



วิทยานิพนธ์

ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดซับแคดเมียมของถั่วเหลืองที่ปลูกใน
ดินปนเปื้อนแคดเมียม

**EFFECT OF SOIL AMENDMENTS ON CADMIUM UPTAKE OF SOYBEANS
GROWN IN CADMIUM CONTAMINATED SOILS**

นางสาวศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๔๕



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดซับแคดเมียมของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อน
แคดเมียม

Effect of Soil Amendments on Cadmium Uptake of Soybeans Grown in Cadmium
Contaminated Soils

นามผู้วิจัย นางสาวศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์จรงค์ จันทน์เจริญสุข, D.Agr.)

กรรมการ

(อาจารย์พิชิต พงษ์สกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เอ็จ สโรบล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วันัย อากงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดซับแคดเมียมของถั่วเหลือง
ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

Effect of Soil Amendments on Cadmium Uptake of Soybeans Grown in
Cadmium Contaminated Soils

โดย

นางสาวศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2215-5

สราริน กลิ่นโพธิ์กลับ 2549: ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดดึงแคลเซียมของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคลเซียม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์จรงค์ จันท์เจริญสุข, D.Agr. 131 หน้า ISBN 974-16-2215-5

ศึกษาผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดดึงแคลเซียมของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคลเซียม เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2547 ถึงเดือนสิงหาคม 2548 โดยทำการทดลองแบบ 4x6 factorial in CRD มี 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือดินปนเปื้อนแคลเซียม 4 ระดับ ได้แก่ ดินปนเปื้อนแคลเซียมระดับ 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินปนเปื้อนแคลเซียมระดับ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินปนเปื้อนแคลเซียมระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินปนเปื้อนแคลเซียมระดับ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปัจจัยที่ 2 คือ สารปรับปรุงดิน 6 ชนิด ได้แก่ ซีโอไลท์ เบนทอนต์ ปูนมาร์ล ฟางข้าว แกลบเผา และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน เก็บตัวอย่างดินและพืชมาชั่งน้ำหนักสดและแห้งและนำมาวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมและสังกะสีในเมล็ด และในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางข้าว มีปริมาณต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ และระดับการปนเปื้อนของแคลเซียมในดินที่สูงขึ้น มีผลทำให้ถั่วเหลืองดูดดึงแคลเซียมและสังกะสีได้สูงขึ้นอีกด้วย และพบว่าถั่วเหลืองสะสมแคลเซียม สังกะสี เหล็ก และแมงกานีสในลำต้นและใบมากกว่าในเมล็ด

นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เบนทอนต์จะให้น้ำหนักแห้งเมล็ด ลำต้นและใบ และน้ำหนักสดรวม มีค่าสูงที่สุดและแตกต่างจากการใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ ทางสถิติอย่างเด่นชัด ในขณะที่การใช้ฟางข้าว มีผลให้น้ำหนักแห้งเมล็ด ลำต้นและใบ และน้ำหนักสดรวมมีค่าต่ำที่สุด และการใส่สารปรับปรุงดินทุกชนิด มีผลทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในดินมีค่าลดลง แต่ก็ยังสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Sararin Klinphoklap 2006: Effect of Soil Amendments on Cadmium Uptake of Soybeans Grown in Cadmium Contaminated Soils. Master of Science (Agriculture), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Associate Professor Jongruk Chanchareonsook, D.Agr. 131 pages.
ISBN 974-16-2215-5

The experiment was conducted to study the effect of soil amendments on cadmium uptake of soybeans grown in cadmium contaminated soils during July 2004 to August 2005. The experimental design was 4x6 Factorial in Completely Randomized Design with 3 replications. Treatments were composed of 2 factors ; cadmium contaminated soils and soil amendments. The cadmium contaminated soils were 13 mg/kg, 30 mg/kg, 50 mg/kg and 150 mg/kg. The soil amendments were zeolite, bentonite, marls, rice straw, rice hull-carbonized and control. Soil and plant samples were collected for analysis at planting, flowering and harvesting in the laboratory room.

This results showed that soybeans that were grown in cadmium contaminated soils with rice straw had less cadmium and zinc in seed, stem and leaf than other treatments. In the higher level of the contaminated soils, the results showed that soybeans had the higher uptake of cadmium and zinc as compared to the lower level of contaminated soils. Soybeans could take up cadmium, zinc, iron and manganese into stem and leaf more than seed.

Soybean that grown in cadmium contaminated soils with bentonite gave the highest dry weight of seed, stem and leaf and total weight but soybean that grown in cadmium contaminated soils with rice straw gave the opposite results. It was found that every soil amendments could reduced the concentration of cadmium in soil but the concentrations of cadmium were still exceed the standard level.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณในความเมตตากรุณาจากอาจารย์หลายท่าน อันได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ จันทน์เจริญสุข ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์พิชิต พงษ์สกุล กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.เอ็จ สโรบล กรรมการวิชาการ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้ ความรู้และคำปรึกษา ตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไป ได้ด้วยดี และรองศาสตราจารย์ ดร.วิชา นิยม กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อความสมบูรณ์แห่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.โรเบิร์ต ชิมมอนส์ ที่ได้ให้โอกาสทางการศึกษาและความรู้ทาง วิชาการแก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณข้าราชการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ กองปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ได้ ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านไม่ว่าจะเป็นด้านข้อมูลข่าวสารหรือความสะดวกในการทำการ วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และสถาบันการจัดการทรัพยากรน้ำนานาชาติ ซึ่งให้โอกาสเข้าไปศึกษา และให้ความรู้ทางวิชาการอย่างเต็มที่

ขอบคุณเพื่อน พี่น้องนิสิตสาขาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ให้กันและกันตลอดมา ขอขอบคุณพ่อแม่พี่น้องบ้านคนรักฉันก ปากช่องทุกท่านที่เป็นกำลังใจสำคัญ ในการดำเนินชีวิต

คุณประโยชน์ทั้งหลายอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณปู่และบิดาผู้ล่วงลับ ไปแล้ว ตลอดจนคุณย่า คุณพ่อระวี-คุณแม่สมศรี พี่น้องครอบครัวแสงสุวรรณ และครู-อาจารย์ของ ข้าพเจ้า ซึ่งเป็นแรงใจที่สำคัญและให้การสนับสนุนเสมอมา

ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ

เมษายน 2549

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	25
ผลการทดลอง	30
วิจารณ์ผลการทดลอง	108
สรุปและข้อเสนอแนะ	112
สรุป	112
ข้อเสนอแนะ	113
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	114
ภาคผนวก	122
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์โดยการกิน	9
2	ระดับเกณฑ์พื้นฐานที่แนะนำสำหรับโลหะหนักในดินประเทศไทย	12
3	ความเข้มข้นแคดเมียมและสมบัติน้ำประการของดินก่อนทดลอง	23
4	น้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	31
5	น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	33
6	น้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	35
7	ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	37
8	ความเข้มข้นของแคดเมียมในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	39
9	ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	42
10	ความเข้มข้นของสังกะสีในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	44
11	ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	45
12	ความเข้มข้นของเหล็กในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	46
13	ความเข้มข้นของแมงกานีสในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ความเข้มข้นของแมงกานีสในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	50
15	ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	52
16	ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	54
17	ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	56
18	ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	58
19	ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลือง ที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	59
20	ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	61
21	ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	63
22	ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
23	ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)	67
24	ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่เคลื่อนย้ายได้ในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)	69
25	ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)	71
26	ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)	73
27	ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	75
28	ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	77
29	ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	79
30	ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	81
31	ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
32	ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน แคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	85
33	ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับ การปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บ เกี่ยวผลผลิต)	87
34	ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการ ปนเปื้อนแคดเมียมต่างกัน และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยว ผลผลิต)	89
35	ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	93
36	ผลของสารปรับปรุงดินต่อเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในดิน (ระยะก่อนปลูก ถั่วเหลือง)	95
37	ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)	99
38	ผลของสารปรับปรุงดินต่อเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในดิน (ระยะถั่วเหลือง ออกดอก)	101
39	ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	105
40	ผลของสารปรับปรุงดินต่อเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในดิน (ระยะเก็บเกี่ยว ผลผลิต)	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 สมบัติบางประการของสารปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลอง	123
2 แสดงปริมาณสารปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลอง	123
3 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	124
4 แสดงการเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit	127
5 ปริมาณแคดเมียมในดินบนชนิดต่าง ๆ (ppm)	128
6 ปริมาณแคดเมียมในดินบนที่มีการปนเปื้อน (ppm)	128
7 ปริมาณแคดเมียมในพืช (ppm นน.แห้ง)	129
8 ค่าคำนวณปริมาณแคดเมียมที่ผู้บริโภครจะได้รับเมื่อบริโภคผักที่ปลูกในดินที่มี แคดเมียมสะสมในปริมาณต่าง ๆ กัน	129
9 ปริมาณแคดเมียมในพืชที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อน (ppm นน.แห้ง)	130

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเคลื่อนย้ายแคดเมียมในดิน พืช และห่วงโซ่อาหาร	7
2 แผนที่แสดงตำแหน่งบ้านพะเต๊ะ อ.แม่สอ ด.ตาก ที่เก็บตัวอย่างดินมาศึกษา	22
3 ความเข้มข้นแคดเมียมในส่วนของเมล็ด และลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ	40
4 ค่าพีเอชของดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับที่มีการใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)	91
5 ค่าพีเอชของดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับที่มีการใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)	97
6 ค่าพีเอชของดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับที่มีการใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)	103

ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดซับแคดเมียมของถั่วเหลือง ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

Effect of Soil Amendments on Cadmium Uptake of Soybeans Grown in Cadmium Contaminated Soils

คำนำ

ในช่วงระยะเวลา 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา กระแสความตื่นตัวในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้แผ่ขยายไปทั่วโลก สืบเนื่องมาจากการขยายตัวของการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการบริโภคที่เปลี่ยนแปลง (ณรงค์, 2525) ประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ต่อปี (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2535) ขณะเดียวกันปัญหามลพิษทางน้ำยังจัดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ซึ่งหากไม่มีการจัดการปรับปรุงระบบการควบคุมให้ดีขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น (จำลองและคณะ, 2546)

บ้านพะเต๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีจำนวนครัวเรือนทั้งสิ้น 99 ครัวเรือนและประชาชนจำนวน 80 ครัวเรือนประกอบอาชีพทำเกษตร โดยเป็นการทำนาทั้งหมด 80 ครัวเรือน เป็นพื้นที่ทั้งหมด 200 ไร่ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2545) และหลังจากเสร็จสิ้นการทำนาจะทำการปลูกถั่วเหลืองต่อในพื้นที่เดียวกัน พิชิต (2545) ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและตัวอย่างพืชได้แก่ ข้าวและถั่วเหลืองในแปลงที่ได้รับน้ำชลประทานจากห้วยแม่ดาว ซึ่งไหลผ่านบริเวณที่มีแร่สังกะสีสูงพบว่า ดิน ข้าว และถั่วเหลืองในแนวลาดเทที่ได้รับน้ำชลประทานเป็นแนวแรก มีความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีสูง โดยมีแคดเมียมในดินอยู่ในช่วง $186-234 \text{ mg kg}^{-1}$ และระดับความเข้มข้นจะลดลงตามระยะที่ห่างจากคลองส่งน้ำ Simmons *et al.* (2003) วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในดิน เมล็ดข้าวและเมล็ดถั่วเหลืองจากบริเวณใกล้เคียงกัน พบว่ามีความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในดินสูงกว่าดินปกติในประเทศไทย และเกือบทั้งหมดของตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลือง มีความเข้มข้นของแคดเมียมสูงกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ Codex Committee on Food Additives and Contaminants (CCFAC) กำหนดไว้คือ 0.2 mg kg^{-1}

การปนเปื้อนของโลหะหนัก เป็นปัญหาที่สำคัญ เพราะถ้าไม่มีแนวทางแก้ไขหรือควบคุมปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและพืชผลทางการเกษตร ก็อาจจะเป็นอันตราย เนื่องจากพื้นดินที่เกยอุดมสมบูรณ์จะเกิดมลพิษ ซึ่งมีผลต่อเนื่องทำให้อาหารที่ผลิตจากพืชที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนนั้นไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค (พิชิต, 2545) ชุมชนที่บริโภคข้าวที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมสูงร่วมกับอาหารที่มีธาตุสังกะสีต่ำ มีความเสี่ยงต่ออันตรายที่เกิดจากความเป็นพิษของแคดเมียม (พิชิตและคณะ, 2547) การแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินและพืชผลทางการเกษตรโดยการใช้สารปรับปรุงดิน สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Basta *et al.* (2001) รายงานว่ามีการใช้ lime-stabilized biosolid (LSB), N-Viro soil (NV), rock phosphate (RP) และ anaerobic biosolid (AB) ในการลดปริมาณโลหะหนักในดินที่มีการปนเปื้อนพบว่า Alkaline organic (LSB และ NV) สามารถลดการเคลื่อนย้ายของแคดเมียมจากดินไปสู่ห่วงโซ่อาหารได้ และบุผา (2527) รายงานการทดลองของ Petruzzelli *et al.* (1977) ที่ทำการทดลองเพาะข้าวสาลี โดยใช้สารอินทรีย์ลงไปในดิน พบว่าในดินที่มีสารอินทรีย์มาก จะลดปริมาณของแคดเมียมในพืชลงได้ เป็นต้น

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีการป้องกันไม่ให้พื้นที่ทำการเกษตรมีการปนเปื้อนแคดเมียม รวมทั้งต้องหาวิธีการแก้ไขดินที่มีการปนเปื้อนด้วยวิธีการจัดการดินและพืชที่เหมาะสม เพื่อประโยชน์ในการป้องกันอันตรายต่อผู้บริโภค และประกันคุณภาพของสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออก และเผยแพร่ความรู้สู่เกษตรกรในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม เพื่อประโยชน์ในทางการเกษตรและสุขภาพของคนในพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อพฤติกรรมของแคดเมียมในดินและการดูดซับแคดเมียมของพืช
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินที่มีผลต่อพฤติกรรมของแคดเมียมในดินและการดูดซับแคดเมียมของพืช

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญของถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) MERRILL.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศ สามารถขึ้นได้ดีในสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทย ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง แหล่งปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือ และภาคกลาง เช่น สุโขทัย เชียงใหม่ เพชรบูรณ์ พิจิตร พิษณุโลก แพร่ ลำปาง ตาก กำแพงเพชร ลพบุรี สระบุรี ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง กาญจนบุรี ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นแหล่งที่มีสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะสม สามารถกระจายเนื้อที่ปลูกให้กว้างออกไปได้อีก ส่วนจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดเลย นครราชสีมา ขอนแก่น อุดรธานี อุบลราชธานี มหาสารคาม หนองคาย ซึ่งเป็นแหล่งที่มีน้ำสำหรับปลูกถั่วเหลืองในฤดูแล้งได้ หรือจะปลูกในฤดูฝน โดยใช้เป็นพืชหมุนเวียนกับพืชชนิดอื่น เช่น ปอ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ฯลฯ สำหรับภาคใต้เนื่องจากมีฝนตกชุก การปลูกถั่วเหลืองเพื่อเก็บฝักแห้งอาจมีปัญหาในระหว่างการเก็บเกี่ยวและนวด แต่ถ้าปลูกเพื่อรับประทานฝักสดก็ได้ผลดี เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่ตลาดภายในประเทศมีความต้องการมาก ประกอบกับสามารถใช้เป็นพืชบำรุงดินได้ดี ฉะนั้นควรจะส่งเสริมการปลูกให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น โดยขยายเนื้อที่ปลูก ใช้เมล็ดพันธุ์ดี มีการใช้เชื้อไรโซเบียมคลุกเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก รวมทั้งการปฏิบัติดูแลรักษาที่ดีจะเป็นการเพิ่มผลผลิตได้มาก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ถั่วเหลืองที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 3 กลุ่มคือ

1. พันธุ์อายุสั้น อายุเก็บเกี่ยว 75-85 วัน ลำต้นไม่ทอดยอด ความสูง 30-50 ซม. เช่น พันธุ์นครสวรรค์ 1, เชียงใหม่ 2 เป็นต้น
2. พันธุ์อายุปานกลาง อายุเก็บเกี่ยว 86-112 วัน ลำต้นไม่ทอดยอด ความสูง 60-80 ซม. เช่น พันธุ์เชียงใหม่ 60, สจ. 5, สุโขทัย 1 เป็นต้น
3. พันธุ์อายุค่อนข้างยาว อายุเก็บเกี่ยว 115-120 วัน ลำต้นถึงทอดยอด เช่น พันธุ์จักรพันธ์ 1 เป็นต้น

เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยน้ำมันและโปรตีน ประมาณร้อยละ 20 และ 40 ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2545) และคุณลักษณะดังกล่าวจึงทำให้ถั่วเหลืองเหมาะที่จะนำมาแปรรูปเป็นอาหารของมนุษย์ โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นโปรตีนที่ได้จากพืชที่สามารถผลิตได้ในราคาที่ถูกลงกว่า และคุณภาพเท่ากับโปรตีนที่ได้จากสัตว์ นอกจากนี้ไขมันในถั่วเหลืองยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ ถั่วเหลืองที่เหลือก็นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ (อภิพรธและคณะ, 2544)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2548) รายงานถึงเนื้อที่เพาะปลูกถั่วเหลืองรวมรุ่นทั้งปี 2547/48 ประมาณ 1.023 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจาก 1.010 ล้านไร่ ของปีที่ผ่านมาร้อยละ 1.29 ผลผลิตรวมทั้งหมดประมาณ 0.243 ล้านตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.25 และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ลดลงเป็น 228 กิโลกรัม จาก 237 กิโลกรัม ของปีที่ผ่านมาร้อยละ 0.42 จากประโยชน์อันมากมายของถั่วเหลืองและผลผลิตถั่วเหลืองของประเทศซึ่งนับวันจะไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคในประเทศ และนับวันจะมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นจาก 8.1 แสนตัน ในปี 2538 (อภิพรธและคณะ, 2543) เพิ่มขึ้นเป็น 1.7 ล้านตัน ในปี 2545 (สำนักงานสถิติสภาพราคาสินค้าเกษตร, 2545) จึงต้องมีการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศกว่า 1.3 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2545)

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนัก ตามคำจำกัดความของคณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา (2541) โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเป็นธาตุที่มีเลขเชิงอะตอม (atomic number) ในช่วง 23-92

แคดเมียม (Cd) มีเลขอะตอม 48 อยู่ใน Group IIb ในตารางธาตุ เป็นธาตุที่มีลักษณะใกล้เคียงกับธาตุอื่นใน Group IIb คือ สังกะสี (Zn) และปรอท (Hg) (Traina, 1999)

2.1 ลักษณะโดยทั่วไป

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีสีขาว ฟ้ายาว มีลักษณะเนื้ออ่อน สามารถบิดโค้งงอได้และถูกตัดได้ง่ายด้วยมีด มักอยู่ในรูปแท่ง แผ่น เส้นลวด หรือเป็นผงเม็ดเล็กๆ (พรรณทิพย์, 2545) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 112 จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 321 องศาเซลเซียส จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส (Cotton and Wilkinson, 1966 ; Traina, 1999) แคดเมียมบางรูปละลายน้ำ

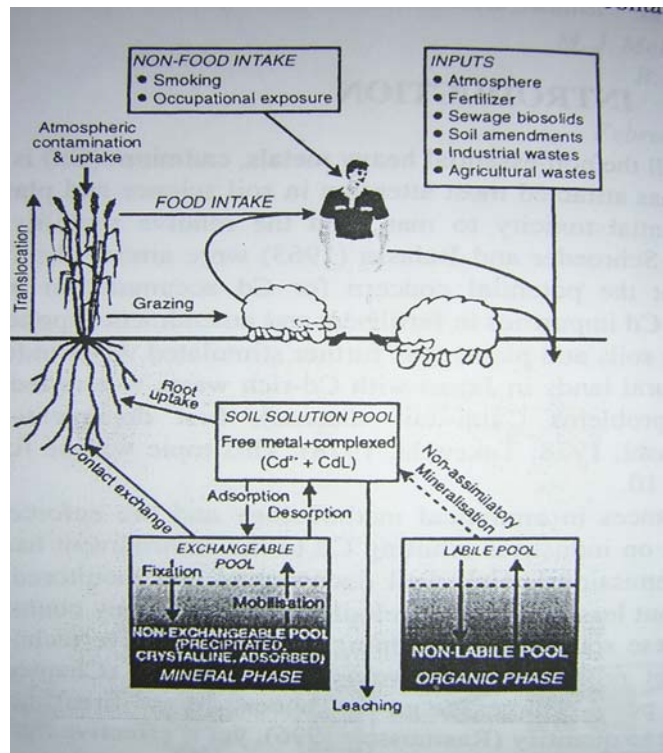
ได้ แคลเซียมไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อมแต่เปลี่ยนรูปได้ ในดิน หิน และปุ๋ยจากแร่ (mineral fertilizers) มีแคลเซียมอยู่บ้าง (Top 20 Hazardous Substances, 1999) ในอากาศที่มีความชื้น แคลเซียมจะถูกออกซิไดซ์ช้าๆ ให้แคลเซียมออกไซด์ ในธรรมชาติแคลเซียมมักจะอยู่รวมกับ กำมะถันเป็นแคลเซียมซัลไฟด์และ มักปนอยู่ในสินแร่สังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง แคลเซียมที่อยู่ในแร่จะอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลไฟท์ เป็นต้น ไม่มีกลิ่นหรือรสที่แน่นอน ในการทำเหมืองสังกะสีก็จะมีแคลเซียมเป็น ผลพลอยได้ (พรรณทิพย์, 2545)

2.2 แหล่งที่มา

แหล่งที่มาของแคลเซียมนั้นมีหลายแหล่งแตกต่างกันไป โดยแหล่งที่สำคัญคือ หิน phosphorites มี $0-170 \text{ mgkg}^{-1}$ shale และ clays มี $0-11 \text{ mgkg}^{-1}$ fossil oil มีประมาณ 0.01 mgkg^{-1} สำหรับในดินนั้น มีในปริมาณค่อนข้างต่ำ (อรรณ, 2522) พบแคลเซียมปริมาณสูง ใน sedimentary rocks (Traina, 1999) และมักจะยึดแน่นอยู่กับดินตะกอนในทะเล ส่วนใน บรรยากาศนั้นก็ยังมีไม่มากนัก เพราะเป็นธาตุหนักและระเหิดไม่ได้ ดังนั้นปริมาณแคลเซียมใน บรรยากาศจึงมีน้อย (อรรณ, 2522)

2.3 การดูดซึมของร่างกาย

การดูดซึมของแคลเซียมในร่างกายจะขึ้นอยู่กับการสูบบุหรี่และอัตราการดูดซึม แคลเซียมผ่านการกิน สำหรับการตรวจพบปริมาณแคลเซียมในเลือดจะชี้ให้เห็นว่า ส่วนใหญ่เป็น ผลมาจากการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายในช่วงระยะที่ผ่านมาไม่กี่เดือน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ร่างกาย คนเราดูดซึมแคลเซียมได้น้อยประมาณ 3-8% ของปริมาณที่ได้รับจากอาหาร ความผันแปรขึ้นอยู่กับ ชนิดของเกลือและการละลายได้ในน้ำ แคลเซียมจะถูกพาไปในเลือด แต่ไม่สามารถซึมผ่านทางรก จากแม่ไปยังลูกได้ ดังนั้นเด็กทารกที่เกิดใหม่จึงมีปริมาณแคลเซียมน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม และ ร่างกายจะค่อยๆ สะสมแคลเซียมไปเรื่อยๆ เมื่อมีอายุถึง 50-60 ปี จะมีแคลเซียมได้มากถึง 20-50 มิลลิกรัม (ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, 2545)



ภาพที่ 1 การเคลื่อนย้ายแคดเมียมในดิน พืช และห่วงโซ่อาหาร
ที่มา : McLaughlin and Singh (1999)

2.4 การแพร่กระจาย

แคดเมียมเป็นสารที่มีคุณสมบัติในแง่ของพิษสะสมสูงเนื่องจากมีวงจรครึ่งชีวิต (half-life) มากกว่า 10 ปี การสะสมจะมากขึ้นตามอายุ จะแสดงผลช้าที่สุดเมื่ออายุ 50-60 ปี ปริมาณครึ่งหนึ่งของแคดเมียมในร่างกายจะถูกเก็บสะสมอยู่ที่ตับและไต (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.5 การขับถ่าย

แคดเมียมถูกขับถ่ายออกจากร่างกายได้โดยผ่านทางไต แต่อัตราการขับออกจะน้อยกว่าอัตราการดูดซึม จึงมีผลทำให้เกิดการสะสมในร่างกายโดยเฉพาะในไตและตับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) แคดเมียมสามารถขับออกได้ทางปัสสาวะและอุจจาระ (เกษม, 2544) แต่จะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะน้อยมากเพียง 2 ไมโครกรัมต่อวันและจะเพิ่มขึ้นตามอายุ หากไตผิดปกติจะมี

การจับแคลเซียมออกมาในปัสสาวะมากขึ้นพร้อมกับมีภาวะโปรตีนในปัสสาวะร่วมด้วย (ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, 2545)

2.6 ความเป็นพิษของแคลเซียม

การบริโภคพืชผลทางการเกษตร เช่น ข้าว ถั่วเหลือง ที่มีแคลเซียมปนเปื้อนอยู่ อาจทำให้เป็นโรคเรื้อรังหรือเฉียบพลัน เช่น โรคฮีโมโกลิน-ฮีโมโกลิน แคลเซียมมักสะสมอยู่ใน proximal tubules ของ cortex ของไต (Svartengren *et al.*, 1986) โดยเกาะติดอยู่กับโปรตีน metallothionein ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นผลให้อัตราการขับถ่ายแคลเซียมออกจากร่างกายต่ำ แคลเซียมจึงสะสมอยู่ได้เป็นเวลานาน ความเป็นพิษของแคลเซียมแบ่งออกเป็น

2.6.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

2.6.1.1 ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินอาหารจะเป็นระบบแรกในร่างกายที่จะได้รับพิษเมื่อร่างกายได้รับแคลเซียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคลเซียมปนเปื้อน อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นไส้อย่างรุนแรง ตามด้วยการอาเจียนท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากจะมีอาการตามมาใน 2 ลักษณะ คือ อาจเกิดอาการช็อคเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมากและอาจทำให้ตายได้ภายใน 24 ชั่วโมง หรืออีกลักษณะหนึ่งคือ ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้ภายใน 7 หรือ 14 วัน นอกจากนี้ อาจจะมีผลไปทำลายตับด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.6.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ

ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในระบบหายใจ เนื่องจากการสูดไอหรือควันของแคลเซียม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะด้วยความร้อนสูง แต่โดยทั่วไปในขณะที่สูดหายใจจะไม่ปรากฏอาการหรือมีอาการเพียงเล็กน้อย ไอที่เกิดจากการใช้กระแสไฟฟ้า จะมีความเป็นพิษเป็น 2 เท่าของไอที่เกิดจากความร้อน อาการโดยรวมจะปรากฏหลังจากสูดไอเข้าไปแล้ว 2-3 ชั่วโมง คือเกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลมและ

ปอด ซึ่งรวมถึงอาการอื่น ๆ ด้วย เช่น ระบายท้องที่จุกและคอ ไอ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก นอกจากนี้อาจมีอาการอย่างอื่นปรากฏด้วย เช่น คลื่นเหียน อาเจียน และท้องร่วง

ตารางที่ 1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์โดยการกิน

ปริมาณแคดเมียม (mg)	อาการที่เกิดขึ้น
3-90	เกิดอาการอาเจียน แต่ไม่มีผลทำให้ถึงตาย
15	เกิดการอาเจียน
10-326	เกิดอาการความเป็นพิษอย่างรุนแรงแต่ไม่ถึงตาย
350-3500	ปริมาณที่อาจจะทำให้ถึงตายได้
1530-8900	ปริมาณที่ทำให้ตายได้

หมายเหตุ โดยสรุปอย่างคร่าว ๆ ปริมาณที่ไม่มีผลต่อร่างกายแบบเฉียบพลันเมื่อกินเข้าไปครั้งเดียว คือ 3 mg

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2541)

2.6.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษแบบเรื้อรังที่มีต่อมนุษย์ หลังจากที่ได้รับร่างกายมนุษย์ได้รับ แคดเมียมในปริมาณปานกลางเข้าไปนานติดต่อกัน ความเป็นพิษมักจะไปปรากฏที่ปอดและไต เป็นส่วนใหญ่ ส่วนในระบบอื่น ๆ ก็มีปรากฏอาการเช่นเดียวกัน เช่น ที่กระดูก เม็ดโลหิต ส่วนใน สัตว์ทดลองจะพบอาการของความดันโลหิตสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

3. ปฏิกริยาในดินของแคดเมียม

ในสภาพดินเป็นกรด แคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ดีกว่าสังกะสี ในการสลายตัวของหินและแร่ แคดเมียมในดินอยู่ในสภาพละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจอยู่ในรูป ไอออนเชิงซ้อน (complex ion) และสารประกอบต่าง ๆ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมสภาพเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดินคือ pH และศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ซึ่งดินที่มีศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบเช่น CdO และ $CdCO_3$ หรืออาจอยู่ร่วมกับฟอสเฟตก็ได้

เช่นเดียวกัน และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีจะลดลงเมื่อ pH สูงขึ้น (Helmke, 1999)

เนื่องจากในดินขังน้ำจะมีค่า Redox Potential -120 ถึง -180mV ซึ่งซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) จะถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) และรวมตัวกับแคดเมียมและสังกะสี กลายเป็นแคดเมียมซัลไฟด์และสังกะสีซัลไฟด์ในที่สุด ในสภาพน้ำขังจะทำให้ pH ของดินสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมและสังกะสี ลดลง แต่ในสภาพที่ไม่มีการขังน้ำ จะมีผลทำให้ CdS และ ZnS เปลี่ยนกลับไปเป็น CdSO_4 และ ZnSO_4 ซึ่งเป็นรูปที่ง่ายต่อการดูดซึมของพืชในที่สุด (Simmons *et al.*, 2003) pH ของดินเป็นปัจจัยหลักที่จะควบคุมการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในดิน โดยทั่วไปแล้วแคดเมียมจะเคลื่อนย้ายได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกรด ระหว่าง 4.5-5.5 ขณะที่ในสภาพดินเป็นด่างแคดเมียมจะไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรด สภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (ศุภมาส, 2539) ในการปลูกถั่วเหลืองบนพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมและมี pH ต่ำ ๆ การเติมปูนลงไปดินก็จะเป็นการลดปริมาณแคดเมียมในดินได้ การตกตะกอนของ CdCO_3 เป็นปัจจัยสำคัญที่จะควบคุมการละลายได้ของแคดเมียมในดิน alkaline โดยที่ Ca^{2+} จะถูกแทนที่โดย Cd^{2+} บน surface layer ของ clay และเปลี่ยนรูปไปเป็น CdCO_3 ที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายในดินได้อีกต่อไป (Simmons *et al.*, 2003) เมื่อพืชได้รับแคดเมียม อาการเป็นพิษจะแสดงออกที่ใบอ่อน โดยเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบจะมีสีเหลืองซีด ปลายใบม้วน ต้นแคระแกรน (John, 1978) ความรุนแรงของอาการเป็นพิษขึ้นอยู่กับชนิดและความทนทานของพืช

4. ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในดิน

ในธรรมชาติจะพบแคดเมียมอยู่ร่วมกับสังกะสี และมักพบแคดเมียมเป็นผลพลอยได้จากการทำเหมืองแร่สังกะสีอยู่เสมอ (Traina, 1999) เมื่อ ZnS, ZnCO_3 หรือสารประกอบซัลไฟด์ชนิดต่าง ๆ ถูกถลุงก็จะปลดปล่อยแคดเมียมออกมาและก่อให้เกิดมลพิษ แหล่งของโลหะในดินที่อยู่รอบๆ เหมืองเก่า จะพบแคดเมียมในปริมาณ 1-10 mg Cd kg⁻¹ แต่สามารถพบได้ถึง <500 mg kg⁻¹ (Alloway, 1997) ซึ่ง Davis and Roberts (1975) รายงานว่าพบความเข้มข้นของแคดเมียมสูงสุดที่ 540 mg kg⁻¹ ในดินปนเปื้อนบริเวณเหมืองตะกั่วและสังกะสีเก่า ใน North Wales, UK ในขณะที่ใน Montana, USA พบแคดเมียมปริมาณ 750 mg kg⁻¹ ในดินที่อยู่บริเวณใกล้เคียงโรงงานถลุงสังกะสี (Alloway, 1997)

ในประเทศแคนาดา มีการใช้ประโยชน์จากตะกอนน้ำเสียเพื่อการทำเกษตรกรรม โดยเฉพาะในบริเวณรอบเขตชุมชน (Brown and Jacobson, 1987) ซึ่งปริมาณแคดเมียมในตะกอนน้ำเสียแต่ละแห่งจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปริมาณตะกอนน้ำเสียที่ปล่อยออกมา Alloway (1997) รายงานถึงความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนน้ำเสียว่ามีอยู่ในช่วงระหว่าง <1 ถึง $3,650 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ ในขณะที่ Webber and Nichols (1995) รายงานค่าเฉลี่ยของแคดเมียมในดินบริเวณรอบเขตชุมชนว่าอยู่ที่ $0.2 - 13 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ ซึ่งมาจากตะกอนน้ำเสีย 12 ชนิดจาก 12 เมืองทั่วทั้งประเทศแคนาดา

เพื่อที่จะประเมินว่า ดินมีการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือไม่ จำเป็นต้องมี “ค่าพื้นฐาน” เพื่อเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนัก ค่าดังกล่าวนี้อาจเรียกว่าเป็น “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน (background levels)” หรือ “ระดับตรวจสอบ (investigation levels)” ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้เพื่อประเมินการปนเปื้อนในระยะแรก ระดับเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แต่เป็นระดับความเข้มข้นที่ต้องตรวจสอบต่อไปว่า การปนเปื้อนที่เกิดจากความเข้มข้นระดับนั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์หรือไม่ หรือทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่ ในประเทศที่พัฒนาแล้วหลาย ๆ ประเทศ มีมติให้กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้สูงสุดในดินและวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงดินในการเกษตร โดยกำหนดให้มีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียม 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ปริดา และคณะ, 2541)

พิชิตและสุรสิทธิ์ (2542) ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินชั้นบนในพื้นที่ทำการเกษตรและแปลงทดลองในทุกภาคของประเทศไทย โดยเลือกการเก็บตัวอย่างในบริเวณที่มีแนวโน้มว่าการปนเปื้อนสูงมาทำการประเมินและกำหนดระดับเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินประเทศไทย โดยอาศัยค่าความเข้มข้นที่ 95th percentile ทำให้สามารถกำหนด “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ของโลหะในดินได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่าค่าของสังกะสี, ตะกั่ว และแคดเมียมเท่ากับ 70, 55 และ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังนั้นหากพบว่าตัวอย่างดินในพื้นที่ใดมีความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ สูงกว่าระดับนี้ เป็นดินที่มีแนวโน้มว่าจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่อาจเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ

ตารางที่ 2 “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ที่แนะนำสำหรับโลหะหนักในดินประเทศไทย

ธาตุ	ระดับเกณฑ์พื้นฐาน (มก./กก.)
ปรอท	0.1
แคดเมียม	0.15
โคบอลต์	20
สารหนู	30
ทองแดง	45
นิกเกิล	45
ตะกั่ว	55
สังกะสี	70
โครเมียม	80

ที่มา : พิชิตและสุรสิทธิ์ (2542)

5. สถานการณ์การปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย

สถาบันจัดการทรัพยากรน้ำนานาชาติ (International Water Management Institute-IWMI) สำนักงานภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทำวิจัยศึกษา ประเมินคุณภาพดินที่เกี่ยวข้องกับระบบชลประทานในพื้นที่ 8 หมู่บ้านของกลุ่มน้ำแม่ดาว อ.แม่สวด จ.ตาก ในระหว่างปี 2544-2546 แล้วพบว่าพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ ทั้งในดิน น้ำ และพืชผลทางการเกษตรที่สำคัญบางชนิดมากเป็นพิเศษ เช่น ข้าว ถั่วเหลือง กระเทียม เป็นต้น

พิชิตและคณะ (2547) ได้ทำการเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าว 80 ตัวอย่าง และเมล็ดถั่วเหลือง 43 ตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในพื้นที่หมู่บ้านพะเต๊ะ อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวกล้องมีความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ในช่วง 0.05-4.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนเกินระดับมาตรฐาน ที่กำหนดโดยคณะกรรมการโคเด็กซ์ (Codex) ว่าด้วยการมีสิ่งสะสมและเจือปนในอาหาร (CCFAC) ซึ่งเสนอให้มีระดับสูงสุดที่ยอมรับได้ของสารแคดเมียมในเมล็ดข้าวที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินในบริเวณที่เก็บตัวอย่างข้าวมีความเข้มข้นของแคดเมียม

อยู่ในช่วง 3.77-284.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งความเข้มข้นสูงสุดที่พบมีค่าสูงกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในประเทศไทยซึ่งกำหนดไว้ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสูงเกินมาตรฐานที่ยอมรับได้ ที่กำหนดโดยประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (EEC) ที่ให้มีแคดเมียม 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดิน ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลืองอยู่ในช่วง 0.97-2.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าเกินมาตรฐานที่ CCFAC กำหนดโดยให้มีแคดเมียมเพียง 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เท่านั้น (Codex, 2002)

6. สารปรับปรุงดิน

สารปรับปรุงดินหมายถึงสารที่ใส่ลงไปในดินแล้วทำให้สมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป (ทัศนีย์, 2537) ทำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช อาจมีธาตุอาหารพืชปนอยู่ในสารนั้น (สุริยา ศาสน์รักกิจ, 2543) แต่วัตถุประสงค์ใช้สารปรับปรุงดิน จะไม่เน้นการเพิ่มเติมธาตุอาหารพืช สารปรับปรุงดินชนิดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

6.1 อินทรีย์วัตถุหรือฮิวมัส ประกอบด้วย สารประกอบ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือสารประกอบที่ไม่ใช่ฮิวมิก (nonhumic substance) ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ขี้ผึ้งและโปรตีนและสารประกอบอื่นๆที่ผลิตโดยจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และรา และสารประกอบฮิวมิก (humic substance) ได้แก่ฮิวมิน ฮิวมิกแอซิดและฟุลวิกแอซิด สารประกอบฮิวมิกนี้มีคุณสมบัติเป็นกรดรุนแรง ลักษณะมีสีเหลืองจนถึงสีดำ เป็นสารประกอบ polyelectrolyte ที่มีโมเลกุลใหญ่ การดูดซับระหว่างอินทรีย์วัตถุและอนุภาคของดินเหนียวและการเกิด aggregation ในดินก็เกิดขึ้นโดยแรงยึดเหนี่ยวต่าง ๆ รวมทั้งเกิดจากเส้นใยของเชื้อรา ซึ่งเป็นตัวเชื่อมให้อนุภาคของดินเกาะกันเป็นเม็ดดินประโยชน์ของการเติมอินทรีย์วัตถุคือช่วยปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน ทำให้ดินเหนียวแน่น ทึบโปร่งขึ้น การระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดีขึ้น (ทัศนีย์, 2537) และการที่ดินมีอินทรีย์วัตถุสูงยังทำให้มีสมบัติที่เป็น buffer และมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุสูง (นภาพรและณัฐพร, 2548)

นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์อีกหลายชนิดที่มีการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงบำรุงดิน ตัวอย่างเช่น แกลบดิบ แกลบเผา ขุยมะพร้าว ตลอดจนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ แต่การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดมาใช้ในการปรับปรุงดินนั้น จะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อดินและสิ่งแวดล้อมที่ตามมาด้วย เพราะอาจมีสิ่งเจือปน เช่น สารพิษ โลหะหนัก ความเค็ม เป็นต้น (นภาพรและณัฐพร, 2548)

6.2 ซีโอไลต์ (Zeolites) เป็นแร่อะลูมิโนซิลิเกตชนิดหนึ่ง ประกอบด้วย SiO_2 ร้อยละ 70.17 Al_2O_3 ร้อยละ 12.15 Fe_2O_3 ร้อยละ 1.14 MnO ร้อยละ 0.06 CaO ร้อยละ 1.88 MgO ร้อยละ 0.33 Na_2O ร้อยละ 1.95 K_2O ร้อยละ 2.34 (ศุภกาญจน์, 2540) เป็นแร่ทุติยภูมิที่เกิดในช่องว่างของหินอัคนีที่เป็นต่าง ขนาดเล็กมาก มีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตร และมีความพรุนหรือมีพื้นที่ผิวสูงมาก โดยในซีโอไลต์ 1 กรัม อาจมีพื้นที่ผิวได้หลายสิบหรือหลายร้อยตารางเมตร คุณสมบัติความเป็นรูพรุนดังกล่าวทำให้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อการจับสารเคมี หรือโลหะหนัก ที่ออกมากับน้ำทิ้งของโรงงาน (อภิรักษ์, 2548) มีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกและน้ำได้เหมือนกับ phyllosilicate แตกต่างตรงที่ซีโอไลต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ชัดเจนเมื่อมีการแลกเปลี่ยนไอออนหรือการเกิด hydration-dehydration (นภาพรและณัฐพร, 2548) ซีโอไลต์มีการเรียงตัวของโครงสร้างอยู่ในรูปลักษณะของวงแหวน ก่อให้เกิดช่องว่างภายในเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถดูดซับอนุภาคต่าง ๆ ตลอดจนโมเลกุลของสารอินทรีย์และน้ำ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง zeolites นั้นมีแหล่งที่พบในธรรมชาติรวมทั้งการสังเคราะห์ขึ้นมา แร่ในกลุ่มนี้ก็คือ Analcime, Chabazite, Clinoptilolite เป็นต้น ซีโอไลต์ตามธรรมชาติมีความบริสุทธิ์น้อยมาก โดยมักจะมีการปนเปื้อนจากแร่อื่น ๆ ในระดับปริมาณที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้การนำซีโอไลต์ตามธรรมชาติมาใช้ประโยชน์จึงมีน้อยส่วนใหญ่ใช้ซีโอไลต์จากการสังเคราะห์ (นภาพรและณัฐพร, 2548)

ประโยชน์ใช้สอยทางด้านอุตสาหกรรม คือ ใช้ดูดซับความชื้น ฟอกก๊าซ หรือสารละลายต่าง ๆ ให้มีความบริสุทธิ์รวมทั้งทดแทนสารประกอบฟอสเฟตในการผลิตผงซักฟอก ประโยชน์ในด้านการเกษตร คือ นำสารตัวนี้มาผลิตปุ๋ยที่ละลายช้า จากสมบัติของ zeolites ที่ดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นถ้ามีการใส่สารนี้ลงไปดินก็จะทำให้ดินอุ้มน้ำและธาตุอาหารสูงขึ้น เป็นการเพิ่ม CEC ให้แก่ดิน และรักษาความชื้นให้กับดินด้วย และยังช่วยในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้า ๆ สนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากการลดการสูญเสียของไนโตรเจนจากการชะล้างได้อย่างเด่นชัด ช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาดิน (นภาพรและณัฐพร, 2548) และเมื่อสารประกอบนี้สลายตัวจะปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ให้กับดิน เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก และอื่นๆ อีกด้วย (ปรีดา และคณะ 2535) นอกจากนั้นในการทำน้ำกระด้างให้เป็นน้ำอ่อนก็ใช้คุณสมบัติของการดักจับน้ำแข็งถ้ามีการใส่สารนี้ลงไปดินก็จะทำให้ดินอุ้มน้ำและธาตุอาหารสูงขึ้น เป็นการเพิ่ม CEC ให้แก่ดิน (ทศนีย์, 2537)

6.3 ปูน ในทางการเกษตรที่ใช้ในการแก้ไขดินกรดนั้นหมายถึง สารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่านั้น (นภาพรและณัฐพร, 2548) เมื่อใส่ลงไปดินก็จะทำปฏิกิริยาสะเทินความเป็นกรดของดิน และเนื่องจากปูนเป็นสารประกอบที่มีราคาไม่แพงและหาได้ไม่ยากนัก ในการปลูกพืชในดินกรดธรรมดาหรือดินเปรี้ยวจัดจึงแนะนำให้ใส่หินปูนบดหรือปูนมาร์ลแก้ไขความเป็นกรดของดินเสียก่อนที่จะใส่ปุ๋ยและปลูกพืช (ทัศนีย์, 2537) ปูนนั้นสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามองค์ประกอบหลักของเนื้อปูนได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มคาร์บอเนต กลุ่มออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ ของแคลเซียมและแมกนีเซียม ปูนแต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวบางอย่างที่แตกต่างกันไป

6.3.1 กลุ่มคาร์บอเนต ปูนกลุ่มนี้รู้จักกันทั่วไปเรียกว่า หินปูนหรือปูนเปลือกหอยบด โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาหรือพรมน้ำได้แก่

6.3.1.1 หินปูน (Limestone) มีองค์ประกอบเป็นแร่แคลไซต์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ได้มาจากภูเขาหินปูนซึ่งมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย เช่นบริเวณบริเวณระหว่างพุแคกับพระพุทธบาท ลพบุรี และสองข้างทางของถนนสายมิตรภาพ ตั้งแต่เนินคมสร้างตนเองทับทิมไปจนถึงปากช่อง เป็นต้น ภูเขาหินปูนส่วนใหญ่ถูกสกัดแล้วบดให้มีขนาดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างและทำถนน ไม่ได้นำมาใช้ในการแก้ความเป็นกรดของดิน ในต่างประเทศนิยมใช้หินปูนบดให้เป็นผงขายกันอย่างกว้างขวางสำหรับนำไปใช้ในการแก้ความเป็นกรดของดิน ทั้งนี้เพราะราคาถูกกว่าปูนในรูปอื่น ๆ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรงเหมือนพวกออกไซด์และไฮดรอกไซด์ และจะไม่กัดมือเมื่อมือขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) หินปูนบดละเอียดเพื่อใช้แก้ไขดินกรดนั้นนิยมเรียกว่า Agricultural lime โดยทั่วไปปูนกลุ่มนี้จะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอเนตอยู่ในช่วง 75-99 % ขึ้นอยู่กับแหล่งที่นำมาผลิต (ชนากร, 2547)

6.3.1.2 ปูนมาร์ล (Marl) เป็นปูนที่มีองค์ประกอบของ CaCO_3 กับพวกแร่ดินเหนียวและอินทรีย์สารผสมปะปนกันอยู่ ทำให้จับตัวเป็นก้อนได้ง่ายเมื่อได้รับความชื้น ปูนชนิดนี้จะมีสมบัติของ CaCO_3 ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่าปูนแคลไซต์ (ประมาณ 50-90 %) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีปริมาณดินเหนียวและอินทรีย์สารปะปนอยู่มากน้อยเพียงไร ถ้ามีผสมอยู่มากเปอร์เซ็นต์ของ CaCO_3 ก็จะต่ำ (ชนากร, 2547) ปูนมาร์ลในสภาพธรรมชาติมีลักษณะร่วนซุย วัตถุแทรกปนส่วนใหญ่ได้แก่ดินเหนียว ปูนมาร์ลสะสมอยู่เป็นชั้นหนาประมาณ 4-6 เมตร อยู่ใต้ผิวดินชุดลพบุรีและชุดตลิ่งชันประมาณ 1 เมตร บริเวณที่พบปูนมาร์ลเป็นบริเวณกว้างขวางมากมีเนื้อที่กว่าสิบล้านไร่

อยู่ในแถบตั้งแต่อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ เรื่อยลงมาจนถึงจังหวัดลพบุรีและจังหวัดสระบุรี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

6.3.1.3 ปูนโคโลไมท์ หรือ แคลเซียมแมกนีเซียม คาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็นปูนที่ได้จากนำหินที่มีองค์ประกอบของ $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$ มาบดละเอียด สำหรับปูนกลุ่มนี้เมื่อใส่ในน้ำจะให้ธาตุแมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุชนิดนี้แพลงก์ตอนพืชในน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตได้ ดังนั้นในกรณีที่น้ำในบ่อใส การใช้ปูนโคโลไมท์จะมีผลช่วยเสริมในการทำให้น้ำได้ (ชนากร, 2547)

6.3.1.4 วัสดุอื่นๆ ที่มีสารประกอบพวกคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม (นภาพรและณัฐพร, 2548) เช่น ซอสต์ หินอ่อน ปะการัง เปลือกหอย ก็มีสารประกอบพวกคาร์บอเนต แต่ไม่คุ้มค่าที่จะใช้ในเชิงธุรกิจ (ชนากร, 2547)

6.3.2 กลุ่มออกไซด์ หรืออาจจะเรียกว่า "ปูนเผา" หรือ "ปูนสุก" (burn lime หรือ Quick lime) ปูนกลุ่มนี้ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งได้จากการนำหินปูนคาร์บอเนต หรือเปลือกหอยที่มีองค์ประกอบของ CO_3 เป็นหลักมาเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 600-900 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ (ชนากร, 2547) ทั้งนี้เพราะเมื่อออกจากเตาเผาใหม่ๆ CaO ยังคงรูปของก้อนหินเดิม และยังมีความแข็งแรงมากอยู่ จะต้องใช้เครื่องบดให้เป็นผงเสียก่อนจึงจะนำไปใช้ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) โดยทั่วไปจะมีความบริสุทธิ์ประมาณ 85-98 % มีปฏิกิริยาไว กัดมือเมื่อมือชื้น (นภาพรและณัฐพร, 2548)

คุณสมบัติของปูนกลุ่มออกไซด์ จะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่สุด เหมาะสมที่จะใช้แก้ปัญหาดินเป็นกรดมากที่สุด เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น เมื่อสัมผัสกับน้ำจะมีฤทธิ์กัดผิวหนังจึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เมื่อได้รับความชื้น จะไม่จับตัวเป็นก้อน เนื่องจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูงซึ่งเป็นการทำลายโครงสร้างให้มีขนาดอนุภาคเล็กลง

6.3.3 กลุ่มไฮดรอกไซด์ ปูนกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเรียกรวม ๆ ว่า "ปูนขาว" (Slaked lime) ซึ่งได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) ได้จากการนำหินปูนคาร์บอเนตหรือเปลือกหอยที่มีองค์ประกอบของคาร์บอเนตเป็นหลัก มาเผาที่อุณหภูมิ

สูงให้เป็นออกไซด์หรือ burned lime เสียก่อน ซึ่งตอนนั้นยังเป็นก้อนแข็งอยู่ เมื่อเย็นแล้วจึงพรมด้วยน้ำให้ชุ่ม ออกไซด์ก็จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้ CaO ซึ่งเดิมเป็นก้อนแข็งนั้นแตก่วนเป็นผงออกมาเอง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ทำให้ประหยัดค่าบดและได้น้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปจะมีความบริสุทธิ์ประมาณ 95-96 % มีปฏิกิริยาไว กัดมือเมื่อชื้น (นภาพรและณัฐพร, 2548)

คุณสมบัติของปูนกลุ่มไฮดรอกไซด์จะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าพวกคาร์บอเนตแต่น้อยกว่าปูนพวกอ็อกไซด์ มีผลต่อค่าคาร์บอเนตอัลคาไลน์ดินน้อยกว่า เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น เมื่อสัมผัสกับน้ำจะมีฤทธิ์กัดผิวหนังจึงควรใช้ด้วยความระมัดระวังเมื่อได้รับความชื้นจะไม่จับตัวกันเป็นก้อน

6.4 เบนทอไนต์ (bentonite) เป็นแร่ดินเหนียวอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากดินขาวหรือบอลต์เคลย์ เบนทอไนต์เป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่ม Smectite มักมีสีขาวเทา หรือขาวคล้ำ เมื่ออยู่ในน้ำจะพองตัวมากกว่าเดิมหลายเท่าตัว ลื่นเหมือนสบู่ แร่เบนทอไนต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดที่สำคัญได้แก่ แคลเซียมเบนทอไนต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ แร่ทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันที่ความสามารถในการขยายตัว โซเดียมเบนทอไนต์ขยายตัวมากกว่าแคลเซียมเบนทอไนต์มาก จึงมีราคาสูงกว่าในการซื้อขายในตลาดมาก

การกำเนิดโดยทั่วไปเป็นแหล่งแร่ทุติยภูมิเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินอัคนีส่วนใหญ่เนื่องจากน้ำร้อน ส่วนใหญ่เป็นหินไรโอไลต์นอกจากนี้บางแห่งเกิดร่วมกับแร่เคโอลิไนต์และอิลไลต์ แหล่งในประเทศแหล่งใหญ่ที่สุดพบที่ อำเภอยะบะดาล จังหวัดพบุรี ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแคลเซียมเบนทอไนต์ หรือมีส่วนผสมกันทั้ง 2 ชนิด ส่วนในบริเวณอื่นที่พบบ้าง เช่นที่ จังหวัดกาญจนบุรี ลำปาง เชียงใหม่ ตาก เพชรบูรณ์ และขอนแก่น ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นโคลนผงใช้ในการเจาะสำรวจแร่ สำรวจน้ำมัน และเจาะน้ำบาดาล บดเป็นผงใช้ทำน้ำยาทำความสะอาดและล้างคราบน้ำมันหรือน้ำมันเครื่อง เพราะมีการดูดซับสูง ผสมทรายทำแบบหล่อ ใช้ฟอกสีของน้ำตาล น้ำมันพืช ใช้ผสมในดินดีที่ นอกจากนี้ก็ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ อาหาร กระดาษ สี ยาและเครื่องสำอาง เป็นต้น และจากความสามารถในการขยายตัวได้สูงจึงมีการนำเบนทอไนต์มาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินทราย ทำให้ดินทรายมีความสามารถอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการดูดใช้น้ำของพืช (นภาพรและณัฐพร, 2548)

6.5 เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) เป็นแร่ดินเหนียวชนิดหนึ่ง มีความสามารถในการยึดและดูดซับ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) สูงมาก มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง มีการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยให้ดินมีความร่วนซุย ลดการอัดแน่นของดิน ทำให้ดินมีการระบายอากาศดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน รากพืชสามารถชอนไชได้สะดวกขึ้น (นภาพรและณัฐพร, 2548)

7. การบำบัดหรือลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน

7.1 การบำบัดหรือลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินด้วยพืช (Phytoremediation)

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้พืชดูดซับธาตุโลหะหนักและสารพิษที่ตกค้างในดินไปสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช (Brown *et al.*, 1995) เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน และช่วยลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมโดยสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย โลหะหนักและสารพิษในดินที่พืชได้รับ จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในต้นพืช ทำให้เกิดการทนทานต่อสารนั้น โดยมีอินทรีย์วัตถุกระตุ้นให้แสดงออกเมื่อได้รับโลหะหนักนั้น ทำให้สังเคราะห์สารบางชนิดขึ้นมาจับกับไอออนของโลหะหนัก แล้วนำมาเก็บสะสมไว้ (phytoextraction) หรือย่อยสลายสารพิษ (phytodegradation) หรือเปลี่ยนสภาพและลดความเป็นพิษ (phytostabilization) หรือเปลี่ยนสภาพเป็นสารระเหยสู่อากาศ (phytovolatilization) (มาลินี, 2544) จากกลไกตามธรรมชาติของพืชที่สามารถกำจัดโลหะหนักและสารพิษในดินนี้เอง จึงได้มีการนำพืชมาใช้ในเทคโนโลยีชีว เพื่อค้นหาพืชที่มีความทนทานและสามารถดูดซับธาตุโลหะหนักและสารพิษในดินให้มีปริมาณการสะสมในพืชมากที่สุด พืชที่เหมาะสมในการนำมาลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน ควรเป็นพืชที่สามารถสะสมโลหะหนักในลำต้นได้สูง มีลักษณะมวลชีวภาพที่เป็นลักษณะจำเพาะในลำต้นสูง สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก มีวงจรชีวิตสั้น และสามารถขยายพันธุ์ได้ดี

Hutchinson *et al.* (2000) ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับแคดเมียมและสังกะสีของ *Thlaspi caerulescens* และ *Bladder campion* ในสารละลาย พบว่า *Thlaspi caerulescens* ดูดซับแคดเมียมและสังกะสีได้ปริมาณสูง โดยสามารถสะสมแคดเมียมและสังกะสีในลำต้นได้ 1,270 และ 32,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตัวอย่างพืชที่ใช้ศึกษาการดูดซับธาตุโลหะหนัก เช่น หญ้าแฝก (vetiver grass) ซึ่งเป็นพืชในตระกูลเดียวกับหญ้าเช่นเดียวกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตระไคร้ หญ้าแฝกเป็นพืชอนุรักษ์ดินและน้ำ เนื่องจากมีรากที่สานกันแน่นยังลึกแนวดิ่ง มีรากฝอยมากและทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี นอกจากนี้ หญ้าแฝกยังสามารถทนทานต่อปริมาณโลหะหนักได้สูง Paul *et al.* (2002) รายงานว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในประเทศออสเตรเลีย สามารถดูดซับธาตุสังกะสีได้ปริมาณที่มากกว่า 750 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดูดซับแคดเมียมได้เท่ากับ 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดูดซับตะกั่วได้ปริมาณที่มากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ทานตะวัน (sunflower) เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Compositae เป็นพืชที่ปลูกง่าย สามารถเจริญเติบโตได้ทุกฤดูกาล ทนแล้ง ชอบแดด และมีอายุสั้น เหมาะที่จะปลูกในประเทศที่มีอากาศร้อน Brown (1995) รายงานว่า ทานตะวันสามารถลดปริมาณธาตุยูเรเนียม สทรอนเชียม และซีเรเนียมที่ปนเปื้อนในน้ำ ให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (EPA : environmental protection agency)

7.2 การบำบัดหรือลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินโดยใช้สารเคมีและสารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

ปัจจุบันนอกจากการใช้พืชในการบำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนธาตุโลหะหนักในดินแล้ว ยังมีการใช้เทคนิคต่าง ๆ ร่วมกับการใช้สารเคมี และวัสดุต่าง ๆ หรือการใช้พืชร่วมกับสารเคมีและวัสดุต่าง ๆ เพื่อลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน

การเติมอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เช่น ตะกอนน้ำเสีย, ปุ๋ยคอก, มูลไก่และมูลสุกร มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินโดยเฉพาะค่า Cation exchange capacity (CEC) และ pH ของดิน (Del Castilho *et al.*, 1993) Brummer and Herms (1983) รายงานว่าที่ pH ต่ำกว่า 6 ความเข้มข้นของแคดเมียมจะต่ำ เมื่อมีอินทรีย์วัตถุในปริมาณสูง ฉะนั้น อินทรีย์วัตถุในดินสามารถที่จะลดความเป็นพิษของแคดเมียมในดินกรดที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม

การดูดซับแคดเมียมของพืชจะลดลงเมื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงไปในดินในช่วงปีแรก แต่อินทรีย์วัตถุที่เหลือจะส่งผลต่อการดูดซับแคดเมียมแตกต่างออกไปในปีที่ 2 หรือ 3 อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีและการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในปีที่ 2 และ 3 เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลง

และการกระจายตัวของแคดเมียมในรูปต่าง ๆ มีมากกว่าที่พบในปีแรก ซึ่งเหตุผลนี้เอง ที่อาจส่งผลทำให้การดูดซับแคดเมียมของพืชมีความแตกต่างกันออกไปในปีต่าง ๆ (Singh *et al.*, 1998)

บุปผา (2527) รายงานการทดลองของ Petruzzelli *et al.* (1977) ที่ทำการทดลองเพาะข้าวสาลี โดยใส่สารอินทรีย์ลงไปดิน พบว่าในดินที่มีสารอินทรีย์มาก จะลดปริมาณของแคดเมียมในพืชลงได้

Ram and Verloo (1985) รายงานว่า การเติมอินทรีย์วัตถุชนิดต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยคอก, peat, humic acid ลงไปในดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในประเทศเบลเยียม มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นและลดการดูดซับแคดเมียม ทั้งนี้เพราะอินทรีย์วัตถุมีผลต่อการเกิดสารประกอบและเพิ่มค่า CEC ในดิน ทำให้ธาตุโลหะหนักต่าง ๆ เคลื่อนย้ายเข้าสู่พืชได้น้อยลง ในขณะที่ Krebs *et al.* (1998) ทำการทดลองเกี่ยวกับการดูดซับโลหะหนักของถั่วในกระถางที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ย พบว่าถั่วที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยจะมีความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยกว่าถั่วที่ปลูกในกระถางที่ไม่ใส่ปุ๋ย

การเพิ่ม binding capacity ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งในการลดการเคลื่อนย้ายโลหะหนัก ซึ่งการเพิ่ม binding capacity กระทำได้โดยการเติม clay minerals, iron oxides หรือของเหลือทิ้งต่างๆ เช่น ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งสารต่าง ๆ เหล่านี้ จะลดการเคลื่อนย้ายโลหะหนักได้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและค่า CEC สูง สารที่จะเพิ่ม binding capacity เช่น zeolite, beringite, hydrous manganese และ ferrous oxides (Gupta *et al.*, 1999)

Basta *et al.* (2001) ทำการทดลองโดยใช้ lime-stabilized biosolid (LSB), N-Viro soil (NV), rock phosphate (RP) และ anaerobic biosolid (AB) ในการลดโลหะหนักในดินที่มีการปนเปื้อน พบว่า Alkaline organic (LSB, NV) สามารถลดการเคลื่อนย้ายของแคดเมียมจากดินไปสู่ห่วงโซ่อาหารได้

Mahler *et al.* (1980) ได้ปลูกพืชในดินที่มีสภาพความเป็นกรดต่าง ๆ กัน พบว่าในสภาพที่ดินเป็นกรด (pH 4.8-5.5) พืชจะสะสมแคดเมียมได้มากกว่าดินที่มีสภาพเป็นด่าง (pH 7.4-7.8) ทั้งนี้เพราะที่ pH สูงกว่า 7.25 จะเกิดเกลือแคดเมียมคาร์บอเนต (CdCO_3) หรือแคดเมียมฟอสเฟต ($\text{Cd}(\text{PO}_4)_2$) ซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในสภาพที่เป็นด่าง ปฏิกิริยาของแคดเมียมไอออนจะลดลง และข้าวซึ่งปลูกในดินที่ใส่แคดเมียมซัลเฟต จะมีความเข้มข้นของแคดเมียมลดลงถึง 67%

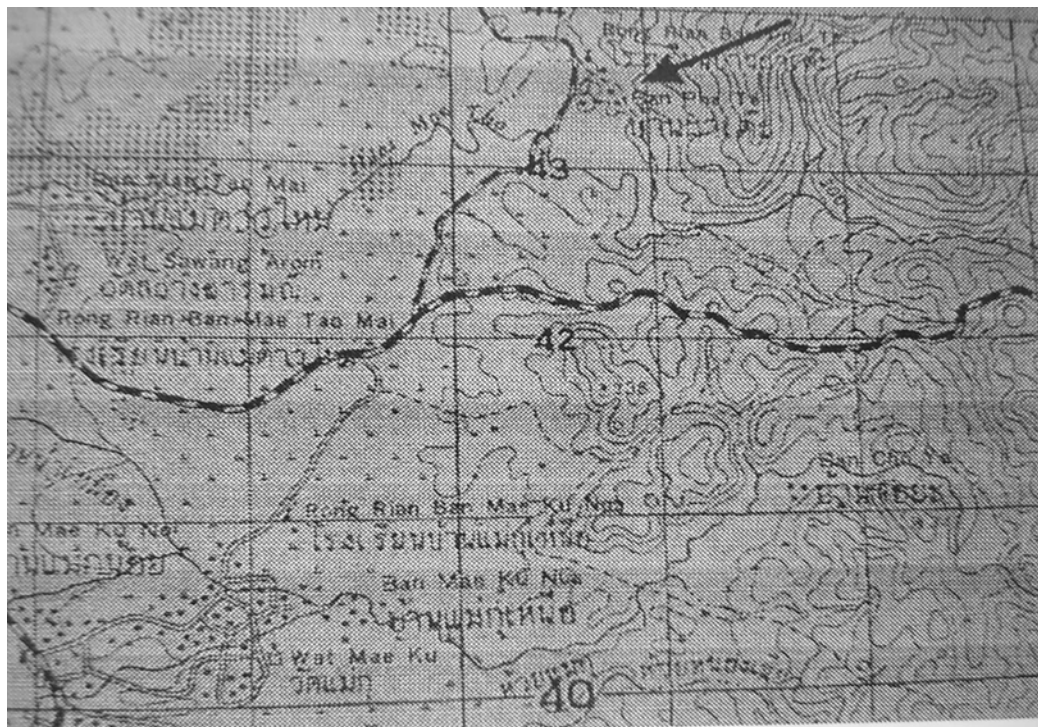
เมื่อเพิ่ม pH ในดินให้สูงขึ้น นอกจากนี้ Bingham *et al.* (1976) และ CAST (1980) ได้สรุปว่าการดูดแอมโมเนียมของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของแอมโมเนียมในดินมากและค่า pH ต่ำ (มีความเป็นกรดสูง)

Panayotova and Velikov (2002) ศึกษากลไกการดูดซับธาตุโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินได้แก่ แอมโมเนียม ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้สารซีโอไลต์ (zeolite) พบว่า สารซีโอไลต์สามารถดูดซับธาตุโลหะหนักได้ดี Mench *et al.* (1997) รายงานว่า สารซีโอไลต์สังเคราะห์มีประสิทธิภาพดูดซับธาตุโลหะหนักในสารละลายที่มี แอมโมเนียม ตะกั่ว ทองแดงและสังกะสี และทำการศึกษาลดความเป็นพิษของธาตุแอมโมเนียมและทองแดงในข้าวโพดที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนธาตุดังกล่าว โดยใช้สารซีโอไลต์สังเคราะห์ 3 ชนิด พบว่า สารซีโอไลต์สังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิดสามารถลดความเป็นพิษของธาตุแอมโมเนียมและทองแดงในข้าวโพดได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง เก็บดินชั้นไทรพรวน (0-15 ซม.) ตามระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก 4 ระดับ คือ 13 มก./กก. (S_1) , 30 มก./กก. (S_2) , 50 มก./กก. (S_3) และ 150 มก./กก. (S_4) โดยเก็บจากบ้านพะเต๊ะ อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก ซึ่งบริเวณดังกล่าวได้รับการปนเปื้อนจากแหล่งน้ำชลประทานที่ไหลผ่านเหมืองแร่สังกะสี



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงตำแหน่งบ้านพะเต๊ะ อ.แม่สวด จ.ตาก ที่เก็บตัวอย่างดินมาศึกษา

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นแคดเมียมและสมบัติน้ำประการของดินก่อนทดลอง

ความเข้มข้นของแคดเมียมและ สมบัติของดิน	ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
แคดเมียม ¹ (มก./กก.)	13	30	50	150
ลึงกะสี ¹ (มก./กก.)	120.35	356.31	751.12	1278.88
เหล็ก ¹ (มก./กก.)	12458	9581	10597	13655
แมงกานีส ¹ (มก./กก.)	375.61	312.88	299.41	775.29
เนื้อดิน ²	sandy clay loam	sandy loam	sandy loam	sandy clay loam
Sand (%)	56.59	60.66	54.66	62.44
Silt (%)	14.43	19.58	28.43	14.94
Clay (%)	28.98	19.76	16.91	22.62
ความเป็นกรด-ด่าง ³	5.88	7.12	7.34	7.47
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ⁴ (%)	2.26	2.34	3.22	2.95
ปริมาณที่เป็นประโยชน์ของ ฟอสฟอรัส ⁵ (มก./กก.)	46.26	8.28	10.78	9.11

¹ วิเคราะห์ในรูปทั้งหมด (Pseudo-total) (พิชิตและSimmons, 2544)

² วิเคราะห์โดยวิธี hydrometer (ณรงค์และจักรพงษ์, 2536)

³ วิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (วนิดาและรัตนนา, 2544)

⁴ วิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black (WalkleyและBlack ,1934 ; ทศนีย์และจงรักษ์, 2542)

⁵ วิเคราะห์โดยวิธี Bray II (BrayและKurtz, 1945; ทศนีย์และจงรักษ์, 2542)

2. เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง คือ พันธุ์นครสวรรค์ 1

3. ซีโอไลท์สังเคราะห์

4. เบนทอนไนด์ (composted waste-bentonite)

5. ปูนมาร์ล

6. ฟางข้าว

7. แกลบเผา

8. กระจกพลาสติก สำหรับปลูกถั่วเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร พร้อมจานรอง

9. เครื่องบดดินและตะแกรงร่อนทองเหลือง ขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร

10. ปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นแหล่ง N-P-K ได้แก่

10.1 แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammoniumsulfate ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 21%N)

10.2 ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple superphosphate; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 46% P_2O_5)

10.3 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride; KCl 60% K_2O)

11. อุปกรณ์ที่จำเป็นอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการและเรือนทดลอง

12. อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน พืช ในห้องปฏิบัติการ

12.1 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

12.2 pH meter (TOA รุ่น HM-7E)

12.3 Electric Conductometer (Schott รุ่น CG-855)

12.4 Spectrophotometer (Metertek รุ่น SP-810)

12.5 Atomic absorption spectrophotometer

12.6 Digestion apparatus

12.7 Fume hood

13. เคมีภัณฑ์ (analytical reagent grade) ที่จำเป็นสำหรับการศึกษาข้อมูลวิเคราะห์ดินและพืช

วิธีการ

1. การทดลองในกระถาง

1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4x6 factorial in CRD มี 3 ซ้ำ ปัจจัยแรกประกอบด้วยดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม 4 ระดับ คือ 13 มก./กก. (S_1) , 30 มก./กก. (S_2) , 50 มก./กก. (S_3) และ 150 มก./กก. (S_4) ปัจจัยที่สองคือวัสดุปรับปรุงดิน 6 ชนิด คือ 1. ซีโอไลท์ (T1) 2. เบนทอนไนต์ (T2) 3. ปูนมาร์ล (T3) 4. ฟางข้าว (T4) 5. แกลบเผา (T5) 6. ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (T6)

1.2 การดำเนินการทดลอง

1.2.1 เตรียมดินปลูกถั่วเหลือง โดยชั่งดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมแต่ละระดับใส่กระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 ซม. กระถางละ 6 กก. จำนวน 72 กระถาง

1.2.2 ผสมวัสดุปรับปรุงดินแต่ละชนิดลงในดินที่เตรียมไว้ตามตำรับ ดังนี้

- 1). ซีโอไลท์ อัตรา 100 กรัม/ดิน 1 กิโลกรัม
- 2). เบนทอนไนต์ อัตรา 100 กรัม/ดิน 1 กิโลกรัม
- 3). ปูนมาร์ลอัตรา 0.938 กรัม/ดิน 1 กิโลกรัม
- 4). ฟางข้าวอัตรา 25.5 กรัม/ดิน 1 กิโลกรัม
- 5). แกลบเผาอัตรา 25.5 กรัม/ดิน 1 กิโลกรัม
- 6). ไม้ส่วสดุปรับปรุงดิน

1.2.3 คลุกดินแต่ละกระถางด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต 0.268 กรัม ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 0.369 กรัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.187 กรัม (คำนวณจากปุ๋ยสูตร 3-9-6 ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร, 2545) แล้วบ่มดินไว้ 1 สัปดาห์

1.2.4 นำเมล็ดถั่วเหลืองที่แช่น้ำไว้ 2 คืนจนเริ่มงอกราก มาปลูกในดินที่เตรียมไว้ โดยปลูกกระถางละ 2 ต้น รดด้วยน้ำกลั่นทุกวันจนครบระยะเวลา 75 วัน

1.3 การเก็บตัวอย่าง

1.3.1 เก็บตัวอย่างดิน 3 ครั้ง คือ หลังจากการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 1 สัปดาห์ (ก่อนปลูก) ครั้งที่ 2 เมื่อถั่วเหลืองออกดอก และครั้งที่ 3 เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต นำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

1.3.2 เก็บตัวอย่างถั่วเหลืองที่ระยะ 75 วัน โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ เมล็ด ใบ ฟัก และลำต้น ซึ่งผลผลิตน้ำหนักสด นำแต่ละส่วนมาล้างด้วยน้ำประปาแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ นำมาซึ่งผลผลิตน้ำหนักแห้งและบดเป็นผงละเอียด สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม สังกะสี แมงกานีส และเหล็กต่อไป

2. การทดลองในห้องปฏิบัติการ

2.1 การศึกษาสมบัติบางประการของตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างดิน โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บในระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มาผึ่งในที่ร่ม เลือกเศษซากพืชพืชขนาดใหญ่ออก นำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์ทางเคมีและไฟฟ้า

2.1.1 วัดค่าทางเคมีไฟฟ้า

1) ปฏิกริยาของดิน วัดโดยเครื่องวัด pH (pH meter) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินและน้ำ เท่ากับ 1:5 (วนิดาและรัตนนา, 2544)

2) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation extract) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Electric Conductivity

2.1.2 วิเคราะห์ทางเคมี

1) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Colorimetric (Bray และ Kurtz, 1945; ทศนีย์และจงรักษ์, 2542)

2) ปริมาณคาร์บอน และอินทรีย์วัตถุในดิน (Total C และ Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley และ Black, 1934 ; ทศนีย์และจงรักษ์, 2542)

2.1.3 วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม สังกะสี แมงกานีส และเหล็กโดยวิธี Pseudo total (พิชิตและSimmons, 2544)

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน โดยการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยวิธี wet oxidation ด้วย aqua regia (HNO_3 : HCl อัตราส่วน 1:3) และในรูปปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดซับได้ง่าย (available form) โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยน้ำยา diethylenetriamine

pentaacetic acid (DTPA) แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม สังกะสี แมงกานีส และเหล็ก ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2.1.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SAS

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

2.2.1 วิเคราะห์ตัวอย่างพืช โดยย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยวิธี wet oxidation ด้วยกรดผสม HNO_3 : HClO_4 ในอัตราส่วน 2: 1 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม สังกะสี แมงกานีส และเหล็กของพืช ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SAS

สถานที่และระยะเวลาในการทำการทดลอง

3. สถานที่ทำการทดลอง

1. ทำการทดลองในเรือนทดลองสถาบันวิจัยกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
2. วิเคราะห์ทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการ กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ

4. ระยะเวลาในการทดลอง

ระหว่าง เดือนกรกฎาคม 2547 - สิงหาคม 2548

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบประสิทธิภาพของสารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อพฤติกรรมของแคดเมียม เพื่อนำไปสู่การเลือกใช้สารปรับปรุงสภาพดินที่มีคุณสมบัติดีที่สุด และสามารถนำไปใช้ได้จริงในพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียม

ผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

1.1 น้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลือง

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยพบว่า เมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เบนทอไนต์ (T2) มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ มีน้ำหนักแห้งเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 20.46 กรัมต่อกระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองเท่ากับ 13.04, 14.82, 12.88, 12.62, และ 15.11 กรัมต่อกระถางตามลำดับ และเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

น้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ พบว่า น้ำหนักแห้งเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S4 (150 มก./กก.) มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงที่สุด คือ มีน้ำหนักแห้งเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 16.41 กรัมต่อกระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	น้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลือง (กรัม/กระถาง)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	14.87 cA	11.12 dB	11.47 bB	17.72 bA	13.04 cd
เบนทอนไนต์	22.52 aB	18.94 aC	24.63 aA	15.73 bD	20.46 a
ปูนมาร์ล	17.95 bA	15.29 bcA	9.68 bcB	16.36 bA	14.82 bc
ฟางข้าว	13.92 cA	13.72 cdA	12.86 bA	11.01 cA	12.88 d
แกลบเผา	14.14 cA	13.02 cdA	7.02 cB	16.30 bA	12.62 d
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	13.84 cB	16.30 abB	8.92 bcC	21.36 aA	15.11 b
เฉลี่ย	15.56 AB	14.73 B	12.43 C	16.41 A	14.78
CV (%)	14.77				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

1.2 น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบถั่วเหลือง

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งของลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยพบว่า ลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เบนทอไนต์ (T2) มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด คือ มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 53.80 กรัมต่อกระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีน้ำหนักแห้งของลำต้นและใบถั่วเหลืองเท่ากับ 13.43, 13.50, 11.85, 12.63, และ 14.51 กรัมต่อกระถางตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับพบว่า น้ำหนักแห้งลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 23.85 กรัมต่อกระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) แต่น้ำหนักแห้งลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินสามชนิดหลังที่กล่าวมานี้ มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 17.64, 18.54 และ 19.79 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

ตารางที่ 5 น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบถั่วเหลือง (กรัม/กระถาง)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	13.46 bA	12.76 bA	11.99 bA	15.53 bcA	13.43 b
เบนทอนต์	55.90 aB	73.37 aA	56.59 aB	29.34 aC	53.80 a
ปูนมาร์ล	11.41 bcAB	13.53 bAB	10.30 bB	18.74 bcA	13.50 b
ฟางข้าว	8.62 cdC	17.63 bA	7.61 bC	13.54 cB	11.85 b
แกลบเผา	6.77 dC	11.53 bBC	13.11 bB	19.10 bcA	12.63 b
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	9.68 cdC	14.26 bB	11.64 bBC	22.47 abA	14.51 b
เฉลี่ย	17.64 B	23.85 A	18.54 B	19.79 B	19.96
CV (%)	18.41				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

1.3 น้ำหนักสดของถั่วเหลือง

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยพบว่า น้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เบนทอไนต์ (T2) มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 171.80 กรัมต่อกระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ซีโอไลต์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีน้ำหนักสดของถั่วเหลืองเท่ากับ 73.09, 76.13, 63.90, 68.94, และ 75.89 กรัมต่อกระถางตามลำดับ และเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

น้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ พบว่า น้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 97.84 กรัมต่อกระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ทั้งนี้เป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.23, 78.91 และ 92.85 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

ตารางที่ 6 น้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน
และใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	น้ำหนักสดของถั่วเหลือง (กรัม/กระถาง)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	75.32 bAB	64.52 cB	67.91 bAB	84.60 bA	73.09 bc
เบนทอนไนต์	170.06 aB	208.73 aA	203.06 aA	105.36 aC	171.80 a
ปูนมาร์ล	71.95 bAB	82.76 bcA	51.18 bB	98.62 abA	76.13 b
ฟางข้าว	62.06 cB	86.95 bA	52.36 bB	58.24 cB	63.90 c
แกลบเผา	62.06 cBC	68.31 bcB	46.85 bC	97.53 abA	68.94 bc
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	63.90 cBC	75.80 bcB	52.10 bC	112.76 aA	75.89 b
เฉลี่ย	84.23 B	97.84 A	78.91 B	92.85 A	88.46
CV (%)	12.30				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2. ความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง

2.1 ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ด

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 7 โดยพบว่า เมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เกลบเผา (T5) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในเมล็ดสูงที่สุด เท่ากับ 3.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมต่ำที่สุด เท่ากับ 1.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นแคดเมียมในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ปูนมาร์ล (T3) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในเมล็ดเท่ากับ 2.89, 2.61, 2.72, 1.60 และ 2.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า เมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมสูงสุด คือ 3.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกะดับการปนเปื้อน โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนทั้งสามชนิดหลังดังกล่าวเท่ากับ 3.19, 2.39 และ 0.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	0.74 bD	2.61 abC	3.78 bB	4.41 abA	2.89 b
เบนทอนไนต์	0.86 abC	2.13 cB	2.32 dB	5.15 aA	2.61 c
ปูนมาร์ล	0.75 bC	2.50 bcB	3.70 bcA	3.94 bcA	2.72 bc
ฟางข้าว	0.83 bC	1.62 dB	1.84 eAB	2.13 dA	1.60 d
แกลบเผา	1.00 aC	2.94 aB	4.29 aA	4.43 abA	3.15 a
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	0.77 bC	2.55 abB	3.29 cA	3.43 cA	2.51 c
เฉลี่ย	0.82 D	2.39 C	3.19 B	3.91 A	2.58
CV (%)	11.34				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมในลำต้นและใบ

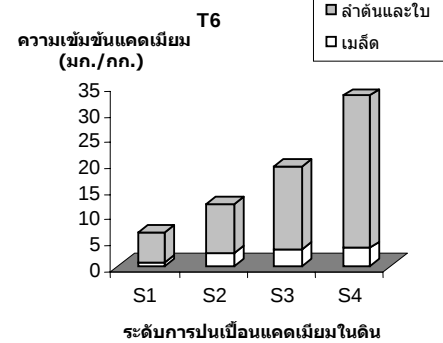
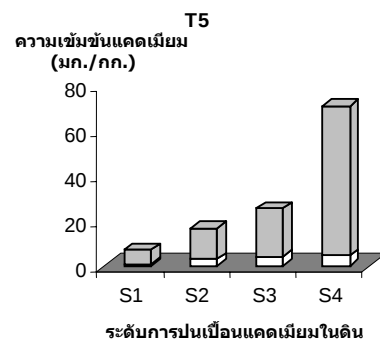
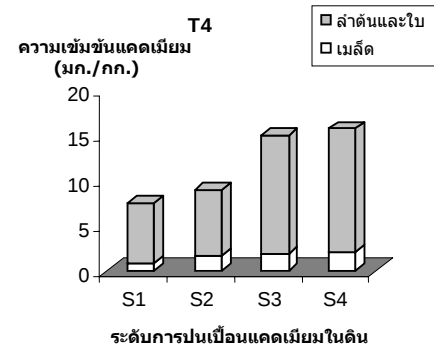
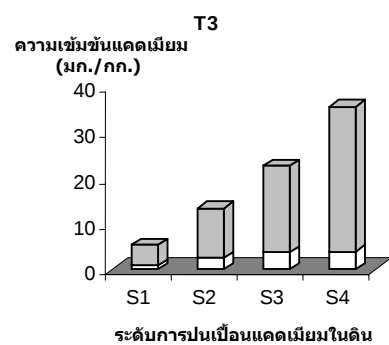
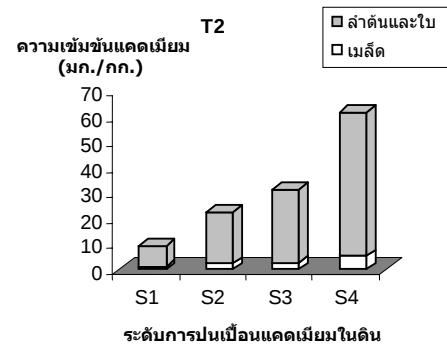
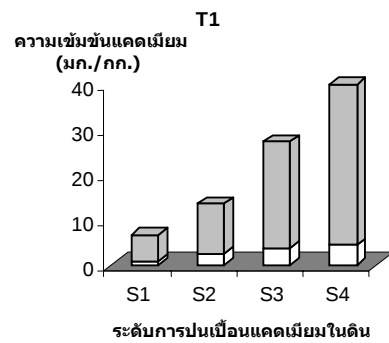
ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามิปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยพบว่า ลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เบนทอนต์ (T2) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมสูงที่สุด เท่ากับ 28.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมต่ำที่สุด เท่ากับ 10.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นแคดเมียมในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในลำต้นและใบถั่วเหลืองเท่ากับ 18.97, 16.56, 10.17, 26.70 และ 15.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นแคดเมียมในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมสูงสุด คือ 38.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับการปนเปื้อน โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนทั้งสามชนิดหลังดังกล่าว เท่ากับ 20.27, 12.05 และ 6.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของแคดเมียมในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อน
แคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแคดเมียมในลำต้นและใบถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	5.86 bcD	10.91 bcC	23.55 bB	35.56 bcA	18.97 b
เบนทอนไนต์	8.22 aD	20.12 aC	28.92 aB	56.41 abA	28.42 a
ปูนมาร์ล	4.65 cD	10.93 bcC	18.97 cB	31.69 bcA	16.56 b
ฟางข้าว	6.63 abB	7.27 dB	13.21 dA	13.59 cA	10.17 c
แกลบเผา	6.00 bcB	13.50 bB	21.05 bcB	66.27 aA	26.70 a
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	5.67 bcD	9.58 cdC	15.95 dB	29.64 cA	15.21 bc
เฉลี่ย	6.17 D	12.05 C	20.27 B	38.86 A	19.34
CV (%)	35.46				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 3 ความเข้มข้นแคดเมียมในส่วนของเมล็ด และลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

2.3 ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ด

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สำหรับสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ด และไม่พบปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 9

ความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า เมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีสูงสุด คือ 73.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนทั้งสามชนิดหลังดังกล่าวเท่ากับ 60.88, 52.52 และ 40.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	40.78	52.65	60.31	73.24	56.75
เบนทอนต์	39.53	57.43	63.87	93.23	63.52
ปูนมาร์ล	40.78	53.75	60.64	74.54	57.43
ฟางข้าว	39.78	47.92	51.33	55.94	48.74
แกลบเผา	39.80	59.80	64.92	76.35	60.23
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	41.03	61.55	64.24	69.12	58.99
เฉลี่ย	40.28 C	52.52 B	60.88 B	73.74 A	56.86
CV (%)	23.05				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.4 ความเข้มข้นของสังกะสีในลำต้นและใบ

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สำหรับสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นสังกะสีในลำต้นและใบ และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 10

ความเข้มข้นสังกะสีในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีสูงสุด คือ 360.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในลำต้นและใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนทั้งสามชนิดหลังดังกล่าวเท่ากับ 121.18, 151.40 และ 217.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของสังกะสีในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม
ระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นสังกะสีในลำต้นและใบถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	119.71	129.98	190.90	324.00	191.15
เบนทอนต์	135.49	253.95	305.74	549.58	311.19
ปูนมาร์ล	126.08	147.76	261.66	361.62	224.28
ฟางข้าว	125.01	103.72	167.12	244.26	214.94
แกลบเผา	100.72	161.45	220.21	345.26	160.03
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	120.06	111.56	156.83	335.82	181.07
เฉลี่ย	121.18 C	151.40 C	217.08 B	360.09 A	212.44
CV (%)	48.14				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.5 ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ด

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเหล็กในเมล็ดถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	91.39	88.76	91.88	95.57	91.90
เบนทอนต์	83.38	103.55	101.89	90.77	94.90
ปูนมาร์ล	85.39	99.14	84.49	92.38	90.35
ฟางข้าว	77.89	88.71	88.23	90.39	86.31
แกลบเผา	80.01	90.46	93.40	82.83	86.68
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	86.99	92.51	87.09	85.01	87.90
เฉลี่ย	84.18	93.86	91.16	89.49	89.67
CV (%)	12.31				
F-test (ดิน)	ns				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.6 ความเข้มข้นของเหล็กในลำต้นและใบ

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่างกันและสารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กในลำต้นและใบของถั่วเหลือง และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นของเหล็กในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเหล็กในลำต้นและใบถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	294.13	404.18	307.07	309.02	328.60
เบนทอนต์	273.70	331.18	253.67	267.53	281.52
ปูนมาร์ล	329.18	282.02	275.71	268.11	288.75
ฟางข้าว	302.77	288.49	300.23	281.42	293.23
แกลบเผา	310.25	332.35	353.52	298.34	323.61
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	258.24	333.86	222.22	269.78	271.03
เฉลี่ย	294.71	328.68	285.40	282.37	297.79
CV (%)	21.60				
F-test (ดิน)	ns				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.7 ความเข้มข้นของแมงกานีสในเมล็ด

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสในเมล็ดถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยพบว่า เมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสสูงที่สุด เท่ากับ 26.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นแมงกานีสในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในเมล็ดถั่วเหลืองเท่ากับ 17.72, 20.11, 16.37, 17.08 และ 16.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และเป็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นแมงกานีสในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า เมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสสูงสุด คือ 24.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 23.40, 14.87 และ 12.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นของเมงกานีสในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม
ระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเมงกานีสในเมล็ดถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	21.84 bA	13.40 bB	10.73 cB	24.90 abA	17.72 c
เบนทอนต์	19.52 bB	19.47 aAB	15.92 bAB	25.53 abA	20.11 b
ปูนมาร์ล	19.86 bB	13.00 bC	8.18 dD	24.44 abA	16.37 c
ฟางข้าว	34.12 aA	20.15 aC	24.02 aBC	26.71 aB	26.25 a
แกลบเผา	22.02 bA	11.48 bB	10.79 cB	24.03 abA	17.08 c
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	23.05 bA	11.72 bB	7.55 dC	21.54 bA	16.04 c
เฉลี่ย	23.40 A	14.87 B	12.87 C	24.53 A	18.92
CV (%)	11.38				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

2.8 ความเข้มข้นของแมงกานีสในลำต้นและใบ

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 14 โดยพบว่า ลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เบนทอไนต์ (T2) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสสูงที่สุด เท่ากับ 83.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นแมงกานีสในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในลำต้นและใบถั่วเหลืองเท่ากับ 42.62, 49.55, 73.39, 52.58 และ 40.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ความเข้มข้นแมงกานีสในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสสูงสุด คือ 88.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในลำต้นและใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 62.73, 31.89 และ 35.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ความเข้มข้นของแมงกานีสในลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อน
แคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแมงกานีสในลำต้นและใบถั่วเหลือง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	52.52	23.14	22.62	72.21	42.62 b
เบนทอนต์	73.81	56.99	58.39	146.12	83.83 a
ปูนมาร์ล	43.33	19.56	40.39	94.93	49.55 b
ฟางข้าว	119.70	49.50	58.40	65.96	73.39 a
แกลบเผา	40.37	20.96	20.99	69.59	52.58 b
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	46.65	21.18	15.12	79.46	40.60 b
เฉลี่ย	62.73 B	31.89 C	35.99 C	88.05 A	54.67
CV (%)	47.46				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	*				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3. ผลของสารปรับปรุงดินต่อพฤติกรรมแคดเมียม สังกะสี เหล็ก และแมงกานีสในดิน

3.1 ตัวอย่างดินเก็บครั้งที่ 1 หลังใส่สารปรับปรุงดิน 1 อาทิตย์ (ก่อนปลูกถั่วเหลือง)

3.1.1 ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 15 โดยพบว่า ดินที่ใส่ปูนมาร์ล (T3) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงที่สุดเท่ากับ 11.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินต่ำที่สุด เท่ากับ 10.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินเท่ากับ 10.85, 10.44, 11.47 และ 11.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงสุด คือ 15.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 2.02, 10.83 และ 15.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	2.08 aC	10.27 cB	14.39 bA	14.77 bA	10.38 d
เบนทอนไนต์	1.75 cD	9.92 cC	16.44 aA	15.30 bB	10.85 c
ปูนมาร์ล	2.11 aC	13.20 aB	16.20 aA	16.34 aA	11.96 a
ฟางข้าว	1.89 bC	7.47 dB	16.25 aA	16.16 aA	10.44 d
แกลบเผา	2.14 aD	11.84 bC	15.56 aB	16.36 aA	11.47 b
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	2.14 aC	12.26 bB	16.47 aA	16.28 aA	11.79 ab
เฉลี่ย	2.02 C	10.83 B	15.89 A	15.37 A	11.03
CV (%)	3.56				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.1.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 16 โดยพบว่า ดินที่ใส่ปุ๋ยมาร์ล (T3) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 27.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 25.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินเท่ากับ 27.09, 27.13, 27.10 และ 26.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดสูงสุด คือ 60.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับการปนเปื้อน โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 3.22, 15.08 และ 28.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน
แคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	2.82	14.31	26.95	58.66	25.68 c
เบนทอนไนต์	3.17	15.25	29.07	60.87	27.09 ab
ปูนมาร์ล	3.35	15.89	30.82	61.60	27.92 a
ฟางข้าว	3.02	15.36	28.19	61.97	27.13 ab
แกลบเผา	3.61	15.24	27.80	61.74	27.10 ab
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	3.32	14.45	28.78	60.97	26.88 b
เฉลี่ย	3.22 D	15.08 C	28.60 B	60.97 A	26.97
CV (%)	4.14				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.1.3 ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน และไม่พบปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 17

ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ หลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงสุด คือ 210.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 25.84, 156.44 และ 192.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นสังกะสีส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	23.58	99.67	190.82	203.14	129.30
เบนทอนไนต์	36.60	169.92	202.71	209.35	156.65
ปูนมาร์ล	22.95	124.14	191.92	211.21	137.56
ฟางข้าว	23.48	107.95	185.69	213.00	132.53
แกลบเผา	25.04	120.59	187.10	214.81	136.89
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	23.38	124.37	193.77	213.24	138.69
เฉลี่ย	25.84 C	156.44 BC	192.00 B	210.79 A	146.27
CV (%)	51.74				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.1.4 ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 18 โดยพบว่า ดินที่ใส่ปุ๋ยมาร์ล (T3) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 889 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ได้สารปรับปรุงดิน (T6) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินเท่ากับ 788, 845, 846, 856 และ 867 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีทั้งหมดสูงสุด คือ 1668 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับการปนเปื้อนโดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 210, 589 และ 927 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 18 ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน
แตกต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นสังกะสีทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	193 dD	566 aC	889 bB	1502 cA	788 c
เบนทอนต์	230 aD	601 aC	929 abB	1618 bA	845 b
ปูนมาร์ล	216 bD	609 aC	961 aB	1770 aA	889 a
ฟางข้าว	207 cD	558 aC	932 abB	1688 abA	846 b
แกลบเผา	210 bcD	612 aC	918 abB	1682 abA	856 ab
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	206 cD	583 aC	932 abB	1746 aA	867 ab
เฉลี่ย	210 D	589 C	927 B	1668 A	849
CV (%)	4.83				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.1.5 ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	50.85	46.87	43.01	46.93	46.91
เบนทอนต์	53.94	58.43	47.28	51.70	52.83
ปูนมาร์ล	42.25	57.79	49.86	54.32	51.06
ฟางข้าว	99.69	107.48	65.28	72.91	86.34
แกลบเผา	40.33	43.11	41.83	43.15	42.11
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	61.35	57.74	52.98	56.28	57.09
เฉลี่ย	58.07	61.90	50.04	54.22	56.06
CV (%)	37.00				
F-test (ดิน)	ns				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3.1.6 ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 20 โดยพบว่า ดินที่ใส่ปุ๋ยมาร์ล (T3) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 13625 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ได้สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดิน เท่ากับ 12205, 13466, 13609, 12682 และ 13458 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่า ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 15277 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับ ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) ระดับ S3 (50 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 10302, 11921 และ 15196 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเหล็กทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	13602	9688	11323	14206	12205 c
เบนทอนต์	15286	10895	12622	15063	13466 a
ปูนมาร์ล	16137	10908	11622	15831	13625 a
ฟางข้าว	15813	10785	12355	15483	13609 a
แกลบเผา	15115	9179	11716	14719	12682 b
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	15711	10358	11888	15875	13458 a
เฉลี่ย	15277 A	10302 C	11921 B	15196 A	13174
CV (%)	4.20				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.1.7 ความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน แต่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 21

ความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินเฉลี่ยสูงสุด คือ 74.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนทั้งสามระดับหลังที่กล่าวมา เท่ากับ 35.11, 29.50 และ 56.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 21 ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	81.15	29.35	26.72	44.93	45.54
เบนทอนไนต์	67.24	42.03	35.06	61.41	51.43
ปูนมาร์ล	63.42	30.37	26.97	53.36	43.53
ฟางข้าว	81.77	45.92	37.33	76.28	60.32
แกลบเผา	73.18	33.01	27.62	52.88	46.67
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	82.56	31.01	23.33	52.88	47.44
เฉลี่ย	74.88 A	35.11 C	29.50 D	56.96 B	49.11
CV (%)	28.40				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.1.8 ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 22 โดยพบว่า ดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 509.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินเท่ากับ 434.33, 505.67, 491.25, 479.75 และ 471.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่า ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 867.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 422.74, 326.72 และ 311.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 22 ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน
แตกต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแมงกานีสทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	384.49	289.58	285.08	778.00	434.33 b
เบนทอนต์	452.31	364.56	330.28	875.54	505.67 a
ปูนมาร์ล	435.64	340.82	311.86	877.01	491.25 a
ฟางข้าว	432.91	346.88	314.25	941.89	509.00 a
แกลบเผา	391.73	323.82	316.58	887.01	479.75 a
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	439.40	294.16	308.75	844.54	471.75 a
เฉลี่ย	422.74 B	326.72 C	311.11 C	867.28 A	481.96
CV (%)	8.83				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.2 ตัวอย่างดินเก็บครั้งที่ 2 เมื่อถั่วเหลืองออกดอก

3.2.1 ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน แต่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 23

ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงสุด คือ 17.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ดินปนเปื้อนระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 1.74, 11.47 และ 15.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	1.65	7.76	16.11	17.40	10.73
เบนทอนไนต์	1.57	8.60	16.06	17.66	10.97
ปูนมาร์ล	1.74	9.52	15.57	18.21	11.26
ฟางข้าว	1.66	16.30	15.38	16.29	12.40
แกลบเผา	1.84	18.29	13.83	17.43	12.84
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	1.96	8.33	14.71	17.07	10.51
เฉลี่ย	1.74 C	11.47 B	15.28 A	17.34 A	11.46
CV (%)	42.54				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.2.2 ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 24

ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ หลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงสุด คือ 214.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 21.95, 186.05 และ 180.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 24 ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	18.22	159.02	159.68	179.26	129.05
เบนทอนไนต์	24.82	159.88	172.17	182.92	134.94
ปูนมาร์ล	17.68	178.32	218.41	179.07	148.37
ฟางข้าว	27.45	204.87	158.26	181.91	143.12
แกลบเผา	22.86	202.93	337.46	179.57	185.70
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	20.69	211.25	240.23	182.43	163.65
เฉลี่ย	21.95 C	186.05 B	214.37 A	180.86 B	150.81
CV (%)	47.90				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.2.3 ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 25 โดยพบว่า ดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงที่สุด เท่ากับ 196.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ใส่ชีโอไลต์ (T1) เบนทอไนต์ (T2) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินเท่ากับ 57.38, 52.49, 108.99, 64.00 และ 85.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ หลังการปลูกถั่วเหลือง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงสุด คือ 118.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนทั้งสามระดับหลังที่กล่าวมา เท่ากับ 72.61, 91.63 และ 94.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 25 ความเข้มข้นของหลักส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นหลักส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	72.80 cA	62.65 cA	45.65 eB	48.44 eB	57.38 e
เบนทอนไนต์	45.39 dB	59.05 cA	47.33 eB	58.21 dA	52.49 e
ปูนมาร์ล	170.03 bA	57.73 cD	114.57 bB	93.62 bC	108.99 b
ฟางข้าว	263.03 aA	116.45 aC	158.40 aB	248.59 aA	196.62 a
แกลบเผา	76.95 cA	55.00 cB	79.30 dA	44.73 eC	64.00 d
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	80.94 cB	84.76 bB	104.53 cA	71.09 cC	85.33 c
เฉลี่ย	118.19 A	72.61 C	91.63 B	94.11 B	94.14
CV (%)	6.38				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.2.4 ความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน แต่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินและพบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 26

ความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินเฉลี่ยสูงสุด คือ 63.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) และระดับ S2 (30 มก./กก.) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นของแอมกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนทั้งสามระดับหลังที่กล่าวมา เท่ากับ 48.25, 43.86 และ 23.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 26 ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	50.00 bB	42.47 cdC	28.07 bD	54.42 eA	43.74
เบนทอนไนต์	32.01 cC	40.61 dB	18.57 dD	57.21 dA	37.10
ปูนมาร์ล	33.46 cB	34.06 eB	17.47 dC	75.76 bA	40.19
ฟางข้าว	53.01 bB	53.49 aB	33.64 aC	82.63 aA	55.69
แกลบเผา	67.90 aB	47.21 bC	21.36 cD	55.42 deA	47.97
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	53.09 bB	45.34 bcC	22.30 cD	60.94 cA	45.41
เฉลี่ย	48.25 B	43.86 B	23.57 C	63.40 A	44.77
CV (%)	25.49				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	*				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3 ตัวอย่างดินเก็บครั้งที่ 3 เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต

3.3.1 ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน แต่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินและไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 27

ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงสุด คือ 15.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) มีความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 2.02, 7.14 และ 13.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 27 ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแคดเมียมส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	2.08	6.43	13.80	15.12	9.36
เบนทอนไนต์	1.75	6.75	14.12	15.33	9.49
ปูนมาร์ล	2.11	8.60	15.07	16.58	10.59
ฟางข้าว	1.89	5.41	12.86	14.49	8.66
แกลบเผา	2.14	7.41	13.59	16.32	9.87
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	2.14	8.23	14.43	17.02	10.46
เฉลี่ย	2.02 C	7.14 B	13.98 A	15.81 A	9.74
CV (%)	15.90				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 28 โดยพบว่า ดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 42.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และไม้ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินเท่ากับ 38.17, 40.13, 42.00, 41.65 และ 41.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดสูงสุด คือ 106.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับการปนเปื้อน โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 3.89, 17.09 และ 36.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 28 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน แคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	3.21 aD	15.49 cC	31.78 cB	102.17 bA	38.17 c
เบนทอนิต์	3.46 aD	16.77 bC	36.50 bB	103.78 bA	40.13 b
ปูนมาร์ล	3.70 aD	17.67 aC	39.01 aB	107.61 aA	42.00 a
ฟางข้าว	5.39 aD	17.41 abC	37.13 abB	108.88 aA	42.21 a
แกลบเผา	3.78 aD	17.35 abC	37.91 abB	107.55 aA	41.65 a
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	3.80 aD	17.79 aC	37.48 abB	107.16 aA	41.56 a
เฉลี่ย	3.89 D	17.09 C	36.64 B	106.20 A	40.96
CV (%)	2.63				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3.3 ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินและไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 29

ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ หลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงสุด คือ 222.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 21.50, 110.02 และ 198.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 29 ความเข้มข้นของสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นสังกะสีส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	17.90	82.14	167.69	197.78	116.38
เบนทอนไนต์	25.59	188.53	170.56	200.22	146.23
ปูนมาร์ล	18.45	96.18	193.08	200.39	127.03
ฟางข้าว	24.76	97.46	326.41	197.72	161.59
แกลบเผา	22.20	108.30	258.58	194.93	146.00
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	20.07	87.52	217.06	197.54	130.55
เฉลี่ย	21.50 C	110.02 B	222.23 A	198.10 A	137.96
CV (%)	50.11				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3.4 ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 30 โดยพบว่า ดินที่ใส่ปุ๋ยมาร์ล (T3) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 1890.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินเท่ากับ 1651.17, 1778.00, 1860.00, 1839.42 และ 1880.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่าความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีทั้งหมดสูงสุด คือ 4362.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับการปนเปื้อนโดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 211.94, 870.89 และ 1821.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 30 ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน
แตกต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นสังกะสีทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	179.00 aD	794.66 dC	1557.66 dB	4073.33 cA	1651.17 d
เบนทอนไนต์	227.66 aD	842.00 cC	1785.33 cB	4257.00 bA	1778.00 c
ปูนมาร์ล	206.00 aD	902.66 abC	1946.00 aB	4509.00 aA	1890.92 a
ฟางข้าว	253.66 aD	887.00 abC	1883.00 abB	4416.33 aA	1860.00 ab
แกลบเผา	196.66 aD	877.33 bC	1851.00 bcB	4432.66 aA	1839.42 b
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	208.66 aD	921.66 aC	1907.00 abB	4485.66 aA	1880.75 ab
เฉลี่ย	211.94 D	870.89 C	1821.67 B	4362.33 A	1816.71
CV (%)	2.89				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3.5 ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน แต่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 31 โดยพบว่า ดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินสูงที่สุด เท่ากับ 105.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอไนต์ (T2) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินเท่ากับ 44.65, 51.63, 53.48, 47.28 และ 59.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 31 ความเข้มข้นของเหล็กส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน แคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเหล็กส่วนที่ดูดดึงได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	47.30	47.70	37.59	46.00	44.65 b
เบนทอนไนต์	55.94	60.66	41.81	48.12	51.63 ab
ปูนมาร์ล	49.98	60.47	48.16	55.29	53.48 ab
ฟางข้าว	78.26	115.17	97.57	129.88	105.22 a
แกลบเผา	51.22	46.72	33.50	57.68	47.28 ab
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	63.34	61.89	52.88	58.55	59.17 ab
เฉลี่ย	57.67	65.44	51.92	65.92	60.24
CV (%)	44.76				
F-test (ดิน)	ns				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	*				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3.6 ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 32 โดยพบว่า ดินที่ใส่ปุ๋ยมาร์ล (T3) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 12586 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) เบนทอนต์ (T2) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ได้สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดิน เท่ากับ 11287, 12572, 12184, 12561 และ 12435 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่า ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 14778 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับ ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับการปนเปื้อน โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) ระดับ S3 (50 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 9952, 10999 และ 13355 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 32 ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเหล็กทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	13564 cA	9187 cC	9890 cC	12507 cB	11287 c
เบนทอนต์	14938 bA	10080 abD	11430 aC	13843 abB	12572 a
ปูนมาร์ล	14978 bA	9744 bD	11604 aC	14019 aB	12586 a
ฟางข้าว	14809 bA	10209 aD	11474 aC	12245 cB	12184 b
แกลบเผา	16125 aA	10215 aC	10296 bC	13610 bB	12561 a
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	14256 bcA	10277 aC	11300 aB	13909 abA	12435 a
เฉลี่ย	14778 A	9952 D	10999 C	13355 B	12271
CV (%)	2.25				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3.7 ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน แต่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 33

ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินเฉลี่ยสูงสุด คือ 69.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนระดับ S2 (30 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความเข้มข้นของแมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินปนเปื้อนทั้งสามระดับหลังที่กล่าวมา เท่ากับ 28.08, 21.50 และ 37.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 33 ความเข้มข้นของเมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นเมงกานีสส่วนที่ดูดซับได้ง่ายในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	71.70	20.04	17.97	32.73	35.61
เบนทอนไนต์	65.62	36.79	23.48	45.75	42.91
ปูนมาร์ล	55.02	20.86	19.80	33.75	32.36
ฟางข้าว	70.54	37.91	30.77	43.86	45.77
แกลบเผา	76.54	27.47	16.67	34.08	38.69
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	76.94	25.40	20.30	32.80	38.86
เฉลี่ย	69.39 A	28.08 B	21.50 C	37.16 B	39.03
CV (%)	37.91				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	ns				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

3.3.8 ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดิน ที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 34 โดยพบว่า ดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 551 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลต์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินเท่ากับ 474, 520, 543, 517 และ 510 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างเด่นชัด โดยพบว่า ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 934 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกะดับการปนเปื้อน โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสทั้งหมดในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 466, 352 และ 325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 34 ความเข้มข้นของแมงกานีสทั้งหมดในดินที่ปลูกถั่วเหลืองที่มีระดับการปนเปื้อน
แตกต่างกันและใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

สารปรับปรุงดิน	ความเข้มข้นแมงกานีสทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	428	322	282	866	474 c
เบนทอนต์	482	395	367	959	551 a
ปูนมาร์ล	473	343	319	946	520 b
ฟางข้าว	480	364	349	979	543 a
แกลบเผา	469	348	318	934	517 b
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	463	341	315	922	510 b
เฉลี่ย	466 B	352 C	325 D	934 A	519
CV (%)	3.55				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

4. ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อพีเอชของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และอินทรีย์วัตถุในดิน

4.1 ตัวอย่างดินเก็บครั้งที่ 1 หลังใส่สารปรับปรุงดิน 1 อาทิตย์ (ก่อนปลูกถั่วเหลือง)

4.1.1 ผลของสารปรับปรุงดินต่อค่าพีเอชของดิน

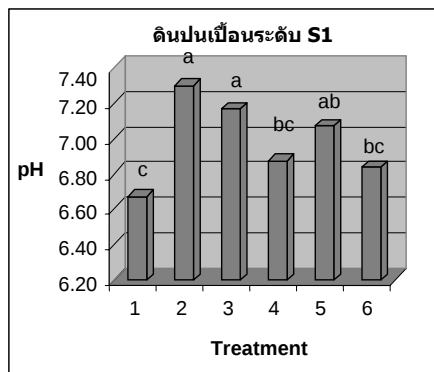
ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 13 มก./กก.(S1) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าพีเอชของดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) และดินที่ใส่ปูนมาร์ล (T3) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่ซีโอไลต์ (T1) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 6.67 และ 7.30 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก-1)

ในขณะที่ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 30 มก./กก.(S2) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าพีเอชของดินที่ใส่ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่ซีโอไลต์ (T1) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.36 และ 8.02 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก-2)

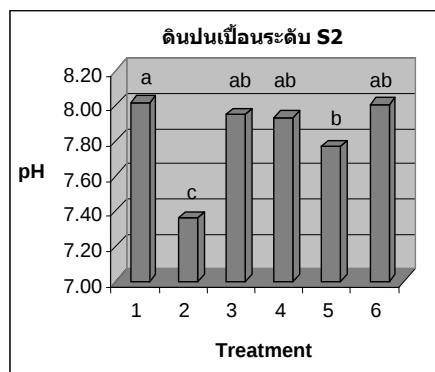
ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 50 มก./กก.(S3) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าพีเอชของดินที่ใส่ซีโอไลต์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่ปูนมาร์ล (T3) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.47 และ 8.15 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก-3)

และพบว่าดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 150 มก./กก.(S4) การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุดและดินที่ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.74 และ 8.26 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก-4)

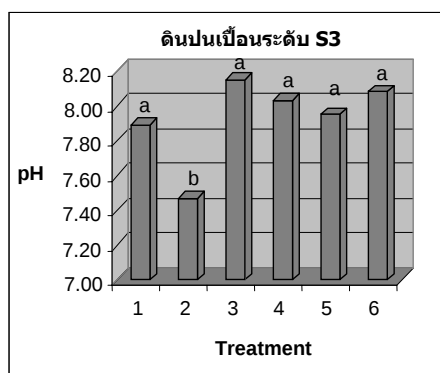
(ก-1)



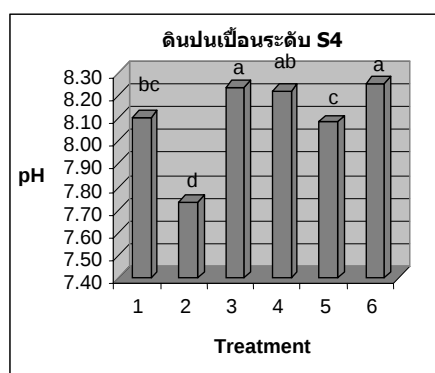
(ก-2)



(ก-3)



(ก-4)



ภาพที่ 4 ค่าพีเอชของดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ ที่มีการใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)

4.1.2 ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 35 โดยพบว่าดินที่ใส่เบนทอนต์ (T2) มีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินสูงที่สุด เท่ากับ 229.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินเท่ากับ 54.23, 48.61, 34.41, 59.21 และ 49.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ หลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 97.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินปนเปื้อน 3 ระดับหลังที่กล่าวมานี้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S3 (50 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 69.06, 81.92 และ 65.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 35 ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดิน
(ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)

สารปรับปรุงดิน	ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	31.19 cC	74.00 cdA	61.14 bcB	50.60 bB	54.23 bc
เบนทอนต์	274.15 aA	176.27 aC	235.75 aB	231.10 aB	229.32 a
ปูนมาร์ล	44.41 bB	92.21 bcA	35.92 dC	21.89 cD	48.61 c
ฟางข้าว	23.72 bC	60.87 dA	34.98 dB	20.40 cC	34.41 d
แกลบเผา	40.29 dB	98.45 bA	49.73 cdB	48.39 bB	59.21 b
ไม่ได้ใส่สารปรับปรุงดิน	19.51 dB	83.76 bcA	73.97 bA	21.99 cB	49.81 c
เฉลี่ย	69.06 C	97.59 A	81.92 B	65.73 D	78.56
CV (%)	10.60				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

4.1.3 ผลของสารปรับปรุงดินต่อเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออินทรีย์วัตถุในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่า มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 36 โดยพบว่า ดินที่ใส่เบนทอนต์ (T2) มีอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุด เท่ากับ 2.44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอินทรีย์วัตถุในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากับ 1.53, 1.67, 1.80, 1.78 และ 1.73 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 2.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ โดยอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 1.65, 1.68 และ 1.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 36 ผลของสารปรับปรุงดินต่ออินทรีย์วัตถุในดิน (ระยะก่อนปลูกถั่วเหลือง)

สารปรับปรุงดิน	อินทรีย์วัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	1.26 dC	1.30 eC	1.69 dB	1.88 cA	1.53 e
เบนทอไนต์	2.46 aAB	2.28 aC	2.59 aA	2.41 aBC	2.44 a
ปูนมาร์ล	1.48 cB	1.48 dB	1.87 bcA	1.88 cA	1.67 d
ฟางข้าว	1.63 bB	1.59 cB	1.97 bA	2.01 bA	1.80 b
แกลบเผา	1.51 cC	1.72 bB	1.91 bcA	1.95 bcA	1.78 bc
ไม่ได้สารปรับปรุงดิน	1.54 bcC	1.70 bB	1.81 cdA	1.87 cA	1.73 c
เฉลี่ย	1.65 B	1.68 B	1.97 A	2.00 A	1.83
CV (%)	3.06				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

- ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
- ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

4.2 ตัวอย่างดินเก็บครั้งที่ 2 เมื่อถั่วเหลืองออกดอก

4.2.1 ผลของสารปรับปรุงดินต่อค่าพีเอชของดิน

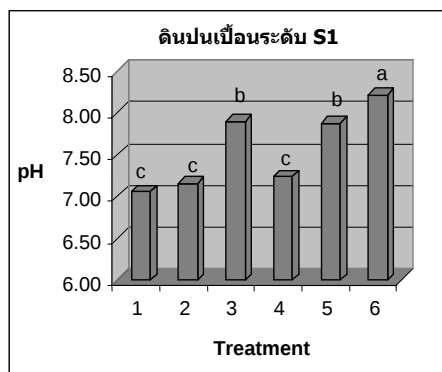
ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 13 มก./กก.(S1) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.06 และ 8.22 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก-1)

ในขณะที่ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 30 มก./กก.(S2) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าพีเอชของดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่เบนทอไนท์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 6.89 และ 8.32 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก-2)

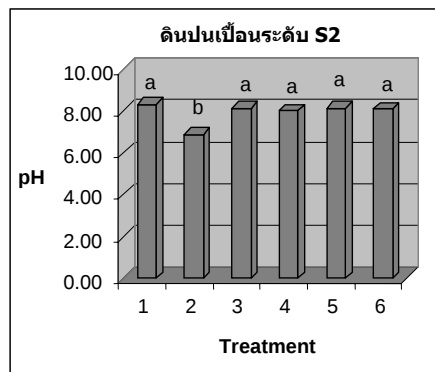
ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 50 มก./กก.(S3) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าพีเอชของดินที่ใส่ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) ฟางข้าว (T4) และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่เบนทอไนท์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่ฟางข้าว (T4) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.37 และ 8.06 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก-3)

และพบว่าดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 150 มก./กก.(S4) การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่แกลบเผา (T5) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.01 และ 7.64 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก-4)

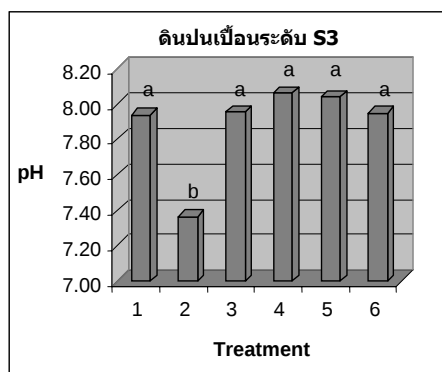
(ก-1)



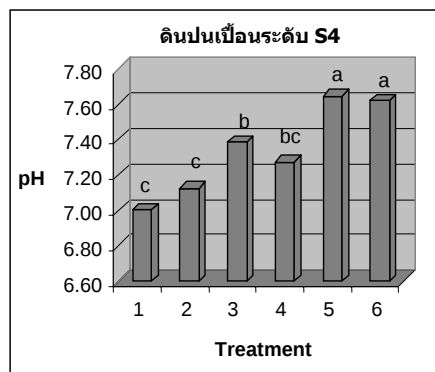
(ก-2)



(ก-3)



(ก-4)



ภาพที่ 5 ค่าพีเอชของดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ ที่มีการใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)

4.2.2 ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 37 โดยพบว่าดินที่ใส่เบนทอนต์ (T2) มีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุด เท่ากับ 747.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 71.01, 51.03, 35.60, 43.06 และ 47.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ หลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 269.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ โดยปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S3 (50 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 169.19, 127.44 และ 113.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 37 ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดิน
(ระยะถั่วเหลืองออกดอก)

สารปรับปรุงดิน	ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	31.88 bB	165.86 bA	56.10 bB	30.20 bB	71.01 b
เบนทอนต์	848.95 aB	973.27 aA	592.29 aC	576.39 aC	747.73 a
ปูนมาร์ล	39.91 bB	112.25 cdA	33.79 bB	18.17 bC	51.03 bc
ฟางข้าว	31.24 bB	106.44 dA	24.85 bBC	9.71 bC	35.60 b
แกลบเผา	27.77 bB	148.37 bcA	35.35 bB	29.05 bB	43.06 c
ไม่ได้ใส่สารปรับปรุงดิน	35.39 bB	112.72 cdA	22.28 bC	17.97 bC	47.09 c
เฉลี่ย	169.19 B	269.81 A	127.44 C	113.58 C	170.01
CV (%)	14.91				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

4.2.3 ผลของสารปรับปรุงดินต่ออินทรีย์วัตถุในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออินทรีย์วัตถุในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 38 โดยพบว่า ดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) มีอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุด เท่ากับ 3.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอินทรีย์วัตถุในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากับ 1.51, 1.70, 1.93, 1.74 และ 1.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 2.37 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อน 3 ระดับหลังที่กล่าวมานี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 2.04, 1.61 และ 2.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 38 ผลของสารปรับปรุงดินต่ออินทรีย์วัตถุในดิน (ระยะถั่วเหลืองออกดอก)

สารปรับปรุงดิน	อินทรีย์วัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	1.38 dB	1.30 dB	1.60 cA	1.77 cA	1.51 d
เบนทอนไนต์	4.32 aB	2.21 aC	4.06 aB	4.64 aA	3.81 a
ปูนมาร์ล	1.62 bcB	1.44 cdC	1.84 bcA	1.90 cA	1.70 c
ฟางข้าว	1.78 bB	1.68 bB	2.07 bA	2.18 bA	1.93 b
แกลบเผา	1.60 bcB	1.55 bcC	1.89 bcA	1.92 cA	1.74 c
ไม่ได้สารปรับปรุงดิน	1.52 cdB	1.49 cB	1.83 bcA	1.83 cA	1.67 c
เฉลี่ย	2.04 C	1.61 D	2.22 B	2.37 A	2.06
CV (%)	5.26				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

- ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
- ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

4.3 ตัวอย่างดินเก็บครั้งที่ 3 เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต

4.3.1 ผลของสารปรับปรุงดินต่อค่าพีเอชของดิน

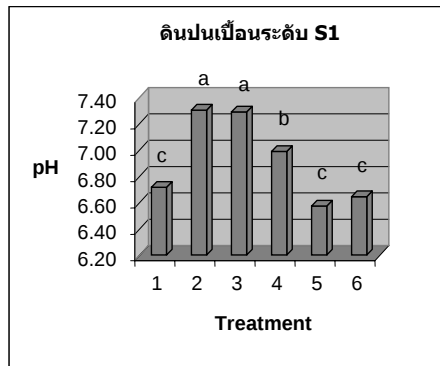
ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 13 มก./กก.(S1) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดค้างของดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) แกลบเผา (T5) และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่แกลบเผา (T5) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่เบนทอนไนท์ (T2) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 6.58 และ 7.31 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก-1)

ในขณะที่ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 30 มก./กก.(S2) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าพีเอชของดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่เบนทอนไนท์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.42 และ 8.15 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก-2)

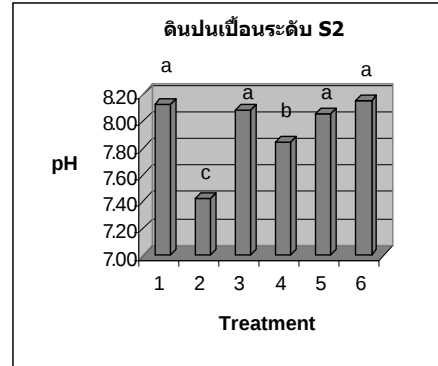
ดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 50 มก./กก.(S3) พบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ค่าพีเอชของดินที่ใส่ปูนมาร์ล (T3) แกลบเผา (T5) ฟางข้าว (T4) และดินที่ไม่มีการใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่เบนทอนไนท์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.57 และ 8.14 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก-3)

และพบว่าดินที่มีการปนเปื้อนระดับ 150 มก./กก.(S4) การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินที่ใส่เบนทอนไนท์ (T2) มีค่าพีเอชของดินต่ำสุด และดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) มีค่าพีเอชของดินสูงสุดเท่ากับ 7.83 และ 8.31 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก-4)

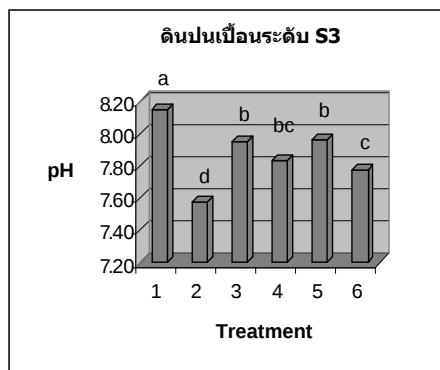
(ก-1)



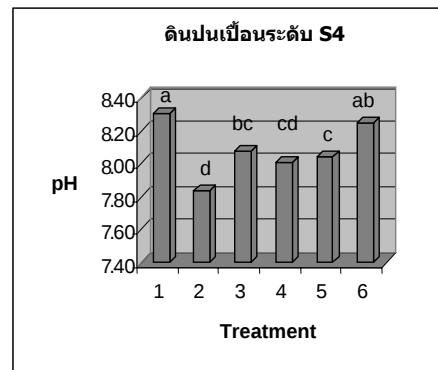
(ก-2)



(ก-3)



(ก-4)



ภาพที่ 6 ค่าพีเอชของดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ ที่มีการใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)

4.3.2 ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 39 โดยพบว่าดินที่ใส่เบนทอนต์ (T2) มีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุด เท่ากับ 349.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 31.83, 34.78, 35.60, 35.40 และ 32.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใส่สารปรับปรุงดินทั้ง 5 ชนิดหลังที่กล่าวมานี้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ หลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 126.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อน 3 ระดับหลังที่กล่าวมานี้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S3 (50 มก./กก.) และระดับ S4 (150 มก./กก.) เท่ากับ 75.74, 72.36 และ 72.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 39 ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดิน
(ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)

สารปรับปรุงดิน	ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				เฉลี่ย
	S1	S2	S3	S4	
ซีโอไลท์	22.72	67.94	22.01	14.65	31.83 b
เบนทอนต์	342.20	372.75	322.97	359.65	349.39 a
ปูนมาร์ล	20.47	77.56	23.96	17.10	34.78 b
ฟางข้าว	23.72	82.73	20.87	15.06	35.60 b
แกลบเผา	26.30	80.74	22.51	12.04	35.40 b
ไม่ใส่สารปรับปรุงดิน	19.02	76.23	21.81	14.68	32.94 b
เฉลี่ย	75.74 B	126.33 A	72.36 B	72.19 B	86.66
CV (%)	23.60				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	ns				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ
 - ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
 - ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

4.3.3 ผลของสารปรับปรุงดินต่ออินทรีย์วัตถุในดิน

ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออินทรีย์วัตถุในดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ต่อกันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 40 โดยพบว่าดินที่ใส่เบนทอนไนต์ (T2) มีอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุด เท่ากับ 4.29 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอินทรีย์วัตถุในดินที่ใส่ซีโอไลท์ (T1) ปูนมาร์ล (T3) ฟางข้าว (T4) แกลบเผา (T5) และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน (T6) ซึ่งมีค่าอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากับ 1.48, 1.74, 2.04, 1.75 และ 1.68 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับหลังการปลูกถั่วเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S4 (150 มก./กก.) มีค่าสูงสุด คือ 2.46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S1 (13 มก./กก.) ดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S2 (30 มก./กก.) และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ S3 (50 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อน 3 ระดับหลังที่กล่าวมานี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอินทรีย์วัตถุในดินปนเปื้อนระดับ S1 (13 มก./กก.) ระดับ S2 (30 มก./กก.) และระดับ S3 (50 มก./กก.) เท่ากับ 1.77, 2.04 และ 2.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 40 ผลของสารปรับปรุงดินต่ออินทรีย์วัตถุในดิน (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต)

สารปรับปรุงดิน	อินทรีย์วัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)				
	S1	S2	S3	S4	เฉลี่ย
ซีโอไลท์	1.33 dB	1.31 dB	1.62 dA	1.67 dA	1.48 d
เบนทอไนต์	2.43 aC	4.63 aB	4.86 aB	4.97 aA	4.29 a
ปูนมาร์ล	1.74 bcC	1.45 cdB	1.88 cA	1.88 cA	1.74 c
ฟางข้าว	1.95 bA	1.85 bA	2.16 bA	2.18 bA	2.04 b
แกลบเผา	1.62 cB	1.55 cC	1.91 cA	1.90 cA	1.75 c
ไม่ได้สารปรับปรุงดิน	1.55 cdB	1.44 cdC	1.87 cA	1.84 cA	1.68 c
เฉลี่ย	1.77 D	2.04 C	2.39 B	2.46 A	2.17
CV (%)	4.44				
F-test (ดิน)	**				
F-test (สารปรับปรุงดิน)	**				
F-test (ดิน x สารปรับปรุงดิน)	**				

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

- ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT
- ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

จากการศึกษาผลของสารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม พบว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เบนทอนไนต์ จะมีผลผลิตสูงสุด ทั้งน้ำหนักแห้งของเมล็ด น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบและน้ำหนักสดรวม ซึ่งแตกต่างจากการใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ อย่างเด่นชัด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเบนทอนไนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็น acid composed-waste bentonite มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงและเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืช นำมาผสมกับแกลบและมูลไก่ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุ เมื่อใส่เบนทอนไนต์ลงไปดินก็จะปลดปล่อยอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสออกมาในปริมาณสูง ส่งผลให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่เบนทอนไนต์มีผลผลิตสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ

ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางข้าวจะมีผลผลิตต่ำที่สุด ทั้งน้ำหนักแห้งของเมล็ด น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบและน้ำหนักสดรวม อาจเป็นเพราะฟางข้าวที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นฟางข้าวที่หั่นเป็นท่อนเล็ก ๆ และใช้ระยะเวลาในการบ่มดินก่อนปลูกเพียง 1 สัปดาห์ ทำให้ฟางข้าวสลายตัวได้น้อยและมีปัญหาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของไรโซเบียมในปมรากถั่ว ทำให้ถั่วเหลืองเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ ผลผลิตที่ได้จึงน้อยกว่าสำหรับการทดลองอื่น ๆ

2. ความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง

ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ด และลำต้นและใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ และสารปรับปรุงดิน พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน กล่าวคือถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีระดับการปนเปื้อนสูงขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ด และลำต้นและใบถั่วเหลืองสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสุภาพร (2545) ที่รายงานว่าเมื่อปลูกพืชในดินที่มีการปนเปื้อนพืชผักทั้ง 10 ชนิด มีปริมาณแคดเมียมและสังกะสีสะสมในพืชเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแคดเมียมในดินเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแคดเมียมในส่วนของเมล็ด และลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่ามีการสะสมแคดเมียมในลำต้นและใบมากกว่าในเมล็ดอย่างเด่นชัด แสดงให้เห็นว่าแคดเมียมส่วนใหญ่จะมีการสะสมอยู่ในลำต้นและใบมากกว่าในเมล็ด ซึ่งสอดคล้องกับ ศุภมาส (2539) ที่รายงานว่าแคดเมียมจะสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมักพบในส่วนรากมากกว่าลำต้น ใบ และเมล็ด หรือส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่าถั่วเหลืองมีการสะสมธาตุสังกะสี เหล็ก และแมงกานีสอยู่ในลำต้นและใบมากกว่าในเมล็ดเช่นกัน

และถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ใส่ฟางข้าว มีความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ดและลำต้นและใบต่ำที่สุด แสดงว่าฟางข้าวมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดการดูดซับแคดเมียมและสังกะสีของถั่วเหลืองเมื่อเปรียบเทียบกับสารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ใส่เบนทอไนต์ มีแนวโน้มที่จะทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ดและลำต้นและใบสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเบนทอไนต์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีฟอสฟอรัสปริมาณสูง ส่งผลให้มีปริมาณแคดเมียมในดินสูง ทำให้ถั่วเหลืองดูดซับเข้าไปสะสมไว้ในเมล็ดและลำต้นและใบมาก ซึ่งสอดคล้องกับ He and Singh (1995) ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นแคดเมียมในพืชหลายชนิด เช่น หญ้าไรย์ ข้าวโอ๊ต แครอทและผักกาดขาว เป็นต้น

3. ผลของสารปรับปรุงดินต่อพฤติกรรมแคดเมียม สังกะสี เหล็ก และแมงกานีสในดิน

เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์ทั้ง 3 ระยะพบว่า ดินที่ใส่ซีโอไลต์และฟางข้าว มีแนวโน้มที่จะทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมและสังกะสีส่วนที่เคลื่อนย้ายได้ในดินมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ แสดงว่าซีโอไลต์และฟางข้าวมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนที่เคลื่อนย้ายได้ในดิน ซึ่งสำหรับฟางข้าวนั้นก็สอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้นที่พบว่าฟางข้าวมีผลทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ดและลำต้นและใบถั่วเหลืองต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันก็พบว่าฟางข้าวมีแนวโน้มที่จะทำให้ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสส่วนที่เคลื่อนย้ายได้ในดินและความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสทั้งหมดในดินมีค่าสูงที่สุดในดินที่เก็บมาวิเคราะห์ทั้ง 3 ระยะเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ อีกเช่นกัน

ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดในดินที่ใส่ซีโอไลต์มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดในดินปนเปื้อนทั้ง 4 ระดับภายหลังการปลูกถั่วเหลือง พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินปนเปื้อนทั้ง 4 ระดับมีค่าลดลงภายหลังการใส่สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ แสดงว่าสารปรับปรุงดินทุกชนิด มีผลในการลดปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ซึ่งสอดคล้องกับอภินักส (2548) ที่รายงานว่าซีโอไลต์เป็นสารที่มีความพรุนหรือมีพื้นที่ผิวสูงมาก จึงถูกนำมาใช้ในการดักจับสารเคมี หรือโลหะหนัก นภาพรและณัฐพร (2548) รายงานว่า สารอินทรีย์ เช่น แกลบเผา ขุยมะพร้าว ฟางข้าว มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูง ซึ่งแคดเมียมจะถูกดูดซับโดยสารอินทรีย์ได้ง่าย (สุทธยา, 2540) เช่นเดียวกับเบนทอไนต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง และปูนมาร์ล ซึ่งจะทำปฏิกิริยาสะเทินความเป็นกรดของดิน การใช้สารปรับปรุงดินเหล่านี้จึงมีส่วนในการทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมในดินมีค่าลดลง

4. ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อปฏิกิริยาดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และอินทรีย์คาร์บอนในดิน

4.1 ผลของสารปรับปรุงดินต่อ pH ของดิน

เมื่อพิจารณาดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมทั้ง 4 ระดับพบว่า การใส่และไม่ใส่สารปรับปรุงดินมีผลทำให้ pH ของดินสูงขึ้นในทุกระดับการปนเปื้อนและในตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์ทั้ง 3 ระยะพบว่าเบนทอไนต์มีแนวโน้มที่จะทำให้ pH ของดินมีค่าต่ำที่สุดในดินเกือบทุกระดับการปนเปื้อน อาจเพราะเบนทอไนต์ชนิดนี้มีมูลไก่อผสมอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งมูลไก่มีปฏิกิริยาเป็นกรด จึงอาจทำให้ pH ของดินมีค่าต่ำกว่าดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ

4.2 ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน

เบนทอไนต์ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ได้ในดินสูงที่สุดในดินปนเปื้อนแคดเมียมทุกระดับและแตกต่างจากดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ อย่างเด่นชัดเพราะเบนทอไนต์ชนิดนี้มีมูลไก่อผสมอยู่ ซึ่งมูลไก่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูง (ระดับ 1.2 – 9.4 % P_2O_5) (ปรัชญาและคณะ, 2540) เมื่อใส่ลงไปดินก็จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในปริมาณสูงเช่นกัน

4.3 ผลของสารปรับปรุงดินต่ออินทรีย์วัตถุในดิน

เบนทอนไนต์มีผลทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุดในดินปนเปื้อนแกลบเมี่ยมทุกระดับ และแตกต่างจากดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ อย่างเด่นชัด เพราะเบนทอนไนต์ชนิดนี้มีจีเถ้าแกลบและมูลไก่ผสมอยู่ เมื่อใส่ลงไปดินก็จะปลดปล่อยอินทรีย์วัตถุออกมาในปริมาณสูงเช่นกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดซับแคดเมียมของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม สามารถสรุปได้ว่า

1. เมื่อพิจารณาปริมาณการดูดซับธาตุแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ด และลำต้นและใบ ถั่วเหลืองพบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางข้าว มีปริมาณธาตุแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ด และลำต้นและใบต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ แสดงว่าฟางข้าวมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดการดูดซับแคดเมียมของถั่วเหลือง
2. ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่สูงขึ้น จะมีผลทำให้ถั่วเหลืองดูดซับแคดเมียมและสังกะสีได้สูงขึ้น
3. ถั่วเหลืองมีการดูดซับแคดเมียมมาสะสมในเมล็ดในปริมาณที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในดินทุกระดับการปนเปื้อน
4. ถั่วเหลืองมีการสะสมธาตุแคดเมียม สังกะสี เหล็ก และแมงกานีสอยู่ในลำต้นและใบ มากกว่าในเมล็ด
5. การใส่ฟางข้าวมีผลทำให้น้ำหนักแห้งเมล็ด และลำต้นและใบ รวมทั้งน้ำหนักสดรวมของถั่วเหลืองมีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่การใส่เบนทอนต์มีผลทำให้น้ำหนักแห้งเมล็ด และลำต้นและใบ รวมทั้งน้ำหนักสดรวมของถั่วเหลืองมีค่าสูงสุดและแตกต่างจากการใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ ทางสถิติอย่างเด่นชัด
6. การใส่สารปรับปรุงดินทุกชนิด มีผลทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินมีค่าลดลงในดินทุกระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม แต่ก็ยังสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

7. เบนทอไนต์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนทุกระดับและแตกต่างจากการใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ อย่างเด่นชัด

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาพบว่าการใช้ฟางข้าวลงไปบนดินปนเปื้อนแคดเมียม มีผลทำให้เมล็ดมีการดูดซับแคดเมียมมาสะสมในปริมาณต่ำที่สุด แต่ก็พบว่าทำให้เมล็ดมีน้ำหนักแห้ง และน้ำหนักสดรวมน้อยที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฟางข้าวที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นฟางข้าวที่หั่นเป็นท่อนเล็ก ๆ และใช้ระยะเวลาในการบ่มดินก่อนปลูกเพียง 1 สัปดาห์ ทำให้ฟางข้าวสลายตัวได้น้อยและมีปัญหากับการเจริญเติบโตของไรโซเบียมในปมรากถั่ว ดังนั้นหากมีการนำไปใช้ในพื้นที่ยจริง ควรใช้ฟางข้าวบดละเอียดเพื่อเร่งการสลายตัว และอาจเพิ่มระยะเวลาในการบ่มดินให้นานขึ้นเพื่อให้ฟางข้าวสลายตัวได้มากขึ้น

2. เบนทอไนต์เป็นประโยชน์ต่อพืชในการใช้เป็นปุ๋ยได้ เพราะจากการทดลองจะเห็นได้ว่า เบนทอไนต์ ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ในดินปนเปื้อนทุกระดับและแตกต่างจากการใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่น ๆ อย่างเด่นชัด

3. การแก้ไขปัญหามลพิษปนเปื้อนของแคดเมียมในดินโดยการใช้ฟางข้าวอาจช่วยลดปริมาณแคดเมียมในดินได้ในเฉพาะพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในระดับต่ำ สำหรับในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสูงอาจใช้วิธีอื่นในการแก้ไข เช่น การบำบัดด้วยพืช โดยการปลูกพืชที่สามารถดูดซับแคดเมียมได้ดีและเป็นพืชที่ไม่ใช่พืชเพื่อการบริโภคและเลี้ยงสัตว์ เพื่อเป็นการป้องกันการปนเปื้อนของแคดเมียมเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร เช่น ยางพารา ไม้ดอกต่าง ๆ เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. แคดเมียม (Cadmium). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับถั่วเหลือง ลำดับที่ 16. กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

การปลูกถั่วเหลือง. 2545. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา:
<http://www.doae.go.th/library/html/detail/Soi/Main-soi.htm>, 25 มีนาคม 2548.

เกษม จันทร์แก้ว. 2544. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. 2541. ปทานุกรมปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จำลอง อรุณเลิศอารีย์, ชูตินธร มูลทองน้อย และ พัฒน ทวีโชค. 2546. การปนเปื้อนและการ
บำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยวิธีการตกตะกอน
ด้วยสารเคมี. วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ 1(1-2): 45-53.

ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2525. มลพิษสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, น. 7-17.

ณรงค์ ชินบุตร และ จักรพงษ์ เจริญศิริ. 2536. การวิเคราะห์และจำแนกเนื้อดิน, น. 7-21. ใน
คณะกรรมการปรับปรุงมาตรฐานการวิเคราะห์ดิน พืช น้ำ และปุ๋ยเคมี, ผู้รวบรวม. วิธี
วิเคราะห์ดิน. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ธนกร พันธนียะ. 2547. ยา-สารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. แหล่งที่มา:

http://www.nicaonline.com/articles7/site/view_article.asp?idarticle=100, 25 มีนาคม 2548.

นภาพร วงษ์โพธิ์ขอม และ ณัฐพร ประคองเก็บ. 2548. **สารปรับปรุงบำรุงดิน**. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุปผา แซ่มประเสริฐ. 2527. **ผลกระทบของแคลเซียมในแอคติเวตเตดสลัดจ์ที่มีต่อพืชผัก และธาตุอาหารพืชบางชนิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีชญา รัชัญญาดี, เมธิ มณีวรรณ และพิรัชมา วานานุกูล. 2540. ความรู้เรื่องอินทรีย์วัตถุในดิน, น. 1-13. ใน **กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้**. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

ปรีดา พากเพียร, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, ไพโรจน์ โสมนัส และ พิชิต พงษ์สกุล. 2535. แนวทางการใช้สารชีโอไลต์เพื่อลดปัญหามลพิษและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร. **วารสารดินและปุ๋ย**. 14: 337-341

_____, อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ, ไสนซ์ เอ็กการ์ด และ ธวัชชัย ณ นคร. 2541. โลหะหนัก แหล่งที่มา ค่ามาตรฐานและการทำปฏิกิริยากับดิน. **วารสารดินและปุ๋ย** 20(2): 41-49.

ทัศนีย์ อัดตะนันทน. 2537. **บทบาทของสารปรับปรุงดิน**. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ. แหล่งที่มา: <http://www.sfst.org/conference/Codition/conditionerrole.htm>, 24 กุมภาพันธ์ 2548.

ทัศนีย์ อัดตะนันทน และ จงรักย์ จันทรเจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ : การวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรรณทิพย์ ตี๋พันธ์. 2545. แคดเมียม (Cadmium). แหล่งที่มา: http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=26, 4 มกราคม 2547.

พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2542. การประเมินการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. วารสารดินและปุ๋ย 23(1): 29-37.

_____ และ R.W. Simmons. 2544. การวิเคราะห์สารหนู แคดเมียม ตะกั่วและนิกเกิลในดิน, น. 98-107. ใน กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, ผู้รวบรวม. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

_____. 2545. ผลการดำเนินงานชุดโครงการวิจัยสารปนเปื้อนในดิน น้ำ และพืช, น. 127-133. ใน กองปฐพีวิทยา, ผู้รวบรวม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2545. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____, วนิดา โนบรรเทา, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ และ สุรทิน แก้วโรจน์. 2547. การปนเปื้อนของแคดเมียมและสังกะสีในข้าวและถั่วเหลือง, น. 258-271. ใน รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2547. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร. 2545. สารพิษจากโลหะหนัก. แหล่งที่มา: <http://techno.msu.ac.th/fin/th/center.htm>, 4 มกราคม 2547.

มาลินี สุขแสงพนมรุ่ง. 2544. ดินไม่กับสารโลหะหนัก. ข่าวสารศูนย์ข้อมูลเทคโนโลยีชีวภาพและความปลอดภัยทางชีวภาพ 1(2): 12.

วณิดา โนบรรเทา และ รัตนา เสนาะ. 2544. การวัด pH และความตึงการปนของดิน, น. 1-10. ใน กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, ผู้รวบรวม. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

- ศุภกาญจน์ ล้วนมณี. 2540. การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยระบบจัดเรียงดินหลายชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุทธชาย กำเนิดมณี. 2540. การศึกษาปริมาณโลหะหนักในดิน น้ำ ดินตะกอน และหญ้านวน (*Brachiaria mutica*) บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุภาพร พงศ์ธรพุกษ์. 2545. การสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชผัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สุริยา สาสน์รักกิจ. 2543. สารปรับปรุงดิน. แหล่งที่มา: <http://www.ipst.ac.th/magazine/abs31/educat76.html>, 4 มิถุนายน 2548.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2535. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (2535-2539). กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2545. สถิติการเกษตรของไทย ปีการเพาะปลูก 2544/45. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. ภาวะเศรษฐกิจการเกษตร, น.29-30 ใน วารสารเศรษฐกิจการเกษตร ปีที่ 51 ฉบับที่ 580. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2545. ข้อมูลพื้นฐานระดับหมู่บ้าน. แหล่งที่มา: http://203.151.4469/wep_vill/base_table_1.asp, 27 ธันวาคม 2546.

สำนักการศึกษาเสถียรภาพราคาสินค้าเกษตร. 2545. นโยบายและมาตรการถั่วเหลือง ปี2545.
กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์, กรุงเทพฯ.

อภิพรรณ พุกภักดี, อิศรา สุขสถาน, เขียวรัช อารยางค์กูร, นาค โพธิ์แท่น, สุมาลี สุทธิประดิษฐ์
และธมลวรรณ จิวรัมย์. 2543. การยกระดับผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูก
ถั่วเหลืองโดยการทดสอบในไร่นา, ใน รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการยกระดับ
ผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูกถั่วเหลืองโดยการทดสอบในไร่นา (สกว.).

_____, _____, _____ และ ธมลวรรณ จิวรัมย์. 2544. การยกระดับผลผลิตและรายได้ของ
เกษตรกรผู้ปลูกถั่วเหลืองโดยการทดสอบในไร่นา, น. 225-239 ใน รายงานการประชุม
วิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 8 วันที่ 28-29 สิงหาคม 2544 โรงแรมพรพิงค์, จ.เชียงใหม่.

อกินักส์ รุจิรัตน์. 2548. ถั่วลยชีโอไลท์. แหล่งที่มา: http://www.environnet.in.th/news/news_detail.asp?id=1211, 17 มกราคม 2548.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2522. อิทธิพลของตะกั่วและแคดเมียมต่อการเจริญเติบโตและองค์
ประกอบทางเคมีของพืชอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alloway, B.J. 1997. Cadmium, pp. 122-151. In B.J. Alloway, ed. **Heavy Metals in Soil**.
Blackie Academic & Professional, London.

Basta, N.T., R. Gradwohl, K.L. Snethen and J.L. Schroder. 2001. Chemical immobilization of
Lead, Zinc and Cadmium in smelter-contaminated soils using biosolids and rock
phosphate. **J. Environ. Qual.** 30: 1222-1230.

Bingham, F.T., A.L. Page, R.J. Mahler and T.J. Ganie. 1976. Yield and cadmium accumulation
of forage species in relation to cadmium content of sludgeamended soil. **J. Environ.**
Qual. 5: 57-60.

- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45
- Brown, L.R. and J. Jacobson. 1987. Assessing the future of urbanization, pp. 38-56. **In State of the World 1987.** World Watch Institute. Norton & Company, New York.
- Brown, S.L., R.L. Chaney, J.S. Angle and A.J.M. Baker. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. **J. Soil Sci. Soc. Am.** 59: 125-133.
- Brummer, G. and U. Herms. 1983. Influence of soil reaction and organic matter on the solubility of heavy metals in soils, pp. 233-243. **In** B. Ulrich and J. Pankrath, eds. **Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems.** Reidel Pub.Comp.
- Chapman, H.D., and P.F. Pratt. 1961. **Methods of analysis for soils Plant and water.** University of California. Division of Agriculture Sciences.
- Codex Alimentarius Commission (2002) Report of the 34th Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants,** Rotterdam, The Netherlands 11-15 March 2002.
- Davies, B.E. and L.J. Roberts. 1975. **Environ.Pollut.** 6: 49-57.
- Del Castilho, P., W.J. Chardon and W. Salomons. 1993. Influence of cattle manure application on the solubility of Cd, Cu and Zn in a manured, acidic loamy-sand soil. **J.Environ.Qual.** 22: 689-697.
- Gupta, S.K., T. Herren, K. Wenger, R. Krebs and T. Hari. 1999. In situ gentle remediation measures for heavy metal-polluted soils, pp. 303-322. **In** N.Terry and G.Banuelos, eds. **Phytoremediation of contaminated soil and water.** Lewis Publishers.

- He, Q.B. and B.R. Singh. 1995. Cadmium availability to plants as affected by repeated applications of phosphorus fertilizers. **Acta Agric. Scand.** 45, 22-31.
- Hutchinson, J. J., S.D. Young, S.P. McGrath, H.M. West, C.R. Black and A.J. Baker. 2000. Determining uptake of “non-labile” soil cadmium by *Thlaspi caerulescens* using isotopic dilution techniques. **J. New Physiologist** 14: 453-460.
- John, H. 1978. Uptake of soil applied cadmium and its distribution in radishes. **Can.J.Plant Sci.** 52: 715-719.
- Krebs, R., S.K. Gupta, G. Ferrer and R. Schulin. 1998. Solubility and plant uptake of metals with and without liming sludge applied soils. **J. Environ. Qual.** 27: 18-23.
- Mahler, R.J., F.T. Bingham, G. Sposito and A.L. Page. 1980. Cadmium-enriched sewage sludge application to acid and calcareous soils, relation between treatment, cadmium in saturation extracts, and cadmium uptake. **J. Environ. Qual.** 9: 359-364.
- Mench, M., J. Veanrosveld., N. Clijsters, W. Leep and R. Edwards. In situ metal immobilization and phyto stabilization of contaminated soils, pp. 323-358. In N. Terry and G. Banuelos., eds. **Phytoremediation of soil and water**. Lewis Publ., London.
- Panayotova, M. and B. Velikov. 2002. Kinetics of heavy metal ions removal by use of natural zeolite. **J. Environ. Sci. Health**, A37(2), 137-147.
- Paul, N.V.T. and J. Claridge. 2002. Effect of heavy metal toxicities on vetiver growth. Vetiver grass. Available. http://www.vetiver.org/AUS_toxaust15.htm, February 2, 2002.
- Ram, N. and M. Verloo. 1985. Influence of organic materials on the uptake of heavy metals by corn in polluted Belgian soil. **Pedologie XXXV-2**: 147-153.

Singh, B.R., R.P. Narwal, and A. Almas. 1998. Residual effect of organic matter on cadmium uptake by plants and its distributions in soils. *In* R.Prost,ed. **Contaminated Soils**. Third International Conf.on Geochemistry of Trace Elements in the Environment. INRA, Paris.

Simmons, R.W., P. Pongsakul, R.L. Chaney, D. Saiyasitpanich, S. Klinphoklap and W. Nobuntou. 2003. The relative exclusion of zinc and iron and from rice grain in relation to rice grain cadmium as compared to soybean: implications for human health. **Plant and Soil**. 257: 163-170.

Svatengren, M., C.G.Elinder,L.Friberg and B.Lind. 1986. Distribution and concentration of cadmium in human kidney. **Environ. Res.** 39: 1-7.

Top 20 Hazardous Substances. 1999. อันตรายจากแคดเมียม. แหล่งที่มา:
<http://www.charpa.co.th/bulletin/cadmium.html>, 4 มกราคม 2547.

Walkey, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-38.

Webber, M.D. and J.A. Nichols. 1995. **Organic and metal contaminants in Canadian municipal sludges and a sludge compost** Waste Water Technology Centre operated by RockCliffe Research Management, Inc.Burlington, ON Feb 1995 Report.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 สมบัติบางประการของสารปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลอง

	สารปรับปรุงดิน				
	ซีโอไลท์	เบนทอไนต์	ปูนมาร์ล	ฟางข้าว	แกลบเผา
pH	8.00	6.30	-	6.67	8.77
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	44.1	7590	-	1340	685
OM (%)	-	12.92	-	1.68	1.23
Available P (mg kg^{-1})	-	345.81	-	25.60	22.45

ตารางผนวกที่ 2 แสดงปริมาณสารปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลอง

สารปรับปรุงดิน	ปริมาณสารปรับปรุงดิน ($\text{g}/1 \text{ kg soil pot}^{-1}$)	ปริมาณสารปรับปรุงดิน ($\text{kg /rai}^{1/}$)
ซีโอไลท์	100	31,200
เบนทอไนต์	100	31,200
ปูนมาร์ล	0.938	293
ฟางข้าว	25.5	7956
แกลบเผา	25.5	7956

^{1/} ดิน 1 ไร่ (ชั้นไถพรวน)หนัก $312 \times 10^3 \text{ kg}$

ตารางผนวกที่ 3 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน
(Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

1. ปฏิกริยาดิน (Soils reaction) , pH (ดินต่อน้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)		พิสัย (range)
กรดจัดมาก	Extremely acid	< 4.5
กรดจัด	Very strong acid	4.5-5.0
กรดแก่	Strongly acid	5.1-5.5
กรดปานกลาง	Moderately acid	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	Slightly acid	6.1-6.5
กลาง	Neutral	6.6-7.3
ด่างอ่อน	Mildly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างแก่	Strongly alkaline	8.5-9.0
ด่างจัด	Extremely alkaline	> 9.0

2. อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) (%organic carbon x 1.724)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 5
ต่ำ	(L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	10-15
ปานกลาง	(M)	15-25
ค่อนข้างสูง	(MH)	25-35
สูง	(H)	35-45
สูงมาก	(VH)	> 45

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 0.25
ต่ำ	(L)	0.50-0.75
ปานกลาง	(M)	0.75-1.25
สูง	(H)	1.25-1.75
สูงมาก	(VH)	> 2.25

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (Bray II)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 3
ต่ำ	(L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	6-10
ปานกลาง	(M)	10-15
ค่อนข้างสูง	(MH)	15-25
สูง	(H)	25-45
สูงมาก	(VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) (NH_4Oac)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (mg kg^{-1})
ต่ำมาก	(VL)	< 30
ต่ำ	(L)	30-60
ปานกลาง	(M)	60-90
สูง	(H)	90-120
สูงมาก	(VH)	> 120

6. ค่าที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) (NH_4Oac)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol (c+) kg^{-1})			
	Exch.Ca	Exch.Mg	Exch.K	Exch.Na
ต่ำมาก (VL)	< 2	<0.3	<0.2	<0.1
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0
สูงมาก (VH)	>20	>8.0	>1.2	>2.0

ตารางผนวกที่ 4 แสดงการเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m ⁻¹	1 mS/cm = dS m ⁻¹ 1 μ / cm = 0.001 dS m ⁻¹
Cation exchange capacity	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Antion exchange capacity	cmol (-) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (-) kg ⁻¹
Exchange cation	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Mass ratio	g / kg ⁻¹	1% = 10 mg kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 ppm = 1 mg kg ⁻¹ 1 mg / 100g = 10 mg kg ⁻¹
	μg kg ⁻¹	1 ppb = 1 μ g kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 ppt = 1 ng kg ⁻¹
Mass concentration	g L ⁻¹	1% = 10 g L ⁻¹
	mg L ⁻¹	1 ppm = 1 mg L ⁻¹
	μg L ⁻¹	1 ppb = 1 μ g L ⁻¹
Density	Mg m ⁻³	1 g/cm ³ = 1 Mg m ⁻³
Specific surface	m ² kg ⁻¹	1 m ² /g = 1000 m ² kg ⁻¹
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 Mpa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7 x 10 ¹⁰ Bq
Rate , Yield	kg ha ⁻¹	1 kg / 10 a = 10 kg ha ⁻¹
	Mg ha ⁻¹	1 t / 10 a = 10 Mg ha ⁻¹

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณแคดเมียมในดินบนชนิดต่าง ๆ (ppm) (ศุภมาส, 2539)

ชนิดดิน	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ประเทศ
พอดซอลล์ และดินเนื้อหยาบ	0.21	0.08 – 0.47	อเมริกา
	0.07	0.01 – 0.24	โปแลนด์
	0.43	0.10 – 1.80	แคนาดา
ดินร่วนถึงดินเหนียว	0.27	0.08 – 0.55	อเมริกา, โปแลนด์
	0.64	0.12 – 1.44	แคนาดา
ฮิสโตซอลล์ และดินอินทรีย์อื่น	0.72	0.36 – 1.44	อเมริกา, แคนาดา, สหราชอาณาจักร
ดินต่าง ๆ	1.00	0.27 – 4.00	สหราชอาณาจักร
	0.45	0.03 – 2.53	ญี่ปุ่น
	n.a.	0.41 – 0.57	อเมริกา

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณแคดเมียมในดินบนที่มีการปนเปื้อน (ppm) (ศุภมาส, 2539)

แหล่งปนเปื้อน	พิสัย	ประเทศ	หมายเหตุ
เหมืองแร่สังกะสี	2 – 336	สหราชอาณาจักร	
	6 – 64	ญี่ปุ่น	
อุตสาหกรรมโลหะ	3 – 1,781	เบลเยียม	
	1.8 – 88	ญี่ปุ่น	
	26 – 1,500	อเมริกา	
สวนในเมือง	1 – 17	สหราชอาณาจักร	
	0.02 – 13.6	อเมริกา	
กากตะกอน, พื้นที่ชลประทาน, ปุ๋ย	15 – 57	ฮอลแลนด์	6 – 16 ตัน นน.แห่งของกาก ตะกอน/เฮกตาร์/ปี รวม 5 ปี
	2.2 – 8.3	ญี่ปุ่น	นาข้าว

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณแคดเมียมในพืช (ppm นน.แห้ง) (ศุภมาส, 2539)

ชนิดพืช	ส่วนของพืช	พืช	หมายเหตุ
ข้าว	เมล็ด	0.01 – 0.11	เมล็ดไม่ขัดสี
ข้าวสาลี	เมล็ด	0.01 – 0.26	
ข้าวบาร์เลย์	เมล็ด	0.01 – 0.04	
ถั่วเหลือง	เมล็ด	0.29	
ถั่วโคลเวอร์	เหนือดิน	0.02 – 0.35	
หญ้า	ใบ	0.03 – 1.25	
ข้าวโพดหวาน	เมล็ด	0.06 – 0.1	
กะหล่ำปลี	ใบ	0.12 – 0.66	
ผักกาดหอม	ใบ	0.12 – 0.66	
หอมหัวใหญ่	หัว	0.08	
มันฝรั่ง	หัว	0.03 – 0.18	
มะเขือเทศ	ผล	0.03 – 0.23	

ตารางผนวกที่ 8 ค่าคำนวณปริมาณแคดเมียมที่ผู้บริโภคจะได้รับเมื่อบริโภคผักที่ปลูกในดินที่มีแคดเมียมสะสมในปริมาณต่าง ๆ กัน (ศุภมาส, 2539)

ผู้ศึกษา	Cd สะสมจากการใส่ (กก./เฮกตาร์)	ดิน		Cd ที่ได้จาก % การบริโภคผักที่ปลูก บนภาคตะกอน (ไมโครกรัม Cd/วัน)			
		pH	CEC				
			(me/100 g)	100%	50%	25%	10%
USDA	2	5.4	13	19.7	9.8	4.8	1.2
TVA	5	5.8	n.a.	44.6	22.2	11.1	4.5
USDA	7	4.9	8	422.3	211.0	105.5	42.2

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณแคดเมียมในพืชที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อน (ppm นน.แห้ง)
(ศุภมาส, 2539)

แหล่ง	พืช	ส่วนของพืช	พิสัย	ประเทศ
เหมืองแร่เก่า	หญ้า	ใบ	1.1 – 2.0	สหราชอาณาจักร
	ถั่วโคลเวอร์	เหนือดิน	4.9	สหราชอาณาจักร
อุตสาหกรรมโลหะ	หญ้า	ใบ	8.2	สหราชอาณาจักร
	ผักกาดหอม	ใบ	45	ออสเตรเลีย
	ข้าว	เมล็ดไม่ขัดสี	0.72 – 4.17	ญี่ปุ่น
สวนในเมือง	กะหล่ำปลี	ใบนอก	1.1 – 3.8	สหราชอาณาจักร
	ผักกาดหอม	ใบ	0.9 – 7.0	อเมริกา
กากตะกอน, พท.	ข้าว	เมล็ดไม่ขัดสี	5.2 (ค่าสูงสุด)	ญี่ปุ่น
ชลประทาน, ปุ๋ย	ข้าวโพด	ใบแสดงอาการ	35	อเมริกา
	ถั่วเหลือง	เมล็ด	2.3	อเมริกา
	ข้าวสาลี	เมล็ด	5.5 – 14.2	โซเวียต
		ใบ	19 – 47	โซเวียต
		ราก	397 – 898	โซเวียต

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	31 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2519
สถานที่เกิด	จ. อุตรดิตถ์
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ที่ปรึกษาโครงการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์