วิทยานิพนธ์

ผลของปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนัก ในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

EFFECTS OF COMPOST AND CHEMICAL FERTILIZER APPLICATION ON UPTAKE AND ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN BABY CORN GROWN ON KAMPHAENG SAEN SOIL SERIES

นางสาวนิภาพร สุวรรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา	ปฐพีวิทยา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ผลของปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Effects of Compost and Chemical Fertilizer Application on Uptake and Accumulation of Heavy Metals in Baby Corn Grown on Kamphaeng Saen Soil Series

นามผู้วิจัย นางสาวนิภาพร สุวรรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(อาจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, Dr.agr.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์อิสรา สุขสถาน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Effects of Compost and Chemical Fertilizer Application on Uptake and Accumulation of Heavy Metals in Baby Corn Grown on Kamphaeng Saen Soil Series

โดย

นางสาวนิภาพร สุวรรณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2898-6

นิภาพร สุวรรณ์ 2549: ผลของปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: อาจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด. 103 หน้า
ISBN 974-16-2898-6

การศึกษาผลของปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์แปซิฟิค 283 ในชุดดินกำแพงแสน ทำการทดลองในกระถาง ในโรงเรือนทดลองภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2548 ถึงเมษายน พ.ศ. 2549 วางแผนการทดลองแบบ 3×3 Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือ ปุ๋ยหมัก 3 อัตรา 0, 75 และ 150 ก./ดิน 8 กก. ปัจจัยที่สอง คือการใส่ปุ๋ยเคมี ประกอบด้วย ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 ก./ดิน 8 กก.และ ยูเรีย 4 ก./ดิน 8 กก. ใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 ก./ดิน 8 กก.และ ยูเรีย 4 ก./ดิน 8 กก. โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งละครึ่งในช่วงก่อนปลูกและเมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน

จากการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อการสะสมโลหะหนักทั้งหมดของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 ก./ดิน 8 กก. ทำให้การสะสมแคดเมียมทั้งหมดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150ก./ดิน 8 กก. และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การไม่ใส่ปุ๋ยหมักทำให้การสะสมตะกั่วทั้งหมดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 และ 150 ก./ดิน 8 กก. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยหมักทำให้การสะสมปรอทและสารหนูทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวทำให้การสะสมตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนูทั้งหมดสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับความเข้มข้นของโลหะหนักในต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียม ตะกั่ว ปรอท ในฝักสูงกว่าในต้น แต่ความเข้มข้นของสารหนูในต้นสูงกว่าในฝัก เมื่อนำค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แต่ในฝักสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทในต้นและฝักสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด แต่ความเข้มข้นของสารหนูในต้นและฝักต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในอาหารของแคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนู เท่ากับ 0.8, 1, 0.02 และ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Niphaphorn Suwan 2006: Effects of Compost and Chemical Fertilizer Application on Uptake and Accumulation of Heavy Metals in Baby Corn Grown on Kamphaeng Saen Soil Series. Master of Science (Agriculture), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Mr. Suthep Thongpae, Ph.D. 103 pages.
ISBN 974-16-2898-6

The effects of compost and chemical fertilizer application on the uptake and accumulation of Heavy Metals on Baby Corn (pacific 283 var.) was conducted on Kamphaeng Saen soil series in pot experiment at Department of Soil Science, Kasetsart university during June, 2005 to April, 2006. The experimental design was 3×3 Factorial in Completely Randomized Design with 4 replications. Treatments consisted of 2 main factors. The first factor was the application of compost at the rates 0, 75 and 150 g/8 kg soil. The second factor was the application of chemical fertilizer at the rates 0, 8 g of 15-15-15 plus 4 g of 46-0-0 per 8 kg soil applied at planting date, 8 g of 15-15-15 plus 4 g of 46-0-0 per 8 kg soil applied 2 times (half at planting date and 20 days after emergence).

The results showed that the treatments with compost gave higher total uptake of cadmium than the treatment without compost significantly. Application of compost at the rate 75 g/8 kg soil provided higher total uptake of cadmium than that of compost at the rate150 g/8 kg soil significantly. The application of compost gave no different total uptake of lead but lower than the treatment without compost significantly. With and without compost provided no different total uptake of mercury and arsenic. For the application of chemical fertilizer, the treatments with the application once at planting date gave higher total uptake of cadmium, lead, mercury and arsenic than the others significantly. As compare the concentration of heavy metals in baby corn ear and baby corn plant, the results showed that the concentration of lead, cadmium and mercury in corn ear were higher than that in corn plant. In the other hand, the concentration of arsenic in corn plant was higher than that in corn ear. To compare the concentration of heavy metals to standard of acceptable contamination level of heavy metals in Law of Food and Drugs Administration, Ministry of Public Health of Thailand (0.8 mg Cd, 1 mg Pb, 0.02 mg Hg and 2 mg As/kg), the results showed that the concentration of cadmium in corn ear, lead in corn plant and corn ear, mercury in corn plant and corn ear were higher than the standard whereas the others were lower than the standard.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สุเทพ ทองแพ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและช่วยเหลือในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.อิสรา สุขสถาน กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เลขา มาโนช ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือค่ารักษาพยาบาล และคำแนะนำในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เสาวนุช ถาวรพฤกษ์ ที่ช่วยเหลือในการวิเคราะห์โลหะหนัก ขอขอบพระคุณ คุณสมชาย กรีฑาภิรมย์ คุณชัยภัทร คงแก้ว ที่กรุณาแนะนำ ให้การช่วยเหลือในการวิเคราะห์ดินและพืช ขอบคุณ คุณทามะ และพี่รินที่คอยช่วยเหลือเรื่องเอกสารอ้างอิง ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

กราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่และญาติพี่น้อง ที่ให้คำสั่งสอนดีๆ คอยส่งกำลังใจและให้ความรัก และขอบคุณ และเพื่อนๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์สำเร็จด้วยดี

นิภาพร สุวรรณ์

ตุลาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	20
ผล	29
วิจารณ์	62
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	77
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	“ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ที่แนะนำสำหรับโลหะหนักในดินประเทศไทย	13
2	ปริมาณสารแคดเมียมที่สะสมในพืชชนิดต่างๆ และส่วนของพืชที่ปลูกในดินของไทย	15
3	ความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชชนิดต่างๆ	16
4	ค่าสูงสุดของจุลธาตุที่ถือเป็นค่ายอมรับได้ให้มีอยู่ในดิน (มก./กก.) และค่าวิกฤตในพืชที่เริ่มยับยั้งการเจริญเติบโต	17
5	ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของชุดดินกำแพงแสนที่ใช้ในการทดลอง	30
6	ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลอง	32
7	ค่าวิเคราะห์โลหะหนักในดินและปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง	33
8	น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดฝักอ่อน	35
9	น้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อน	36
10	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน	40
11	ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	41
12	ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	42
13	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน	46
14	ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	47
15	ความเข้มข้นของตะกั่วในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	48
16	ปริมาณปรอททั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน	52
17	ความเข้มข้นของปรอทในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	53
18	ความเข้มข้นของปรอทในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	54
19	ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน	58
20	ความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	59
21	ความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	78
2	ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ในปุ๋ยหมัก	80
3	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.) ในดินที่ใช้เพาะปลูกของไทย	80
4	ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ (maximum permitted concentration) ของอาหารและผลิตผลเกษตรบางชนิดของประเทศออสเตรเลีย	81
5	มาตรฐานของโลหะหนักที่ทำการศึกษา ตามมาตรฐานโลหะหนักในอาหาร	81
6	ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ (maximum permitted concentration) ของอาหารในฮ่องกง	82
7	แสดงการเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit	83
8	ปริมาณโลหะหนักที่ติดมากับดินและปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง	84
9	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง(มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)	84
10	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง (มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)	84
11	ปริมาณปรอททั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง (มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)	85
12	ปริมาณสารหนูทั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง (มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)	85
13	ค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังปลูก	86
14	ค่า pH ของดินหลังปลูก	87
15	ความสูง (เซนติเมตร) ของต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่อายุ 20 วัน	88
16	ความสูง (เซนติเมตร) ของต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่อายุ 40 วัน	89
17	ความยาว (เซนติเมตร) ของฝักข้าวโพดฝักอ่อน	90
18	ปริมาณแคดเมียม (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	91
19	ปริมาณแคดเมียม (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	92
20	ปริมาณตะกั่ว (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	93
21	ปริมาณตะกั่ว (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	94
22	ปริมาณปรอท (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	95
23	ปริมาณปรอท (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
24	ปริมาณสารหนู (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน	97
25	ปริมาณสารหนู (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน	98

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักแห้งของต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน 37

2 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน 43

3 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมตะกั่วทั้งหมด ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน 49

4 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมปรอททั้งหมด ความเข้มข้นของปรอทในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน 55

5 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมสารหนูทั้งหมด ความเข้มข้นของสารหนูในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน 61

ภาพผนวกที่

1 ปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดและความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน 99

2 ปริมาณการสะสมตะกั่วทั้งหมดและความเข้มข้นของตะกั่วในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน 100

3 ปริมาณการสะสมปรอททั้งหมดและความเข้มข้นของปรอทในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน 101

4 ปริมาณการสะสมสารหนูทั้งหมดและความเข้มข้นของสารหนูในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน 102

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$mg\ kg^{-1}$	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
$\mu g\ kg^{-1}$	=	ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม
n.a.	=	ไม่มีรายงาน
มก./กก.	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
$g\ kg^{-1}$	=	กรัมต่อกิโลกรัม
$dS\ m^{-1}$	=	เดซิซีเมนต์ต่อเมตร
pH	=	ความเป็นกรด-ด่าง
EC	=	สภาพการนำไฟฟ้า
OM	=	อินทรียวัตถุ
Avai.P	=	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
Exch.K	=	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
Exch.Ca	=	แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
Exch.Mg	=	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
C/N ratio	=	สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ผลของปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Effects of Compost and Chemical Fertilizer Application on Uptake and Accumulation of Heavy Metals in Baby Corn Grown on Kamphaeng Saen Soil Series

คำนำ

การใช้ที่ดินเพื่อเพาะปลูกมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เกษตรกรจำเป็นต้องใช้วัสดุปรับปรุง บำรุงดิน รวมทั้งปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และยาปราบศัตรูพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตเพียงพอกับความต้องการของตลาด ผลจากการใช้ที่ดินในรูปแบบดังกล่าว สารพิษจำพวกโลหะหนักที่ติดมากับปัจจัยการผลิตและระบบชลประทาน จะสะสมรวมเข้ากับเนื้อดิน และยากต่อการสลายไป และถ้าหากสะสมจนเกินกว่าดินจะดูดซับไว้ได้ บางส่วนของสารโลหะหนักก็จะละลายปนออกมาในรูปที่พืชดูดซึมเข้าไปสู่รากและแพร่กระจายไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่นเดียวกับธาตุอาหารอื่นๆ ที่พืชต้องการ แต่เนื่องจากโลหะหนักไม่ใช่ธาตุอาหารพืช ดังนั้นการสะสมของสารพิษดังกล่าวจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อพืชเอง และผู้บริโภค (ปรีดา และคณะ, 2547 ก)

แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนู เป็นธาตุโลหะหนักที่มีการปนเปื้อนในธรรมชาติ การปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้ถือเป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งถ้าหากพืชดูดกินก็อาจจะเป็นอันตรายต่อพืชและสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ในกรณีที่นำพืชชนิดนั้นๆ มาบริโภค และเพื่อเป็นการหาแนวทางในการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น จึงมีการทำการศึกษาวิธีการการลดปริมาณการดูดกินโลหะหนักทั้งสี่ชนิดของพืช โดยทำการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี ในการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn) ซึ่งเป็นผักอุตสาหกรรมและเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ โดยการส่งออกไปขายทั้งในในตลาดเอเชีย ยุโรป และอเมริกา มีโรงงานอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋องกระจายอยู่แทบทุกภาคของประเทศ ซึ่งแต่ละโรงงานยังมีกำลังการผลิตสูง และมีความต้องการวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้นทุกปี ปริมาณการส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนรวมในรูปฝักสดแช่แข็งในช่วงปี 2544-2546 มีค่าระหว่าง 3,955-8,445 ตัน คิดเป็นมูลค่าระหว่าง 174-198 ล้านบาท และปริมาณการส่งออกในรูปบรรจุกระป๋องในช่วงปี 2544-2548 มีค่าระหว่าง 61,467-76,509 ตัน คิดเป็นมูลค่า

ระหว่าง1,675.03– 2,053.04 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2549) ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในชุดดินกำแพงแสน โดยเก็บดินจากแปลงปลูกข้าวโพดฝักอ่อน ซึ่งพื้นที่อำเภอกำแพงแสนโดยส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเป็นบริเวณกว้าง พื้นที่การเพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในช่วงปีเพาะปลูก 2543/44 – 2545/46 มีพื้นที่เพาะปลูกระหว่าง 158,218 – 233,280 ไร่ มีผลผลิตรวม159,124 – 288,636 ตันและมีผลผลิตเฉลี่ย 1,080 – 1,122 กก./ไร่ อย่างไรก็ตามในปี 2545/46 มีพื้นที่เพาะปลูก 231,382 ไร่ มีผลผลิตรวม 256,545 ตัน และผลผลิตเฉลี่ยเพียง 895 กก./ไร่ พื้นที่เพาะปลูกจะอยู่ในภาคตะวันตก ประมาณ 74% โดยเฉพาะจังหวัดกาญจนบุรี ภาคเหนือ 24% ที่เหลือกระจายในภาคต่างๆ (สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, 2546) มีโรงงานรับซื้อข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งออกไปขายทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งแต่ละโรงงานมีความต้องการวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้นทุกปี เกษตรกรจึงปลูกข้าวโพดฝักอ่อนหมุนเวียนตลอดปีทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง

การทดลองมีสมมติฐานว่าการใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่จะบอกได้ว่าข้าวโพดฝักอ่อนมีปริมาณการดูดกินและสะสมของแคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนูมากขึ้นหรือน้อยลงอย่างไร เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปจัดการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่เพาะปลูกที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ตะกั่ว ปรอทและสารหนูต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการการดูดกิน แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนูของข้าวโพดฝักอ่อน

2. เพื่อศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนูในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อน

การตรวจเอกสาร

1. <u>โลหะหนัก</u>

ธาตุโลหะหนัก (heavy metals) หมายถึง โลหะธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะแอลคาไล (alkali) และโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขเชิงอะตอม (atomic number) ในช่วง 23-92 อยู่ในคาบที่ 4-7 (ศุภมาศ, 2545)

1.1 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะหนักแต่เนื้ออ่อน มีน้ำหนักอะตอม 112.4 อยู่ในกลุ่ม II b ของตารางธาตุ มีวาเลนซี 2 จุดหลอมเหลวต่ำ จึงระเหิดกลายเป็นไอด้วยความร้อนได้ง่าย (ไมตรี, 2531)

1.1.1 แหล่งกำเนิด แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติ พบบนเปลือกโลกเฉลี่ย 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มักพบเจือปนอยู่กับสังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และปรอท มักมีปริมาณสูงขึ้นในเนื้อหิน หินอัคนีและหินแปรมีแคดเมียมไม่เกิน 1-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินที่สลายตัวจากหินแปรมีแคดเมียม 0.1-0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในพื้นที่ซึ่งปราศจากกิจกรรมของมนุษย์และไม่ได้รับการปนเปื้อนใดๆ พบว่ามีปริมาณแคดเมียมในดินประมาณ 0.2-0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (World Health Organization [WHO], 1981)

แคดเมียมในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคดเมียมซัลไฟด์ และมักพบร่วมกับแร่สังกะสีในดินเสมอ ในอัตราส่วนระหว่าง แคดเมียมต่อสังกะสี ในช่วงประมาณ 1: 100 ถึง 1: 1000 (ศุภมาศ, 2545)

1.1.2 การนำมาใช้ประโยชน์ แคดเมียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ มากมาย เช่น ใช้เคลือบผิวหรือ ชุบโลหะ (electroplating) ใช้เป็นตัวทำให้เกิดสีต่างๆ ในสีทาบ้าน อุตสาหกรรมรถยนต์ ยาง ใช้เป็นตัว stabilizers ในอุตสาหกรรมพลาสติก ใช้ทำเซลล์สุริยะ ใช้ในทางการแพทย์ ทันตแพทย์ ทำโลหะผสม เช่น แคดเมียม–ทองแดงซึ่งมีความคงทนต่อแรง

กระทบและทนต่ออุณหภูมิสูง โลหะผสมแคดเมียม–นิกเกิล ใช้ในการทำแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่ได้ โลหะผสมแคดเมียม-เงินใช้ผสมเพื่อไม่ให้เงินด้านเมื่อสัมผัสกับซัลไฟด์ (Reilly, 1980) มีการนำแคดเมียมผสมในน้ำมันดีเซล ทำให้พบแคดเมียมในฝุ่นละอองและดินบนบริเวณข้างถนนในปริมาณมาก (Amrhein and Strong, 1990) นอกจากนี้ยังนำแคดเมียมมาใช้ในสารกำจัดเชื้อราและปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟตจะมีแคดเมียมเจือปนมากกว่าปุ๋ยชนิดอื่น (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525)

1.1.3 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แคดเมียมแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยการระเบิดของภูเขาไฟ หยาดน้ำฟ้า และการพังทลายของหินต้นกำเนิด แต่น้อยกว่าการกระทำของมนุษย์ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายของแคดเมียมทั้งในบรรยากาศ บนพื้นดิน ในแหล่งน้ำ ทะเลสาบ ทะเลและมหาสมุทร (McNeely *et al*., 1979) แหล่งการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินมาจาก 3 แหล่งใหญ่ ได้แก่ 1) เหมืองแร่สังกะสีและตะกั่ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการถลุงแร่ 2) กากตะกอนน้ำโสโครก ได้แก่ น้ำเสียหรือกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม และ 3) ปุ๋ย เช่น ปุ๋ยฟอสเฟต ปุ๋ยคอก ในดินปกติมีปริมาณแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.1-7.0 มก./กก. ส่วนมากการปนเปื้อนของแคดเมียมมาจากการทำเหมืองแร่และแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม จากการสำรวจดินบริเวณรอบเหมืองแร่สังกะสี พบว่า ดินรอบเหมืองสังกะสีในรัศมี 1 กิโลเมตร มีการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณสูงถึง 1,750 มก./กก. (Brooks, 1993)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม คือลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำ แหล่งมลพิษ ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำ ตลอดจนการถ่ายทอดแคดเมียมไปตามห่วงโซ่อาหาร (Bram and Anthony, 1983) ปริมาณแคดเมียมในน้ำและดินตะกอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะดินต้นกำเนิด สภาวะแวดล้อม ค่าพีเอช ปริมาณของแคดเมียมในน้ำและดินตะกอนจะมากเมื่อน้ำมีค่าพีเอชต่ำ (Logan and Feltz, 1985) ปริมาณการเพิ่มแคดเมียมขึ้นอยู่กับกิจกรรมของมนุษย์ ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน ความลาดชันของพื้นที่ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (บวร, 2530; สำราญ, 2533)

ปริมาณแคดเมียมในดินตะกอน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ดินตะกอน โคลน ฮิวมัสที่ประกอบอยู่และมีส่วนสำคัญในการดูดซับแคดเมียม กระบวนการดูดซับ จึงเป็นกระบวนการสำคัญที่ลดปริมาณแคดเมียมในแหล่งน้ำ แคดเมียมถูกดูดซับได้ง่ายเมื่อมีปริมาณต่ำคือ 0.1 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมของดิน (Hirsch and Banin, 1990) แต่ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีความเค็มเพิ่มขึ้นก็จะทำให้แคดเมียมละลายกลับออกมาได้อีก (Environmental Protection Agency [EPA],

1979) การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์สามารถลดความเข้มข้นแคดเมียมในดินได้ (Hirsch and Banin, 1990)

1.1.4 ความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์และสัตว์ แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย แต่ก่อให้เกิดพิษต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม การบริโภคพืชผลทางการเกษตร เช่น ข้าว ถั่วเหลือง ที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ อาจทำให้เป็นโรคเรื้อรังหรือเฉียบพลัน เช่น โรคอิไต-อิไต แคดเมียมมักสะสมอยู่ใน proximal tubules ของ cortex ของไต (Svartengren *et al.*, 1986) แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร (FAO and WHO, 1972) โดยปกติคนรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย 10-30 ไมโครกรัมต่อวัน (Reilly, 1980) แคดเมียมจะเข้าไปแทนที่สังกะสีในอวัยวะต่างๆ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ตับและไตที่มีการสะสมแคดเมียมในปริมาณมาก จะมีโครงสร้างและการทำงานผิดปกติไป ก่อให้เกิดโปรตีนและยูเรียไปรบกวนระบบย่อยอาหาร ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาท ทำลายรก และทำให้เกิดการผิดปกติที่กระดูกส่วนต่างๆ ของทารก (Lee, 1983) Nobbs and Pearce (1976) รายงานว่า เมื่อแคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วประมาณ 10% เท่านั้นที่ถูกขับถ่ายออกทางร่างกาย ส่วนที่เหลือหมุนเวียนอยู่ในกระแสเลือดสะสมอยู่ในอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ไต ตับอ่อนและม้าม โดยเฉพาะไตจะมี 1 ใน 3 ของแคดเมียมทั้งหมดในร่างกาย ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานมักพบลักษณะของกระดูกผิดปกติ ได้แก่ กระดูกพรุน (osteoporosis) กระดูกโพรก (osteomalacia) และกระดูกหักง่าย เกิดพิษต่อไต ภาวะไตวาย เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และทำให้เกิดมะเร็งได้ สำหรับสัตว์ที่ได้รับแคดเมียมประมาณ 1,300 ไมโครกรัมต่อวัน จะเกิดโรคโลหิตจาง ความดันโลหิตสูง อัตราการเจริญเติบโตช้าและมีอายุสั้น (ไมตรี, 2531; ยุพดี, 2544)

1.1.5 ความเป็นพิษต่อพืช ปริมาณแคดเมียมในพืชทั่วไปมีค่าต่ำ จะมีค่าสูงในพืชบางชนิด เช่น ผักกาดหอม 0.66 มก./กก. หรือในใบผักโขมในปริมาณ 0.11 มก./กก. (น้ำหนักสด) พืชกินใบหรือพืชหัวบางชนิดจึงเป็นตัวนำแคดเมียมสู่มนุษย์ เมื่อมีการปนเปื้อน แคดเมียมจะมีการสะสมในรากมากที่สุด โดยสะสมในใบรองลงมา และมีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย (ศุภมาศ, 2545) ระดับความเป็นพิษขั้นวิกฤตของแคดเมียมในส่วนที่อยู่เหนือดินของพืชทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 5-700 มก./กก. โดยน้ำหนักแห้ง (Brooks, 1993) อาการเป็นพิษจะแสดงออกที่ใบอ่อนโดยเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบจะมีสีเหลืองซีด ปลายใบม้วน ต้นแคระแกร็น ความรุนแรงของอาการเป็นพิษขึ้นอยู่กับชนิดและความทนทานของพืช

1.2 ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.2 และอยู่ในกลุ่มธาตุหมู่ IV A ของตารางธาตุ มีวาเลนซีได้หลายระบบ เช่น 1, 2 และ 4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในภาวะวาเลนซี 2 ซึ่งเสถียรมากที่สุด (ไมตรี, 2531)

1.2.1 แหล่งกำเนิด ในธรรมชาติตะกั่วมีแหล่งกำเนิดจากหินอัคนีและหินแปร มีประมาณ 10-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Tuekain and Wedepohl, 1961) ในหินปูน หินทราย หินดินดาน และดิน มีประมาณ 5-10, 10-40, 20 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (สุธรรม และ งามพิศ, 2515) และที่พบมากคือ หินฟอสเฟตซึ่งมีปริมาณมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Sheldon *et al.*, 1953) ตะกั่วในธรรมชาติมักจะพบในรูปของสารประกอบตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วซัลเฟต ตะกั่วที่พบในเปลือกโลกทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแร่ที่สำคัญ ได้แก่ galena cerussite anglesite pyromophite minium crocite (Reilly, 1980) หรือพบตะกั่วรวมอยู่กับโลหะอื่นๆ เช่น ทองแดง สังกะสี เงิน และแคดเมียม (Alloway, 1990)

1.2.2 การใช้ประโยชน์ ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่างด้วยกัน เช่นใช้ในการเชื่อมโลหะ ใช้ทำโลหะผสม เช่น ฟิวส์ ลูกปืน ตัวพิมพ์ ใช้เป็นส่วนประกอบของสีป้องกันสนิม ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมเซรามิค ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว เป็นส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งมีตะกั่วเป็นส่วนประกอบประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังใช้ตะกั่วในการทำหมึกพิมพ์ ไม้ขีดไฟ และระเบิด (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525; Reilly, 1980) อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่น้ำ อุตสาหกรรมอิเลคโทรนิกส์และคอมพิวเตอร์ ในทางเกษตรกรรมใช้ตะกั่วในรูปของปุ๋ย สารเคมีและสารปราบศัตรูพืชเพื่อเพิ่มผลผลิต ที่สำคัญได้แก่ ปุ๋ยฟอสเฟต และเลดอะซีเนต (lead arsenate) เมื่อถูกนำมาใช้จึงทำให้มีตะกั่วตกค้างอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมจำนวนมาก (สิทธิชัย, 2541)

1.2.3 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ตะกั่วสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการพังทลายของเปลือกโลกและละลายลงสู่แหล่งน้ำ การนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ปนเปื้อนมากับน้ำฝน การปนเปื้อนจากขยะ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากบ้านเรือนและชุมชน (Harrison and Laxen, 1981)

1.2.4 ความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์และสัตว์ ตะกั่วเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ โดยการแพร่กระจายที่สำคัญ 2 ทาง คือ ทางโซ่อาหารและการสูดละอองตะกั่วเข้าไป ซึ่งตะกั่วทำให้ร่างกายมีความต้านทานต่อโรคหลายชนิดลดลง เช่น โรคไทฟอยด์ เป็นต้น (เปี่ยมศักดิ์, 2525) โรคพิษตะกั่วจำแนกได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือโรคพิษตะกั่วอินทรีย์ และโรคพิษตะกั่วอนินทรีย์ พิษตะกั่วอินทรีย์จะเป็นโรคของระบบประสาทส่วนกลาง มีอาการนอนไม่หลับ หงุดหงิด เบื่ออาหาร อุณหภูมิในร่างกายลดต่ำลง โลหิตจาง คอแข็ง กระหายน้ำ อาเจียน ในรายที่ระดับตะกั่วค่อนข้างสูงจะมีอาการในกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้งานมาก เช่น กล้ามเนื้อที่ข้อมือข้อเท้าหมดแรง เป็นอัมพาต สมองบวม และตายได้ (อรพรรณ์, 2535) การกำจัดตะกั่วของร่างกายทำได้หลายทางกล่าวคือ ขับออกทางปัสสาวะ 76 เปอร์เซ็นต์ อุจจาระ 16 เปอร์เซ็นต์ และทางผิวหนัง เส้นผม หรือขนอีก 8 เปอร์เซ็นต์ แต่วันหนึ่งๆ ร่างกายจะขับตะกั่วได้รวมกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัมเท่านั้น (Mahaffey *et al.*, 1982) ขีดระดับความปลอดภัยจากการตรวจเลือด ควรมีระดับสารตะกั่วในเลือดไม่เกิน 40 ไมโครกรัม/100 กรัม (จุไรรัตน์, 2537) ตะกั่วอาจเข้าสู่สัตว์สี่กระเพาะที่เลี้ยงในบริเวณที่มีการปนเปื้อนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัวและแกะ โดยอาจเกิดการสะสมตะกั่วในน้ำนมและเนื้อ อย่างไรก็ตาม ตะกั่วจะซึมผ่านระบบย่อยได้น้อยมาก ตะกั่วที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกขับถ่ายออกมาทางอุจจาระได้ถึง 99% จึงยังไม่พบรายงานการสะสมตะกั่วในน้ำนม (ศุภมาศ, 2545)

1.2.5 ความเป็นพิษต่อพืช ระดับปกติของตะกั่วในพืชคือ 0.5-3 มก./กก. ส่วนระดับเป็นพิษในพืชนั้นขึ้นกับพืชแต่ละชนิดที่ทนต่อสารตะกั่วได้ไม่เท่ากัน (ศุภมาศ, 2545) ความเป็นพิษของตะกั่วในพืชจะยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อและการออกซิไดส์ซัคซิเนตในกระบวนการหายใจที่ไมโตคอนเดรีย (Keeppe and Bettany, 1982) ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสง ยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและใบ และยืดเวลาการงอกของเมล็ด (ศุภมาศ, 2545) Obrocheva *et al.* (1998) ศึกษาความเป็นพิษของตะกั่วต่อการงอกของเมล็ดข้าวโพด ที่ระดับความเข้มข้นของเลดไนเตรทที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} และ 10^{-5} โมล พบว่าที่ความเข้มข้น 10^{-2} โมล รากข้าวโพดไม่มีการเจริญเติบโต รากมีลักษณะกุดสั้น แสดงถึงความเป็นพิษของตะกั่วที่มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของรากพืช

1.3 ปรอท

ปรอทเป็นธาตุโลหะที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 200.61 อยู่ในกลุ่ม II b ของตารางธาตุ สามารถแตกตัวเป็นอิออนบวกได้ 2 แบบคือ Hg^{+} (เมอร์คิวรัส) และ Hg^{++} (เมอร์คิวริก) (ไมตรี, 2531)

1.3.1 แหล่งกำเนิด ปรอทเป็นโลหะที่พบในธรรมชาติ ในสารประกอบแร่ cinnabar (HgS) และยังปะปนอยู่กับซัลไฟด์ของแร่อื่นๆ อีก เช่น สังกะสี ตะกั่ว เหล็ก (Winterigham, 1972; Mc.Neely *et al.*, 1979) จากรายงานของ D'ltri (1975) พบว่า ถ่านหิน bituminous และ anthracite มีปรอทเท่ากับ 1.25×10^{-4} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1.2-2.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หินตะกอนจะพบปริมาณปรอทสูงกว่าในหินอัคนี (Pecora, 1979)

1.3.2 การใช้ประโยชน์ ปรอทได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ทำเทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ ตะเกียงไอปรอท อุตสาหกรรมพลาสติก สี กระดาษ อุตสาหกรรมผลิตโซดาไฟและคลอรีน สารฆ่าเชื้อรา สารกำจัดแมลง สารถนอมเนื้อไม้และเมล็ดพืช ยารักษาโรค เช่น ยาขับปัสสาวะ ยาสวนอุจจาระ ยาปฏิชีวนะ นอกจากนั้นยังใช้ทำโลหะผสม ใช้สกัดทองคำจากแร่ทองคำ การผลิตของเด็กเล่น (รพีพัฒน์, 2542)

1.3.3 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ปรอทสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการผุพังของหินและแร่ การระเบิดของภูเขาไฟ การไหลบ่าของน้ำ การชะล้างของฝน การปนเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากธรรมชาติมีน้อยมากถ้าเปรียบเทียบกับการกระทำของมนุษย์ (D'ltri, 1975) ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการใช้ปรอทโดยทางอุตสาหกรรม (ศุภมาศ, 2545)

ปรอทที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมมี 2 รูป คือ ปรอทอนินทรีย์และปรอทอินทรีย์ ปรอทอนินทรีย์ที่อยู่ในดินตะกอนมีโอกาสเปลี่ยนเป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของ methyl mercury (CH_3Hg^{+}) ปรอทรูปนี้สามารถละลายน้ำได้ดีมากจึงมีโอกาสเข้าสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ดีถ้าสภาวะที่พื้นก้นแหล่งน้ำเป็นแบบไม่มีอากาศ (anaerobic) ปรอทก็ไม่สามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นปรอทอินทรีย์ได้ (Jernelov, 1969) ซึ่งในการเปลี่ยนรูปของปรอทออนินทรีย์ไปเป็นปรอทอินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน ชนิดและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในดินตะกอน (Matsumura *et*

al., 1972) ดินตะกอนในเขตโรงงานอุตสาหกรรมมีปรอทประมาณ 8.39-57.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกเขตอุตสาหกรรมมี 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินตะกอนบริเวณอ่าวจาการ์ตาประเทศอินโดนีเซีย มีปรอทอยู่ระหว่าง 0.93-3.568 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Hungspreugs, 1988)

1.3.4 ความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์และสัตว์ ความเป็นพิษของปรอทแต่ละรูปแบบจะไม่เท่ากัน ปรอทอินทรีย์จะมีพิษร้ายแรงกว่าปรอทอนินทรีย์ อาการที่เกิดจากพิษของปรอทมีทั้งอาการพิษแบบเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง อาการที่เป็นพิษเฉียบพลัน (acute effect) จะเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ เซลล์เยื่อเมือกเกิดการระคายเคือง ปากคอไหม้ มีรสโลหะติดปาก ชีพจรเต้นเร็วแต่ไม่สม่ำเสมอ ท้องเสีย อุจจาระเป็นเลือด อาเจียน หมดสติและถึงตาย (Berman, 1980; Schroeder, 1982) สำหรับอาการพิษเรื้อรัง (chronic effect) จะแสดงอาการปวดศรีษะ วิงเวียน ตกใจง่าย ตามัว มือสั่น ต่อมน้ำลายผิดปกติ น้ำลายไหลตลอดเวลา มีอาการทางประสาทกังวล นอนไม่หลับ (Goldwater and Stopford, 1977) ความเป็นพิษของปรอทยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเป็นพิษจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Macleod and Pessah, 1973)

1.3.5 ความเป็นพิษต่อพืช ปรอทถือเป็นธาตุพิษที่สำคัญธาตุหนึ่งต่อสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่พิษของปรอทในดินต่อพืชนั้นพบน้อยมากจนถือว่าไม่มีความสำคัญ ปริมาณปรอทตกค้างที่ยอมให้มีได้ในผลิตผลทางการเกษตรของแต่ละประเทศมีค่าไม่เท่ากัน โดยจะอยู่ในช่วง 0-0.1 มก./กก. โดยทางปฏิบัติค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.05 มก./กก. (ศุภมาศ, 2545)

1.4 สารหนู

สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะซึ่งมีน้ำหนักอะตอม 74.91 อยู่ในหมู่ VA ของตารางธาตุ มีวาเลนซี 3 และ 5 (ไมตรี, 2531)

1.4.1 แหล่งกำเนิด สารหนูมีอยู่ทั่วไปในเปลือกโลกมักพบอยู่ในรูปอาร์ซีไนด์ (arsenide) ของตะกั่ว เงิน ทองแดง หรือในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ สินแร่ของสารหนที่พบโยทั่วไปได้แก่ arsenopyrite (FeAsS), realgar (As_4S_4) ปริมาณสารหนูในเปลือกโลกประมาณ 1.5-2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (National Academy of Sciences [NAS], 1977) สารหนูในถ่านหินของสหรัฐอเมริกามีประมาณ 1-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Davis *et al.*, 1978) ถ่านหินจากเชคโกสโลวา

เกียมีสารหนูถึง 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Cmarko, 1963) พื้นดินที่ปราศจากการปนเปื้อนใดๆ มีสารหนูอยู่ระหว่าง 0.2-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Walsh and Keeney, 1975)

1.4.2 การใช้ประโยชน์ สารหนูนำมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรมใช้เป็นสารฆ่าแมลงและเป็นสารปราบศัตรูพืชในรูปของสารประกอบชนิดต่างๆ เช่น lead arsenate, calcium arsenate, copper acetoarcenate, copper arcenite และ disodium methyl arsenate นำมาใช้ในยาฆ่าพยาธิ และยาฆ่าเชื้อโรคบางชนิด เช่น เชื้อซิฟิลิส (มนูญ และ สิทธิชัย, 2520) นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมทำแก้ว เซรามิค โลหะผสม และสารกึ่งตัวนำในอิเลคโทรนิกส์ นอกจากนี้ยังใช้เจือปนในอุตสาหกรรมยาและอาหารสัตว์ รวมทั้งเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ การผลิตสีย้อม เม็ดสี การผลิตยากลุ่ม arsphenamine, neoarsphenamine, sulpharsphenamine และ tryparsamide (ศศิเกษม, 2520)

1.4.3 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แหล่งปนเปื้อนที่สำคัญได้แก่ 1) อุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมโลหะ หรือโรงงานเคมีที่ใช้แร่ของกำมะถันและฟอสฟอรัส การเผาไหม้ถ่านหิน 2) สารฆ่าศัตรูพืชเข้าสารหนูที่ใช้ฉีดพ่นในสวนผลไม้ 3) น้ำชลประทานที่ปนเปื้อนสารหนู (ศุภมาศ, 2545) สารหนูแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางด้วยกันที่สำคัญ คือ การแพร่กระจายในรูปของละอองฝุ่นจากการถลุงสินแร่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่มีสารหนู การทำเหมืองแร่ กระบวนการผลิตและกระบวนการใช้ในอุตสาหกรรมที่นำสารหนูมาเป็นองค์ประกอบ การแพร่กระจายด้วยกระบวนการธรรมชาติเช่น การระเบิดของภูเขาไฟ การผุพังของหินและแร่ ทำให้สารหนูปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและลงสู่แหล่งน้ำ

1.4.4 ความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์และสัตว์ การก่อให้เกิดพิษขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น โครงสร้างทางกายภาพ และเคมีของสารประกอบ ทางเข้าสู่ร่างกาย ปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับ อายุและเพศของผู้ได้รับสารหนู รูปของสารหนู ธาตุหรือสารประกอบอื่นๆ ที่ได้รับพร้อมกัน

สารหนูส่วนที่ตกค้างในร่างกายส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ผิวหนัง เล็บ ผม และขน เนื่องจากอวัยวะเหล่านี้มีสาร keratin เป็นองค์ประกอบ โดยที่สารหนูเข้าทำปฏิกิริยากับ sulfhydryl group (-SH) ของ keratin ในโปรตีนหรือเอนไซม์ที่มีในเซลล์ ซึ่งจะทำให้กระบวนการก่อให้เกิดพลังงานของเซลล์ผิดปกติไป และรบกวนการสร้าง (DNA) polymerase ผู้ป่วยจะมีรอยพาดสีขาว

ปรากฏบนเล็บมือ เล็บเท้า นอกจากนี้สารหนูจะทำลายเม็ดเลือดแดง จะเกิดปัสสาวะมีสีแดง ต่อมาจะเป็นดีซ่าน สารหนูยังเป็นสาเหตุของโรคไข้ดำ อาการของโรคจะมีไข้สูง ท้องเดิน ท้องบวม มีอาการไอ อาเจียน เบื่ออาหาร และมีจุดดำขึ้นตามตัว (จุไรรัตน์, 2537)

1.4.5 ความเป็นพิษต่อพืช ระดับความเป็นพิษของสารหนูในดินต่อพืชต่างๆ มีค่าไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารหนู ชนิดของพืช และประเภทของเนื้อดิน ถวิล (2526) ได้รายงานว่า สารหนูในรูปโซเดียมอาร์ซีเนต ในปริมาณ 100 มก./กก.As ในดินมาบบอนร่วนปนทราย ทำให้ต้นกล้ามันสำปะหลังหยุดชะงักการเจริญเติบโตทั้งส่วนยอดและส่วนราก โดยเฉพาะรากไม่งอกจากท่อนพันธุ์เลย สารหนูที่พืชดูดกินเข้าไป จะขัดขวางกระบวนการทางชีวเคมีที่จำเป็นภายในพืชได้ ได้แก่ กระบวนการหายใจขั้นตอน oxidative of phosphorylation เพราะสารหนูมีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับฟอสฟอรัส อาร์ซีเนตอิออนจึงสามารถทำหน้าที่แทนฟอสเฟตอิออนในกระบวนการนี้ ทำให้พืชไม่สามารถสร้างพลังงานขึ้นมาใช้ได้ หรือไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลซัลไฮดริล (sulhydryl group) ที่เป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งของซัลเฟอร์โปรตีนในน้ำย่อยบางชนิด เช่น น้ำย่อย pyruvate oxydase มีกรดไลโปอิค (lipoic acid) เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่ง กรดไลโปอิคนี้มีอนุมูลซัลไฮดริลอยู่ด้วย อาร์ซีเนตอิออนจึงทำปฏิกิริยากับอนุมูลซัลไฟด์ไฮดริลของกรดไลโปอิค ทำให้น้ำย่อยนี้ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ต่อไปอีก (Peter, 1955; Ashton and Crafts, 1978) จึงเป็นสาเหตุทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงหรือตายได้

2. <u>ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในดิน</u>

เพื่อที่จะประเมินว่า ดินมีการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือไม่ จำเป็นต้องมี “ค่าพื้นฐาน” เพื่อเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนัก ค่าดังกล่าวนี้อาจเรียกว่าเป็น “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน (background levels) ” หรือ “ระดับตรวจสอบ (investigation levels)” ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้เพื่อประเมินการปนเปื้อนในระยะแรก ระดับเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แต่เป็นระดับความเข้มข้นที่ต้องตรวจสอบต่อไปว่า การปนเปื้อนที่เกิดจากความเข้มข้นระดับนั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์หรือไม่ ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่ (พิชิต และ สุรสิทธ์, 2543)

พิชิต และ สุรสิทธ์ (2543) ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินชั้นบนในพื้นที่ทำการเกษตรและแปลงทดลองทุกภาคของประเทศไทย โดยเลี่ยงการเก็บตัวอย่างในบริเวณที่มีแนวโน้มว่ามีการปนเปื้อนสูง มาทำการประเมินและกำหนดระดับเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนโลหะหนักในดินประเทศไทย โดยอาศัยความเข้มข้นที่ 95th percentile ทำให้สามารถกำหนด “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ของโลหะหนักในดินได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าค่าของสารหนู และแคดเมียม เท่ากับ 30 และ 0.15 มก./กก.ตามลำดับ ดังนั้น หากพบว่าตัวอย่างดินในพื้นที่ใดมีความเข้มข้นของธาตุต่างๆ สูงกว่าระดับนี้ เป็นดินที่มีแนวโน้มว่าจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่อาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ

ตารางที่ 1 “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ที่แนะนำสำหรับโลหะหนักในดินประเทศไทย

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

ที่มา: พิชิต และ สุรสิทธิ์ (2543)

3. ความสัมพันธ์ของปุ๋ยกับธาตุโลหะหนัก

3.1 ปุ๋ยเคมี หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอนินทรีย์สังเคราะห์และตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 ยังรวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสมและเชิงประกอบตลอดจนถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์หรือยิปซัม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ในปุ๋ยเคมีอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักมาจากการผลิต ทำให้ดินได้รับการปนเปื้อนเพิ่มขึ้น และการให้ปุ๋ยมีผลต่อการดูดกินจุลธาตุ การให้ปุ๋ยที่มีคลอไรด์แก่ดิน

หรือให้น้ำชลประทานที่มีเกลือสูง หรือการเติมเกลือลงไปในดิน จะเป็นการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุโลหะหนักมากขึ้น (ศุภมาศ, 2545)

3.2 ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการนำเอาเศษอินทรียสารมากองสะสมกันแล้วปล่อยให้เน่าเปื่อย หลังจากที่อินทรียสารเหล่านี้เน่าเปื่อยจนถึงขั้นเป็นฮิวมัสแล้วก็นำมาใช้เป็นปุ๋ย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ปุ๋ยหมักเป็นอินทรียวัตถุชนิดหนึ่งซึ่งอินทรียวัตถุสามารถดูดซับประจุบวกได้มาก เป็นการช่วยรักษาประจุบวกไม่ให้สูญหายไปจากดินโดยการชะล้าง และยังทำหน้าที่เป็น buffer (ตัวต้านทานการเปลี่ยนแปลงกะทันหัน) เช่น การเพิ่มความเป็นกรดหรือด่าง ความเค็ม ยากำจัดศัตรูพืช ธาตุโลหะหนักอินทรียวัตถุจะดูดซับไว้ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาอย่างกะทันหัน ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจะเป็นพิษต่อพืชที่ปลูก (วรพจน์, 2530) เช่นเดียวกับ บุปผา (2527) รายงานการทดลองเพาะข้าวสาลีโดยใส่สารอินทรีย์ลงไปในดิน พบว่าดินที่มีสารอินทรีย์มาก จะลดปริมาณของแคดเมียมในพืชลงได้

สุภาพร (2545) กล่าวว่าเมื่อนำมูลฝอยที่ปนเปื้อนด้วยสารอันตรายและโลหะต่างๆ มาเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นปุ๋ยหมัก และนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใช้ในการเกษตรก็จะส่งผลให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในดิน ในที่สุดก็จะสะสมอยู่ในพืชและเกิดการถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารและส่งผลต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ ทวีสิทธิ์ (2536) ศึกษาปริมาณตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และสารหนูในปุ๋ยหมักไฮเทคจากขยะของเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่มาจากการใช้ในทางการเกษตร ซึ่งขยะมีอินทรียวัตถุองค์ประกอบ เมื่อมีการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้อินทรียวัตถุในขยะเปื่อยยุ่ย เกิดการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอน ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในองค์ประกอบขยะ จึงมากขึ้นตามอัตราการย่อยสลาย

4. <u>การดูดกินและสะสมโลหะหนักในพืช</u>

สารพิษรวมทั้งโลหะหนัก หากปนเปื้อนอยู่ในสภาพแวดล้อมและดินที่ใช้ทำการเพาะปลูกจะถูกดูดซึมโดยพืช และสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ตามสัดส่วนที่มีอยู่ในดิน ด้วยเหตุนี้ การวัดปริมาณสารพิษที่สะสมอยู่ในพืชจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินความเป็นพิษของสารพิษที่มีอยู่ในดิน ซึ่งค่อนข้างชัดเจนแล้วว่าพืชต่างชนิดกัน หรือแม้แต่ละชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ สามารถดูดซึมโลหะหนักได้แตกต่างกันไป (ตารางที่ 2) อนึ่งโลหะหนักจะสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชในปริมาณ

ที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปมักพบในส่วนของราก มากกว่า ลำต้น ใบ และเมล็ดหรือส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ มักจะพบในปริมาณที่ต่ำที่สุด (ปรีดา และคณะ, 2547 ข)

ตารางที่ 2 ปริมาณสารแคดเมียมที่สะสมในพืชชนิดต่างๆ และส่วนของพืชที่ปลูกในดินของไทย

พืช/ผัก	แคดเมียมในพืช (มก./กก.)
ข้าวกล้อง	0.002-0.156
ข้าวโพด (เมล็ด)	0.002-0.04
มันสำปะหลัง (หัว)	0.001-0.006
หอมใหญ่	0.034-0.482
ผักกาดขาว	0.15
ผักคะน้า (ใบ)	1.53
ผักคะน้า (ราก)	3.37
ผักกาดหอม	0.05
ผักบุ้ง	0.16

ที่มา: ปรีดา และคณะ (2547 ข)

สุภาพร (2545) ทำการทดลองปลูกข้าวโพดฝักอ่อนโดยใช้ปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยชุมชน พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนไม่พบการสะสมตะกั่วในราก ใบ และผล แต่มีการสะสมในลำต้น ส่วนแคดเมียมมีการสะสมในใบ > ลำต้น > ราก > ผล ซึ่งแตกต่างจาก อรสุรางค์ (2547) ที่ศึกษาปริมาณโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกโดยใช้น้ำจากบ่อปรับสภาพน้ำเสีย โดยพบตะกั่วกระจายในฝักอ่อน เปลือกหุ้มฝักและลำต้นมากกว่าในใบ ตามลำดับ ส่วนแคดเมียมมีการกระจายในฝักอ่อน ใบและลำต้นมากกว่าในเปลือกหุ้มฝัก ตามลำดับ และไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Lagerwerff *et al.* (1972) ที่ว่าตะกั่วสะสมในราก > ลำต้น> ใบ >เมล็ด ส่วนแคดเมียมสะสมในใบ > ต้น > ซังข้าวโพด > ฝัก (Pepper *et al*., 1983)

สุวรรณีย์ (2537) ทดลองปลูกพืช 4 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหัว มะเขือเทศ ผักกวางตุ้ง และถั่วเขียวที่มีระยะการเจริญเติบโต 3 ระยะ คือระยะการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ออกดอกและติดผลบนดินทรายร่วน ที่ไม่ได้ใส่สารหนูและใส่สารหนู ผลปรากฏว่า พืชทั้ง 4 ชนิด ทุกระยะการเจริญเติบโตสามารถดูดกินสารหนูจากสารประกอบสารหนูที่ใส่ในดินเข้ามาในต้นพืชได้ โดยพืชทั้ง 4 ชนิดมีการสะสมสารหนูที่รากมากกว่าเนื้อเยื่ออื่นๆ โดยสะสมอยู่ตามผิวนอกของราก ซึ่งปริมาณที่สะสมภายในเนื้อเยื่อต่างๆ เป็นปริมาณที่ต่ำมาก

พิชิต และ สุรสิทธิ์ (2543) ได้เก็บตัวอย่างส่วนที่เป็นผลผลิตของพืชในบริเวณเดียวกับที่เก็บตัวอย่างดิน รวมทั้งเก็บตัวอย่างพืชจากตลาดต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในเมล็ด หรือส่วนที่นำไปบริโภคอื่นๆ ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชชนิดต่างๆ

พืช	จำนวนตัวอย่าง	ความเข้มข้น (มก./กก.)			
		สารหนู	แคดเมียม	ตะกั่ว	ปรอท
ข้าวเจ้า	25	0.23-1.58	0.006-0.156	0.014-0.220	0.003-0.019
ข้าวเหนียว	44	0.24-1.79	0.002-0.140	0.014-0.555	0.003-0.012
ข้าวโพด	9	0.62-1.27	0.002-0.040	0.064-0.294	trace
ถั่วลิสง	37	0.35-3.85	0.004-0.283	0.016-0.408	0.002-0.010
กะหล่ำปลี	6	0.13-2.64	0.064-0.372	0.028-0.713	0.002-0.010
คะน้า	5	1.05-2.72	0.088-0.242	0.040-0.108	0.003-0.024
หัวหอม	5	0.50-1.08	0.034-0.482	0.054-0.418	0.003-0.023

ที่มา: พิชิต และ สุรสิทธิ์ (2543)

ค่าความเข้มข้นวิกฤตของธาตุโลหะหนัก แม้พืชหรือสัตว์ได้รับในปริมาณต่ำก็อาจเป็นพิษได้ จากตารางที่ 4 แสดงค่าที่ใช้ประเมินความเป็นสารมลพิษของจุลธาตุในดินและพืช (ศุภมาศ, 2545

ตารางที่ 4 ค่าสูงสุดของจุลธาตุที่ถือเป็นค่ายอมรับได้ให้มีอยู่ในดิน (มก./กก.) และค่าวิกฤตในพืชที่เริ่มยับยั้งการเจริญเติบโต

ธาตุ	ปริมาณในดิน (มก./กก.)		ปริมาณในพืช(มก./กก.นน.แห้ง)	
	ไม่เกิดเป็นพิษ ค่าที่รับได้	ค่าที่เริ่มอาการเป็นพิษในพืช	เกิดอาการในพืชที่ไวต่อพิษ	ค่าที่ทำให้ผลผลิตลดลง 10%
สารหนู	2	15-50	n.a.	1-20
แคดเมียม	n.a.	3-5	5-10	10-20
ทองแดง	23	60-100	15-20	10-30
ปรอท	2	2-5	0.5-1	1-8
ตะกั่ว	n.a.	100-400	n.a.	n.a.
สังกะสี	110	250-400	20-30	10-30
นิกเกิล	35	100	150-200	100-500

ที่มา: ศุภมาศ (2545)

5. ลักษณะและสมบัติทั่วไปของชุดดินกำแพงแสน

ชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen series) มีการจำแนกระดับวงศ์คือ Typic Haplustalfs, fine-silty, mixed จัดเป็นดินลึกมาก พบบริเวณตะพักน้ำค่อนข้างต่ำ (semi-recent terrace) สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงเกือบราบเรียบลักษณะเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล หรือน้ำตาลเข้ม ส่วนดินชั้นล้างเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลหรือน้ำตาลแก่ และจะพบเกล็ดไมก้าเล็ก ๆ ตลอดหน้าตัดดิน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลางในดินชั้นบน ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.5-7.0 และเป็นกลางถึงเป็นด่างในดินชั้นล่าง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 7.0-8.0 (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541) มีความลาดชัน 2-3 % การระบายน้ำดี การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินค่อนข้างช้า (โรจน์, 2525)

6. <u>ข้าวโพดฝักอ่อน</u>

ข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. อยู่ในวงศ์ (Family) Gramineae เป็นผักอุตสาหกรรมและส่งออกที่สำคัญของประเทศ การส่งออกมีทั้งการแปรรูปบรรจุกระป๋อง การส่งออกฝักสด และการแช่แข็ง ซึ่งมีแนวโน้มการตลาดที่สดใส สำหรับเกษตรกรแล้วข้าวโพดฝักอ่อน นับเป็นผักที่นิยมปลูก เนื่องจากมีเทคโนโลยีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากมีระบบตลาดที่สะดวกและมั่นคงพอควร ไม่ต้องใช้สารเคมีอันตรายและเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นโดยมีอายุตั้งแต่วันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 45-50 วัน และมีช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวเพียง 7-10 วัน ดังนั้นตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวฝักอ่อนหมดจะใช้เวลาเพียง 60-70 วันเท่านั้น เกษตรกรสามารถปลูกได้ปีละ 4-5 ครั้ง ซึ่งสามารถปลูกเป็นพืชหลักที่ทำรายได้ที่ดี (เฉลิมเกียรติ และ ภัสรา, 2535)

6.1 สถานการณ์ในปัจจุบันและอนาคต

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยการส่งออกไปขายทั้งในในตลาดเอเชีย ยุโรป และอเมริกา มีโรงงานอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋องกระจายอยู่แทบทุกภาคของประเทศ ซึ่งแต่ละโรงงานยังมีกำลังการผลิตสูง และมีความต้องการวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้นทุกปี ทำให้มีผลผลิตป้อนเข้าสู่โรงงานเพียงพอ เกษตรกรปลูกข้าวโพดฝักอ่อนหมุนเวียนตลอดปีทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง พื้นที่การเพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในช่วงปีเพาะปลูก 2543/44 – 2545/46 มีพื้นที่เพาะปลูกระหว่าง 158,218 – 233,280 ไร่ มีผลผลิตรวม159,124 – 288,636 ตันและมีผลผลิตเฉลี่ย 1,080 – 1,122 กก./ไร่ อย่างไรก็ตามในปี 2545/46 มีพื้นที่เพาะปลูก 231,382 ไร่ มีผลผลิตรวม 256,545 ตัน และผลผลิตเฉลี่ยเพียง 895 กก./ไร่ พื้นที่เพาะปลูกจะอยู่ในภาคตะวันตก ประมาณ 74% โดยเฉพาะจังหวัดกาญจนบุรี ภาคเหนือ 24% ที่เหลือกระจายในภาคต่างๆ (สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, 2546) ปริมาณการส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนรวมในรูปฝักสดแช่แข็งในช่วงปี 2544-2546 มีค่าระหว่าง 3,955-8,445 ตัน คิดเป็นมูลค่าระหว่าง 174-198 ล้านบาท และปริมาณการส่งออกในรูปบรรจุกระป๋องในช่วงปี 2544-2548 มีค่าระหว่าง 61,467-76,509 ตัน คิดเป็นมูลค่าระหว่าง1,675.03– 2,053.04 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2549)

6.2 ข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์แปซิฟิค 283

เป็นพันธุ์ลูกผสม ซึ่งมีด้วยลักษณะดังนี้ ผลผลิตฝักอ่อนทั้งเปลือก 2,200-2,400 กก./ไร่ ผลผลิตฝักอ่อนปลอกเปลือก 350-400 กก./ไร่ อัตราแลกเนื้อ 6:1 สีฝักสีเหลืองอ่อน จำนวน 3-4 ฝักต่อต้น ความสม่ำเสมอของฝักดีมาก วันถอดดอกตัวผู้หลังปลูก 45-47 วัน ความยาวไหมขณะเก็บเกี่ยว 3-5 เซนติเมตร อายุเริ่มเก็บเกี่ยวหลังปลูก 47-49 วัน ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว 5-7 วัน ต้านทานต่อโรคราน้ำค้างดีและมีความแข็งแรงของลำต้นดี (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)

6.3 การใช้ปุ๋ยกับข้าวโพดฝักอ่อน

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อข้าวโพดฝักอ่อน ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ส่วนโพแทสเซียมสำคัญเป็นอันดับรอง ดังนั้น ในท้องที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนนั้นไม่จำเป็นต้องใส่ครบทุกธาตุอาหาร แนวทางปฏิบัติในการใช้ปุ๋ย สรุปกว้าง ๆ ได้ดังนี้

6.3.1 ในสภาพสวนยกร่อง ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนติดต่อกัน ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ รองก้นหลุมตอนปลูกและโรยข้างแถว เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 วัน ครั้งละครึ่งของปริมาณทั้งหมด

6.3.2 ในดินนาตามหลังข้าว ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว อัตรา 15-30 กิโลกรัมต่อไร่ วิธีใส่เช่นเดียวกับข้อ 6.3.1

6.3.3 ในพื้นที่ไร่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงต่ำ ควรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ให้มาก 1-2 ตันต่อไร่ ปุ๋ยเคมีใช้ 15-15-15 อัตรา 75-100 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นหลุมตอนปลูกและปุ๋ยไนโตรเจน 10-15 กิโลกรัม ต่อไร่ โรยข้างแถวเมื่ออายุ 25-30 วัน ถ้าดินดีใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว 20 กก.ต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง (เฉลิมเกียรติ และ ภัสรา, 2535)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างดินชุดดินกำแพงแสน ชั้นไถพรวน (0-15 ซม.)
2. เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนที่ใช้ในการทดลองคือ พันธุ์แปซิฟิค 283
3. ปุ๋ยหมัก ที่มีส่วนผสมของฟาง พืชสด กากอ้อย มูลสัตว์ จุลินทรีย์และชีวภาพอื่นๆ
4. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และสูตร 46-0-0
5. กระถางพลาสติก สำหรับปลูกข้าวโพดฝักอ่อน พร้อมจานรอง
6. เครื่องบดดินและตะแกรงร่อนทองเหลือง ขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร
7. อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการและเรือนทดลอง
8. อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน พืช ในห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่อง Atomic Absorpton Spectrophotometer (AAS) , เครื่องบดตัวอย่างพืช , pH meter , Electric Conductivity เป็นต้น

วิธีการ

1. การทดลองปลูกพืชในกระถาง

1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 3×3 Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือ อัตราปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก, ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม (1 ตัน/ไร่) และใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม (2 ตัน/ไร่) ปัจจัยที่สอง คือการใส่ปุ๋ยเคมี ประกอบด้วย ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม (100 กก./ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม (50 กก./ไร่) โดยใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม (100 กก./ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0

อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม (50 กก./ไร่) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือก่อนปลูกและเมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน ครั้งละครึ่งของปริมาณทั้งหมด ประกอบด้วย 9 ตำรับทดลองดังนี้

ตำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก + ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

ตำรับที่ 2 ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก + ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก

ตำรับที่ 3 ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก + ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือก่อนปลูกและเมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน ครั้งละครึ่งของปริมาณทั้งหมด

ตำรับที่ 4 ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

ตำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก

ตำรับที่ 6 ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือก่อนปลูกและเมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน ครั้งละครึ่งของปริมาณทั้งหมด

ตำรับที่ 7 ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

ตำรับที่ 8 ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดินกิโลกรัม + ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก

ตำรับที่ 9 ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 8 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม + ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือก่อนปลูกและเมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน ครั้งละครึ่งของปริมาณทั้งหมด

1.2 การดำเนินการทดลอง

1.2.1 เตรียมดินปลูกข้าวโพดฝักอ่อน โดยชั่งดินใส่กระถาง กระถางละ 8 กิโลกรัม จำนวน 36 กระถาง

1.2.2 คลุกปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีตามแต่ละตำรับในดิน ก่อนปลูก และใส่ปุ๋ยเคมีเมื่อข้าวโพดอายุได้ 20 วันในบางตำรับทดลอง

1.2.3 นำเมล็ดข้าวโพดมาปลูกในดินที่เตรียมไว้ โดยหยอดกระถางละ 3 เมล็ด เมื่อครบ 1 สัปดาห์ ถอนต้นกล้าให้เหลือ 1 ต้น และรดน้ำทุกวันจนครบระยะเก็บเกี่ยว

1.2.4 บันทึกความสูงของต้นที่อายุ 20 และ 40 วัน

1.2.5 ถอดดอกตัวผู้ที่อายุ 45 วัน

1.2.6 เก็บฝักข้าวโพดทุกฝัก โดยฝักแรกเริ่มเก็บที่อายุ 47 วัน และเก็บต่อจนหมดต้น

1.2.7 วัดความยาวฝักสด ชั่งน้ำหนักทั้งเปลือก น้ำหนักเปลือก น้ำหนักฝักสด และน้ำหนักแห้ง

1.3 การเก็บตัวอย่าง

1.3.1 เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูก

1.3.2 เก็บตัวอย่างข้าวโพดที่อายุ 47-56 วัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ฝัก (เฉพาะส่วนที่เป็นฝักอ่อน) และต้น (ใบ+ลำต้น+เกสรตัวผู้+เปลือกฝัก) มาชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ นำมาชั่งหาน้ำหนักแห้งและบดเป็นผงละเอียด สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนูต่อไป

2. <u>การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ</u>

2.1 การศึกษาสมบัติบางประการของตัวอย่างดิน

เตรียมตัวอย่างดิน โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บในระดับความลึก 0- 15 เซนติเมตร มาผึ่งในที่ร่ม เลือกเศษพืชออก นำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์ทางเคมีและไฟฟ้า

2.1.1 วัดค่าทางเคมีไฟฟ้า

1) ปฏิกิริยาของดิน วัดโดยเครื่องวัด pH (pH meter) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินและน้ำ เท่ากับ 1: 1

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

2.1.2 วิเคราะห์ทางเคมี

1) การวิเคราะห์ Exchangeable magnesium โดยนำดินมาสกัดด้วย 1<u>N</u> NH_4OAc pH7 แล้ววัดค่า Mg ในสารละลายดินที่สกัดได้ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2) การวิเคราะห์ Exchangeable potassium โดยนำดินมาสกัดด้วย 1<u>N</u> NH_4OAc pH7 แล้ววัดค่า K ในสารละลายดินที่สกัดได้ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3) การวิเคราะห์ Exchangeable calcium โดยนำดินมาสกัดด้วย 1<u>N</u> NH_4OAc pH7 แล้ววัดค่า Ca ในสารละลายดินที่สกัดได้ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Colorimetric

5) ปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุในดิน (Total C และ Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black method (Walkley and Black,1934; ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

2.1.3 วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน โดยการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยกรดผสม HNO_3 : $HClO_4$ ในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม และตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2.1.4 วิเคราะห์ปริมาณปรอท และสารหนู

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน โดยการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วย 2:1, H_2SO_4 : HNO_3 15 ซีซี และ 12N HCl 2 ซีซี digest จนใส แล้วเติม 6% $KMnO_4$ จนได้สีม่วงของ permanganate ion หลังจากนั้นเติม 5% $K_2S_2O_8$ 5 ซีซี ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วเติม $(NH_2OH)_2 .H_2SO_4$ NaCl Solution 10 ซีซี จนสารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 100 ซีซี แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของปรอท และสารหนูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Stewart and Bettany, 1982)

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมด โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างด้วยกรดผสม HNO_3 : $HClO_4$ ในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม และตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณปรอท และสารหนู

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมด โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วย 2:1, H_2SO_4 : HNO_3 15 ซีซี และ 12N HCl 2 ซีซี digest จนใส แล้วเติม 6% $KMnO_4$ จนได้สีม่วงของ permanganate ion หลังจากนั้นเติม 5% $K_2S_2O_8$ 5 ซีซี ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วเติม $(NH_2OH)_2$ .H_2SO_4 NaCl Solution 10 ซีซี จนสารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 100 ซีซี แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของปรอท และสารหนูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Stewart and Bettany, 1982)

2.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อหาค่า F-value หากข้อมูลแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ จะนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างโดยใช้ DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

2.3 การศึกษาสมบัติบางประการของตัวอย่างปุ๋ยหมัก

2.3.1 วัดค่าทางเคมีไฟฟ้า

1) ปฏิกิริยาของปุ๋ยหมัก วัดโดยเครื่องวัด pH (pH meter) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินและน้ำ เท่ากับ 1: 1

2) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปุ๋ยหมักและน้ำ เท่ากับ 1: 5 และวัดด้วยเครื่อง Electric Conductivity

2.3.2 วิเคราะห์ทางเคมี

1) ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Magnesium) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

2) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

3) ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (Total Calcium) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

4) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โดยวิธี Vanadomolybdate yellow color และนำไปวัดความเข้มข้นของสีเหลืองที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ wavelength 440 นาโนเมตร

5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ย่อยสลายด้วย Digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวัดปริมาณโดยวิธี Kjeldahl method

6) ปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุ (Total C และ Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkey and Black,1934; ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

2.3.3 วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมด โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างด้วยกรดผสม HNO_3 : $HClO_4$ ในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม และตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2.3.4 วิเคราะห์ปริมาณปรอท และสารหนู

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมด โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วย 2:1, H_2SO_4 : HNO_3 15 ซีซี และ 12N HCl 2 ซีซี digest จนใส แล้วเติม 6% $KMnO_4$ จนได้สีม่วงของ permanganate ion หลังจากนั้นเติม 5% $K_2S_2O_8$ 5 ซีซี ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วเติม $(NH_2OH)_2$ .H_2SO_4 NaCl Solution 10 ซีซี จนสารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 100 ซีซี แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของปรอท และสารหนูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Stewart and Bettany, 1982)

2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมี

2.4.1 วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมด โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างด้วยกรดผสม HNO_3 : $HClO_4$ ในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม และตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2..4.2 วิเคราะห์ปริมาณปรอท และสารหนู

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณโลหะหนักทั้งหมด โดยการย่อยสลายตัวอย่างด้วย 2:1, H_2SO_4 : HNO_3 15 ซีซี และ 12N HCl 2 ซีซี digest จนใส แล้วเติม 6% $KMnO_4$ จนได้สีม่วงของ permanganate ion หลังจากนั้นเติม 5% $K_2S_2O_8$ 5 ซีซี ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วเติม $(NH_2OH)_2$ .H_2SO_4 NaCl Solution 10 ซีซี จนสารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 100 ซีซี แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของปรอท และสารหนูด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Stewart and Bettany, 1982)

3. <u>สถานที่ทำการทดลอง</u>

1. ทำการทดลองในโรงเรือนทดลองภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

2. วิเคราะห์ทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

4. <u>ระยะเวลาในการทดลอง</u>

ระหว่างเดือนมิถุนายน 2548 – เมษายน 2549

ผล

จากการทดลองที่ศึกษา ผลของการใส่ปุ๋ยหมักและเวลาการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนูในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ได้ผลการทดลองดังนี้

1. <u>สมบัติของดินที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน</u>

ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์แปซิฟิค 283 แสดงในตารางที่ 5 และปริมาณของโลหะหนักแสดงไว้ในตารางที่ 7

จากตารางที่ 5 พบว่าตัวอย่างชุดดินกำแพงแสนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง เท่ากับ 7.3 ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ วัดได้ 1.02 เดซิซีเมนต์/เมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างต่ำ (13.6 กรัม/กิโลกรัม) มีปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์สูง (29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมาก (12 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก (2640 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ปริมาณแมกนีซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ปริมาณตะกั่วและ แคดเมียม เท่ากับ 34.45 และ 4.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณปรอท และสารหนู เท่ากับ 124 และ 3669 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5 และ 7)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินที่ใช้ทดลองกับระดับเกณฑ์พื้นฐานสำหรับโลหะหนักในดินประเทศไทย (ตารางที่ 1) พบว่าตัวอย่างดินนี้มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียมสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปรอทสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 0.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสารหนูต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของชุดดินกำแพงแสนที่ใช้ในการทดลอง

การวิเคราะห์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
pH (1:1) [1/]	7.3
EC(dS m^{-1}) [2/]	1.02
OM (g kg^{-1}) [3/]	13.6
Avai. P (mg kg^{-1}) [4/]	29
Exch. K (mg kg^{-1}) [5/]	12
Exch. Ca (mg kg^{-1}) [5/]	2640
Exch. Mg (mg kg^{-1}) [5/]	400
Soil Texture [6/]	Clay Loam
%Sand	38.66
%Silt	34.14
%clay	27.2

[1/] 1: 1 H_2O

[2/] Saturation Water Extract

[3/] Walkley and Black method

[4/] Bray II

[5/] 1*N* NH_4OAc pH7

[6/] Hydrometer method

2. สมบัติของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ปุ๋ยหมัก

ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของปุ๋ยหมัก แสดงในตารางที่ 6 และปริมาณของโลหะหนักแสดงไว้ในตารางที่ 7

จากตารางที่ 6 พบว่า พบว่าตัวอย่างปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง (6.87) มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.07 เดซิซีเมนต์/เมตร ปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก เท่ากับ 140.5 กรัม/กิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำ เท่ากับ 5.0 กรัม/กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำมาก เท่ากับ 7.4 กรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดต่ำมาก เท่ากับ 6.2, 17.5 และ 10.8 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สัดส่วนของคาร์บอน/ไนโตรเจนเท่ากับ 16.30 % และมีความชื้นเท่ากับ 34.75 % มีปริมาณตะกั่ว แคดเมียม เท่ากับ 79 และ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ มีปริมาณปรอท และสารหนู เท่ากับ 193 และ 644 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 6 และ 7) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท สารหนูที่ยอมรับได้ในปุ๋ยหมัก คือ 500, 5, 2 และ 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

2.2 ปุ๋ยเคมี

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และ 46-0-0 แสดงไว้ในตารางที่ 7

จากตารางที่ 7 พบว่าปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 มีปริมาณตะกั่ว และแคดเมียม เท่ากับ 47.25 และ 2.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ มีปริมาณปรอทและสารหนู เท่ากับ 113.07 และ 41.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีปริมาณตะกั่ว และแคดเมียม เท่ากับ 25 และ 0.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ มีปริมาณปรอทและสารหนู เท่ากับ 118.30 และ 62.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลอง

การวิเคราะห์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
pH (1:1) [1/]	6.87
EC(dS m^{-1}) [2/]	1.07
OM (g kg^{-1}) [3/]	140.5
total N (g kg^{-1}) [4/]	5.0
C/N ratio	16.3
%ความชื้น	34.75
total P (g kg^{-1}) [5/]	7.4
total K (g kg^{-1}) [6/]	6.2
total Ca (g kg^{-1}) [6/]	17.5
total Mg (g kg^{-1}) [6/]	10.8

[1/] 1: 1 H_2O

[2/] 1: 5 H_2O

[3/] Walkley and Black method

[4/] kjeldahl method

[5/] Vanadomolybdate yellow color

[6/] H_2SO_4-$NaSO_4$-Se mixture mixture

ตารางที่ 7 ค่าวิเคราะห์โลหะหนักในดินและปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ดิน/ปุ๋ย	ความเข้มข้นของโลหะหนัก			
	Pb (mg kg^{-1})[1/]	Cd (mg kg^{-1})[1/]	Hg (µg kg^{-1})[2/]	As (µg kg^{-1})[2/]
ดินกำแพงแสน	34.45	4.55	124	3669
ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	47.25	2.26	113	41
ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0	25	0.42	118	62
ปุ๋ยหมัก	79.5	2.13	193	644

[1/] $HNO_3 : HClO_4$ (5:2)

[2/] $H_2SO_4 : HNO_3$ (2:1) + HCl

3. น้ำหนักแห้งของต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน

3.4 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ไม่ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว มีปริมาณเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งสูงกว่า การแบ่งใส่สองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยปริมาณเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 87.97, 74.00 และ 23.25 กรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีไม่มีอิทธิพลร่วมต่อน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ทำให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 8)

3.2 น้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้น้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม มีปริมาณเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งสูงกว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยปริมาณเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75, 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก เท่ากับ 2.99, 2.66 และ 2.30 กรัม ตามลำดับ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้น้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง มีปริมาณเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งสูงกว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยมีปริมาณเฉลี่ยน้ำหนักแห้งจากการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 3.65, 3.26 และ 1.05 กรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อน้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักและใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้งทำให้น้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันและสูงกว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีโดยแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้น้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 8 น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	18.86	27.61	23.28	23.25c
ใส่ครั้งเดียว	95.42	78.63	89.87	87.97a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	77.93	76.27	67.82	74.00b
C-เฉลี่ย	64.07	60.84	60.32	61.75
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		ns		
CV (%)		20.03		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 9 น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของฝักข้าวโพดฝักอ่อน

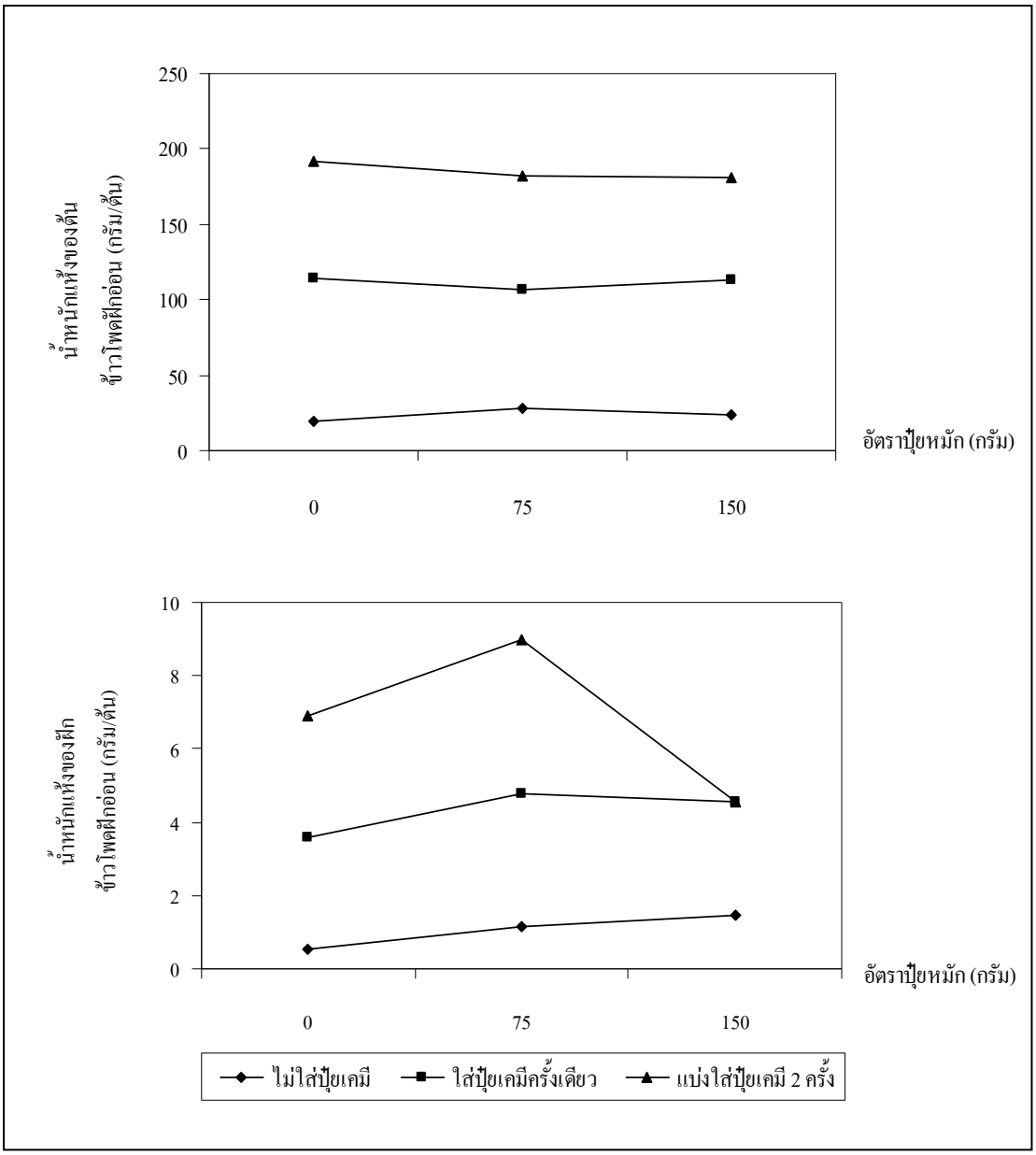
การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	0.55Bb	1.16Ac	1.44Ab	1.05c
ใส่ครั้งเดียว	3.05Ba	3.61Ab	3.12Ba	3.26b
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	3.31Ba	4.22Aa	3.42ABa	3.65a
C-เฉลี่ย	2.30C	2.99A	2.66B	2.65
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		*		
CV (%)		10.92		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 1 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักแห้งของต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน

4. <u>ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อน</u>

4.1 แคดเมียม

4.1.1 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม มีปริมาณเฉลี่ยของแคดเมียมสูงกว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยปริมาณเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดในข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75, 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก เท่ากับ 80.52, 54.57 และ 39.9 ไมโครกรัม/ต้น ตามลำดับ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยปริมาณเฉลี่ยของแคดเมียมทั้งหมดในข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 90.17, 69.54 และ 15.27 ไมโครกรัม/ต้น ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักและใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง ทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10)

4.1.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75, 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก เท่ากับ 0.85, 0.65 และ 0.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมสูงกว่า การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 0.94 , 0.69 และ 0.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักและใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 11)

4.2.3 ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่

ใส่ปุ๋ยเคมี โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 1.03, 0.81 และ 0.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีมีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยพบว่า ตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 10 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	9.31Bb	19.08Ab	17.44ABb	15.27c
ใส่ครั้งเดียว	54.67Ba	117.15Aa	98.70Aa	90.17a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	55.74Ba	105.33Aa	47.56Bb	69.54b
C-เฉลี่ย	39.90C	80.52A	54.57B	58.33
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		21.06		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	0.31Ac	0.37Ac	0.43Ab	0.37c
ใส่ครั้งเดียว	0.77Ba	1.35Aa	0.69Ba	0.94a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	0.42Bb	0.83Ab	0.83Aa	0.69b
C-เฉลี่ย	0.51C	0.85A	0.65B	0.67
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		16.08		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

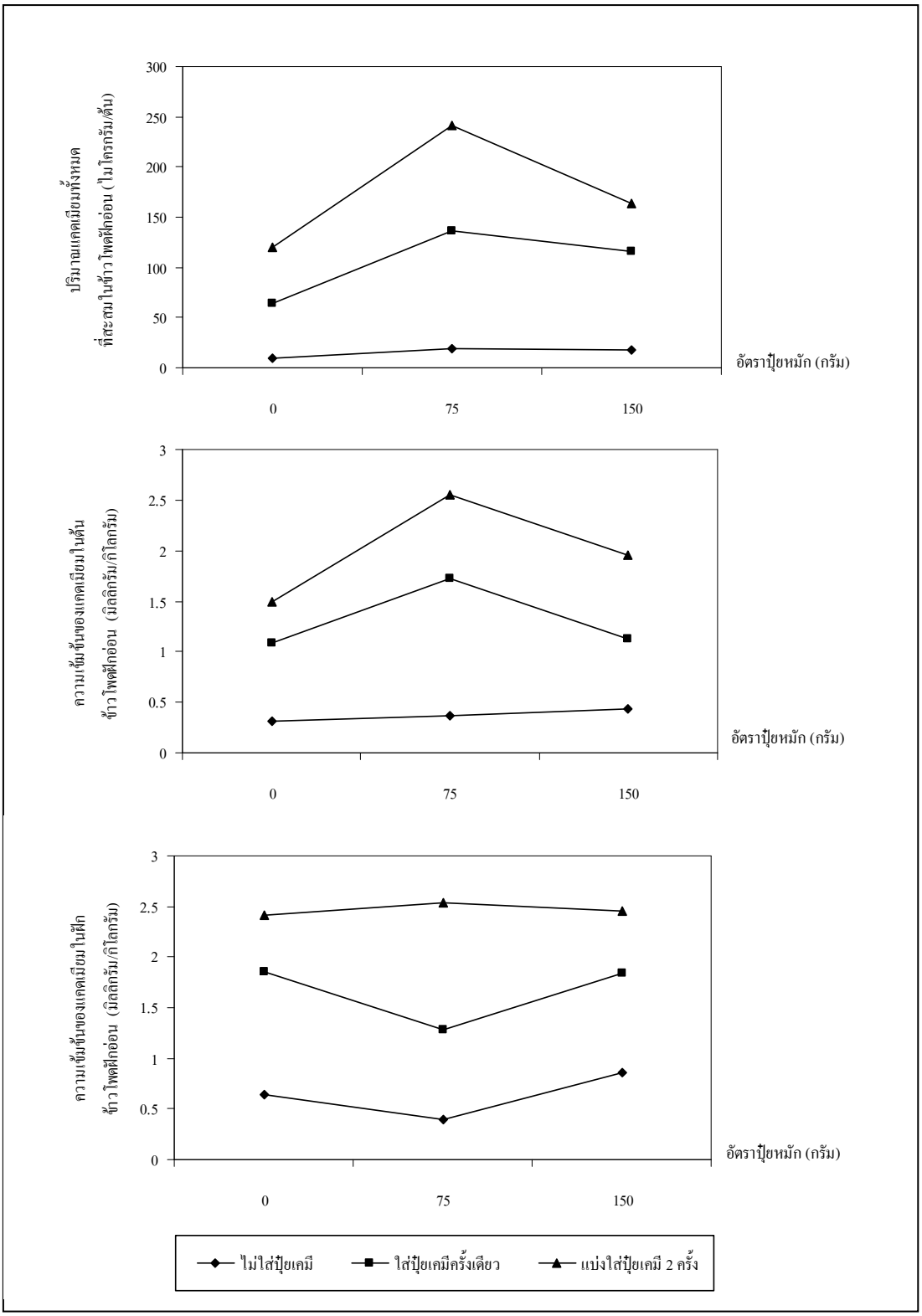
การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	0.64Bb	0.39Cc	0.86Aa	0.63c
ใส่ครั้งเดียว	1.21Aa	0.89Ab	0.98Aa	1.03a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	0.56Bb	1.26Aa	0.61Bb	0.81b
C-เฉลี่ย	0.81	0.84	0.81	0.82
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		17.57		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 2 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน

4.2 ตะกั่ว

4.2.1 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 และ 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม มีปริมาณเฉลี่ยของตะกั่วทั้งหมดไม่แตกต่างกันแต่ต่ำกว่า การไม่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณเฉลี่ยของตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75, 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก เท่ากับ 1326, 1312 และ1481 ไมโครกรัม/ต้น ตามลำดับ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว ปริมาณเฉลี่ยของตะกั่วทั้งหมดสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยปริมาณเฉลี่ยของตะกั่วทั้งหมดจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 2177, 1540 และ 401 ไมโครกรัม/ต้น ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก และใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 และ 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 13)

4.2.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 และ 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม มีความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75, 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก เท่ากับ 50.56, 50.83 และ 46.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ไม่ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักและใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นข้าวโพดฝักอ่อน ไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14)

4.2.3 ความเข้มข้นของตะกั่วในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก มีความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในฝักไม่แตกต่างกันแต่ต่ำกว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในฝักข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การไม่ใส่ปุ๋ยหมัก และการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม เท่ากับ 51.39, 49.30 และ 57.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี มีความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วไม่แตกต่างกันแต่ต่ำกว่า การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในฝักข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี และการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง เท่ากับ 51.39, 51.06 และ 55.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีไม่มีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของตะกั่วในฝักข้าวโพดฝักอ่อนที่ทำให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 13 ปริมาณตะกั่วทั้งหมด (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	190Bc	536Ac	476Ac	401c
ใส่ครั้งเดียว	2459Aa	1958Ba	2114Ba	2177a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	1793Ab	1483Bb	1343Bb	1540b
C-เฉลี่ย	1481A	1326B	1312B	1373.02
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		*		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		7.24		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 14 ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)ในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	48.33Ba	52.92Aa	49.58ABa	50.28
ใส่ครั้งเดียว	47.50Ba	44.58Bb	54.16Aa	48.75
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	43.75Ba	54.16Aa	48.75ABa	48.89
C-เฉลี่ย	46.53B	50.56A	50.83A	49.31
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		*		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		ns		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		5.67		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 15 ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

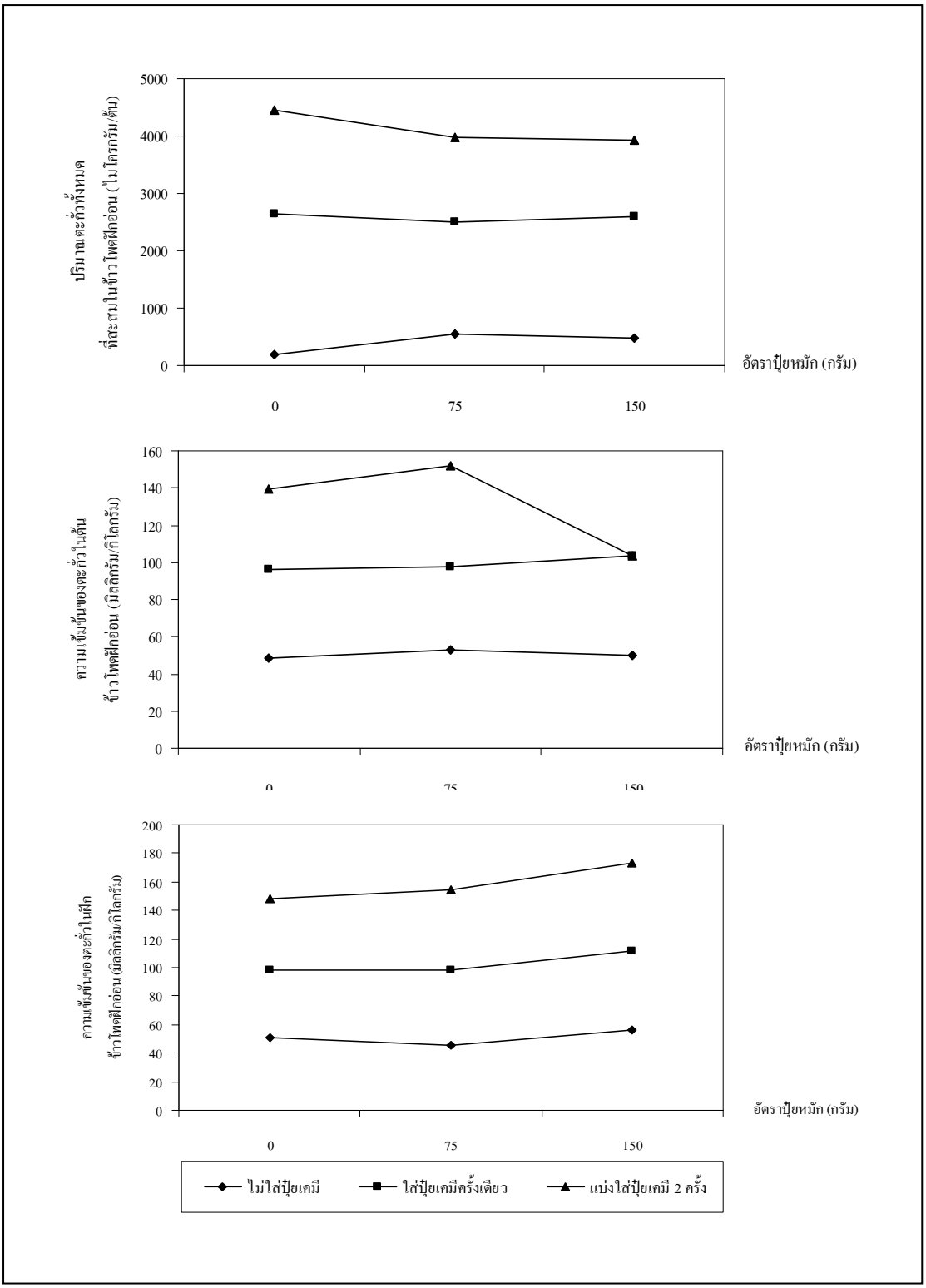
การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	51.24	45.42	56.53	51.06b
ใส่ครั้งเดียว	46.67	52.50	55.00	51.39b
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	50.00	56.25	61.39	55.88a
C-เฉลี่ย	49.30B	51.39B	57.64A	52.78
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		*		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		*		
F-test (C×F)		ns		
CV (%)		8.11		

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 3 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมตะกั่วทั้งหมด ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน

4.3 ปรอท

4.3.1 ปริมาณปรอททั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณปรอททั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ปริมาณปรอททั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว มีปริมาณเฉลี่ยของปรอททั้งหมดสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยปริมาณเฉลี่ยของปรอททั้งหมดจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 10.79, 8.48 และ 3.26 ไมโครกรัม/ต้น ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณปรอททั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนที่ทำให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16)

4.3.2 ความเข้มข้นของปรอทในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง เท่ากับ 132, 118 และ 108 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีไม่มีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของปรอทในต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ทำให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 17)

4.3.3 ความเข้มข้นของปรอทในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 และ 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75, 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม และการไม่ใส่ปุ๋ยหมักเท่ากับ 162 , 151 และ 107 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและ การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและ การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง เท่ากับ 163, 135 และ 122 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของปรอทในฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ความเข้มข้นของปรอทในฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกัน แต่ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 และ 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการแบ่งใส่สองครั้งทำให้ความเข้มข้นของปรอทในฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกัน แต่ต่ำกว่าไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 16 ปริมาณปรอททั้งหมด (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	2.66	3.77	3.35	3.26c
ใส่ครั้งเดียว	10.89	9.50	11.99	10.79a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	8.99	9.18	7.28	8.48b
C-เฉลี่ย	7.51	7.48	7.54	7.51
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		ns		
CV (%)		20.11		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นของปรอท (ไมโครกรัม/กิโลกรัม) ในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	138	129	131	132a
ใส่ครั้งเดียว	114	113	128	118ab
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	112	113	99	108b
C-เฉลี่ย	121	118	119	120
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		*		
F-test (C×F)		ns		
CV (%)		14.40		

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 18 ความเข้มข้นของปรอท (ไมโครกรัม/กิโลกรัม) ในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

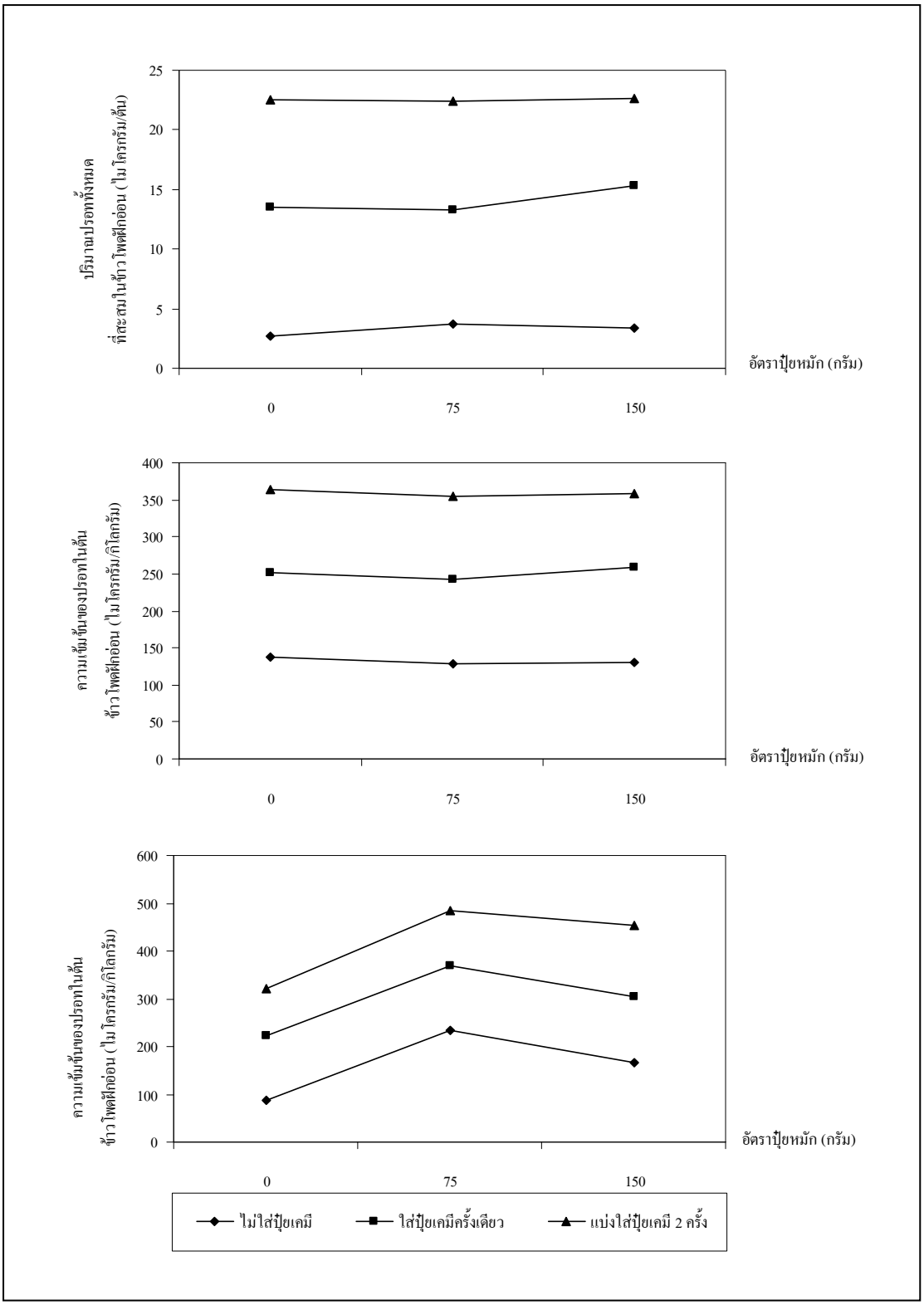
การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	88Cb	235Aa	167Ba	163a
ใส่ครั้งเดียว	134Aa	133Ab	138Ab	135b
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	99Bb	117Bb	149Aab	122c
C-เฉลี่ย	107B	162A	151A	140
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		*		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		7.57		

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 4 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมปรอททั้งหมด ความเข้มข้นของปรอทในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน

4.4 สารหนู

4.4.1 ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว มีปริมาณสารหนูทั้งหมดสะสมเฉลี่ยสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยปริมาณเฉลี่ยสารหนูทั้งหมดจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 43.43, 36.61 และ 4.88 ไมโครกรัม/ต้น ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งทำให้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง ทำให้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวทำให้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

4.4.2 ความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูไม่แตกต่างกันแต่ต่ำกว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูจากการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 และ 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม เท่ากับ 373, 366 และ 435 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมี โดยการใส่ครั้งเดียวและการแบ่งใส่สองครั้งไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อนจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 495, 479 และ 199 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในต้นข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 20)

4.4.3 ความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม ทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การไม่ใส่ปุ๋ยหมัก และการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม เท่ากับ 151, 125 และ 71 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้งมีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียว การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้ง และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 162, 150 และ 35 ไมโครกรัม/ต่อกิโลกรัม

อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมี มีอิทธิพลร่วมต่อความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกัน แต่ต่ำกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อนสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 กรัม/ดิน 8 กิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในฝักข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 19 ปริมาณสารหนูทั้งหมด (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	2.95Ac	6.35Ab	5.34Ac	4.88c
ใส่ครั้งเดียว	33.21Bb	44.34ABa	52.72Aa	43.43a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	48.91Aa	40.81Aa	20.10Bb	36.61b
C-เฉลี่ย	28.36	30.50	26.06	28.31
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		20.25		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นของสารหนู (ไมโครกรัม/กิโลกรัม) ในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	156Ac	221Ab	222Ab	199b
ใส่ครั้งเดียว	352Bb	555Aa	580Aa	495a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	612Aa	530Ba	296Cb	479a
C-เฉลี่ย	373B	435A	366B	391
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		*		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		*		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		9.99		

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 21 ความเข้มข้นของสารหนู (ไมโครกรัม/กิโลกรัม) ในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

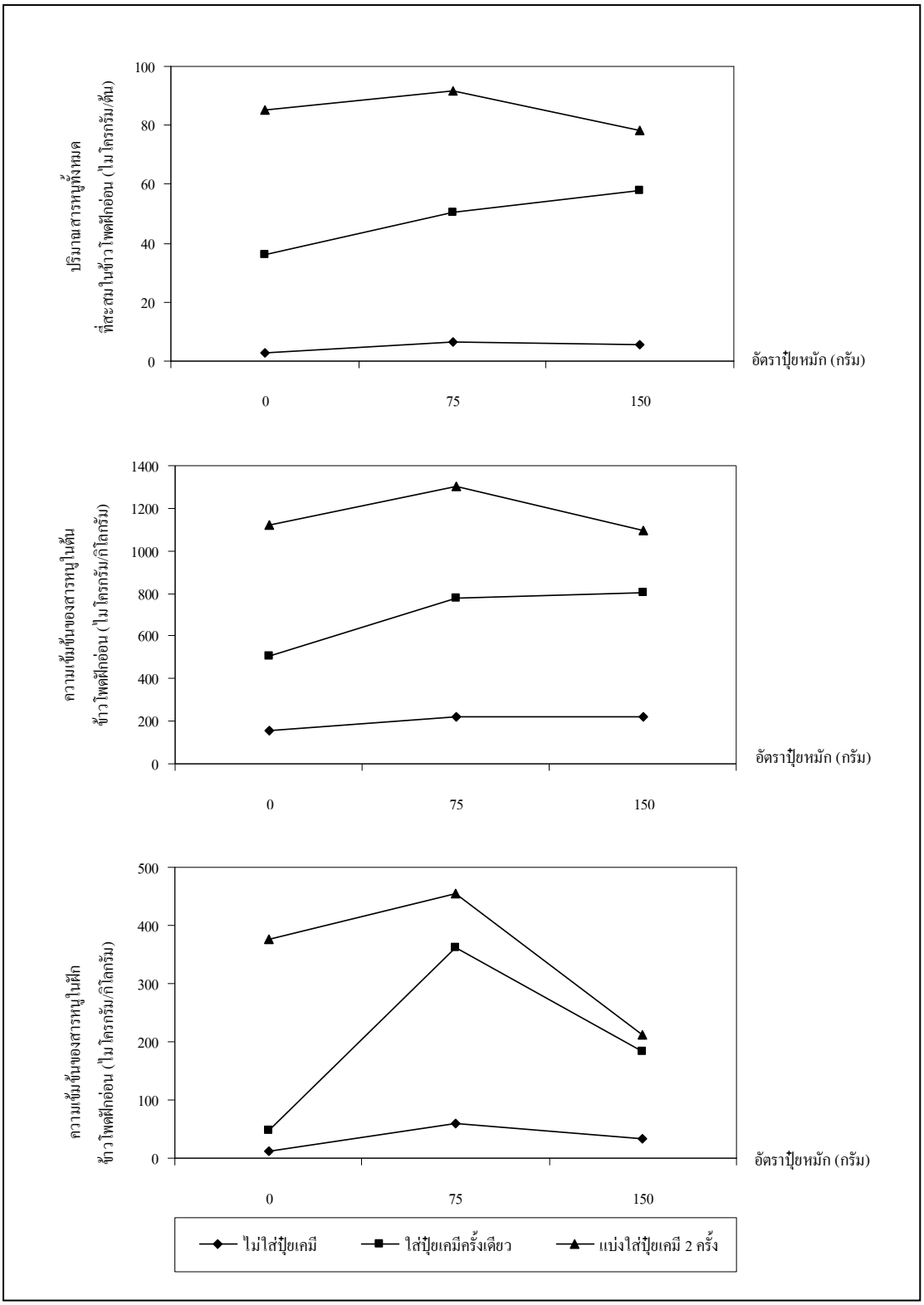
การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	12Cb	60Ac	34Bb	35b
ใส่ครั้งเดียว	36Cb	302Aa	149Ba	162a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	329Aa	92Bb	30Cb	150a
C-เฉลี่ย	125B	151A	71C	116
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		*		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		11.36		

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 5 อิทธิพลร่วมของอัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมสารหนูทั้งหมด ความเข้มข้นของสารหนูในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อน

วิจารณ์

1. อิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อการสะสมโลหะหนักทั้งหมดในข้าวโพดฝักอ่อน

เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (ตารางผนวกที่ 9, 10, 11 และ 12) จะพบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยหมักทั้งในอัตราที่ต่ำและสูงไม่ทำให้ปริมาณของโลหะหนักทั้งหมดในแต่ละตำรับทดลองแตกต่างกันหรือแตกต่างกันน้อยมาก จึงเป็นไปได้ว่า โลหะหนักที่พืชดูดกินน่าจะมาจากดินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการใส่ปุ๋ยหมักน่าจะไปมีผลต่อการดูดกินโลหะหนัก

จากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 ก./ดิน 8 กก. ทำให้มีการสะสมของแคดเมียมทั้งหมดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 ก./ดิน 8 กก. และไม่ใส่ปุ๋ยหมัก ตามลำดับ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า การใส่ปุ๋ยหมัก ทำให้ดินมีสภาพดี ร่วนซุย และไม่แน่นทึบ การดูดกินแคดเมียมของรากพืชจึงมากกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 และ 150 ก./ดิน 8 กก. การใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงและต่ำมีผลทำให้ดินร่วนซุยไม่แตกต่างกันได้ แต่การใส่ปุ๋ยหมักซึ่งเป็นอินทรียวัตถุมีผลต่อการเกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนกับแคดเมียม ซึ่งทำให้พืชดูดกินได้น้อยลง (Ram and Verloo, 1985) โดยการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 ก./ดิน 8 กก. นั้นมีส่วนที่เป็นอินทรียวัตถุมากกว่าปุ๋ยหมักอัตรา 75 ก./ดิน 8 กก. จึงเกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนกับแคดเมียมได้ดีกว่า จึงทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนน้อยกว่าจากการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75ก./ดิน 8 กก.

อิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในข้าวในข้าวโพดฝักอ่อน โดยทั่วไปตะกั่วเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสภาพการเคลื่อนที่ได้ยาก การเคลื่อนย้ายจากดินไปสู่ส่วนเหนือดินเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ราก และจากการทดลองพบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยหมักทำให้มีการสะสมตะกั่วสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักทั้งสองอัตรา อาจเนื่องมาจากการไม่ใส่ปุ๋ยหมักนั้น ทำให้ดินมีอินทรียวัตถุน้อยที่จะเกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนกับตะกั่ว ซึ่งการเกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนทำให้พืชดูดกินตะกั่วได้น้อย ส่วนการใส่ปุ๋ยหมักทั้งสองอัตรา มีการสะสมตะกั่วไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักเกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนกับตะกั่วและทำให้ตะกั่วมีความเสถียรค่อนข้างมาก ประกอบกับตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเคลื่อนที่ จึงทำให้สภาพการละลายได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ สุภมาศ (2545) ที่กล่าวว่า พืชจะดูดกินตะกั่วได้มากน้อยเพียงใดจากดินนั้นขึ้นอยู่กับสภาพการละลายได้ของตะกั่วในดิน ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อย ย่อมเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตะกั่วละลายได้มาก และพืชไม่สามารถดูดกินตะกั่วได้ ดังนั้น

การไม่ใส่ปุ๋ยหมักจึงทำให้พืชดูดกินตะกั่วจากดินเข้าไปสะสมได้มากกว่าการใส่ปุ๋ยหมักทั้งสองอัตรา

อิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อปริมาณปรอทและสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักไม่ทำให้ปริมาณปรอทและสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะว่า การไม่ใส่ปุ๋ยหมัก ดินจะมีสภาพไม่ดี ไม่ร่วนซุย และแน่นทึบ พืชจึงดูดกินปรอทและสารหนูได้ไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงและต่ำมีผลทำให้ดินร่วนซุยไม่แตกต่างกันได้ แต่การใส่ปุ๋ยหมักทำให้ปรอทที่อยู่ในดินและที่ปะปนมากับปุ๋ยหมัก เกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก ทำให้จำกัดการเคลื่อนย้ายปรอท (ศุภมาศ, 2545) พืชจึงดูดกินได้น้อย ส่วนการใส่ปุ๋ยหมักต่อการดูดกินสารหนูนั้น เนื่องจากสารหนูที่อยู่ในดินและที่ปะปนมากับปุ๋ยหมักน่าจะอยู่ในรูปแอนไอออนหลายรูปเช่น AsO_2^-, AsO_4^{3-}, $HAsO_4^{2-}$ และ $H_2AsO_4^-$ โดยเฉพาะ AsO_4^{3-} มีนิสัยคล้ายกับฟอสเฟต ซึ่งอาจถูกตรึงได้โดยแร่ดินเหนียวของชุดดินกำแพงแสน และอินทรียวัตถุจากปุ๋ยหมักที่ใส่ลงไป (Huang, 1975) ทำให้การเคลื่อนที่ของสารหนูในดินค่อนข้างจำกัด พืชจึงดูดกินสารหนูได้น้อยและไปสะสมที่พืชน้อย ดังนั้นการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยหมักจึงมีการสะสมปรอทและสารหนูทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. <u>อิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อการสะสมโลหะหนักทั้งหมดในข้าวโพดฝักอ่อน</u>

เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (ตารางผนวกที่ 9, 10, 11 และ 12) จะพบว่า การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมีไม่ทำให้ปริมาณของโลหะหนักทั้งหมดในแต่ละตำรับทดลองแตกต่างกันหรือแตกต่างกันน้อยมาก จึงเป็นไปได้ว่า โลหะหนักที่พืชดูดกินน่าจะมาจากดินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีน่าจะไปมีผลต่อการดูดกินโลหะหนัก ซึ่งจากการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนูทั้งหมดที่สะสมในข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีโดยการใส่ครั้งเดียวนั้น ทำให้มีการสะสมตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนูสูงกว่าการแบ่งใส่สองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวทำให้ความเข้มข้นของปุ๋ยสูง (ยงยุทธ, 2528) และไปไล่ที่ให้โลหะหนักออกมาอยู่ในสารละลายดิน ทำให้พืชดูดกินได้ดีขึ้น (ศุภมาศ, 2545)

3. <u>ความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อน</u>

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งในแต่ละส่วนของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่ามีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยส่วนใหญ่ ถ้าน้ำหนักแห้งน้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักจะสูง อาจเนื่องมาจากในแต่ละตำรับมีการดูดกินโลหะหนักไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในการคำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนัก จะคิดจากปริมาณโลหะหนักที่สะสมอยู่ในข้าวโพดฝักอ่อนต่อน้ำหนักแห้ง ดังนั้นต้นข้าวโพดที่มีน้ำหนักแห้งน้อย จะมีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงตามไปด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากความเข้มข้นของปรอทในต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของต้นและฝักจากตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี จะพบว่ามีน้ำหนักแห้งน้อยมากเมื่อเทียบกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของปรอทในต้นและฝัก จะพบว่า ความเข้มข้นของปรอทจากตำรับที่มีน้ำหนักแห้งน้อยคือไม่ใส่ปุ๋ยเคมี จะมีความเข้มข้นสูงกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี

จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมตะกั่วและปรอทในฝักมีค่าสูงกว่าในต้น ซึ่งสอดคล้องกับอรสุรางค์ (2547) ที่ศึกษาปริมาณโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกโดยใช้น้ำจากบ่อปรับสภาพน้ำเสีย โดยพบแคดเมียมมีการกระจายในฝักอ่อน ใบและลำต้นมากกว่าในเปลือกหุ้มฝัก ตามลำดับ ส่วนตะกั่วกระจายในฝักอ่อน เปลือกหุ้มฝักและลำต้นมากกว่าในใบ ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของสารหนูในต้นสูงกว่าในฝักของข้าวโพดฝักอ่อน อาจเป็นเพราะสารหนูเคลื่อนย้ายไปสู่ผลได้น้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ใบ (สุภมาศ, 2545) เมื่อนำความเข้มข้นในแต่ละส่วนไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข (2545) พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานแต่ในฝักสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทในต้นและฝักสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด แต่ความเข้มข้นของสารหนูในต้นและฝักต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในอาหารของแคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนู เท่ากับ 0.8, 1, 0.02 และ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากการทดลองในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ถึงแม้ดินที่นำมาทำการทดลองนี้จะมีปริมาณของตะกั่วและปรอทน้อยกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานสำหรับตะกั่วและปรอทในดินประเทศไทย เช่นเดียวกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองก็มีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเช่นกัน แต่พืชก็สามารถดูดกินได้และมีความเข้มข้นที่สูงกว่าค่ามาตรฐานอาหาร จึงน่าเป็นห่วงถึงอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ที่จะเกิดตามมา เพราะมนุษย์เป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้ายของห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษจึงสะสมอยู่ที่มนุษย์สูงที่สุด

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของปุ๋ยหมักและเวลาการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน สามารถสรุปได้ว่า

1. การใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อการสะสมโลหะหนักทั้งหมดของข้าวโพดฝักอ่อน

1.1 การไม่ใส่ปุ๋ยหมักทำให้การสะสมตะกั่วทั้งหมดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

1.2 การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 ก./ดิน 8 กก. ทำให้การสะสมแคดเมียมทั้งหมดสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

1.3 การใส่ปุ๋ยหมักไม่ทำให้การสะสมปรอทและสารหนูทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.4 การใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวทำให้การสะสมตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนูทั้งหมดสูงกว่าการแบ่งใส่สองครั้งและการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

2. การใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 ก./ดิน 8 กก. ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นมีค่าสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 ก./ดิน 8 กก. และการไม่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยหมักไม่ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในฝักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีโดยการใส่ครั้งเดียวทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งในต้นและในฝักสูงกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งและไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

3. การใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของตะกั่วในต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยการใส่ปุ๋ยหมักทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นมีค่าสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่เฉพาะการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 150 ก./ดิน 8 กก. ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในฝักสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีไม่ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ แต่การแบ่งใส่ปุ๋ยเคมีสองครั้งทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในฝักสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งเดียวและไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

4. การใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของปรอทในต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยการใส่ปุ๋ยหมักไม่ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยหมักทำให้ความเข้มข้นของปรอทในฝักสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ความเข้มข้นของปรอททั้งในต้นและในฝักสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. การใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของสารหนูในต้นและฝักข้าวโพดฝักอ่อน โดยการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 75 ก./ดิน 8 กก. ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในต้นและฝักสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีโดยใส่ครั้งเดียวและแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูทั้งในต้นและฝักสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

6. ความเข้มข้นของแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในฝักมีค่าสูงกว่าในต้น ส่วนความเข้มข้นของสารหนูในต้นสูงกว่าในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

7. ความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานแต่ในฝักสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ความเข้มข้นของตะกั่วในต้นและฝักมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ในอาหารคือ 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ความเข้มข้นของปรอทในต้นและฝักสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และความเข้มข้นของสารหนูในต้นและฝักต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

8. ควรทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนูในดิน หลังการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน เพื่อจะได้รู้ว่าในดินมีธาตุเหล่านี้เพิ่มขึ้นหรือลดลงหลังจากการปลูกเท่าไร

9. ค่ามาตรฐานอาหารของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ที่นำมาเปรียบเทียบนี้ไม่ได้ระบุว่าเป็นอาหารประเภทใดชนิดใด เป็นการเปรียบเทียบเพื่อดูแนวโน้มเท่านั้น

10. ควรแนะนำให้เกษตรกรทำปุ๋ยหมักเองและเลือกใช้วัสดุที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักน้อยที่สุด หรือควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในปุ๋ยหมักก่อนนำมาใช้

11. ควรตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักในอุปกรณ์และน้ำที่ใช้ในระหว่างการทดลอง

12. ควรปลูกพืชให้ได้ผลผลิตสูงๆ เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะหนักมีความเข้มข้นสูง

13. ควรมีการทดลองในสภาพไร่ เพื่อเปรียบเทียบผลการใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนักในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2541. **รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน.** ชุดดินจัดตั้งของประเทศไทย. แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/central/Ks.htm, 13 กรกฎาคม 2548.

_____. 2544. **คำแนะนำมาตฐานวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. **เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดฝักอ่อน.** ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก. 2537. **ภัยมืดจากสารพิษ.** ครั้งที่ 2. เชษฐสตูดิโอ แอนด์ กราฟิคดีไซด์, กรุงเทพฯ.

เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และ ภัสรา ชวประดิษฐ์. 2535. **การผลิตข้าวโพดฝักอ่อน.** กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ถวิล ครุฑกุล. 2526. **การเป็นพิษของอาร์เซนิคต่อมันสำปะหลังเมื่อใส่โซเดียมอาร์เซเนตลงไปในดินมาบบอนร่วนปนทราย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทวีสิทธิ์ อิศรเดช. 2536. **ปริมาณตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และสารหนูในปุ๋ยหมักไฮเทคจากขยะของเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวักเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ: การวิเคราะห์ดินและพืช.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บวร ไชยยา. 2530. **ความเข้มข้นของแมงกานีส แคดเมียม และตะกั่วในน้ำและดินตะกอนจากชั้นดินคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ บริเวณลุ่มน้ำชี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุปผา แช่มประเสริฐ. 2527. **ผลกระทบของแคดเมียมที่มีต่อแอคติเวตเตตสลัดจ์ที่มีต่อพืชผัก และธาตุอาหารพืชบางชนิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา พากเพียร, เกศรัชฎา กลั่นกรอง, ประพิศ แสงทอง และ พิชิต พงษ์สกุล. 2547 ก. แนวทางการควบคุมและการบำบัดสารโลหะหนักที่ตกค้างในดิน. **วารสารดินและปุ๋ย** 26: 31-36.

_____, ประพิศ แสงทอง และ พิชิต พงษ์สกุล. 2547 ข. การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและพืชอาหารในประเทศไทย. **วารสารดินและปุ๋ย** 26: 62-68.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2525. **แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2543. การประเมินการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. **วารสารดินและปุ๋ย** 23 (1): 29-37.

พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2525. **เคมีสภาวะแวดล้อม.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

มนูญ ไพบูลย์ และ สิทธิชัย อินทรงาม. 2520. ระดับปรอทในปัสสาวะของประชากรที่อาศัยในน่านน้ำไทย, น. 78. *ใน* **รายงานสัมมนาปัญหาของมลภาวะโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย** . สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ไมตรี สุทธิจิตต์. 2531. **สารพิษรอบตัวเรา.** ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ดาวคอมฟิวกราฟิค, เชียงใหม่.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2528. **หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย.** ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชจำกัด. กรุงเทพ.

ยุพดี เสตพรรณ. 2544. **ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม.** คณะมนุษย์ศาสตร์และสังคม, สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปทุมธานี.

รพีพัฒน์ ชคัตประกาศ. 2542. อาชีวเวชศาสตร์ ฉบับพิษวิทยา, น. 49. *ใน* **โครงการตำรากรมอนามัย** . กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

โรจน์ เทพพูลพล. 2525. **รายงานการสำรวจดิน จังหวัดนครปฐมฉบับที่ 331.** 84.

วรพจน์ รัมพณีนิล. 2530. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย.** ยูไนเต็ดท์บุ๊คส์, กรุงเทพฯ.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. **ภาวะมลพิษของดินจากการใชสารเคมี.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศศิเกษม ทองหยงค์. 2520. **โลหะจากพื้นโลก.** ชวนการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. 2546. **สรุปรายงานผลงานวิจัยพืชไร 2546.**

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2541. **พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม.** โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุธรรม แย้มนิยม และ งามพิศ แย้มนิยม. 2515. **เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา เล่มที่ 12.** 38.

สุภาพร พงศิธรพฤกษ์. 2545. **การสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชผัก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สุวรรณี ภูธรธราช. 2537. **การสะสมของสารหนูในเนื้อเยื่อต่างๆ ของพืชบางชนิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 2545. **พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 พร้อมกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงสาธารณสุข.** ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2549. **ปริมาณและมูลค่าสินค้าขาออกเกษตรกรรม.** ข้าวโพดฝักอ่อน. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/statistic/export/1301YC.xls, 25 กันยายน 2549.

สำราญ เพ็ชร์ชระ. 2533. **การศึกษาปริมาณแมงกานีส แคดเมียม และตะกั่วในน้ำและตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ ทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรพรรณ์ เมธาดิลกกุล. 2535. **โรคพิษตะกั่ว.** สำนักอาชีวเวชศาสตร์และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อรสุรางค์ อ้นจันทึก. 2547. **การศึกษาโลหะหนักบางชนิดในข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกโดยใช้น้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alloway, B.J. 1990. **Heavy Metals in Soils.** Halsted, New York.

Amrhein, C. and J.E. Strong. 1990. The Effect of Deicing Salts on Trace Metal Mobility in Roadside Soils. **Journal of Environmental Quality** 19 (4): 765-772.

Ashton, P.M. and A.S. Crafts. 1978. **Mode of Action of Herbicides.** Wiley - Interscience Publishers, New York.

Berman, E. 1980. **Toxic Metals and Their Analysis.** Cambridge University Press, London.

Bram, E. and W. Anthony. 1983. Cadmium and Lead through and agricultural food chain. **Sci. Total Environ** 28: 295-307.

Brooks, R.P. 1993. **Biological Methods of Prospecting for Minerals.** Wiley, New York.

Cmarko, V. 1963. Hygienic of arsenic exhalations of ENO plant (in Slovak, English summary). **Cesk. Hyg** 8: 359-362.

Davis, P.H., G.R. Dulude, R.M. Griffin, W.R. Matson and E.W. Zink. 1978. Determination of total arsenic at the nanogram level by high-speed anodic stripping voltammetry. **Anal. Chem** 50: 137-143.

D'ltri, F.M. 1975. **Mercury in The Aquatic Ecosystems.** Ann Arbor Science Publishers Inc., Michigan.

Environmental Protection Agency. 1979. **Water Related Environmental fate of 129 priority pollutions : volume 1.** United State Environmental Protection Agency, Washington, DC..

Food and Agriculture Organization and World Health Organization. 1972. **Evaluation of Certain Food Additive and Contaminaants Mercury Lead and Cadmium, Sixteenth Report of Joint FAO/WHO Export Commition on Food Additive.** 280.

Food and Environmental Hygiene Department. 2006. **Maximum Permitted Concentration of Certain Metals Present in Specific Food.** Hong Kong. Available Source: http://www.fehd.gov.hk/safefood/foodlaw_mc.html#mc_sch2, August 25, 2006.

Goldwater, J.L. and W. Stopford. 1977. **Mercury of The Chemical Environment.** Blackie & Son Ltd., London.

Harrison, R.M. and D.D.H. Laxcn. 1981. **Lead Pollution Causes and Control.** The University Press, Cambridge.

Hirsch, D. and A. Banin. 1990. Cadmium speciation in soil solution. **J. Environ. Qual.** 19: 366-372.

Huang, P.M. 1975. Retention of arsenic by hydroxy-aluminum. on surfaces of micaceous mineral colloids. **Soil Sci. Soc.Am. Proc.** 39: 271.

Hungspreugs, M. 1988. Heavy metals and other non-oil pollutants in Southeast Asia. **J. Human Environ** 17 (3): 178-182.

Jernelov, A. 1969. **Conversion of Mercury Compounds.** Current Research of Persistent Pesticides, Charles E Thomas Springfield, Illinois.

Keeppe, D.E. and R.J. Bettany. 1982. Lead effect on corn mitochondrial respiration. **Science** 167: 1376-1377.

Lagerwerff, J.V., W.H. Armiger and A.W. Specht. 1972. **Uptake of Lead by Alfafa and Corn form Soil and Air.** n.p.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Development Department.** Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok.

Lee, I.P. 1983. Effects of environmental metals on male reproduction, pp. 253-273. *In* T.W. Clarkson, G.F. Nordberg and P.R. Sager, eds. **Reproductive and Developmental Toxicity of Metals.** Prenum Press, New York.

Longan, T.J. and R.E. Feltz. 1985. Plant uptake of cadmium form acid extracted anaerobically digested sewage. **J. Environ. Qual.** 14 (4): 495-550.

Macleod, J.C. and E. Pessah. 1973. Temperature effect on mercury accumulation, toxicity and metabolic rate in rainbow trout (Salmo gairdneri). **J. Fish. Res. Bd. Can.** 30: 485-492.

Mahaffey, K.R., J.L. Annest, J. Roberts and R.S. Murphy. 1982. Estimates of blood lead levels, Association with selected demographic and socis-economic factors. **Engl J Med.** 307: 573-579.

McNeely, R.N., V.P. Neimanis and L. Dwyer. 1979. **Water Quality Source Book.** Guide to Water Parameters, Ottawa.

Matsumura, F., Y. Gotoh and G.M. Boush. 1972. Factors influencing translocation and transformation of mercury in river sediment. **Bull. Environ. Con. And Toxcol.** 8 (5): 267-272.

National Academy of Sciences. 1977. **Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants : Arsenic.** National Academy of Sciences, Washington, DC..

Nobbs, C.L. and D.W. Pearce. 1976. The economics of stock pollutants : The example of cadmium. **Intern. J. Environ. Studies** 8: 245-255.

Obrocheva, N.V., E.I. Bystrova and I.V. Sergin. 1998. Root growth responses to lead in young maiz seedling. **Plant and Soil** 200 (1): 55-61.

Pepper, I.L., D.F. Bezdicek, A.S. Baker and J.M. Sims. 1983. **Silage Corn Uptake of Sludge Applied Zn and Cd as Effected by Soil pH.** n.p.

Pecora, W.T. 1979. **Mercury in The Environment , Geological survey professional paper.** United States Government printing office, Washington, DC..

Peter, A.A. 1955. **Biochemistry of Some Toxic Agents. Mode of Action of Herbicides.** Wiley-Interscience Publishers, New York.

Ram, N. and M. Verloo. 1985. Influence of organic materials on the uptake of heavy metals by corn in a polluted belgian soil. **Pedologie** 35: 147-153.

Reilly, C. 1980. **Metal Contamination of Food.** Applied Science Publisher Ltd., London.

Schroeder, H.W. 1982. Sampling and analysis of mercury and its compounds in atmosphere. **Environ. Sci. Technol.** 11 (7): 394A-400A.

Sheldon, R.P., M.A. Warner, M.E. Thampson and H.W. Peirce. 1953. Stratigraphic sections of the phosphoria formation in Idaho. **Survey. Cric.** 304: 1.

Stewart, J.W.B. and J.R. Bettany. 1982. Methods of soil analysis part 2, *In* Microbiological Properties, ed. **Agronomy American Society of Agronomy.** Inc. Publisher Madison, Wisconsin.

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

Tuekain, K.K and K.H. Wedepohl. 1961. Distribution of elements in some major units of the earth's crust. **Geol. Soc. Amer. Bull.** 72 (2): 175-192.

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

Walsh, L.M. and D.R. Keeney. 1975. Behavior and phytotoxicity of inorganic arsenicals in soil, *In* E.A. Woolson, ed. **Arsenical Pesticides.** American Chemical Society, Washington, DC..

World Health Organization. 1981. Health impact of acidic of deposition. **Sci. Total Environ.** 52: 157-187.

Winterigham, P.P. 1972. **Introduction Mercury Contamination in Man and His Environment.** International Atomic Energy Agency, Vienna.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

(Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

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

ระดับ (rating)		พิสัย (range)
กรดจัดมาก	Extremely acid	<4.5
กรดจัด	Very strong acid	4.5-5.5
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. อินทรียวัตถุ (Organic matter) (%organic carbon × 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

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ในปุ๋ยหมัก

โลหะหนัก/สารพิษ	ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ (mg/kg)
สารหนู (arsenic)	50
แคดเมียม (cadmium)	5
โครเมียม (chromium)	300
ทองแดง (copper)	500
ตะกั่ว (lead)	500
ปรอท (mercury)	2

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2544)

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.) ในดินที่ใช้เพาะปลูกของไทย

ธาตุ	พิสัย	ค่ามัธยฐาน	ระดับเกณฑ์พื้นฐาน	มาตรฐานของสหภาพยุโรป
สารหนู	0.08-124	2.70	30	-
แคดเมียม	0.01-0.29	0.01	0.15	3
โคบอลต์	0.10-113	2.80	20	100
โครเมียม	0.14-295	15.30	80	100
ทองแดง	0.16-350	6.90	45	100
ปรอท	0.01-0.27	0.03	0.10	1
นิกเกิล	0.10-270	6.20	45	50
ตะกั่ว	0.10-550	9.00	55	100
สังกะสี	0.10-140	14.00	70	300

ที่มา: ปรีดา และคณะ (2547 ข)

ตารางผนวกที่ 4 ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ (maximum permitted concentration) ของอาหารและผลิตผลเกษตรบางชนิดของประเทศออสเตรเลีย

ชนิด	ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ (มก./กก.)			
	สารหนู	แคดเมียม	ตะกั่ว	ปรอท
อาหารเหลว	0.1	-	0.20	0.03
ผลไม้	1.0	0.1	0.1	0.03
ข้าว	-	0.1	0.2	-
ถั่วลิสง	-	0.05	0.2	-
พืชหัว	-	0.1	-	-
พืชผัก	1.0	0.1	0.1	0.03

ที่มา: พิชิต และ สุรสิทธิ์ (2543)

ตารางผนวกที่ 5 มาตรฐานของโลหะหนักที่ทำการศึกษา ตามมาตรฐานโลหะหนักในอาหาร

โลหะหนักที่ทำการศึกษา	หน่วย	ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้
ปรอท	มก./กก.	ไม่เกิน 0.02*
		ไม่เกิน 0.05**
ตะกั่ว	มก./กก.	ไม่เกิน 1.0*
แคดเมียม	มก./กก.	ไม่เกิน 0.8*
สารหนู	มก./กก.	ไม่เกิน 2.0*

หมายเหตุ * อาหารทั่วไป

** อาหารทะเล

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข (2545)

ตารางผนวกที่ 6 ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ (maximum permitted concentration) ของอาหารในฮ่องกง

โลหะหนัก	ชนิดอาหาร	ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ (มก./กก.)
สารหนู	อาหารแข็ง เช่น	1.4
	(I) ปลาและผลิตภัณฑ์จากปลา	
	(II) สัตว์น้ำชนิดมีเปลือกและผลิตภัณฑ์	
	อาหารเหลวทุกชนิด	0.14
แคดเมียม	ผักและธัญพืช	0.1
	ปลา, เนื้อปู, หอยนางรม, กุ้งนาง และกุ้งฝอย	2
	เนื้อสัตว์และสัตว์ปีก	0.1
ตะกั่ว	อาหารแข็งทุกชนิด	6
	อาหารเหลวทุกชนิด	1
ปรอท	อาหารแข็งทุกชนิด	0.5
	อาหารเหลวทุกชนิด	0.5

ที่มา: Food and Environmental Hygiene Department of Hong Kong (2006)

ตารางผนวกที่ 7 แสดงการเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m^{-1}	1 mS/cm = dS m^{-1}
		1μ/cm = 0.001 dS m^{-1}
Cation exchange capacity	cmol (+) kg^{-1}	1 meq/100g = cmol (+) kg^{-1}
Anion 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 = 1μg kg^{-1}
	mg kg^{-1}	1 ppt = 1 ng kg^{-1}
Mass concentration	g L^{-1}	1% = 10g L^{-1}
	mg L^{-1}	1 ppm = 1 mg L^{-1}
	μg L^{-1}	1 ppb = 1μg L^{-1}
Density	Mg m^{-3}	1 g/cm^3 = 1Mg 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 = 3.7×10^{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 8 ปริมาณโลหะหนักที่ติดมากับดินและปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ดิน/ปุ๋ย	ปริมาณของโลหะหนัก			
	Cd (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})	Hg (µg kg^{-1})	As (µg kg^{-1})
ดินกำแพงแสน (1 กิโลกรัม)	4.55	34.45	124	3669
ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (8 กรัม)	0.019	0.38	0.90	0.33
ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (4 กรัม)	0.002	0.1	0.47	0.25
ปุ๋ยหมัก 75 กรัม	0.16	5.96	14.48	48.3
ปุ๋ยหมัก 150 กรัม	0.32	11.92	28.95	96.6

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง (มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)		
	0	75	150
ไม่ใส่	36.40	36.475	36.72
ใส่ครั้งเดียว	36.42	36.58	36.739
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	36.42	36.58	36.739

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง (มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)		
	0	75	150
ไม่ใส่	275.60	281.56	287.53
ใส่ครั้งเดียว	276.08	282.04	288.00
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	276.08	282.04	288.00

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณปรอททั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง (มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)		
	0	75	150
ไม่ใส่	1.0	1.1	1.1
ใส่ครั้งเดียว	1.0	1.1	1.1
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	1.0	1.1	1.1

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณสารหนูทั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง (มิลลิกรัม/ดิน 8 กิโลกรัม)

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)		
	0	75	150
ไม่ใส่	29.35	29.40	29.45
ใส่ครั้งเดียว	29.35	29.40	29.45
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	29.35	29.40	29.45

ตารางผนวกที่ 13 ค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังปลูก

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	0.31Bc	0.42Ab	0.44Ab	0.39c
ใส่ครั้งเดียว	0.49Cb	0.92Aa	0.85Ba	0.76a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	0.64Ba	0.91Aa	0.34Cc	0.63b
C-เฉลี่ย	0.48C	0.75A	0.54B	0.59
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		6.54		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 14 ค่า pH ของดินหลังปลูก

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	7.1Aa	6.7Ba	7.0Aa	6.9a
ใส่ครั้งเดียว	6.1Cc	6.6Ba	6.8Ab	6.5c
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	6.5Cb	6.7Ba	7.1Aa	6.8b
C-เฉลี่ย	6.5C	6.7B	6.9A	6.7
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		1.14		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 15 ความสูง (เซนติเมตร) ของต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่อายุ 20 วัน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	14.00Cc	15.33Bb	17.00Ab	15.44c
ใส่ครั้งเดียว	21.00Aa	19.67Ba	19.33Ba	20.00a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	18.67Ab	18.67Aa	17.33Ab	18.22b
C-เฉลี่ย	17.89	17.89	17.89	17.88
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		3.23		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 16 ความสูง (เซนติเมตร) ของต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่อายุ 40 วัน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	38.33Bb	43.00Ac	43.00Ac	41.44c
ใส่ครั้งเดียว	50.33Ca	83.67Aa	73.00Ba	69.00a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	51.67Ba	63.33Ab	51.33Bb	55.44b
C-เฉลี่ย	46.7C	63.33A	55.78B	55.29
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		3.30		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 17 ความยาว (เซนติเมตร) ของฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	5.11Bb	4.86Bc	7.67Ab	5.88c
ใส่ครั้งเดียว	9.29Aa	9.92Ab	9.58Aa	9.59b
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	9.62Ba	10.50Aa	10.25Aa	10.13a
C-เฉลี่ย	8.01C	8.43B	9.17A	8.53
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		4.61		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณแคดเมียม (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	5.47Cb	12.72Ac	9.05Bc	9.08c
ใส่ครั้งเดียว	33.68Ca	94.35Aa	77.71Ba	68.58a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	34.71Ba	72.74Ab	23.82Cb	43.76b
C-เฉลี่ย	24.62C	59.93A	36.86B	40.47
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		6.03		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณแคดเมียม (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	4.29	7.73	8.04	6.69c
ใส่ครั้งเดียว	21.18	23.57	21.24	21.99b
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	21.31	28.37	24.18	24.66a
C-เฉลี่ย	15.59B	19.89A	17.82A	17.77
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		*		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		ns		
CV (%)		11.96		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณตะกั่ว (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	168Bc	482Ac	402Ac	351c
ใส่ครั้งเดียว	2283Aa	1729Ca	1896Ba	1969a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	1586Ab	1231Bb	1175Bb	1331b
C-เฉลี่ย	1346A	1147B	1158B	1217
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		8.03		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณตะกั่ว (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	21.74Bb	53.66Ab	74.15Ac	49.85b
ใส่ครั้งเดียว	175.88Aa	228.79Aa	217.91Aa	207.53a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	206.94Ba	252.22Aa	168.83Bb	209.33a
C-เฉลี่ย	134.86B	178.22A	153.63B	155.57
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		*		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		*		
CV (%)		14.61		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 22 ปริมาณปรอท (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	2.61	3.50	3.11	3.07c
ใส่ครั้งเดียว	10.48	9.01	11.56	10.35a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	8.66	8.69	6.76	8.04b
C-เฉลี่ย	7.25	7.07	7.14	7.15
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		ns		
CV (%)		21.22		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 23 ปริมาณปรอท (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	0.05Bb	0.27Ab	0.24Ab	0.18b
ใส่ครั้งเดียว	0.41Aa	0.48Aa	0.43Aa	0.44a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	0.32Ba	0.49Aa	0.51Aa	0.44a
C-เฉลี่ย	0.26B	0.41A	0.39A	0.35
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		*		
CV (%)		13.49		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 24 ปริมาณสารหนู (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในต้นข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	2.94Ac	6.28Ab	5.29Ac	4.84c
ใส่ครั้งเดียว	33.10Bb	43.24ABa	52.26Aa	42.87a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	47.81Aa	40.42Aa	20.00Bb	36.08b
C-เฉลี่ย	27.95	29.98	25.85	27.93
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		ns		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		20.68		

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

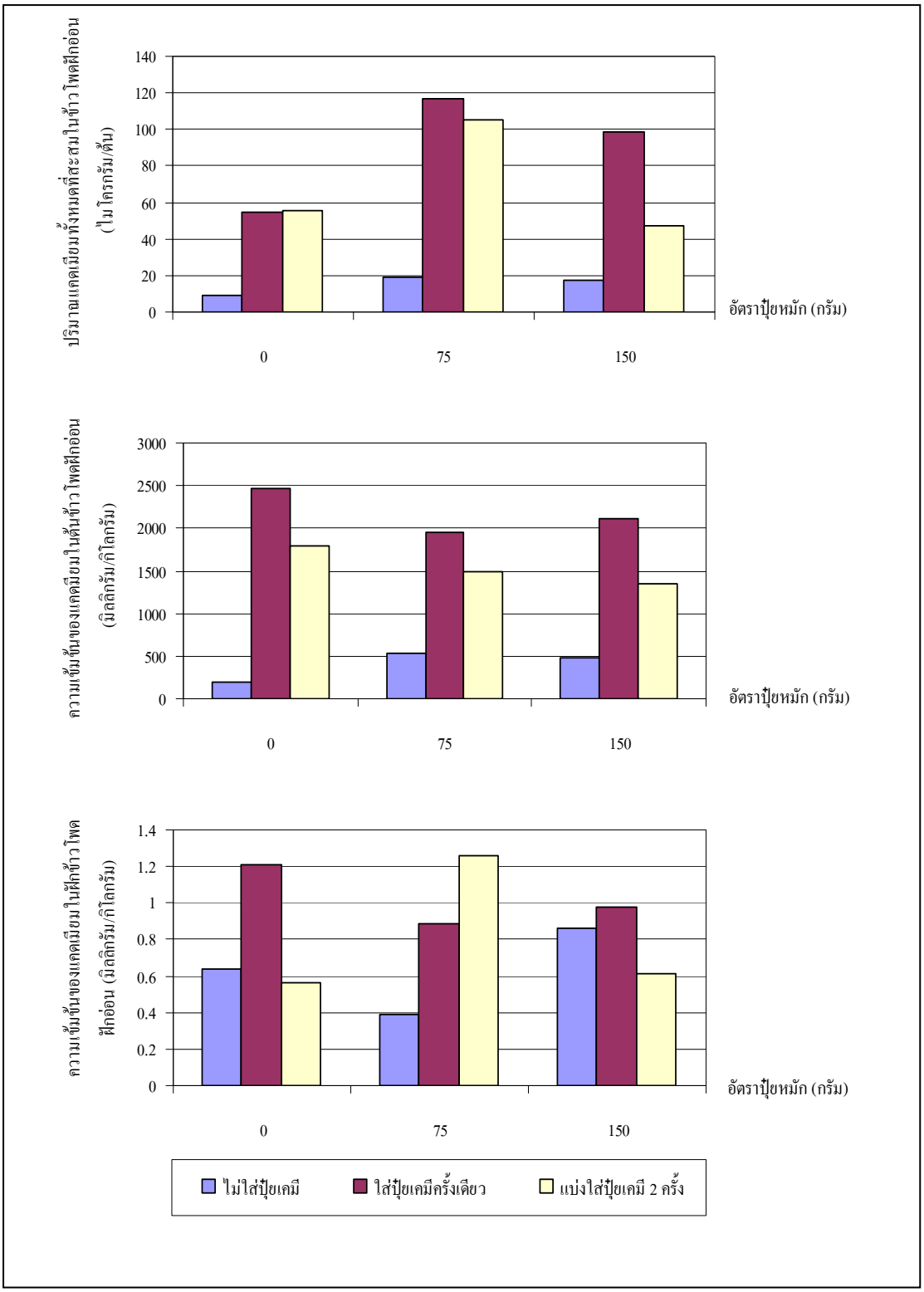
ตารางผนวกที่ 25 ปริมาณสารหนู (ไมโครกรัม/ต้น) ที่สะสมในฝักข้าวโพดฝักอ่อน

การใส่ปุ๋ยเคมี	อัตราปุ๋ยหมัก (กรัม)			F-เฉลี่ย
	0	75	150	
ไม่ใส่	0.01Cb	0.07Ac	0.05Bb	0.04b
ใส่ครั้งเดียว	0.11Cb	1.09Aa	0.46Ba	0.55a
แบ่งใส่ 2 ครั้ง	1.09Aa	0.38Bb	0.10Cb	0.52a
C-เฉลี่ย	0.40B	0.51A	0.20C	0.37
F-test อัตราปุ๋ยหมัก (C)		**		
F-test การใส่ปุ๋ยเคมี (F)		**		
F-test (C×F)		**		
CV (%)		24.37		

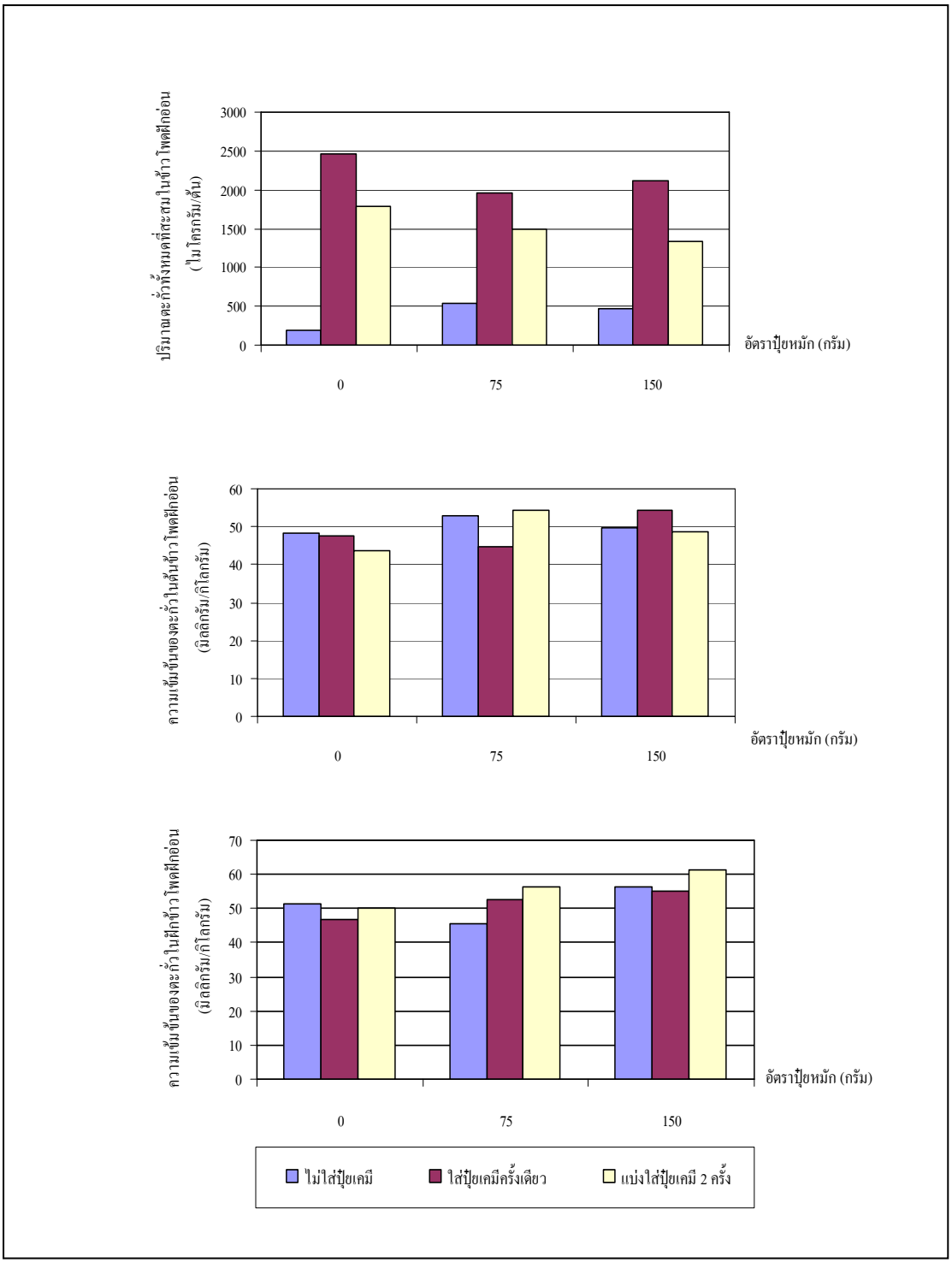
หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

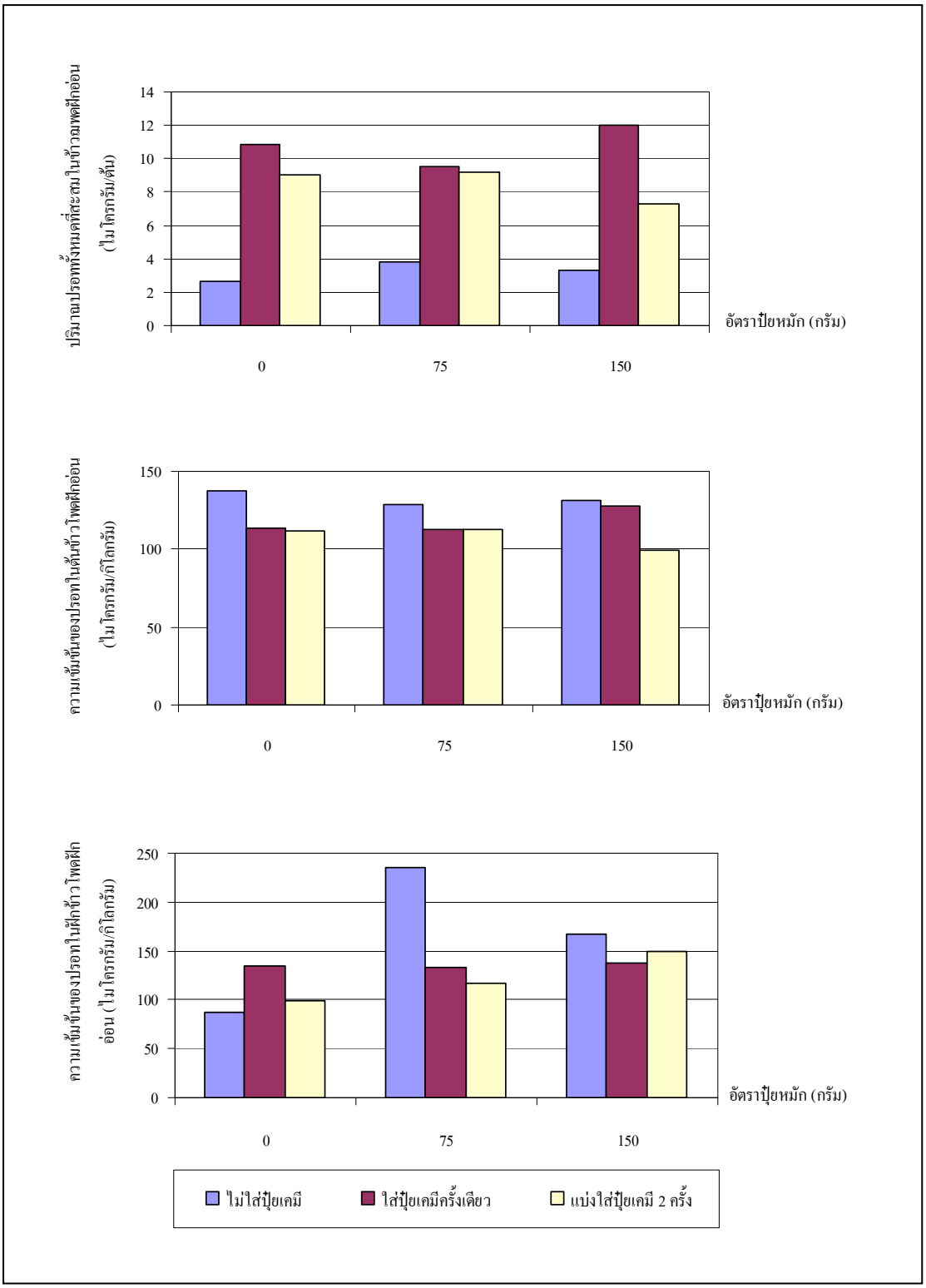
ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT



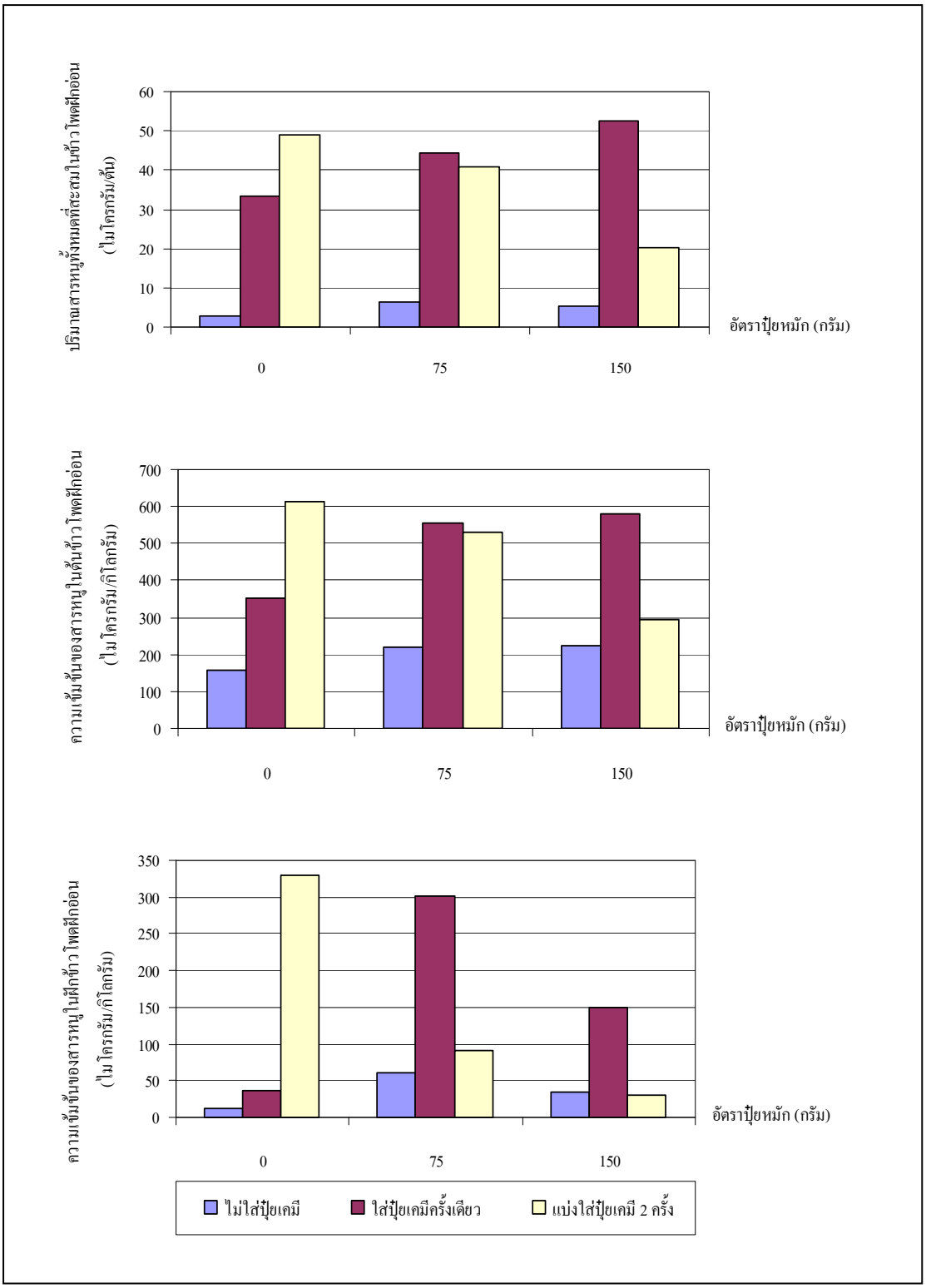
ภาพผนวกที่ 1 ปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดและความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน



<u>ภาพผนวกที่ 2</u> ปริมาณการสะสมตะกั่วทั้งหมดและความเข้มข้นของตะกั่วในต้นและฝักของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน



<u>ภาพผนวกที่ 3</u> ปริมาณการสะสมปรอททั้งหมดและความเข้มข้นของปรอทในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน



<u>ภาพผนวกที่ 4</u> ปริมาณการสะสมสารหนูทั้งหมดและความเข้มข้นของสารหนูในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนที่อัตราปุ๋ยหมักและการใส่ปุ๋ยเคมีต่างกัน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนิภาพร สุวรรณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 มกราคม 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดร้อยเอ็ด
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (พืชสวน) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (พ.ศ. 2547)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-