.8	46.2
23	RP/SD	8	2	41.0	33.1
24	RP/SD	8	3	33.4	38.4
25	RP/MD	9	1	42.7	57.5
26	RP/MD	9	2	52.9	69.2
27	RP/MD	9	3	52.2	60.7
28	-/WW	10	1	17.6	13.0
29	-/WW	10	2	21.0	18.8
30	-/WW	10	3	37.5	29.9
31	-/SD	11	1	28.3	28.7
32	-/SD	11	2	31.6	31.8
33	-/SD	11	3	32.8	32.2
34	-/MD	12	1	38.2	33.6
35	-/MD	12	2	30.1	35.3
36	-/MD	12	3	45.8	43.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 การสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Number	Management	Treatment	Rep	Zn in grian (Kg/rai)	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in Cargo rice (Kg/rai)	Zn in root (Kg/rai)
1	TSP/WW	1	1	46.6	778	50.2	725
2	TSP/WW	1	2	55.2	57.0	64.0	781
3	TSP/WW	1	3	49.7	192	39.0	949
4	TSP/SD	2	1	60.8	108	45.6	752
5	TSP/SD	2	2	52.2	126	42.0	749
6	TSP/SD	2	3	56.3	114	47.8	649
7	TSP/MD	3	1	47.8	153	47.0	611
8	TSP/MD	3	2	57.0	125	68.0	709
9	TSP/MD	3	3	51.1	145	49.7	845
10	DAP/WW	4	1	51.0	151	56.7	561
11	DAP/WW	4	2	50.6	143	48.3	721
12	DAP/WW	4	3	48.8	147	49.1	522
13	DAP/SD	5	1	45.7	148	60.5	492
14	DAP/SD	5	2	43.9	100	48.2	629
15	DAP/SD	5	3	54.2	104	65.8	652
16	DAP/MD	6	1	54.8	146	66.4	789
17	DAP/MD	6	2	47.9	138	50.1	620
18	DAP/MD	6	3	53.1	158	53.6	654
19	PR/WW	7	1	50.6	93	7.2	619
20	PR/WW	7	2	45.2	108	63.3	636
21	PR/WW	7	3	46.2	125	46.2	545
22	PR/SD	8	1	48.6	149	43.1	478
23	PR/SD	8	2	48.2	222	58.6	587
24	PR/SD	8	3	44.2	127	51.9	671

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Number	Management	Treatment	Rep	Zn in grian (Kg/rai)	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in Cargo rice (Kg/rai)	Zn in root (Kg/rai)
25	PR/MD	9	1	50.2	152	81.8	670
26	PR/MD	9	2	48.6	136	80.5	501
27	PR/MD	9	3	53.3	137	72.9	622
28	-/WW	10	1	46.1	114	54.2	728
29	-/WW	10	2	48.0	152	158.5	611
30	-/WW	10	3	35.6	153	40.2	539
31	-/SD	11	1	58.0	123	52.8	607
32	-/SD	11	2	60.3	132	44.5	768
33	-/SD	11	3	44.8	114	45.6	551
34	-/MD	12	1	72.7	143	52.0	671
35	-/MD	12	2	51.7	157	70.0	697
36	-/MD	12	3	45.1	132	44.9	783

ตารางผนวกที่ 6 การสะสมสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6

Number	Management	Treatment	Rep	Zn in grian (Kg/rai)	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in Cargo rice (Kg/rai)	Zn in root (Kg/rai)
1	TSP/WW	1	1	45.7	92.5	60.3	697
2	TSP/WW	1	2	44.7	87.2	43.7	550
3	TSP/WW	1	3	51.8	95	89.4	501
4	TSP/SD	2	1	51.3	143	144.7	813
5	TSP/SD	2	2	47.5	160	47.0	745
6	TSP/SD	2	3	57.1	165	52.5	832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Number	Management	Treatment	Rep	Zn in grian (Kg/rai)	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in Cargo rice (Kg/rai)	Zn in root (Kg/rai)
7	TSP/MD	3	1	47.2	145	60.8	679
8	TSP/MD	3	2	39.3	231	61.7	728
9	TSP/MD	3	3	47.6	150	39.7	785
10	DAP/WW	4	1	47.9	114	65.5	553
11	DAP/WW	4	2	45.6	107	38.1	530
12	DAP/WW	4	3	41.2	137	48.9	509
13	DAP/SD	5	1	43.9	150	45.9	757
14	DAP/SD	5	2	34.3	183	61.6	766
15	DAP/SD	5	3	38.4	244	62.1	796
16	DAP/MD	6	1	48.8	161	46.6	569
17	DAP/MD	6	2	82.7	213	60.4	652
18	DAP/MD	6	3	46.4	120	41.5	524
19	PR/WW	7	1	36.9	93	61.6	632
20	PR/WW	7	2	48.7	113	43.7	649
21	PR/WW	7	3	39.8	152	46.6	583
22	PR/SD	8	1	39.6	124	32.9	659
23	PR/SD	8	2	40.1	156	49.6	589
24	PR/SD	8	3	58.1	152	40.1	739
25	PR/MD	9	1	82.2	179	48.9	655
26	PR/MD	9	2	37.8	12	45.3	635
27	PR/MD	9	3	45.7	157	34.5	672
28	-/WW	10	1	45.6	106	46.0	592
29	-/WW	10	2	34.2	110	43.2	493
30	-/WW	10	3	32.1	109	38.5	695
31	-/SD	11	1	30.4	158	46.9	623
32	-/SD	11	2	37.0	145	52.8	649
33	-/SD	11	3	38.6	139	51.3	643
34	-/MD	12	1	64.0	185	52.9	606
35	-/MD	12	2	39.9	168	36.0	775
36	-/MD	12	3	34.5	138	53.3	580

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 การดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Number	Management	Treatment	Rep	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in grian (Kg/rai)
1	TSP/WW	1	1	9713	467
2	TSP/WW	1	2	343	201
3	TSP/WW	1	3	3016	682
4	TSP/SD	2	1	1485	554
5	TSP/SD	2	2	1411	372
6	TSP/SD	2	3	1800	755
7	TSP/MD	3	1	1854	354
8	TSP/MD	3	2	1521	680
9	TSP/MD	3	3	1704	543
10	DAP/WW	4	1	2137	551
11	DAP/WW	4	2	1541	510
12	DAP/WW	4	3	1883	655
13	DAP/SD	5	1	2501	436
14	DAP/SD	5	2	1224	421
15	DAP/SD	5	3	1268	597
16	DAP/MD	6	1	1613	438
17	DAP/MD	6	2	2032	571
18	DAP/MD	6	3	1702	352
19	RP/WW	7	1	517.7	160
20	RP/WW	7	2	979.7	236
21	RP/WW	7	3	1599	588
22	RP/SD	8	1	2078	508
23	RP/SD	8	2	2413	403
24	RP/SD	8	3	1904	486
25	RP/MD	9	1	1628	385
26	RP/MD	9	2	1272	282
27	RP/MD	9	3	1118	437
28	-/WW	10	1	1235	420
29	-/WW	10	2	1204	350
30	-/WW	10	3	1556	380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

Number	Management	Treatment	Rep	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in grian (Kg/rai)
31	-/SD	11	1	992.7	276
32	-/SD	11	2	1215	525
33	-/SD	11	3	994.3	301
34	-/MD	12	1	1437	550
35	-/MD	12	2	2032	540
36	-/MD	12	3	1350	496

ตารางผนวกที่ 8 การดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6

Number	Management	Treat.	Rep.	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in grian (Kg/rai)
1	TSP/WW	1	1	804	210
2	TSP/WW	1	2	883	488
3	TSP/WW	1	3	598	189
4	TSP/SD	2	1	1474	524
5	TSP/SD	2	2	2090	688
6	TSP/SD	2	3	2176	809
7	TSP/MD	3	1	1298	380
8	TSP/MD	3	2	2906	544
9	TSP/MD	3	3	1470	450
10	DAP/WW	4	1	1310	566
11	DAP/WW	4	2	1105	513
12	DAP/WW	4	3	2256	600
13	DAP/SD	5	1	1995	633
14	DAP/SD	5	2	2434	470
15	DAP/SD	5	3	3355	592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

Number	Management	Treat.	Rep.	Zn in straw (Kg/rai)	Zn in grian (Kg/rai)
16	DAP/MD	6	1	1941	619
17	DAP/MD	6	2	2667	1063
18	DAP/MD	6	3	1789	776
19	RP/WW	7	1	985	404
20	RP/WW	7	2	927	402
21	RP/WW	7	3	1083	234
22	RP/SD	8	1	1213	459
23	RP/SD	8	2	1806	545
24	RP/SD	8	3	1219	504
25	RP/MD	9	1	1814	1023
26	RP/MD	9	2	159	549
27	RP/MD	9	3	1853	623
28	-/WW	10	1	725	340
29	-/WW	10	2	1086	364
30	-/WW	10	3	1385	430
31	-/SD	11	1	1699	378
32	-/SD	11	2	1392	387
33	-/SD	11	3	1584	475
34	-/MD	12	1	1087	383
35	-/MD	12	2	1252	392
36	-/MD	12	3	1572	387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8

Analysis of Variance Table for ACD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	1.6393	0.81967		
P	2	0.2681	0.13406	0.18	0.8396
WATER	2	7.3398	3.66991	4.84	0.0227
P*WATER	4	3.7314	0.93285	1.23	0.3373
Error	16	12.1346	0.75841		
Total	26	25.1133			

Grand Mean 3.1852 CV 27.34

Analysis of Variance Table for BCD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	2.5120	1.2560		
P	2	8.3565	4.1782	2.11	0.1541
WATER	2	28.3967	14.1984	7.16	0.0060
P*WATER	4	4.6314	1.1578	0.58	0.6789
Error	16	31.7325	1.9833		
Total	26	75.6291			

Grand Mean 3.9052 CV 36.06

Analysis of Variance Table for CCD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	1.2258	0.61289		
P	2	0.1013	0.05064	0.02	0.9773
WATER	2	10.4977	5.24887	2.39	0.1238
P*WATER	4	5.3378	1.33445	0.61	0.6633
Error	16	35.1745	2.19841		
Total	26	52.3371			

Grand Mean 3.1132 CV 47.63

Analysis of Variance Table for DCD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	13505	6752.5		
P	2	37420	18710.0	6.23	0.0100
WATER	2	38158	19079.1	6.35	0.0093
P*WATER	4	5073	1268.2	0.42	0.7904
Error	16	48071	3004.4		
Total	26	142227			

Grand Mean 192.74 CV 28.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
3	3.3200	A
2	3.1533	A
1	3.0822	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4105
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.8703
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	3.7478	A
2	3.3167	AB
1	2.4911	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4105
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.8703
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	4.5667	A
2	3.9433	A
3	3.2056	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6639
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 1.4074
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	5.2233	A
2	3.7700	B
1	2.7222	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6639
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 1.4074
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
2	3.1889	A
1	3.1118	A
3	3.0389	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6990
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 1.4817
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	3.8356	A
2	3.1900	AB
1	2.3140	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6990
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 1.4817
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	243.44	A
2	179.67	B
3	155.11	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 25.839
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 54.776
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	233.67	A
2	201.67	A
1	142.89	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 25.839
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 54.776
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

ตารางผนวกที่ 10 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8

Analysis of Variance Table for ACD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	2.2255	1.1127		
P	2	1.0942	0.5471	0.74	0.4939
WATER	2	28.9641	14.4821	19.52	0.0001
P*WATER	4	2.8425	0.7106	0.96	0.4569
Error	16	11.8685	0.7418		
Total	26	46.9948			

Grand Mean 2.9870 CV 28.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Variance Table for BCD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	1.9233	0.9617		
P	2	0.0672	0.0336	0.04	0.9624
WATER	2	35.6173	17.8086	20.38	0.0000
P*WATER	4	0.6667	0.1667	0.19	0.9397
Error	16	13.9811	0.8738		
Total	26	52.2557			

Grand Mean 3.3859 CV 27.61

Analysis of Variance Table for CCD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	2.0628	1.0314		
P	2	3.6613	1.8307	1.94	0.1755
WATER	2	30.9450	15.4725	16.43	0.0001
P*WATER	4	2.9547	0.7387	0.78	0.5518
Error	16	15.0686	0.9418		
Total	26	54.6924			

Grand Mean 3.0707 CV 31.60

Analysis of Variance Table for DCD

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	7630	3815.1		
P	2	9181	4590.6	1.12	0.3497
WATER	2	77637	38818.3	9.50	0.0019
P*WATER	4	31278	7819.6	1.91	0.1574
Error	16	65407	4087.9		
Total	26	191133			

Grand Mean 221.38 CV 28.88

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
3	3.1944	A
2	3.0522	A
1	2.7144	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4060
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.8607
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	3.8456	A
2	3.5856	A
1	1.5300	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4060
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.8607
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
2	3.4467	A
1	3.3867	A
3	3.3244	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4407
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.9342
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
2	4.2356	A
3	4.1600	A
1	1.7622	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4407
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.9342
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
3	3.4478	A
2	3.1933	A
1	2.5711	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4575
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.9698
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	4.0722	A
2	3.5533	A
1	1.5867	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4575
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 0.9698
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
3	247.44	A
2	209.02	A
1	207.67	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 30.140
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 63.894
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	280.11	A
2	233.56	A
1	150.47	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 30.140
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 63.894
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

ตารางผนวกที่ 11 การเปรียบเทียบการดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8

Analysis of Variance Table for ACD

Source	DF	SS	MS	F	P
P	2	3021.1	1510.57	2.99	0.0756
WATER	2	3365.0	1682.50	3.33	0.0588
P*WATER	4	625.7	156.42	0.31	0.8677
Error	18	9092.3	505.13		
Total	26	16104.1			

Grand Mean 48.000 CV 46.82

Analysis of Variance Table for BCD

Source	DF	SS	MS	F	P
P	2	62.69	31.345	0.17	0.8463
WATER	2	367.88	183.942	0.99	0.3916
P*WATER	4	803.07	200.768	1.08	0.3963
Error	18	3350.70	186.150		
Total	26	4584.34			

Grand Mean 30.364 CV 44.93

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	59.312	A
2	50.822	AB
3	33.867	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 10.595
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 22.259
Error term used: Error, 18 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	59.211	A
2	52.022	AB
1	32.768	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 10.595
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 22.259
Error term used: Error, 18 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	31.638	A
2	31.233	A
3	28.222	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.4317
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 13.512
Error term used: Error, 18 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
2	33.500	A
3	32.411	A
1	25.182	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.4317
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 13.512
Error term used: Error, 18 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

ตารางผนวกที่ 12 การเปรียบเทียบการดูดดึงแคดเมียมในข้าวพันธุ์ กข.6 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8

Analysis of Variance Table for ACD

Source	DF	SS	MS	F	P
P	2	649.1	324.53	1.51	0.2473
WATER	2	5881.3	2940.65	13.69	0.0002
P*WATER	4	397.0	99.24	0.46	0.7626
Error	18	3865.2	214.73		
Total	26	10792.5			

Grand Mean 39.189 CV 37.39

Analysis of Variance Table for BCD

Source	DF	SS	MS	F	P
P	2	740.5	370.23	1.69	0.2126
WATER	2	6438.4	3219.19	14.69	0.0002
P*WATER	4	1239.1	309.76	1.41	0.2696
Error	18	3944.3	219.13		
Total	26	12362.2			

Grand Mean 37.107 CV 39.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
2	45.911	A
1	37.300	A
3	34.356	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.9079
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 14.513
Error term used: Error, 18 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ACD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
2	50.544	A
3	48.678	A
1	18.344	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.9079
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 14.513
Error term used: Error, 18 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for P

P	Mean	Homogeneous Groups
2	43.100	A
3	37.878	A
1	30.342	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.9782
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 14.661
Error term used: Error, 18 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BCD for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	49.544	A
2	46.433	A
1	15.342	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 6.9782
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 14.661
Error term used: Error, 18 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8

Analysis of Variance Table for AZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	4.427	2.2137		
P	2	98.721	49.3604	3.25	0.0653
WATER	2	22.005	11.0026	0.72	0.4996
P*WATER	4	84.517	21.1293	1.39	0.2811
Error	16	242.853	15.1783		
Total	26	452.523			

Grand Mean 50.437 CV 7.72

Analysis of Variance Table for BZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	34341	17170.5		
P	2	22910	11454.9	0.69	0.5180
WATER	2	22878	11438.8	0.68	0.5185
P*WATER	4	76258	19064.4	1.14	0.3728
Error	16	267336	16708.5		
Total	26	423723			

Grand Mean 158.59 CV 81.51

Analysis of Variance Table for CZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	247.24	123.620		
P	2	178.97	89.486	0.57	0.5774
WATER	2	1267.35	633.676	4.03	0.0384
P*WATER	4	1406.15	351.538	2.23	0.1112
Error	16	2518.51	157.407		
Total	26	5618.22			

Grand Mean 53.981 CV 23.24

Analysis of Variance Table for DZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	9497	4748.4		
P	2	127782	63890.8	7.10	0.0062
WATER	2	10833	5416.4	0.60	0.5596
P*WATER	4	26599	6649.7	0.74	0.5789
Error	16	143940	8996.2		
Total	26	318650			

Grand Mean 657.00 CV 14.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	52.967	A
2	50.000	AB
3	48.344	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 1.8366
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 3.8933
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	51.533	A
2	50.456	A
1	49.322	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 1.8366
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 3.8933
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	199.78	A
3	138.78	A
2	137.22	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 60.934
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 129.18
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
1	199.33	A
3	143.33	A
2	133.11	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 60.934
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 129.18
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
3	56.167	A
2	55.411	A
1	50.367	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 5.9143
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 12.538
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	63.333	A
2	51.500	AB
1	47.111	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 5.9143
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 12.538
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	752.22	A
2	626.67	B
3	592.11	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 44.712
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 94.785
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
1	673.22	A
3	669.00	A
2	628.78	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 44.712
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 94.785
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 14 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข.6 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8

Analysis of Variance Table for AZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	31.55	15.773		
P	2	0.74	0.370	0.00	0.9975
WATER	2	381.18	190.591	1.27	0.3078
P*WATER	4	645.08	161.269	1.07	0.4017
Error	16	2402.16	150.135		
Total	26	3460.71			

Grand Mean 47.789 CV 25.64

Analysis of Variance Table for BZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	1659.7	829.83		
P	2	4720.7	2360.36	1.20	0.3279
WATER	2	14471.3	7235.63	3.67	0.0488
P*WATER	4	6624.1	1656.03	0.84	0.5200
Error	16	31559.4	1972.46		
Total	26	59035.2			

Grand Mean 142.06 CV 31.26

Analysis of Variance Table for CZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	963.6	481.82		
P	2	2218.0	1109.02	2.33	0.1296
WATER	2	530.0	264.99	0.56	0.5840
P*WATER	4	855.1	213.77	0.45	0.7718
Error	16	7621.3	476.33		
Total	26	12188.0			

Grand Mean 54.578 CV 39.99

Analysis of Variance Table for DZN

Source	DF	SS	MS	F	P
REP	2	1616	808.1		
P	2	27638	13818.8	4.13	0.0358
WATER	2	123863	61931.4	18.51	0.0001
P*WATER	4	48946	12236.4	3.66	0.0267
Error	16	53542	3346.4		
Total	26	255605			

Grand Mean 659.22 CV 8.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	48.022	A
2	47.689	A
3	47.656	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 5.7761
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 12.245
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
3	53.078	A
2	45.589	A
1	44.700	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 5.7761
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 12.245
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
2	158.78	A
1	140.97	A
3	126.44	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 20.936
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 44.383
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of BZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
2	164.11	A
3	152.00	AB
1	110.08	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 20.936
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 44.383
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	66.644	A
2	52.289	AB
3	44.800	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 10.288
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 21.810
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LSD All-Pairwise Comparisons Test of CZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
2	59.600	A
1	55.311	A
3	48.822	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 10.288
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 21.810
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	703.33	A
3	645.89	AB
2	628.44	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 27.270
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 57.810
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of DZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
2	744.00	A
3	655.44	B
1	578.22	C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 27.270
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 57.810
Error term used: REP*P*WATER, 16 DF
All 3 means are significantly different from one another.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 15 การเปรียบเทียบการดูดดึงสังกะสีในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรม statistix 8

Analysis of Variance Table for AZN

Source	DF	SS	MS	F	P
P	2	5228053	2614027	0.96	0.4010
WATER	2	3245822	1622911	0.60	0.5610
P*WATER	4	1.365E+07	3412602	1.26	0.3235
Error	18	4.892E+07	2718054		
Total	26	7.105E+07			

Grand Mean 1935.5 CV 85.18

Analysis of Variance Table for BZN

Source	DF	SS	MS	F	P
P	2	87451	43725.4	1.87	0.1826
WATER	2	17500	8749.8	0.37	0.6929
P*WATER	4	54283	13570.7	0.58	0.6804
Error	18	420537	23363.2		
Total	26	579771			

Grand Mean 467.56 CV 32.69

LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZN for P

P	Mean	Homogeneous Groups
1	2538.6	A
2	1766.8	A
3	1501.0	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 777.18
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 1632.8
Error term used: Error, 18 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZN for WATER

WATER	Mean	Homogeneous Groups
1	2414.4	A
2	1787.1	A
3	1604.9	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 777.18
Critical T Value 2.101 Critical Value for Comparison 1632.8
Error term used: Error, 18 DF
There are no significant pairwise differences among the means.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้