ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา	ปฐพีวิทยา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ใช้ปลูกข้าว และในเมล็ดข้าว แสดงถึงภาวะโภชนาการของประชากร อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

Zinc and Cadmium Content in Paddy Fields and Rice Grains: Implication for Human Health in Khao Yoi District, Phetchaburi Province

นามผู้วิจัย นายรุจ เกษตรสุวรรณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์ศวพร ศุภผล, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ศาสตราจารย์ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, D.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิบูลย์ กังแฮ, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ใช้ปลูกข้าว และในเมล็ดข้าว แสดงถึงภาวะโภชนาการของประชากร อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

Zinc and Cadmium Content in Paddy Fields and Rice Grains: Implication for Human Health in Khao Yoi District, Phetchaburi Province

โดย

นายรุจ เกษตรสุวรรณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2552

รุจ เกษตรสุวรรณ 2551: ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ใช้ปลูกข้าว และในเมล็ดข้าว แสดงถึงภาวะโภชนาการของประชากร อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ศวพร ศุภผล, ปร.ด. 109หน้า

การประเมินปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ใช้ปลูกข้าวเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในดิน-พืช-มนุษย์ จึงทำการศึกษาวิจัยโดยวิธีการสำรวจพื้นที่ปลูกข้าว เก็บตัวอย่างดิน ข้าวและเส้นผมของประชากรในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี ผลการวิจัยพบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำมาก ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินคือ 0.005 - 0.071 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสังกะสีและปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีและปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าว และมีปริมาณสังกะสี ในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท 1 ในระดับต่ำ สำหรับปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณน้อยและมีความปลอดภัยในการบริโภค เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในเส้นผมของประชากรพบว่า ปริมาณสังกะสีในเส้นผมของประชากรอยู่ในช่วง 60.19 - 193.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตราฐาน จากข้อมูลดังกล่าวแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน-พืช-มนุษย์ จึงทำการศึกษาเพื่อหาระดับสังกะสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยเลือกข้าว 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชเป็นเวลา 28 วัน ที่เรือนทดลองในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยวางแผนการทดลองแบบ 5×12 factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 2 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่าระดับสังกะสีในรูปซิงค์ซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 คือ 75, 75, 100, 100 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตร ตามลำดับ และทำการทดลองเพื่อหาปริมาณระดับสังกะสีที่เหมาะสมในการลดปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวแต่ละพันธุ์ โดยวางแผนการทดลองแบบ 5×5 factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ เป็นเวลา 45 วัน โดยปลูกข้าว 5 พันธุ์ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียวและปริมาณสังกะสี 10, 25, 50, 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่า ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีปริมาณการดูดใช้แคดเมียมลดลงเมื่อได้รับปริมาณสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Ruj Kasetsuwan 2009: Zinc and Cadmium Content in Paddy Fields and Rice Grains: Implication for Human Health in Khao Yoi District, Phetchaburi Province Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Ms. Savaporn Supaphol, Ph.D. 109 pages.

In order to investigate zinc and cadmium contents in rice growing area and to study relationship among of soil-plant-human in zinc content, the experiment was carried out in one selected area with field survey. Soils and rice samples were collected from the area in Khao Yoi District, Phetchaburi Province. Human hairs were obtained from people living in this area. The result indicated that extractable zinc and cadmium concentrations were considered as medium to very low at the range of 0.33 - 1.70 mg kg^{-1} and 0.005 - 0.071 mg kg^{-1} for extractable zinc and cadmium, respectively. Extractable zinc and cadmium in the soils were non significantly correlated with zinc and cadmium in the rice grain. Zinc concentration in Supanburi 1 and Chainat 1 brown rice are not adequate for human. Cadmium concentration in brown rice on these varieties are found in a small amount which is safely for human consumption. The zinc contents in the human hair ranged 60.19 - 193.11 mg kg^{-1} which were less than normal range effecting on the risk of zinc deficiency. The above mentioned data showed the nutrition status presenting the relationship between soil, plant and human. It was suggested that the biofortification was suitable for selecting rice cultivar which contributed higher Zn in grains. Therefore, five rice cultivars consisting of Chainat 1, Pathumthani 1, RD 23, Suphanburi 1 and Suphanburi 3, were selected to investigate appropriate Zn level by cultivating in hydroponics culture experiment for 28 days at Kasetsart University Greenhouse. The experimental design was on 5×12 factorial in completely randomized design (CRD) with two replicates. The result showed that the appropppriate zinc levels applied as $ZnSO_4$ for Chainat 1, Pathumthani 1, RD 23, Suphanburi 1 and Suphanburi 3 were 75, 75, 100, 100 and 50 μmol L^{-1}, respectively. Subsequently, selecting the suitable rate of Zn concentration to reduce Cd uptake in each rice cultivars, the rice cultivation in hydroponics culture experiment was conducted at 45 days. The experimental design was on 5×5 factorial in completely randomized design (CRD) with 3 replicates. The five rice cultivars were cultivated in nutrient solution at Zn 10 μmol L^{-1}, Zn 10 μmol L^{-1} + Cd 20 μmol L^{-1}, Zn 25 μmol L^{-1} + Cd 20 μmol L^{-1}, Zn 50 μmol L^{-1} + Cd 20 μmol L^{-1}, Zn 75 μmol L^{-1} + Cd 20 μmol L^{-1}. The result showed that only Suphanburi 3 cultivar had the lowest Cd uptake when $ZnSO_4$ was applied at 75 μmol L^{-1}

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ศวพร ศุภผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาตลอด กราบขอบพระคุณ ศ.ดร.ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ศ.ดร.เอิบ เขียวรื่นรมณ์ ประธานการสอบและ ดร.พิชิต พงษ์สกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาตรวจ แก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณพันเอกปรีดาและคุณพิไลวรรณ มาเมืองบน ที่กรุณาช่วยเหลือสนับสนุนและให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา และคุณสำลี ชัยคช ที่ให้ความช่วยเหลือในการสำรวจพื้นที่

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาปฐพีวิทยา ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ และคำแนะนำที่ดี ขอบคุณคุณนิศานาถ เจือทองและคุณสุนันทา ลือวนิชวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูล ขอบคุณพี่ เพื่อนและน้อง ๆ สโมสรบัณฑิตปฐพีวิทยา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และน้อง ๆ ที่สนับสนุนให้กำลังใจ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และครู-อาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

รุจ เกษตรสุวรรณ

มกราคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	76
สรุป	76
ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	109

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของประเทศผู้ผลิตข้าวระหว่างปี พ.ศ. 2548 – 2550	5
2	ปริมาณสังกะสีที่ปรากฏในธรรมชาติ	9
3	ปริมาณสังกะสีในอาหารแต่ละชนิด	11
4	ปริมาณแคดเมียมในพืชอาหารซึ่งปลูกในประเทศไทย	14
5	ระดับความเข้มข้นสูงสุดของธาตุโลหะหนักที่ยอมรับได้ในบางประเทศ	16
6	พื้นที่ปลูกข้าวในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	20
7	ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ใช้ปลูกข้าว อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	20
8	สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการทดลองที่ 2	27
9	สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการทดลองที่ 3	29
10	ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในเส้นผมของประชากร อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	32
11	สมบัติทางกายภาพและเคมีของชุดดินเพชรบุรี สมุทรปราการ และกำแพงแสนที่นำมาศึกษา	35
12	ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และต้นข้าวที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	37
13	อัตราส่วนระหว่างสังกะสีต่อแคดเมียม (Zn:Cd) ในเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์ที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	41
14	ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และต้นข้าวที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ของสมบัติดินต่อปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ ต้นข้าว พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	95
2	ความสัมพันธ์ของสมบัติดินต่อปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ ต้นข้าว พันธุ์ ชัยนาท 1 ที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	96
3	ความสูง (ซม.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร	97
4	การแตกกอ (กอ) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร	98
5	น้ำหนักแห้งตอซัง (กรัม) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร	99
6	ปริมาณสังกะสีในตอซัง (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร	100
7	ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของตอซัง (มก./ต้น) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร	101
8	ความสูง (ซม.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร	102
9	การแตกกอ (กอ) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร	103
10	น้ำหนักแห้งตอซัง (กรัม) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

11 ปริมาณสังกะสีในตอซัง (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร 105

12 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซัง (มก./ต้น) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร 106

13 ปริมาณแคดเมียมในตอซัง (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร 107

14 ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมในตอซัง (มก./ต้น) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร 108

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินกับปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1	39
2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินกับปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1	43
3	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช	45
4	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการแตกกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น	47
5	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น	48
6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น	50
7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ดูดใช้กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น	52
8	ระดับคะแนนอาการผิดปกติของต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น 12 ระดับความเข้มข้น	53
9	ความสูง (ซม.) ของต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	56
10	จำนวนการแตกกอ (กอ) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	น้ำหนักแห้งตอซังข้าว (กรัม) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	60
12	ปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว (มก./กก.) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	63
13	ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของตอซังข้าว (มก./ต้น) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	65
14	ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าว (มก./กก.) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	67
15	ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของตอซังข้าว (มก./ต้น) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	69
16	ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	71
17	ปริมาณการดูดใช้สังกะสีและแคดเมียมในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากการย้ายปลูก	73
18	ระดับคะแนนอาการผิดปกติของต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับ ปริมาณสังกะสีและแคเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
1	จุดเก็บตัวอย่างดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าวจากชุดดินเพชรบุรี (Pb) ชุดดินสมุทรปราการ (Sm) และชุดดินกำแพงแสน (Ks) ต้นข้าว และเมล็ดข้าว ในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี	93
2	การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 กข 23 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูก ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี 12 ระดับความเข้มข้น	94
3	การทดลองที่ 3 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 กข 23 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีร่วมกับแคดเมียม	94

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ซม.	=	เซนติเมตร
มก./กก.	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
มก./ต้น	=	มิลลิกรัมต่อต้น
Ca	=	แคลเซียม
Cd	=	แคดเมียม
Cn 1	=	ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1
Fe	=	เหล็ก
K	=	โพแทสเซียม
Mg	=	แมกนีเซียม
Mn	=	แมงกานีส
pH	=	ความเป็นกรด – ด่าง
Pt 1	=	ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1
RD 23	=	ข้าวพันธุ์กข 23
Sb 1	=	ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1
Sb 3	=	ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3
Zn	=	สังกะสี

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ใช้ปลูกข้าว และในเมล็ดข้าว แสดงถึงภาวะโภชนาการของประชากร อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

Zinc and Cadmium Content in Paddy Fields and Rice Grains: Implication for Human Health in Khao Yoi District, Phetchaburi Province

คำนำ

สังกะสีเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของมนุษย์ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของเอมไซม์ในร่างกายมนุษย์เช่น carbonic anhydrase, carboxypeptidase A and B, dipeptidase, pyruvate carboxylase, superoxide dismutase, alkaline phosphatase, DNA polymerase, และ RNA polymerase (Kohlmeier, 2003; Lursinsap, 2002) แหล่งของสังกะสีที่มนุษย์ได้รับจากการบริโภคมาจากอาหารทะเล เนื้อสัตว์ และเมล็ดธัญพืช (อัจฉรา, 2550) เป็นที่ทราบกันดีว่าข้าวเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญ (Timsina and Connor, 2001; Zhang *et al.*, 1997) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศแถบภูมิภาคเอเชีย เนื่องจากประชากรโดยส่วนใหญ่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก จากการสำรวจปริมาณข้าวที่คนไทย คนอินโดนีเซีย คนเวียดนามและคนญี่ปุ่นบริโภคข้าวโดยเฉลี่ยต่อวันคือ 600, 400, 300 และ 100 กรัมต่อวัน ตามลำดับ (คณะทำงานจัดทำข้อปฏิบัติการกินอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย, 2543; Asian Productivity Organization, 2000) ดังนั้นการบริโภคข้าวในแต่ละวัน จะช่วยให้ผู้บริโภคได้รับสังกะสีด้วย โดยข้าวกล้องจะมีปริมาณสังกะสีสูงกว่าข้าวขาว (อรอนงค์, 2550) เนื่องจากกระบวนการขัดสีข้าวส่งผลให้เกิดการสูญเสียชั้น aleurone layer ซึ่งห่อหุ้มเมล็ด เป็นผลให้เกิดการสูญเสียของปริมาณสังกะสีในข้าวขาว สำหรับความต้องการสังกะสีของคนไทยเพศชายและเพศหญิงต่อวันคือ 13 และ 7 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ (เอมอร และ รัชนี, 2546) ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกาย อย่างไรก็ตามในการผลิตข้าวเพื่อการบริโภคในประเทศไทยพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในเมล็ดข้าว ตั้งแต่ระดับที่ต่ำ 0.002 - 0.156 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากการสำรวจผลผลิตข้าวกล้องในประเทศไทย (ปรีดา และคณะ, 2547) และมีปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมในเมล็ดข้าวระดับสูงในช่วง 3.77 – 284.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจากพื้นที่ในหมู่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีการทำเหมืองสังกะสีและโรงงานถลุงแร่สังกะสี (ปรีดา และคณะ, 2547) เนื่องจากแคดเมียมมีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับสังกะสี (Cakmak *et al.*, 2000) จึงเกิดการปนเปื้อนในการผลิตข้าว สำหรับปริมาณแคดเมียมที่อนุญาตให้มีการปนเปื้อนในข้าวกล้องและข้าวสารที่ใช้ใน

การบริโภค ไม่ควรเกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Codex Alimentarius Commission [CODEX], 2006) และไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (CODEX, 2002) ตามลำดับ Zhang *et al*. (1977) พบว่าการขัดสีไม่มีผลในการลดปริมาณแคดเมียมซึ่งปนเปื้อนในเมล็ดข้าว

ในการประเมินภาวะโภชนาการของผู้บริโภคเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดิน - พืช - มนุษย์ นั้น ในมนุษย์สามารถทำการศึกษาได้โดยการวิเคราะห์จากตัวอย่างเลือด พลาสมา และจากเส้นผม (Senofonte *et al*., 2001; Dorea, 2003; Rodrigues *et al*., 2008) สำหรับการศึกษาวิจัยของ Amaral *et al*. (2008) พบว่าปริมาณสังกะสีจากเส้นผมของประชากรเมือง Azores ประเทศโปรตุเกสสามารถใช้เป็น biomarker เพื่อบ่งชี้ถึงปัญหาการได้รับทองแดง ซิลิเนียม และสังกะสี จากการระเบิดของภูเขาไฟ และจากงานวิจัยของ Senofonte *et al*. (2000) และพิทยา และคณะ (2545) ชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ธาตุซึ่งมีองค์ประกอบในเส้นผมสามารถใช้เป็นเครื่องมือบ่งชี้ถึงภาวะโภชนาการของประชากรจากพฤติกรรมการบริโภคและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในการดำรงชีวิต

ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ใช้ปลูกข้าว การสะสมในตอซัง เมล็ดข้าว และเส้นผมของประชากรในพื้นที่เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน-พืช-มนุษย์ สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ภาวะโภชนาการของประชากรอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี และหาช่วงสังกะสีที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของข้าวและลดการดูดใช้แคดเมียมของข้าว ซึ่งจะส่งผลให้มีการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น และจะส่งผลทำให้ภาวะโภชนาการของประชากรดีขึ้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในดินที่ปลูกข้าว ในต้นข้าว ในเมล็ดข้าว และเส้นผมของประชากรจากอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างดิน - พืช - มนุษย์

2. ศึกษาปริมาณของสังกะสีที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3

3. ศึกษาปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและช่วยลดการดูดใช้แคดเมียมในตอซังข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี

การตรวจเอกสาร

1. ข้าว

1.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า จัดอยู่ในวงศ์ Graminea สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น จำนวนชนิดทั้งหมดที่พบในสกุล Oryza มีประมาณ 20 ชนิด โดยส่วนใหญ่มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2 ชุด (diploid, 2n = 24) และส่วนที่มีโครโมโซม 4 ชุด (tetraploid, 2n = 48) (บุญหงษ์, 2547) ข้าวที่นิยมปลูกในเอเชียในปัจจุบันแบ่งเป็น 3 พวก (อรรควุฒิ, 2542)

ก. อินดิคา (Indica) เมล็ดยาวเรียว ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ตอบสนองต่อปุ๋ยน้อย แต่สามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี

ข. จาปอนิคา (Japonica) เมล็ดป้อมสั้น ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยสูง

ค. จาวานิคา (Javanica) เมล็ดค่อนข้างป้อมสั้น ผลผลิตต่ำ

1.2 สถานการณ์ปัจจุบัน

กระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกาได้คาดการณ์เบื้องต้นว่าผลผลิตข้าวของโลกประจำปี พ.ศ. 2550 - 51 ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2550 จะมีข้าวสาร 420.88 ล้านตัน ซึ่งมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น จากผลผลิตข้าวของโลกประจำปี พ.ศ. 2549 - 50 ซึ่งมีข้าวสาร 416.57 ล้านตัน เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของผลผลิตของประเทศที่ผลิตข้าว เช่น บังคลาเทศ บราซิล กัมพูชา จีน อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น ไนจีเรีย ปากีสถานและไทย (วรีพร, 2550) แต่เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าประเทศไทยผลิตข้าวได้ค่อนข้างน้อย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [สศก.], 2550) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของประเทศผู้ผลิตข้าวระหว่างปี พ.ศ. 2548 - 2550

	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (1,000 ไร่)			ผลผลิต (1,000 ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)		
ประเทศ	2548	2549	2550	2548	2549	2550	2548	2549	2550
รวมทั้งโลก	966,883	977,464	981,230	631,869	644,490	654,413	654	659	667
จีน	181,978	184,145	182,688	182,059	184,128	185,490	1,000	1,000	1,015
อินเดีย	272,874	272,606	275,000	137,690	139,137	141,134	505	510	513
อินโดนีเซีย	73,994	73,665	76,035	54,151	54,455	57,049	732	739	750
บังกลาเทศ	65,775	70,000	70,000	39,796	43,504	43,504	605	621	621
เวียดนาม	45,808	45,778	45,656	35,791	35,827	35,567	781	783	779
พม่า	43,800	50,875	51,250	25,364	30,600	32,610	579	601	636
ไทย	63,906	63,532	66,681	30,292	29,642	32,099	474	467	481

ที่มา: สศก. (2550)

1.3 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

เป็นสายพันธุ์ข้าวที่ได้จากการผสม 3 ทาง ระหว่างสายพันธุ์ IR 13146-158-1 และสายพันธุ์ IR 15314-43-2-3-3 กับสายพันธุ์ BKN 6995-16-1-2 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท เมื่อ พ.ศ.2525 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ CNTBR 82075-43-2-1 ได้รับการรับรองพันธุ์จากคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2536 เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 113 เซนติเมตร เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ทรงกอตั้งตรง ใบสีเขียว ใบธงค่อนข้างยาวตั้งตรง คอรวงสั้น ระแง้ค่อนข้างถี่ ฟางแข็ง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 26 – 27 อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 121 – 130 วัน ระยะพักตัวของของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ ผลผลิตประมาณ 740 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ลักษณะเด่น ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนดี ต้านทานโรคใบหงิก และโรคไหม้ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว (กรมการข้าว, 2549)

1.4 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

เป็นสายพันธุ์ข้าวที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ BKNA6-18-3-2 กับสายพันธุ์ PTT85061- 86-3-2-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ในปีพ.ศ. 2533 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ PTT90071- 93-8-1-1 ได้รับการรับรองพันธุ์จากคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2543 เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 104 -133 เซนติเมตร เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ทรงกอตั้งตรง ใบสีเขียวมีขน กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวทำมุม 45 องศา กับคอรวง รวงอยู่ใต้ใบธง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีขน มีหางเล็กน้อย มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 15 – 19 อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104 – 126 วัน ระยะพักตัวของของเมล็ดประมาณ 4 สัปดาห์ ผลผลิตประมาณ 650 – 774 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพข้าวสุก นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน ลักษณะเด่น คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ต้านทานโรคขอบใบแห้ง และโรคไหม้ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว (กรมการข้าว, 2549)

1.5 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์ กข 23

เป็นสายพันธุ์ข้าวที่ได้จากการผสม 3 ทาง ระหว่างสายพันธุ์กข 7 และสายพันธุ์ IR 32 กับสายพันธุ์กข 1 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี เมื่อ พ.ศ. 2521 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPRLR76002-168-1-4 ได้รับการรับรองพันธุ์จากคณะกรรมการการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2524 เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 115 - 120 เซนติเมตร เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ลำต้นและใบมีสีเขียวอ่อน ใบธงตั้งและค่อนข้างยาว รวงอยู่ใต้ใบ แตกกอดี เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 25 – 30 อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 125 วัน ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 5 สัปดาห์ ผลผลิตประมาณ 800 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพข้าวสุก ร่วน นุ่ม ลักษณะเด่น ต้านทานโรคขอบใบแห้ง และโรคใบหงิก (กรมการข้าว, 2549)

1.6 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

เป็นสายพันธุ์ข้าวที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 ของสายพันธุ์ IR25393-57-2-3 และสายพันธุ์กข23 กับสายพันธุ์ IR27316-96-3-2-2 และลูกผสมชั่วที่ 1 ของสายพันธุ์ SPRLR77205-3-2-1-1 กับสายพันธุ์ SPRLR79134-51-2-2 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2528 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPRLR85163-5-1-1-2 ได้รับการรับรองพันธุ์จากคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2537 เป็นข้าวเจ้านา

สวน สูงประมาณ 125 เซนติเมตร เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้ม ใบสีเขียวเข้ม มีขน กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวค่อนข้างตั้งตรง คอรวงยาว รวงค่อนข้างแน่น เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 29 อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน ระยะพักตัวของของเมล็ดประมาณ 22 วัน ผลผลิตประมาณ 806 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพข้าวสุก แข็ง ร่วน ลักษณะเด่น ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ย ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ โรคใบหงิก และโรคใบสีส้มในสภาพธรรมชาติ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว (กรมการข้าว, 2549)

1.7 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3

เป็นสายพันธุ์ข้าวที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ระหว่างลูกผสมกลับครั้งที่ 2 (BC_2) ของ Basmati 370*3/กข7 กับพันธุ์ ไออาร์68 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี ในฤดูนาปรัง พ.ศ.2533 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ SPR90008-58-1-1-3 ได้รับการรับรองพันธุ์จากคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2549 เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 114 เซนติเมตร เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ลักษณะทรงกอตั้ง ต้นแข็ง ใบสีเขียว ใบธงค่อนข้างตั้ง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีปริมาณอมิโลส 28.3% อายุเก็บเกี่ยว 115 - 120 วัน ระยะพักตัว ประมาณ 5 สัปดาห์ ผลผลิต 772 กิโลกรัมต่อไร่ คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง ประเภทข้าวเสาไห้ ลักษณะเด่น ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ดีกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง (กรมการข้าว, 2549)

2. โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป (Alloway and Ayres, 1993) ไม่รวมถึงกลุ่มโลหะแอลคาไลและกลุ่มโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท โดยทั่วไปจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 อยู่ในคาบที่ 4 ถึง 7 (ศุภมาศ, 2540 และ สิทธิชัย, 2549) ธาตุโลหะหนักสามารถก่อให้เกิดมลพิษเมื่อเกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนในพื้นที่เพาะปลูกและแหล่งน้ำ เนื่องจากธาตุโลหะหนักสามารถถ่ายทอดสู่ระบบห่วงโซ่อาหาร และสามารถเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ (Chaney *et al.*, 2001) ธาตุโลหะหนักมีจำนวนหลายธาตุในที่นี้จะกล่าวถึง 2 ธาตุ ได้แก่ สังกะสี และแคดเมียม เนื่องจากเป็นธาตุโลหะหนักที่สนใจในการศึกษา

2.1 สังกะสี

2.1.1 ลักษณะและสมบัติของธาตุสังกะสี

สังกะสีเป็นธาตุในหมู่ IIB มีเลขอะตอม 30 เลขมวล 65.39 มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียล จุดเดือดที่อุณหภูมิ 907 องศาเซลเซียล มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 2

สังกะสีได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ด้านอุตสาหกรรมใช้ในการชุบโลหะ ภาชนะโลหะเคลือบสี ยารักษาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อโรค และผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง (ศุภมาศ, 2540) ด้านการเกษตรนำสังกะสีเป็นปุ๋ยจุลธาตุและสารคลุกเมล็ดฆ่าเชื้อรา

สังกะสีในดินมีแหล่งกำเนิดจาก 4 แหล่ง (Alloway, 1990) คือ

1) วัสดุต้นกำเนิดดิน ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีขึ้นอยู่กับชนิดแร่ที่เกิดกระบวนการผุพังในพื้นที่บริเวณนั้น

2) บรรยากาศ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ถ่านหิน และการสึกกร่อนของยางรถยนต์

3) การถลุงแร่ที่ไม่มีแร่เหล็กเป็นองค์ประกอบ (Kiekens, 1995)

4) ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและผลพลอยได้จากผลผลิต เช่น ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และการใช้กากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น

2.1.2 ปฏิกิริยาในดิน

โดยทั่วไปบนเปลือกโลกจะพบปริมาณสังกะสีได้ 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และในดินจะพบสังกะสีประมาณ 10 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดของดินในแต่ละบริเวณ (Havlin *et al.*, 2005) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณสังกะสีที่ปรากฏในธรรมชาติ

ชนิดของสาร	ปริมาณสังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
หินแกรนิต	40
หินดินดาน	95
หินทราย	16-20
หินปูน	20

ที่มา: ดัดแปลง Havlin *et al.* (2005) และคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544)

และจากการสลายตัวของแร่ เช่น franklinite ($ZnFe_2O_4$), smithsonite ($ZnCO_3$), willmite ($ZnSiO_4$), sphalerite (ZnS), zinkosite ($ZnSO_4$) และ hopeite ($Zn_3(PO_4)_2$) (Kiekens, 1995) มุกดา (2544) รายงานว่ารากพืชสามารถดูดซึมสังกะสีในดินเป็นรูปสังกะสีไดแวนด์เลน โดยในดินจะมีสังกะสีอยู่ระหว่าง 50-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินที่มักจะพบว่าขาดธาตุสังกะสี คือ ดินที่เป็นด่างทำให้สังกะสีตกตะกอนในรูป $Zn(OH)_2$ ดินเนื้อหยาบ ดินที่มีการชะล้างสูง รวมถึงดินที่มีฟอสเฟตมาก สังกะสีจะตกตะกอนในรูปของสังกะสีฟอสเฟต สังกะสีเคลื่อนย้ายได้ดีในสภาพแวดล้อมดินที่เป็นกรด แต่เมื่ออยู่ในดินมักจะถูกดูดซับโดยแร่และสารอินทรีย์ (ศุภมาศ, 2540) พิชิตและสุรสิทธิ์ (2542) ได้ศึกษาปริมาณสังกะสีที่อยู่ในดินที่เก็บจากทุกภาคของประเทศไทย พบสังกะสีในช่วง 0.1 ถึง 138 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ย 23.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.1.3 สังกะสีต่อการเจริญเติบโตของพืช

พืชดูดซึมสังกะสีเข้าไปภายในต้นเพื่อที่จะใช้เป็นองค์ประกอบของเอมไซม์ กระตุ้นเอมไซม์ และเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึม (ยงยุทธ, 2546) เช่นสังกะสีมีบทบาทเกี่ยวข้องกับออกซิน เมื่อพืชได้รับสังกะสีไม่เพียงพอทำให้กิจกรรมของ IAA ออกซิเดสสูงขึ้นและสลายตัวอย่างรวดเร็ว มีบทบาทเกี่ยวข้องกับเอมไซม์ซุปเปอร์ออกไซด์ ดีสมิวเทส (superoxide dismutase) โดยจะอยู่ในรูป Cu-Zn-SOD ซึ่งเป็นเอมไซม์ที่มีหน้าที่ช่วยป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ เป็นตัวกระตุ้นเอมไซม์หลายชนิด เช่น carbonic anhydrase ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (มุกดา, 2544) Lin and Kao (1990) รายงานว่า สังกะสีเป็นตัวกระตุ้นให้เอมไซม์อนินทรีย์ไพโรฟอสฟาเทส (inorganic pyrophosphatases, PP_iases) ที่มีบทบาทสูบโปรตอนที่เยื่อหุ้มแวคิวโอล ในใบพืชจะมีเอมไซม์ 2 ชนิด คือ เอมไซม์ที่ใช้แมกนีเซียม

(Mg PP_iases) กับไอโซไซม์ที่ใช้สังกะสี (Zn PP_iases) ในใบข้าวเอมไซม์ทั้งสองมีสัดส่วนที่เหมาะสม คือ 3 และ 6 ตามลำดับ อาการของพืชขาดสังกะสี คือ ใบแก่เกิดสีขาวซีด ใบอ่อนเกิดสีเหลืองซีดและเหี่ยวแห้งและข้อปล้องสั้น (Norman *et al*., 2003) Slaton *et al.* (2005 a) ได้ศึกษาการใส่ปุ๋ยสังกะสีต่อการตอบสนองของข้าว พบว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีแบบหว่านตั้งแต่ 1.44 ถึง 2.88 กิโลกรัมต่อไร่ จะเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Slaton *et al.* (2005 b) พบว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสี 1.792 กิโลกรัมต่อไร่และฉีดพ่นละอองปุ๋ยสังกะสี 0.176 ถึง 0.352 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ถึง 180 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยสังกะสี

พืชแต่ละชนิดแสดงอาการเป็นพิษต่อสังกะสีในระดับที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะถือว่าสังกะสีที่ได้จากวิธีสกัดด้วยกรดแอเซติก เกิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นระดับที่เริ่มเป็นพิษ แต่พืชหลายชนิดอาจไม่แสดงอาการเป็นพิษจนปริมาณสังกะสีในพืชอยู่ในระดับ 100 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศุภมาศ, 2540) โดยพืชที่ไม่ทนต่อสังกะสีได้รับสังกะสีในระดับที่เป็นพิษ อาการแรกที่พบ คือ รากหยุดการยืดตัว ใบอ่อนจะเหลืองซีดจากการขาดเหล็กในภาวะที่มีสังกะสีมากเกินไป (Boardman and McGuire, 1990)

2.1.4 ความสำคัญของสังกะสีต่อมนุษย์

สังกะสีมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของมนุษย์ โดยเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอมไซม์โปรตีน การแสดงออกของหน่วยพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ในภาวะที่ร่างกายได้รับสังกะสีไม่เพียงพอจะมีผลทำให้เกิดความผิดปกติในการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอลง ความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ โรคผิวหนัง (Prasad, 1998; Whittaker, 1998) และร่างกายมนุษย์มีการสะสมสังกะสีในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ ไต สมอง และเส้นผม เป็นต้น (McBean *et al*., 1972) สำหรับประเทศไทยนั้นจัดว่ามีภาวะเสี่ยงของประชากรที่จะขาดธาตุสังกะสีอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนการกำหนดปริมาณธาตุสังกะสีที่ควรจะได้รับประจำวันของคนไทยนั้นได้อาศัยกรอบแนวคิดและเกณฑ์ของคณะกรรมการนานาชาติด้านโภชนาการของธาตุสังกะสี (International Zinc Nutrition Consultative Group [IZiNCG], 2004) โดยคำนวณจากปริมาณธาตุสังกะสีที่ควรจะได้รับประจำวันเพื่อทดแทนส่วนที่สูญเสียประจำวัน รวมกับส่วนที่ร่างกายต้องการเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ จากนั้นพิจารณาปรับด้วยระดับการดูดซึมธาตุสังกะสีจากอาหารแบบผสมผสาน (mixed diet) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้วยเกณฑ์ดังกล่าวจึงได้ปริมาณธาตุสังกะสีที่คนไทยควรจะได้รับประจำวันสำหรับผู้ชายและผู้หญิง คือ 13

และ 7 มิลลิกรัม ตามลำดับ และปริมาณสูงสุดของธาตุสังกะสีที่ได้รับในแต่ละวันโดยไม่พบอาการเป็นพิษของสังกะสี สำหรับผู้ใหญ่ คือ 40 มิลลิกรัม (เอมอร และ รัชนี, 2546)

2.1.5 แหล่งที่มาของสังกะสีในวัตถุดิบเพื่อการบริโภค

อาหารเป็นปัจจัยที่สี่ที่มนุษย์ทุกคนควรจะได้รับเพื่อการดำรงชีพในแต่ละวัน แต่อาหารแต่ละชนิดนั้นย่อมมีสารอาหารที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นปริมาณสังกะสีของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสังกะสีในอาหารแต่ละชนิด (มิลลิกรัม Zn ต่ออาหารปรุงสุก 100 กรัม)

ชนิดของอาหาร (100 กรัม)	สังกะสี (มิลลิกรัม)
หอยนางรม	39
เนื้อสันใน	8.5
เนื้อบด	5.5
ตับไก่	4.3
ข้าวสาลี (2 ช้อนโต๊ะ)	2.4
โยเกิร์ตไขมันต่ำ 1 ถ้วยตวง	2.2
ข้าวกล้อง	1.9
กุ้ง	1.6
ข้าวขาว	1.5
เนื้อไก่	1.3

ที่มา: ดัดแปลง Higdon (2003) และศิริชัย (2545)

2.2 แคดเมียม

2.2.1 ลักษณะและสมบัติ

แคดเมียมเป็นธาตุในหมู่ IIB มีเลขอะตอม 48 เลขมวล 112.4 มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่อุณหภูมิ 767 องศาเซลเซียส มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 2 และ

ไอโซโทปที่เสถียร 8 ไอโซโทป แคดเมียมเป็นโลหะอ่อน สีขาวเงิน สามารถนำมาตัดและตีแผ่ได้ แคดเมียมบางรูปละลายน้ำได้ และละลายได้ในกรด โดยเฉพาะกรดไนตริก และละลายได้มากในสารละลายแอมโมเนียมไนเตรต แคดเมียมในธรรมชาติเกิดจากหลายแหล่ง เช่น จากการผุพังสลายตัวของวัสดุต้นกำเนิดดินที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ หินแกรนิต หินultramafic หินทราย เป็นต้น จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การถลุงแร่โดยเฉพาะZnS กระบวนการผลผลิตปุ๋ยฟอสฟอรัส การเผาไหม้เชื้อเพลิง กิจกรรมในอุตสาหกรรมผลิตโลหะ (บวร, 2530; Alloway and Ayres, 1993)

การใช้ประโยชน์จากแคดเมียมด้านเกษตรกรรม แคดเมียมใช้เป็นองค์ประกอบของยาปราบวัชพืช ยาปราบเชื้อรา และในกระบวนการการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตอาจมีแคดเมียมปนเปื้อน แต่แคดเมียมไม่ได้เป็นธาตุอาหารของพืช (Mehra and Farago, 1994)

ด้านอุตสาหกรรมใช้เป็นส่วนประกอบของสีในอุตสาหกรรมสีทาบ้าน สารกันสนิม สีชุบโลหะ สีย้อมในเซรามิค เส้นใยแก้ว แบตเตอรี่ และหมึกพิมพ์ เพราะมีค่าดัชนีการหักเหแสงสูง ทนความร้อนได้ 600 องศาเซลเซียส ทนต่อปรอท ซัลไฟด์ เบส สภาพอากาศและแสง นอกจากนั้นแคดเมียมยังเป็นสารทำให้สีเป็นเนื้อเดียวกัน (สิทธิชัย, 2549)

2.2.2 ปฏิกิริยาในดิน

แคดเมียมเคลื่อนย้ายได้ดีในดินที่มี pH ระหว่าง 4.5 ถึง 5.5 ซึ่งมีสภาพเป็นกรด สภาพการละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน แต่ถ้าดินอยู่ในสภาพที่เป็นด่าง แคดเมียมจะเคลื่อนย้ายได้น้อย (ศุภมาศ, 2540; Alloway, 1990) พิชิต และ สุรสิทธิ์ (2542) ศึกษาปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในดินจากทุกภาคของประเทศไทย พบแคดเมียมในช่วง 0.001 ถึง 0.294 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ย 0.032 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าดินตะกอน (alluvial soils) ริมฝั่งแม่น้ำโขงที่จังหวัดหนองคายมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง

2.2.3 แคดเมียมต่อการเจริญเติบโตของพืช

Brooks (1993) รายงานว่า ระดับความเป็นพิษขั้นวิกฤตของแคดเมียมต่อส่วนที่อยู่เหนือดินของพืชโดยทั่วไปจะมีค่าความเข้มข้นในช่วง 5-700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และเมื่อรากพืชดูดซึมแคดเมียมเข้าไปจะมีผลทำให้รากพืชได้รับความเสียหาย เกิดใบเหลืองซีด

(Mehra and Farago, 1994) ในพืชบกนั้นแคดเมียมจะมีผลต่อพืชแตกต่างกันเนื่องมาจากการแพร่กระจายในดินกับสมบัติดินมีความเกี่ยวข้องกัน โดยพืชแต่ละชนิดมีความสามารถสะสมและทนทานต่อแคดเมียมได้แตกต่างกัน เช่น การดูดซึมแคดเมียมของมันฝรั่ง > ข้าวบาร์เลย์ > ใบผักโขม > ข้าวสาลี > องุ่น > ข้าว (ถนอมขวัญ, 2548) และปริมาณการสะสมแคดเมียมของข้าวจะพบในต้น > ใบ > เมล็ด (พิชิต และคณะ, 2547) โดยปกติในพืชจะพบแคดเมียมน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มวลแห้งของพืช พืชบางชนิดที่ไวต่อแคดเมียม เช่น ถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืชอาหารที่สำคัญเมื่อดูดซึมแคดเมียมเข้าไปทำให้ราก ลำต้น น้ำหนักปมและผลผลิตลดลง (สุนิศา, 2543) สอดคล้องรายงานของปรีดา และคณะ(2547) ได้ศึกษาดินที่ใช้ปลูกถั่วเหลืองถ้ามีการปนปื้อนแคดเมียมตั้งแต่ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป จะทำให้ผลผลิตลดลงเพราะพืชขาดไนโตรเจน ทั้งนี้เป็นเพราะแคดเมียมเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ไรโซเบียม ทำให้การผลิตเอนไซม์ลดลงและยังสะสมอยู่ในใบ ต้นและราก ปรีดา และคณะ (2547) ทำการศึกษาปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในพืชอาหารที่ปลูกในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณแคดเมียมสะสมในพืชอาหารซึ่งปลูกในประเทศไทย

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

ที่มา: ปรีดา และคณะ (2547)

2.2.4 ผลกระทบของแคดเมียมต่อมนุษย์

แคดเมียมเป็นสารพิษมีอันตรายต่อมนุษย์ เนื่องจากสามารถสะสมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น ปอด ระบบโลหิต ไต และตับ เป็นต้น โดยได้รับผ่านการรับประทานและหายใจเอาฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนแคดเมียมเข้าไป ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันอยู่ในปริมาณ 350-3,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้เสียชีวิตได้ (Chaney *et al.*, 2001) และแคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็งปอดที่เกี่ยวกับการเกิดมะเร็งปอด (Achanzar *et al.*, 2000; Waalkes, 2000) ร่างกายสามารถดูดซึมแคดเมียมได้ประมาณร้อยละ 3 ถึง 8 ของปริมาณแคดเมียมที่ได้รับจากอาหาร (สุภาวดีและสุจรรยา, 2546) หากแต่ว่าแคดเมียมเป็นธาตุซึ่งไม่มีความจำเป็นต่อระบบการทำงานต่าง ๆ มีผลทำให้มีโปรตีนยูเรียในไตสูงเนื่องจากท่อไตชำรุดและไตบาดเจ็บ อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระดูกผิดรูป เรียกว่าโรค “อิไต อิไต” โรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและความดันโลหิตสูง เนื่องจากแคดเมียมจะยับยั้งการทำงานของระบบเอนไซม์ (ศุภมาศ, 2540) แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือ โดยการหายใจเอาอากาศที่มีไอของแคดเมียมหรือสารประกอบของแคดเมียม ขึ้นอยู่กับขนาดและการละลายของแคดเมียมและโดยการรับประทาน แคดเมียมจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยการปนเปื้อนจากอาหารและน้ำดื่ม (จินตนา และ สมิง, 2545; Yost, 1984) และคนที่สูบบุหรี่จะได้รับแคดเมียมสูงขึ้น เพราะมีการดูดซึมแคดเมียมจากควันบุหรี่ผ่านทางระบบทางเดินหายใจประมาณร้อยละ 15 ถึง 30 ส่งผลให้แคดเมียมสามารถถูกเคลื่อนย้ายไปในกระแสโลหิตได้ แต่ไม่สามารถซึมผ่านทางรกจากแม่ไปสู่บุตรได้เหมือนกับปรอท องค์การอนามัยโลกกำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดต่อวันไม่ควรเกิน 57 ถึง 71 ไมโครกรัม (สุภาวดี และ สุจรรยา, 2546) การเกิดพิษของแคดเมียมมี 2 แบบ คือ

ก. พิษแบบเฉียบพลัน มักพบในกรณีที่หายใจเอาละอองของแคดเมียม ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ มีไข้ หายใจลำบาก เจ็บหน้าอก เจ็บคอ ไอ ถ้ารุนแรงมากทำให้เกิดภาวะกระบวนการหายใจล้มเหลวและอาจเสียชีวิต ในกรณีได้รับแคดเมียมโดยการรับประทานจะมีอาการอาเจียน ท้องเสีย มีรายงานผู้ป่วยที่รับประทานแคดเมียมคลอไรด์ปริมาณ 150 กรัม พบว่า มีอาการใบหน้าบวม ความดันโลหิตต่ำ อาเจียน สับสน ภาวะที่มีสารรั่วจากเส้นเลือดฝอยในปอดเข้ามาในช่องว่างระหว่างเซลล์จำนวนมากผิดปกติ เกินความสามารถของระบบต่อมน้ำเหลืองจะกำจัดออก ถ้าเป็นมากสารน้ำอาจจะรั่ว เข้าไปในถุงลมในปอดได้ ภาวะปัสสาวะน้อยกว่าปกติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของเหลวที่ร่างกายได้รับและเสียชีวิต

ข. พิษแบบเรื้อรัง ความเป็นพิษต่อไต จะเริ่มพบแสดงอาการว่าไตทำงานผิดปกติ มีโปรตีนออกทางปัสสาวะมากกว่าปกติ ซึ่งจะขับโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำออกมา เช่น β_2-microglobulin, retinol binding protein และ immunoglobulin chain เป็นต้น และถ้าการทำงานของไตเสียมากขึ้นก็จะมีผลต่อการกรองและการดูดซึมกลับของสารตัวอื่น เช่น แคลเซียม กลูโคส กรดอะมิโน และสารประกอบในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าบางตัว ความเป็นพิษต่อกระดูก การเกิดโรคอิไต-อิไต ที่ประเทศญี่ปุ่น จากการบริโภคข้าวที่มีแคดเมียมปนเปื้อนในระดับสูง โดยจะมีอาการปวดที่เอว ปวดกล้ามเนื้อขา และเจ็บที่กระดูก ทำให้กระดูกโค้งงอ เสียรูปทรง และหักได้ ยังทำให้เกิดกระดูกพรุน แต่ไม่ได้เป็นผลโดยตรงจากแคดเมียม อาจเกิดจากความเป็นพิษที่ไตก่อนแล้วส่งผลไปขัดขวางการเปลี่ยน vitamin D hydroxylation เป็น 1, 25-dihydroxy vitamin D ซึ่งเป็น active form ของ active vitamin D ทำให้ระดับของวิตามินดีและแคลเซียมลดลงตามลำดับ จึงเกิดภาวะกระดูกผิดปกติ ความเป็นพิษต่อปอด ความรุนแรงขึ้นกับระยะเวลาและปริมาณที่ได้รับสู่ร่างกาย อาจทำให้เกิดหลอดลมอักเสบเรื้อรัง เกิดเนื้อเยื่อเส้นใยผิดปกติก่อให้เกิดถุงลมเสียหายและทำให้เกิดการพองลมในถุงลม (จินตนาและสมิง, 2545)

3. ค่ามาตรฐานของโลหะหนัก

ระดับมาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในดินที่ยอมรับได้ (maximum permitted concentration) คือ ค่ากำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของโลหะหนักที่อนุญาตให้มีปริมาณสูงสุดทั้งในดินและวัสดุที่ใช้เพื่อปรับปรุงดินในการเกษตรรวมทั้งปริมาณสะสมหรือตกค้างที่พบในดินหลังการใช้วัสดุดังกล่าว ซึ่งในแต่ละประเทศจะมีค่ามาตราฐานที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสังกะสีและแคดเมียมที่ยอมรับได้ในบางประเทศ

ประเทศ	ระดับความเข้มข้นสูงสุดในดินที่ยอมรับได้ในบางประเทศ(มก./กก.)	
	สังกะสี	แคดเมียม
กลุ่มสหภาพยุโรป (EU)	300	3
อังกฤษ	280	1-3
เยอรมัน	300	3
ฮอลแลนด์	200-500	1-5
ญี่ปุ่น	150	-
ไทย[1/]	-	37

ที่มา: ดัดแปลงจาก ปรีดา และคณะ (2541); ทัศนีย์ (2543) และ [1/]กรมควบคุมมลพิษ (2547)

4. การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (Hydroponics)

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน คือ ระบบการทำงานของน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช (water working) ซึ่งเป็นการปลูกพืชบนสารละลายธาตุอาหารพืชโดยรากพืชสัมผัสกับสารละลาย (ดิเรก, 2547) การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 แบบ (โสระยา, 2544; นพดล, 2550) คือ

1) การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ (Aeroponic)
2) การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate Culture)
3) การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืช (Hydroponics)

ในที่นี้จะขออธิบายเพียงการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งใช้ในการทดลอง การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืชนั้น สามารถจำแนกออกเป็น

ก. การปลูกพืชแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากเป็นแผ่นบางบนรางปลูก (Nutrient Film Technique, NFT) โดยสารละลายธาตุอาหารพืชไหลอย่างช้าๆ ตามความลาดชันของรางปลูกคล้ายเป็นแผ่นฟิล์มหนาประมาณ 1-3 มิลลิเมตร ผ่านรากพืช

ข. การปลูกพืชแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชแบบแผ่นหนาบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Flow Technique, NFLT) ระบบนี้จะคล้ายกับระบบ NFT คือให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างช้า ๆ แต่มีระดับความลึกของสารละลายจะลึกประมาณ 10 - 15 มิลลิเมตร

ค. การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในถาดปลูกในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT) วิธีนี้จะนำต้นกล้าพืชมาปลูกในแผ่นปลูกที่ลอยอยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชซึ่งสามารถให้สารละลายทั้งแบบหมุนเวียนอย่างต่อเนื่องหรือให้เป็นระยะ ๆ โดยสารละลายธาตุจะมีความลึกประมาณ 15 - 20 เซนติเมตร

ง. การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชและอากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องถาดปลูก (Dynamic Root Floating Technique, DRFT) ระบบปลูกนี้พัฒนาเพิ่มเติมจากระบบ DFT โดยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศ

ในการทำการทดลองครั้งนี้เลือกใช้การปลูกแบบสารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT) จากการศึกษาของ Tanaka *et al*. (2003) ได้ปลูกข้าวในสารละลายธาตุอาหารเพื่อวัดระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ข้าวดูดใช้จากสารละลายธาตุอาหารพืช 2 ระดับ คือ 10 และ 100 ไมโครโมลต่อลิตร เป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่า ข้าวดูดใช้แคดเมียมไว้ที่ของเหลวในท่อส่งอาหาร (phloem sap) ประมาณ 4.6 และ 17.7 ไมโครโมลต่อลิตร ตามลำดับ Zhong-qiu *et al.* (2005) รายงานว่าปลูกข้าวสาลีในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ปนเปื้อนแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร และสังกะสีตั้งแต่ 0 ถึง 2,000 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าที่อัตราสังกะสี 200 ไมโครโมลต่อลิตร ขึ้นไป ช่วยลดการดูดใช้แคดเมียมของข้าวสาลี ซึ่งสอดคล้องกับ Aravind and Prasad (2005) รายงานว่า ปลูกสาหร่าย (*Ceratopphyllum demersum L.*)ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ปนเปื้อนแคดเมียม 10 ไมโครโมลต่อลิตร และสังกะสีตั้งแต่ 0 ถึง 2,000 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าที่อัตราสังกะสี 500 ไมโครโมลต่อลิตรขึ้นไป ช่วยลดการดูดใช้แคดเมียมของสาหร่าย (*Ceratopphyllum demersum L.*)

5. ข้อมูลอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

อำเภอเขาย้อยมีสภาพภูมิศาสตร์เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำเหมาะสำหรับการทำการเกษตร ภูมิอากาศอำเภอเขาย้อยได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในฤดูฝน และอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงฤดูหนาว จึงทำให้มีอากาศหนาวเย็นในช่วงเวลาดังกล่าว แบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดูดังนี้

ฤดูร้อน	เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กลางเดือนพฤษภาคม
ฤดูฝน	เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึง กลางเดือนตุลาคม
ฤดูหนาว	เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ถึง กลางเดือนกุมภาพันธ์

ในปี 2549 มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุด คือ 35.9 องศาเซลเซียล ในวันที่ 4 พฤษภาคม และ 24 สิงหาคม 2549 และอุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด คือ 16.0 องศาเซลเซียล ในวันที่ 23 ถึง 26 ธันวาคม 2549 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้งปี 28.02 องศาเซลเซียส ปริมาณฝนตกรวมทั้งปี 944 มิลลิเมตร มีจำนวนวันฝนตกวัดได้ตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตร จำนวน 114 วัน จากสถิติปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปี 2537 ถึง 2549 เฉลี่ยวันฝนตก ประมาณปีละ 102 วัน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 10 ปี (ตั้งแต่ 2540 ถึง 2549) คือ 979.09 มิลลิเมตรต่อปี โดยฝนตกมากในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม (กรมการปกครอง, 2550)

อำเภอเขาย้อยมีพื้นที่ทั้งหมด 191,030 ไร่ โดยเป็นพื้นที่ทำนา 128,355.28 ไร่ ชาวนาที่อำเภอเขาย้อยปลูกข้าวบน ชุดดินเพชรบุรีคิดเป็นร้อยละ 35.39 ของพื้นที่ปลูกข้าวในอำเภอเขาย้อย และชุดดินสมุทรปราการคิดเป็นร้อยละ 27.89 ของพื้นที่ปลูกข้าวในอำเภอเขาย้อย ชุดดินกำแพงแสนคิดเป็นร้อยละ 1.57 ของพื้นที่ปลูกข้าวในอำเภอเขาย้อย ซึ่งมีสมบัติดินที่แตกต่างกันและมีขนาดพื้นที่ต่างกัน โดยที่ชุดดินเพชรบุรี (Petchaburi series: Pb) จัดอยู่ใน Fine-silty, mixed, active, isohyperthermic Aquic Haplustalfs เกิดจาก ตะกอนน้ำพามาทับถมอยู่บนส่วนต่ำของเนินตะกอนรูปพัด ตะพักลำน้ำค่อนข้างใหม่หรือสันดินริมน้ำ สภาพพื้นที่ ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชันร้อยละ 0 - 2 การระบายน้ำ เลว การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ช้า สภาพซึมผ่านได้ของน้ำ ช้า พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำนา สัณฐานดิน เป็นดินลึก ดินบน เป็นดินร่วนปนทราย ดินร่วนหรือดินร่วนปนทรายแป้ง สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5 - 6.5) ดินบนตอนล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง จะพบจุดประเล็กน้อยปฏิกิริยาดิน เป็นกรด

เล็กน้อย (pH 6.5) ดินล่างตอนล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลปนเหลืองจุดประสีน้ำตาลเข้ม ปฏิกิริยาดิน เป็นกรด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ชุดดินสมุทรปราการ (Samut Prakan series: Sm) จัดอยู่ใน Fine, smectitic, nonacid, isohyperthermic Fluvaquentic Endoaquepts เกิดจากตะกอนน้ำพามาทับถมอยู่บนที่ราบน้ำทะเลท่วมถึง สภาพพื้นที่ ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชันร้อยละ 0 - 1 พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนใหญ่ใช้ทำนา แต่ผลผลิตไม่ดีนักเนื่องจากเป็นดินเค็มและพื้นที่ที่มีความเค็มจัดก็ถูกปล่อยทิ้งว่างเปล่า มีแต่พืชทนเค็มขึ้นอยู่เท่านั้น บางแห่งใช้เลี้ยงปลากุ้งและทำนาเกลือ การแพร่กระจาย พบอยู่ตามบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล ถัดจากบริเวณป่าชายเลนเข้ามา สัณฐานดิน เป็นดินลึก มีการระบายน้ำเลว น้ำซึมผ่านได้ช้า การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอด ดินบนมีสีเทาเข้มหรือสีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลแก่ สีแดงปนเหลือง และสีน้ำตาลปนเขียวมะกอกตลอด ดินล่างมีสีเทาหรือสีเทาปนเขียวมะกอก จะพบดินเหนียวสีเทาปนเขียว มีจุดประสีเขียวมะกอกหรือสีเขียวปนเทาในดินล่างลึกระหว่าง 50 - 125 เซนติเมตร จากผิวดิน อาจพบชั้นดินทรายและเปลือกหอยในดินล่าง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen series: Ks) จัดอยู่ใน Fine-silty, mixed, superactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs เกิดจากตะกอนน้ำพามาทับถมอยู่บนตะพักลำน้ำค่อนข้างใหม่หรือสันดินริมน้ำ สภาพพื้นที่ ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชันร้อยละ 1 หรือน้อยกว่า พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นที่อยู่อาศัย หมู่บ้าน สวนไม้ผลหรือปลูกพืชไร่ เช่น อ้อย ข้าวโพด กล้วย ถั่ว ฝ้าย ยาสูบและผลไม้ การแพร่กระจาย พบบริเวณด้านตะวันตกของที่ราบลุ่มภาคกลางและบริเวณที่ราบลุ่มน้ำของแม่น้ำต่าง ๆ สัณฐานดิน เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนดินเหนียว ภายในระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จะพบชั้นดินร่วนปนทรายละเอียดหรือดินร่วน สีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง พบเกล็ดแร่ไมกาอยู่ตลอดหน้าตัดของดินและมีก้อนหินปูนสะสมขนาดเล็กปะปนอยู่ในดินชั้นล่าง ภายในความลึก 90 เซนติเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 พื้นที่ปลูกข้าวในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

ชื่อชุดดิน	พื้นที่ปลูกข้าว (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ใน อำเภอเขาย้อย	ร้อยละของพื้นที่ที่ใช้ปลูกข้าว ในอำเภอเขาย้อย
ชุดดินเพชรบุรี	70,032.50	38.91	35.39
ชุดดินสมุทรปราการ	55,196.80	27.89	27.89
ชุดดินกำแพงแสน	3,125.98	1.73	1.57
พื้นที่ปลูกข้าวทั้งจังหวัด	428,152.00		
พื้นที่ที่ปลูกข้าวอำเภอเขาย้อย	128,355.28		64.85

ที่มา: ดัดแปลง กรมพัฒนาที่ดิน (2544)

ตารางที่ 7 ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ใช้ปลูกข้าว อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

ชื่อชุดดิน	ความลึก (ซม.)	OM	CEC	%B.S.	avai.P	avai.K	pH
ชุดดินเพชรบุรี	0-25	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	5.5-6.5
ชุดดินสมุทรปราการ	0-25	ต่ำ	สูง	สูง	สูง	สูง	6.0-8.0
ชุดดินกำแพงแสน	0-25	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง	6.5-7.5

ที่มา: สนั่น และ วิจิตร (2524)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การสำรวจดินและเก็บตัวอย่าง

1.1 อุปกรณ์สำรวจดินมาตรฐาน
1.2 ถุงเก็บตัวอย่าง
1.3 ป้ายแสดงตัวอย่าง
1.4 กรรไกร
1.5 ปากกาที่ลบไม่ออก
1.6 อุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็น

2. อุปกรณ์การทดลองปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืช

2.1 สารละลายธาตุอาหารพืช
2.2 เมล็ดข้าวพันธุ์

2.2.1 พันธุ์กข 23
2.2.2 พันธุ์ชัยนาท 1
2.2.3 พันธุ์ปทุมธานี 1
2.2.4 พันธุ์สุพรรณบุรี 1
2.2.5 พันธุ์สุพรรณบุรี 3

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในช่วงปลูก

2.3.1 ถังน้ำ

2.3.2 ปั๊มน้ำ

2.3.3 วัสดุอุ้มน้ำ

2.3.4 แผ่นโฟม

2.3.5 ป้ายแสดงสิ่งทดลอง

2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในช่วงเก็บเกี่ยว

2.4.1 มีดสำหรับเก็บเกี่ยวต้นข้าว

2.4.2 ถุงกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่างพืช

2.4.3 ปากกาที่ลบไม่ออก

2.4.4 เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อชั่งน้ำหนักพืช

2.4.5 อุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น

3. อุปกรณ์การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

3.1 Spectrophotometer (Spectronic 21)

3.2 Atomic absorption spectrophotometer

3.3 pH meter

3.4 Electrical conductivity meter

3.5 Micro Kjeldahl distillation apparatus

3.6 Digestion apparatus

3.7 Fume hood

3.8 เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง

3.9 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

3.10 เครื่องบดตัวอย่างดิน และตะแกรงร่อนดิน ขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร

3.11 อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างดิน ตัวอย่างพืช และตัวอย่างเส้นผม

วิธีการ

1. การทดลองที่ 1 สำรวจข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าวของอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

1.1 การเก็บตัวอย่าง

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร ต้นข้าว เมล็ดข้าว ในนาข้าว จำนวน 60 แปลง โดยเก็บตัวอย่างดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าวจำนวน 10 ตัวอย่างในแต่ละแปลง และนำตัวอย่างดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าวทั้ง 10 จุด มารวมเป็น 1 ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าวของแปลงทดลอง สำหรับเก็บตัวอย่างเส้นผมของประชากรในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี ทำเก็บตัวอย่างเส้นผมจากเกษตรกรซึ่งเป็นเจ้าของแปลงทดลองซึ่งทำการสุ่มเก็บดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าว จำนวน 60 ตัวอย่าง

1.2 การศึกษาสมบัติบางประการของตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างดิน โดยนำตัวอย่างดิน มาผึ่งในที่ร่ม เลือกเศษพืชออก นำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมีและเคมีไฟฟ้า ดังนี้

1.2.1 สมบัติทางกายภาพ

วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธี Hydrometer (Day, 1965)

1.2.2 วัดค่าทางเคมีไฟฟ้า

ก. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) วัดโดยใช้ pH meter โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินและน้ำ เท่ากับ 1: 1 (Soil Conservation Service, 1982)

ข. ค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation extract) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Electricity Conductivity (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.2.3 วิเคราะห์ทางเคมี

ก. การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) โดยนำดินมาสกัดด้วย 1N แอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) ที่เป็นกลาง (pH 7.0) แล้ววัดหาปริมาณโพแทสเซียมด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (Pratt, 1965)

ข. การวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Magnesium) โดยนำดินมาสกัดด้วย 1N แอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) ที่เป็นกลาง (pH 7.0) แล้ววัดหาปริมาณแมกนีเซียมด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (Pratt, 1965)

ค. การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Calcium) โดยนำดินมาสกัดด้วย 1N แอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) ที่เป็นกลาง (pH 7.0) แล้ววัดหาปริมาณแคลเซียม ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (Pratt, 1965)

ง. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II (Bray and Kurt, 1945) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Colorimetric (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

จ. ปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุในดิน (Total C และ Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

1.3 วิเคราะห์ปริมาณสังกะสีและแคดเมียม

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Fe) และปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Mn)ในดิน โดยการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยกรดผสม HNO_3:$HClO_4$ ในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีและแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Zn) ปริมาณแคดเมียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Cd) เหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Fe) และแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Mn) ในดิน โดยการสกัดตัวอย่างดินด้วย DTPA (pH 7.3) แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี และแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Linsay and Norvell, 1978)

1.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

การเตรียมตัวอย่างพืช โดยนำตัวอย่างพืชล้างด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ บดตัวอย่างพืชให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในส่วนต้นและเมล็ด โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในดิน ทำการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยกรดผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นต่อกรดเปอร์คลอริก ในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสี และแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างเส้นผม

การเตรียมตัวอย่างเส้นผม โดยนำตัวอย่างเส้นผมล้างด้วยอะซิโตนและน้ำกรอง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเส้นผม โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในเส้นผม ด้วยการให้ความร้อนตัวอย่างเส้นผม 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียล ในกรดผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นต่อกรดไฮโดรคลอริก ในอัตราส่วน 2:1 ปริมาณ 12

มิลลิลิตร นาน 30 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีและแคดเมียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Harrison *et al*., 1969)

2. การทดลองที่ 2 ทดลองปลูกข้าว 5 พันธุ์ในสารละลายธาตุอาหารพืช

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 5×12 factorial in CRD มี 2 ซ้ำ ปัจจัยแรกประกอบด้วยข้าว 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ปัจจัยที่สองประกอบด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 12 ระดับความเข้มข้น ได้แก่

2.1.1 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 1 ไมโครโมลต่อลิตร (T1)
2.1.2 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร (T2)
2.1.3 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร (T3)
2.1.4 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร (T4)
2.1.5 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร (T5)
2.1.6 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 100 ไมโครโมลต่อลิตร (T6)
2.1.7 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 125 ไมโครโมลต่อลิตร (T7)
2.1.8 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 150 ไมโครโมลต่อลิตร (T8)
2.1.9 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 175 ไมโครโมลต่อลิตร (T9)
2.1.10 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 200 ไมโครโมลต่อลิตร (T10)
2.1.11 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 250 ไมโครโมลต่อลิตร (T11)
2.1.12 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 300 ไมโครโมลต่อลิตร (T12)

2.2 การดำเนินการทดลอง

2.2.1 นำเมล็ดพันธุ์ข้าว 5 พันธุ์แช่น้ำนาน 24 ชั่วโมงและนำเมล็ดพันธุ์ข้าว 5 พันธุ์ ย้ายเมล็ดที่แทงรากแล้วมาวางในฟองน้ำหลุมละ 2 เมล็ดเป็นเวลา 7 วัน

2.2.2 ย้ายต้นกล้าที่สมบูรณ์ แข็งแรงและมีขนาดใกล้เคียงกัน ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืช (Hoagland and Arnon, 1950) ซึ่งประกอบด้วย ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการทดลองที่ 2

สารเคมี	มิลลิโมลต่อลิตร	สารเคมี	ไมโครโมลต่อลิตร
NH_4NO_3	1.5	H_3BO_3	2
$CaCl_2$	1	$MnSO_4$	5
$MgSO_4$	1.6	$CuSO_4$	0.2
K_2SO_4	1	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.05
KH_2PO_4	0.3	FeEDTA	100
Zn ($ZnSO_4$)	1 (T1), 10 (T2), 25 (T3), 50 (T4), 75 (T5), 100 (T6)		
(ไมโครโมลต่อลิตร)	125 (T7), 150 (T8), 175 (T9), 200 (T10), 250 (T11), 300 (T12)		

2.2.3 บันทึกความสูง และลักษณะที่ปรากฏ ทุก ๆ 7 วัน โดยตัดต้นกล้าให้เหลือหลุมละ 1 ต้นในวันที่ 7 หลังจากย้ายปลูกและเก็บตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารพืชทุก ๆ 3 วัน และเปลี่ยนสารละลายทุก ๆ 3 วัน

2.2.4 เก็บเกี่ยวต้นข้าวที่ระยะ 28 วันนับจากวันที่ย้ายต้นกล้าลงในสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่ง Balasubramanian *et al*. (2003) รายงานว่าข้าวจะแสดงอาการขาดสังกะสีในช่วงอายุ 14 – 28 วันนับจากวันที่ย้ายต้นกล้า นำตอซังมาล้างด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง ชั่งและบันทึกน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งของส่วนลำต้นและใบ แล้วบดเป็นผงละเอียด สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี

2.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช โดยการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมระหว่างกรดไนทริกเข้มข้นต่อกรดเปอร์คลอริกในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของธาตุ สังกะสี ของพืชด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

2.2.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารพืช การเตรียมตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารพืช โดยนำสารละลายธาตุอาหารพืชกรองด้วยกระดาษกรอง โดยวิเคราะห์ในรูปของปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.2.7 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม IRRISTAT

3. การทดลองที่ 3 ทดลองปลูกข้าว 5 สายพันธุ์ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีการเติมแคดเมียม

3.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 5×5 factorial in CRD มี 3 ซ้ำ ปัจจัยแรกประกอบด้วยข้าว 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ปัจจัยที่สองประกอบด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช 5 ตำรับการทดลอง ได้แก่

3.1.1 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร (T1)

3.1.2 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร และแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร (T2)

3.1.3 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร และแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร (T3)

3.1.4 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร และแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร(T4)

3.1.5 สารละลายธาตุอาหารพืชมีสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร และแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร(T5)

3.2 การดำเนินการทดลอง

3.2.1 นำเมล็ดพันธุ์ข้าว 5 พันธุ์แช่น้ำนาน 24 ชั่วโมงและนำเมล็ดที่แทงรากแล้วมาวางในฟองน้ำหลุมละ 2 เมล็ดเป็นเวลา 7 วัน

3.2.2 ย้ายต้นกล้าที่สมบูรณ์ แข็งแรงและมีขนาดใกล้เคียงกัน ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืช (Hoagland and Arnon, 1950) ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการทดลองที่ 3

สารเคมี	มิลลิโมลต่อลิตร	สารเคมี	ไมโครโมลต่อลิตร
NH_4NO_3	1.5	H_3BO_3	2
$CaCl_2$	1	$MnSO_4$	5
$MgSO_4$	1.6	$CuSO_4$	0.2
K_2SO_4	1	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.05
KH_2PO_4	0.3	FeEDTA	100

Zn ($ZnSO_4$) (ไมโครโมลต่อลิตร) + Cd ($CdCl_2.2.5H_2O$) (ไมโครโมลต่อลิตร)	Zn 10 ไมโครโมลต่อลิตร (T1)
	Zn 10 ไมโครโมลต่อลิตร + Cd 20 ไมโครโมลต่อลิตร (T2)
	Zn 25 ไมโครโมลต่อลิตร + Cd 20 ไมโครโมลต่อลิตร (T3)
	Zn 50 ไมโครโมลต่อลิตร + Cd 20 ไมโครโมลต่อลิตร (T4)
	Zn 75 ไมโครโมลต่อลิตร + Cd 20 ไมโครโมลต่อลิตร (T5)

3.2.3 บันทึกความสูง และลักษณะที่ปรากฏ ทุก ๆ 7 วัน โดยตัดต้นกล้าให้เหลือหลุมละ 1 ต้นในวันที่ 7 หลังจากย้ายปลูกและเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืชทุกๆ 3 วัน

3.2.4 เก็บเกี่ยวต้นข้าวที่ระยะ 45 วันนับจากวันที่ย้ายต้นกล้าลงในสารละลายธาตุอาหารพืช เป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะแตกกอ จากรายงานของ Wang *et al*. (2003) รายงานว่าข้าวในระยะแตกกอจะมีปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในตอซังสูงที่สุด นำต้นข้าวมาล้างด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งของส่วนลำต้นและใบ แล้วบดเป็นผงละเอียด สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีและแคดเมียม

3.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช โดยการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมระหว่างกรดไนทริกเข้มข้นต่อกรดเปอร์คลอริกในอัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีและแคดเมียมของพืชด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

3.2.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารพืช การเตรียมตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารพืช โดยนำสารละลายธาตุอาหารพืชกรองด้วยกระดาษกรอง โดยวิเคราะห์ในรูปของ

ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zn) และปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในสารละลายธาตุอาหารพืช นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีและแคดเมียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

3.2.7 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม IRRISTAT

สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง

1. โรงเรือนทดลองภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

2.ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

เริ่มทำการศึกษาตั้งแต่เดือนมีนาคม 2550 ถึงเดือนมกราคม 2551

ผลและวิจารณ์

1. ผลการทดลองที่ 1 การสำรวจเก็บตัวอย่างเส้นผม ต้นข้าว ใบข้าว และเมล็ดข้าว พื้นที่ปลูกข้าว อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

1.1 ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในเส้นผมของตัวอย่างประชากร

จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในเส้นผมของตัวอย่างประชากรจำนวน 60 ตัวอย่างจากอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี โดยแบ่งช่วงอายุของประชากรออกเป็น 4 ช่วง คือ ประชากรช่วงอายุ 6 -14 ปี ช่วงอายุ 15 - 59 ปี ช่วงอายุ 60 - 74 ปี และช่วงอายุ 74 ปี ขึ้นไป พบว่าปริมาณสังกะสีในเส้นผม เท่ากับ 104.75, 60.19 - 165.38, 66.37 - 151.15 และ 74.74 - 193.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดังกล่าวต่ำกว่าค่ามาตรฐานของสังกะสีในเส้นผม คือ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในผู้บริโภคอายุต่ำกว่า 14 ปีและ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในผู้บริโภคอายุมากกว่า 15 ปีขึ้นไป (IZiNCG, 2004) ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งความต้องการสังกะสีของร่างกายมนุษย์ขึ้นอยู่กับ อายุ และเพศ โดยเพศชายมีความต้องการสังกะสีมากกว่าเพศหญิง เนื่องจากเพศชายมีกระบวนการเมตาบอลิซึมสูงกว่าเพศหญิง (World Health Organization [WHO], 1996) และความต้องการสังกะสีของมนุษย์ในช่วงอายุ 14 ปีขึ้นไป จะมีความต้องการสังกะสีสูง เนื่องจากมีกระบวนการเมตาบอลิซึม และพัฒนาการด้านต่างๆ ของร่างกายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จึงมีความต้องการสังกะสีมากกว่าวัยเด็กซึ่งมีช่วงอายุต่ำกว่า 14 ปี (Brown and Wuehler, 2000; นัยนา, 2546) สำหรับปริมาณสังกะสีในเส้นผมของตัวอย่างประชากรประเทศญี่ปุ่น อยู่ในช่วง 72 - 327 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Kamakura, 1983) และปริมาณสังกะสีในเส้นผมของตัวอย่างประชากรประเทศโปแลนด์ อยู่ในช่วง 104.3 - 298 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Chojnacka *et al.*, 2006) จากข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าปริมาณสังกะสีในเส้นผมของประชากรแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน เนื่องจากอาหารที่บริโภค และปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิต (Senofonte *et al*., 2000) สำหรับค่าเฉลี่ยปริมาณแคดเมียมในเส้นผมของประชากร โดยแบ่งช่วงอายุ 6 -14 ปี ช่วงอายุ 15 - 59 ปี ช่วงอายุ 60 - 74 ปี และช่วงอายุ 74 ปี ขึ้นไป เท่ากับ 0.15, 0.20 - 0.45, 0.15 - 0.45 และ 0.25 - 0.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าประชากรในพื้นที่ได้รับแคดเมียมในระดับที่ปลอดภัย เนื่องจากปริมาณแคดเมียมในเส้นผมมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของแคดเมียมในเส้นผมซึ่งไม่ควรเกิน 2 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัม (Environment Bureau of Investigation [EBI] ,2007) ดังแสดงในตารางที่ 10 สำหรับปริมาณแคดเมียมในเส้นผมของตัวอย่างประชากรประเทศญี่ปุ่น อยู่ในช่วง 0.05

- 0.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Kamakura, 1983) และปริมาณแคดเมียมในเส้นผมของตัวอย่างประชากรประเทศโปแลนด์ อยู่ในช่วง 0.026 - 0.548 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณแคดเมียมในเส้นผมของตัวอย่างประชากรแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากอาหารที่บริโภคและปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิต (Chojnacka *et al.*, 2006)

ตารางที่ 10 ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในเส้นผมของประชากร อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

	เพศ		สังกะสี (มก./กก.)		ค่ามาตรฐาน[1/]	แคดเมียม (มก./กก.)		ค่ามาตรฐาน[2/]
ช่วงอายุ	ชาย	หญิง	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	(มก./กก.)	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	(มก./กก.)
6 – 14	1	n.d.	104.74	104.74	150	0.15	0.15	2
15 – 59	24	16	60.19 - 165.38	97.09	200	0.20 - 0.45	0.34	2
60 – 74	7	5	66.37 - 151.15	105.76	200	0.15 - 0.45	0.33	2
74 ขึ้นไป	6	1	74.74 - 193.11	103.74	200	0.25 - 0.40	0.31	2

[1/] IZiNCG (2004)

[2/] EBI (2007)

n.d. คือ ไม่มีข้อมูล

1.2 สมบัติดินที่นำมาศึกษา

เกษตรกรในอำเภอเขาย้อยปลูกข้าวบนชุดดินเพชรบุรี สมุทรปราการ และกำแพงแสน โดยอ้างอิงจากแผนที่การใช้ที่ดินจังหวัดเพชรบุรี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2544) ซึ่งสมบัติของชุดดินเพชรบุรี สมุทรปราการ และกำแพงแสน ที่นำมาศึกษาแสดงในตารางที่ 11

ชุดดินเพชรบุรี เนื้อดินมีปริมาณทรายร้อยละ 23.96 - 66.52 ปริมาณทรายแป้งร้อยละ 6.28 - 32.28 ปริมาณดินเหนียวร้อยละ 9.20 - 51.20 ปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อยถึงกรดจัด pH 5.50 - 7.40 สภาพการนำไฟฟ้า 0.02 - 0.29 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงดินไม่เค็ม ปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 1.30 - 2.60 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 1.18 - 30.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูง โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 7.93 - 302.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก (Land

Classification Division and FAO Project staff, 1973) ปริมาณ Ca ที่สกัดได้ เท่ากับ 83.30 - 365.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Mg ที่สกัดได้ เท่ากับ 14.30 - 239.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Zn ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.44 - 1.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งจัดอยู่ในช่วงปานกลางถึงต่ำมาก ปริมาณ Cd ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.005 - 0.057 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Mn ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.36 - 2.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณ Fe ที่สกัดได้ เท่ากับ 7.90 - 302.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงถึงสูงมาก ปริมาณ Zn ทั้งหมด เท่ากับ18.20 - 56.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Cd ทั้งหมด เท่ากับ 0.17 - 2.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Mn ทั้งหมด เท่ากับ 0.02 - 0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ปริมาณ Fe ทั้งหมด เท่ากับ 1.18 - 30.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สำหรับสมบัติของชุดดินสมุทรปราการ เนื้อดินมีปริมาณทรายร้อยละ 19.96 - 58.52 ปริมาณทรายแป้งร้อยละ 8.28 - 34.28 ปริมาณดินเหนียวร้อยละ 15.20 - 57.20 ปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อยถึงกรดปานกลาง pH 5.70 - 7.50 สภาพการนำไฟฟ้า 0.02 - 0.18 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงดินไม่เค็ม ปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 0.96 - 3.16 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 1.70 - 40.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูง โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 13.80 - 368.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Ca ที่สกัดได้ เท่ากับ 157.50 - 640.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Mg ที่สกัดได้ เท่ากับ 8.00 - 230.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Zn ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.33 - 1.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมากถึงปานกลาง ปริมาณ Cd ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.007 - 0.071 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Mn ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.02 - 0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณ Fe ที่สกัดได้ เท่ากับ 1.67 - 40.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงถึงสูงมาก ปริมาณ Zn ทั้งหมด เท่ากับ 13.53 - 66.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Cd ทั้งหมด เท่ากับ 2.83 - 1.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Mn ทั้งหมด เท่ากับ 12.22 - 57.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณ Fe ทั้งหมด เท่ากับ 0.67 - 3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สมบัติของชุดดินกำแพงแสน เนื้อดินมีปริมาณทรายร้อยละ 52.88 - 56.96 ปริมาณทรายแป้งร้อยละ 24.28 - 30.14 ปริมาณดินเหนียวร้อยละ 16.98 - 21.76 ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงกรดเล็กน้อย pH 6.30 - 6.90 สภาพการนำไฟฟ้า 0.02 - 0.15 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงดินไม่เค็ม ปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 1.24 - 3.36 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 15.40 - 42.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงปานกลางถึง สูง

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 17.45 - 324.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก ปริมาณ Ca ที่สกัดได้ เท่ากับ 267.00 - 435.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Mg ที่สกัดได้ เท่ากับ 34.30 - 173.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Mn ที่สกัดได้ เท่ากับ 93.45 – 369.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงมาก ปริมาณ Fe ที่สกัดได้ เท่ากับ 205.35 - 393.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสูงถึงสูงมาก ปริมาณ Zn ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.55 - 0.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณ Cd ที่สกัดได้ เท่ากับ 0.033 - 0.063 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Zn ทั้งหมด เท่ากับ 22.87 - 66.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Cd ทั้งหมด เท่ากับ 0.63 - 2.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณ Mn ทั้งหมด เท่ากับ 372.50 - 1,462.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณ Fe ทั้งหมด เท่ากับ 12,972 - 50,515 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 11 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชุดดินเพชรบุรี สมุทรปราการ และกำแพงแสน พื้นที่อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี ที่นำมาศึกษา

	พิสัย		
	ชุดดิน		
รายการที่วิเคราะห์	เพชรบุรี	สมุทรปราการ	กำแพงแสน
sand (%)[1/]	23.96 - 66.52	19.96 - 58.52	52.88 – 56.96
silt (%)[1/]	6.28 - 32.28	34.28 - 8.28	24.28 – 30.14
clay (%)[1/]	9.20 - 51.20	57.20 - 15.20	16.98 – 21.76
pH[2/]	5.50 - 7.40	5.70 - 7.50	6.30 - 6.90
ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)[3/]	0.02 - 0.29	0.02 - 0.18	0.02 - 0.15
อินทรียวัตถุในดิน (%)[4/]	2.60 - 1.30	0.96 - 3.16	1.24 - 3.36
ปริมาณที่เป็นประโยชน์ของ P (มก./กก.)[5/]	1.18 - 30.45	1.70 - 40.20	15.40 – 42.00
ปริมาณที่สกัดได้ของ K (มก./กก.)[6/]	7.93 - 302.07	13.80 - 368.50	17.50 - 324.30
ปริมาณที่สกัดได้ของ Ca (มก./กก.)[6/]	83.30 – 365.10	157.50 - 640.30	267.00 -435.10
ปริมาณที่สกัดได้ของ Mg (มก./กก.)[6/]	14.30 – 239.20	8.00 - 230.00	34.30 - 173.80
ปริมาณที่สกัดได้ของ Zn (มก./กก.)[7/]	0.44 - 1.70	0.33 - 1.70	0.55 - 0.80
ปริมาณที่สกัดได้ของ Cd (มก./กก.)[7/]	0.005 - 0.057	0.007 - 0.071	0.015 - 0.063
ปริมาณที่สกัดได้ของ Mn (มก./กก.)[7/]	0.36 - 2.61	0.02 - 0.18	93.45 - 369.05
ปริมาณที่สกัดได้ของ Fe (มก./กก.)[7/]	7.90 - 302.10	1.67 - 40.19	205.35 - 393.75

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รายการที่วิเคราะห์	พิสัย		
	ชุดดิน		
	เพชรบุรี	สมุทรปราการ	กำแพงแสน
ปริมาณทั้งหมดของ Zn (มก./กก.) [8/]	18.20 - 56.10	13.50 - 66.66	22.90 – 66.00
ปริมาณทั้งหมดของ Cd (มก./กก.) [8/]	0.17 - 2.60	1.20 - 2.80	0.63 - 2.63
ปริมาณทั้งหมดของ Mn (มก./กก.) [8/]	0.02 - 0.29	12.22 - 57.20	372.50 - 1462.50
ปริมาณทั้งหมดของ Fe (มก./กก.) [8/]	1.18 - 30.45	0.67 - 3.16	12,972 – 50,515

[1/] วิเคราะห์โดยใช้วิธี Hydrometer (Day, 1965)

[2/] วิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (Soil Conservation Service, 1982)

[3/] วิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

[4/] วิเคราะห์โดยใช้วิธี Walkey and Black method (Walkey and Black, 1934)

[5/] วิเคราะห์โดยใช้วิธี Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

[6/] วิเคราะห์โดยการสกัดด้วยน้ำยา NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965)

[7/] วิเคราะห์โดยการสกัดด้วยน้ำยา 0.005 M DTPA pH 7.3 (Linsay and Norvell, 1978)

[8/] วิเคราะห์โดยการย่อยด้วยกรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริก อัตราส่วน 5:2 (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.3 ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในข้าว

1.3.1 ปริมาณสังกะสี

จากการสำรวจพื้นที่ปลูกข้าวในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรีพบว่าเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาปลูกข้าว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1 ดังแสดงในตารางที่ 12 ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์สุพรรณบุรี 1 อยู่ในช่วง 10.75 - 26.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในใบข้าว อยู่ในช่วง 12.74 -38.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในตอซังข้าว อยู่ในช่วง 12.06 - 57.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท 1 อยู่ในช่วง 12.13 - 31.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในใบข้าว อยู่ในช่วง 12.26 - 54.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในตอซัง

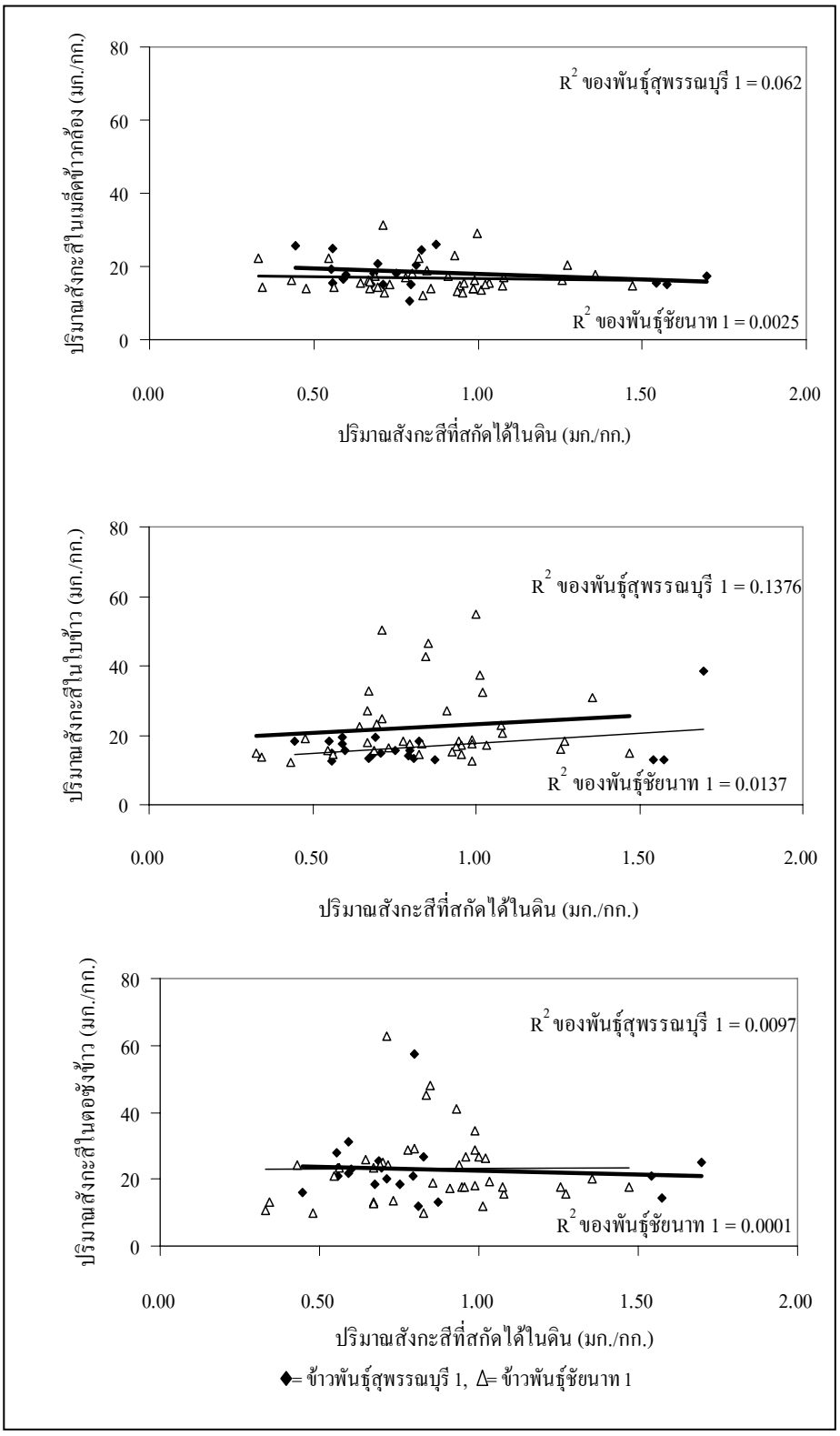
อยู่ในช่วง 9.65 - 62.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวอยู่ในระดับใกล้เคียงกับประเทศอื่น ๆ เช่น ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวจากสหรัฐอเมริกาอยู่ในช่วง 13 - 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Marr *et al*., 1983) ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวจากญี่ปุ่นอยู่ในช่วง 19 - 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Kabata-Pendias and Pendias, 2001) และสังกะสีที่ประชากรได้รับจากการบริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ โดยพิจารณาจากข้อมูลของคณะทำงานจัดทำข้อปฏิบัติการกินอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย (2543) รายงานว่า คนไทยบริโภคข้าว 600 กรัมต่อวัน ซึ่งมาจากข้าวสาร 200 กรัม (อบเชยและขนิษฐา, 2550) จึงทำการประเมินปริมาณสังกะสีที่ผู้บริโภคจะได้รับจาก

ตารางที่ 12 ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และต้นข้าวที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

ส่วนของพืช	สังกะสี					
	ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1			ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1		
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	.....มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม.....					
เมล็ดข้าวกล้อง	10.75 - 26.06	18.42	4.11	12.13 - 31.47	16.83	4.15
ใบ	12.74 - 38.46	16.69	5.62	12.26 - 54.92	22.50	10.65
ตอซัง	12.06 - 57.39	23.03	9.46	9.65 - 62.72	23.26	10.76

การบริโภคข้าวกล้อง 200 กรัมต่อวัน ดังนั้นเมื่อผู้บริโภครับประทานข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปลูกในพื้นที่อำเภอเขาย้อย ส่งผลให้ผู้บริโภคได้รับสังกะสีประมาณ 2.14 - 5.20 และ 2.42 - 6.28 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ จากรายงานของ อรอนงค์ (2550) พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณสังกะสีมากกว่าข้าวขาวถึงร้อยละ 27 ดังนั้นถ้านำเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1 ไปขัดขาวจะทำให้มีปริมาณสังกะสีคงเหลือในเมล็ดข้าวขาวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 อยู่ในช่วง 1.56 - 3.80 มิลลิกรัมต่อวัน และปริมาณสังกะสีคงเหลือในเมล็ดข้าวขาวพันธุ์ชัยนาท 1 อยู่ในช่วง 1.76 – 4.58 มิลลิกรัมต่อวัน จากรายงานของหัทยา (2546) พบว่าโดยเฉลี่ยผู้บริโภคต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี่ ซึ่งจะได้รับจากคาร์โบไฮเดรตจากการบริโภคข้าวคิดเป็นร้อยละ 60 ของพลังงานทั้งหมดที่ต้องการในแต่ละวัน ผู้บริโภคซึ่งบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักจะรับประทานข้าวคิดเป็นร้อยละ 68.97 ของอาหารที่บริโภคในแต่ละวัน ดังนั้นการบริโภคข้าวที่ผลิตในแปลงที่

ทำการศึกษาทั้ง 2 พันธุ์ จะทำให้ผู้บริโภคในพื้นที่ได้รับสังกะสีในระดับที่ต่ำ ประกอบกับการบริโภคอาหารที่ไม่ถูกต้องตามหลักโภชนาการ จะส่งผลให้ปริมาณสังกะสีที่ร่างกายได้รับต่ำกว่าเกณฑ์ที่เอมอรและรัชนี (2546) รายงานว่าคนไทยเพศชายและเพศหญิงต้องการสังกะสีต่อวัน คือ 13 และ 7 มิลลิกรัมต่อวันตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสังกะสีที่สกัดได้ในดินกับปริมาณของสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และตอซังของข้าวไม่พบความสัมพันธ์ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินกับปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และตอซังข้าว พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1

และพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีความสามารถเคลื่อนย้ายสังกะสีจากดินสู่เมล็ดได้มากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ดังภาพที่ 1 ซึ่งจากรายงานของ Kabata-Pendias and Pendias (2001) พบว่า สังกะสีเคลื่อนย้ายจากรากสู่ส่วนเหนือดินโดยการสร้างพันธะกับสารประกอบอินทรีย์ในท่อลำเลียงน้ำและจะสะสมในคลอโรพลาสต์ แวคิวโอล และผนังเซลล์ ส่งผลให้สังกะสีมีการสะสมในส่วนของลำต้นและใบข้าวมากกว่าที่จะสะสมในเมล็ดข้าว และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของธาตุอาหารพืชในดินพบว่าเหล็กทั้งหมด แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และแคดเมียมทั้งหมดในดินมีผลยับยั้งต่อการเคลื่อนย้ายสังกะสีในต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ดังตารางผนวกที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Havlin *et al.* (2005) พบว่าเหล็กยับยั้งการเคลื่อนย้ายสังกะสีในพืชเช่นกัน Hart *et al.* (1998) รายงานว่าแคลเซียมยับยั้งการเคลื่อนย้ายสังกะสีในข้าวสาลี สำหรับในใบข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่าอนุภาคทรายแป้งยับยั้งการเคลื่อนย้ายสังกะสีในใบข้าว และแคดเมียมที่สกัดได้ในดินส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสังกะสีในใบข้าว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kabata-Pendias and Pendias (2001) พบว่าแคดเมียมมีความสามารถทั้งส่งเสริมและยับยั้งเคลื่อนย้ายสังกะสีในพืช และสำหรับในเมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่าแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสังกะสีสู่เมล็ดข้าว และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของธาตุอาหารพืชของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พบว่าสังกะสีในเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์กับสังกะสีในตอซังข้าว ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว ดังตารางผนวกที่ 2 ซึ่งข้าวแต่ละพันธุ์มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายและสะสมสังกะสีจากต้นสู่เมล็ดข้าวแตกต่างกัน (Fageria, 2001)

1.3.2 ปริมาณแคดเมียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้องจากพื้นที่ศึกษา พบว่า ข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1 มีความปลอดภัยต่อการบริโภค เนื่องจากปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้องต่ำกว่าค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดโดย CODEX (2006) คือไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปริมาณแคดเมียมที่ผู้บริโภคได้รับจากการบริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ โดยคำนวณจากการบริโภคข้าว 600 กรัมต่อวันได้จากการหุงข้าวกล้อง 200 กรัม ซึ่งการบริโภคข้าวกล้องพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1 ผู้บริโภคจะได้รับแคดเมียม 0.008 - 0.026 มิลลิกรัมต่อวัน และ 0.008 - 0.034 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมที่ผู้บริโภคจะได้รับต่อวัน พบว่าผู้บริโภคมีความปลอดภัยจากการบริโภคข้าวในพื้นที่เนื่องจากปริมาณแคดเมียมโดยเฉลี่ยจากการบริโภคข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์ คือ 0.018 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณแคดเมียมในระดับที่ต่ำกว่าปริมาณแคดเมียมโดยเฉลี่ยที่ผู้บริโภคจะได้รับจากการบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน คือ 0.025 - 0.035 มิลลิกรัมต่อวัน (ศุภมาศ,

2540) และ WHO (1972) รายงานว่า มนุษย์มีความสามารถรับแคดเมียมเข้าไปในร่างกายโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของเพศหญิงและเพศชาย คือ 0.06 และ 0.07 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ และจากรายงานของ Chaney *et al.* (1996) รายงานว่าผู้บริโภคอาหารที่ประกอบด้วยสังกะสีและแคดเมียมในอัตราส่วน Zn:Cd เท่ากับ 10:1 จะปลอดภัยจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความเป็นพิษของแคดเมียม จากตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องที่วิเคราะห์ พบว่า ตัวอย่างเมล็ดข้าวทุกตัวอย่างของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีอัตราส่วนของ Zn:Cd มากกว่า 10:1 โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอัตราส่วน Zn:Cd อยู่ในช่วง 436 - 122:1 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีอัตราส่วน Zn:Cd อยู่ในช่วง 695 - 73:1 ปริมาณของแคดเมียมดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค และร่างกายมนุษย์มีกระบวนการกำจัดแคดเมียมออกจากร่างกายได้ ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 อัตราส่วนระหว่างสังกะสีต่อแคดเมียม (Zn:Cd) ในเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์ที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

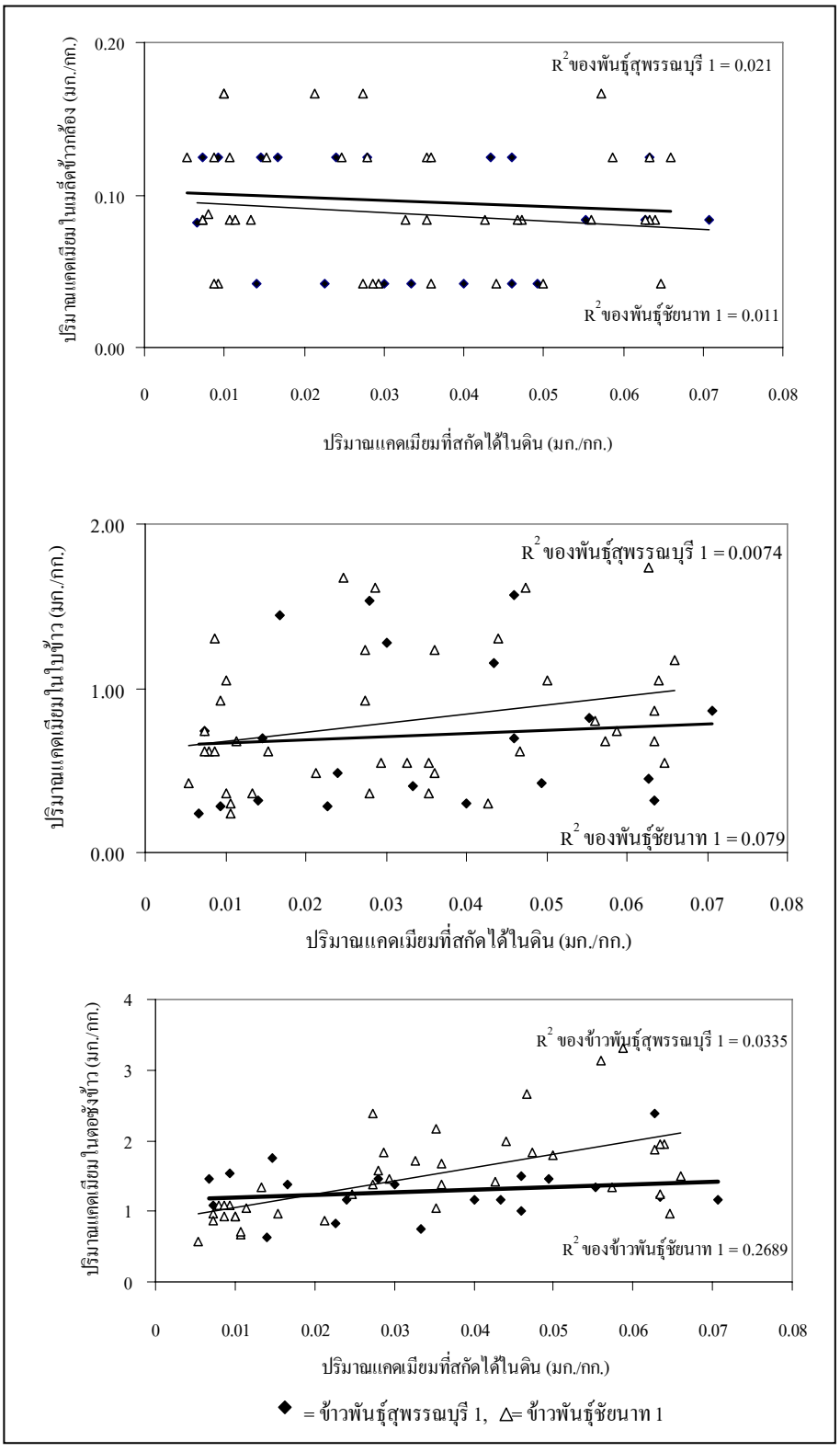
พันธุ์ข้าว	จำนวนตัวอย่าง	อัตราส่วน Zn:Cd	Zn:Cd	
			พิสัย	ค่าเฉลี่ย
สุพรรณบุรี 1	20	> 10:1	436 - 122	250
ชัยนาท 1	40	> 10:1	695 - 73	220

โดยปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์สุพรรณบุรี 1 อยู่ในช่วง 0.04 - 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในใบข้าว อยู่ในช่วง 0.24 - 1.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในตอซังข้าว อยู่ในช่วง 0.63 - 2.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ชัยนาท 1 อยู่ในช่วง 0.04 - 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใบข้าว อยู่ในช่วง 0.24 - 1.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในตอซังข้าว อยู่ในช่วง 0.56 - 3.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และตอซังข้าวที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

ส่วนของพืช	แคดเมียม					
	ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1			ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1		
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	.....มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม.....					
เมล็ดข้าวกล้อง	0.04 - 0.13	0.09	0.04	0.04 - 0.17	0.09	0.04
ใบ	0.24 - 1.57	0.71	0.45	0.24 - 1.74	0.80	0.41
ตอซัง	0.63 - 2.38	1.40	0.46	0.56 - 3.31	1.53	0.65

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแคดเมียมที่สกัดได้ในดินกับปริมาณของแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และตอซังของข้าวไม่พบความสัมพันธ์ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินกับปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ และตอซังข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1

และจากงานวิจัยของ Tanaka *et al.* (2007) พบว่าแคดเมียมเคลื่อนย้ายในตอซังและใบข้าวโดยผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ จากนั้นแคดเมียมจะเคลื่อนผ่านทางท่อลำเลียงอาหาร และเมล็ดข้าวซึ่งเป็นที่สะสมคาร์โบไฮเดรตจะได้สารอาหารรวมถึงแคดเมียมจากท่อลำเลียงอาหาร ซึ่งการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในท่อลำเลียงอาหารน้อยกว่าท่อลำเลียงน้ำส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องมีการสะสมแคดเมียมน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตอซังและใบ และปริมาณแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของพืชมีแนวโน้มเรียงจากมากไปหาน้อยมีดังนี้ ตอซัง > ใบ > เมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Zhou *et al.* (1994) พบว่าปริมาณแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของพืชมีแนวโน้มเรียงจากมากไปหาน้อยมีดังนี้ ราก > ตอซัง > เมล็ด และพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีความสามารถเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากดินสู่เมล็ดได้มากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ดังภาพที่ 2 ซึ่งพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์มีความสามารถในการดูดใช้และสะสมแคดเมียมจากต้นสู่เมล็ดข้าวแตกต่างกัน (Zeng *et al.*, 2007)

2. การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 กข 23 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูก ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี 12 ระดับความเข้มข้น

2.1 การเจริญเติบโตของข้าวที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูก

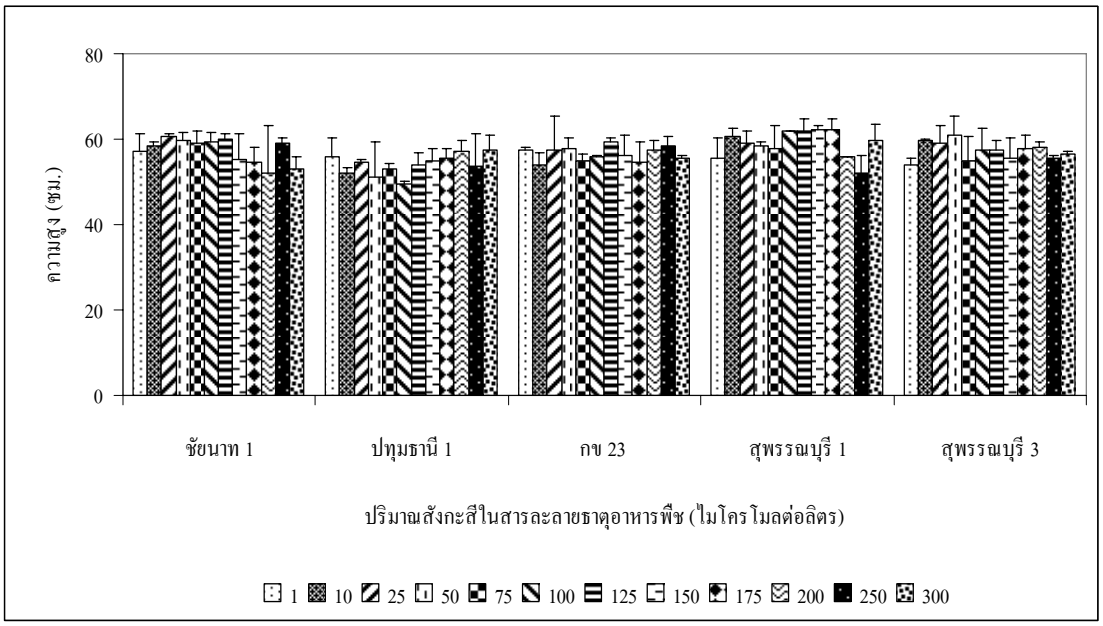
2.1.1 ความสูง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของความสูงของข้าว พบว่าพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ แต่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชและปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช ไม่มีอิทธิพลต่อความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์

ความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีความสูงเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 3 พันธุ์ กข 23 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ตามลำดับ โดยมีความสูงเฉลี่ย 58.96, 57.33, 57.25, 56.6 และ 54.04 เซนติเมตร ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชกับความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ดังภาพที่ 3 และตารางผนวกที่ 3 พบว่าที่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุ

อาหารพืช 125 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลต่อความสูงโดยพบว่าข้าวมีความสูงเฉลี่ยสูงสุด 58.60 เซนติเมตร และที่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 250 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลต่อความสูงโดยพบว่าข้าวมีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด 55.70 เซนติเมตร ความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์มีแนวโน้มของความสูงของข้าวคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับ Yakan *et al*. (2001) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตรา 0, 15, 30 และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์กับความสูงของข้าว พบว่าความสูงของข้าวมีแนวโน้มของความสูงคงที่

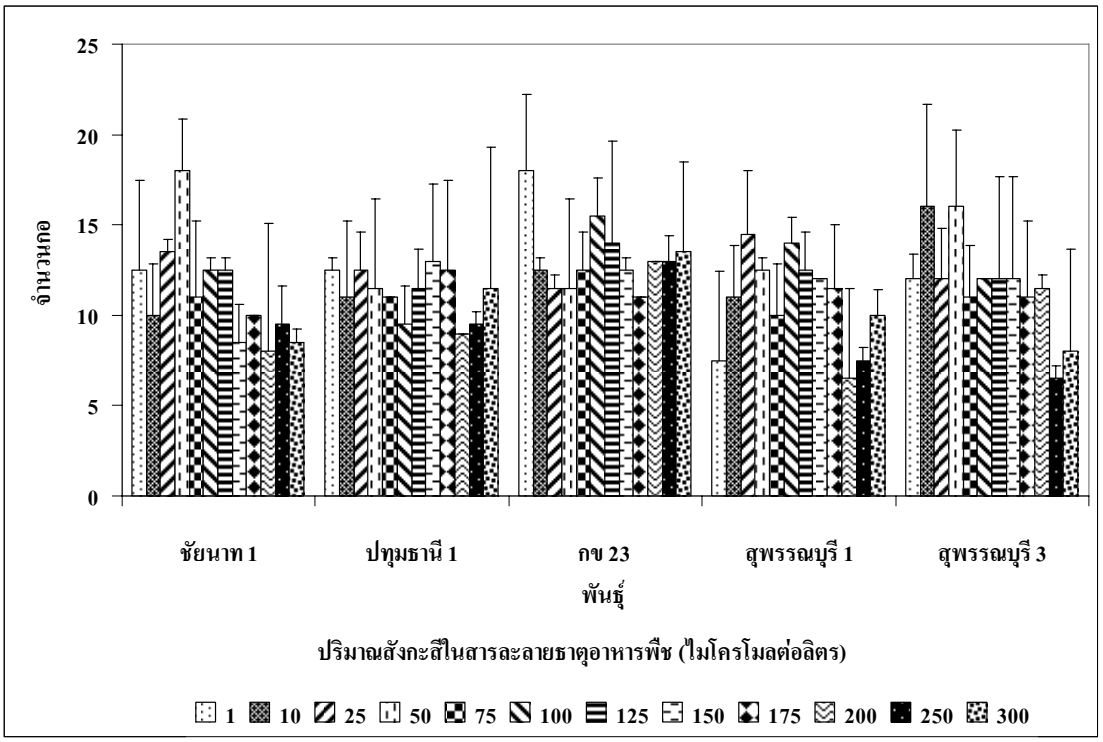


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น

2.1.2 การแตกกอของข้าว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของการแตกกอของข้าว พบว่าพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อการแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ส่วนปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช ไม่มีอิทธิพลต่อการแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์

ความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับการแตกกอของต้นข้าวทั้ง 5 พันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์ กข 23 มีการแตกกอของต้นข้าวเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 3 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ตามลำดับ โดยการแตกกอของต้นข้าวเฉลี่ย 13.2, 11.7, 11.3, 11.2 และ10.8 กอ ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช กับการแตกกอของต้นข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ดังภาพที่ 4 และตารางผนวกที่ 4 พบว่าที่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 50 ไมโครโมลต่อลิตร ให้การแตกกอเฉลี่ยสูงสุด 13.9 กอ ที่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 250 ไมโครโมลต่อลิตร ให้การแตกกอของต้นข้าวเฉลี่ยต่ำสุด 9.2 กอ และการแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 1 - 100 ไมโครโมลต่อลิตร และมีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 125 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร ทั้งนี้เป็นผลมาจากสังกะสีซึ่งเป็นจุลธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ทริพโตเฟน (tryptophane) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ indoleacetic acid (IAA) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการขยายตัวของเซลล์และกระตุ้นการแบ่งเซลล์ จึงมีผลทำให้การแตกกอของข้าวมีเพิ่มมากขึ้น (Halvin *et al*., 2005) และKabata-Pendias and Pendias (2001) พบว่าข้าวที่ได้รับสังกะสีมากเกินไป จะเกิดภาวะขาดเหล็กในต้นข้าว เนื่องจากปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวยับยั้งการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็ก ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งจะส่งผลให้การผลิตคาร์โบไฮเดรตซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์แสงลดลง (มุกดา, 2544; Rout and Das, 2003)



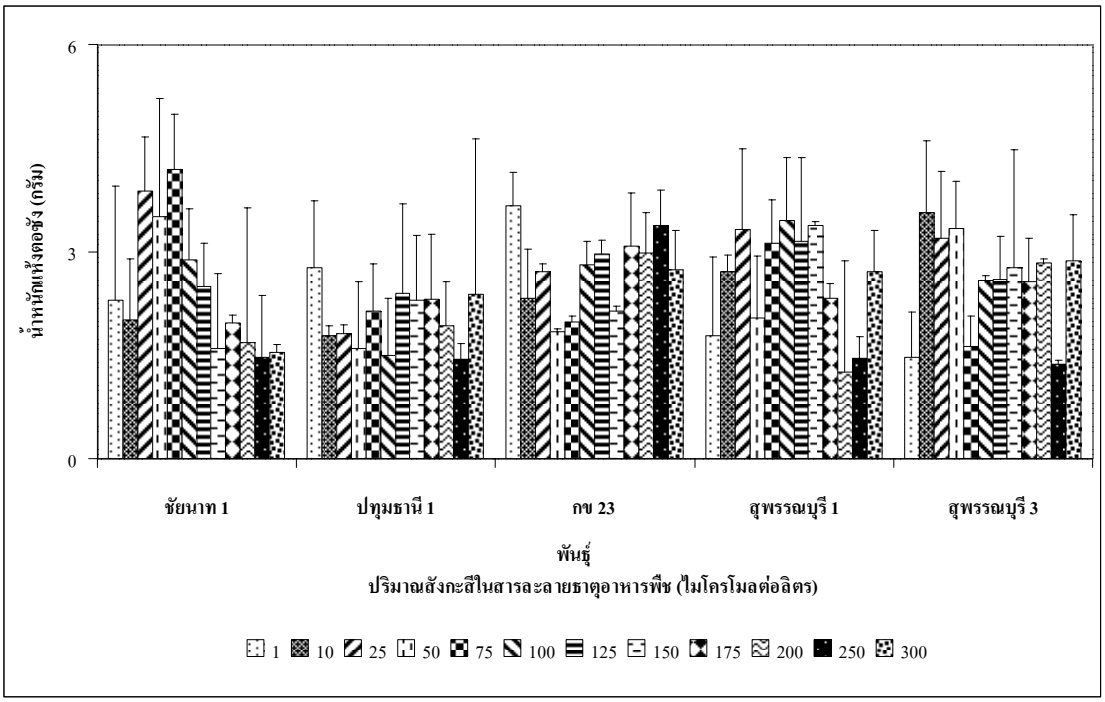
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการแตกกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น

2.1.3 น้ำหนักแห้งตอซัง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักแห้งของต้นข้าว พบว่าพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ส่วนปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช ไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์

ความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับน้ำหนักแห้งของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์ กข 23 มีน้ำหนักแห้งของต้นข้าวเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากัน พันธุ์ชัยนาท 1 และ พันธุ์ปทุมธานี 1 ตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวเฉลี่ย 2.72, 2.56, 2.46 และ 2.03 กรัม ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชกับน้ำหนักแห้งของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ดังภาพที่ 5 และตารางผนวกที่ 5 พบว่าปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 25 ไมโครโมลต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งของต้นข้าวเฉลี่ยสูงสุด 2.98 กรัม และที่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 250 ไมโครโมลต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งของต้นข้าวเฉลี่ยต่ำสุด 1.82 กรัม และพบว่าน้ำหนักแห้งต่อซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 1 - 100 ไมโครโมลต่อลิตร และลดลงเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช ตั้งแต่ 125 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของตอซังข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น

ซึ่งเมื่อข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 1 - 100 ไมโครโมลต่อลิตร มีแนวโน้มน้ำหนักแห้งตอซังข้าวเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hajiboland and Salehi (2006) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีให้กับข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่ขาดแคลนสังกะสีสามารถช่วยให้มีน้ำหนักตอซังของข้าวเพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากสังกะสีเป็นธาตุที่มีความจำเป็นในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายในกระบวนการสังเคราะห์แสง (ศรีสม, 2546) จึงทำให้ข้าวสามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มี

การสร้างสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตได้เพียงพอกับความต้องการของข้าว และในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 125 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร มีแนวโน้มน้ำหนักแห้งตอซังข้าวลดลง อาจจะเกิดจากมีปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวมากเกินไปจึงไปยับยั้งการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็ก จึงส่งผลให้ตอซังข้าวขาดธาตุเหล็กที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและจะส่งผลให้การผลิตคาร์โบไฮเดรตซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์แสงลดลง (มุกดา, 2544 ; Rout and Das, 2003)

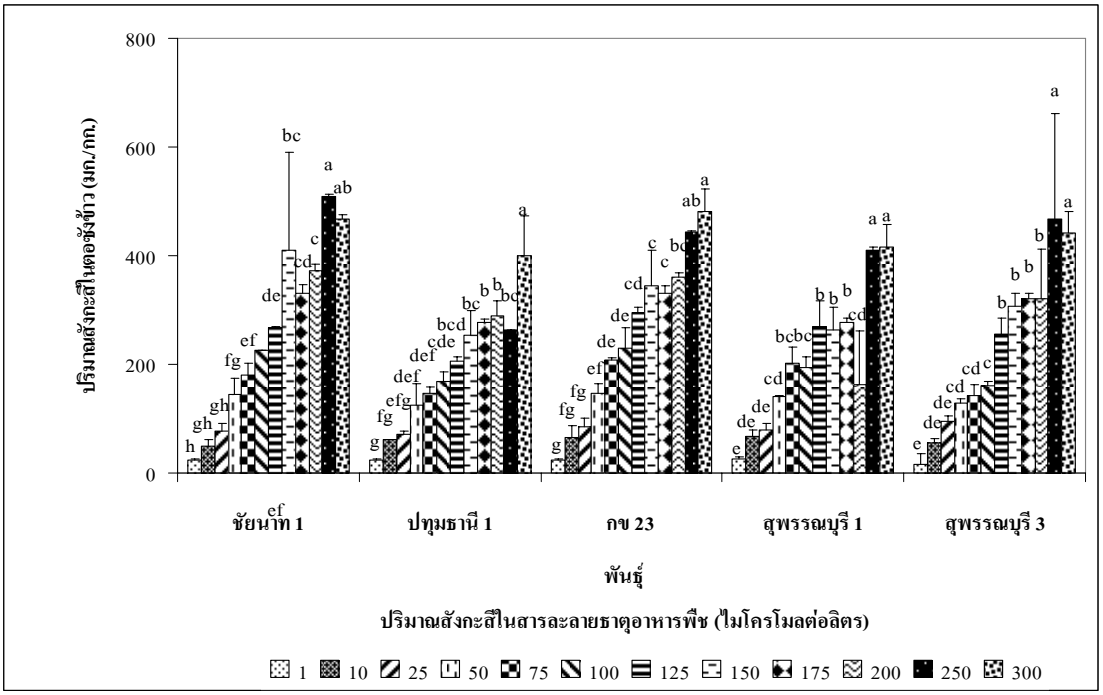
2.2 ปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว พบว่าพันธุ์ข้าวและปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชมีอิทธิพลต่อปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวทั้ง 5 พันธุ์ แต่ปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชกับพันธุ์ข้าวไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวทั้ง 5 พันธุ์

ความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ โดยข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 มีปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 3 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ตามลำดับ โดยปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวเฉลี่ย 254.84, 251.36, 225.89, 208.85 และ 190.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชกับปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ดังภาพที่ 6 และตารางผนวกที่ 6 พบว่าปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 300 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวเฉลี่ยสูงสุด 440.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 1 ไมโครโมลต่อลิตร นั้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี1 กข 23และสุพรรณบุรี 3 มีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในตอซัง เท่ากับ 24.38, 23.75, 24.38 และ15.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้อยกว่าค่ามาตรฐานของปริมาณสังกะสีในต้นข้าว ซึ่งควรจะมีมากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Dobermann and Fairhust, 2000) และปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Yakan *et al*. (2001) พบว่า ข้าวที่ได้รับปุ๋ยสังกะสีในรูป $ZnSO_4.7H_2O$ ในอัตรา 15, 30 และ 45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ตอซังข้าวที่อยู่ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต มีปริมาณสังกะสีเพิ่มสูงขึ้นจาก 14.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 17.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Yang *et al*. (1994) พบว่าเมื่อเพิ่มความ

เข้นข้นของสังกะสีรูป HEDTA ในสารละลายธาตุอาหารพืช ในอัตรา 0.05, 0.4, 1.2, 2.0, 5.0, 20.0 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้ปริมาณของสังกะสีในตอซังข้าวที่อายุ 28 วันหลังการย้ายปลูกเพิ่มสูงขึ้นจาก 16.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 22.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น

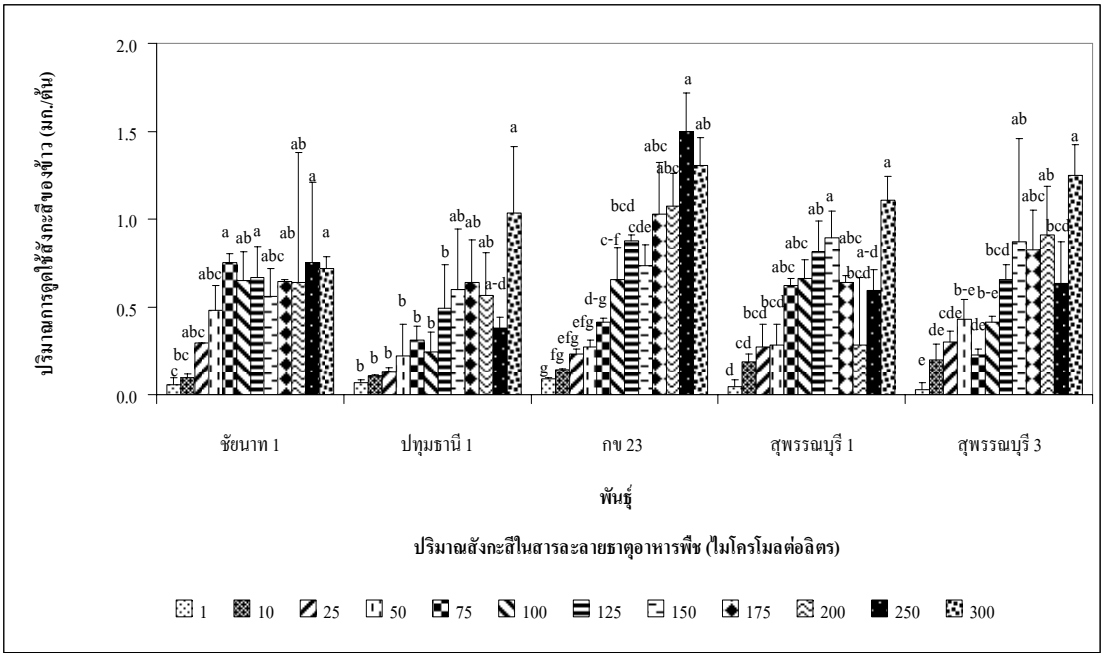
2.3 ปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้ พบว่าพันธุ์ข้าว และปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช มีอิทธิพลต่อปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวทั้ง 5 พันธุ์ดูดใช้ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวทั้ง 5 พันธุ์ดูดใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้ของต้นข้าวทั้ง 5 พันธุ์ พบว่า ข้าวพันธุ์ กข 23 มีปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้เฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 3

พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ตามลำดับ โดยปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้เฉลี่ย 0.69, 0.56, 0.53, 0.53 และ 0.40 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ

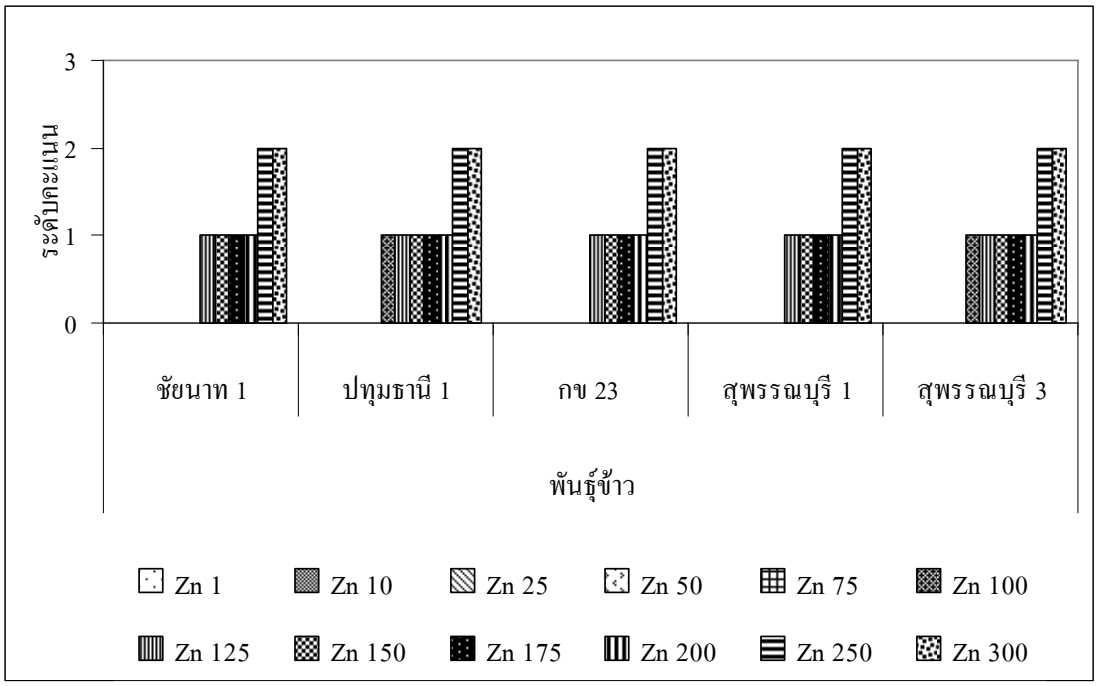
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชกับปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้ของต้นข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 7 และตารางผนวกที่ 7 พบว่าที่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 300 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้เฉลี่ยสูงสุด 1.08 มิลลิกรัมต่อต้น และที่ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 1 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวดูดใช้เฉลี่ยต่ำสุด 0.06 มิลลิกรัมต่อต้น และพบว่าแนวโน้มปริมาณการดูดใช้สังกะสีในต้นข้าวของข้าวทั้ง 5 พันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Slaton *et al.* (2005a) พบว่าการให้ปุ๋ยสังกะสีในอัตรา 0, 2.3, 4.5, 9.0, 13.5 และ 18.0 กิโลกรัมสังกะสีต่อเฮกตาร์ ส่งผลทำให้ข้าวมีการดูดใช้สังกะสีเพิ่มมากขึ้นจาก 5.0 เป็น 16.5 กรัมสังกะสีต่อเฮกตาร์และรายงานของ มนัสนันท์ (2551) รายงานว่าการใส่สังกะสีในรูป $ZnSO_4$ อัตรา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม มีผลทำให้ข้าวโพดมีปริมาณการดูดใช้สังกะสีเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.39 เป็น 3.02 มิลลิกรัมต่อกระถาง



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีที่ต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ดูดใช้กับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น

2.4 อาการผิดปกติของต้นข้าว

โดยใช้เกณฑ์วัดของ Gadallah and El-Enany (1999) รายงานว่า อาการผิดปกติที่เกิดจากสังกะสีเป็นพิษจะพบอาการใบซีดได้ กล่าวคือให้ ระดับคะแนน 0 ถ้าไม่พบอาการผิดปกติ ระดับคะแนน 1 เมื่อเริ่มพบจุดสีเหลืองบนเนื้อใบ ระดับคะแนน 2 เมื่อ พบจุดสีเหลืองบนเนื้อใบและเนื้อใบมีสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่า ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ กข 23 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เริ่มพบระดับคะแนน 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 125 ไมโครโมลต่อลิตร ส่วนข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เริ่มพบระดับคะแนน 1 คือ เริ่มพบจุดสีเหลืองบนเนื้อใบ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 100 ไมโครโมลต่อลิตร และข้าวทั้ง 5 พันธุ์ พบระดับคะแนน 2 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 250 ไมโครโมลต่อลิตรขึ้นไป



ภาพที่ 8 ระดับคะแนนอาการผิดปกติของต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับ ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 12 ระดับความเข้มข้น

ซึ่งจากรายงานของ มุกดา (2544) พบว่าอาการของพืชที่ได้รับสังกะสีในปริมาณมากเกินไปสามารถสังเกตได้จากการผิดปกติ คือใบมีสีเหลืองซีด หรือเกิดจุดสีน้ำตาลบนใบ ซึ่งเป็นอาการขาดธาตุเหล็กในภาวะที่มีสังกะสีมากเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rout and Das (2003) รายงานว่าจะพบอาการสังกะสีเป็นพิษในข้าวโดยใบอ่อนม้วนตัว ใบมีสีเหลืองซีด ใบแห้ง

2.5 สำหรับระดับสังกะสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี

สำหรับระดับสังกะสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 คือ ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้ง ปริมาณสังกะสีในตอซังและปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซังสูงที่สุดและไม่พบอาการผิดปกติบนใบข้าว สำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 คือ ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งตอซัง ปริมาณสังกะสีในตอซังและปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซังข้าว

สูงที่สุดและไม่พบอาการผิดปกติบนใบข้าว สำหรับข้าวพันธุ์ กข 23 คือ ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 100 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งตอซัง จำนวนกอ ปริมาณสังกะสีในตอซังและปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซังข้าวสูงที่สุดและไม่พบอาการผิดปกติบนใบข้าว นอกจากนี้ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 1 ไมโครโมลต่อลิตร ข้าวพันธุ์ กข 23 มีปริมาณสังกะสีในตอซัง คือ 24.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งน้อยกว่าค่ามาตราฐานซึ่งควรจะมีมากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Dobermann and Fairhust, 2000) สำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 คือ ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 100 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งตอซัง จำนวนกอ ปริมาณสังกะสีในตอซังและปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซังสูงที่สุดและไม่พบอาการผิดปกติบนใบข้าว และสำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 คือ ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักแห้ง จำนวนกอ และปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซังสูงที่สุดและไม่พบอาการผิดปกติบนใบข้าว ซึ่งจำนวนกอและน้ำหนักแห้งของข้างทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับสังกะสีเพิ่มสูงขึ้น อาจจะเกิดจากจะเกิดภาวะขาดเหล็กในต้นข้าว เนื่องจากปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวยับยั้งการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็ก ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งจะส่งผลให้การผลิตคาร์โบไฮเดรตซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์แสงลดลง (มุกดา, 2544; Rout and Das, 2003) ดังภาพที่ 4 - 7 และตารางผนวกที่ 4 - 7

3. การทดลองที่ 3 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีและแคดเมียม

3.1 การเจริญเติบโตของข้าวที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

3.1.1 ความสูงของข้าว

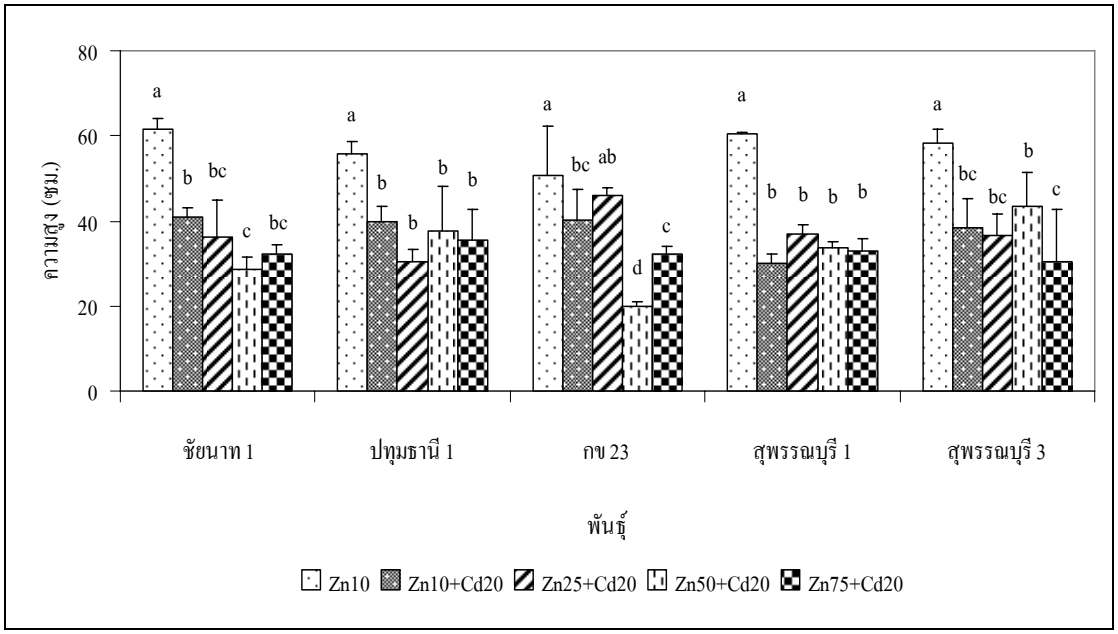
จากการวิเคราะห์สถิติความสูงของข้าว 5 พันธุ์ ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก พบว่า ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชมีอิทธิพลต่อความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับพันธุ์ข้าวไม่มีอิทธิพลต่อความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ โดยมีแนวโน้มความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ลดลง เมื่อได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 9 และตารางผนวกที่ 8

สำหรับความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 45 วันหลังการย้ายปลูกในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียว พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 3 พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ กข 23 ตามลำดับ โดยมีความสูง 61.67, 60.33, 58.33, 55.67 และ 50.67 เซนติเมตร

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียว กับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร และได้รับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ เมื่อได้รับแคดเมียมจะมีผลทำให้ความสูงลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยความสูงของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร คือ 61.67, 55.67, 50.67, 60.33 และ 58.33 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความสูงของข้าวในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร คือ 41.00, 40.00, 40.33, 30.00 และ 38.33 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสูง ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีแนวโน้มความสูงลดลง ซึ่งในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติและในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีความสูงน้อยที่สุด ความสูงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีแนวโน้มความสูงของข้าวลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติและในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร มีความสูงต่ำที่สุด เท่ากับ 30.33 เซนติเมตร ความสูงของข้าวพันธุ์กข 23 ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 10 กับ 25 ไมโครโมลต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร ความสูงของข้าวลดลง และในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร ความสูงของข้าวมีแนวโน้มความสูงของข้าวลดลง ซึ่งในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีความสูงต่ำที่สุด แต่ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร มีความสูงเพิ่มขึ้น ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีความสูงในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร เท่ากับ 30.00, 37.00, 33.67 และ 32.83 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของข้าวในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และสำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี

3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร โดยมีความสูงเท่ากับ 38.33, 36.67, 43.33 และ 30.33 เซนติเมตร ตามลำดับ และความสูงในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 กับ 25 ไมโครโมลต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร ความสูงของข้าวเพิ่มขึ้นและในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร ความสูงของข้าวลดลง



ภาพที่ 9 ความสูง (ซม.) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

Alloway (1995) และ Das *et al*. (1997) รายงานว่าแคดเมียมมีผลทำให้พืชแคระแกร็น สอดคล้องกับรายงานของสรัตนา (2548) พบว่าความสูงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินที่มีไม่การปนเปื้อนแคดเมียมเปรียบเทียบกับดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมีความสูงลดลงจาก 109.3 เป็น 57.3 เซนติเมตร ซึ่งเกิดจากการแข่งขันกันระหว่างแคดเมียมกับสังกะสี เนื่องจากแคดเมียมซึ่งมีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับสังกะสี แคดเมียมเข้าจับกับเอมไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ทริพโทเฟนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมนออกซิน (Liu *et al.*, 2003) ซึ่งฮอร์โมนออกซินมีหน้าที่ในการควบคุมการขยายตัวของเซลล์และกระตุ้นการแบ่งเซลล์ (ศรีสม, 2546)

3.1.2 การแตกกอของข้าว

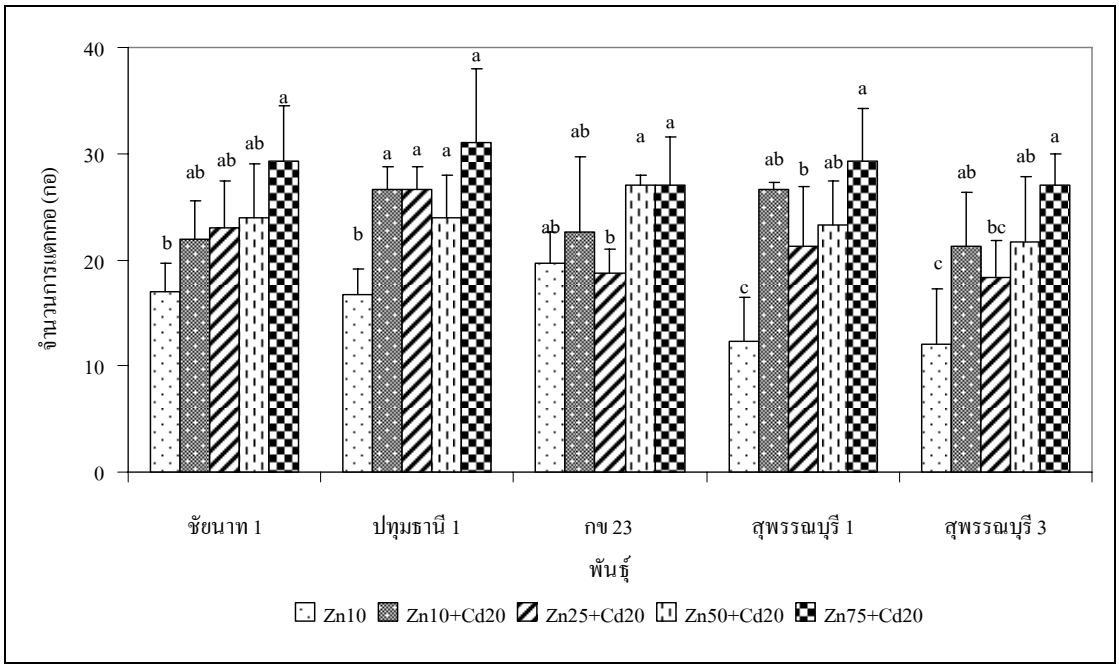
การวิเคราะห์สถิติการแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก พบว่าปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช และพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อการแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชไม่มีอิทธิพลต่อการแตกกอของข้าว 5 พันธุ์ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีแนวโน้มการแตกกอเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ 9

สำหรับการแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 45 วันหลังการย้ายปลูก ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียว พบว่าเมื่อเรียงลำดับจำนวนกอจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข 23 พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 โดยมีจำนวนกอ คือ 19.67, 17, 16.67, 12.33 และ 12 กอ

เมื่อทำการเปรียบเทียบการแตกกอ ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียว กับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับ แคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าจำนวนกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 กับ พันธุ์ กข 23 ระหว่างทั้งสองตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนพันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เมื่อได้รับแคดเมียมจะมีผลทำให้มีการแตกกอเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยจำนวนกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร เพียงอย่างเดียว คือ 17.00, 16.67, 19.67, 12.33 และ 12.00 กอ ตามลำดับ ส่วนในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีจำนวนกอ 22.00, 26.67, 22.67, 26.67 และ 21.33 กอ ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบการแตกกอของข้าว ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีการแตกกอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การแตกกอของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสีปริมาณ 10, 25 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีการแตกกอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี

ปริมาณ 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีการแตกกอน้อยที่สุด คือ 24.00 กอ และไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง ในข้าวพันธุ์ กข 23 จำนวนการแตกกอที่ได้รับสังกะสีปริมาณ 25 ไมโครโมลต่อลิตร มีจำนวนกอน้อยที่สุด แต่ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสีปริมาณ 50 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจำนวนการแตกกอของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มจำนวนกอเพิ่มขึ้น ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสีปริมาณ 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร



ภาพที่ 10 จำนวนการแตกกอ (กอ) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากสังกะสีซึ่งเป็นจุลธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ทริพโตเฟน (tryptophane) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ indoleacetic acid (IAA) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการขยายตัวของเซลล์และกระตุ้นการแบ่งเซลล์ เมื่อข้าวได้รับสังกะสีเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้การแตกกอของข้าวมีเพิ่มมากขึ้น (Halvin *et al*., 2005)

3.1.3 น้ำหนักแห้งตอซังข้าว

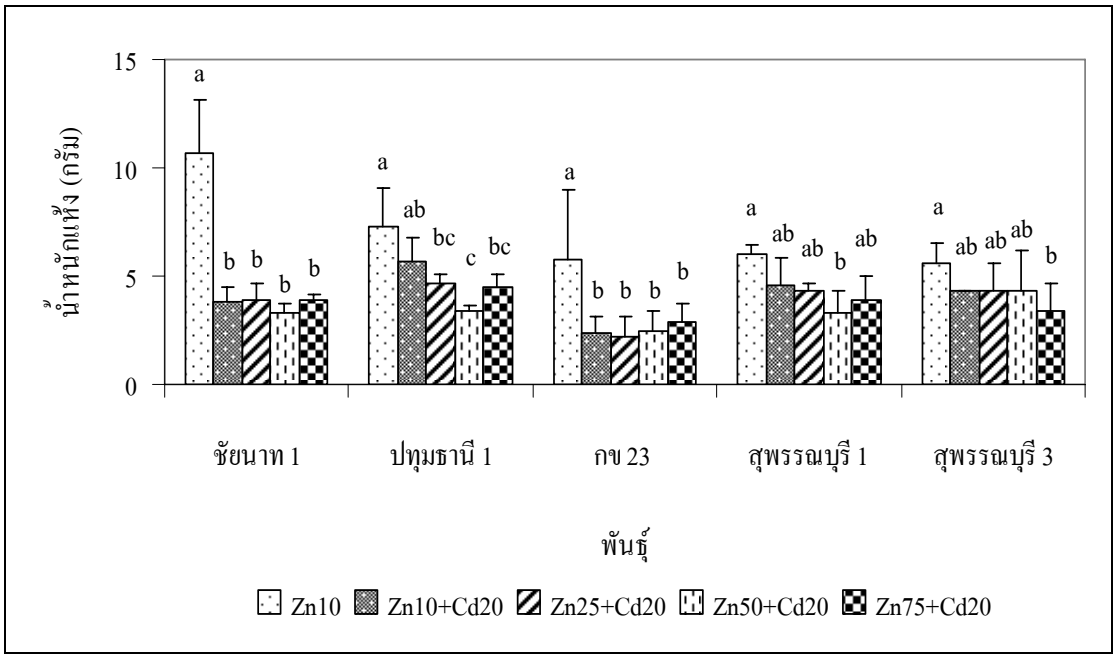
จากการวิเคราะห์สถิติน้ำหนักแห้งของข้าว 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก พบว่าพันธุ์ข้าว ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชมีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ โดยแนวโน้มน้ำหนักแห้งของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ ลดลง เมื่อได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับ ปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 10

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งตอซัง ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียว พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์ กข 23 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 โดยมีน้ำหนักแห้งตอซัง ดังนี้ 10.64, 7.25, 6.00, 5.74 และ 5.63 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งตอซัง ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียวกับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ กข 23 เมื่อได้รับแคดเมียม มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวลดลงและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เมื่อได้รับแคดเมียม มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร เพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 คือ 10.64, 7.25, 5.74, 6.00 และ 5.63 กรัม ตามลำดับ สำหรับในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งตอซัง คือ 3.85, 5.70, 2.40, 4.62 และ 4.28 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งตอซัง ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตรพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยน้ำหนักแห้งตอซังเท่ากับ 3.85, 3.91, 3.29 และ 3.88 กรัม ตามลำดับ โดยในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวเพิ่มขึ้น ส่วนในตำรับการทดลองที่

ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลให้น้ำหนักแห้งตอซังลดลง น้ำหนักแห้งตอซังของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวลดลงและมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรสำหรับข้าวพันธุ์กข 23 พบว่าทุกตำรับการทดลองมีน้ำหนักแห้งตอซังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร น้ำหนักแห้งของข้าว เท่ากับ 2.40, 2.22, 2.46 และ 2.88 กรัม ตามลำดับ โดยตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวลดลง ส่วนในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตรมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวเพิ่มขึ้น ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่าทุกตำรับการทดลองมีน้ำหนักแห้งตอซังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร โดยน้ำหนักแห้งของข้าว เท่ากับ 4.62, 4.28, 3.26 และ 3.88 กรัม ตามลำดับ โดยแนวโน้มน้ำหนักแห้งของข้าวลดลง และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร โดยน้ำหนักแห้งของข้าว เท่ากับ 4.28, 4.33, 4.33 และ 3.38 กรัม ตามลำดับ และในทุกตำรับการทดลอง น้ำหนักแห้งตอซังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 11 น้ำหนักแห้งตอซังข้าว (กรัม) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสรัตนา (2548) พบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียมเปรียบเทียบกับดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของตอซังลดลงจาก 65.30 เป็น 7.41 กรัมต่อกระถาง และจากรายงานของนันทกานต์ (2549) พบว่าผักกาดขาวที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของผักกาดขาวลดลงจาก 9.91 เป็น 2.43 กรัมต่อกระถาง นอกจากนี้ ต้นข้าวที่อายุ 21 วันหลังการย้ายปลูก แสดงอาการผิดปกติในตำรับการทดลองที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร คือ ใบและลำต้นข้าวมีสีเหลืองซีด ส่งผลทำให้ข้าวมีลำต้นแคระแกร็น สัณนิฐานได้ว่า ปริมาณแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชอาจมีผลทำให้ข้าวแสดงอาการผิดปกติ ซึ่ง Balestrasse *et al.* (2003) รายงานว่า แคดเมียมมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ และกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง โดยทั่วไปปริมาณแคดเมียมในในพืชไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากแคดเมียมมีผลทำให้น้ำตาลไรบูโลสบิสฟอสเฟต และเอมไซม์ไรบูโลสบิสฟอสเฟตคาร์บอกซิเลสลดลง ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง (Liphaazi and Kirkham, 2006) ทำให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลงด้วย

3.2 ปริมาณสังกะสีและปริมาณการดูดใช้ในตอซังข้าวสังกะสีของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

3.2.1 ปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

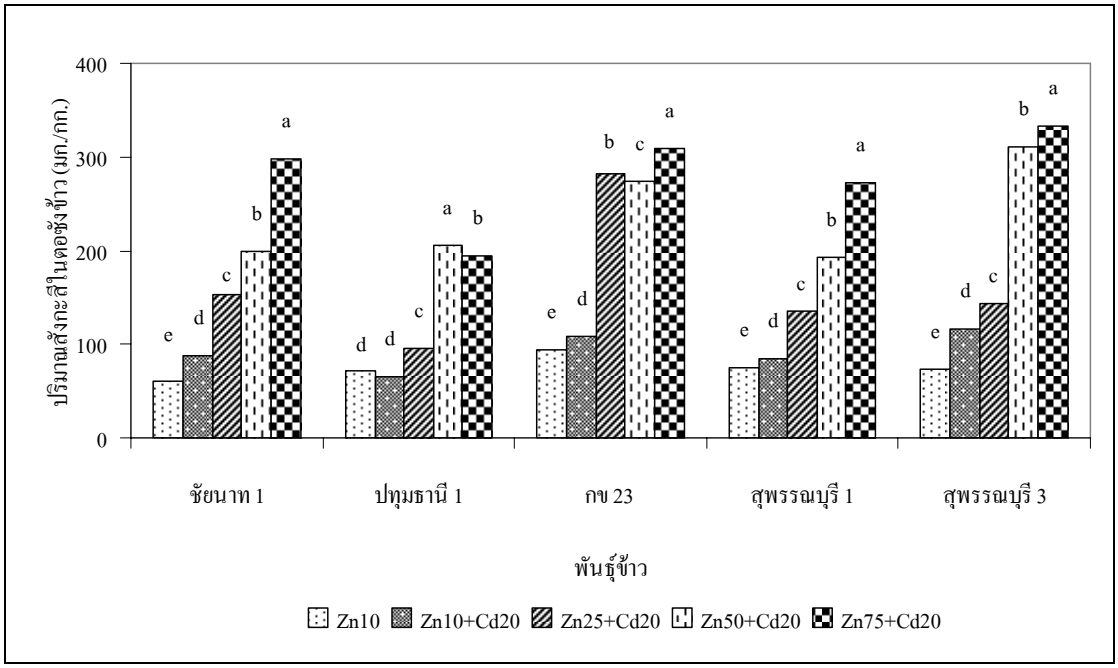
จากการวิเคราะห์สถิติปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกพบว่าพันธุ์ข้าว ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชมีอิทธิพลต่อปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว ดังแสดงในภาพที่ 12 และตารางผนวกที่ 11

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสังกะสี ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร เพียงอย่างเดียว พบว่า ข้าวพันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 3 และพันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ชัยนาท 1 โดยมีปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว 94.21, 75.63, 72.96, 72.40 และ 60.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสังกะสี ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียวกับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อ

ลิตรร่วมกับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 สำหรับปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียวกับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร ซึ่งปริมาณของสังกะสีในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการที่มีสังกะสีเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 60.44, 72.40, 94.21, 75.63 และ 72.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 คือ 88.24, 65.05, 108.84, 84.49 และ 116.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสังกะสี ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว เท่ากับ 88.24, 153.13, 199.54 และ 298.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เท่ากับ 65.05, 95.03, 205.12 และ 194.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ กข 23 มีปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว เท่ากับ 108.84, 282.63, 274.49 และ 309.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณสังกะสีในตอซังข้าว เท่ากับ 84.49, 135.66, 192.53 และ 272.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เท่ากับ 116.74, 143.02, 311.14 และ 333.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 12 ปริมาณสังกะสีในตอซัง (มก./กก.) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

3.2.2 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซังข้าวที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

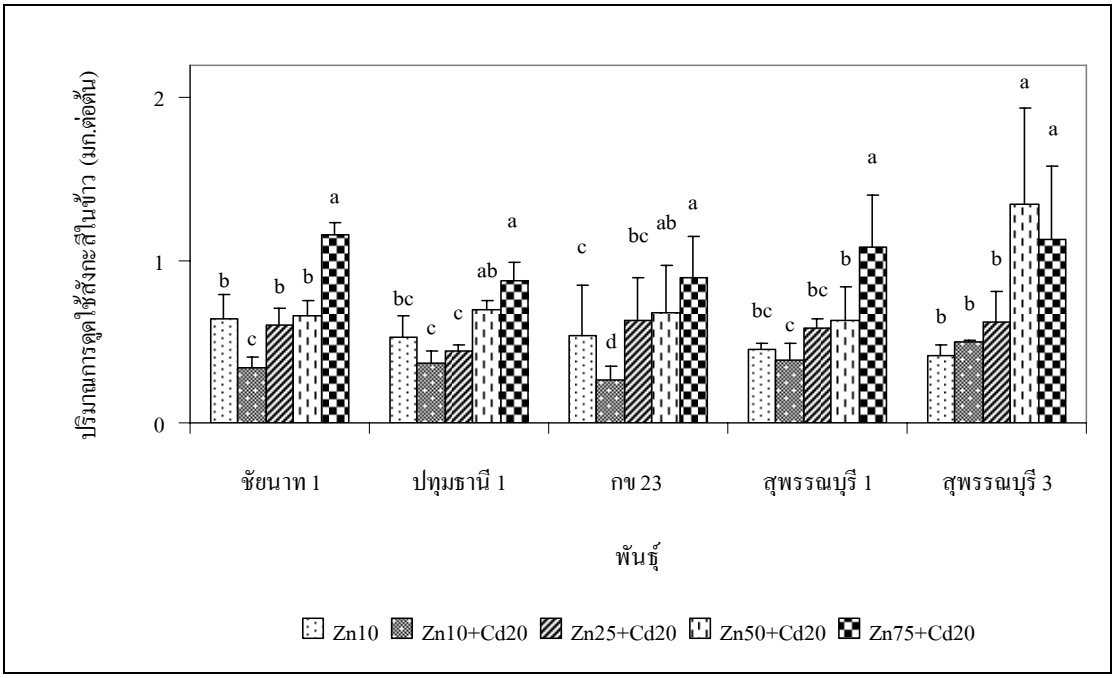
จากการวิเคราะห์สถิติปริมาณการดูดใช้สังกะสี พบว่าอิทธิพลปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว 5 พันธุ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สำหรับอิทธิพลของพันธุ์ข้าว ต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว 5 พันธุ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว 5 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 13 และตารางผนวกที่ 12

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว 5 พันธุ์ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าเมื่อเรียงลำดับปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ตามลำดับ โดยมีปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว คือ 0.64, 0.54, 0.53, 0.45 และ 0.41 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว 5 พันธุ์ ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียว กับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ กข 23 เมื่อได้รับแคดเมียม ส่งผลให้การดูดใช้สังกะสีของข้าวลดลงและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เมื่อได้รับแคดเมียม ส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เมื่อได้รับแคดเมียม ทำให้ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร คือ 0.64, 0.53, 0.54, 0.45 และ 0.41 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร คือ 0.34, 0.37, 0.26, 0.39 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดใช้สังกะสี ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว เท่ากับ 0.34, 0.60, 0.57 และ 1.16 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนที่ตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตร ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับการดูดใช้สังกะสีของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร เท่ากับ 0.37, 0.44, 0.69 และ 0.87 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ โดยพบว่าในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร มีแนวโน้มในการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร และพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตร ในข้าวพันธุ์ กข 23 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร เท่ากับ 0.26, 0.63, 0.69 และ 0.89 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ พบว่าตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวน้อยที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร ปริมาณการดูดใช้

สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตร ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันทางสถิติ กับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร ในข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร เท่ากับ 0.39, 0.58, 0.63 และ 1.04 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวน้อยที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร ซึ่งการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มสูงขึ้น ส่วนตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตร การดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันทางสถิติ และสำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร เท่ากับ 0.50, 0.62, 1.35 และ 1.14 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวน้อยที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตร ซึ่งปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มสูงขึ้น ส่วนตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 กับ 75 ไมโครโมลต่อลิตร การดูดใช้สังกะสีของข้าวเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 13 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของตอซังข้าว (มก./ต้น) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

3.3 ปริมาณแคดเมียมและปริมาณการดูดใช้แคดเมียมในตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

3.3.1 ปริมาณแคดเมียมในตอซังที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

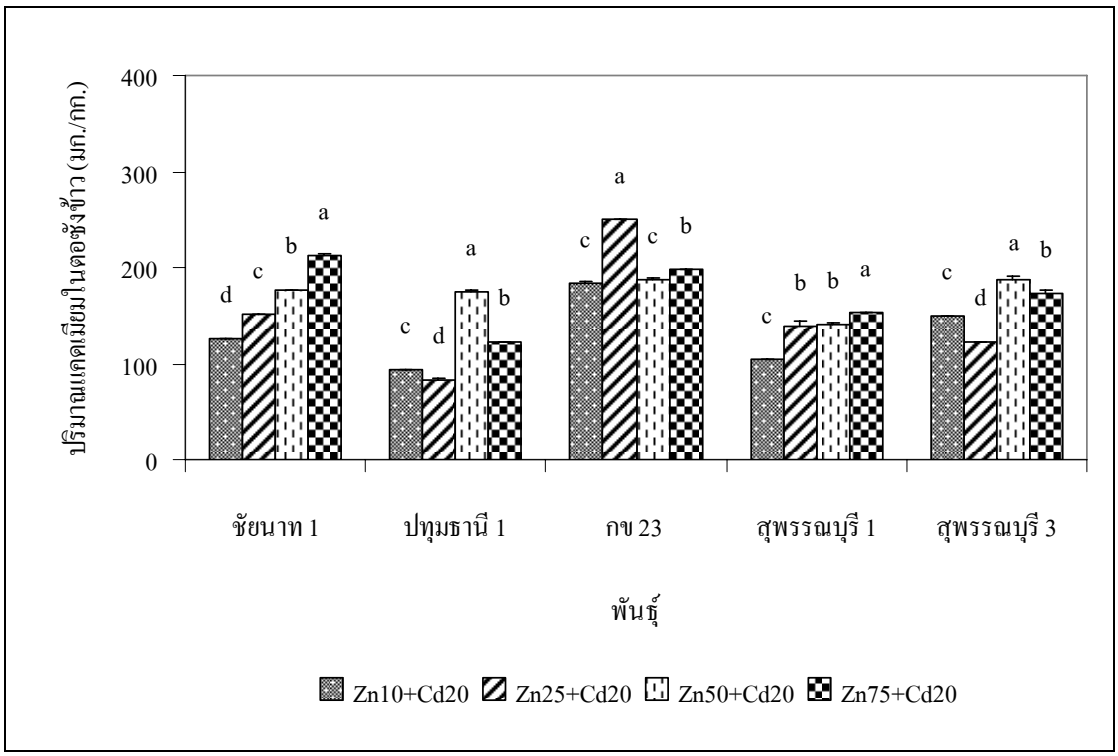
จากการวิเคราะห์สถิติปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกพบว่าพันธุ์ข้าว ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชมีอิทธิพลต่อปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าว ดังแสดงในภาพที่ 14 และตารางผนวกที่ 13

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าว ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียว ไม่พบแคดเมียมในตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดใช้และสะสมแคดเมียมของข้าว 5 พันธุ์ ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับข้าวพันธุ์ กข 23 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 25 ไมโครโมลต่อลิตรและลดลงเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร และสำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีแนวโน้มของปริมาณแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 50 ไมโครโมลต่อลิตร และลดลงเมื่อปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นเป็น 75 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่า 126.00, 150.79, 176.25 และ 213.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณแคดเมียม เท่ากับ 93.38, 83.17, 175.42 และ 121.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวพันธุ์ กข 23 มีปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวจากตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร เท่ากับ 184.33, 250.67, 187.21 และ 198.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณแคดเมียม เท่ากับ 103.96,

139.58, 141.00 และ 152.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 149.25, 122.50, 187.13 และ 172.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 14 ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าว (มก./กก.) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

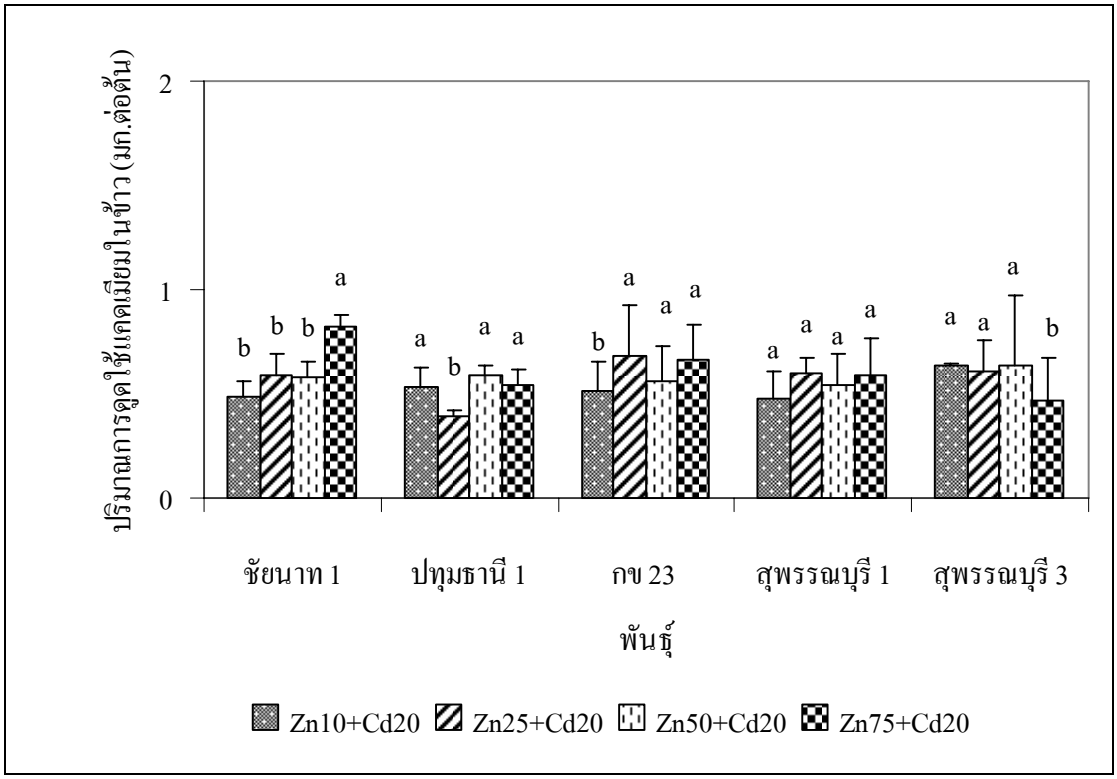
3.3.2 ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมในตอซังข้าวที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

จากการวิเคราะห์สถิติปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าว 5 พันธุ์ ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก โดยไม่นำตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรเพียงอย่างเดียวมาร่วมวิเคราะห์สถิติ เนื่องจากไม่ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมในตอซัง ดังแสดงในภาพที่ 15 และตารางผนวกที่ 14 พบว่า พันธุ์ข้าว ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืชมีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าว 5 พันธุ์ โดยมีแนวโน้มปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 จะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับปริมาณสังกะสี 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการ

ดูดใช้สังกะสีของข้าวในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าว 5 พันธุ์ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่า ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ไม่พบการดูดใช้แคดเมียมของข้าว

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าว 5 พันธุ์ ระหว่างตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสีปริมาณ 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่า ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีการดูดใช้แคดเมียมของข้าวเท่ากับ 0.49, 0.59, 0.58 และ 0.83 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และมีแนวโน้มการดูดใช้แคดเมียมของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีตั้งแต่ 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีการดูดใช้แคดเมียมของข้าว เท่ากับ 0.53, 0.39, 0.59 และ 0.55 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้การดูดใช้แคดเมียมของข้าวลดลง แต่ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้การดูดใช้แคดเมียมของข้าวเพิ่มขึ้น ข้าวพันธุ์ กข 23 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีการดูดใช้แคดเมียมของข้าว เท่ากับ 0.52, 0.68, 0.56 และ 0.66 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีการดูดใช้แคดเมียมของข้าวเพิ่มสูงขึ้น แต่ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวลดลง ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีการดูดใช้แคดเมียมของข้าว เท่ากับ 0.48, 0.60, 0.54 และ 0.59 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 25 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้การดูดใช้แคดเมียมของข้าวเพิ่มขึ้น สำหรับตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้การดูดใช้แคดเมียมของข้าวลดลง และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ75 ไมโครโมลต่อลิตร มีการดูดใช้แคดเมียมของข้าว เท่ากับ 0.64, 0.61, 0.63 และ 0.46 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวลดลง

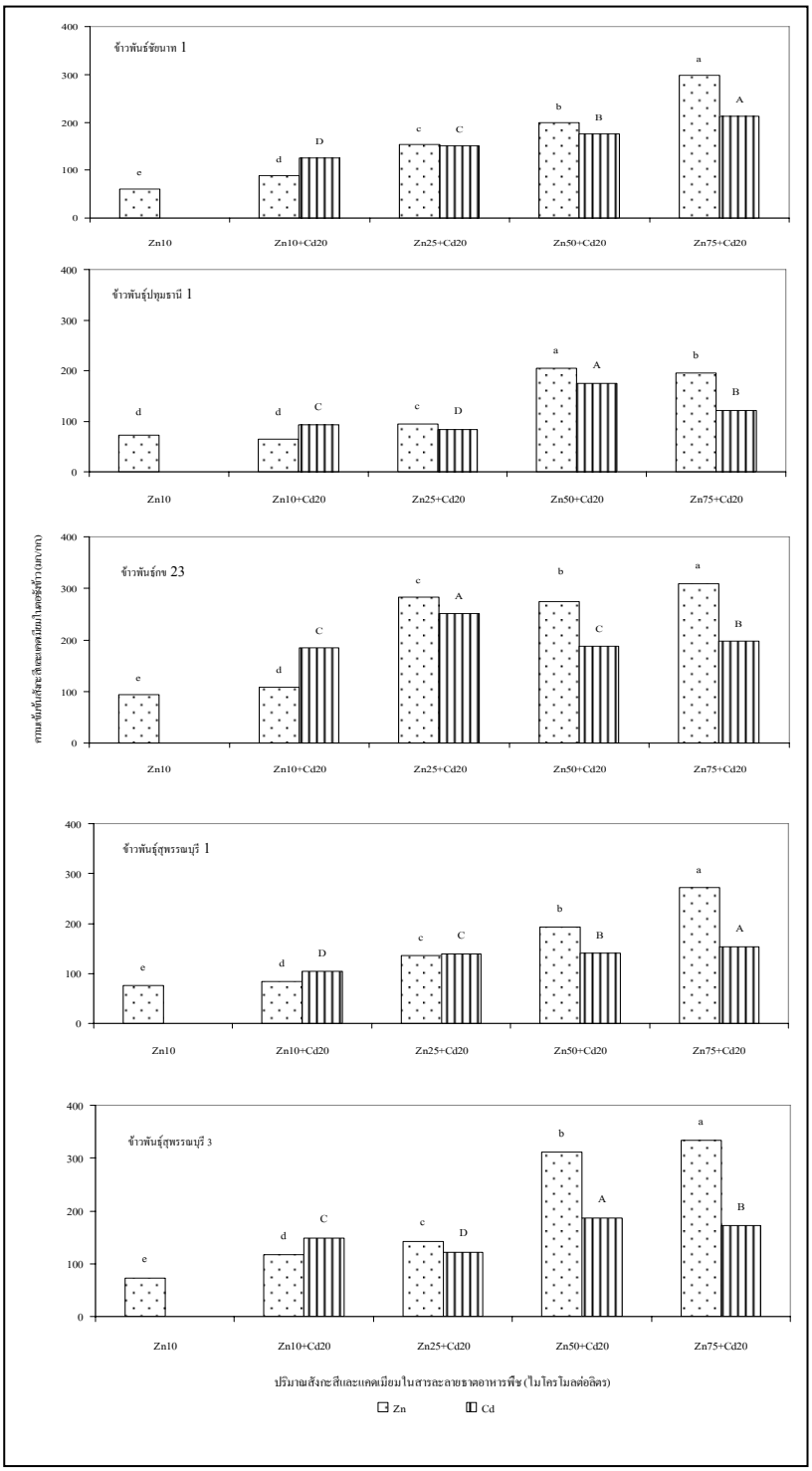


ภาพที่ 15 ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของตอซังข้าว (มก./ต้น) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากการย้ายปลูก

3.4 ผลของสังกะสีต่อปริมาณสังกะสีและแคดเมียมของข้าว 5 พันธุ์

ปริมาณสังกะสีในตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณแคดเมียมร่วมกับปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสังกะสีและแคดเมียมมีสมบัติทางเคมีที่คล้ายกันและในพืชมีทั้งสภาวะส่งเสริมและขัดขวางกัน (Kabata-Pendias and Pendias, 2001) ดังแสดงในภาพที่ 16 ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 10 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีปริมาณสังกะสีน้อยกว่าปริมาณแคดเมียมในตอซัง สำหรับตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 25 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร พบว่าข้าวทั้ง 5 พันธุ์มีปริมาณสังกะสีใกล้เคียงกับปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าว และในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีมากกว่าปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าว

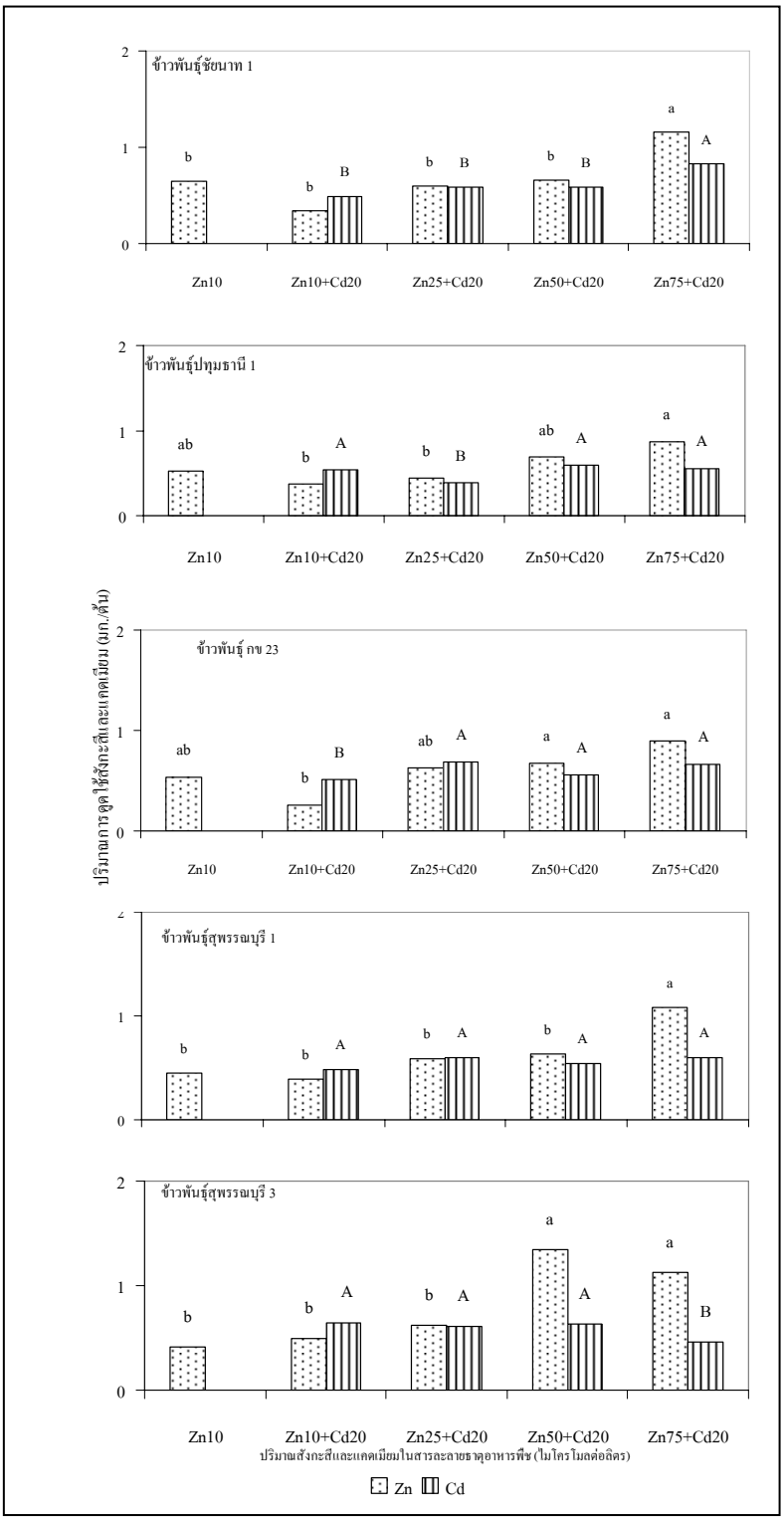
โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25, 50 และ 75 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวเพิ่มขึ้น สำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลให้ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวเพิ่มขึ้น แต่ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตรมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวลดลง ในข้าวพันธุ์กข 23 ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 10 และ 25 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวเพิ่มขึ้น แต่ในตำรับการทดลองที่ได้รับสังกะสี 50 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวลดลง สำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 10, 25 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวมีแนวโน้มคงที่และในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียมปริมาณ 20 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวมีแนวโน้มลดลง จากผลการทดลองของ Zhong-qiu *et al*. (2005) พบว่าเมื่อให้ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นจะสามารถยับยั้งการเคลื่อนย้ายและสะสมแคดเมียมของข้าวสาลีได้ เนื่องจากปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารจะเกิดการแข่งขันกับแคดเมียมเพื่อจับกับเอมไซม์ที่ตำแหน่งจำเพาะกับเอมไซม์ของพืชและมีผลขัดขวางการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในโฟลเอ็ม ดังนั้นปริมาณสังกะสีที่เพิ่มสูงขึ้นในต้นพืช จะช่วยในการจำกัดการเคลื่อนย้ายแคดเมียมในโฟลเอ็ม (Tanaka *et al.*, 2007)



ภาพที่ 16 ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในตอซังข้าวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

3.5 ผลของสังกะสีต่อปริมาณการดูดใช้สังกะสีและแคดเมียมของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

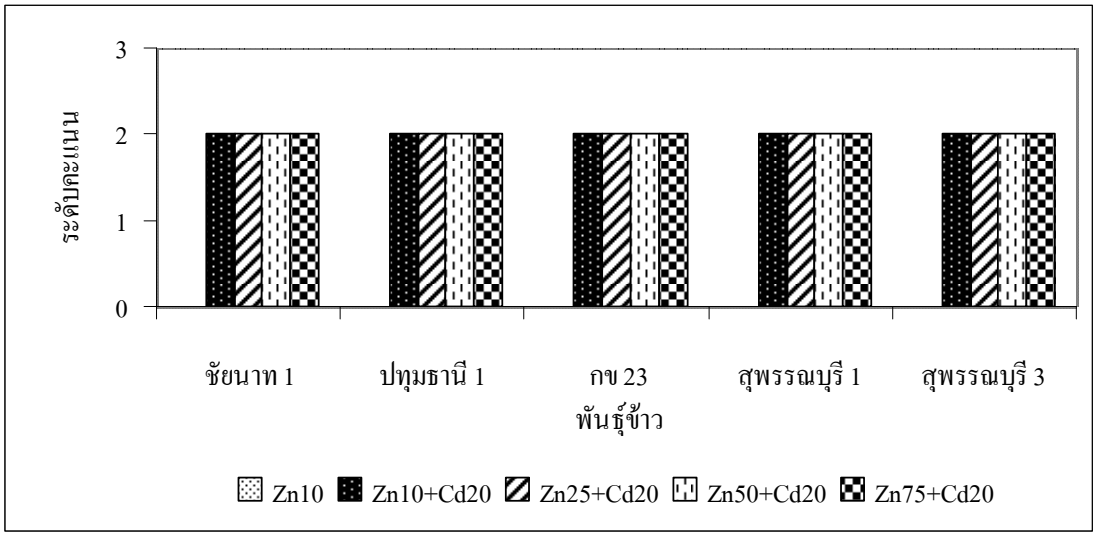
สำหรับปริมาณการดูดใช้สังกะสีและแคดเมียมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 17 สำหรับปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรและปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีแนวโน้มคงที่เมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ กข 23 มีแนวโน้มคงที่เมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 25 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร และสำหรับปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 การดูดใช้สังกะสีมีแนวโน้มการดูดใช้สังกะสีเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร ส่วนปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร สอดคล้องกับรายงานของ Zhong-qiu *et al.* (2005) รายงานว่าปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของพืชลดลงเมื่อได้รับสังกะสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณการดูดใช้แคดเมียมและสังกะสีที่ตอซังข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันอาจจะเกิดจากปัจจัยด้านพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน (Havlin *et al.*, 2005) เนื่องจากพืชมีเอมไซม์ที่เรียกว่า กลุ่มเอมไซม์ ZIP (Zrt-, Irt-like Protein) และ CDF (Cation Diffusion Facilitator) มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายธาตุโลหะที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและธาตุโลหะที่มีสมบัติเคมีคล้ายคลึงกันเข้าไปสะสมในพืช (Ramesh *et al.*, 2003; Benavides *et al.*, 2005; Ishimaru *et al.*, 2005) จากผลการทดลองสัณนิฐานได้ว่า ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีความสามารถของกลุ่มเอมไซม์ ZIP และ CDF มีความแตกต่างกันจึงส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้สังกะสีและแคดเมียมของข้าวทั้ง 5 พันธุ์แตกต่างกัน



ภาพที่ 17 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีและแคดเมียมในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

3.6 ปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว 5 พันธุ์ และสามารถลดการดูดใช้แคดเมียม

ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ เมื่อได้รับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสี 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลทำให้ความสูงและน้ำหนักแห้งตอซังลดลง และอาการผิดปกติของใบข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 18 กล่าวคือให้ ระดับคะแนน 0 ถ้าไม่พบอาการผิดปกติ ระดับคะแนน 1 เมื่อเริ่มพบจุดสีเหลืองบนเนื้อใบ ระดับคะแนน 2 เมื่อ พบจุดสีเหลืองบนเนื้อใบ และเนื้อใบมีสีขาวพบว่า ข้าวทั้ง 5 พันธุ์เมื่อได้รับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสีตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรมีอาการเนื้อใบมีสีขาวและจุดสีเหลืองบนเนื้อใบ (Das *et al*.,1997)



ภาพที่ 18 ระดับคะแนนอาการผิดปกติของต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 กับปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูก

เนื่องจากแคดเมียมซึ่งมีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับสังกะสี แคดเมียมเข้าจับกับเอมไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ทริพโทเฟนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมนออกซิน (Liu *et al.*, 2003) ซึ่งฮอร์โมนออกซินมีหน้าที่ในการควบคุมการขยายตัวของเซลล์และกระตุ้นการแบ่งเซลล์ (ศรีสม, 2546) และ Balestrasse *et al.* (2003) รายงานว่าแคดเมียมมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง โดยทั่วไปปริมาณแคดเมียมในในพืชไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากแคดเมียมมีผลทำให้น้ำตาลไรบูโลสบิสฟอสเฟตและเอมไซม์ไรบูโลสบิส

ฟอสเฟตคาร์บอกซิเลสลดลง ส่งผลทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง (Liphaazi and Kirkham, 2006) ทำให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลงด้วย แต่จำนวนกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีจำนวนกอเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับสังกะสี 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร ปริมาณสังกะสีในตอซังและปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซังของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณแคดเมียมในตอซังของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร ปริมาณแคดเมียมในตอซังของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ลดลงเมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืช 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณแคดเมียมในตอซังของข้าวพันธุ์กข 23 มีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืช 50 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีแนวโน้มคงที่เมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ กข 23 มีแนวโน้มคงที่เมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 25 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับสังกะสีจากสารละลายธาตุอาหารพืช 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการสำรวจพื้นที่ผลิตข้าวอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี เกษตรกรนิยมปลูกข้าว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1 บนชุดดินเพชรบุรี ชุดดินสมุทรปราการและชุดดินกำแพงแสน ซึ่งดินที่ใช้ปลูกข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินอยู่ในช่วงปานกลางถึงต่ำมาก และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องกับปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน เนื่องจากสำหรับปริมาณสังกะสีที่ประชากรได้รับจากการบริโภคข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายมนุษย์ และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในเส้นผมของประชากร พบว่าปริมาณสังกะสีในเส้นผมของประชากรต่ำกว่าค่ามาตรฐาน จึงควรให้คำแนะนำแก่ประชาชนในการบริโภคอาหารให้ครบทั้ง 5 หมู่ตามหลักโภชนาการเพื่อป้องกันการเกิดภาวะทุพลโภชนาการและภาวะโภชนาการเกิน สำหรับปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ในดินอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน อีกทั้งปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้องทั้ง 2 พันธุ์มีความปลอดภัยในการบริโภคเนื่องจากปริมาณแคดเมียมต่ำกว่ามาตราฐานความปลอดภัยทางอาหาร เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนในพื้นที่ศึกษา การบริโภคข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น มีสังกะสีสูงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาทางด้านภาวะโภชนาการของประชากรในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี จึงทำการเลือกพันธุ์ข้าวเศรษฐกิจ เช่น ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เพื่อทดลองปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวในสารละลายธาตุอาหารพืช เพื่อลดภาวะเสี่ยงต่อการขาดธาตุสังกะสีของประชากรในประเทศ ผลการทดลองปลูกข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีสังกะสี 12 ระดับความเข้มข้น เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าความสูงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่ได้รับสังกะสี 12 ระดับความเข้มข้น มีแนวโน้มคงที่ สำหรับการแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่ได้รับสังกะสี 12 ระดับความเข้มข้น มีแนวโน้มที่จะแตกกอและน้ำหนักแห้งของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ลดลงเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีตั้งแต่ 100 ไมโครโมลต่อลิตรขึ้นไป และเนื่องจากปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี1 พันธุ์กข 23 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีปริมาณสังกะสีในตอซัง เท่ากับ 24.38, 23.75, 24.38 และ15.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานของปริมาณสังกะสีในกล้าข้าว ซึ่งควรจะมีมากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในตำรับการทดลองที่ได้รับปริมาณสังกะสี 100 ไมโครโมลต่อลิตร เริ่มพบอาการจุดสีเหลืองที่เนื้อใบของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 จึงสรุปได้ว่าปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์

สุพรรณบุรี 3 คือ 75, 75, 100, 100 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตร ตามลำดับ จากข้อมูลปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของข้าวแต่ละพันธุ์ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการหาระดับของสังกะสีที่สามารถลดการดูดใช้แคดเมียมในตอซังของข้าว จึงทำการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีและแคดเมียม จึงเลือกช่วงสังกะสีตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร ซึ่งเป็นช่วงสังกะสีที่ข้าวทั้ง 5 พันธุ์มีการเจริญเติบโตได้เป็นปกติ มาทดลองร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรพบว่าความสูงและน้ำหนักแห้งของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ลดลงเมื่อได้รับปริมาณแคดเมียมจากสารละลายธาตุอาหารพืช แต่การแตกกอของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ สำหรับปริมาณสังกะสีในตอซังข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตรและปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณแคดเมียมในตอซังข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืช 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร พันธุ์ กข 23 มีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารพืชตั้งแต่ 50 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณการดูดใช้สังกะสีของข้าวทั้ง 5 พันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร และสำหรับปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร สำหรับปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ กข 23 และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีแนวโน้มคงที่เมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 25 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร และปริมาณการดูดใช้แคดเมียมของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ลดลงเมื่อได้รับปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร จึงสรุปได้ว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 สามารถลดการดูดใช้แคดเมียมเมื่อได้รับสังกะสีเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการประชาสัมพันธ์เผยแพร่และให้ความรู้เกี่ยวกับการบริโภคอาหารให้ถูกต้องตามหลักโภชนาการ ซึ่งจะส่งผลให้ลดภาวะเสี่ยงต่อขาดสังกะสีของประชากรได้

2. สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการให้คำแนะนำเพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวและอัตราปุ๋ยสังกะสีในการปลูกข้าวในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม ซึ่งจะช่วยให้ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่ปนเปื้อนแคดเมียมลดการดูดใช้แคดเมียมจากดินสู่เมล็ด จะส่งผลให้ข้าวมีความปลอดภัยในการใช้เป็นอาหาร

3. ควรทำการทดลองปลูกข้าวในดินเพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยสังกะสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวแต่ละพันธุ์ทั้งในสภาพโรงเรือนและสภาพไร่นา และส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยสังกะสีในนาข้าว จะส่งผลให้ข้าวมีการสะสะสมสังกะสีในเมล็ดเพิ่มสูงขึ้น และสามารถช่วยลดภาวะเสี่ยงต่อการขาดสังกะสีในประชากร

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการข้าว. 2549. **พันธุ์ข้าว.** องค์ความรู้เรื่องข้าว. แหล่งที่มา: www.ricethailand.go.th/rkb/index.html, 20 มกราคม 2549**.**

กรมการปกครอง. 2550. **จังหวัดเพชรบุรี อำเภอเขาย้อย.** ศูนย์บริการข้อมูลอำเภอ. แหล่งที่มา: www.amphom.com/menu.php, 16 พฤษภาคม 2550.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **มาตราฐานดิน. ข้อมูลและบริการ.** แหล่งที่มา**:** www.pcd.go.th, 30 ตุลาคม 2549.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2544. **แผนที่การใช้ที่ดิน จังหวัดเพชรบุรี.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **ชุดดินจัดตั้งของประเทศไทย.** ชุดดินจัดตั้งของประเทศไทย. แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_osl/knownlg/series_C.htm, 24 ธันวาคม 2551.

คณะทำงานจัดทำข้อปฏิบัติการกินเพื่อสุขภาพที่ดีของคนไทย. 2543. **คู่มือธงโภชนาการ.** ธงโภชนาการ. แหล่งที่มา: http://www.scribd.com/word/full/4226544?access_key=key-12bcdqy0wghoa0hpay4c, 3 ตุลาคม 2551.

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

จินตนา ศิริวราศัย และ สมิง เก่าเจริญ. 2545. โลหะหนักแคดเมียม (Cadmium). **P&D Information Bulletin.** 10 (1): 3-5.

ดิเรก ทองอร่าม. 2547. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย.** ครั้งที่ 2. ธรรมรักษ์การพิมพ์, ราชบุรี.

ถนอมขวัญ ทิพวงศ์. 2548. **ผลการใช้น้ำเสียชุมชนต่อปริมาณแคดเมียม และตะกั่วในหญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช.** ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นพดล เรียบเลิศหิรัญ. 2550. **การปลูกพืชไร้ดิน.** สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ.

นันทกานต์ ขุนโหร. 2549. **การดูดซับแคดเมียมในดินและการดูดกินโดยผักกาดขาวในชุดดินปากช่อง และชุดดินธนบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์. 2546. **ชีวเคมีทางโภชนาการ.** ซิกม่า ดีไซน์กราฟฟิก, กรุงเทพฯ.

บุญหงส์ จงคิด. 2547. **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต.** คณะทำงานจัดทำองค์ความรู้เรื่องข้าว. ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บวร ไชยษา. 2530. **ความเข้มข้นของแมงกานีส แคดเมียม และตะกั่วในน้ำและดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำชี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา พากเพียร, ประพิศ แสงทอง และ พิชิต พงษ์สกุล. 2547. การปนปื้อนของโลหะหนักในดินและพืชอาหารในประเทศไทย. **วารสารดินและปุ๋ย.** 26 (1): 31-36.

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

พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2542. การประเมินความปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. **วารสารดินและปุ๋ย.** 21 (2): 71-82.

พิชิต พงษ์สกุล, วนิดา โนบรรเทา, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ และ สุรทิน แก้วโรจน์. 2547. การปนเปื้อนของแคดเมียมและสังกะสี ในข้าวและถั่วเหลือง, น. 258-271. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2547.** สำนักวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิทยา จรลี, พูนสุข วงษ์ลี, วิเชียร รตนธงชัย, วันชัย ธรรมวานิช, สมพร จองคำ, นพวรรณ ศรีรัตนประสิทธิ์ และ อนงค์ ศรีโสภา. 2545. การวิเคราะห์เปรียบเทียบธาตุปริมาณน้อยในเส้นผม. **รายงานวิชาการประจำปี 2545.** สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบรูณ์ของดิน.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

มนัสนันท์ เกื้อหนุน. 2551. **ผลการใส่สังกะสีต่อการตอบสนองของข้าวโพดและปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินเนื้อปูน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช.** ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรีพร โพธิ์จีน. 2550. ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรประจำเดือนมิถุนายน 2550. **เศรษฐกิจการเกษตร.** 53 (608): 14-44.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.** ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริชัย อุ่นศรีส่ง. 2545. **ข้าว.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2546. **สรีรวิทยาพืช.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สรัตนา เสนาะ. 2548. **การดูดดึงธาตุโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนั่น แก้วสนั่น และ วิจิตร จงวัฒนา. 2524. **รายงานการสำรวจดิน จังหวัดเพชรบุรี.** กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุนิศา แสงจันทร์. 2543. **การศึกษารูปที่อาจเป็นพิษได้ของแคดเมียมและตะกั่วในดินในระบบบำบัดน้ำเสียแบบหญ้ากรอง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาวดี ศิริวัฒนานนท์ และ สุจรรยา หมวดดารักษ์. 2546. **สารพิษในอาหาร.** โครงการศูนย์บริการข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบริโภคอาหาร. แหล่งที่มา: http://www.firstbuddha.com/heavy_metal.pdf, 20 กุมภาพันธ์ 2550.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2549. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ.** ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โสระยา ร่วมรังษี. 2544. **การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2550.** สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2550. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/statistic/yearbook50/section1/sec1rice.pdf, 20 กรกฎาคม 2550.

หัทยา กองจันทึก. 2546. **ฉลากโภชนาการให้อะไรกับผู้บริโภค.** เอกสารเผยแพร่. แหล่งที่มา: http://webnotes.fda.moph.go.th/consumer/csmb/csmb2546.nsf/723dc9fee41.pdf, 8 กันยายน 2551.

อัจฉรา ดลวิทยาคุณ. 2550. **พื้นฐานโภชนาการ.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

อบเชย วงศ์ทอง และ ขนิษฐา พูนผลกุล. 2550. **หลักการประกอบอาหาร.** ครั้งที่ 3. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น. 2542. ข้าว, น. 1-29. *ใน* นพพร สายัมพล, เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ และ สนธิชัย จันทร์เปรม, บรรณาธิการ. **พืชเศรษฐกิจ.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ตามรอยเบื้องพระยุคลบาท ไทยทั้งชาติร่วมใจกินข้าวกล้อง. **ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง.** แหล่งที่มา: http://www.fostat.org/picture-bin/file/Brown_Rice_Products.pdf, 29 สิงหาคม 2551.

เอมอร วสันตวิสุทธิ์ และ และ รัชนี คงคาฉุยฉาย. 2546. สังกะสี, น. 274-282. *ใน* สุปรานี แจ้งบำรุง, ประไพศรี ศิริจักรวาล, ประภาศรี ภูวเสถียร, เบ็ญจลักษณ์ ผลรัตน์, อุไรพร จิตต์แจ้ง, สุภัจฉรา นพจินดา, อรวรรณ ภู่ชัยวัฒนานนท์, ทิพยเนตร อริยปิติพันธ์ และ สุจิตต์ สาลีพันธ์, บรรณาธิการ. **ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ.2546.** โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์, กรุงเทพฯ.

Achanzar, W.E., K.B. Achanzar, J.G. Lewis, M.M. Webber and M.P. Waalkes. 2000. Cadmium Induces c-myc, p53 and c-jun expression in normal human prostate epithelial cells as a prelude to apoptosis. **Toxicol. Appl. Pharmacol.** 164: 291-300.

Alloway, B.J. 1990. **Heavy metal in soil.** Chapman & Hall, London.

_____ and D.C. Ayres. 1993. **Chemical Principles of Environmental Pollution.** Chapman & Hall, London.

_____. 1995. Cadmium, pp. 122-151. *In* B.J. Alloway, ed. **Heavy Metals in Soils.** Chapman & Hall, London.

Amaral, F.S.A., M. Arruda, S. Cabral and A.S. Rodrigues. 2008. Essential and non-essential trace metals in scalp hair of men chronically exposed to volcanogenic metals in the Azores, Portugal. **Environ. Int.** doi:10.1016/j.envint.2008.03.013.

Aravind, P. and M.N.V. Prasad. 2005. Cadmium-zinc interactions in hydroponics sysytem using *Ceratophyllum demersum* L.: adaptive ecophysiology, biochemistry and molecular toxiclogy. **Braz. J. Plant Physiol.** 17 (1): 3-20.

Asian Productivity Organization. 2000. **Food security in asia and the Pacific.** Asian Productivity Organization, Tokyo.

Balasubramanian, V., R.J. Buresh and M. Bell. 2003. **Zinc (Zn).** rice fact sheet. Available Source: http://www.knowledgebank.irri.org, August 15, 2007.

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

Benavides, M.P., S.M. Gallego and M.L. Tomaro. 2005. Cadmium toxicity in plant. **Braz. J. Plant Physiol.** 17 (1): 21-34

Boardman, R. and D.O. McGuire. 1990. The role of zinc in forestry I. Zinc in forest environment,ecosystems and tree nutrition. **Forest Ecol. Mgmt.** (37): 167-205.

Bray, R.H. and N. Kurt. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45.

Brooks, R.R. 1993. **Biogical methods of prospecting for minerals.** Wiley, New York.

Brown, K.H. and S. E. Wuehler. 2000. **Zinc and Human Health: Results of Recent trials and Implications for Program Interventions and Research.** The Micronutrient Initiative, Ottawa.

Cakmak, I., R.M. Welch, J. Hart, W.A. Norvell, L. Ozturk and L.V. Kochian. 2000. Uptake and re-translocation of leaf-applied cadmium (109Cd) in diploid, tetraploid and hexaploid wheats. **J. Exp. Bot.** 51: 221-226.

Chaney, R.L., J.A. Ryan, Y.M. Li, R.M. Welch, P.G. Reeves, S.L. Brown and C.G. Green. 1996. **Phyto-availability and bio-availability in risk assessment for cadmium in agriculture environments.** OECD, Paris.

Chaney, R.L., P.G. Reeves and J.S. Angle. 2001. Rice plant nutrition and human nutritional characteristics roles in human Cd toxicity, pp. 288-289. *In* W.J. Horst, ed. **Plant Nutrition :Food security and sustainability of agro-ecosystem trough basis and applied research.** Kluwer Academic Publ., Dordrecht.

Chojnacka, K., H. Górecka and H. Górecki. 2006. The influence of living habits and family relationships on element concentrations in human hair. **Sci. Total Environ.** 366: 612 – 620.

Codex Alimentarius Commission. 2002. **Report of the the 34th Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants.**

_____. 2006. **Codex general standard for contaminants and toxins in food.** CODEX STAN 193-1995. Rev.2-2006. Available Source: http://www.codexalimentarius.net/download/standards/17/CXS_193e.pdf, September 1, 2008.

Das, P., S. Samantaray and G.R. Rout. 1997. Studies on cadmium toxicity in plant : a review. **Environ. Pollut.** 98 (1): 29-36.

Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 545-566. *In* C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis. Part 2.** Amer. Soc. Agron. Inc., Medsion, Wisconsin, U.S.A.

Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. **Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management.** Oxford Graphic Printers, Oxford.

Dorea, J.G. 2003. Fish are central in the diet of Amazonian riparans: should we worry about their mercury concentration. **Environ. Res.** 92: 232-244.

Environment Bureau of Investigation. 2007. **Cadmium.** Available Source: http://www.eprf.ca/ebi/contaminants/cadmium.html, February 9, 2008.

Fageria, N.K. 2001. Screening method of lowland rice genotypes for zinc uptake efficiency. **Sci. Agr.** 58 (3): 623-626.

Gadallah, M.A.A. and A.E. El-Enany. 1999. Role of kinetin in alleviation of copper and zinc toxicity in *Lupinus termis* plants. **Plant Growth Reg.** 29: 151–160.

Hajiboland, R. and S.Y. Salehi. 2006. Charterization of Zn efficiency in Iranian rice genotypes I. uptake efficiency. **Gen. Appl. Plant Physiol.** 32 (3-4): 191-206.

Harrison, W.W., J.P. Yurachek and C.A. Benson. 1969. The determination of trace elements in human hair by atomic absorption spectroscopy. **Clin. Chim. Acta.** 23: 83-91.

Hart, J.J., W.A. Norvell, R.M. Welch, L.A. Sullivan and L.V. Kochian. 1998. Characterization of zinc uptake, binding, and translocation in intact seedings of bread and durum wheat cultivars. **Plant Physiol.** 118: 219-226.

Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers.** 7 ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey.

Higdon, J. 2003. **Zinc.** Nutrition. Available Source: http://lpi.oregonstate.edu/infoccenter/mineral/zinc/, July 28, 2007.

Hoagland,D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. **Calif. Agr. Expt. Stn Cire.** No. 347.

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

Kamakura, M. 1983. A study of the characteristics of trace elements in the hair of Japanese-Reference values, the trace elements patterns for determining normal levels. **Jpn. J. Hyg.** 28: 823-838.

Kiekens, L. 1995. Zinc, pp. 284-305. *In* B.J. Alloway, ed. **Heavy Metals in Soils.** Chapman & Hall, London.

Kohlmeier, M. 2003. **Nutrient Metabolism.** Academic press, California.

International Zinc Nutrition Consultative Group. 2004. Assessment of the Risk of Zinc Deficiency in Populations and Options for Its Control. . *In* Hotz C. and Brown K.H., eds. **Food Nutr. Bull.** 25: S91-S204.

Ishimaru, Y., M. Suzuki, T. Kobayashi, M. Takahashi, H. Nakanishi, S. Mori and N.K. Nishizawa. 2005. OsZIP4, a novel zinc-regulated zinc transporter in rice. **J. Exp. Bot.** 56: 3207-3214.

Land Classification Division and FAO Project Staff . 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand.** Dept. of Land Development, Min. of Agri. And Coop., Bangkok.

Lin, M.S. and C.H. Kao. 1990. Senescence of rice leaves. XIII. Chang of Zn^{2+} dependent acid inorganic pyrophoshatase. **J. Plant Physiol.** 137: 41-45.

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.

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

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

Lursinsap, T. 2002. **Zinc in human nurtrition.** Available Source: http://www.sci.ru.ac.th/chem/web%20genchem%202002/research%20%20page_1/paper/ZN.pdf, September 5, 2008.

Marr, K.M., G.D. Batten and A.B. Blakeney. 1995. Relations between minerals in Australian brown rice. **J. Sci. Food Agric.** 68: 285-291.

McBean, L. D., J. T. Dove, J. A. Halsted and J. C. Smith. 1972. Zinc concentration in human tissues. **Am. J. Clin. Nutr.** 25: 672-676.

Mehra, A. and M. E. Farago. 1994. Metal ions and plant nutrition, pp. 31-66. *In* Margaret E. Farago, ed. **Plant and The Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity.** VCH Publishers, New York.

Norman, R.J., CE. Jr. Wilson and N.A. Slaton. 2003. Soil Fertilization and Mineral Nurtrition in U.S. Mechanized Rice Culture, pp. 331-412. *In* C.W. Smith and R.H. Dilday, eds. **Rice: Origin, History, Technology, and Production.** (6): 542-543. John Wiley & Sons Hobokens, New Jersey.

Prasad, A. S. 1998. Zinc deficiency in humans: a neglected problem. **J. Am. Coll. Nutr.** 17 (6): 542-543.

Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiology Properties.** Agron 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison Wisconsin, U.S.A.

Ramesh, S.A., R. Shin, D.J. Eide and D.P. Schachtman. 2003. Differential metal selectivity and gene expression of two zinc transporters from rice. **Plant Physiol.** 133: 126-134.

Rodrigues, J.L., B.L. Batista, J.A. Nunes, C.J.S. Passos and F. Barbosa Jr. 2008. Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements. **Sci. Total Environ.** doi:10.1016/j.scitotenv.2008.06.002.

Rout, G.R. and P. Das. 2003. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. **Agronomie.** 23: 3-11.

Senofonte, O., N. Violante and S. Caroli. 2000. Assessment of reference values for elements in human hair of urban schoolboys. **J. Trace Elem. Med. Biol.** 14: 6-13.

_____, N. Violante, S. D'Ilio, S. Caimi, A. Peri and S. Caroli. 2001. Hair analysis and the early detection of imbalances in trace elements for members of expeditions in Antarctica. **Microchem. J.** 69: 231-238.

Slaton, N. A., E. E. Jr. Gbur, C. E. Jr. Wilsonand and R. J. Norman. 2005 a. Rice response to granular zinc sources varying in water-soluble zinc. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 69: 443-452.

_____, R. J. Norman and C. E. Jr.Wilson. 2005 b. Effect of zinc source and application time on zinc uptake and yield of flood-irrigated rice. **Agron. J.** 97: 272-278.

Soil Conservation Service. 1982. Procedures for collocation soil sample and methods of analysis for soil survey. **Soil Survey Investigation Report No.1.** U.S.A. Dept. Agr., Washington D.C.

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

_____, S. Fujimaki, T. Fujiwara, T. Yoneyama and H. Hayashi. 2007. Quantitative estimation of the contribution of the phloem in cadmium transport to grains in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Soil Sci. Plant Nutr.** 53: 72-77.

Timsina, J. and D. J. Connor. 2001. Productivity and management of rice and wheat cropping systems: issues and challenges. **Field Crops Res.** 69: 93-132.

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

Waalkes, M.P. 2000. Cadmium carcinogenesis in review. **J. Inorg. Biochem.** 79: 241-244.

Wang, C.X., Z. Mo, H. Wang, Z.J. Wang and Z.H. Cao. 2003. The transportation, time-dependent distribution of heavy metals in paddy crops. **Chemoshere.** 50: 717-723.

Whittaker, P. 1998. Iron and zinc interactions in humans. **Am. J. Clin. Nutr.** 68: 442s-446s.

World Health Organization. 1972. **WHO Food Additives Series No.4.** Cadmium (WHO Food Additives Series No.4). Available Source: http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v004je04.htm, September, 30, 2008.

_____. 1996. **Trace Elements in Human Nutrition and Health.** World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Yakan, H., M. Ali Gürbüz, F. Avsar, H. Sürek and N. beser. 2001. The effect of zinc application on rice yield and some agronomic characters. **Cahiers Options méditerranéennes**.

Yang X., V. Römheld, H. Marschner and R.L. Chaney. 1994. Application of chelator-buffered nutrient solution technique in studies on zinc nurtrition in rice plant (*Oryza sativa* L.). **Plant Soil.** 163: 85-94.

Yost, K.J. 1984. Cadium, the environment and human health: an overview. **Experientia.** 40: 157-164.

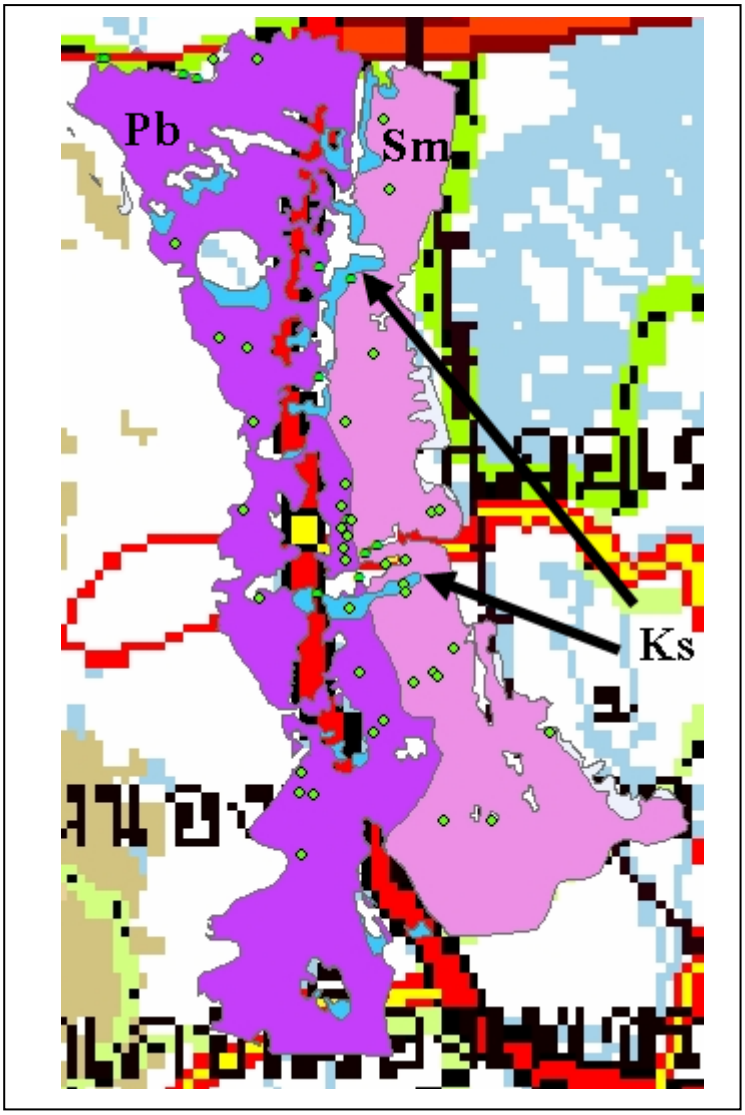
Zeng, F., Y. Mao, W. Cheng, F. Wu and G. Zhang. 2007. Genotypic and environmental variation in chromium, cadmium and lead concentrations in rice. **Environ. Pollut.** doi:10.1016/j.envpol.2007.08.022.

Zhang, Z.W., C.S. Moon, T. Watanabe, S. Shimbo and M. Ikeda. 1997. Contents of pollutant and nutrient elements in rice and wheat grown on the neighboring fields. **Biol. Trace Elem. Res.** 157 (1): 39-50.

Zhong-qiu, Z., Z. Yong-guan and C. YUN-long. 2005. Effects of zinc on cadmium uptake by spring wheat (*Triticum aestivum, L.*): long-time hydroponic study and short-time ^{109}Cd tracing study. **J. Zhejiang Univ. Sci.** (7): 643-648.

Zhou ,Q., Y. Wu and X. Xiong. 1994. Compound pollution of Cd and Zn and its ecological effect on rice plant. **Chin. J. Appl. Ecol.** 5: 428-441.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างดิน ต้นข้าว และเมล็ดข้าวจากชุดดินเพชรบุรี (Pb:) ชุดดินสมุทรปราการ (Sm:) และชุดดินกำแพงแสน (Ks:) ต้นข้าว และเมล็ดข้าว ในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

ภาพผนวกที่ 2 การทดลองที่ 2 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 กข 23 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 28 วันหลังการย้ายปลูก ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี 12 ระดับความเข้มข้น

ภาพผนวกที่ 3 การทดลองที่ 3 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 กข 23 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 3 ที่อายุ 45 วันหลังการย้ายปลูก ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสีร่วมกับแคดเมียม

ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ของสมบัติดินต่อปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ ต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

	rice	leaf	straw	avail. Cd	avail. Zn	pH	%sand	%silt	%clay	EC	% O.M.	avail. P	avail. K	total Zn	total Cd	avail. Na	avail. Ca	avail. Mg	total Mn	avail. Mn	total Fe	avail. Fe
rice	1																					
leaf	0.06	1																				
straw	-0.25	0.17	1																			
avail. Cd	-0.2	0.53*	0.06	1																		
avail. Zn	0.1	-0.05	-0.43	0.45*	1																	
pH	0.34	-0.29	-0.42	-0.32	0.17	1																
%sand	-0.21	0.19	0.25	-0.1	-0.67*	-0.24	1															
%silt	0.2	-0.48*	-0.37	-0.23	0.15	0.13	-0.41	1														
%clay	0.11	0.07	-0.06	0.24	0.64*	0.19	-0.84*	-0.14	1													
EC	0.16	0.07	-0.31	0.03	0.29	0.28	-0.01	-0.23	0.15	1												
% O.M.	-0.09	0.13	-0.21	0.47*	0.38	-0.26	-0.04	0.02	0.03	0.44	1											
avail. P	0.32	-0.35	-0.4	-0.02	0.34	0.45*	-0.34	0.41	0.12	-0.04	-0.12	1										
avail. K	0.21	-0.06	-0.36	0.1	0.49*	0.32	-0.17	-0.1	0.24	0.85*	0.50*	0.18	1									
total. Zn	0.05	-0.04	-0.43	0.35	0.64*	0.07	-0.32	-0.05	0.38	0.52*	0.79*	0.06	0.65*	1								
total. Cd	0.09	0.09	-0.56*	0.44	0.86*	0.38	-0.53*	0.11	0.52*	0.53*	0.48*	0.28	0.63*	0.70*	1							
avail. Na	0.16	-0.12	-0.34	0.02	0.41	0.33	-0.04	-0.13	0.12	0.86*	0.50*	0.14	0.98*	0.61*	0.56*	1						
avail. Ca	0.52*	0	-0.53*	0.02	0.36	0.63	-0.37	0.17	0.31	0.43	0.24	0.50*	0.37	0.38	0.58*	0.33	1					
avail. Mg	-0.04	0.11	-0.3	0.5	0.62*	0.13	-0.29	-0.08	0.36	0.48*	0.78*	-0.02	0.54*	0.80*	0.71*	0.52*	0.49*	1				
total Mn	0.04	-0.17	-0.22	-0.04	0.47*	0.32	-0.61*	0.03	0.65*	0.38	0.28	0.04	0.56*	0.56*	0.49*	0.49*	0.31	0.52*	1			
avail. Mn	-0.04	-0.06	-0.19	0.14	0.36	0.08	-0.21	-0.17	0.33	0.79*	0.55*	0	0.85*	0.65*	0.49*	0.81*	0.22	0.48*	0.68*	1		
total Fe	0.19	-0.07	-0.52*	0.27	0.68*	0.3	-0.4	0.03	0.42	0.73*	0.71*	0.15	0.84*	0.89*	0.80*	0.79*	0.55*	0.80*	0.67*	0.80*	1	
avail. Fe	-0.24	0.02	0.21	-0.02	-0.39	-0.68*	0.11	0.31	-0.31	-0.48*	-0.03	-0.33	-0.51*	-0.36	-0.49*	-0.50*	-0.54*	-0.42	-0.37	-0.28	-0.45*	1

หมายเหตุ - เครื่องหมาย * กำกับไว้ แสดงว่ามีความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ของสมบัติดินต่อปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ใบ ต้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปลูกในอำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี

	rice	leaf	straw	avail. Cd	avail. Zn	pH	%sand	%silt	%clay	EC	% O.M.	avail. P	avail. K	total Zn	total Cd	avail. Na	avail. Ca	avail. Mg	total Mn	avail. Mn	total Fe	avail. Fe
rice	1																					
leaf	0.15	1																				
straw	0.41*	0.1	1																			
avail. Cd	-0.09	-0.11	-0.01	1																		
avail. Zn	-0.08	-0.11	0.06	0.06	1																	
pH	-0.03	0.07	-0.21	-0.34*	-0.3	1																
%sand	0.13	0.22	0.19	0.16	-0.12	-0.33*	1															
%silt	-0.26	-0.28	-0.09	-0.12	0.07	-0.12	-0.32*	1														
%clay	0.03	-0.05	-0.13	-0.09	0.08	0.41*	-0.81*	-0.3	1													
EC	0.22	-0.08	-0.1	-0.05	0.24	0.24	-0.24	-0.11	0.31	1												
% O.M.	-0.11	0.03	0.01	0.35*	0.57*	-0.13	-0.08	0.01	0.08	0.15	1											
avail. P	-0.21	0.03	-0.18	-0.04	0.49*	0.14	-0.08	0.13	0	0.08	0.3	1										
avail. K	-0.05	-0.1	-0.28	-0.11	0.56*	0.26	-0.52*	0.02	0.51*	0.64*	0.34*	0.52*	1									
total. Zn	-0.14	-0.16	-0.32*	0.19	0.54*	0.14	-0.51*	0	0.52*	0.3	0.55*	0.24	0.69*	1								
total. Cd	0.09	0.12	-0.07	-0.1	0.42*	0.21	-0.1	-0.19	0.22	0.41*	0.39*	0.53*	0.54*	0.41*	1							
avail. Na	-0.01	-0.12	-0.27	-0.28	0.16	0.43*	-0.40*	-0.12	0.48*	0.56*	-0.03	0.23	0.65*	0.40*	0.47*	1						
avail. Ca	-0.2	-0.01	-0.3	0.12	0.50*	0.21	-0.39*	-0.07	0.44*	0.09	0.65*	0.50*	0.65*	0.78*	0.44*	0.25	1					
avail. Mg	-0.03	-0.06	-0.29	-0.15	0.38*	0.44*	-0.49*	-0.28	0.67*	0.58*	0.22	0.34*	0.80*	0.67*	0.58*	0.76*	0.62	1				
total Mn	0.05	0.16	0.23	0.35*	-0.18	-0.28	0.15	0.04	-0.18	-0.17	0.04	-0.29	-0.33*	-0.19	-0.1	-0.38*	-0.2	-0.28	1			
avail. Mn	-0.16	0	0.1	0.29	0.26	-0.46*	0.07	0.04	-0.1	-0.19	0.24	0.24	0.1	0.16	0.1	-0.23	0.25	-0.08	0.44*	1		
total Fe	0.03	-0.02	-0.22	0	-0.22	0.25	-0.31	-0.3	0.50*	0.05	-0.14	-0.28	0.08	0.31*	-0.01	0.3	0.17	0.39*	-0.02	-0.11	1	
avail. Fe	-0.07	0.02	0.11	0.09	0.29	-0.64*	0.24	0.12	-0.32*	-0.23	0.3	0.21	-0.14	-0.03	0.14	-0.33*	0.05	-0.32*	0.02	0.43*	-0.38*	1

หมายเหตุ - เครื่องหมาย * กำกับไว้ แสดงว่ามีความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางผนวกที่ 3 ความสูง (ซม.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสี (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
1	57.00	56.00	57.50	55.50	54.00	56.00
10	58.50	52.00	54.00	60.50	59.75	56.95
25	60.50	54.50	57.50	59.00	59.00	58.10
50	59.75	51.00	57.75	58.50	61.00	57.60
75	59.00	53.00	55.00	57.75	55.00	55.95
100	59.50	49.50	55.75	62.00	57.50	56.85
125	60.00	54.00	59.50	62.00	57.50	58.60
150	55.25	55.00	56.25	62.25	55.50	56.85
175	54.50	55.50	54.50	62.25	57.75	56.90
200	52.00	57.00	57.50	56.01	58.00	56.10
250	59.00	53.50	58.50	52.00	55.50	55.70
300	53.00	57.50	55.50	59.75	56.50	56.45
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	57.33 a	54.04 b	56.60 a	58.96 a	57.25 a	56.84
CV (%)	6.40%					
F -test (พันธุ์ข้าว)	**					
F-test (Zn)	ns					
F -test (พันธุ์ข้าว × Zn)	ns					

หมายเหตุ
- เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 4 การแตกกอ (กอ) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสี (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
1	12.50	12.50	18.00	7.50	12.00	12.50
10	10.00	11.00	12.50	11.00	16.00	12.10
25	13.50	12.50	11.50	14.50	12.00	12.80
50	18.00	11.50	11.50	12.50	16.00	13.90
75	11.00	11.00	12.50	10.00	11.00	11.10
100	12.50	9.50	15.50	14.00	12.00	12.70
125	12.50	11.50	14.00	12.50	12.00	12.50
150	8.50	13.00	12.50	12.00	12.00	11.60
175	10.00	12.50	11.00	11.50	11.00	11.20
200	8.00	9.00	13.00	6.50	11.50	9.60
250	9.50	9.50	13.00	7.50	6.50	9.20
300	8.50	11.50	13.50	10.00	8.00	10.30
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	11.20	11.30	13.20	10.80	11.70	11.60
CV (%)	28.20%					
F -test (พันธุ์ข้าว)	ns					
F-test (Zn)	ns					
F -test (พันธุ์ข้าว × Zn)	ns					

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 5 น้ำหนักแห้งตอซัง (กรัม) ของตอซังข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสี (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
1	2.29	2.77	3.67	1.78	1.48	2.40
10	2.01	1.79	2.32	2.71	3.57	2.48
25	3.88	1.82	2.71	3.32	3.20	2.98
50	3.51	1.60	1.84	2.04	3.34	2.46
75	4.19	2.14	1.98	3.12	1.63	2.61
100	2.88	1.49	2.81	3.45	2.58	2.64
125	2.49	2.40	2.97	3.15	2.60	2.72
150	1.60	2.29	2.14	3.38	2.76	2.43
175	1.96	2.32	3.09	2.33	2.57	2.45
200	1.68	1.92	2.98	2.26	2.83	2.13
250	1.48	1.45	3.38	1.45	1.37	1.82
300	1.54	2.38	2.74	2.71	2.87	2.44
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	2.46	2.03	2.72	2.56	2.56	2.46
CV (%)	35.30%					
F -test (พันธุ์ข้าว)	ns					
F-test (Zn)	ns					
F -test (พันธุ์ข้าว × Zn)	ns					

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณสังกะสีในตอซัง (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสี (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
1	24.38 h	23.75 g	24.38 g	25.63 e	15.63 e	22.75 g
10	50.00 gh	60.63 fg	65.00 fg	67.50 de	55.00 de	59.63 fg
25	76.88 gh	71.90 efg	85.69 fg	79.38 de	95.63 cde	81.86 fg
50	143.75 fg	125.00 def	146.25 ef	140.00 cd	128.13 cd	136.63 e
75	180.75 ef	147.50 def	207.50 de	202.50 bc	143.13 cd	176.28 de
100	225.63 ef	168.13 cde	230.63 de	194.38 bc	160.63 c	195.88 d
125	267.50 de	206.25 bcd	295.63 cd	268.75 b	256.25 b	258.88 c
150	410.63 bc	253.13 bc	344.38 c	263.75 b	307.50 b	315.88 b
175	330.63 cd	276.25 b	331.25 c	276.25 b	320.63 b	307.00 b
200	371.88 c	288.13 b	360.63 bc	163.13 cd	320.63 b	300.88 b
250	508.75 a	262.50 bc	443.75 ab	410.00 a	466.88 a	418.38 a
300	467.50 ab	400.00 a	481.25 a	415.00 a	440.63 a	440.88 a
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	254.86 a	190.26 d	251.36 ab	208.85 cd	225.89 b	226.24
CV (%)	19.8					
F -test (พันธุ์ข้าว)	**					
F-test (Zn)	**					
F -test (พันธุ์ข้าว × Zn)	ns					

หมายเหตุ
- เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีของตอซังข้าว (มก./ต้น) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 28 วัน หลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 1 - 300 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสี (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
1	0.055 c	0.065 b	0.089 g	0.048 d	0.030 e	0.057 g
10	0.096 bc	0.108 b	0.143 fg	0.184 cd	0.200 de	0.147 fg
25	0.292 abc	0.130 b	0.231 efg	0.270 bcd	0.301 cde	0.245 efg
50	0.479 abc	0.218 b	0.269 efg	0.284 bcd	0.431 b-e	0.336 def
75	0.749 a	0.312 b	0.411 d-g	0.622 abc	0.228 de	0.464 de
100	0.649 ab	0.243 b	0.653 c-f	0.661 abc	0.414 b-e	0.524 cd
125	0.667 a	0.489 b	0.876 bcd	0.816 ab	0.657 bcd	0.701 bc
150	0.561 abc	0.601 ab	0.735 cde	0.893 a	0.868 ab	0.731 bc
175	0.646 ab	0.636 ab	1.027 abc	0.641 abc	0.825 abc	0.755 bc
200	0.636 ab	0.563 ab	1.072 abc	0.283 bcd	0.910 ab	0.693 bc
250	0.752 a	0.380 b	1.499 a	0.594 a-d	0.634 bcd	0.772 bc
300	0.718 a	1.034 a	1.304 ab	1.110 a	1.251 a	1.083 a
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	0.525 a	0.398 b	0.693 a	0.534 a	0.563 a	0.542
CV (%)	44.60%					
F -test (พันธุ์ข้าว)	**					
F-test (Zn)	**					
F -test (พันธุ์ข้าว × Zn)	ns					

หมายเหตุ
- เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่าง กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 8 ความสูง (ซม.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
Zn10	61.67 a	55.67 a	50.67 a	60.33 a	58.33 a	57.33 a
Zn10+Cd20	41.00 b	40.00 b	40.33 bc	30.00 b	38.33 bc	37.93 b
Zn25+Cd20	36.33 bc	30.33 b	46.00 ab	37.00 b	36.67 bc	37.27 b
Zn50+Cd20	28.67 c	37.67 b	20.00 d	33.67 b	43.33 b	32.67 b
Zn75+Cd20	32.33 bc	35.50 b	32.33 c	32.83 b	30.33 c	32.67 b
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	40.00 a	39.83 a	37.87 a	38.77 a	41.40 a	39.57
CV (%)	14.3					
F-test (พันธุ์ข้าว)	ns					
F-test (สารละลาย)	**					
F-test (พันธุ์ข้าว × สารละลาย)	**					

หมายเหตุ
- เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 9 การแตกกอ (กอ) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
Zn10	17.00 b	16.67 b	19.67 ab	12.33 c	12.00 c	15.53 c
Zn10+Cd20	22.00 ab	26.67 a	22.67 ab	26.67 ab	21.33 ab	23.87 b
Zn25+Cd20	23.00 ab	26.67 a	18.67 b	21.33 b	18.33 bc	21.60 b
Zn50+Cd20	24.00 ab	24.00 a	27.00 a	23.33 ab	21.67 ab	24.00 b
Zn75+Cd20	29.33 a	31.00 a	27.00 a	29.33 a	27.00 a	28.73 a
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	23.07 a	25.00 a	23.00 a	22.60 a	20.07 b	22.75
CV (%)	18.8					
F-test (พันธุ์ข้าว)	*					
F-test (สารละลาย)	**					
F-test (พันธุ์ข้าว × สารละลาย)	ns					

หมายเหตุ
- เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 10 น้ำหนักแห้งตอซัง (กรัม) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตร ร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
Zn10	10.64 a	7.25 a	5.74 a	6.00 a	5.63 a	7.05 a
Zn10+Cd20	3.85 b	5.70 ab	2.40 b	4.62 ab	4.28 ab	4.17 b
Zn25+Cd20	3.91 b	4.66 bc	2.22 b	4.28 ab	4.33 ab	3.88 b
Zn50+Cd20	3.29 b	3.37 c	2.46 b	3.26 b	4.33 ab	3.34 b
Zn75+Cd20	3.88 b	4.48 bc	2.88 b	3.88 ab	3.38 b	3.70 b
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	5.11 a	5.09 a	3.14 a	4.41 a	4.39 a	4.43
CV (%)	27.6					
F-test (พันธุ์ข้าว)	**					
F-test (สารละลาย)	**					
F-test (พันธุ์ข้าว × สารละลาย)	*					

หมายเหตุ
- เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณสังกะสีในตอซัง (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
Zn10	60.43 e	72.40 d	94.20 e	75.63 e	72.96 e	75.13 e
Zn10+Cd20	88.24 d	65.05 d	108.84 d	84.49 d	116.74 d	92.67 d
Zn25+Cd20	153.13 c	95.03 c	282.63 b	135.66 c	143.02 c	161.90 c
Zn50+Cd20	199.54 b	205.12 a	274.48 c	192.53 b	311.14 b	236.56 b
Zn75+Cd20	298.42 a	194.69 b	309.21 a	272.10 a	333.83 a	281.65 a
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	159.95	126.46	213.88	152.08	195.54	169.58
CV (%)	2.7					
F-test (พันธุ์ข้าว)	**					
F-test (สารละลาย)	**					
F-test (พันธุ์ข้าว × สารละลาย)	**					

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณการดูดใช้สังกะสีในตอซัง (มก./ต้น) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วัน หลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
Zn10	0.643 b	0.525 ab	0.540 ab	0.454 b	0.411 b	0.515 cd
Zn10+Cd20	0.340 b	0.371 b	0.261 b	0.390 b	0.500 b	0.372 d
Zn25+Cd20	0.598 b	0.443 b	0.628 ab	0.581 b	0.620 b	0.574 c
Zn50+Cd20	0.657 b	0.692 ab	0.680 a	0.630 b	1.349 a	0.802 b
Zn75+Cd20	1.159 a	0.873 a	0.890 a	1.085 a	1.127 a	1.027 a
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	0.679 ab	0.581 b	0.600 b	0.628 b	0.801 a	0.658
CV (%)	32.5					
F-test (พันธุ์ข้าว)	*					
F-test (สารละลาย)	**					
F-test (พันธุ์ข้าว × สารละลาย)	ns					

หมายเหตุ
- เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- เครื่องหมาย ns กำกับไว้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณแคดเมียมในตอซัง (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วันหลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
Zn10+Cd20	126.00 d	93.38 c	184.33 c	103.96 c	149.25 c	131.39 c
Zn25+Cd20	150.79 c	83.17 d	250.67 a	139.58 b	122.50 d	149.34 b
Zn50+Cd20	176.25 b	175.42 a	187.21 c	141.00 b	187.13 a	173.40 a
Zn75+Cd20	213.04 a	121.63 b	198.00 b	152.71 a	172.67 b	171.61 a
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	166.52 b	118.40 e	205.05 a	134.31 d	157.89 c	156.43
CV (%)			1.1			
F-test (พันธุ์ข้าว)			**			
F-test (สารละลาย)			**			
F-test (พันธุ์ข้าว × สารละลาย)			**			

หมายเหตุ - เครื่องหมาย ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 14 ปริมาณการดูดใช้แคดเมียมในตอซัง (มก./ต้น) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อายุ 45 วัน หลังจากย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณสังกะสี ระดับ 10 - 75 ไมโครโมลต่อลิตรร่วมกับปริมาณแคดเมียม 20 ไมโครโมลต่อลิตร

ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (ไมโครโมลต่อลิตร)	พันธุ์ข้าว					ค่าเฉลี่ยตำรับการทดลอง
	Cn 1	Pt 1	RD 23	Sb 1	Sb 3	
Zn10+Cd20	0.485 b	0.533 a	0.515 b	0.480 a	0.639 a	0.530 a
Zn25+Cd20	0.589 b	0.388 b	0.684 a	0.598 a	0.605 a	0.572 a
Zn50+Cd20	0.580 b	0.591 a	0.560 a	0.461 a	0.633 a	0.565 a
Zn75+Cd20	0.827 a	0.545 a	0.664 a	0.593 a	0.463 b	0.619 a
ค่าเฉลี่ยพันธุ์	0.620 a	0.514 a	0.606 a	0.533 a	0.669 a	0.576
CV (%)	16.5					
F-test (พันธุ์ข้าว)	*					
F-test (สารละลาย)	*					
F-test (พันธุ์ข้าว × สารละลาย)	*					

หมายเหตุ - เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายรุจ เกษตรสุวรรณ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เกษตร)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์