



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

..... ปฐพีวิทยา

สาขา

..... ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง แนวทางการลดการสะสมโลหะหนักในพื้นที่ผลิตผักชุมชนเมือง จ.สระบุรี

Approach for Reduction of Heavy Metal Accumulation in Vegetable Growing Area
: Suburb of Saraburi Province

นามผู้วิจัย นายสมพร เรืองศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศวพร ศุภผล, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(..... ศาสตราจารย์สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, D.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(..... รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

แนวทางการลดการสะสมโลหะหนักในพื้นที่ผลิตผักชุมชนเมือง จ.สระบุรี

Approach for Reduction of Heavy Metal Accumulation in Vegetable Growing Area
: Suburb of Saraburi Province

โดย

นายสมพร เรืองศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2556

สมพร เรื่องศรี 2556: แนวทางการลดการสะสมโลหะหนักในพื้นที่ผลิตผักอบชุมชนเมือง จ.สระบุรี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภพร สุขผล, ปร.ค. 95 หน้า

การขยายตัวของชุมชนเมืองส่งผลให้มีการเพิ่มจำนวนของเส้นทางการคมนาคมอย่างรวดเร็ว ควบคู่ไป
กับความหนาแน่นของการจราจรส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่ดินและพื้นที่การเกษตรริมถนน นำมา
สู่การปนเปื้อนโลหะหนักในผลผลิตทางการเกษตร จึงได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อวางแนวทางในการลดการปนเปื้อน
ในผลผลิตผักจากพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี โดยทำการศึกษา 2
การทดลองคือ การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดผักต่อการสะสมสังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu)
ปรอท (Hg) สารหนู (As) และนิเกิล (Ni) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำ
การทดลองในผัก 6 ชนิด 3 ซ้ำ คือ สาระแห่น กะเพรา ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักคะน้า และผักบุ้ง ผล
วิเคราะห์ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักพบว่า สาระแห่นและผักกะเพรามีการสะสมโลหะหนักทุกชนิด
อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคแต่พบว่า ผักกาดขาวปลีและผักกาดเขียววางตุ้ง มีปริมาณการสะสม
แคดเมียมและตะกั่ว สูงกว่าค่ามาตรฐานอาหารสากล (Codex) ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
น้ำหนักสด ส่วน ผักคะน้าและผักบุ้งมีการสะสมแคดเมียมสูงกว่าค่ามาตรฐานอาหารสากล (0.3 มิลลิกรัมต่อ
กิโลกรัมสด)

การผลิตผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักคะน้า และผักบุ้งในพื้นที่มีการสะสมโลหะหนักอยู่ใน
ระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค จึงเป็นที่มาของการทดลองที่ 2 เพื่อหาแนวทางในการลดปริมาณการสะสม Cd
และ Pb โดยปลูกพืชทดลองภายใต้สภาพ โรงเรือน วางแผนการทดลองแบบ CRD 9 ดำรับการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนี้
ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กลอกไฮดรอกไซด์ (CP+IO), หินฟอสเฟต (RP), Calcium phosphate (CMP), Diammonium phosphate
(DAP), Sodium metasilicate (SMC), ฟางข้าว (RT), Zeolite (Ze), Zinc sulfate (Zn) และดำรับควบคุม (Control)
ผลการทดลอง พบว่าดำรับการทดลองที่ใช้ CP+IO และ RP มีประสิทธิภาพในการลดการสะสม Cd และ Pb ในผัก
ทั้ง 4 ชนิด โดยพบว่า การใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กลอกไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน สามารถลดการ
สะสม Cd ในผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักคะน้า และผักบุ้ง ได้และการใช้ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อ
กิโลกรัมดิน สามารถลดการสะสม Cd ในผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักคะน้า และผักบุ้งได้

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Somporn Rueangsri 2013: Approach for Reduction of Heavy Metal Accumulation in Vegetable Growing Area: Suburb of Saraburi Province. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Savaporn Supaphol, Ph.D. 95 pages.

Increasing in traffic density at suburb resulted in heavy metals contamination in soil and vegetables in growing areas on roadsides. This study was to investigate zinc (Zn), lead (Pb), cadmium (Cd), copper (Cu), mercury (Hg), arsenic (As) and nickel (Ni) at the vegetable growing areas on highway number 3034 in Saraburi province. This research had been set up into 2 experiments. The first experiment was to investigate uptake of heavy metal of 6 varieties vegetable are mint, holy basil, chinese cabbage, pakchoi, chinese kele and water spinach. The results showed that uptake and accumulation of the heavy metal were Chinese kele chinese cabbage pakchoi and water spinach are uptake and accumulation of Cd and Pb exceeding the Codex Alimentarius Commission standard (0.3 mgkg^{-1} for Pb and 0.2 mgkg^{-1} for Cd). However, water spinach shown uptake and accumulation Cd exceeding the Codex Alimentarius Commission standard. Experiment II study was conducted to evaluate the reduction of uptake and accumulation Cd and Pb in fourth vegetable are shown uptake and accumulation exceeding the Codex Alimentarius Commission standard. Experiment design are 9 treatment such as compost + iron oxide (CP+IO), rock phosphate (RP), Calcium phosphate (CMP), Diammonium phosphate (DAP), Sodium metasilicate (SMC), Rice straw (RT), Zeolite (Ze), Zinc sulphate (ZS) and control. Result shown CP+IO and RP provided the most effective method of reducing accumulation of both Cd and Pb in the fourth vegetable.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศวพร ศุภผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก ศาสตราจารย์ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนาอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม ประธานการสอบ และ ดร.พิชิต พงษ์สกุล ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำ
และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จน
วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาปรัชญา ศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอบคุณ น้องแบงค์ พี่อิฟ พี่เอ พี่ฝ้าย พี่เอ็ม พี่กานต์ ตลอดจนพี่น้องชาว
สโมสรบัณฑิตปรัชญา และมิตรสหายทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาการทำ
วิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณแม่ประนอม เรืองศรี ตลอดจนพี่ๆ ครอบครัวเรืองศรีของ
ข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จน
สามารถเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ คุณค่าและความดีอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ขอมอบแด่บุพการี ญาติ ครู อาจารย์ และมิตรสหายที่มีพระคุณต่อข้าพเจ้า

สมพร เรืองศรี

มีนาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	27
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	82
ประวัติการศึกษาการทำงาน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณโลหะหนักในดินที่ใช้เพาะปลูกของประเทศไทย	8
2	ปริมาณโลหะหนักในดินที่ยอมให้มีได้ในบางประเทศ	9
3	ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในอาหาร	9
4	ค่าปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายสามารถรับและทนได้ต่อสัปดาห์	10
5	ปริมาณสูงสุดของการปนเปื้อน โลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในผัก	15
6	ความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชชนิดต่างๆ	16
7	ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในผัก	24
8	สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวง แผ่นดินหมายเลข 3034 อ.พระพุทธรบาท จ.สระบุรี	28
9	ปริมาณโลหะหนักที่สกัดได้และ โลหะหนักทั้งหมดในดินพื้นที่ผลิตผัก ริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 อ.พระพุทธรบาท จ.สระบุรี31	29
10	ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร	30

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดิน ปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	83
2	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	84
3	ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักคะน้าและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักคะน้า โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง	85
4	ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักคะน้าและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักคะน้า โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง	86
5	ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดขาวปลี โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง	87
6	ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดขาวปลี โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง	88
7	ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดเขียววางตุ้ง โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง	89
8	ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดเขียววางตุ้ง โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
9	ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักนึ่งและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักนึ่ง โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง	91
10	ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักนึ่งและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักนึ่ง โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง	92
11	ปริมาณร้อยละการลดลงของความเข้มข้นตะกั่วในเนื้อเยื่อผักทั้ง 4 ชนิด โดยใช้วิธีการลดการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกัน ภายใต้สภาพเรือนทดลอง	93
12	ปริมาณน้ำหนักรากสดเฉลี่ยในส่วนที่ใช้บริโภคน้ำ ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้งและผักนึ่งปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียมและตะกั่ว ภายใต้สภาพเรือน	94

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	31
2	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	32
3	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	33
4	ปริมาณทองแดงทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	34
5	ปริมาณปรอททั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	35
6	ปริมาณสารหนูทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	35
7	ปริมาณนิเกิลทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	36
8	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเสวยรูปจิก 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
9	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	38
10	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	39
11	ปริมาณทองแดงทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	40
12	ปริมาณปรอททั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	41
13	ปริมาณสารหนูทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	42
14	ปริมาณนิเกิลทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจ 6 ชนิดที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี	43
15	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักแห้งของผักคะน้า ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	45
16	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดของผักคะน้า ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	46
17	ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักคะน้าที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักแห้งของฝักคะน้าที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่ที่มีการจัดการดินเพื่อลดสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	48
19	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดของฝักคะน้า ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่ที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ด้วยวิธีการต่างกัน	49
20	ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกฝักคะน้าที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกันปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดฝักคะน้าที่ปลูกโดยการจัดการดิน	50
21	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อฝักกาดขาวปลีต่อน้ำหนักแห้งที่ปลูกโดยการจัดการดินในรูปแบบต่างๆ เพื่อลดการสะสมแคดเมียม	51
22	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดฝักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	52
23	ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกฝักกาดขาวปลีที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	53
24	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักแห้งของฝักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	55
25	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดของฝักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	56
26	ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกฝักกาดขาวปลีที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วเข้าสู่ฝักกาดขาวปลีที่แตกต่างกัน	57
27	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักแห้งของฝักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักสดผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	59
29	ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดเขียววางตุ้งที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	60
30	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักแห้งของผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	61
31	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักสดผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	62
32	แสดงปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดเขียววางตุ้งที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	63
33	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักแห้งของผักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	64
34	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักสดผักบุงที่ปลูกโดยการจัดการดินในรูปแบบต่างๆเพื่อลดการสะสมแคดเมียม	65
35	แสดงปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักบุงที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน	66
36	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักแห้งของผักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	68
37	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักสดของผักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	69
38	ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักบุงที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน	70

**แนวทางการลดการสะสมโลหะหนักในพื้นที่ผลิตผัก
ขอบชุมชนเมือง จ.สระบุรี**

**Approach for Reduction of Heavy Metal Accumulation
in Vegetable Growing Area: Suburb of Saraburi Province**

คำนำ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณประชากรในปัจจุบันส่งผลให้เกิดการขยายตัวของชุมชนอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างถนนเข้าไปในพื้นที่เกษตร จึงเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง การรั่วไหลของน้ำมัน ชิ้นส่วนสึกกร่อนของยานยนต์ แบตเตอรี่ และส่วนประกอบที่เป็นโลหะผสมต่างๆ ทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักสู่ดินและพืชปลูกริมถนน (Dolan *et al.*, 2006) การศึกษาของ Lu *et al.* (2009) พบว่าการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในสิ่งแวดล้อมประมาณ $0.2 - 3.3 \text{ ng g}^{-1}$ และ $30 - 120 \text{ ng g}^{-1}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณการสะสมโลหะหนักในดินริมถนนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการใช้งานและความหนาแน่นของการจราจร Bai *et al.* (2009) รายงานว่าปริมาณการสะสมของโลหะหนักจากถนนที่มีอายุการใช้งานยาวนานจะมีการสะสมโลหะหนักในปริมาณที่สูงกว่าในถนนที่มีอายุการใช้งานน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Czarnowska and Milewska (2009) พบว่าพื้นที่ริมถนน Al.Jerozolimskie ที่มีอายุการใช้งานยาวนานมากกว่า 246 ปี มีปริมาณการสะสมโลหะหนักสูงกว่าถนน Ostrobramsk และ ถนน Al.Wolowska ที่มีอายุการใช้งานน้อยกว่า ในประเทศไทย Supaphol *et al.* (2006) รายงานว่าริมถนนเพชรเกษม เขตจังหวัดนครปฐมที่ระยะห่างจากริมถนน 10 เมตรมีปริมาณสังกะสีสูงกว่าที่ระยะห่าง 20 และ 30 เมตร ตามลำดับ และยังพบว่าที่ริมขอบถนนเพชรเกษมซึ่งมีอายุการใช้งานยาวนานกว่ามีปริมาณสังกะสีและแคดเมียมสูงกว่าริมถนนในจังหวัดเพชรบุรีซึ่งมีอายุการใช้งานน้อยกว่า จากการศึกษาของชลาชัย (2552) พบว่าพื้นที่ซึ่งมีความหนาแน่นของการจราจรแตกต่างกันคือบริเวณพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงหมายเลข 3034 ซึ่งมีปริมาณรถประมาณ 35,000 คันต่อวัน จะมีปริมาณการสะสมของสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในดินสูงกว่าทางหลวงชนบทหมายเลข สป. 4034 ซึ่งมีปริมาณรถ 5,700 คันต่อวัน

จากข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าการผลิตพืชในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการจราจรหนาแน่นมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่ผลผลิต อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการลดการสะสมโลหะหนักจากเขม่าจราจร โดยวิธีการคัดเลือกชนิดพืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักในปริมาณต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชลาชัย (2552) พบว่าชนิดของพืชมีผลต่อความสามารถในการสะสมโลหะ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพืช แต่ละชนิดมีความเกี่ยวข้องกับการสะสมโลหะหนักเข้าสู่พืช โดยโลหะหนักจะเข้าสู่ต้นพืชผ่าน plasma membrane ของราก ผ่านเข้าสู่ระบบของท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จากนั้นจะสะสมไปสะสมยัง ส่วนต่างของพืช และพบอีกว่ากระบวนการหลักที่ส่งผลให้เกิดการสะสมโลหะหนักคือ กระบวนการ transpiration (Blaylock *et al.*, 1997) ส่งผลให้พืชผักกินใบที่ท่อลำเลียงส่วนใหญ่เป็นท่อลำเลียงน้ำ มีการสะสมของโลหะหนักมากกว่าในส่วนของเมล็ด และผลซึ่งมีท่อลำเลียงส่วนใหญ่เป็นท่อลำเลียงอาหาร (phloem) และอีกแนวทางหนึ่งในการลดการสะสมโลหะหนักคือ การใช้วิธีการลดการสะสม (immobilization) โลหะหนักจากดินเข้าสู่พืช Khan and Jones (2009) พบว่าการใส่ปุ๋ย diammonium phosphate (DAP) สามารถลดความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb^{2+}) ในสารละลายดินได้ถึง 92% ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของโลหะฟอสเฟต (mix-metal phosphate) Cao *et al.* (2003) รายงานว่าแร่ apatite ที่เป็นองค์ประกอบในหินฟอสเฟตสามารถดูดซับโลหะหนักประจุ $2+$ ได้ด้วยการเข้าไปแทนที่ (substitution) Ca^{2+} ทำให้เกิดการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) ระหว่างโลหะหนักกับแร่ apatite

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของชนิดพืชต่อปริมาณการสะสมโลหะหนักและหาแนวทางในการลดการสะสมโลหะหนัก โดยการลดการสะสมโลหะหนักเข้าสู่พืช เพื่อคัดเลือกวิธีการที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยมาปรับใช้ในกระบวนการผลิตผักเขตชุมชนเมือง โดยพิจารณาเลือกวิธีที่คุ้มค่ากับการลงทุน มีความเหมาะสมกับพื้นที่นั้น และไม่ยุ่งยากในการนำไปเป็นแนวปฏิบัติแก่เกษตรกร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของชนิดผักต่อปริมาณการสะสมโลหะหนักจากเขม่าจราจร ในพื้นที่ผลิตผักขอบริเวณเมือง จ.สระบุรี
2. เพื่อศึกษาแนวทางในการลดการสะสมโลหะหนักในดินจากเขม่าจราจรเข้าสู่ผัก พื้นที่ผลิตผักขอบริเวณเมือง จ.สระบุรี



การตรวจเอกสาร

โลหะหนัก (heavy metals) หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป และมีเลขอะตอม 22 - 34 และ 40 - 52 ตัวอย่างเช่น ปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เหล็ก แมงกานีส ฯลฯ โลหะหนักถือว่าเป็นโลหะปริมาณน้อย (trace metals) ส่วนมากจะอยู่ในกลุ่ม ทรานซิชัน (transition elements) นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มของธาตุเรพรีเซนต์ทิฟ (representative elements) คือ ตะกั่ว สารหนู พลวง และซีลีเนียม โลหะหนักสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ และดินตะกอน เนื่องจากมีความคงตัว ไม่สลายตัวโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ทำให้บางส่วนสามารถสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารได้ (Logan and Feltz, 1985) ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นธาตุโลหะ (trace metals) จึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามผลที่มีต่อร่างกาย ได้แก่ 1) ธาตุโลหะที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential nutritive metal) ได้แก่ โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และ สังกะสี (Zn) เป็นต้น 2) ธาตุโลหะที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายแต่ไม่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษ (non-nutritive non-toxic metal) ที่ปริมาณต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ นิกเกิล (Ni) และ ดีบุก (Sn) เป็นต้น 3) ธาตุโลหะที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายและก่อให้เกิดอาการเป็นพิษ (non-nutritive toxic metal) ที่ปริมาณต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และ ปรอท (Hg) เป็นต้น

World Health Organization [WHO] (1977) ได้สรุปว่า โลหะหนัก คือ โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอม 23-92 และอยู่ในคาบ 4-7 ในตารางธาตุ เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สำหรับโลหะหนักที่สำคัญ เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี โครเมียม วานาเดียม โมลิบดีนัม นิกเกิล ทองแดง ดีบุก และ โคบอลต์ สำหรับโลหะหนักที่เกี่ยวข้องกับภาวะมลพิษสิ่งแวดล้อมมากที่สุดมีเพียง 3 ธาตุ คือ ปรอท แคดเมียม และตะกั่ว เนื่องจากโลหะหนักทั้ง 3 ธาตุนี้ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ และมนุษย์

1. แหล่งกำเนิดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

ภรณ์ดี (2541) กล่าวถึง แหล่งกำเนิดของโลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อมมาจาก 7 แหล่งด้วยกันคือ

1) การชะล้างจากแผ่นดิน โลหะหนักที่ได้จากแหล่งนี้ถือว่าเป็นค่า background level ของบริเวณนั้น ๆ พบว่าพื้นที่ใดเป็นแหล่งแร่ของโลหะหนักก็จะพบว่าน้ำในบริเวณนั้น มีโลหะหนักชนิดนั้น ๆ สูงด้วย

2) อุตสาหกรรมถลุงแร่โลหะ ในระหว่างการถลุงแร่จะมีโลหะหนักปนออกมากับน้ำทิ้งด้วยเสมอ

3) การใช้โลหะและสารประกอบโลหะในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เกลือของโครเมียมในการฟอกหนัง ใช้สังกะสีในการทำท่อ เป็นต้น ก็เป็นที่มาของโลหะหนักสู่แหล่งน้ำ

4) การเผาไหม้เชื้อเพลิง การผลิตปูนซีเมนต์และอิฐบล็อก เชื้อเพลิงประเภทถ่าน น้ำมันจะมีโลหะหนักบางตัวสูง เช่น สารหนู สังกะสี แคดเมียม นิกเกิล ในการผลิตซีเมนต์พบว่ามีกำมะถัน โลหะหนัก สังกะสี ตะกั่ว และสารหนูด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณรอบ ๆ ที่มีสิ่งก่อสร้างประเภทอิฐจะมีโลหะหนักสะสมอยู่ด้วยค่อนข้างสูง

5) โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น พบอลูมิเนียมจากโรงงานทำภาชนะพวกอลูมิเนียมและโรงงานอัลลอยด์ สารหนูจากโรงงานผลิตสารฆ่าแมลง แคดเมียมจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานทำสี และโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โครเมียมจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานสีและสารฆ่าแมลง ตะกั่วจากโรงงานแบตเตอรี่ โรงงานสี และโรงกลั่นน้ำมัน แมงกานีสจากโรงงานสี โรงงานผลิตแบตเตอรี่แห้ง และโรงงานอัลลอยด์ นิกเกิลจากโรงงานชุบโลหะและโรงงานอัลลอยด์ พลวงจากโรงงานสี โรงขี้มอดสีและสารฆ่าแมลง เงินจากอุตสาหกรรมการผลิตและล้างฟิล์ม และโรงงานชุบโลหะ สังกะสีจากโรงงานชุบโลหะและโรงงานทำสี เป็นต้น

6) ยวดยานพาหนะ เป็นสาเหตุสำคัญซึ่งก่อให้เกิดการสะสมของตะกั่วในบรรยากาศ และในดินแหล่งชุมชน

7) น้ำชะจากแหล่งทิ้งขยะ ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักมีผลมากต่อแหล่งน้ำบนบกหรือบริเวณชายฝั่งทะเล

Pendias and Pendias (1992) ศึกษาการตกสะสมของโลหะหนักในชั้นบรรยากาศสู่ผิวดิน ผลคำนวณพบว่าค่าเฉลี่ยของแคดเมียม 20g/ha/year และพบว่าปริมาณของแคดเมียมในบรรยากาศจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ การสะสมแคดเมียมในดินบนมาจากแหล่งปนเปื้อนที่สำคัญ 3 แหล่ง คือ เหมืองแร่ตะกั่วและสังกะสี โดยเฉพาะชั้นตอนการถลุงแร่ กากตะกอนน้ำโสโครก และปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยคอก แคดเมียมที่บริเวณเปลือกโลก ปกติ มีค่าประมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Taylor *et al.*, 1964) ศุภมาส (2545) รายงานว่าปริมาณแคดเมียมในดินโดยทั่วไปจะมีอยู่ 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยประมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่เก็บจากทุกภาคของประเทศอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.249 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 0.032 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนั้นพบว่าดินในภาคเหนือ โดยเฉพาะดินในจังหวัดเชียงรายที่ปลูกพืชผักชนิดต่างๆมีความเข้มข้นของแคดเมียมค่อนข้างสูงเช่นกัน (พิชิต และ สุรสิทธิ์, 2543)

Hawley (1977) รายงานว่าในธรรมชาติตะกั่วมีแหล่งกำเนิดจากหินอัคนีและหินแปร ประมาณ 10-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณใดมีตะกั่วมาก ปริมาณที่พบในแหล่งน้ำ และดินตะกอนบริเวณนั้นมากตามไปด้วย (Browne *et al.*, 1982)

Swaileh *et al.* (2004) ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและในใบพืช *Inala* (*Imula viscosa* L.) บริเวณริมถนน Nablu-Remallah ปริมาณรถยนต์โดยเฉลี่ยประมาณ 5,000 คันต่อวัน พบการปนเปื้อนโลหะหนักทั้งหมดในดินมีปริมาณเหล็ก > แมงกานีส > ตะกั่ว > สังกะสี > ทองแดง > โครเมียม > นิกเกิล > แคดเมียม ส่วนการปนเปื้อนโลหะหนักในใบ *Inala* ซึ่งเป็นพืชอวบน้ำตระกูลเดียวกับผักกาดหอม (Compositae) พบปริมาณเหล็ก > แมงกานีส > สังกะสี > ทองแดง > ตะกั่ว > โครเมียม > นิกเกิล > แคดเมียม พบว่าปริมาณสังกะสี ตะกั่ว และทองแดงทั้งหมดในดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างจากถนนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และนิกเกิลในใบ *Inala* ซึ่งบ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ปลูกผักริมถนนจากการจราจร สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดที่ดีถึงผลกระทบของโลหะหนักในดินพื้นที่ผลิตผักริมถนน

ชลาศัย (2552) ศึกษาการปนเปื้อนสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในดินและผักจากพื้นที่ผลิตผักริมถนนเขตชุมชนเมืองสระบุรี เพื่อประเมินความปลอดภัยพื้นที่ในการผลิตพืชอาหารและระดับการปนเปื้อนโลหะหนักในผัก ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินและผักจากพื้นที่ 3 ลักษณะคือ พื้นที่ผลิตผักริมถนนสายหลัก (ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034) ถนนสายรอง (ทางหลวงชนบทหมายเลข สบ.4034) และถนนสายย่อย มีปริมาณรถยนต์เฉลี่ย 35,000, 5,700 และ 5 คันต่อวันตามลำดับ พบว่าปริมาณโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกันกับความหนาแน่นของรถยนต์ โดยตัวอย่างดินจากพื้นที่ผลิตผักริมถนนสายหลักมีการปนเปื้อนโลหะหนักสูงสุดคือปริมาณสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมทั้งหมดในดินอยู่ในช่วง 68.3 - 151.5, 16.1 - 30.6 และ 1.3 - 3.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และปริมาณที่สกัดได้ในดินอยู่ในช่วง 1.1 - 12, 1.4 - 2.8 และ 0.1 - 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และปริมาณโลหะหนักมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างจากถนนเพิ่มขึ้น

2. ค่ามาตรฐานโลหะหนัก

2.1 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในดิน

เพื่อประเมินว่า ดินมีการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือไม่ จำเป็นต้องมี “ค่าพื้นฐาน” เพื่อเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนัก ค่าดังกล่าวนี้อาจเรียกว่าเป็น “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน (background levels)” หรือ “ระดับตรวจสอบ (investigation levels)” ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้เพื่อประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในระยะแรก ระดับเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แต่เป็นระดับความเข้มข้นที่ต้องตรวจสอบต่อไปว่า การปนเปื้อนที่เกิดจากความเข้มข้นระดับนั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์หรือไม่ หรือทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่ ประเทศไทยได้ประเมินและกำหนดระดับเกณฑ์พื้นฐานหรือระดับตรวจสอบดังแสดงในตารางที่ 1 (ปริดา และคณะ, 2547) เช่นเดียวกับในประเทศที่พัฒนาแล้วหลายๆ ประเทศ มีมติให้กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของโลหะหนัก ที่ยอมรับให้มีได้สูงสุดในดินและวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงดินในการเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 2 (ปริดา และคณะ, 2541)

2.2 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในอาหาร

กระทรวงสาธารณสุข (2529) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในอาหารทั่วไปและอาหารทะเล เพื่อเป็นการประเมินว่าอาหารมีการปนเปื้อนโลหะหนักหรือไม่ โดยกำหนดให้ปริมาณสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ของตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนู ในอาหารทั่วไปมีค่าไม่เกิน 1.0, 0.8, 0.02 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับดังตารางที่ 3 และปริมาณปรอทที่ยอมรับให้มีได้ในอาหารทะเล ต้องมีค่าไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในดินที่ใช้เพาะปลูกของประเทศไทย

ชนิดโลหะหนัก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม		
	พิสัย	ค่ามัธยฐาน	ระดับเกณฑ์พื้นฐาน
ตะกั่ว	0.10-550	9	55
แคดเมียม	0.01-0.29	0.01	0.15
ปรอท	0.01-0.27	0.03	0.1
สารหนู	0.08-124	2.7	30

ที่มา: ปริดา และคณะ (2547)

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในดินที่ยอมรับให้มีได้ในบางประเทศ

ประเทศ	ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในดินที่ยอมรับได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	สังกะสี	แคดเมียม	ตะกั่ว
กลุ่มสหภาพยุโรป (EU)	300	3	100
ญี่ปุ่น	150	n.d.	400
ไทย	n.d.	37	400

ที่มา : ปรีดา และคณะ (2541)

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานของโลหะหนักในอาหาร

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้	
	กระทรวงสาธารณสุข ^{1/}	CODEX ^{2/}
สารหนู (As)	2.0	0.5
แคดเมียม (Cd)	0.8	0.5
ตะกั่ว (Pb)	1.0	2
ปรอท (Hg)	0.02	0.1
สังกะสี (Zn)	100	n.d.

ที่มา: ^{1/} กระทรวงสาธารณสุข (2529)

^{2/} Codex maximum level for a contaminant in a food (Codex Alimentarius, 2005)

นอกจากการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในอาหารแล้ว ยังมี การกล่าวถึงความเป็นพิษในแบบการได้รับโลหะหนักระยะยาว โดยใช้ค่า Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) ซึ่งเป็นการประมาณปริมาณโลหะหนักที่ได้รับจากการบริโภคทุกวันเป็น ระยะเวลาหนึ่ง โดยปราศจากอันตรายต่อสุขภาพ (ตารางที่ 4) กำหนดโดย Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายสามารถรับและทนได้ต่อสัปดาห์

ชนิดโลหะหนัก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อสัปดาห์ (mg/kg body weigh /week)
แคดเมียม (Cd)	0.007
ปรอท (Hg)	0.005
ตะกั่ว (Pb)	0.025
สารหนู(As)	0.015
สังกะสี (Zn)	7.000
ทองแดง (Cu)	3.500
นิกเกิล (Ni)	0.350

ที่มา: Codex Alimentarius Commission (1995)

3. การสะสมโลหะหนักในพืช

โลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในสภาพแวดล้อมและดินที่ใช้ทำการเพาะปลูกจะถูกดูดซึมโดยพืช และสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ตามสัดส่วนที่มีอยู่ในดิน พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ สามารถดูด ซึมโลหะหนักได้แตกต่างกันไป อนึ่งโลหะหนักจะสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชในปริมาณที่แตกต่าง กัน โดยทั่วไปมักพบในส่วนของราก มากกว่า ลำต้น ใบ และเมล็ดหรือส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ มักจะ พบในปริมาณที่ต่ำที่สุด (ปรีดา และคณะ, 2547)

มีรายงานว่าพืชมากกว่า 400 ชนิดมีความสามารถในการสะสมโลหะหนัก และพบว่าพืชผัก หลายชนิดที่สะสมโลหะหนักได้ในปริมาณสูงเช่น พืชตระกูลกะหล่ำ และพืชตระกูลถั่ว (Baker *et*

al., 2000) ในการผลิตผักพบว่า การปลูกผักในดินที่ปนเปื้อน โลหะหนักจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลผลิต Gisbert *et al.* (2006) ทำการศึกษาผลของการปลูกผัก *B. oleracea*, *B. carinata* cv.2920, *B. carinata* cv. 117 และ *B. juncea* ในดินที่มีการปนเปื้อน โลหะหนัก พบว่าผักทุกชนิดมีน้ำหนักสดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกในดินที่ไม่มี การปนเปื้อน สำหรับการเคลื่อนย้าย โลหะหนักเข้าสู่พืช นั้น พบว่า โลหะหนักจะเคลื่อนย้ายเข้าสู่ต้นพืชผ่าน plasma membrane ของราก เข้าสู่ระบบของท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จากนั้นจะเคลื่อนย้ายไปสะสมยัง ส่วนต่างของพืช ได้แก่ ใบ ลำต้น และผล จากการศึกษาวิจัยพืชผักกินใบพบการสะสม โลหะหนักมากกว่าใน ธัญพืช และ ไม้ผล

พืชแต่ละชนิดจะสะสม โลหะหนักชนิดต่างๆ ในปริมาณต่างกัน ตัวอย่างเช่น ผักกาดขาวปลีพบการสะสมแคดเมียมไว้ในต้นได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผักคะน้าและผักกาดเขียววางตุ้ง (บุปผา, 2527) การสะสม โลหะหนักในพืชผักเกิดจากดิน น้ำ และอากาศ เพราะ โลหะหนักสามารถเข้าสู่พืชได้ทั้งทาง ราก ลำต้น และใบ โดยกระบวนการดูดดึงและสะสม โลหะหนักของรากพืชซึ่งเป็นแบบ active ion absorbtion หรือ passive ion absorbtion กลไกการดึงแบบ passive ion absorbtion อาจดึงดูดโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) หรือวิธีการคายน้ำ (convection) กลไกดังกล่าวเกิดขึ้นในขณะที่พืชดูดน้ำเพื่อทดแทนการคายน้ำ เมื่ออัตราการดูดไอออนเร็วเกินกว่าอัตราการคายน้ำทำให้เกิดสภาวะ concentration gradient บริเวณรากพืชอย่างกระทันหัน ส่งผลให้ โลหะหนักเกิดการเคลื่อนเข้าสู่รากโดยวิธีการแพร่จากดินสู่รากพืช ส่วนวิธีการเคลื่อนที่ของ โลหะหนักจากรากไปสู่ยอด (translocation) เกิดจากกระบวนการ transpiration เป็นหลัก (Blaylock *et al.*, 1997)

ยงยุทธ (2543) รายงานว่า ระดับความเป็นพิษขั้นวิกฤตของสังกะสีในใบพืชทั่วไปมีค่าตั้งแต่ 100 จนถึงสูงกว่า 400-500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชที่ได้รับสังกะสีมากเกินไปจะก่อให้เกิดความเป็นพิษ แสดงอาการที่ผิดปกติคือ รากชะงักการเจริญเติบโต ใบอ่อนจะเหลืองซีดเป็นผลจากอาการขาดธาตุเหล็กในสภาวะที่มีสังกะสีมากเกินไป เนื่องจากธาตุทั้งสองมีขนาดของไฮเดรตไอออนใกล้เคียงกันจึงเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน กล่าวคือ ถ้าพบความเข้มข้นของสังกะสีในดินมาก จะส่งผลทำให้รากพืชสะสมเหล็กได้น้อยลง (Boardman and McGuire, 1990)

ความเป็นพิษของตะกั่วส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อ และเกิดการออกซิไดซ์ซัลฟิเนตในกระบวนการหายใจซึ่งเกิดขึ้นภายในไมโทคอนเดรีย (Keepe and Miller, 1970) มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและใบ และยั้งระยะเวลา

การงอกของเมล็ด (ศุภมาส, 2545) กล่าวคือ ตะกั่วจะเข้าไปรบกวนปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงใน ส่วนของกระบวนการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญใน กระบวนการเมแทบอลิซึม และกระบวนการเจริญเติบโตของพืช (Pendias, 2001) สอดคล้องกับ งานวิจัย Bazzaz *et al.* (1974) ผลกระทบของตะกั่วต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของข้าวโพดและ ถั่วเหลือง ตะกั่วมีผลทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชทั้งสองลดลง และ Obrocheva *et al.* (1998) ศึกษาความเป็นพิษของตะกั่วต่อการงอกของเมล็ดข้าวโพด ที่ระดับ ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วในเทรตแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} และ 10^{-5} โมล พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-2} โมล รากข้าวโพดถูกยับยั้งการเจริญเติบโตและส่งผลให้เกิดรากที่มี ลักษณะกุดสั้น แสดงถึงความเป็นพิษของตะกั่วที่มีผลต่อการงอก และการเจริญเติบโตของรากพืช

นันทกานต์ (2549) ศึกษาการสะสมแคดเมียมโดยผักกาดขาวปลี (*Brassica juncea*) ในชุด ดินปากช่องและชุดดินชนบุรี เมื่อใส่แคดเมียมลงไปอัตรา 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม ดิน พบว่าชุดดินปากช่องที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์มากกว่าปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับไว้มีปริมาณ เหล็กออกไซด์ 1.43, 32.2 และ 77.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งปริมาณดังกล่าวมีมากกว่า ในชุดดินชนบุรีที่มีปริมาณการดูดซับแคดเมียมเท่ากับ 1.18, 35.4 และ 64.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่งผลให้ผักกาดขาวปลีที่ปลูกในชุดดินชนบุรีมีปริมาณการสะสมแคดเมียมเฉลี่ย 0.051 มิลลิกรัมต่อกระถาง สูงกว่าผักกาดขาวปลี ที่ปลูกในชุดดินปากช่องที่มีปริมาณการสะสมแคดเมียม เฉลี่ย 0.022 มิลลิกรัมต่อกระถาง

Bahemuka and Mubofu (1999) ศึกษาปริมาณสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียมในผัก โขมแอฟริกา ผักกาดขาวปลี ใบถั่ว กะหล่ำปลี ผักกาดหอม และใบพริกทอง ที่ปลูกโดยใช้ น้ำชลประทานจากแม่น้ำ Sinza และ Msimbazi พบว่าปริมาณการสะสมสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และ แคดเมียมในผักทั้ง 6 ชนิดอยู่ในช่วง 1.48 ± 4.93 , 0.25 ± 1.60 , 0.19 ± 0.66 และ 0.01 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และพบว่าในผักบางตัวอย่างมีปริมาณโลหะหนักสูงกว่าระดับที่ ขอมรับให้มีการปนเปื้อนได้ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การ อาหารและเกษตรแห่งชาติ (FAO) คือ ไม่เกิน 60, 40, 5 และ 0.3 มิลลิกรัมกิโลกรัม น้ำหนักสดตามลำดับ

นัยนันท์ และคณะ (2546) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการสะสมสังกะสีในผักกาดขาวปลี (*Brassica juncea* Coss.) และผักกาดเขียววางตุ้ง (*Brassica chinensis* Linn.) โดยทำการปลูกพืชใน ดินที่เติมสังกะสีอัตรา 0, 10, 100 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เก็บตัวอย่างพืชเมื่ออายุครบ 46

วัน พบว่าผักกาดขาวปลีมีแนวโน้มการสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดินมากกว่าผักกาดเขียววางตุ้ง โดยผักกาดขาวปลีมีการสะสมสังกะสีสูงสุดถึง 4,825 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อมีการเติมสังกะสีในดิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดเขียววางตุ้งมีการสะสมสังกะสีสูงสุด (4,766 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) เมื่อมีการเติมสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณการสะสมสังกะสีลดลงในตำรับการทดลองที่เติมสังกะสีในดิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากเกิดภาวะเป็นพิษของสังกะสี พบว่าสังกะสีในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินและใต้ดินของผักกาดขาวปลีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณสังกะสีในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของผักกาดเขียววางตุ้งมากกว่าส่วนใต้ดิน แสดงให้เห็นว่าผักกาดขาวปลีมีการสะสมสังกะสีสูงกว่าผักกาดเขียววางตุ้ง

ชลาลัย (2552) ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในผักเศรษฐกิจ 7 ชนิด ได้แก่ ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ขึ้นฉ่าย สะระแหน่ กะเพรา และผักบุ้ง ที่ปลูกบนดินปนเปื้อนโลหะหนักจากพื้นที่ผลิตผักริมถนน ขอบชุมชนเมือง จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีปริมาณสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมทั้งหมดในดินอยู่ในช่วง 68.3 - 151.5, 16.1 - 30.6 และ 1.3 - 3.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณที่สกัดได้ในดินอยู่ในช่วง 1.1 - 12, 1.4 - 2.8 และ 0.1 - 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าปริมาณทั้งหมดของสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักอยู่ในช่วง 3.58 - 10.49, 0.15 - 2.23 และ 0.11 - 0.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความสามารถในการสะสมสังกะสีในผักกาดเขียววางตุ้ง > ขึ้นฉ่าย > สะระแหน่ > ผักคะน้า > ผักกาดขาวปลี > กะเพรา > ผักบุ้ง ความสามารถในการสะสมตะกั่วในผักกาดขาวปลี > ขึ้นฉ่าย > ผักกาดเขียววางตุ้ง > ผักคะน้า > สะระแหน่ > ผักบุ้ง > กะเพรา และความสามารถในการสะสมแคดเมียมในผักคะน้า > ผักกาดเขียววางตุ้ง > ผักกาดขาวปลีและขึ้นฉ่าย > ผักบุ้ง > กะเพรา > สะระแหน่ ตามลำดับ พบว่าปริมาณตะกั่วในผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้งและผักคะน้า และปริมาณแคดเมียมในผักคะน้าและผักกาดเขียววางตุ้งสูงกว่ามาตรฐานอาหารสากล ที่กำหนดไว้ ตะกั่วไม่เกิน 0.03 และแคดเมียมไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ดังแสดงในตารางที่ 5

สรัตนา (2548) ศึกษาการสะสมโลหะหนักของหญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides* L.) ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) และข้าว (*Oryza sativa* L.) ที่ปลูกในดินปนเปื้อนสังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างดินไม่มีการปนเปื้อน ดินที่ปนเปื้อนระดับต่ำ (Zn, Cd และ Pb เท่ากับ 221, 3 และ 14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ) ดินที่ปนเปื้อนระดับสูง (Zn, Cd และ Pb เท่ากับ 1,984, 48 และ 105 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ) และดินที่

ปนเปื้อนระดับสูงมาก (Zn, Cd และ Pb เท่ากับ 6,462, 277 และ 345 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ) พบว่าหญ้าแฝกและทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีการปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และตะกั่วโดยไม่แสดงอาการเป็นพิษ พบว่าทานตะวันที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนระดับสูงมากและระดับสูงให้ผลผลิตเมล็ดต่ำกว่าทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนต่ำ และดินที่ไม่มีการปนเปื้อน สำหรับปริมาณการสะสมสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในเนื้อเยื่อส่วนลำต้นและใบ > ราก > เมล็ด ผลการศึกษาในข้าวพบว่าการเจริญเติบโตผิดปกติในดินที่มีการปนเปื้อนสูง และดินที่ปนเปื้อนสูงมาก โดยลำต้นและใบเหลือง (chlorosis) ในระยะแตกกอ ลำต้นแคระแกร็น และไม่สามารถให้ผลผลิต ปริมาณการสะสมสังกะสี แคดเมียม และตะกั่วในเนื้อเยื่อส่วนราก > ลำต้น > ใบ

พิชิต และ สุรสิทธิ์ (2543) เก็บตัวอย่างส่วนที่เป็นผลผลิตของพืชในบริเวณเดียวกับที่เก็บตัวอย่างดิน รวมทั้งเก็บตัวอย่างพืชจากตลาดต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในเมล็ด หรือส่วนที่นำไปบริโภคอื่นๆ ผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงในตารางที่ 6

4. การผลิตฝัก

ในปี 2550 ประเทศไทยมีพื้นที่ผลิตฝักประมาณ 2 ล้านไร่ แหล่งผลิตที่สำคัญได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทยมีการปลูกพืชมากกว่า 77 ชนิด โดยพืชที่มีการเพาะปลูกมากได้แก่ ฝักตระกูลกะหล่ำ พริก หอมแดง ถั่วฝักยาว แตงกวา และเห็ด เป็นต้น โดยมีกำลังการผลิตประมาณ 3 ล้านตัน และผลผลิตประมาณร้อยละ 85-90 ใช้บริโภคภายในประเทศ ส่วนที่เหลือส่งออกขายยังต่างประเทศ มีปริมาณการส่งออกฝักและผลิตภัณฑ์ ในปี พ.ศ. 2549 และ พ.ศ. 2550 มีปริมาณรวม 628,763 และ 644,609 ตัน ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ปัจจุบันแนวโน้มความต้องการฝักสูงขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งออกของฝักสดหรือฝักแปรรูป

ตารางที่ 5 ปริมาณสูงสุดของการปนเปื้อน โลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในผัก

ชื่อองค์กร	ค่ามาตรฐานสูงสุดของการปนเปื้อน โลหะหนักที่ยอมรับให้มีในผัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)		
	สังกะสี	ตะกั่ว	แคดเมียม
สถาบันอาหาร ^{1/}	n.d.	ไม่เกิน 0.1 <u>ยกเว้น</u> ผัก ตระกูลกะหล่ำ ผักกินใบ และเห็ดเพาะไม่เกิน 0.3	ไม่เกิน 0.05 <u>ยกเว้น</u> ผักกิน ใบ สมุนไพรสด ขึ้นฉ่าย และเห็ดที่เพาะขึ้น ไม่เกิน 0.2
CODEX ^{2/}	n.d.	ไม่เกิน 0.03 <u>ยกเว้น</u> ผักประเภททานหัว ราก และต้นไม่เกิน 0.1	ไม่เกิน 0.05 <u>ยกเว้น</u> ผักประเภททานหัว ราก และต้นไม่เกิน 0.1
WHO & FAO ^{3/}	60	3	2

ที่มา: ^{1/}สถาบันอาหาร (2547)

^{2/}Codex maximum level for a contaminant in a food (Codex Alimentarius, 2005)

^{3/}Permissible levels in vegetable as per WHO & FAO (Codex Alimentarius, 1984)

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชชนิดต่างๆ

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

ที่มา: พิซิต และ สุรสิทธิ์ (2543)

5. ผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพมนุษย์

โลหะหนักมีสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ การมีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านทางโซ่อาหาร โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผักและผลไม้ จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ ส่งผลทำให้เกิดความพิการหรือตายได้ เช่น แคดเมียมเป็นโลหะที่เป็นพิษต่อร่างกายมากที่สุดโลหะหนึ่ง การสูดควันของแคดเมียมออกไซด์จะเป็นอันตรายต่อปอดอย่างเฉียบพลันในลักษณะของปอดอักเสบ ถ้าได้รับฝุ่นหรือควันของแคดเมียมเป็นเวลานานทำให้เนื้อเยื่อในร่างกายผิดปกติ ส่วนกรณีที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานจะเกิดผลต่อระบบต่างๆ คือ เป็นโรคโลหิตจาง การทำงานของตับและไตเสีย ทำให้เกิดโรคปวดกระดูกที่เรียกว่า โรคอิไต อิไต (Itai Itai) นอกจากแคดเมียมแล้ว ยังมีตะกั่วพบว่าเป็นเลือดของมนุษย์ที่มีปริมาณตะกั่วมากกว่า 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน เช่น เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง อุจจาระมีสีดำจากตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) เกิดอาการซีด ตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อม และเป็นอันตรายต่อไต (เกษม, 2544) เมื่อปี พ.ศ. 2519 ที่หมู่บ้านพระประแดง มีเด็กเสียชีวิตหลายรายเนื่องจากได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมากเกินไป สาเหตุเพราะหมู่บ้านดังกล่าว

ได้นำเอาซีเถ้าของโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ของรถยนต์เก่าๆ มาถมในหมู่บ้าน จึงทำให้พืชผัก น้ำดื่ม น้ำใช้บริเวณนั้นมีสารตะกั่วปนเปื้อน จึงส่งผลทำให้เด็กเกิดโรคโลหิตจางอย่างรุนแรง เกิดโรคทางระบบประสาท เด็กหลายคนเสียชีวิต จากการตรวจวิเคราะห์ดินในบริเวณหมู่บ้านพบว่า มีตะกั่วสูงถึง 3,900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สูงมาก (ประชา, 2534) นิตยาและวิบูลย์ (2543) รายงานพิษของปรอทเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้วจะไปสะสมอยู่ในเม็ดเลือดแดงและระบบประสาทส่วนกลาง มีผลต่อระบบประสาททำให้เกิดอาการทรงตัวไม่อยู่ ตัวสั่นและมีอาการชัก สารหนูทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง มีอาการบวมของเนื้อตับอาจทำให้คลื่นไส้ อาเจียน เป็นตะคริว กล้ามเนื้อเกร็ง อาการแทรกซ้อนเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจ และเสียชีวิตจากการทำงานล้มเหลวของหัวใจ สำหรับ สังกะสีและทองแดงเป็นธาตุโลหะที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ แต่ร่างกายต้องการในปริมาณที่น้อยมาก หากได้รับสังกะสีในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อการทำงานของระบบควบคุมหรือระบบเมตาบอลิซึมในร่างกายและก่อให้เกิดมะเร็ง (ศุภมาศ, 2545) หากได้รับทองแดงมากเกินไปอาจทำให้เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดอาการตัวบวม มีเลือดออกในทางเดินอาหาร ปัสสาวะน้อยกว่าปกติ ไม่มีไนโตรเจนในเลือด (azotemia) ปัสสาวะมีโลหิต (hematuria) และโปรตีน (proteinuria) ความดันโลหิตสูง หัวใจเต้นเร็ว กล้ามเนื้อมีอาการหดเกร็งอย่างรุนแรง (อภิชาติ, 2536)

6. การลดการสะสมโลหะหนัก (Immobilization)

การตรึงโลหะหนักเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการแพร่กระจายของโลหะหนัก โดยการลดการเคลื่อนย้าย (immobilization) ได้แก่ กระบวนการดูดซับ (absorption) และ กระบวนการตกตะกอน (precipitation) เป็นต้น

จรรยา (2540) ศึกษาการกำจัดสารหนูออกจากน้ำที่ปนเปื้อน โดยใช้ดินแดง สีลาแดงและฮีมาไทต์ เป็นวัสดุดูดซับ โดยมีปัจจัยที่สำคัญต่อการดูดซับ สารหนู (+3) และ (+5) คือ ความเข้มข้นของสารหนูเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ค่าพีเอช ขนาดอนุภาควัสดุดูดซับ จากการศึกษาพบว่าค่าพีเอชมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบ โดยค่าสูงสุดของการกำจัดสารหนู (+5) เท่ากับร้อยละ 89 ในดินกาญจนบุรี ร้อยละ 100 ในดินดอยสะเก็ด ร้อยละ 99 ในดินสีลาแดงและ ร้อยละ 82 สำหรับฮีมาไทต์ภายใต้สภาวะความเข้มข้นสารหนู 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 4 และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ 24 ชม. สำหรับค่าสูงสุดของการกำจัดสารหนู (+3) คือ ร้อยละ 37 ในดินกาญจนบุรี ร้อยละ 84 ในดินดอยสะเก็ด ร้อยละ 80 ในสีลาแดงและร้อยละ 30 ในฮีมาไทต์ และพบว่าการดูดซับสารหนู (+3)

และ (+5) มีความสัมพันธ์เป็นไปตามรูปแบบของแลงเมียร์-ไอโซเทอม และฟรูนดิช-ไอโซเทอม ตามลำดับ

นภาพร และ ญัฐพร (2548) ซีโอไลต์มีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกและน้ำได้ เหมือนกับ phyllosilicate แตกต่างตรงที่ซีโอไลต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ชัดเจนเมื่อมีการแลกเปลี่ยนไอออนหรือการเกิด hydration-dehydration มีการเรียงตัวของโครงสร้างอยู่ในรูปลักษณะของวงแหวนก่อให้เกิดช่องว่างภายในเป็นจำนวนมากซึ่งสามารถดูดซับอนุภาคต่าง ๆ ตลอดจนโมเลกุลของสารอินทรีย์และน้ำ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง

Kaijun and Baoshan (2002) ศึกษาผลของปริมาณฟอสเฟตต่อกระบวนการดูดซับและปลดปล่อยแคดเมียม (Cd) ใน goethite โดยทำการเติมฟอสเฟต พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการดูดซับแคดเมียม จึงสรุปได้ว่าฟอสเฟตช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการดูดซับแคดเมียมด้วย ซึ่งระยะเวลาของจุดสมดุลของกระบวนการดูดซับแคดเมียมอยู่ที่ประมาณ 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่ goethite เพียงอย่างเดียวใช้ระยะเวลาในการดูดซับประมาณ 4 สัปดาห์

Chen *et al.* (1997) ศึกษาการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ด้วยแร่อะพาไทต์ (apatite) จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยแร่อะพาไทต์ไม่ขึ้นกับค่าพีเอช กล่าวคือที่พีเอช 3 – 10.5 แร่อะพาไทต์จะดูดซับตะกั่วได้ลดลง 99.9 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่พีเอช 12 ดูดซับได้ลดลง 95.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการดูดซับแคดเมียม พบว่าแร่อะพาไทต์จะสามารถดูดซับแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นตามพีเอช ที่สูงขึ้น และเพิ่มขึ้นเกือบร้อยละ 100 เมื่อพีเอช มากกว่า 6.2 เช่นเดียวกับการดูดซับสังกะสี แต่แตกต่างกันเล็กน้อยในช่วง พีเอช 3.3 – 6.5 คือการดูดซับแคดเมียมเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอช สูงขึ้น ในขณะที่การดูดซับสังกะสีลดลงจาก 0.79 เป็น 0.59 มิลลิกรัมต่อกรัม และเพิ่มขึ้นทันทีเมื่อพีเอชมากกว่า 6.5 ซึ่งสามารถกำจัดสังกะสีได้ถึงร้อยละ 99.9

Gadepalle *et al.* (2008) พบว่าการใช้ 15% compost ร่วมกับ 5% zeolite และ 15% compost ร่วมกับ 5% iron oxide มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน เนื่องจากสามารถลดการสะสมของสารหนูในข้าวไรน์ได้ เป็นผลมาจากการมีประจุของสารประกอบอินทรีย์ในอินทรีย์วัตถุ การดูดซับของซีโอไลต์ที่มีความพรุนสูง และการตกตะกอนของ metal oxide สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ram and Verloo (1985) รายงานว่า การเติมอินทรีย์วัตถุชนิดต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยคอก, peat และ humic acid ในดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักประเทศเบลเยียม มีผลให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นและลดการดูด

ดิ่งแคดเมียม ทั้งนี้เพราะอินทรีย์วัตถุมีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและเพิ่มค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน ทำให้ธาตุโลหะหนักต่าง ๆ เคลื่อนย้ายเข้าสู่พืชได้น้อยลง Brummer and Herms (1983) รายงานว่าที่พีเอชต่ำกว่า 6 ความเข้มข้นของแคดเมียมจะต่ำ เมื่อมีอินทรีย์วัตถุในปริมาณสูง ฉะนั้นอินทรีย์วัตถุในดินสามารถที่จะลดความเป็นพิษของแคดเมียมในดินกรดที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม

Biling *et al.* (2008) ทำการศึกษาโดยใช้แคลเซียมฟอสเฟตเพื่อลดปริมาณตะกั่วและสังกะสีในสารละลาย เพื่อให้เกิดจากการตกตะกอนของโลหะฟอสเฟต เนื่องจากการเพิ่ม binding capacity วิธีการนี้จัดเป็นอีกหนึ่งวิธีในการลดการ สะสม โลหะหนัก สำหรับแนวทางในการเพิ่ม binding capacity สามารถทำได้โดยการเติม clay minerals, iron oxides หรือของเหลือทิ้งต่างๆ เช่น ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งสารต่าง ๆ เหล่านี้ จะลดการ สะสม โลหะหนักได้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและค่า CEC สูง นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาอีกหลายประเภทที่สามารถเพิ่ม binding capacity เช่น zeolite, beringite, hydrous manganese และ ferrous oxides (Gupta *et al.*, 1999)

Panayotova and Velikov (2002) ศึกษาผลกระทบการดูดซับธาตุโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้สารซีโอไลต์ (zeolite) พบว่า สารซีโอไลต์สามารถดูดซับธาตุโลหะหนักได้ดีสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mench *et al.* (2000) รายงานว่า สารซีโอไลต์สังเคราะห์มีประสิทธิภาพดูดซับธาตุโลหะหนักในสารละลายที่มีแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงและสังกะสี ผลการใช้สารซีโอไลต์สังเคราะห์ 3 ชนิด พบว่า สารซีโอไลต์สังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิดสามารถลดความเป็นพิษของธาตุแคดเมียมและทองแดงในข้าวโพดได้

Basta *et al.* (2001) ทำการทดลองโดยใช้ lime-stabilized biosolid (LSB), N-Viro soil (NV), rock phosphate (RP) และ anaerobic biosolid (AB) ต่อประสิทธิภาพในการลดการสะสมของโลหะหนักในดินที่มีการปนเปื้อนพบว่า alkaline organic (LSB และ NV) สามารถลดการ สะสม แคดเมียมจากดินไปสู่ห่วงโซ่อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ภาคสนามสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ ดินและพืช
2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ดินและพืช
 - 2.1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (MEMMERT รุ่น TV 80b, Western German)
 - 2.2 Fume hood (BOSS TECH ,Thailand)
 - 2.3 Digestion apparatus (VELP รุ่น DK 20 และ DK 42/26, Italy)
 - 2.4 Spectrophotometer (MILTON ROY รุ่น spectronic 21, USA)
 - 2.5 Atomic absorption spectrophotometer (VARIAN รุ่น AA240, Australia)
 - 2.6 pH meter (TOA รุ่น HM – 7E, Japan)
3. อุปกรณ์สำหรับการปลูกพืชในแปลงและโรงเรือนทดลอง
4. เคมีภัณฑ์ (analytical reagent grade) สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช
5. เมล็ดพันธุ์ผักคะน้า ผักกาดเขียวทางตุ้ง ผักกาดขาวปลี กะเพรา ผักบุ้ง และ สะระแหน่
6. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0
7. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลง

วิธีการ

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ของชนิดผักต่อปริมาณการสะสมโลหะหนักจากเขม่าจราจรในพื้นที่ผลิตผักขอบชุมชนเมือง จ.สระบุรี

มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.1 เลือกพื้นที่แปลงปลูกพืชทดลองในพื้นที่ผลิตผักขอบทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี ที่ระยะห่างจากขอบถนน 20 – 40 เมตร ซึ่งพบว่าบริเวณดังกล่าวมีการตกสะสมของโลหะหนักสูง (ชลาชัย, 2552)

1.2 เตรียมแปลงปลูกพืชทดลองโดยเตรียมแปลงย่อยขนาด 2 x 1 เมตร

1.3 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) 6 ดำรับการทดลอง แต่ละดำรับการทดลองมี 4 ซ้ำ ดังนี้

ดำรับการทดลองที่ 1 สะระแหน่

ดำรับการทดลองที่ 2 กะเพรา

ดำรับการทดลองที่ 3 ผักคะน้า

ดำรับการทดลองที่ 4 ผักกาดขาวปลี

ดำรับการทดลองที่ 5 ผักกาดเขียวกวาดตุ้ง

ดำรับการทดลองที่ 6 ผักบุ้ง

1.4 เก็บตัวอย่างดินแบบสุ่มจำนวน 24 ตัวอย่างในทุกแปลงย่อยที่ระดับความลึก 0 -15 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมารวมกันเป็นตัวอย่างดินตัวแทน (composite sampling) ทำการผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร

1.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

1.5.1 วิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) โดยใช้ pH meter อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1: 1 (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.5.2 อินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkley และ Black Titration (Walkley and Black, 1934)

1.5.3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorous) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945)

1.5.4 สภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยวัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดอิ่มตัวของดิน (saturation extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electric conductometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.5.5 การวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคดิน (particle size distribution) โดยวิธี Pipette method (Day, 1965)

1.5.6 ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) โดยการซึมซาบไอออนบวกด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Chapman, 1965)

1.5.7 วิเคราะห์ปริมาณ แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และ นิกเกิล (Ni) ทั้งหมด ซึ่งตัวอย่างดินจำนวน 1 กรัมใส่ในหลอดสำหรับ digestion block ย่อยดินด้วยกรดผสม aqua regia ($\text{HNO}_3\text{:HCl}$ อัตรา 1:3) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ปรับปริมาตรสารละลาย 50 มิลลิลิตร (Breder, 1982) และวิเคราะห์ปริมาณสารหนู (As) และปรอท (Hg) ทั้งหมด ซึ่งดิน 1 กรัมใส่ flask โดยย่อยดินด้วยกรดผสม aqua regia ($\text{HNO}_3\text{:HCl}$ อัตรา 1:3) บน hot plate ที่อุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม 5 % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ปรับปริมาตรสารละลาย 50 มิลลิลิตร (Elrick and Horowitz, 1987) วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

1.5.8 วิเคราะห์สารหนู (As)ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และ นิกเกิล (Ni) ที่สกัดได้ ซึ่งตัวอย่างดิน 25 กรัม ใส่ขวดโพลีเอทิลีนความจุ 100 มิลลิลิตร เติม 0.005 M DTPA pH 7.3 ปริมาณ 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 นำตัวอย่างที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Lindsay and Norvell, 1978)

1.6 การวางแผนแปลงปลูกและปลูกผักแต่ละชนิดในแปลงย่อยโคดวิธีการหว่านเมล็ด สำหรับผักกะเพรา ผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้งและผักบุ้ง และใช้วิธีการย้ายกล้า สำหรับสระแทน ทำการให้น้ำและปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอทุกแปลงย่อย

1.7 เก็บเกี่ยวผลผลิตตามอายุของผักแต่ละชนิด โดยเก็บเกี่ยวผักบุ้งเมื่ออายุครบ 30 วัน ส่วน สระแทน กะเพรา ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักกาดขาวปลี และผักคะน้าเมื่ออายุครบ 45 วัน นำตัวอย่าง ผักมาล้างด้วยน้ำประปาแล้วตามด้วยน้ำกลั่น 3 รอบ จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศา เซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ แล้วบดตัวอย่างเป็นผงละเอียด ทำการนำไปวิเคราะห์ โลหะหนักโดยนำ ตัวอย่างพืชมาย่อยโดยวิธี wet digestion ด้วยกรดผสม ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{H}_2\text{SO}_4$ อัตรา 10:4:1) และ นำมาหาปริมาณสารหนู (As) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และ นิกเกิล (Ni)

1.8 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการศึกษาด้วยโปรแกรมทางสถิติ SAS (statistical analysis system) version 6.12 เปรียบเทียบปริมาณการสะสมโลหะหนักในผักชนิดต่างๆ โดยใช้ DMRT (Duncan's new Multiple Range Test)

1.9 พิจารณาปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในผักแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในผัก

โลหะหนัก	PTWI ^{1/} (มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักตัว/สัปดาห์)	ปริมาณโลหะหนักที่ ร่างกายรับได้ต่อวัน ^{2/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาณโลหะหนักที่ ยอมรับให้มีได้ในผักสด ^{3/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
แคดเมียม (Cd)	0.007	0.06	0.15
ปรอท (Hg)	0.005	0.05	0.13
ตะกั่ว (Pb)	0.025	0.20	0.50
สารหนู (As)	0.015	0.21	0.53
สังกะสี (Zn)	7.000	60.00	150
ทองแดง (Cu)	3.500	30.00	75
นิกเกิล (Ni)	0.350	3.00	7.5

หมายเหตุ: ^{1/} Codex Alimentarius Commission (1995)

^{2/} คิดจากน้ำหนักร่างกาย 60 กิโลกรัม

^{3/} คิดจากปริมาณการบริโภคผักสดที่แนะนำ 400 กรัมต่อวัน (อบเชย, 2546)

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาแนวทางในการลดการสะสมโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินสู่ผัก

มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

2.1 เลือกศึกษาผักคะน้า ผักกาด ขาวปลี ผักกาดเขียวแกวตั้งและผักบุ้งเนื่องจากเป็นผักเศรษฐกิจจากผลการทดลองที่ 1 ที่มีกรสะสมโลหะหนักมากกว่าค่ามาตรฐานที่รับได้

2.2 เก็บตัวอย่างดินบนที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร จากพื้นที่ผลิตผักขอบทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 3034 อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี ที่ระยะห่างจากขอบถนน 20 – 40 เมตร นำตัวอย่างดินที่เก็บมาคลุกเคล้าและตากในที่ร่ม จากนั้นนำมาคลุกเคล้ากันให้เป็นเนื้อเดียว บรรจุใส่กระถาง ๆ ละ 10 กิโลกรัม

2.3 วางแผนทำการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ 9 ดำรับการทดลองดังนี้

2.3.1 ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กลอกไอซ์ต์ 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน (Gadepelle, 2008)

2.3.2 Rock phosphate 180 กรัมต่อกิโลกรัมดิน (Basta *et al.*, 2001)

2.3.3 Calcium phosphate 19.4 กรัมต่อกิโลกรัมดิน (Biling *et al.*, 2008)

2.3.4 Diammonium phosphate 2.30 กรัมต่อกิโลกรัมดิน (Khan and Jones , 2009)

2.3.5 Sodium metasilicate 4.0 กรัมต่อกิโลกรัมดิน (Liang *et al.*, 2005)

2.3.6 ฟางข้าว 25.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน (ศราริน, 2549)

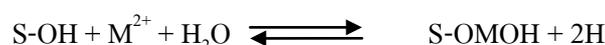
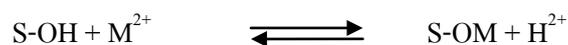
2.3.7 Zeolite 10 กรัมต่อกิโลกรัมดิน (Chen *et al.*, 2000)

2.3.8 Zinc sulfate 7.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (Khoshgoftar *et al.*, 2004)

2.3.9 ดำรับควบคุม

สำหรับการเลือกวิธีการจัดการทั้ง 8 วิธีในการทำการทดลองเพื่อลดปริมาณ โลหะหนัก ที่สกัดได้มีหลักการคือ

1) การเกิดการดูดซับประจุบวกที่ผิว (surface complexation) ได้แก่ดำรับการทดลองที่ใช้ ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กลอกไอซ์ต์ การเกิดปฏิกิริยา แสดงดังสมการ



เมื่อ S-OH = ผิวของออกไอซ์ต์เป็นต้น

2) การเกิดคีเลต (chelating) อันได้แก่ดำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กลอกไอซ์ต์ sodium metasilicate (Na_2SiO_3) และฟางข้าว สารอินทรีย์จะคีเลตกับโลหะหนักและตรึง

โลหะหนักให้อยู่ในรูปของโลหะอินทรีย์ นอกจากนี้ Na_2SiO_3 สามารถเกิดคีเลตเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นเป็น $\text{SiO}_3\text{-M}$ (M= Metal) (Wekesa *et.al.*, 2011)

3) การเกิดการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) อันได้แก่ได้รับการทดลองที่ใช้ rock phosphate calcium phosphate zinc sulfate ซึ่งจะเกิดจากการตกตะกอนของโลหะ โลหะหนักสามารถเกิดเป็นสารประกอบโลหะฟอสเฟต (MPO_4) โลหะซัลเฟต/ซัลไฟด์ (MS , MSO_4 และโลหะออกไซด์ (MO) ได้ ดังสมการ $3\text{M}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-} \rightleftharpoons \text{M}_3(\text{PO}_4)_2$ (Chen *et.al.*, 2000)

4) คุณสมบัติการเป็นตัวดูดซับและเร่งปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนของ zeolite (ศุภกาญจน์, ๒๕๕๐)

2.4 ปลูกพืชในกระถาง โดยวิธีการหว่านเมล็ดผักจำนวน 4-5 เมล็ดต่อกระถาง เมื่อต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์ ทำการถอนแยกให้เหลือหนึ่งต้นต่อกระถาง

2.5 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 หลังจากทำการถอนแยกหรือหลังจากกล้าผักอายุประมาณ 1 สัปดาห์อัตรา 1.12 กรัมต่อกระถาง เมื่อกล้าผักอายุ 20 วัน จึงใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 1.12 กรัมต่อกระถาง

2.6 เก็บเกี่ยวผลผลิตตามอายุของผักแต่ละชนิด โดยเก็บเกี่ยวผักบึงเมื่ออายุครบ 30 วัน ผักกาดเขียวกวาดตุง ผักกาดขาวปลี และผักคะน้าเมื่ออายุครบ 45 วัน ทำการชั่งน้ำหนักสด จากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 70°C แล้วบดตัวอย่างเป็นผงละเอียด ทำการนำไปวิเคราะห์ โลหะหนักโดยนำตัวอย่างพืชมาย่อยโดยวิธี wet digestion ด้วยกรดผสม ($\text{HNO}_3\text{:HClO}_4\text{:H}_2\text{SO}_4$ อัตรา 10:4:1) และนำมาหาปริมาณ แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb)

2.7 วิเคราะห์ข้อมูลผลการศึกษาด้วยโปรแกรมทางสถิติ SAS (statistical analysis system) version 6.12 เปรียบเทียบความสามารถการลดการสะสมโลหะหนักเข้าสู่ผัก วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's new Multiple Range Test)

ผลและวิจารณ์

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ของชนิดผักต่อปริมาณการสะสมโลหะหนักจากเขม่าจากรถในพื้นที่ผลิตผักของชุมชนเมือง จ.สระบุรี

1.1 สมบัติบางประการของดินที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินดังตารางที่ 8 เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายร่วน (silty clay) ค่าพีเอชดินอยู่ในช่วงต่ำเล็กน้อย - ต่ำปานกลาง สภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับสูง ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในช่วง 29 - 43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง ปรอท สารหนู และนิกเกิลที่สกัดได้จากตัวอย่างดินพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี แสดงดังตารางที่ 9 พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 5.26 ± 0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 2.73 ± 0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.1 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณทองแดงที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 2.71 ± 0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณปรอทที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.07 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณสารหนูที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และปริมาณนิกเกิลที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 1.27 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน

ปริมาณสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง ปรอท สารหนู และนิกเกิลทั้งหมดในดินพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินเฉลี่ยเท่ากับ 7.75 ± 7.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินเฉลี่ย 16.28 ± 2.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินเฉลี่ย 0.92 ± 0.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณทองแดงทั้งหมดในดินเฉลี่ย 19.38 ± 3.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณปรอททั้งหมดในดินเฉลี่ย 0.16 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ปริมาณ สารหนูทั้งหมดในดินเฉลี่ย 0.15 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในดินเฉลี่ย 11.99 ± 3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน

ตารางที่ 8 สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินพื้นที่ผลิตผักกิมทางหลวงแผ่นดิน
หมายเลข 3034 อ.พระพุทธรบาท จ.สระบุรี

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์
Texture ^{1/}	
Sand (%)	10
Silt (%)	43
Clay (%)	47
pH ^{2/}	7.8
EC ^{2/} (dS m ⁻¹)	0.9
CEC ^{3/} (cmol kg ⁻¹)	33
OM ^{4/} (g kg ⁻¹)	2.98
Available. P ^{5/} (mg P kg ⁻¹)	1,316
Extrac.K ^{3/} (mg K kg ⁻¹)	353

หมายเหตุ: ^{1/} Pipette method (Day, 1965)

^{2/} pH meter (soil: water; 1: 1) (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

^{3/} Extracted with NH₄OAc pH 7.0 (Chapman, 1965)

^{4/} Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

^{5/} Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

จากค่าวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักในพื้นที่การเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับให้มีได้ในดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าปริมาณสังกะสีและทองแดงทั้งหมดในดินอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ที่กำหนดโดยกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับสังกะสี และไม่เกิน 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) ค่าวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล ปรอท และสารหนูทั้งหมด ก็พบว่าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินที่กำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนดไว้ไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับตะกั่ว 1,600

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับนิกเกิล 23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับปรอทและไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับสารหนู (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547) ถึงแม้ว่าพื้นที่ดังกล่าวอยู่ในระดับที่มีความปลอดภัยต่อการทำการเกษตรแต่จากการศึกษาของชลาลัย (2552) พบว่ามีพืชผักเศรษฐกิจบางชนิด ที่ปลูก ในพื้นที่ ดังกล่าว มีการสะสมโลหะหนักบางชนิดเกินกว่าค่ามาตรฐานอาหารสากล (Codex)

ตารางที่ 9 ปริมาณโลหะหนักที่สกัดได้และโลหะหนักทั้งหมดในดินพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี

ชนิดโลหะหนัก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน	
	ปริมาณที่สกัดได้ ^{1/}	ปริมาณทั้งหมด ^{2/}
สังกะสี (Zn)	5.26 ± 0.31	7.75 ± 7.24
ทองแดง (Cu)	2.71 ± 0.18	19.38 ± 3.93
แคดเมียม (Cd)	0.1 ± 0.03	0.92 ± 0.37
ตะกั่ว (Pb)	2.73 ± 0.27	16.28 ± 2.98
นิกเกิล (Ni)	1.27 ± 0.23	11.99 ± 3.16
ปรอท (Hg)	0.07 ± 0.01	0.16 ± 0.03
สารหนู (As)	0.06 ± 0.01	0.15 ± 0.03

หมายเหตุ: ^{1/} 0.005 M DTPA pH 7.3

^{2/} HNO₃:HCl aqua regia อัตราส่วน 1:3

ตารางที่ 10 ปริมาณ โลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร

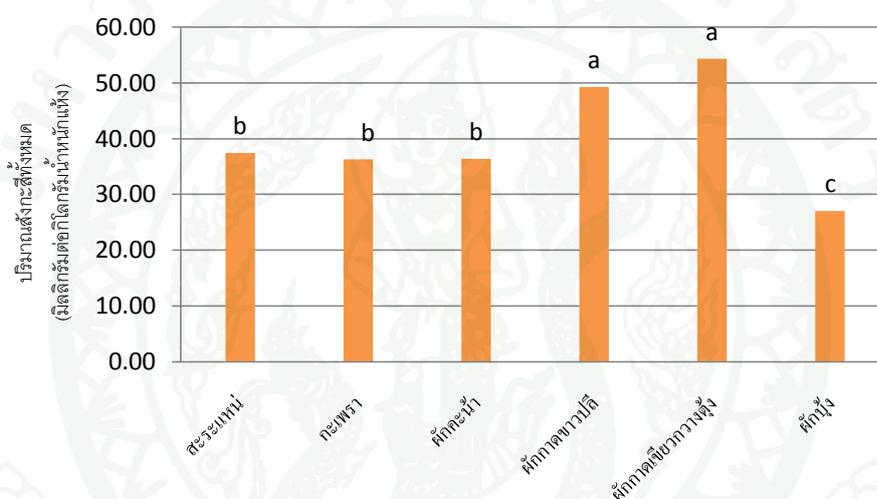
ชนิดโลหะหนัก	ค่าที่กำหนด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	วิธีการวิเคราะห์
สังกะสี ^{1/} (Zn)	100	โดยวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
ทองแดง ^{1/} (Cu)	45	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace
แคดเมียม ^{2/} (Cd)	37	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction
ตะกั่ว ^{2/} (Pb)	400	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction
นิกเกิล ^{2/} (Ni)	1,600	ใช้วิธี Cold-Vapor Technique
ปรอท ^{2/} (Hg)	23	ใช้วิธี Cold-Vapor Technique

ที่มา : ^{1/}กรมพัฒนาที่ดิน (2549)

^{2/}คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2547)

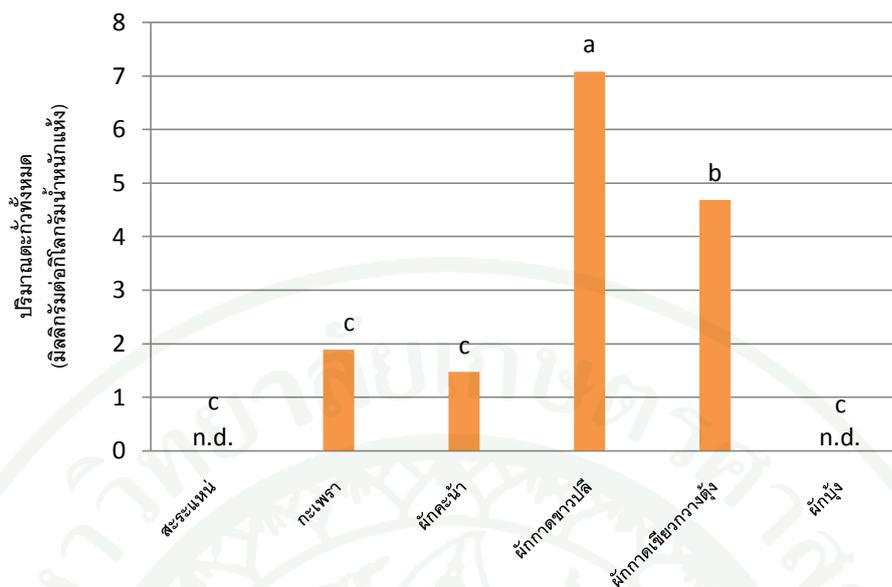
1.2 ปริมาณสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง ปรอท สารหนู และนิกเกิล ต่อน้ำหนักแห้งใน ส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจ ที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากการจราจร ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034

1.2.1 ปริมาณสังกะสีต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 1 และภาพที่ 1 พบว่าปริมาณสังกะสีทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้ง > ผักกาดขาวปลี > สะระแหน่ > กะเพรา > ผักคะน้า > ผักบุ้ง โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 54.31, 49.20, 37.40, 36.40, 36.35, 36.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ พบว่าปริมาณสังกะสีในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักกาดขาวปลี แต่มากกว่าปริมาณสังกะสีทั้งหมดในเนื้อเยื่อสะระแหน่ กะเพรา ผักคะน้า และผักบุ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่พบว่าปริมาณสังกะสีทั้งหมดในเนื้อเยื่อสะระแหน่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกะเพราและคะน้า แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในเนื้อเยื่อผักบุ้ง



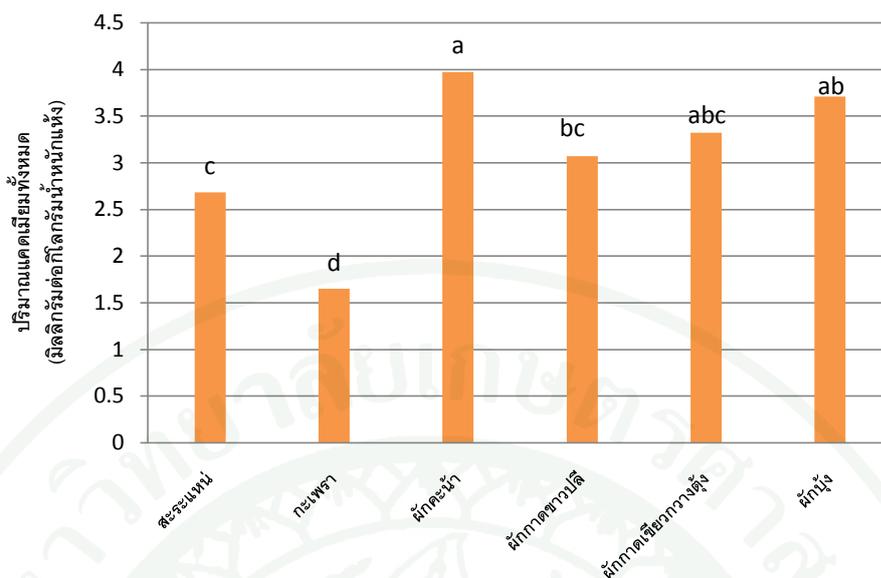
ภาพที่ 1 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.2.2 ปริมาณตะกั่วต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 1 และภาพที่ 2 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักกาดเขียววางตุ้ง > กะเพรา > ผักคะน้า > สะระแหน่ > ผักบุ้ง มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 7.08, 4.69, 1.89, 1.47, trace, trace มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ พบว่าปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีมากกว่าผักกาดเขียววางตุ้ง กะเพรา ผักคะน้า สะระแหน่ และผักบุ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ พบว่าปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งมากกว่ากะเพรา ผักคะน้า ผักบุ้ง และสะระแหน่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อกะเพรา ผักคะน้า ผักบุ้ง และสะระแหน่



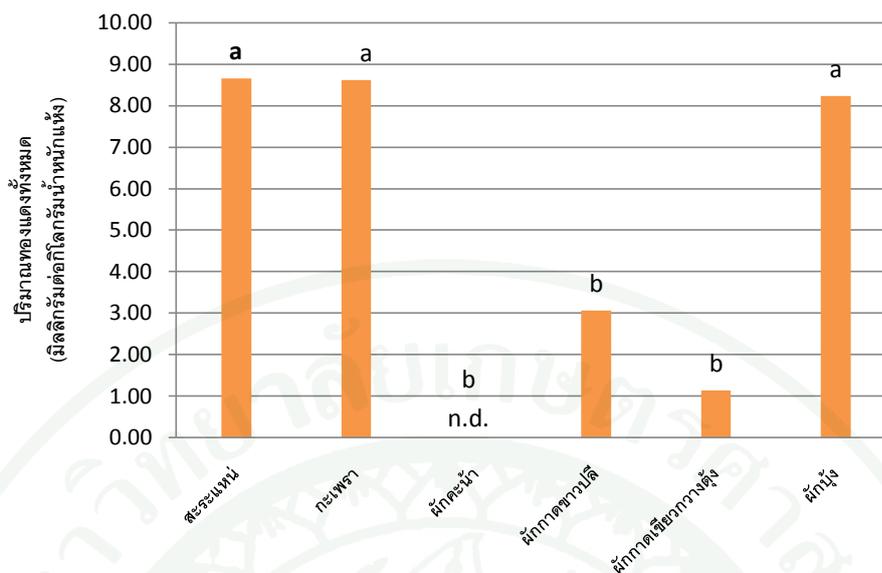
ภาพที่ 2 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.2.3 ปริมาณแคดเมียมต่อน้ำหนักแห้งของผักในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 1 และภาพที่ 3 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้า > ผักบุ้ง > ผักกาดเขียววางตุ้ง > ผักกาดขาวปลี > สะระแหน่ > กะเพรา มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.97, 3.71, 3.23, 3.07, 2.68, 1.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้าไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักบุ้งและผักกาดเขียววางตุ้ง แต่มากกว่าในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี สะระแหน่ กะเพราอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีและสะระแหน่ แต่มากกว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อกะเพราอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ



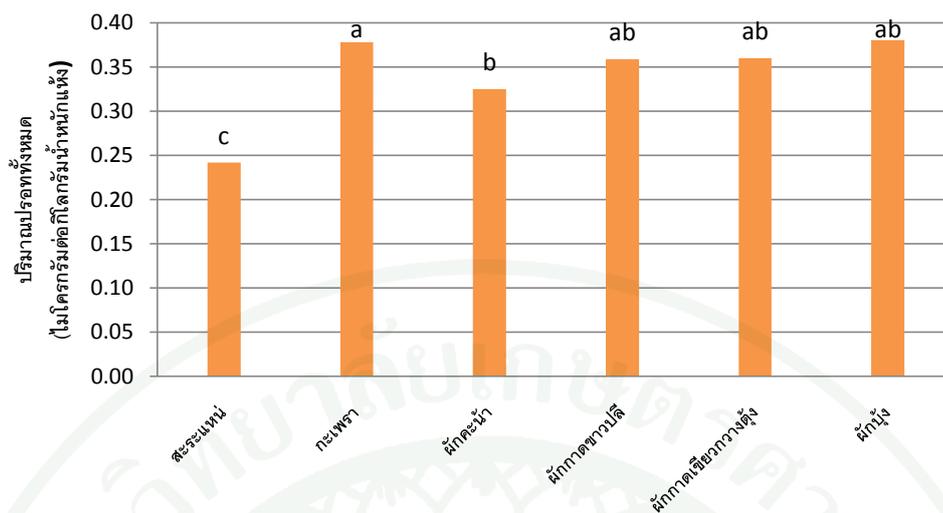
ภาพที่ 3 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในฝักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตฝักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.2.4 ปริมาณทองแดงต่อน้ำหนักแห้งของฝักเศรษฐกิจแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 1 และภาพที่ 4 พบว่าปริมาณทองแดงทั้งหมดในเนื้อเชื้อสระแหม่น > กะเพรา > ฝักบู่ > ฝักกาดเขียวทางตั้ง > ฝักกาดขาวปลี > ฝักคะน้า มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 8.66, 8.62, 8.23, 1.14, 0.08 และ trace มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ กะเพราไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับสระแหม่นและฝักบู่ แต่พบความแตกต่างทางสถิติกับฝักกาดเขียวทางตั้ง ฝักกาดขาวปลี และฝักคะน้าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ



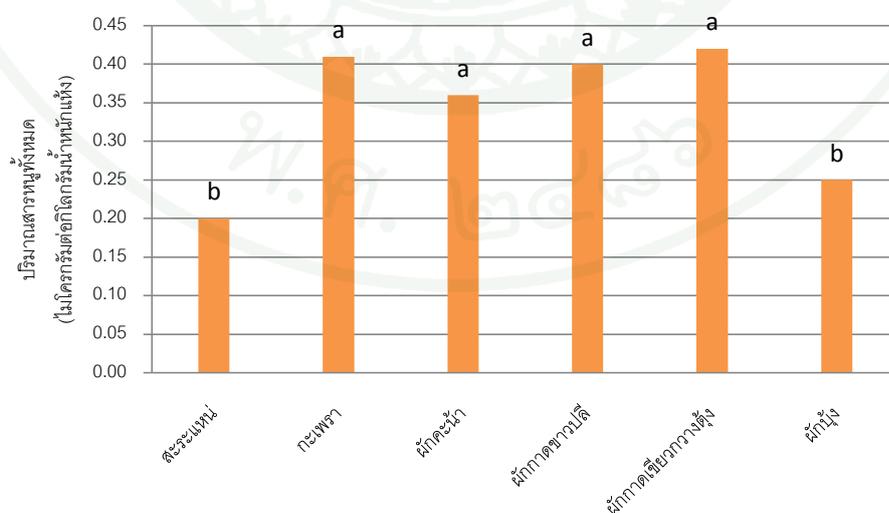
ภาพที่ 4 ปริมาณทองแดงทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.2.5 ปริมาณปรอทต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจ 6 แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 1 และภาพที่ 5 พบว่าปริมาณปรอททั้งหมดในเนื้อเชื้อกะเพรา > ผักบุ้ง > ผักกาดขาวปลี > ผักกาดเขียววางตุ้ง > ผักคะน้า > สะระแหน่ ปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.38, 0.38, 0.36, 0.36, 0.32 และ 0.24 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ พบว่าปริมาณปรอททั้งหมดในเนื้อเชื้อกะเพราไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักบุ้ง ผักกาดขาวปลี และผักกาดเขียววางตุ้ง แต่มากกว่าผักคะน้าและสะระแหน่ อย่างไรก็ตามปริมาณปรอทในเนื้อเชื้อผักบุ้ง ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักกาดขาวปลี และผักคะน้าไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่มากกว่าสะระแหน่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ



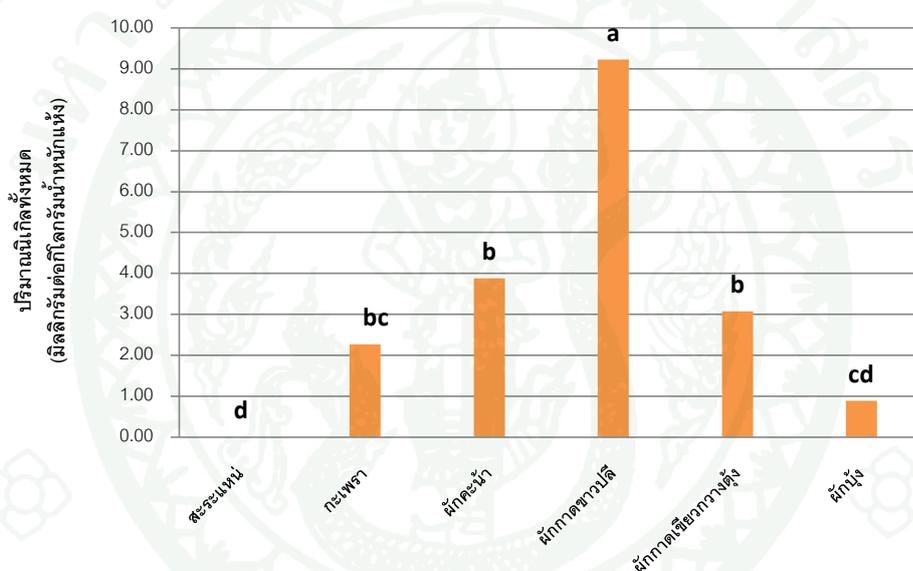
ภาพที่ 5 ปริมาณปรอททั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.2.6 ปริมาณสารหนูต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 1 และภาพที่ 6 พบว่าปริมาณสารหนูทั้งหมดในเนื้อเชื้อผักกาดเขียววางตุ้ง > กะเพรา > ผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า > ผักบุ้ง > สระระแหง มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.42, 0.41, 0.40, 0.31, 0.25 และ 0.20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ พบว่าปริมาณสารหนูทั้งหมดในเนื้อเชื้อผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกะเพรา ผักกาดขาวปลี และผักคะน้าแต่มากกว่าผักบุ้งและสระระแหงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ



ภาพที่ 6 ปริมาณสารหนูทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.2.7 ปริมาณนิเกิลต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภครวมของผักเศรษฐกิจแสดงดังตาราง ภาพที่ 1 และภาพที่ 7 พบว่าปริมาณนิเกิลทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า > ผักกาดเขียวหวานวงศ์ > กะเพรา > ผักบุ้ง > สะระแหน่ มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 9.22, 3.87, 3.07, 2.26, 0.88 และ 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยปริมาณนิเกิลทั้งหมดในเนื้อเยื่อ ผักกาดขาวปลีมากกว่า ผักคะน้า ผักกาดเขียวหวานวงศ์กะเพรา ผักบุ้ง และสะระแหน่อย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติ ผักคะน้าไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักกาดเขียวหวานวงศ์และกะเพรา แต่มากกว่า ผักบุ้งและสะระแหน่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าผักบุ้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ สะระแหน่

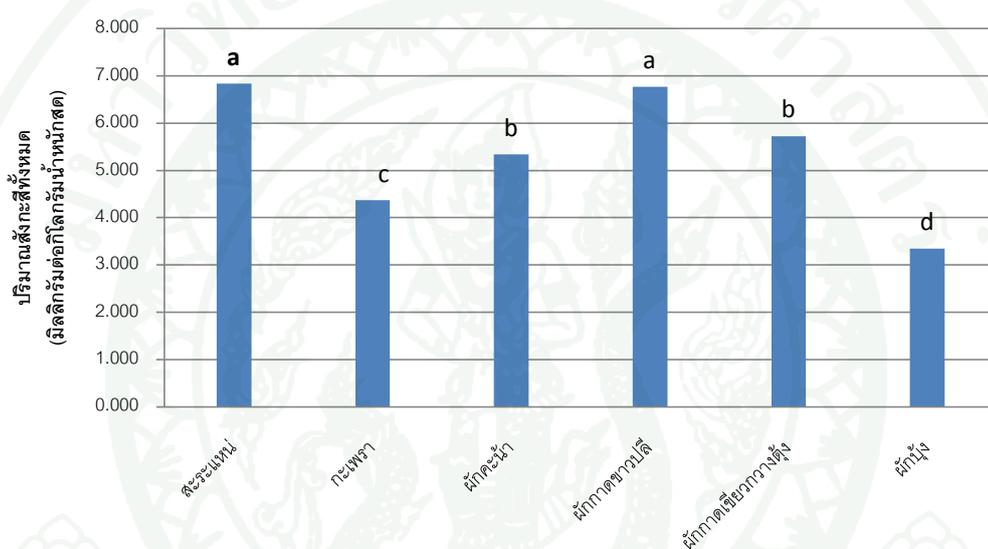


ภาพที่ 7 ปริมาณนิเกิลทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.3 ปริมาณสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง ปรอท สารหนู และนิเกิลต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากการจราจร ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.3.1 ปริมาณสังกะสีต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจแสดงดัง ตารางภาพผนวกที่ 2 และภาพที่ 8 พบว่าปริมาณสังกะสีทั้งหมดในเนื้อเยื่อสะระแหน่ > ผักกาดขาว ปลี > ผักกาดเขียวหวานวงศ์ > ผักคะน้า > กะเพรา > ผักบุ้ง มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 6.83, 6.76, 5.72, 5.34, 4.36 และ 3.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในเนื้อเยื่อ

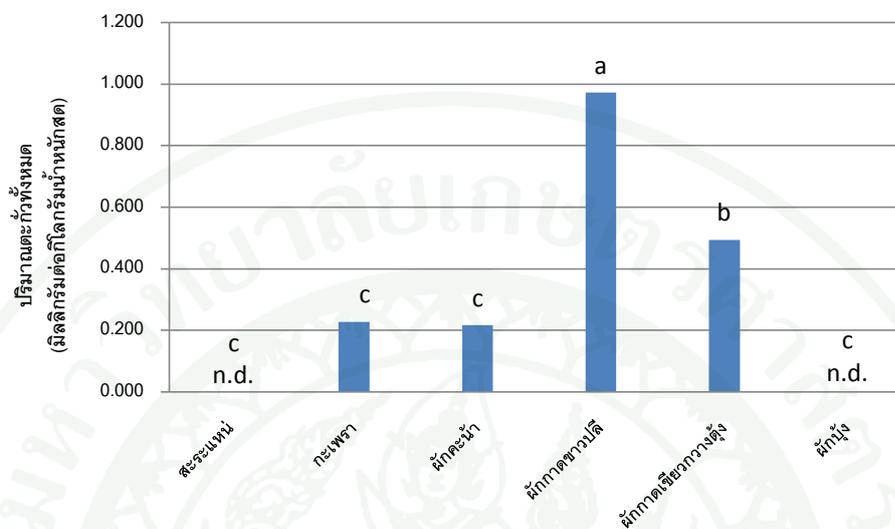
สระแหน่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักกาดขาวปลี แต่มากกว่าในผักกาดเขียววางตุ้ง ผักคะน้า กะเพราและผักบุ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ พบว่าผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักคะน้าแต่มากกว่าในผักบุ้งและกะเพราอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งปริมาณสังกะสีทั้งหมดในเนื้อเยื่อกะเพรามากกว่าผักบุ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ จากการทดลองพบว่าปริมาณการสะสมสังกะสีต่อน้ำหนักสดในผักทุกชนิดไม่เกินค่าที่ยอมรับให้มีได้ ซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติคือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 8 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

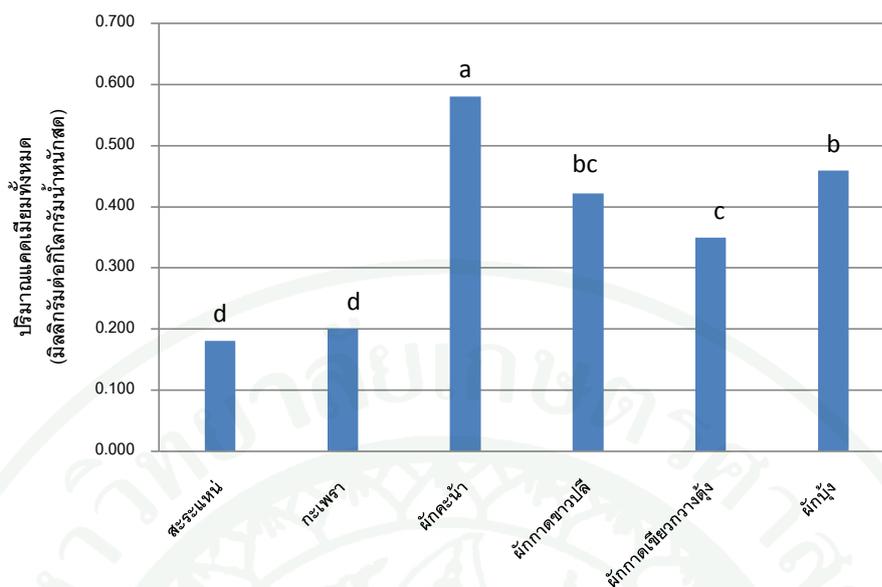
1.3.2 ปริมาณตะกั่วต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 2 และภาพที่ 9 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักกาดเขียววางตุ้ง > กะเพรา > ผักคะน้า > สระแหน่และผักบุ้ง มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.973, 0.494, 0.227, 0.216, trace และ trace มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ พบว่าปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีมากกว่าผักกาดเขียววางตุ้ง กะเพรา ผักคะน้า สระแหน่ และผักบุ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าในผักกาดเขียววางตุ้งมากกว่ากะเพรา ผักคะน้า ผักบุ้ง และสระแหน่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในกะเพรา ผักคะน้า ผักบุ้ง และสระแหน่ จากการทดลองพบว่าปริมาณการสะสมตะกั่วต่อน้ำหนักสดในผักกาดขาวปลีและผักกาดเขียววางตุ้งเกินกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผัก ซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) องค์การ

อาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



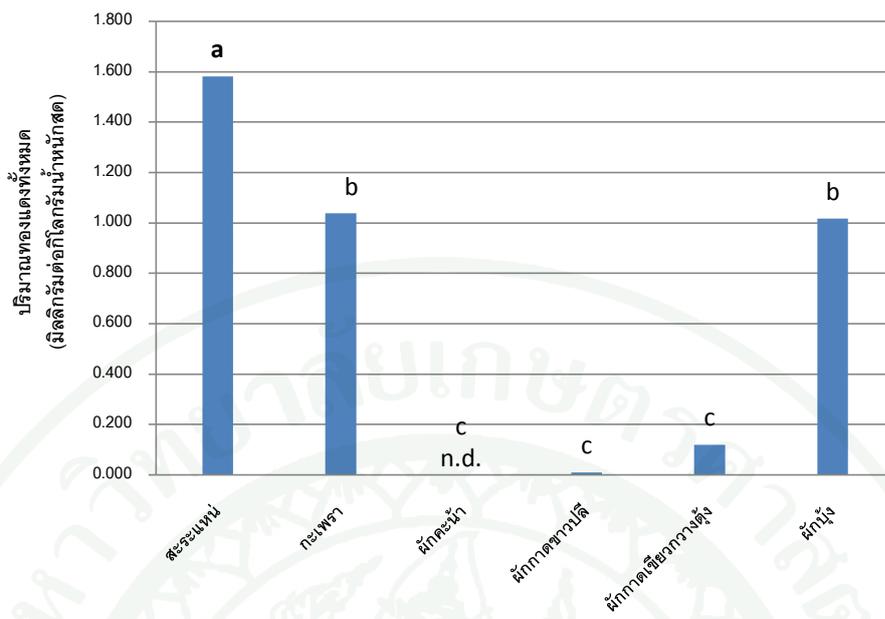
ภาพที่ 9 ปริมาณอะฟลาทอกซินทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.3.3 ปริมาณแคดเมียมต่อน้ำหนักสดของผักในส่วนที่ใช้บริโภคของผักเศรษฐกิจเศรษฐกิจดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 2 และภาพที่ 10 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้ำ > ฟักนึ่ง > ฟักกาดขาวปลี > ฟักกาดเขียวหวาน > กะเพรา > สาระแห่น มีปริมาณเฉลี่ยแคดเมียมเท่ากับ 0.58, 0.46, 0.42, 0.34, 0.20 และ 0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้ำสูงกว่าในฟักนึ่ง ฟักกาดขาวปลี ฟักกาดเขียวหวาน กวางตุ้ง กะเพราและสาระแห่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าฟักนึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับฟักกาดขาวปลีแต่มากกว่าในฟักกาดเขียวหวาน กวางตุ้ง กะเพราและสาระแห่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าฟักกาดเขียวหวานมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อในระดับสูงกว่ากะเพราและสาระแห่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ จากการทดลองพบว่าปริมาณการสะสมแคดเมียมต่อน้ำหนักสดในผักคะน้ำ ฟักกาดขาวปลี ฟักกาดเขียวหวาน และฟักนึ่ง เกินกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



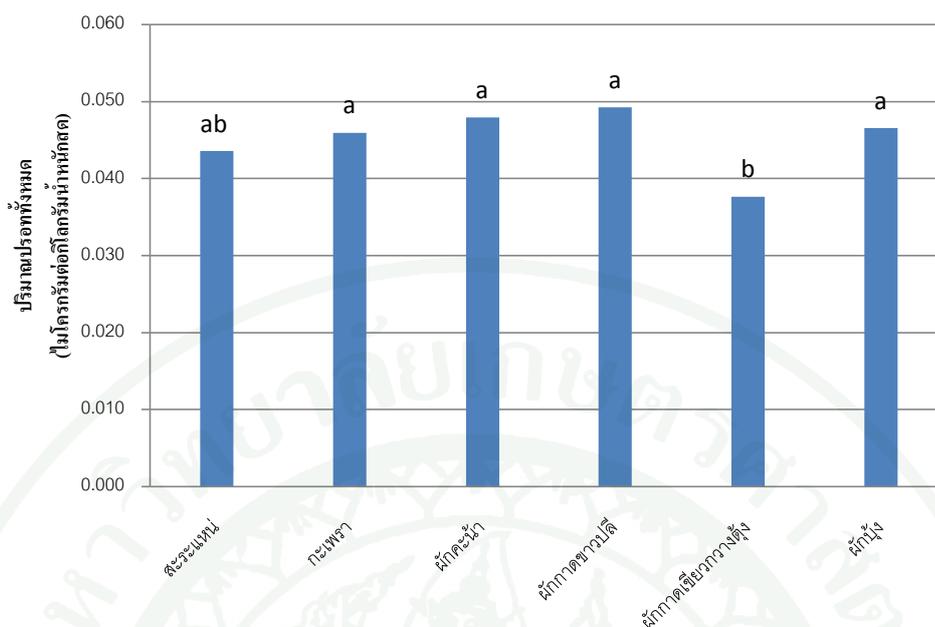
ภาพที่ 10 ปริมาณแอดเมียมทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.3.4 ปริมาณทองแดงต่อน้ำหนักสดของผักเศรษฐกิจ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 2 และภาพที่ 11 พบว่าปริมาณทองแดงทั้งหมดในเนื้อเยื่อสระแห่น > กะเพรา > ผักบุ้ง > ผักกาดเขียววางตุ้ง > ผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.58, 1.04, 1.02, 0.12, 0.01 และ trace มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ พบว่าปริมาณทองแดงทั้งหมดในเนื้อเยื่อสระแห่นมากกว่าในกะเพรา ผักบุ้ง ผักกาดเขียววางตุ้ง ผักกาดขาวปลี และผักคะน้าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าในกะเพราและผักบุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มากกว่าในผักกาดเขียววางตุ้ง ผักกาดขาวปลี และผักคะน้าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และไม่พบความแตกต่างทางสถิติในผักกาดเขียววางตุ้ง ผักกาดขาวปลี และผักคะน้า จากการทดลองพบว่าปริมาณการสะสมทองแดงต่อน้ำหนักสดในผักทุกชนิดไม่เกินค่าที่ยอมรับให้มีได้ ซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



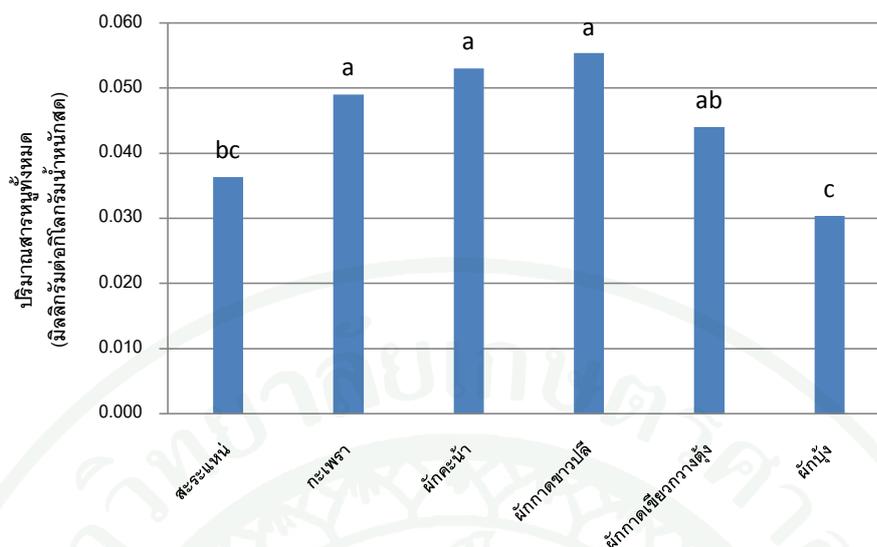
ภาพที่ 11 ปริมาณของแคงทั้งหมดค่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.3.5 ปริมาณปรอทค่อน้ำหนักสดของผักเศรษฐกิจแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 2 และภาพที่ 12 พบว่าปริมาณปรอททั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า > ผักบุ้ง > กะเพรา > สาระแห่น > ผักกาดเขียวทางตั้ง มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.049, 0.048, 0.047, 0.046, 0.044 และ 0.038 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ พบว่าปริมาณปรอททั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี ผักคะน้า ผักบุ้ง กะเพราและสาระแห่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่มากกว่าในผักกาดเขียวทางตั้ง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าการบริโภคผักที่ปลูกในพื้นที่ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งมีการกำหนดค่าที่ยอมรับได้ไว้ 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อสัปดาห์ (Codex, 2001) สำหรับคนไทย (อายุ 16 – 60 ปี) เพศชาย มีน้ำหนักเฉลี่ย 54 กิโลกรัม เพศหญิง 50 กิโลกรัม (Narongchai and Narongchai, 2008) ในวัยผู้ใหญ่ควรบริโภคผักสดโดยเฉลี่ยแต่ละวันประมาณ 400 กรัม (อบเชย, 2546) ดังนั้นปริมาณสูงสุดที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยของความเข้มข้นสารหนูในเนื้อเยื่อผักสดจะต้องไม่เกิน 0.10 และ 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการบริโภคโดยเพศชายและเพศหญิงตามลำดับ



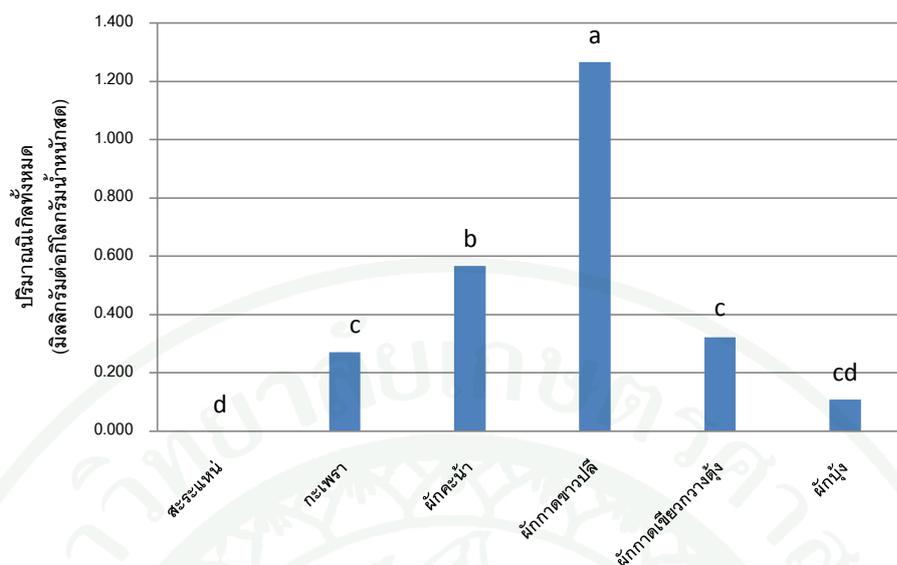
ภาพที่ 12 ปริมาณปรอททั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.3.6 ปริมาณสารหนูต่อน้ำหนักสดของผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 2 และภาพที่ 13 พบว่าปริมาณสารหนูทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า > กะเพรา > ผักกาดเขียวทางตั้ง > สระแหม่น > ผักบู่ มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.055, 0.053, 0.049, 0.044, 0.036 และ 0.030 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ พบว่าปริมาณสารหนูทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี ไม่พบความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณสารหนูทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้า กะเพรา และผักกาดเขียวทางตั้งแต่มากกว่าในเนื้อเยื่อผักบู่และสระแหม่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับในเนื้อเยื่อผักกาดเขียวทางตั้งไม่พบความแตกต่างทางสถิติกับสระแหม่น แต่พบว่าปริมาณสารหนูทั้งหมดมากกว่าในเนื้อเยื่อผักบู่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามการบริโภคผักที่ปลูกในพื้นที่ ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเนื่องจากค่าที่ยอมรับได้กำหนดไว้ที่ 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อสัปดาห์ (Codex, 2001) สำหรับคนไทย (อายุ 16 – 60 ปี) เพศชายมีน้ำหนักเฉลี่ย 54 กิโลกรัม เพศหญิง 50 กิโลกรัม (Narongchai and Narongchai, 2008) ในวัยผู้ใหญ่ควรบริโภคผักสดโดยเฉลี่ยแต่ละวันประมาณ 400 กรัม (อบเชย, 2546) ดังนั้นปริมาณสูงสุดที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยของความเข้มข้นสารหนูมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในเนื้อเยื่อผักสดจะต้องไม่เกิน 0.29 และ 0.28 สำหรับการบริโภคโดยเพศชายและเพศหญิงตามลำดับ



ภาพที่ 13 ปริมาณสารหนูทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.3.7 ปริมาณนิเกิลต่อน้ำหนักสดของผักเศรษฐกิจแสดงดังตารางภาคผนวกที่ 2 และภาพที่ 14 พบว่าปริมาณนิเกิลทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า > ผักกาดเขียววางตุ้ง > กะเพรา > ผักบุ้ง > สะระแหน่ มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.27, 0.57, 0.32, 0.27, 0.11 และ 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับโดยปริมาณนิเกิลทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีมากกว่า ผักคะน้า ผักกาดเขียววางตุ้ง กะเพรา ผักบุ้ง และสะระแหน่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ พบว่าใน ผักคะน้ามากกว่าในผักกาดเขียววางตุ้ง กะเพรา ผักบุ้งและสะระแหน่ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง กะเพราและผักกาดเขียววางตุ้ง แต่มากกว่าในผักบุ้ง และไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างผักบุ้งและสะระแหน่ จากการทดลองพบว่าปริมาณการสะสมนิเกิลต่อน้ำหนักสดในผักทุกชนิดไม่เกินค่าที่ยอมรับให้มีได้ ซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 14 ปริมาณนิ่วทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักเศรษฐกิจที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1.4 การประเมินความปลอดภัยของผู้บริโภคจากการบริโภคผักเศรษฐกิจทั้ง 6 ชนิดที่ปลูก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034

ผลการศึกษาพบว่าผักที่ปลูกในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณการสะสมสังกะสีในเนื้อเยื่อสูง ซึ่งสังกะสีมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของมนุษย์ โดยเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์โปรตีน การแสดงออกของหน่วยพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ในภาวะที่ร่างกายได้รับสังกะสีไม่เพียงพอจะมีผลทำให้เกิดความผิดปกติในการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอลง ความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ โรคผิวหนังดังนั้นการบริโภคผักในพื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นผลดีต่อการได้รับสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะ สระระแหงที่มีการสะสมสังกะสีสูง และที่สำคัญการสะสมของโลหะหนักชนิดอื่น ๆ อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าผักแต่ละชนิดมีการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกัน โดยพบว่าพืชในวงศ์ Labiatae ได้แก่ สระระแหงและกะเพรา มีการสะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่พบว่าผักคะน้า ผักกาดขาวปลี และผักกาดเขียววางตุ้ง มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค สำหรับผักนึ่งพบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเช่นกัน

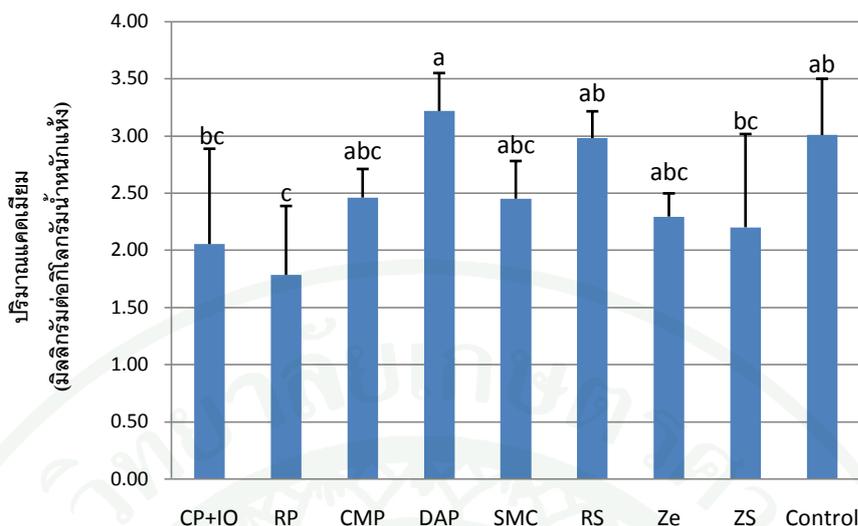
จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการหาแนวทางการจัดการดินเพื่อลดปริมาณการสะสมของแคดเมียมและตะกั่ว ในการผลิตผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง และ ผักบุ้งในพื้นที่ดังกล่าว

2. การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาแนวทางในการลดการ สะสม แคดเมียมและตะกั่วเข้าสู่ผัก คะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง และผักบุ้ง ในสภาพโรงเรือนทดลอง

2.1 แนวทางลดการสะสมแคดเมียมและตะกั่วเข้าสู่ผักคะน้าที่ปลูกโดยวิธีการจัดการดินในรูปแบบต่างกัน

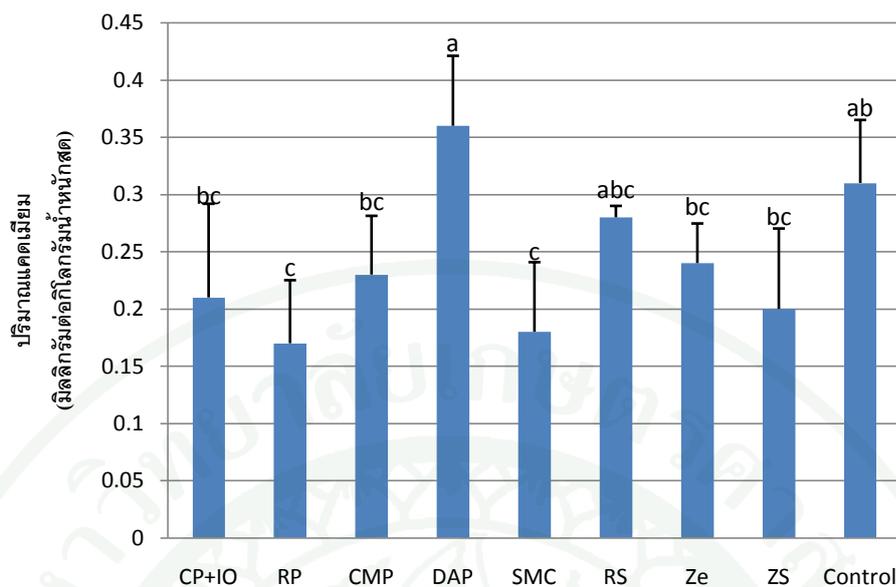
2.1.1 การลดการสะสมแคดเมียมเข้าสู่ผักคะน้า

1) ปริมาณแคดเมียมต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักคะน้าที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่ โดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3 และภาพที่ 15 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้าที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ diammonium phosphate (DAP) > control > ฟางข้าว (RS) > calcium phosphate (CMP) > sodium metasilicate (SMS) > zeolite (Ze) > zinc sulphate (ZS) > ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กออกไซด์ (CP+IO) > rock phosphate (RP) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.13 ± 0.33 , 3.01 ± 0.49 , 2.98 ± 0.23 , 2.46 ± 0.25 , 2.45 ± 0.33 , 2.29 ± 0.20 , 2.20 ± 0.82 , 2.05 ± 0.83 และ 1.87 ± 0.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักคะน้าที่ปลูกในตำรับการทดลองที่มีการจัดการดินโดยใส่ DAP ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม (control), RS, CMP, SMC และ Ze แต่ส่งผลให้เกิดการสะสมแคดเมียมในผักคะน้ามากกว่าตำรับการทดลองที่ใช้ ZS, CP+IO และ RP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักคะน้าในตำรับการควบคุม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่มีการจัดการดินด้วยวิธี RS, CMP, SMC, Ze, ZS และ CP+IO แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใช้ RP



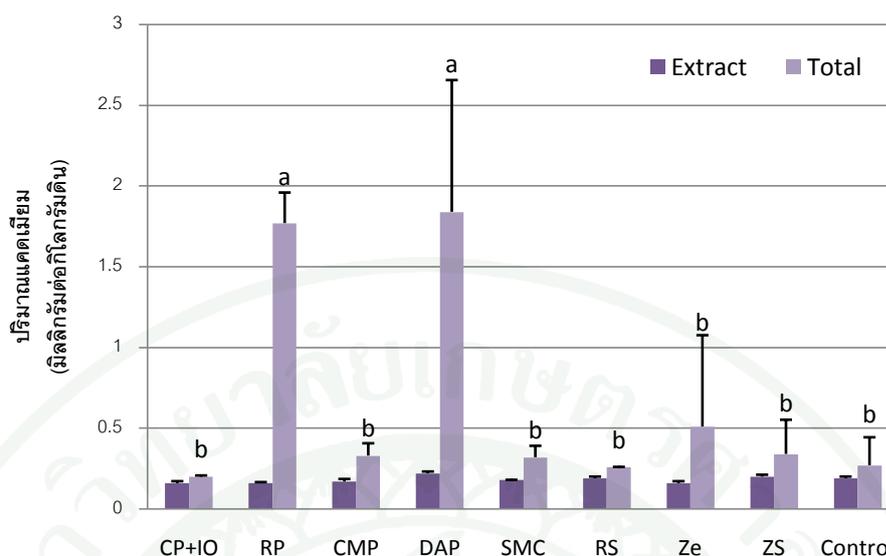
ภาพที่ 15 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักแห้งของผักคะน้า ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสม แคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

2) ปริมาณแคดเมียม ต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักคะน้าที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถ โดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3 และภาพที่ 16 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้าที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ DAP > control > RS > Ze > CMP > CP+IO > ZS > SMC > RP โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.36 ± 0.061 , 0.31 ± 0.055 , 0.28 ± 0.010 , 0.24 ± 0.035 , 0.23 ± 0.051 , 0.21 ± 0.082 , 0.20 ± 0.070 , 0.18 ± 0.061 และ 0.17 ± 0.055 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณ แคดเมียม ในเนื้อเยื่อผักคะน้าที่ปลูกในตำรับการทดลองที่ใช้ DAP ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับตำรับการทดลองที่ใช้ Control และ RS แต่ส่งผลให้เกิดการสะสมแคดเมียมในผักคะน้า มากกว่าตำรับการทดลองที่ใช้ Ze, CMP, CP+IO, ZS, SMC และ RP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าตำรับการทดลอง Control ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใช้ RS, Ze, CMP, CP+IO และ ZS แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใช้ SMC และ RP และยังพบว่าตำรับการทดลอง RS, Ze, CMP, CP+IO, ZS, SMC และ RP สามารถลดปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อได้ในระดับต่ำกว่า ค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 16 ปริมาณแควมชื้นทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดของฝักค่น้ำ ที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากเขม่าจากรถที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสม แควมชื้นด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณแควมชื้นที่สกัดได้และปริมาณแควมชื้นทั้งหมดในดินหลังการปลูกฝักค่น้ำที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากเขม่าจากรถโดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสม แควมชื้นดังแสดงในตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 17 พบว่าปริมาณแควมชื้นที่สกัดได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง โดยปริมาณแควมชื้นที่สกัดได้หลังการจัดการดินด้วยวิธี $DAP > ZS > Control$ และ $RS > SMC > CMP > CP+IO, RP$ และ Ze สำหรับปริมาณแควมชื้นที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ $0.22 \pm 0.01, 0.20 \pm 0.01, 0.19 \pm 0.01, 0.19 \pm 0.01, 0.18 \pm 0.00, 0.17 \pm 0.02, 0.16 \pm 0.01, 0.16 \pm 0.01$ และ 0.16 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ พบว่าปริมาณแควมชื้นทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง ปริมาณแควมชื้นทั้งหมดในดิน พบว่าในตำรับการทดลอง $DAP > RP > Ze > ZS > CMP > SMC > Control > RS > CP+IO$ โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $1.84 \pm 0.82, 1.77 \pm 0.19, 0.51 \pm 0.57, 0.34 \pm 0.21, 0.33 \pm 0.08, 0.32 \pm 0.07, 0.27 \pm 0.17, 0.26 \pm 0.00$ และ 0.20 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าวิธีการจัดการดินโดยการใส่ DAP ส่งผลให้ปริมาณแควมชื้นทั้งหมดในดินไม่แตกต่างกันทางสถิติกับวิธี RP แต่ส่งผลให้ปริมาณแควมชื้นทั้งหมดสูงกว่าดินที่มีการจัดการด้วยวิธี $Ze, ZS, CMP, SMC, Control, RS$ และ $CP+IO$ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ



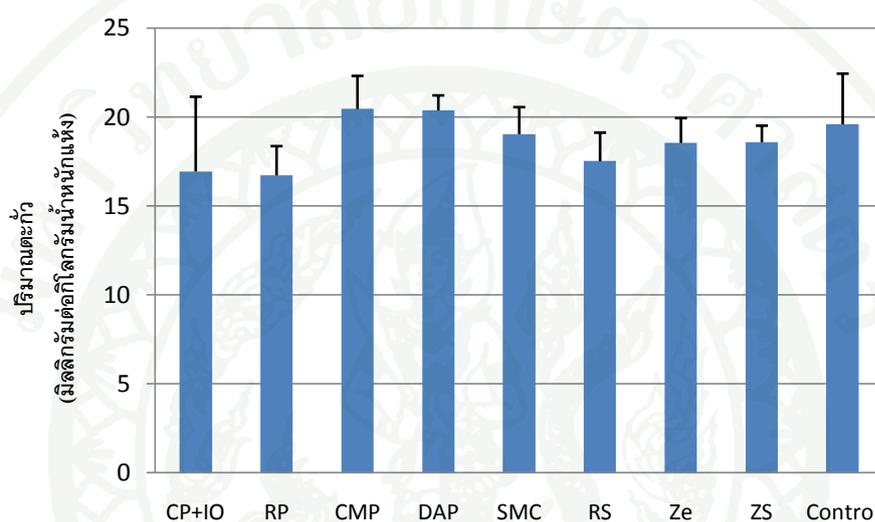
ภาพที่ 17 ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักคะน้าที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

การจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักคะน้า พบว่าการใส่ RP, SMC, CP+IO, CMP, Ze, ZS และ RS สามารถลดการสะสมในผักคะน้า และวิธีการ RP, SMC, ZS และ CP+IO สามารถลดได้ร้อยละ 45.16, 41.94, 35.48 และ 32.26 และพบว่าการใส่ RP, Ze และ CP+IO ในดินส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินหลังการปลูกผักคะน้าลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับค่าควบคุม วิธีการดังกล่าวนั้นเป็นการเพิ่ม binding capacity ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการสะสมโลหะหนัก พบว่าการเพิ่ม binding capacity กระทำได้โดยการเติม clay minerals, iron oxides หรือของเหลือทิ้งต่างๆ ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งสารต่าง ๆ เหล่านี้ จะลดการสะสมโลหะหนักได้ เนื่องจากการมีพื้นที่ผิวและค่า CEC ที่สูง ซึ่งสารที่มีความสามารถในการเพิ่ม binding capacity เช่น zeolite, beringite, hydrous manganese และ ferrous oxides (Gupta *et al.*, 1999) ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักคะน้า จึงเป็นวิธีการใส่ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อ กิโลกรัมดิน การใส่ CP+IO ในอัตรา 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และการใส่ Ze ในอัตรา 10 กรัมต่อกิโลกรัมดิน

2.1.2 การลดการสะสมตะกั่วเข้าสู่ผักคะน้า

1) ปริมาณตะกั่วต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักคะน้าที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถ โดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ดังแสดงใน ตาราง

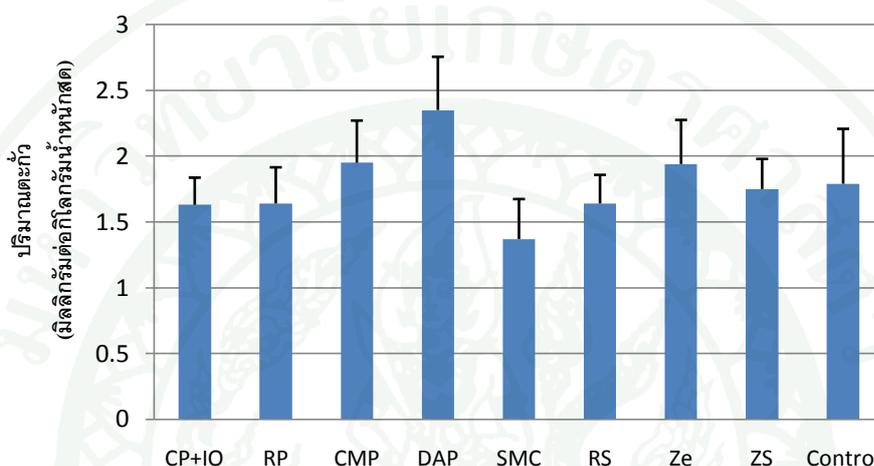
ภาคผนวกที่ 4 และภาพที่ 18 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้าที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ CMP > DAP > control > SMS > ZS > Ze > RS > CP+IO > RP มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 20.45 ± 1.86 , 20.37 ± 0.85 , 19.59 ± 2.85 , 19.03 ± 1.53 , 18.58 ± 0.94 , 18.54 ± 1.40 , 17.51 ± 1.61 , 16.94 ± 4.20 และ 16.72 ± 1.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักคะน้าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง



ภาพที่ 18 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักแห้งของผักคะน้า ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

2) ปริมาณตะกั่วต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักคะน้าที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถโดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 4 และภาพที่ 19 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ DAP > CMP > Ze > control > ZS > RP และ RS > CP+IO > SMS มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 2.35 ± 0.41 , 1.95 ± 0.32 , 1.94 ± 0.34 , 1.79 ± 0.42 , 1.75 ± 0.23 , 1.64 ± 0.28 , 1.64 ± 0.22 , 1.63 ± 0.21 และ 1.37 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักคะน้าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลองแต่พบว่าตำรับการทดลอง SMC, CP+IO, RS, RP และ ZS สามารถลดการสะสมของตะกั่วในเนื้อเยื่อผักคะน้าได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ control ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 4 และภาพที่ 19 พบว่าตำรับการทดลอง SMC, CP+IO, RS, RP และ ZS สามารถลดการสะสมของตะกั่วในเนื้อเยื่อผักคะน้าได้ร้อยละ 23.46, 8.94, 8.33, 8.33 และ 2.23 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ Control และพบว่าตำรับการ

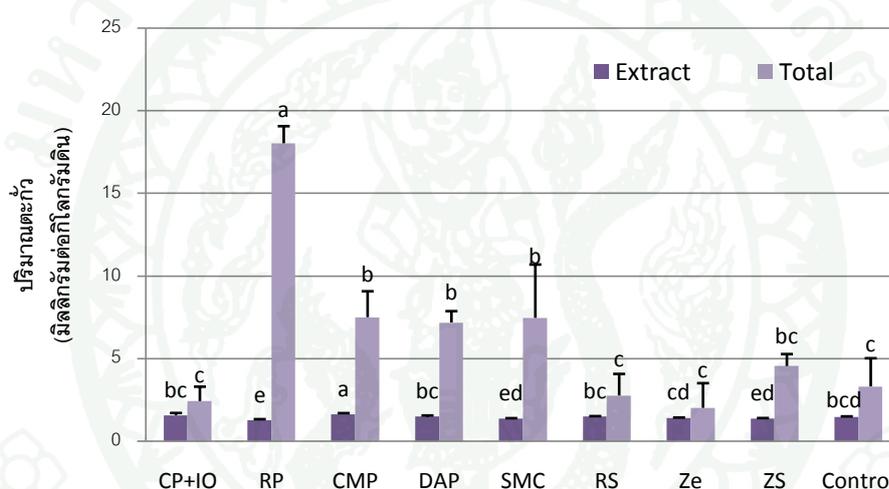
ทดลอง DAP และ CMP เป็นวิธีการที่ไม่สามารถลดการสะสมตะกั่วในเนื้อเยื่อผักคะน้าได้ จากการทดลองวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วในผักคะน้าพบว่าไม่มีตำรับการทดลองใดที่สามารถลดปริมาณตะกั่วได้ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด



ภาพที่ 19 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดของผักคะน้า ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการปลูก ผักคะน้าในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถโดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วดังแสดงในตารางผนวกที่ 4 ภาพที่ 20 พบว่าปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในตำรับการทดลอง $CMP > CP+IO > RS > DAP > Control > Ze > ZS > SMC > RP$ สำหรับปริมาณตะกั่วที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 1.65 ± 0.06 , 1.59 ± 0.13 , 1.51 ± 0.02 , 1.50 ± 0.07 , 1.48 ± 0.03 , 1.42 ± 0.03 , 1.39 ± 0.02 , 1.39 ± 0.02 และ 1.28 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ พบว่าปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในตำรับการทดลอง CMP มีปริมาณมากกว่าในตำรับการทดลอง CP+IO, RS, DAP, Control, Ze, ZS, SMC และ RP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตำรับการทดลองที่ใช้ CP+IO มีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ ไม่แตกต่างกับตำรับการทดลอง RS, DAP, Control และ Ze แต่มากกว่า ZS และ SMC อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าตำรับการทดลอง Control ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลอง Ze, ZS, SMC และ RP สำหรับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักคะน้าพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินในตำรับการทดลอง $RP > CMP > SMC > ZS > Control > RS > CP+IO > Ze$ สำหรับปริมาณตะกั่ว

ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 18.05 ± 1.04 , 7.52 ± 1.57 , 7.48 ± 3.23 , 7.20 ± 0.69 , 4.56 ± 0.73 , 3.33 ± 1.71 , 2.78 ± 1.31 , 2.44 ± 0.87 และ 2.03 ± 1.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักคะน้าในตำรับการทดลอง RP มีปริมาณมากกว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ CMP, SMC, DAP, ZS, Control, RS, CP+IO และ Ze อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักคะน้าในตำรับการทดลอง CMP ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับ SMC, DAP และ ZS แต่มากกว่า Control, RS, CP+IO และ Ze อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง SMC, DAP, Control, RS, CP+IO และ Ze



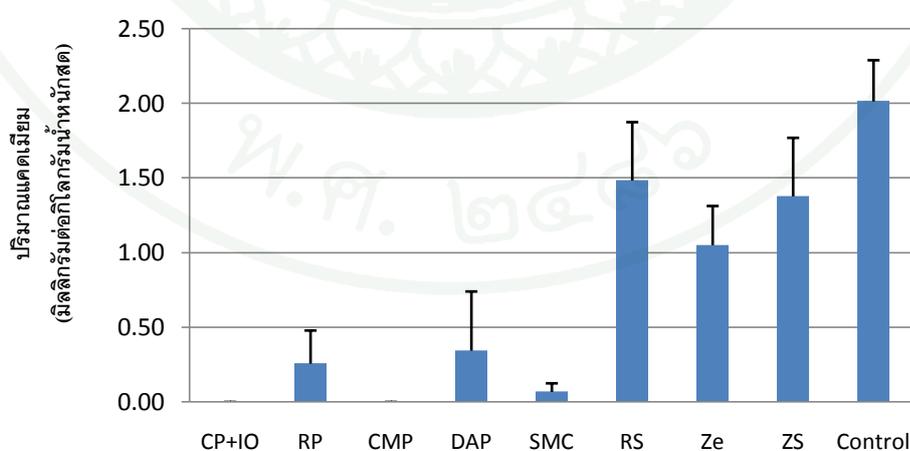
ภาพที่ 20 ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักคะน้าที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

แนวทางในการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วจากดินสู่ผักคะน้า พบว่าการใส่ CP+IO, RP, SMC และ RS สามารถลดการสะสมในผักคะน้า และวิธีการ SMC สามารถลดได้ 23.46 แต่ในตำรับการทดลองอื่น ๆ สามารถลดการสะสมได้ต่ำกว่าร้อยละ 10 ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสะสมตะกั่วจากดินสู่ผักคะน้า จึงเป็นวิธีการใส่ CP+IO ในอัตรา 1.5 : 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และวิธีการใส่ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อกิโลกรัม Cao *et al.* (2003) รายงานว่าแร่ apatite ที่เป็นองค์ประกอบในหินฟอสเฟตสามารถดูดซับโลหะหนักประจุ $2+$ ได้ด้วยการเข้าไปแทนที่ (substitution) Ca^{2+} ทำให้เกิดการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) ระหว่างโลหะหนักกับแร่ apatite ได้

2.2 แนวทางการลดการสะสมแคดเมียมและตะกั่ว เข้าสู่ผักกาดขาวปลีที่ปลูกโดยวิธีการจัดการดินในรูปแบบต่างกัน

2.2.1 การลดการสะสมแคดเมียมเข้าสู่ผักกาดขาวปลี

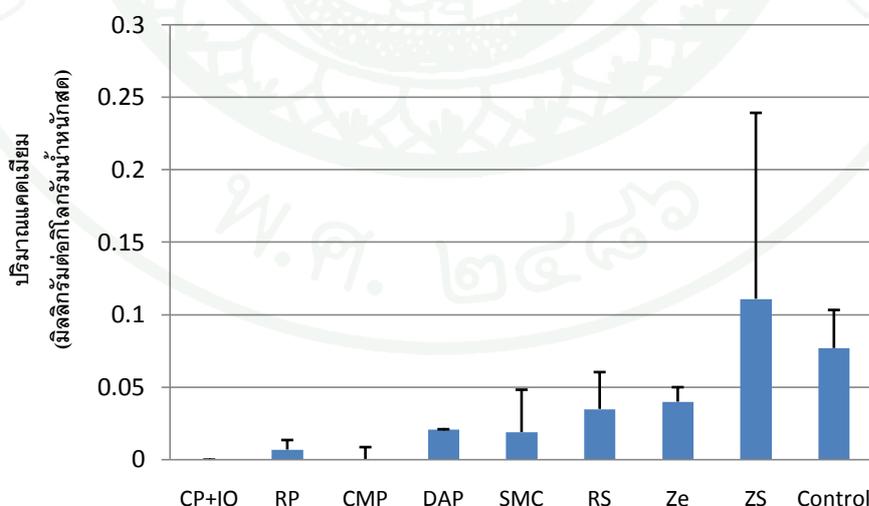
1) ปริมาณ แคดเมียม ต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถ โดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสม แคดเมียม ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 5 และภาพที่ 21 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่ปลูกในตำรับ Control > RS > ZS > Ze > DAP > RP > SMS > CMP และ CP+IO ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 2.01 ± 0.28 , 1.48 ± 0.39 , 1.38 ± 0.39 , 1.05 ± 0.26 , 0.34 ± 0.40 , 0.26 ± 0.22 , 0.07 ± 0.06 , 0.00 ± 0.00 และ 0.00 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่ปลูกใน Control มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี มากกว่า ตำรับการทดลองที่ใช้ RS, ZS, Ze, DAP, RP, SMC, CMP และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่มีการจัดการด้วยวิธี RS, ZS และ Ze ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่มากกว่าผักกาดขาวปลีที่มีการจัดการด้วยวิธี DAP, RP, SMC, CMP และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่มีการจัดการด้วยวิธี DAP, RP, SMC, CMP และ CP+IO



ภาพที่ 21 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีต่อน้ำหนักแห้งที่ปลูกโดยการจัดการดินในรูปแบบต่างๆ เพื่อลดการสะสมแคดเมียม

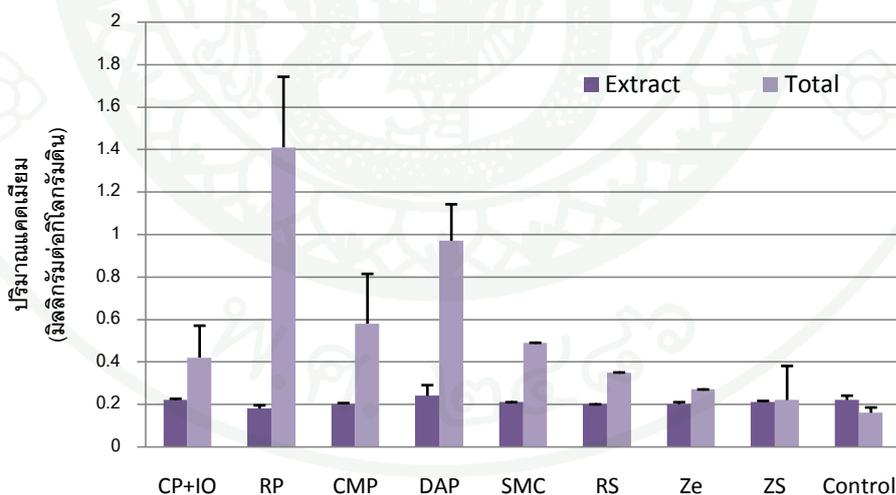
2) ปริมาณแคดเมียมต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่จาง โดยวิธีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 5 และภาพที่ 22 ซึ่งปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ $ZS > control > Ze > RS > DAP > SMC > RP > CMP > CP+IO$ โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.111 ± 0.128 , 0.077 ± 0.077 , 0.040 ± 0.010 , 0.035 ± 0.025 , 0.021 ± 0.028 , 0.019 ± 0.029 , 0.007 ± 0.007 , 0.000 ± 0.000 และ 0.000 ± 0.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกคำรับการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าทุกคำรับการทดลองยกเว้น ZS เป็นวิธีการจัดการที่สามารถลดการสะสมของแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ Control ดังแสดงในตารางผนวกที่ 9 พบว่าคำรับการทดลอง CP+IO, CMP, RP, SMC, DAP, RS และ Ze มีความสามารถลดการสะสมได้ร้อยละ 100, 100, 90.91, 75.32, 72.73, 54.55 และ 48.05 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ Control และยังพบว่าคำรับการทดลอง CP+IO, CMP, RP และ SMC สามารถลดปริมาณแคดเมียมให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า ค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 22 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักสดผักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่จางเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังการปลูกผักกาดขาวปลีในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคดเมียมดังแสดงในตารางผนวกที่ 7 ภาพที่ 23 ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกคำรับ การทดลองโดยปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้หลังการจัดการด้วยวิธี DAP > control และ CP+IO > SMC และ ZS > RS, CMP และ Ze > RP สำหรับปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ เฉลี่ยเท่ากับ 0.24 ± 0.05 , 0.22 ± 0.01 , 0.22 ± 0.02 , 0.21 ± 0.00 , 0.21 ± 0.01 , 0.20 ± 0.00 , 0.20 ± 0.01 , 0.20 ± 0.01 และ 0.18 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดขาวปลีพบว่าวิธีการที่ใส่ RP > DAP > CMP > SMC > CP+IO > RS > Ze > ZS > control ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1.41, 0.97, 0.58, 0.49, 0.42, 0.35, 0.27, 0.22 และ 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ว่าวิธีการจัดการดินด้วยวิธี RP ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินไม่แตกต่างกันทางสถิติกับคำรับการทดลอง DAP แต่สูงกว่าที่มีการจัดการด้วยวิธีใส่ CMP, SMC, CP+IO, RS, Ze, ZS และ control อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างคำรับการทดลอง DAP, CMP, SMC, CP+IO, RS, Ze, ZS และ control อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าทุกคำรับการทดลองมีแนวโน้มทำให้แคดเมียมอยู่ในรูปแคดเมียมที่สกัดได้สูงกว่า control

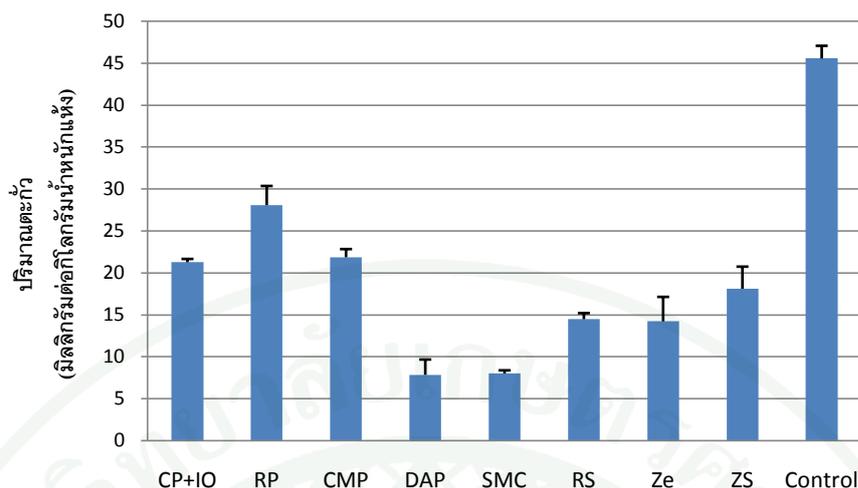


ภาพที่ 23 ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดขาวปลีที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

แนวทางในการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักกาดขาวปลี พบว่าการใส่ CP+IO, RP, CMP, DAP และ SMC สามารถลดการสะสมในผักกาดขาวปลี วิธีการ CP+IO, CMP และ RP สามารถลดได้ถึงร้อยละ 100, 93 และ 91 สำหรับการจัดการดินทั้ง 3 วิธีการ ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและปริมาณที่สกัดได้ในดินหลังการปลูกผักกาดขาวปลีไม่แตกต่างทางสถิติกับค่าควบคุม แต่พบว่าการจัดการดินโดยการใส่ RP ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินหลังการปลูกผักกาดขาวปลีมีแนวโน้มลดลง อันเนื่องมาจากเกิดการดูดซับเป็นสารประกอบ Cadmium phosphate (Basta and McGovern, 2004) ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักกาดขาวปลี คือวิธีการใส่ CP+IO ในอัตรา 1.5 : 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และวิธีการใส่ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อกิโลกรัมดิน

2.2.2 การลดการสะสมตะกั่วเข้าสู่ผักกาดขาวปลี

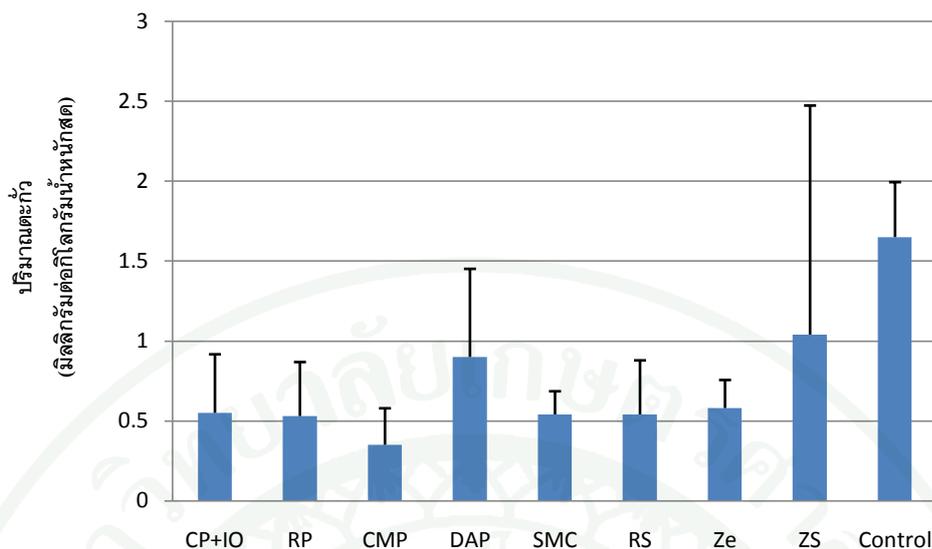
1) ปริมาณตะกั่วต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ด้วยวิธีการต่างกัน แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 6 และภาพที่ 24 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ Control > RP > CMP > CP+IO > ZS > Ze > RS > SMS > DAP มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 45.54 ± 0.39 , 28.05 ± 2.29 , 21.84 ± 0.98 , 21.25 ± 0.39 , 18.09 ± 2.63 , 14.46 ± 0.72 , 14.20 ± 2.92 , 7.98 ± 0.38 และ 7.82 ± 1.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่ปลูกในตำรับ Control ส่งผลให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีสูงกว่าในตำรับการทดลองที่ใช้ RP, CMP, CP+IO, ZS, Zeolite, RS, SMC และ DAP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่า ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีในตำรับการทดลองที่ใช้ RP ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใช้ CMP, CP+IO, ZS, Ze และ RS แต่มากกว่าในตำรับการทดลองที่ใช้ SMC และ DAP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีในตำรับการทดลองที่ใช้ CMP, CP+IO, ZS, Ze และ RS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใช้ SMC และ DAP



ภาพที่ 24 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักแห้งของฝักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

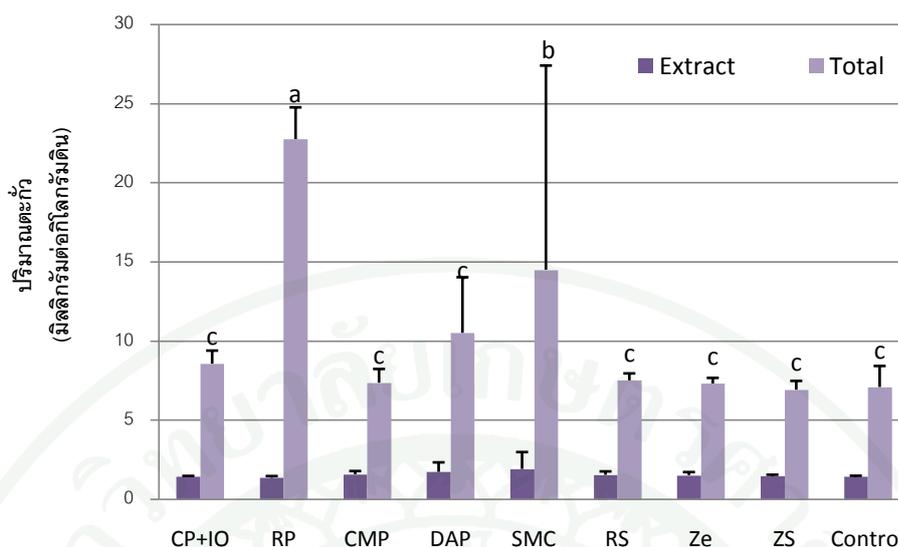
2) ปริมาณตะกั่วต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของฝักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ด้วยวิธีการต่างกัน ดังแสดงในตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 25 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อฝักกาดขาวปลีที่ปลูกโดยวิธีการใส่ Control > ZS > DAP > Ze > CP+IO > SMC และ RS > RP > CMP ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.65 ± 0.34 , 1.04 ± 1.43 , 0.90 ± 0.55 , 0.58 ± 0.18 , 0.55 ± 0.37 , 0.54 ± 0.34 , 0.54 ± 0.15 , 0.53 ± 0.34 และ 0.35 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อฝักกาดขาวปลีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าทุกตำรับการทดลอง เป็นวิธีการที่สามารถลดการสะสมของตะกั่วในเนื้อเยื่อฝักกาดขาวปลีได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ Control ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 10 พบว่าตำรับการทดลอง CMP, RP, RS, SMC, CP+IO, Ze, DAP และ ZS สามารถลดการสะสมได้ร้อยละ 78.79, 67.88, 67.27, 67.27, 66.67, 64.8, 45.45 และ 36.97 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ Control อย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีวิธีการใดที่สามารถลดปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อฝักกาดขาวปลีให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 25 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักสดของผักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดขาวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่ เมื่อทดสอบวิธีการลด การสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน ดังแสดงในตารางผนวกที่ 6 ภาพที่ 26 พบว่าปริมาณตะกั่วที่สกัดได้หลังการจัดการดินด้วยวิธี $SMC > DAP > CMP > Ze > RS > ZS > CP+IO > control > RP$ ซึ่งมีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้เท่ากับ $1.92 \pm 1.07, 1.74 \pm 0.06, 1.59 \pm 0.20, 1.55 \pm 0.22, 1.53 \pm 0.19, 1.49 \pm 0.07, 1.46 \pm 0.02, 1.43 \pm 0.06$ และ 1.37 ± 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง สำหรับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดขาวปลีพบว่าการจัดการดินด้วยวิธี $RP > SMC > DAP > CP+IO > RS > CMP > Ze > Control > ZS$ ซึ่งมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินเฉลี่ย $22.76 \pm 2.01, 14.51 \pm 2.90, 10.52 \pm 3.51, 8.57 \pm 0.83, 7.52 \pm 0.44, 7.37 \pm 0.87, 7.32 \pm 0.36, 7.10 \pm 1.33$ และ 6.93 ± 0.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดขาวปลี ด้วยวิธี RP ส่งผลให้เกิดการสะสมตะกั่วทั้งหมดในดิน สูงกว่าการจัดการด้วยวิธี SMC, DAP, CMP, Ze, RS, ZS, CP+IO, Control และ RP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และวิธีการใส่ SMC ส่งผลให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินสูงกว่าวิธีการใส่ DAP, CMP, Ze, RS, ZS, CP+IO, Control และ RP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง DAP, CMP, Ze, RS, ZS, CP+IO, Control และ RP



ภาพที่ 26 ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดขาวปลีที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วเข้าสู่ผักกาดขาวปลีที่แตกต่างกัน

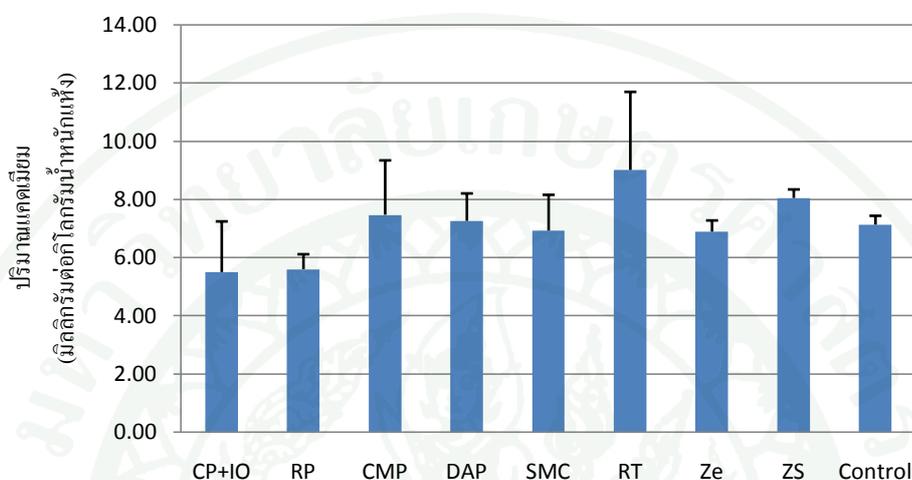
แนวทางในการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วจากดินสู่ผักกาดขาวปลี พบว่าการใส่ CP+IO, RP, CMP, DAP, SMC, RS และ Ze สามารถลดการสะสมในผักกาดขาวปลี และวิธีการ CMP, RP, SMC และ CP+IO สามารถลดได้ร้อยละ 78.79, 67.88, 67.25 และ 66.67 ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสะสมตะกั่วจากดินสู่ผักกาดขาวปลี จึงเป็นการใส่ CP+IO ในอัตรา 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน

2.3 แนวทางลดการสะสมแคดเมียมและตะกั่วเข้าสู่ผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกโดยวิธีการจัดการดินในรูปแบบต่างกัน

2.3.1 การลดการสะสมแคดเมียมในผักกาดเขียวกวางตุ้ง

1) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักกาดเขียวกวางตุ้ง ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 7 และภาพที่ 27 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเชื้อผักกาดที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ ฟางข้าว (RS) > Zinc sulphate (ZS) > Calcium phosphate (CMP) > Diammonium phosphate (DAP) > Control > Sodium metasilicate (SMS) > Zeolite (Ze) > Rock phosphate (RP) > ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กออกไซด์ (CP+IO) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 9.01 ± 2.68 , 8.05

± 0.30 , 7.47 ± 1.87 , 7.26 ± 0.94 , 7.13 ± 0.31 , 6.93 ± 1.23 , 6.89 ± 0.39 , 5.60 ± 0.51 และ 5.50 ± 1.74 มิลลิกรัมต่อกิโกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากผลการทดลองปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง

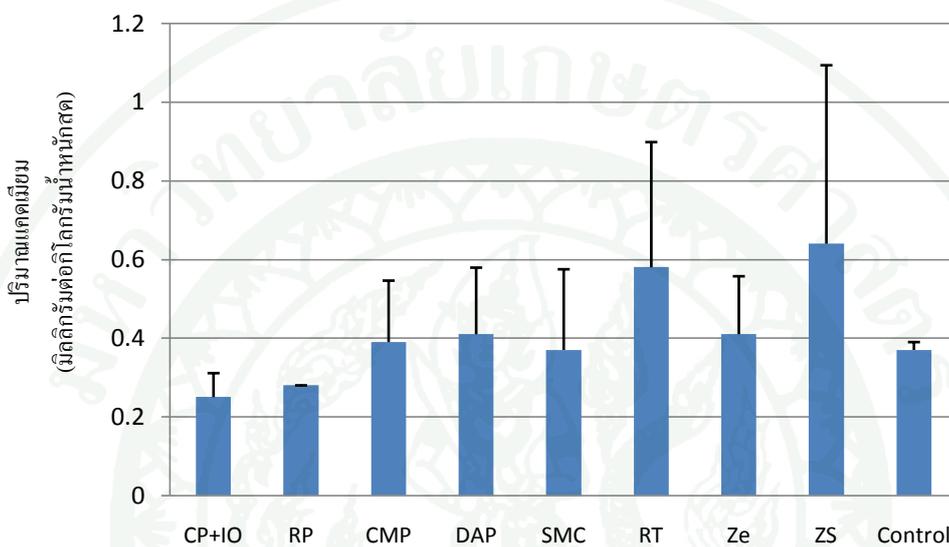


ภาพที่ 27 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักแห้งของผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

2) ปริมาณแคดเมียมต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 7 และภาพที่ 28 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ ZS > RS > Ze และ DAP > CMP > Control และ SMC > RP > CP+IO มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 ± 0.45 , 0.58 ± 0.32 , 0.41 ± 0.14 , 0.41 ± 0.16 , 0.39 ± 0.16 , 0.37 ± 0.21 , 0.37 ± 0.02 , 0.28 ± 0.00 และ 0.25 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณ แคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าตำรับการทดลอง ZS, RS, Ze, DAP, CMP และ SMS เป็นวิธีการที่ไม่สามารถลดการสะสมแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับ Control แสดงในตารางภาคผนวกที่ 9 พบว่าตำรับการทดลอง RP และ CP+IO เท่านั้นที่มีแนวโน้มว่าสามารถลดการสะสมแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งได้ ซึ่งสามารถลดการสะสมได้

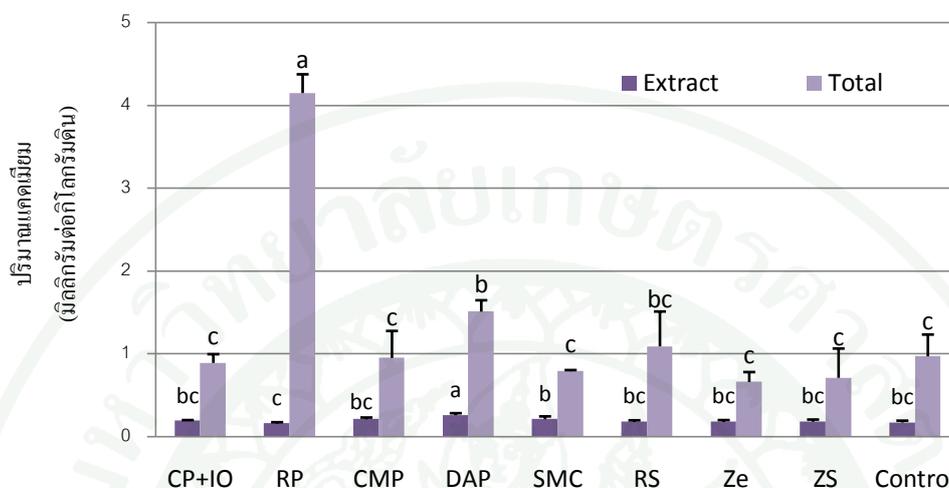
ร้อยละ 32.43 และ 24.32 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ Control อย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีวิธีการใดที่สามารถลดปริมาณแคดเมียมในเนื้อเชื้อฟักกาดเขียววางตุ้งให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 28 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเชื้อต่อน้ำหนักสดฟักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ด้วยวิธีการต่างกัน ดังแสดงในตารางผนวกที่ 7 ภาพที่ 29 พบว่าปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้หลังการจัดการโดยใช้วิธีการใส่ DAP > CMP และ SMC > CP+IO > ZS, RS และ Ze > Control > RP ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.26 ± 0.02 , 0.21 ± 0.02 , 0.21 ± 0.03 , 0.19 ± 0.01 , 0.18 ± 0.03 , 0.18 ± 0.02 , 0.18 ± 0.02 , 0.17 ± 0.02 และ 0.16 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ พบว่าดำรับการทดลองที่ใช้ DAP ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินสูงกว่าในทุกดำรับการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกฟักกาดเขียววางตุ้ง พบว่าในดำรับ RP > DAP > RS > Control > CMP > CP+IO > SMC > ZS > Ze ,ปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 ± 0.23 , 1.51 ± 0.14 , 1.09 ± 0.42 , 0.97 ± 0.26 , 0.95 ± 0.33 , 0.89 ± 0.11 , 0.79 ± 0.01 , 0.71 ± 0.35 และ 0.66 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าการจัดการดินโดยใช้วิธี RP

ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดสูงกว่าวิธี DAP, RS, Control, CMP, CP+IO, SMC, ZS และ Ze อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ



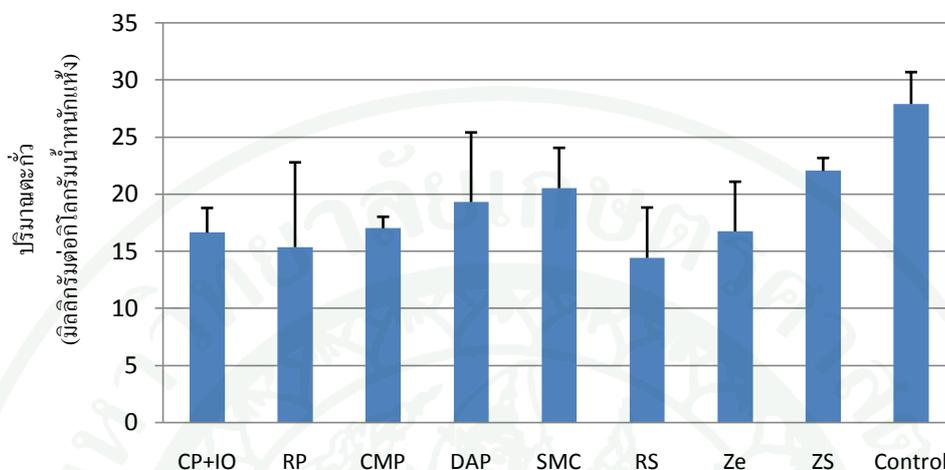
ภาพที่ 29 ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดเขียว กวางตุ้งที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

แนวทางในการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักกาดเขียว กวางตุ้ง พบว่าการใส่ CP+IO และ RP สามารถลดได้ร้อยละ 32.43 และ 24.32 สำหรับการจัดการดินโดยวิธี RP ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังการปลูกผักกาดเขียว กวางตุ้งแตกต่างทางสถิติอย่าง มีนัยสำคัญยิ่งกับค่าควบคุมและปริมาณที่สกัดได้ในดินมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นวิธีการที่ เหมาะสมในการลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักกาดเขียว กวางตุ้ง จึงเป็นวิธีการใส่ CP+IO ใน อัตรา 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน วิธีการใส่ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อกิโลกรัมดิน

2.3.2 การลดการสะสมตะกั่ว ในผักกาดเขียว กวางตุ้ง

1) ปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักกาดเขียว กวางตุ้ง แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 8 และภาพที่ 30 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเชื้อผักกาด เขียว กวางตุ้งที่ปลูกโดยวิธีการ ZS > SMS > DAP > CMP > Ze > CP+IO > RP > RS มีปริมาณ เฉลี่ยเท่ากับ 27.88 ± 2.88 , 22.03 ± 1.31 , 20.51 ± 3.54 , 19.30 ± 6.10 , 17.00 ± 1.01 , 16.73 ± 4.35 , 16.62 ± 2.16 , 15.35 ± 7.42 และ 14.41 ± 4.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ผลการ

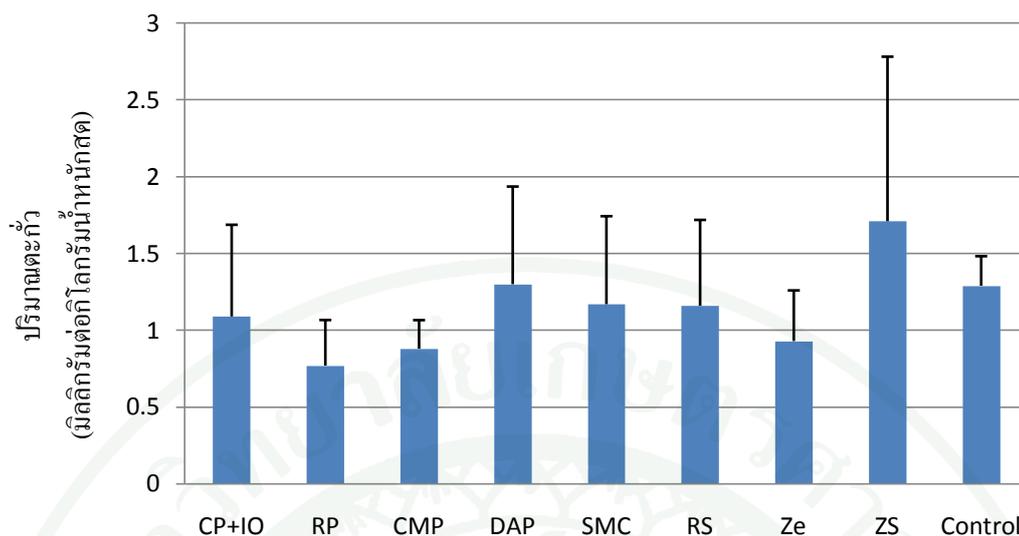
ทดลองพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกคำรับการทดลอง



ภาพที่ 30 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักแห้งของผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

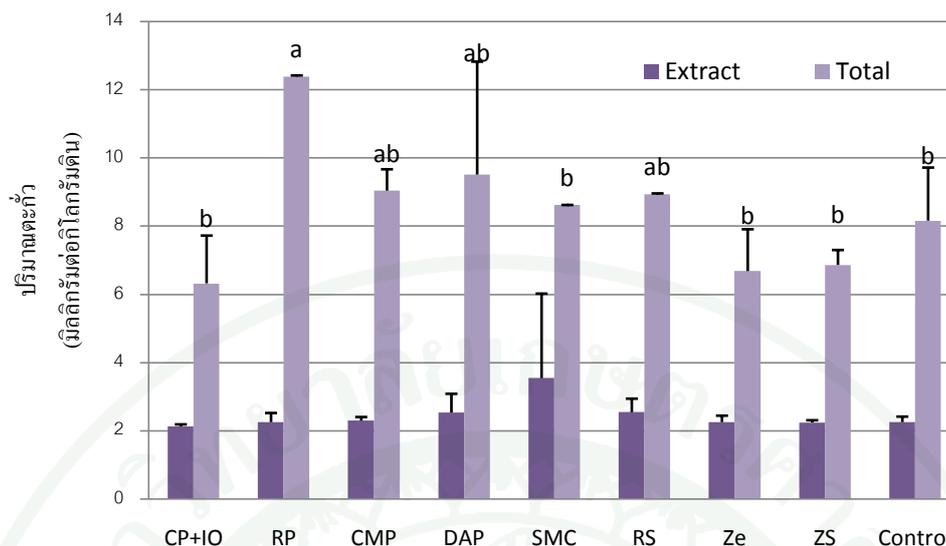
2) ปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจร เพื่อลดการสะสม ตะกั่วด้วยวิธีการต่างกั ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 8 และภาพที่ 31 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ ZS > DAP > control > SMS > RS > CP+IO > Ze > CMP > RP มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.71 ± 1.07 , 1.30 ± 0.64 , 1.29 ± 0.19 , 1.17 ± 0.57 , 1.16 ± 0.56 , 1.09 ± 0.60 , 0.93 ± 0.33 , 0.88 ± 0.19 และ 0.77 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่าปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกคำรับการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าคำรับการทดลอง RP, CMP, Ze, CP+IO, RS และ SMC เป็นวิธีการจัดการดินที่สามารถลดการสะสมตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้ง แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 10 พบว่าสามารถลดการสะสมตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งได้ร้อยละ 40.31, 31.78, 27.91, 15.50, 10.08 และ 9.30 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ Control แต่ไม่พบว่ามีวิธีการใดที่สามารถลดปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 31 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกันดังแสดงในตารางผนวกที่ 8 ภาพที่ 32 พบว่าปริมาณตะกั่วที่สกัดได้หลังการจัดการดินด้วยวิธี SMC > RS > DAP > CMP > Control, Ze และ RP > ZS > CP+IO มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.54 ± 2.48 , 2.54 ± 0.40 , 2.53 ± 0.55 , 2.29 ± 0.11 , 2.25 ± 0.16 , 2.25 ± 0.19 , 2.25 ± 0.27 , 2.24 ± 0.07 และ 2.13 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ จากการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วที่สกัดได้หลังการจัดการดินในทุกคำรับการทดลอง สำหรับปริมาณตะกั่วทั้งหมดหลังการจัดการดินด้วยวิธี RP > DAP > CMP > RS > SMC > Control > ZS > Ze > CP+IO มีปริมาณเฉลี่ย 12.39 ± 0.03 , 9.51 ± 3.31 , 9.04 ± 0.63 , 8.93 ± 0.03 , 8.62 ± 0.00 , 8.16 ± 1.56 , 6.86 ± 0.44 , 6.68 ± 1.23 และ 6.32 ± 1.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าการจัดการดินโดยใช้ RP ส่งผลให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินไม่แตกต่างกันทางสถิติกับวิธี DAP, CMP และ RS แต่ส่งผลให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงกว่าดินที่มีการจัดการด้วยวิธี SMC, Control, ZS, Ze และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินที่มีการจัดการด้วยวิธี CMP, RS, SMC, Control, ZS, Ze และ CP+IO



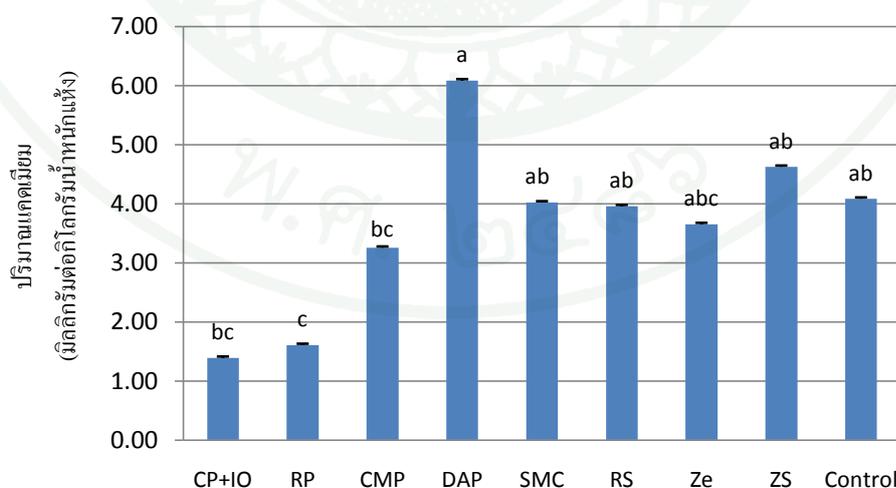
ภาพที่ 32 แสดงปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักกาดเขียว กวางตุ้งที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

แนวทางในการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วจากดินสู่ผักกาดเขียว กวางตุ้ง พบว่าการใส่ CP+IO, RP, CMP, SMC, RS และ Ze สามารถลดการสะสมในผักกาดเขียว กวางตุ้ง และวิธีการ RP, CMP และ CP+IO สามารถลดได้ร้อยละ 40.31, 31.78 และ 15.50 แต่การจัดการดินโดยตำรับ RP CP+IO Ze ZS ส่งผลให้ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการปลูกผักกาดเขียว กวางตุ้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสะสมตะกั่วจากดินสู่ผักกาดเขียว กวางตุ้ง จึงเป็นการใส่ CP+IO ในอัตรา 1.5 : 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และการใส่ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และ Ze อัตรา 10 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ตำรับกรทดลองที่ใช้ Ze สามารถเป็น Sorption agent เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของซีโอไลต์ทำให้สามารถดูดซับสารต่างๆ และยังใช้เป็น ion exchange resins จากคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้อีกด้วย

2.4 แนวทางการลดการสะสม แคลเซียมและตะกั่วเข้าสู่ผักบุงที่ปลูกโดยการจัดการดินในรูปแบบต่างกัน

2.4.1 การลดการสะสมแคลเซียมในผักบุง

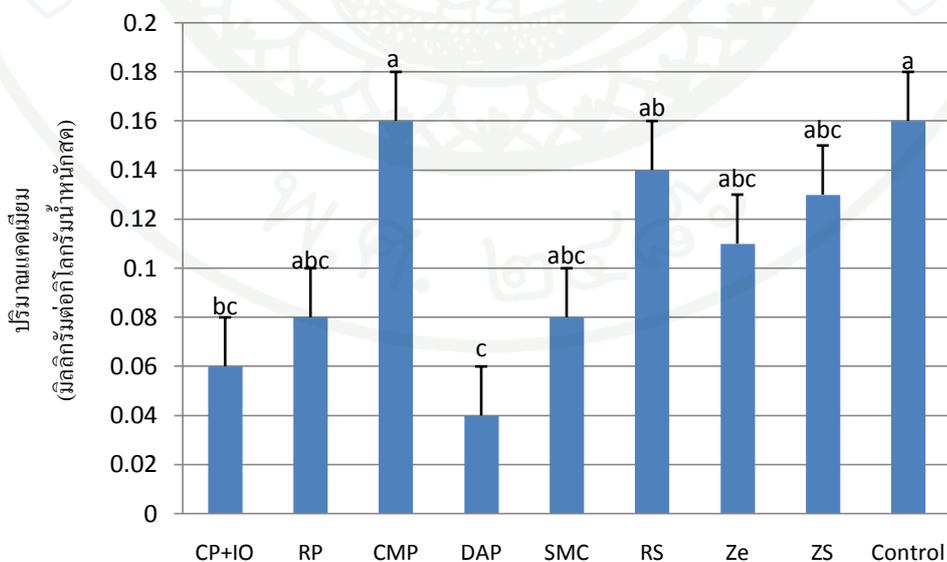
1) ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคลเซียม ด้วยวิธีการต่างกัน แสดงในตารางภาคผนวกที่ 9 และภาพที่ 33 พบว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบุงที่มีการจัดการด้วยวิธี DAP > RS > Control > SMS > Ze > ZS > CMP > CP+IO > RP มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 6.09 ± 1.01 , 4.67 ± 1.10 , 4.57 ± 0.59 , 4.41 ± 1.62 , 3.90 ± 1.75 , 3.52 ± 0.90 , 3.26 ± 2.07 , 2.03 ± 0.11 และ 1.61 ± 0.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบุงที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ DAP ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับวิธีการที่ใช้ RS, Control, SMC, Ze และ ZS แต่ส่งผลให้เกิดการสะสมแคลเซียมในผักบุงมากกว่าในตำรับการทดลองที่ใช้ CMP, CP+IO และ RP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบุงที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ RS, Control และ SMC ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับวิธีการใส่ Ze, ZS, CMP และ CP+IO แต่มากกว่าในวิธีการใช้ RP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบุงที่ปลูกในวิธีการใช้ Ze, ZS, CMP, CP+IO และ RP



ภาพที่ 33 ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักแห้งของผักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคลเซียมด้วยวิธีการต่างกัน

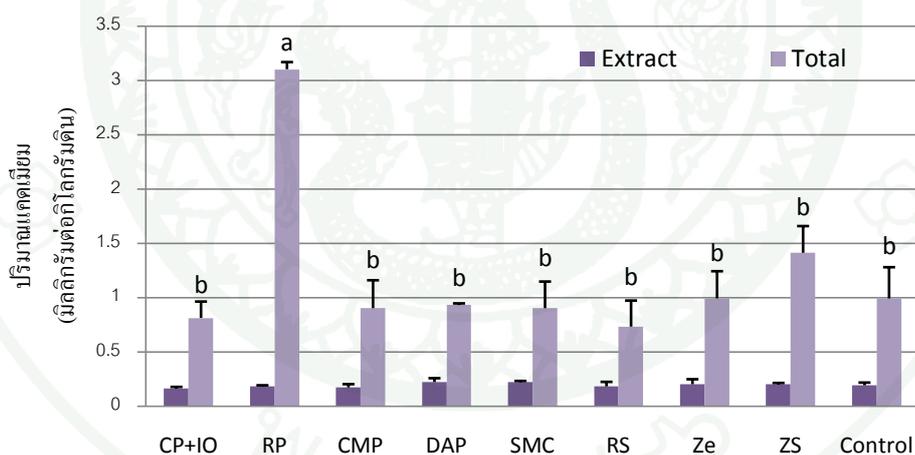
2) ปริมาณแคดเมียมต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของผักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 9 และภาพที่ 34 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบุงที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ CMP และ control > RS > ZS > Ze > RP และ SMC > CP+IO > DAP มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ± 0.05 , 0.16 ± 0.03 , 0.14 ± 0.03 , 0.13 ± 0.06 , 0.11 ± 0.04 , 0.08 ± 0.06 , 0.08 ± 0.05 , 0.06 ± 0.06 และ 0.04 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเนื้อเยื่อผักบุงใน control ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ CMP, RS, ZS, Ze, RP และ SMC แต่สูงกว่าการใส่ CP+IO และ DAP อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามจากการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง RS, ZS, Ze, RP, SMC, CP+IO และ DAP

จากการศึกษาพบว่าทุกตำรับการทดลองยกเว้น CMP เป็นวิธีการที่สามารถลดการสะสมของแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักบุงได้เมื่อเปรียบเทียบกับ Control แสดงในตารางภาคผนวกที่ 9 พบว่าวิธีการใส่ DAP, CP+IO, SMC, RP, CMP, Ze, ZS และ RS สามารถลดการสะสมได้ร้อยละ 75.00, 62.50, 50.00, 50.00, 31.25, 18.75 และ 12.50 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ Control และพบว่าทุกตำรับการทดลองมีปริมาณแคดเมียมต่ำกว่า ค่าที่ยอมรับให้มิได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด



ภาพที่ 34 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดของผักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังการปลูกผักบุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ด้วยวิธีการต่างกัน แสดงในตารางผนวกที่ 9 ภาพที่ 35 พบว่าปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้หลังการจัดการดินด้วยวิธี DAP และ SMC > ZS > Ze > control > RP และ RS > CMP > CP+IO มีปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.22 ± 0.01 , 0.22 ± 0.04 , 0.20 ± 0.01 , 0.20 ± 0.05 , 0.19 ± 0.03 , 0.18 ± 0.04 , 0.18 ± 0.01 , 0.17 ± 0.03 และ 0.16 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ จากการทดลองไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณแคดเมียมที่สกัดในทุกคำรับการทดลอง สำหรับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังการจัดการโดยการใส่ RP > ZS > Ze และ control > DAP > CMP และ SMC > CP+IO > RS มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 3.10 ± 0.07 , 1.41 ± 0.25 , 0.99 ± 0.25 , 0.99 ± 0.29 , 0.93 ± 0.01 , 0.90 ± 0.25 , 0.90 ± 0.26 , 0.81 ± 0.15 และ 0.73 ± 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นว่าวิธีการใส่ RP ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินสูงกว่าในทุกคำรับการทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างวิธีการใส่ ZS, Ze, control, DAP, CMP, SMC, CP+IO และ RS



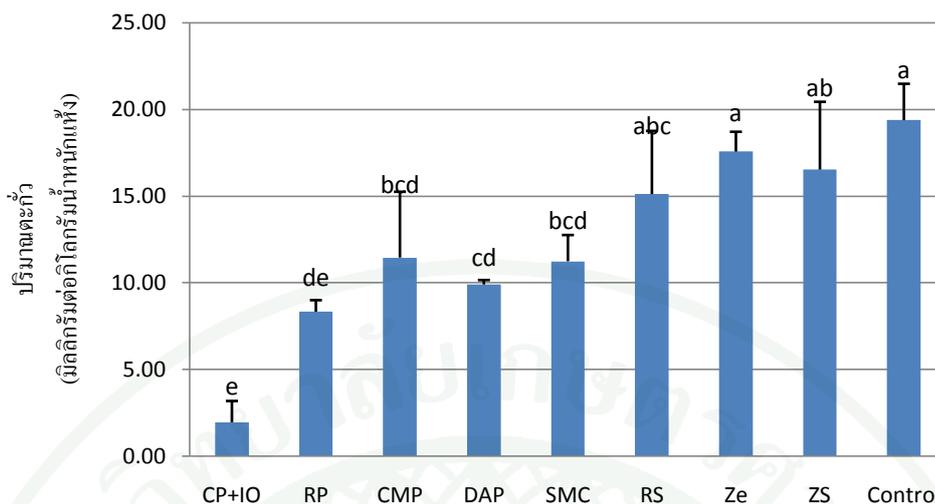
ภาพที่ 35 ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังปลูกผักบุ้งที่มีการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมด้วยวิธีการต่างกัน

แนวทางในการจัดการดินเพื่อลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักบุ้ง พบว่าการใส่ CP+IO, RP, CMP, DAP, SMC, RS, Ze และ ZS สามารถลดการสะสมในผักบุ้ง และวิธีการ DAP, CP+IO และ RP สามารถลดได้ร้อยละ 75.0, 62.5 และ 50.0 สำหรับการจัดการดินโดยวิธี RP ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินหลังการปลูกผักบุ้งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับคำรับ

ควบคุม ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสะสมแคดเมียมจากดินสู่ผักบั้ง จึงเป็นวิธีการใส่ CP+IO ในอัตรา 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และการใส่ DAP ในอัตรา 2.3 กรัมต่อกิโลกรัมดินโดย หมู่ฟอสเฟสใน DAP สามารถเกิดเป็นสารประกอบตกตะกอนเป็นตะกั่วฟอสเฟตได้ (Basta and McGovern, 2004)

2.4.2 การลดการสะสมตะกั่วผักบั้ง

1) ปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในส่วนที่ใช้บริโภคของผักบั้ง ที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจากรถเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน แสดงในตารางภาคผนวกที่ 10 และภาพที่ 36 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผัก บั้งที่ปลูกโดยใช้วิธีการใส่ Control > Ze > ZS > RS > CMP > SMS > DAP > RP > CP+IO โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 19.38 ± 2.10 , 17.56 ± 1.14 , 16.53 ± 3.91 , 15.12 ± 3.64 , 11.45 ± 3.79 , 11.24 ± 1.51 , 9.90 ± 0.25 , 8.33 ± 0.66 และ 1.95 ± 1.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบั้งที่ปลูกในตำรับการทดลอง Control ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับ Ze, ZS และ RS ส่งผลให้มีการสะสมสูงกว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบั้ง โดยใช้วิธีการใส่ CMP, SMC, DAP, RP และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบั้งที่ปลูกในตำรับการทดลองที่ใช้ ZS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับวิธีการใส่ RS, CMP และ SMC แต่สูงกว่าวิธีการใส่ DAP, RP และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบั้งที่ปลูกโดยใช้วิธีการ RS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับวิธีการ CMP, SMC และ DAP แต่มากกว่า วิธีการ RP และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติอย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบั้งที่ปลูก โดยวิธีการ CMP ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ วิธีการ SMC, DAP และ RP แต่มากกว่าวิธีการ CP+IO และไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อผักบั้งที่ปลูกโดยใช้วิธีการ RP และ CP+IO

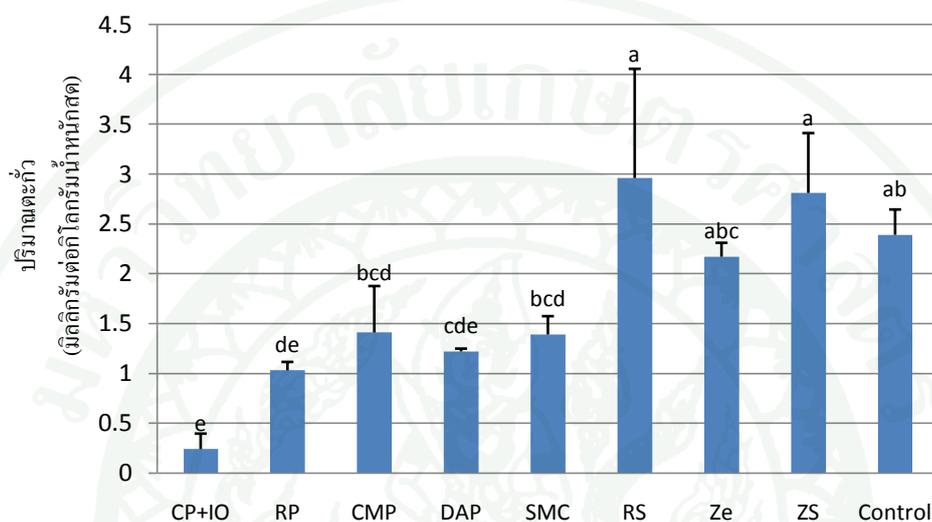


ภาพที่ 36 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อน้ำหนักแห้งของฝักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

2) ปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในส่วนที่ใช้บริโภคของฝักบุงที่ปลูกในดินปนเปื้อน โลหะหนักจากเหมืองแร่เพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 10 และภาพที่ 37 พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อฝักคากขาวปลีที่ปลูกโดยใช้วิธีการ RS > ZS > Control > Ze > CMP > SMC > DAP > RP > CP+IO ซึ่งมีปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อเฉลี่ย 2.96 ± 1.10 , 2.81 ± 0.60 , 2.39 ± 0.25 , 2.17 ± 0.14 , 1.41 ± 0.47 , 1.39 ± 0.18 , 1.22 ± 0.03 , 1.03 ± 0.08 และ 0.24 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการใส่ RS ส่งผลให้ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับวิธีการใส่ ZS, control และ Ze แต่สูงกว่าวิธีการใส่ CMP, SMC, DAP, RP และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าปริมาณของตะกั่วในเนื้อเยื่อฝักบุงที่ปลูกวิธีการ Control ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับวิธีการใส่ Ze, CMP และ SMC แต่มากกว่าในวิธีการใส่ DAP, RP และ CP+IO อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างวิธีการใส่ DAP, RP และ CP+IO

จากการศึกษา การลดการสะสมของตะกั่วในเนื้อเยื่อฝักฝักบุงพบว่า ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อฝักบุงส่วนที่ใช้บริโภคได้เมื่อเปรียบเทียบกับ Control แสดงดังตารางภาคผนวกที่ 10 วิธีการใส่ RS และ ZS เป็นวิธีการที่ไม่สามารถลดการสะสมตะกั่วในฝักบุงได้แต่พบว่าวิธีการใส่ Ze, CMP, SMC, DAP, RP และ CP+IO เป็นวิธีการที่สามารถลดได้ โดยสามารถลดปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อฝักบุงได้ร้อยละ 9.21, 40.87, 41.84, 48.95, 56.90 และ 89.96 ตามลำดับเมื่อ

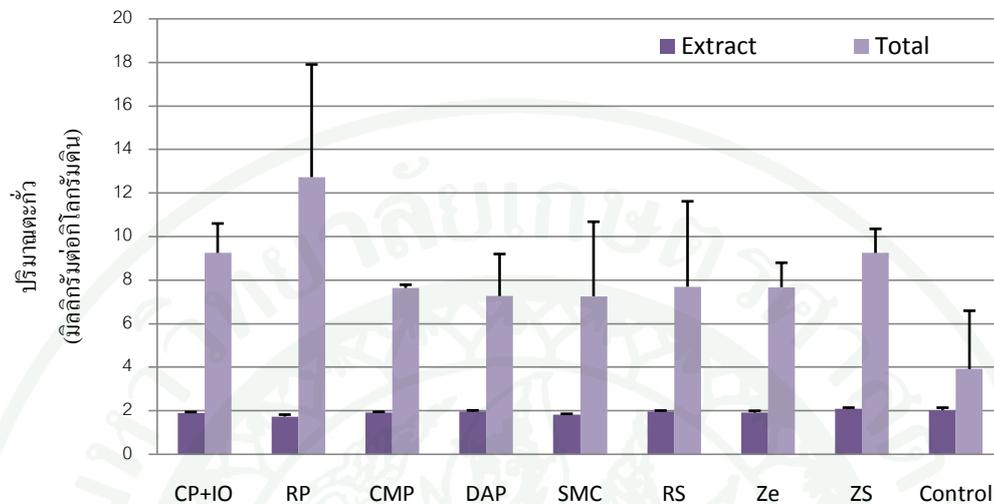
เทียบกับ Control อย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีวิธีการใดที่สามารถลดปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักบุ้ง ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับให้มีได้ในผักซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (Codex, 2001) คือ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด



ภาพที่ 37 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่อน้ำหนักสดของผักบุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

3) ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการปลูกผักบุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนักจากเขม่าจราจรเพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกันดังแสดงในตารางผนวกที่ 10 ภาพที่ 38 โดยปริมาณตะกั่วที่สกัดได้หลังการจัดการโดยใช้วิธีการใส่ $ZS > Control > DAP > RS > CMP > Ze > CP+IO > SMC > RP$ ซึ่งมีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 2.11 ± 0.04 , 2.03 ± 0.12 , 1.98 ± 0.04 , 1.97 ± 0.05 , 1.94 ± 0.02 , 1.92 ± 0.09 , 1.90 ± 0.05 , 1.84 ± 0.03 และ 1.74 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ โดยปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังปลูกผักคะน้าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าค่ารับการทดลอง DAP, RS, CMP Ze, CP+IO, SMC และ RP มีแนวโน้มทำให้ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ลดลง สำหรับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักบุ้งโดยใช้วิธีการใส่ $RP > CP+IO$ และ $ZS > RS > Ze > CMP > DAP > SMC > Control$ ซึ่งมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 12.73 ± 5.17 , 9.25 ± 1.35 , 9.25 ± 1.11 , 7.70 ± 3.92 , 7.68 ± 1.12 , 7.64 ± 0.15 , 7.27 ± 1.93 , 7.26 ± 3.42 และ 3.92 ± 2.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินตามลำดับ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูก

ผักบุงในทุกรับการทดลอง แต่พบว่าทุกรับการทดลองมีแนวโน้มทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ Control



ภาพที่ 38 ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังปลูกผักบุงที่มีการจัดการดิน เพื่อลดการสะสมตะกั่วด้วยวิธีการต่างกัน

แนวทางในการจัดการดินเพื่อลดการสะสมตะกั่วจากดินสู่ผักบุงพบว่าการใช้ CP+IO, RP, CMP, DAP และ SMC สามารถลดการสะสมในผักบุง และวิธีการ CP+IO และ RP สามารถลดได้ร้อยละ 89.96 และ 56.90 แต่พบว่าการจัดการดินทั้ง 2 วิธี ส่งผลให้ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการปลูกผักบุงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าควบคุม ดังนั้นการใช้ CP+IO ในอัตรา 1.5 : 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และการใช้ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อกิโลกรัมดิน จึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุดโดยอาศัยกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในการจัดการเช่น การเกิด Lead phosphate จากอนุมูลฟอสเฟตที่แตกตัวจากหินฟอสเฟต (Chen *et al.*, 1997) หรือการเกิดการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ในอินทรีย์วัตถุ

จากผลการทดลองสามารถสรุปวิธีการที่มีความสามารถในการลดปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในเนื้อเยื่อของผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียวหวานตั้งและผักบุง แสดงดังในตารางที่ 11 โดยได้ทำการเลือกวิธีการที่เหมาะสมได้แก่ การใช้ CP+IO ในอัตรา 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน การใช้ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และ Zeolite ในอัตรา 10 กรัมต่อกิโลกรัมดิน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. อิทธิพลของชนิดผักที่มีผลต่อปริมาณการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อของผักทั้ง 6 ชนิด พบว่า ความสามารถในการสะสมสังกะสีในเนื้อเยื่อสาระแห่น > ผักกาดขาวปลี > ผักกาดเขียว กวางตุ้ง > ผักคะน้า > กะเพรา > ผักบุ้ง ความสามารถในการสะสมตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักกาดเขียว กวางตุ้ง > กะเพรา > ผักคะน้า > สาระแห่นและผักบุ้ง ความสามารถในการสะสม แคลเซียมในเนื้อเยื่อผักคะน้า > ผักบุ้ง > ผักกาดขาวปลี > ผักกาดเขียว กวางตุ้ง > กะเพรา > สาระแห่น ความสามารถในการสะสมทองแดงในเนื้อเยื่อสาระแห่น > กะเพรา > ผักบุ้ง > ผักกาด เขียว กวางตุ้ง > ผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า ความสามารถในการสะสมปรอทในเนื้อเยื่อผักกาดขาว ปลี > ผักคะน้า > ผักบุ้ง > กะเพรา > สาระแห่น > ผักกาดเขียว กวางตุ้ง ความสามารถในการสะสม สารหนูในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า > กะเพรา > ผักกาดเขียว กวางตุ้ง > สาระแห่น > ผักบุ้ง ความสามารถในการสะสมนิเกิลในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลี > ผักคะน้า > ผักกาดเขียว กวางตุ้ง > กะเพรา > ผักบุ้ง > สาระแห่น

2. การสะสมสังกะสี ทองแดง ปรอท สารหนู และนิเกิล ของผักทั้ง 6 ชนิด ที่ปลูกในพื้นที่ ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี พบว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค การสะสมตะกั่วพบว่าผักคะน้า ผักกาดขาวปลี และผักกาดเขียว กวางตุ้งมีความเข้มข้นของตะกั่วใน เนื้อเยื่ออยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และการสะสมแคลเซียมพบว่า ผักคะน้า ผักกาดขาว ปลี ผักกาดเขียว กวางตุ้ง และผักบุ้ง มีความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่ออยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย ต่อผู้บริโภค

3. ผลการจัดการดินเพื่อลดปริมาณการสะสมโลหะหนักของผักที่ปลูกในดินปนเปื้อนจาก เขม่าจราจร พบว่าดำรับการทดลองที่ใช้ CP+IO และดำรับการทดลองที่ใช้ RP มีประสิทธิภาพใน การลดการสะสมแคลเซียมและตะกั่ว ในผักทั้ง 4 ชนิด โดยพบว่าการใช้ CP+IO ในอัตรา 1.5:0.5 กรัมต่อกิโลกรัมดิน สามารถลดการสะสมแคลเซียมในผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียว กวางตุ้ง ผักคะน้า และผักบุ้ง ได้ถึงร้อยละ 100.0, 32.4, 32.3 และ 62.5 ตามลำดับ และการใช้ RP ในอัตรา 180 กรัมต่อ กิโลกรัมดิน สามารถลดการสะสมแคลเซียมในผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียว กวางตุ้ง ผักคะน้า และ ผักบุ้ง ได้ถึงร้อยละ 24.3, 90.9, 45.2 และ 50.0 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง โปรท สารหนู และนิเกิล ในผัก ได้แก่กะเพรา สะระแหน่ ผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง และ ผักบุ้งในพื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 3034 จ.สระบุรี

1. ควรส่งเสริมให้เกษตรกรเลือกปลูกผักกะเพรา และสะระแหน่แทนการปลูกผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง และผักบุ้งในพื้นที่ เนื่องจากมีการสะสมโลหะหนักทุกชนิดอยู่ในระดับต่ำกว่าปลูกผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง และผักบุ้ง และปริมาณการสะสมอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค
2. ต้องการปลูกผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้ง และผักบุ้ง ซึ่งมีแนวโน้มการสะสมโลหะหนักสูงสามารถใช้วิธีการจัดการดินโดย ใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับเหล็กออกไซด์ สามารถลดปริมาณการสะสมแคดเมียมและตะกั่วได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวส่งผลให้เกิดกระบวนการ precipitation หรือ stabilization ของโลหะหนักในดิน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณโลหะหนักในผลผลิตผักพื้นที่ผลิตริมถนน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกษม จันทร์แก้ว. 2544. **วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2549. **คู่มือการดำเนินงานโครงการดินดีชีวิตปลอดภัย**.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2529. **มาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน, ใน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98**.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547. **ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน**.
- จรรยา จันทร์สมบูรณ์. 2540. **การกำจัดสารหนูออกจากรู้น้ำที่ปนเปื้อนโดยใช้ดินแดงศิลาแลง และฮีมาไทต์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชลาลัย เสน่ห์ทอง. 2552. **การแพร่กระจายของสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมจากการจราจรในพื้นที่ผลิตผักชุมชนเมือง จังหวัดสระบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **การวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นภาพร วงษ์โพธิ์หอม และ ณัฐพร ประคองเก็บ. 2548. **สารปรับปรุงบำรุงดิน**. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นันทกานต์ ขุนโหร. 2549. **การดูดซับแคดเมียมในดินและการดูดกินโดยผักกาดขาวในชุดดินปากช่อง และชุดดินชนบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- นิตยา รัตนานนท์และวิบูลย์ รัตนานนท์. 2543. สารพิษในอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ โอ. เอส. พรินต์ติ้งเฮาส์, กรุงเทพฯ.
- นัยนันท์ อริยกานนท์, กุลภา โสรรัตน์ และธิดาวิสุทธิ์ จันทรเครือ. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะสมสังกะสีในผักกาดขาวปลี (*Brassica juncea* Coss.) และ ผักกาดเขียวทางตุ้ง (*Brassica chinensis* Linn.). **J. Sci. Res. Chula. Univ.** 28: 51-60.
- บุปผา เข้มประเสริฐ. 2527. ผลกระทบของแคดเมียมในแควตติเวตเตตสลัดจ์ที่มีต่อพืชผัก และธาตุอาหารพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประชา เอมอร. 2534. แนวนโยบายในการควบคุมสารพิษในชีวิตประจำวัน. คณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี.
- ปรีดา พากเพียร, ประพิศ แสงทอง และ พิชิต พงษ์สกุล. 2547. การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและพืชอาหารในประเทศไทย. **วารสารดินและปุ๋ย.** 26: 31-36.
- _____, อภิสิตี เอี่ยมหน่อ, ไสนซ์ เอ็กการ์ดท และ ชวิชัย ณ นคร. 2541. โลหะหนักแหล่งที่มา ค่ามาตรฐานและการทำปฏิกิริยากับดิน. **วารสารดินและปุ๋ย.** 20: 41-49.
- พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2543. การประเมินการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. **วารสารดินและปุ๋ย.** 23: 29-37.
- ขงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ. 2549. ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดตั้งแคดเมียมของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี. 2540. การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยระบบจัดเรียงดินหลายชั้น.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ศุภมาส พินิจศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันอาหาร. 2547. เอกสารประกอบการอบรมเรื่อง การตรวจสอบความถูกต้องของวิธี
ทดสอบทางเคมี. รุ่นที่ 1/2547. สถาบันอาหาร, กรุงเทพฯ.

สรัดนา เสนาะ. 2548. การดูดซับโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อน
สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2550. ห้างหุ้นส่วน
จำกัดอรุณการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

อภิชาติ โพธิ์สุ. 2536. ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในน้ำและดินตะกอนจาก
คุณภาพน้ำชั้นต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำเลย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อบเชย วงศ์ทอง. 2546. โภชนศาสตร์ครอบครัว. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Bahemuka, T. E., E.B. Mubofu. 1999. Heavy metals in edible green vegetables grown along the
sites of the Sinza and Msimbazi rivers in Dar es Salaam, Tanzania. **Food Chem.** 66:
63-66.

Bai, J., B. Cui, Qi. W. H. Gao and Q. Ding. 2009. Assessment of heavy metal contamination of
roadside soils in Southwest China. **Stoch. Environ. Res. Risk. Assess.** 23: 341-347.

- Baker, A. J. M., S. P. McGrath, R. D. Reeves, and J. A. C. Smith. 2000. Metal hyperaccumulator plants: A review of the Ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils, pp. 85–107. *In* N. Terry and G. S. Banuelos. **Phytoremediation of Contaminated Soil and Water**. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Basta, N. T., R. Gradwohl, K. L. Snethen and J. L. Schroder. 2001. Chemical immobilization of lead, zinc and cadmium in smelter-contaminated soils using biosolids and rock phosphate. **J. Environ. Qual.** 30: 1222-1230.
- _____, S. McGowen and R. Gradwohl. 2001. Remediation of smelter-contaminated soils by chemical immobilization. **J SOIL CONTAM.** 9: 149-164
- Bazzaz F. A., G. L. Rolfe and P. Windle. 1974. Differing sensitivity of corn and soybean photosynthesis and transpiration to lead contamination. **J. Environ. Qual.** 3: 156-158.
- Biling, W., X. Zhengmiao, J. Chen, J. S. Q. Jiang. 2008. Effects of field application of phosphate fertilizers on the availability and uptake of lead, zinc and cadmium by cabbage (*Brassica chinensis* L.) in a mining tailing contaminated soil. **J. Environ. Sci.** 20: 1109–1117.
- Blaylock, M. J., S. Davide, S. Dusshenkove, O. Zakharova, C. Gussman, Y. Kapulnik, B.D. Ensley and I. Raskin. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. **Environ. Sci. Technol.** 31: 860-865.
- Boardman, R. and D. O. McGuire. 1990. The role of zinc in forestry. Zinc in forest environments, ecosystems and tree nutrition. **Forest. Ecol. Manag.** 37: 167-205.
- Bray, R. H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.

- Breder, R. 1982. Optimization studies for reliable trace metal analysis in sediments by atomic absorption spectrometric methods. **Fresen. Z. Anal. Chem.** 313: 395-402.
- Browne, F. X., J. B. Orr, T. J. Grizzard and B. L. Weand. 1982. Water pollution non point sources. **J. Water. Pollut. Con. F.** 54: 755-763.
- Brummer, G. and U. Herms. 1983. Influence of soil reaction and organic matter on the solubility of heavy metals in soils, pp. 233-243. *In* B. Ulrich and J. Pankrath. **Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems**. Reidel Pub. Comp.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part II**. Madison, Wisconsin.
- Chen, X., J. V. Wright, J. L. Conca and L. M. Peurrung. 1997. Effects of pH on heavy metal sorption on mineral apatite. **Environ. Sci. Technol.** 33: 624-630.
- Chen, Z.S., G.J. Lee, J.C. LiuThe. 2000. Effects of chemical remediation treatments on the extractability and speciation of cadmium and lead in contaminated soils. **Chemosphere.** 41: 235-242.
- Codex Alimentarius Commission. 1984. Contaminants joint FAO/WHO food standards program. **Codex. Aliment.** 17: 94-96.
- _____. 1995. Joint FAO/WHO Expert Committee for Food Additives and Contaminants, **Discussion Paper on Lead.** CX/FAC 95/18.
- _____. 2001. International program on chemical safety. **Environment Health.** Geneva, Switzerland.
- _____. 2005. Codex general standard for contaminant and toxins in food. **Codex. Stan.** 1993-1995, Rev. 2005-2006.

- Czarnowska, K., A. Milewska. 2009. The content of heavy metals in an indicator plant (*Taraxacum Officinale*) in Warsaw. **J. Environ. Stud.** 9: 125-128.
- Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, pp. 545-567. In C. A. Black ed. *Methods of Soil Analysis Part I.* **Amer. Soc. of Agron. Inc.** Madison, Wisconsin.
- Dolan, L. M. J., H. B. Van, P. J. Whelan, K. F. Akbar, V. O. Malley, G. O. Leary and P.J. Keizer. 2006. Towards the sustainable development of modern road ecosystem, pp. 275-331. In J. L. Davenport, eds. **The ecology of transportation: managing mobility for the environment.** Springer, Netherland.
- Elrick, K. A. and A. J. Horowitz. 1987. **Analysis of rocks and sediments for mercury by wet digestion and flameless cold vapor atomic absorption.** U.S. Geological Survey Water Resources Division, Doraville, Georgia, U.S.A.
- Gadepalle, V. P., Sabeha K. Ouki, Ren Van Herwijnen and Tony Hutchings. 2008. Effects of amended compost on mobility and uptake of arsenic by rye grass in contaminated soil. **Chemosphere.** 72: 1056–1061.
- Gisbert, C., C. Rafael, N. A. Juan, C. Baixauli, A. Giner, R. Serrano, J. W. David and M. P. Bernal. 2006. Tolerance and accumulation of heavy metals by *Brassicaceae* species grown in contaminated soils from Mediterranean regions of Spain. **Environ. Exp. Bot.** 56: 19–27.
- Gupta, S. K., T. Herren, K. Wenger, R. Krebs and T. Hari. 1999. In situ gentle remediation measures for heavy metal-polluted soils, pp. 303-322. In N.Terry and G.Banuelos, eds. **Phytoremediation of Contaminated Soil and Water.** Lewis Publ., Washington, D.C.
- Hawley, G. G. 1977. **The condensed chemical dictionary.** 9th ed. Van Nostrand Reinhold. Co., London.

- Kaijun, W., X. Baoshan. 2002. Mutual effects of cadmium and phosphate on their adsorption and desorption by goethite. **ENVIRON POLLUT.** 127(1):13-20.
- Keepe, D.E., and R. J. Miller. 1970. Lead effects on corn mitochondrial respiration. **Can. J. Plant. Sci.** 167: 1376 - 1377.
- Khan, M. J. and D. L. Jones. 2009. Effect of composts, lime and diammonium phosphate on the phytoavailability of heavy metals in a copper mine tailing Soil. **Pedosphere.** 19: 631–641.
- Khoshgoftar, A. H., H. Shariatmadari, N. Karimian, M. Kalbasi, S. E. A. T. M. Zee and D. R. Parker. 2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 68: 1885–1889.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 42: 421-428.
- Liang, Y., J. W. C. Wong, L. Wei. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. **Chemosphere.** 58: 475–483.
- Longan, T. J. and R. E. Feltz. 1985. Plant uptake of cadmium from acid extracted anaerobically digested sewage. **J. Environ. Qual.** 14: 495-550.
- Lu, X., L. Y. Li, L. Wang, K. Lei, J. Huang, Y. Zhai. 2009. Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji, China. **Atmos. Environ.** 43: 2489–2496.

- Mench, M., J. Veanrosveld, N. Clijsters, W. Leep and R. Edwards. 2000. Metal immobilization and phytostabilization of contaminated soils, pp. 323-358. *In* N. Terry and G. Banuelos., eds, **Phytoremediation of Soil and Water**. Lewis Publ., Washington, D.C..
- Narongchai, P., S. Narongchai. 2008. Study of the normal internal organ weights in Thai population. **J MED ASSOC THAILAND**. 91(5):747-53.
- Obrocheva, N. V., E. I. Bystrova and I. V. Sergin. 1998. Root growth responses to lead in young maize seedlings. **Plant. Soil**. 200: 55-61.
- Panayotova, M. and B.Velikov. 2002. Kinetics of heavy metal ions removal by use of natural zeolite. **J. Environ. Sci. Health**. 37: 137-147.
- Pendias, A. K. 2001. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3rd ed. CRC Press, New York.
- _____. and H. Pendias. 1992. **Trace Elements in Soils and Plants**. CRC. Press, Baca Raton.
- Ram, N. and M. Verloo. 1985. Influence of organic materials on the uptake of heavy metals by corn in polluted Belgian soil. **Pedologie**. 35: 147-153.
- Supaphol, S., N. Churthong, R. Kasetsuwan and A. H. Khoshgoftar. 2006. Changes in cadmium and zinc concentrations of paddy soil and soil and rice plant tissues (leaves, stem and grain) with distances from the road, pp. 124-125. *In* YongGuan Zhu, Nicholas Lepp and Ravi Naidu. **Biogeochemistry of trace elements: environmental protection and human health**. Tsinghua University Press, Beijing, Chaina.
- Swailah, K. M., R. M. Hussein and S. Abu-Elhaj. 2004. Assessment of heavy metal contamination in roadside surface soil and vegetable from the Wet Bank. **Environ. Cont. Toxic**. 47: 23-30.

Taylor, R. M., R. M. Mckenzie and K. Norrish. 1964. The mineralogy and chemistry of manganese in some Australian soils. **Aust. J. Soil. Res.** 2: 235-248.

Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-35.

Wekesa, M., A. Habtewold and J. Mirdaniali. 2011. Stabilization of manganese (Mn)-induced peroxide decomposition. **African Journal of Pure and Applied Chemistry.** 5(7): 176-180

World Health Organization. 1977. **Environmental Health Criteria 3. Lead.** Printed in United Kingdom.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งในผักสะระแห่น ผักกะเพรา ผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียวกวาดต้งและผักบุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

ชนิดผัก	Scientific name	ค่าวิเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)						
		Zn	Pb	Cd	Cu	Hg	As	Ni
สะระแห่น	<i>Mentha speciosa</i> Hassk.	37.40b	0.00c	2.68c	8.66a	0.24C	0.20b	0.00d
กะเพรา	<i>Ocimum sanctum</i> L.	36.26b	1.89c	1.65d	8.62a	0.37a	0.41a	2.26bc
ผักคะน้า	<i>Brassica alboglabra</i> Bailey	36.34b	1.47c	3.97a	0.00b	0.32b	0.36a	3.87b
ผักกาดขาวปลี	<i>Brassica pekinensis</i> (Lour.) Rupr. Var. cylindrical Tsen & Lee	49.20a	7.08a	3.07bc	3.07b	0.35ab	0.40a	9.22a
ผักกาดเขียวกวาดต้ง	<i>Brassica chinensis</i> Jus. var. parachinensis (Bailey) Tsen & Lee	54.31a	4.69b	3.32abc	1.14b	0.36ab	0.42a	3.07b
CV (%)		7.56	40.25	12.96	18.46	8.39	13.82	27.16
F-test		**	**	**	**	**	**	**

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดต่อน้ำหนักสดในผักสะระแห่น ผักกะเพรา ผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียววางตุ้งและผักบุ้งที่ปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตผักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรี

ชนิดผัก	Family	Scientific name	ค่าวิเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)						
			Zn	Pb	Cd	Cu	Hg	As	Ni
สะระแห่น	Labiatae	<i>Mentha speciosa</i> Hassk.	6.83a	0.00c	0.18d	1.58a	0.044ab	0.036bc	0.00d
กะเพรา	Labiatae	<i>Ocimum sanctum</i> L.	4.36c	0.23c	0.20d	1.04b	0.046a	0.049a	0.27c
ผักคะน้า	Cruciferae	<i>Brassica alboglabra</i> Bailey	5.34b	0.22c	0.58a	0.00c	0.048a	0.053a	0.57b
ผักกาดขาวปลี	Cruciferae	<i>Brassica pekinensis</i> (Lour.) Rupr. Var. cylindrical Tsen & Lee	6.76a	0.97a	0.42bc	0.01c	0.049a	0.055a	1.27a
ผักกาดเขียววางตุ้ง	Cruciferae	<i>Brassica chinensis</i> Jus. var. parachinensis (Bailey) Tsen & Lee	5.72b	0.49b	0.35c	0.12c	0.038b	0.044ab	0.32c
ผักบุ้ง	Convolvulaceae	<i>Ipomoeae aquatica</i> Forsk	3.34d	0.00c	0.46b	1.02b	0.047a	0.030c	0.11cd
CV (%)			14.3	16.5	41.6	13.9	8.4	26.4	9.4
F-test			**	**	**	**	**	**	**

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักคะน้าและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักคะน้า โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง

ตัวรับการทดลอง	Cd ในเนื้อเยื่อพืช		Cd ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักร้าง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	Cd ที่สกัดได้	Cd ทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	2.05 ± 0.83bc	0.21 ± 0.082bc	0.16 ± 0.01	0.2 ± 0.01b
2. Rock phosphate	1.87 ± 0.60c	0.17 ± 0.055c	0.16 ± 0.01	1.77 ± 0.19a
3. Calcium phosphate	2.46 ± 0.25abc	0.23 ± 0.051bc	0.17 ± 0.02	0.33 ± 0.08b
4. Diammonium phosphate	3.13 ± 0.33a	0.36 ± 0.61a	0.22 ± 0.01	1.84 ± 0.82a
5. Sodium metasilicate	2.45 ± 0.33abc	0.18 ± 0.061c	0.18 ± 0.00	0.32 ± 0.07b
6. Rice straw	2.98 ± 0.23ab	0.28 ± 0.010abc	0.19 ± 0.01	0.26 ± 0.00b
7. Zeolite	2.29 ± 0.20abc	0.24 ± 0.035bc	0.16 ± 0.01	0.51 ± 0.57b
8. Zinc sulphate	2.20 ± 0.82bc	0.20 ± 0.070bc	0.20 ± 0.01	0.34 ± 0.21b
9. Control	3.01 ± 0.49ab	0.31 ± 0.055ab	0.19 ± 0.01	0.27 ± 0.17b
% CV.	20.46	23.46	5.78	52.68
F-test	*	**	ns	**

หมายเหตุ: ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 0.92 ± 0.37 และ 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักคะน้าและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักคะน้า โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง

ตัวรับการทดลอง	ตะกั่วในเนื้อเยื่อพืช		ตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	ตะกั่วที่สกัดได้	ตะกั่วทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	16.94 ± 4.20	1.63 ± 0.21	1.59 ± 0.13bc	2.44 ± 0.87c
2. Rock phosphate	16.72 ± 1.65	1.64 ± 0.28	1.28 ± 0.07e	18.05 ± 1.04a
3. Calcium phosphate	20.45 ± 1.86	1.95 ± 0.32	1.65 ± 0.06a	7.52 ± 1.57b
4. Diammonium phosphate	20.37 ± 0.85	2.35 ± 0.41	1.50 ± 0.07bc	7.20 ± 0.69b
5. Sodium metasilicate	19.03 ± 1.53	1.37 ± 0.30	1.37 ± 0.04ed	7.48 ± 3.23b
6. Rice straw	17.51 ± 1.61	1.64 ± 0.22	1.51 ± 0.02bc	2.78 ± 1.31c
7. Zeolite	18.54 ± 1.40	1.94 ± 0.34	1.42 ± 0.03cd	2.03 ± 1.50c
8. Zinc sulphate	18.58 ± 0.94	1.75 ± 0.23	1.39 ± 0.02ed	4.56 ± 0.73bc
9. Control	19.59 ± 2.85	1.79 ± 0.42	1.48 ± 0.03bcd	3.33 ± 1.71c
% CV.	48.88	17.35	4.19	26.51
F-test	ns	ns	**	**

หมายเหตุ: ปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 16.28 ± 0.27 และ 2.73 ± 0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดขาวปลี โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้อาณาเขตโรงเรือนทดลอง

ตัวรับการทดลอง	แคดเมียม ในเนื้อเยื่อพืช		แคดเมียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	Cd ที่สกัดได้	Cd ทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.000	0.22 ± 0.01	0.42 ± 0.15cd
2. Rock phosphate	0.26 ± 0.22c	0.007 ± 0.007	0.18 ± 0.02	1.41 ± 0.33a
3. Calcium phosphate	0.00 ± 0.00c	0.005 ± 0.009	0.20 ± 0.01	0.58 ± 0.23bc
4. Diammonium phosphate	0.34 ± 0.40c	0.021 ± 0.028	0.24 ± 0.05	0.97 ± 0.17ab
5. Sodium metasilicate	0.07 ± 0.06c	0.019 ± 0.029	0.21 ± 0.00	0.49 ± 0.00bc
6. Rice straw	1.48 ± 0.39b	0.035 ± 0.025	0.20 ± 0.00	0.35 ± 0.00c
7. Zeolite	1.05 ± 0.26b	0.040 ± 0.010	0.20 ± 0.01	0.27 ± 0.00c
8. Zinc sulphate	1.38 ± 0.39b	0.111 ± 0.128	0.21 ± 0.01	0.22 ± 0.16c
9. Control	2.01 ± 0.28a	0.077 ± 0.077	0.22 ± 0.02	0.22 ± 0.03c
% CV.	33.06	132.86	9.34	34.20
F-test	**	ns	ns	**

หมายเหตุ: ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 0.92 ± 0.37 และ 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดขาวปลีและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดขาวปลี โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง

ตัวรับการทดลอง	ตะกั่วในเนื้อเยื่อพืช		ตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	ตะกั่วที่สกัดได้	ตะกั่วทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	21.25 ± 0.39bc	0.55 ± 0.37	1.46 ± 0.02	8.57 ± 0.83c
2. Rock phosphate	28.05 ± 2.29b	0.53 ± 0.34	1.37 ± 0.10	22.76 ± 2.01a
3. Calcium phosphate	21.84 ± 0.98bc	0.35 ± 0.23	1.59 ± 0.20	7.37 ± 0.87c
4. Diammonium phosphate	7.82 ± 1.83c	0.90 ± 0.55	1.74 ± 0.60	10.52 ± 3.51c
5. Sodium metasilicate	7.98 ± 0.38c	0.54 ± 0.15	1.92 ± 1.07	14.51 ± 2.90b
6. Rice straw	14.46 ± 0.72bc	0.54 ± 0.34	1.55 ± 0.22	7.52 ± 0.44c
7. Zeolite	14.20 ± 2.92bc	0.58 ± 0.18	1.53 ± 0.19	7.32 ± 0.36c
8. Zinc sulphate	18.09 ± 2.63bc	1.04 ± 1.43	1.49 ± 0.07	6.93 ± 0.56c
9. Control	45.54 ± 1.51a	1.65 ± 0.34	1.43 ± 0.06	7.10 ± 1.33c
% CV.	43.71	79.62	26.03	43.22
F-test	*	ns	ns	**

หมายเหตุ: ปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 16.28 ± 0.27 และ 2.73 ± 0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดเขียววางตุ้ง โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง

ตำรับการทดลอง	แคดเมียมในเนื้อเยื่อพืช		แคดเมียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	Cd ที่สกัดได้	Cd ทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	5.5 ± 1.74	0.25 ± 0.061	0.19 ± 0.01bc	0.89 ± 0.11c
2. Rock phosphate	5.6 ± 0.51	0.28 ± 0.000	0.16 ± 0.01c	4.15 ± 0.23a
3. Calcium phosphate	7.47 ± 1.87	0.39 ± 0.156	0.21 ± 0.02bc	0.95 ± 0.33c
4. Diammonium phosphate	7.26 ± 0.94	0.41 ± 0.169	0.26 ± 0.02a	1.51 ± 0.14b
5. Sodium metasilicate	6.93 ± 1.23	0.37 ± 0.205	0.21 ± 0.03b	0.79 ± 0.01c
6. Rice straw	9.01 ± 2.68	0.58 ± 0.318	0.18 ± 0.02bc	1.09 ± 0.42bc
7. Zeolite	6.89 ± 0.39	0.41 ± 0.147	0.18 ± 0.02bc	0.66 ± 0.12c
8. Zinc sulphate	8.05 ± 0.30	0.64 ± 0.453	0.18 ± 0.03bc	0.71 ± 0.35c
9. Control	7.13 ± 0.31	0.37 ± 0.020	0.17 ± 0.02bc	0.97 ± 0.26c
% CV.	19.21	52.88	11.41	21.67
F-test	ns	ns	**	**

หมายเหตุ: ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 0.92 ± 0.37 และ 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักกาดเขียววางตุ้งและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักกาดเขียววางตุ้งโดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมตะกั่ว ภายใต้สภาพโรงเรือนทดลอง

ตัวรับการทดลอง	ตะกั่วในเนื้อเยื่อพืช		ตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	ตะกั่วที่สกัดได้	ตะกั่วทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	16.62 ± 2.16	1.09 ± 0.60	2.13 ± 0.06	6.32 ± 1.40b
2. Rock phosphate	15.35 ± 7.42	0.77 ± 0.30	2.25 ± 0.27	12.39 ± 0.03a
3. Calcium phosphate	17 ± 1.01	0.88 ± 0.19	2.29 ± 0.11	9.04 ± 0.63ab
4. Diammonium phosphate	19.3 ± 6.10	1.30 ± 0.64	2.53 ± 0.55	9.51 ± 3.31ab
5. Sodium metasilicate	20.51 ± 3.54	1.17 ± 0.57	3.54 ± 2.48	8.62 ± 0.00b
6. Rice straw	14.41 ± 4.41	1.16 ± 0.56	2.54 ± 0.40	8.93 ± 0.03ab
7. Zeolite	16.73 ± 4.35	0.93 ± 0.33	2.25 ± 0.19	6.68 ± 1.23b
8. Zinc sulphate	22.03 ± 1.31	1.71 ± 1.07	2.24 ± 0.07	6.86 ± 0.44b
9. Control	27.88 ± 2.80	1.29 ± 0.19	2.25 ± 0.16	8.16 ± 1.56b
% CV.	21.47	49.29	35.79	19.53
F-test	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ: ปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 16.28 ± 0.27 และ 2.73 ± 0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณแคดเมียมในเนื้อเยื่อผักนึ่งและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักนึ่ง โดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการสะสมแคดเมียม ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง

ตำรับการทดลอง	Cd ในเนื้อเยื่อพืช		Cd .ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	Cd ที่สกัดได้	Cd ทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	2.03 ± 0.11bc	0.06 ± 0.06bc	0.16 ± 0.02	0.81 ± 0.15b
2. Rock phosphate	1.61 ± 0.44c	0.08 ± 0.05abc	0.18 ± 0.01	3.10 ± 0.07a
3. Calcium phosphate	3.26 ± 2.07bc	0.16 ± 0.06a	0.17 ± 0.03	0.90 ± 0.26b
4. Diammonium phosphate	6.09 ± 1.01a	0.04 ± 0.04c	0.22 ± 0.04	0.93 ± 0.01b
5. Sodium metasilicate	4.41 ± 1.62ab	0.08 ± 0.06abc	0.22 ± 0.01	0.90 ± 0.25b
6. Rice straw	4.67 ± 1.10ab	0.14 ± 0.03ab	0.18 ± 0.04	0.73 ± 0.24b
7. Zeolite	3.90 ± 1.75abc	0.11 ± 0.04abc	0.20 ± 0.05	0.99 ± 0.25b
8. Zinc sulphate	3.52 ± 0.90ab	0.13 ± 0.06abc	0.20 ± 0.01	1.41 ± 0.25b
9. Control	4.57 ± 0.59ab	0.16 ± 0.03a	0.19 ± 0.03	0.99 ± 0.29b
% CV.	38.04	42.6	14.51	21.62
F-test	*	**	ns	**

หมายเหตุ: ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 0.92 ± 0.37 และ 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อผักบุ้งและปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ดินหลังการปลูกผักบุ้งโดยใช้วิธีการจัดการเพื่อลดการ สะสมตะกั่ว ภายใต้อสภาพโรงเรือนทดลอง

ตำรับการทดลอง	ตะกั่วในเนื้อเยื่อพืช		ตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด	ตะกั่วที่สกัดได้	ตะกั่วทั้งหมด
1. Compost + iron oxide	1.95 ± 1.23e	0.24 ± 0.16e	1.90 ± 0.05	9.25 ± 1.35
2. Rock phosphate	8.33 ± 0.66de	1.03 ± 0.08de	1.74 ± 0.09	12.73 ± 5.17
3. Calcium phosphate	11.45 ± 3.79bcd	1.41 ± 0.47bcd	1.94 ± 0.02	7.64 ± 0.15
4. Diammonium phosphate	9.90 ± 0.25cd	1.22 ± 0.03cde	1.98 ± 0.04	7.27 ± 1.93
5. Sodium metasilicate	11.24 ± 1.51bcd	1.39 ± 0.18bcd	1.84 ± 0.03	7.26 ± 3.42
6. Rice straw	15.12 ± 3.64abc	2.96 ± 1.10a	1.97 ± 0.05	7.70 ± 3.92
7. Zeolite	17.56 ± 1.14a	2.17 ± 0.14abc	1.92 ± 0.09	7.68 ± 1.12
8. Zinc sulphate	16.53 ± 3.91ab	2.81 ± 0.60a	2.11 ± 0.04	9.25 ± 1.11
9. Control	19.38 ± 2.10ab	2.39 ± 0.25ab	2.03 ± 0.12	3.92 ± 2.68
% CV.	21.79	34.19	3.90	35.77
F-test	**	**	ns	ns

หมายเหตุ: ปริมาณตะกั่วทั้งหมดและที่สกัดได้ก่อนการจัดการดิน 16.28 ± 0.27 และ 2.73 ± 0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแผนภูมิ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณร้อยละการลดลงของความเข้มข้นตะกั่วในเนื้อเยื่อผักทั้ง 4 ชนิดโดยใช้วิธีการลดการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกัน ภายใต้สภาพเรือนทดลอง

Treatment	คะน้ำ		ผักกาดขาวปลี		ผักกาดเขียววางตุ้ง		ผักบุ้ง	
	ปริมาณ Pb	ร้อยละการ	ปริมาณ Pb	ร้อยละการ	ปริมาณ Pb	ร้อยละการ	ปริมาณ Pb	ร้อยละการ
	ในผัก	ลดลง	ในผัก	ลดลง	ในผัก	ลดลง	ในผัก	ลดลง
1. Compost + iron oxide	1.63	8.94	0.55	66.67	1.09	15.50	0.24	89.96
2. Rock phosphate	1.64	8.38	0.53	67.88	0.77	40.31	1.03	56.90
3. Calcium phosphate	1.95	-8.94	0.35	78.79	0.88	31.78	1.41	40.87
4. Diammonium phosphate	2.35	-31.28	0.9	45.45	1.3	-0.78	1.22	48.95
5. Sodium metasilicate	1.37	23.46	0.54	67.27	1.17	9.30	1.39	41.84
6. Rice straw	1.64	8.38	0.54	67.27	1.16	10.08	2.96	-23.64
7. Zeolite	1.94	-8.38	0.58	64.85	0.93	27.91	2.17	9.21
8. Zinc sulphate	1.75	2.23	1.04	36.97	1.71	-32.56	2.81	-17.36
9. control	1.79	0	1.65	0	1.29	0	2.39	0

หมายเหตุ: เลขที่มีค่าติดลบหมายถึงมีแนวโน้มทำให้การสะสมโลหะหนักสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าควบคุม

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณน้ำน้กสลดเฉลี่ยในส่วนที่ใช้บริโภคในฝักคะน้ำ ฝักกาดขาวป्ली ฝักกาดเขียวกวางตุ้งและฝักนึ่งปลูกในดินปนเปื้อนโลหะหนัก ณ พื้นที่ผลิตฝักริมทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3034 จ.สระบุรีโดยใช้วิธีการจัดการเพื่อการสะสมแคดเมียมและตะกั่ว ภายใต้สภาพเรือน

ตำรับการทดลอง	ฝักคะน้ำ		ฝักกาดขาวป्ली		ฝักกาดเขียวกวางตุ้ง		ฝักนึ่ง	
	น้ำน้กสลด	น้ำน้กแห้ง	น้ำน้กสลด	น้ำน้กแห้ง	น้ำน้กสลด	น้ำน้กแห้ง	น้ำน้กสลด	น้ำน้กแห้ง
	กรัมต่อกระถาง		กรัมต่อกระถาง		กรัมต่อกระถาง		กรัมต่อกระถาง	
1. Compost + iron oxide	56.9ab	5.5	141.8a	5.1a	142.3a	6.7ab	70.9	8.5
2. Rock phosphate	63.5a	6.2	138.5a	3.8ab	146.5a	8.1a	53.1	6.3
3. Calcium phosphate	61.6a	6.1	116.0a	2.6ab	136.8a	6.2ab	63.1	7.2
4. Diammonium phosphate	25.1c	2.7	30.2b	1.5ab	67.5bc	4.3bcd	41.8	5.0
5. Sodium metasilicate	28.0c	2.5	69.7ab	2.7b	47.7c	2.3d	43.1	5.2
6. Rice straw	56.4ab	5.3	69.1ab	2.8ab	48.0c	2.8abc	55.5	7.5
7. Zeolite	48.8ab	5.0	91.8ab	3.8ab	122.0a	5.9abcd	50.3	6.5
8. Zinc sulphate	55.6ab	5.2	152.7a	3.5ab	105.5ab	5.0ab	70.6	8.0
9. Control	47.3ab	4.6	134.3a	4.2a	136.8a	6.8ab	66.8	7.8
CV(%)	40.53	41.75	20.35	28.42	20.54	23.14	29.27	29.68
F-test	*	ns	*	*	*	*	ns	ns

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายสมพร เรืองศรี
เกิดวันที่ 4 เมษายน 2529
สถานที่เกิด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา วท.บ. (เคมีการเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน -
สถานที่ทำงานปัจจุบัน -
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2553)