ปริมาณแคดเมียมในข้าวที่ปลูกในดินนาปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ ลุ่มน้ำแม่ตาว จังหวัดตาก ประเทศไทย

Cadmium Contents in Rice Grown in Cd Contaminated Paddy Fields in Mae Tao Floodplains Tak Province Thailand

ธนภัทร ปลื้มพวก, [1,2] ธงชัย มาลา[1] และ อรุณศิริ กำลัง[1]*

Thanapat Pluemphuak,[1,2*] Thongchai Mala[1]and Arunsiri Kumlung[1]

ABSTRACT

The purpose of this research was to examine the contents of cadmium (Cd) that contaminated in paddy fields and accumulated in the stems, milled grains and husks of rice growing in the areas of Mae Tao river floodplains. Twelve sites of rice fields, 4 from each of the 3 locations of floodplain about the headwaters (A), midstream (B) and the end (C) of Mae Tao river were the study areas. Soil samples were collected from the surface layer of 0-15 cm deep for the study of some soil properties and Cd content before planting and after harvesting. The plant height were recorded on day 45, 90 and 120 after planting. The Cd contents in stems, milled grains and husks of rice were determined. The Cd contents in soils of the 3 locations were significantly different and were 15.35-36.20, 12.00-17.67 and 11.45-46.87 mg/kg, for around headwaters, midstream and river end, respectively. The grain yields were likely decreased with the increases of soil Cd content. The range of Cd contents in milled grains was 7.15-14.24 mg/kg, which is greater by 35.7-71.2 times the content (0.2 mg/kg) for safety consumption recommended by CODEX standard.

Keywords: Cadmium, Mae Tao floodplains, Paddy fields, Rice

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวัดปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินนาและความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในข้าวที่ปลูกในดินนาบริเวณลุ่มน้ำแม่ตาว โดยกำหนดพื้นที่ปลูกข้าวจำนวน 12 แปลง ใน 3 พื้นที่คือ พื้นที่ต้นน้ำ (A) พื้นที่กลางน้ำ (B) และพื้นที่ปลายน้ำ (C) โดยแต่ละพื้นที่สุ่มตัวอย่างแปลงนามา 4แปลงและในแต่ละแปลงได้ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ระดับความลึก 0-15 ซม. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและสมบัติบางประการของดิน เก็บข้อมูลความสูงของต้นข้าวที่อายุหลังปักดำ 45, 90 และ

[1*]ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรกาแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกาแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture KamphaengSaen, Kasetsart University, KamphaengSaen Campus, NakhonPathom 73140, Thailand.

[2*]ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Central Laboratory and Greenhouse Complex, Faculty of Agriculture KamphaengSaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, NakhonPathom 73140, Thailand.

[*]Corresponding author: Tel.08-6173-6743, E-mail address: rditnp@ku.ac.th

120 วัน น้ำหนักของต้นข้าวส่วนเหนือดิน และผลผลิต เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในข้าวส่วนเหนือดิน ข้าวสารและแกลบ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแคดเมียมในดินทั้ง 3 พื้นที่ปลูกข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยพื้นที่ปลูกข้าว ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ มีปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วง 15.35-36.20, 12.00-17.67 และ 11.45-46.87 มก./กก.ตามลำดับและพบว่าผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลงในแปลงที่พบปริมาณแคดเมียมในดินสูง และปริมาณแคดเมียมในข้าวสารอยู่ในช่วง 7.15-14.24 มก./กก.เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน CODEX ของปริมาณแคดเมียมในอาหารพบว่าเกินกว่ามาตรฐาน (0.2 มก./กก.)

คำสำคัญ: ข้าว แคดเมียม แปลงนา ลุ่มน้ำแม่ตาว

บทนำ

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตแร่สังกะสี การสะสมแคดเมียมปริมาณสูงในลุ่มน้ำจะส่งเสริมให้แคดเมียมเคลื่อนย้ายไปสู่ลำห้วยและน้ำชลประทานได้ (Takijima and Katsumi, 1973) และเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือ ทางเดินอาหารและทางเดินหายใจ แคดเมียมเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้ และเมื่อสะสมเป็นปริมาณมากก่อให้เกิดการทำลายไต (Singh and McLaughlin, 1999) ดังนั้นแคดเมียมจึงเป็นธาตุที่ควรติดตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการเกษตร เพราะสามารถสะสมในพืชอาหารในระดับที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ได้ โดยเฉพาะข้าว (*Oryza sativa* L.) ซึ่งเป็นพืชที่สำคัญของโลกที่มนุษย์ใช้รับประทาน (Kirkham, 2006) พื้นที่นาข้าวส่วนใหญ่ในทวีปเอเชียเป็นพื้นที่ได้รับน้ำชลประทาน Yanagisawa *et al.* (1984) รายงานว่าในประเทศญี่ปุ่น มีประชาชนเจ็บป่วยเนื่องจากแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน โดยแคดเมียมที่มีอยู่ในวัสดุเหลือทิ้งจากเหมืองแร่สังกะสีเข้ามาปนเปื้อนในนาข้าว เป็นผลให้ข้าวดึงแคดเมียมจากดินมาใช้และเกิดการสะสมในเมล็ด ทำให้เกิดการเจ็บป่วยของประชาชนที่บริโภคข้าวที่ปลูกในนาที่มีการปนเปื้อน

สำหรับประเทศไทย ศิริลักษณ์ (2548) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณพื้นที่ราบลุ่มของลุ่มน้ำแม่กุ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมและสังกะสีในดินตัวอย่าง 2 รูปแบบ คือ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด และปริมาณโลหะหนักในรูปที่พืชสามารถดูดซึมได้ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ ไอซีพี-โออีเอส (ICP-OES) ทั้งนี้พบว่าปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดในตัวอย่างมีค่าระหว่าง 0.42-101.69 และ 29.34-2,347.74 มก./กก. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.93 และ 209.94 มก./กก. ตามลำดับ Anongnat *et al*. (2012) ได้ประเมินการปนเปื้อนแคดเมียมในนาข้าว จากครัวเรือนที่บริโภคข้าวจำนวน 23 ครัวเรือนในหมู่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมในเมล็ดข้าวเปลือกมีตั้งแต่ 0.04-1.75 มก./กก. และมากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวอย่างข้าวทั้งหมดที่ศึกษามีระดับแคดเมียมสูงกว่ามาตรฐาน CODEX

การวิเคราะห์ดินและพืชที่ปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ดังกล่าวจากรายงานของ พิชิต (2545) พบตัวอย่างดินบริเวณที่ได้รับน้ำชลประทานจากลุ่มน้ำแม่ตาวที่ติดกับคลองส่งน้ำเข้าแปลงปลูกข้าวมีความเข้มข้นของแคดเมียมสูงมากซึ่งสูงกว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ของ CODEX ปัญหาดินที่ปนเปื้อนธาตุโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าวจึงจัดเป็นปัญหาเร่งด่วนในขณะนั้นคณะรัฐบาลไทยจึงได้จัดปัญหาดังกล่าวเข้าเป็นวาระแห่งชาติ พ.ศ. 2547 เพื่อเร่งหาแนวทางแก้ไขปัญหารวมทั้งดูแลความปลอดภัยสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ โดยได้จัดหาพืชอื่นเพื่อปลูกทดแทนข้าว เช่น ส่งเสริมให้ปลูกอ้อยและยางพารา เป็นต้น แต่ในปัจจุบันเกษตรกรในพื้นที่ ไม่ได้ปลูกพืชตามที่รัฐบาลแนะนำอีก โดยหันกลับมาใช้พื้นที่ดังกล่าวปลูกข้าว

เนื่องจากข้าวเป็นพืชอาหารหลักของคนในพื้นที่และพื้นที่แถบนี้ก็เป็นที่ลุ่มเหมาะกับการทำนาไม่เหมาะกับพืชที่รัฐบาลแนะนำงานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อตรวจวัดปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลของความเข้มข้นของแคดเมียมในดินต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมในข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมบริเวณลุ่มน้ำแต่ตาว จังหวัดตาก ประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน

พื้นที่ศึกษาได้แก่พื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรที่อาศัยน้ำจากลุ่มน้ำแม่ตาว บริเวณตำบลแม่ตาว ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยกำหนดพื้นที่ปลูกข้าวจำนวน 12 แปลง ของพื้นที่ 3 กลุ่มคือ พื้นที่ต้นน้ำ (A) พื้นที่กลางน้ำ (B) และพื้นที่ปลายน้ำ (C) ในแต่ละกลุ่มพื้นที่ประกอบด้วย 4 แปลง คือ A1-A4, B1-B4 และ C1-C4 ตามลำดับดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งลุ่มน้ำแม่ตาวเป็นลำน้ำสาขาหลักที่ใช้ในการทำนาข้าว (นาดำ) โดยจะทำนาปีละ 1 ครั้ง ในช่วงหน้าฝน ระหว่างเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายนของทุกปี

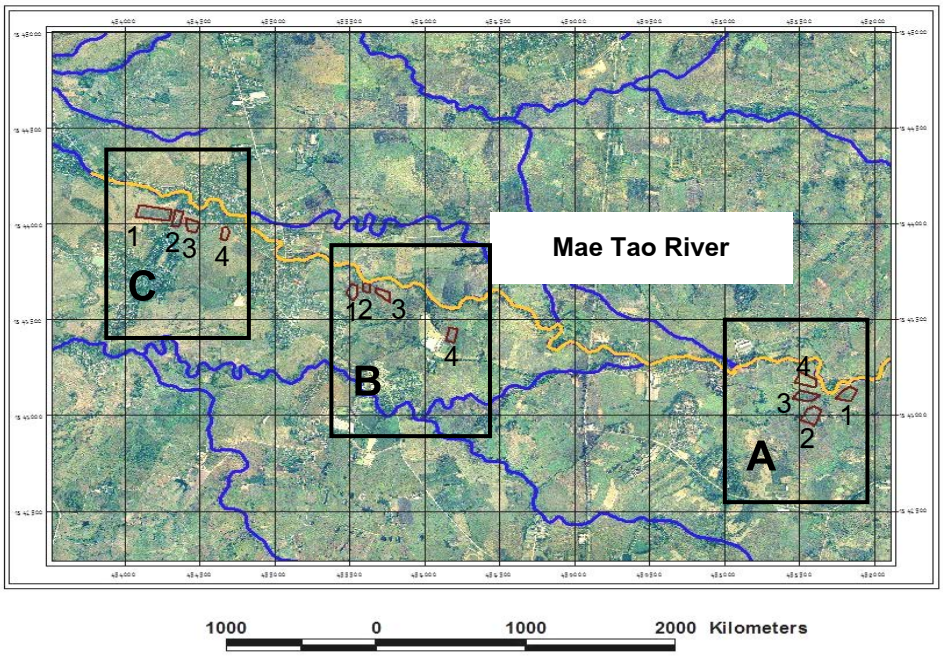

Figure 1 Location of the study areas, distribution of the 12 paddy fields along the Mae Tao floodplains.

2. การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

1) สุ่มเก็บตัวอย่างดิน (random sampling) ให้ทั่วแปลงจำนวน 15 จุด ขุดหลุมเป็นรูปตัว V ลึกประมาณ 15 ซม. จากนั้นใช้พลั่วแซะดินบริเวณข้างหลุมหนาประมาณ 1.5 ซม. แล้วปาดดินทั้งสองข้างของพลั่วทิ้งเก็บส่วนกลางของพลั่วใส่ถังพลาสติก ผสมดินในถังที่เก็บจากทุกจุดให้เข้ากัน แล้วแบ่งดินออกเป็น 4 ส่วน เลือก 1 ส่วนประมาณ 0.5 กก. ใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงจากนั้นนำดินที่เก็บจากแปลงทดลองไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นบดให้ละเอียดและผสมคลุกเคล้าดินให้มีความสม่ำเสมอ นำดินส่วนหนึ่งมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร บรรจุดินลงถุงพลาสติกเพื่อนำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์สมบัติของดินต่อไป เก็บตัวอย่างดินจำนวน 4 ตัวอย่าง ต่อ 1 แปลง โดยเก็บดิน 2 ครั้ง คือดินก่อนการเพาะปลูก และหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

2) การวิเคราะห์สมบัติบางประการของดินและปริมาณแคดเมียมในดิน

วิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter; OM) (Walkley and Black, 1934) วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH) โดยวัดในของเหลวที่เกิดจากการเติมน้ำในดินในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (w/w) ด้วยเครื่อง pH meter (National Soil Survey Center, 1996) ตรวจปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available P) ด้วยวิธีของ Bray II (Bray and Kurtz,1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K^+) สกัดดินด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต 1 นอร์มอล (1N CH_3COONH_4) วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer; AAS (Sparks *et al.,* 1996) และปริมาณแคดเมียมโดยวิธีของ Amacher (1996)

3. การเก็บตัวอย่างข้าวและการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในข้าว

1) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

วัดความสูงต้นข้าวที่อายุ 45, 90 และ 120 วัน หลังปักดำ จำนวน 10 กอ ด้วยการสุ่มวัดในพื้นที่ 2 ตร.ม. โดยวัดจากโคนต้นจนถึงปลายยอดข้าว จากนั้นตัดต้นข้าวที่ระดับความสูงจากพื้นดิน ของแต่ละช่วงอายุดังกล่าว นำต้นข้าวที่ตัดไปชั่งน้ำหนักสดทันที จากนั้นจึงนำตัวอย่างพืชไปอบที่ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 75 °ซ นาน 72 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน หลังปักดำ) สุ่มต้นข้าวจำนวน 10 กอ ภายในพื้นที่ 2 ตร.ม. เพื่อบันทึกผลผลิตเมล็ด (น้ำหนักเมล็ดต่อไร่)

2) การวิเคราะห์แคดเมียมในข้าว

นำตัวอย่างต้นข้าวมาแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ส่วนเหนือดินที่อายุ 45, 90 และ 120 วันหลังปักดำและเมล็ด (ข้าวสาร แกลบ) บดจนละเอียดและชั่งตัวอย่างพืช 0.2 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 75 มล.เติมกรด HNO_3 และ $HClO_4$ (อัตราส่วน 5:2) จำนวน 10 มล.นำหลอดทดลองใส่ในเตาย่อยไฟฟ้าจนได้สารละลายใส กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 50มล. แล้วปรับปริมาตร นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่อง AAS (Amacher, 1996)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan's new Multiple Range Test

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมของข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาวจังหวัดตาก พบว่า

1. สมบัติบางประการของดินและปริมาณแคดเมียมในดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของดินแปลงนาที่ศึกษาก่อนการเพาะปลูกแสดงใน Table 1 โดยพบว่าค่าปฏิกิริยาดินปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ ในแต่ละพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อนำมาประเมินตามรายงานของกองสำรวจดิน (2523) พบว่าปฏิกิริยาดินอยู่ในช่วงกรดจัดมากถึงด่างเล็กน้อยปริมาณอินทรียวัตถุในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงถึงสูงมากส่วนโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูกพบความแปรปรวนของแคดเมียมในดินแต่ละพื้นที่ปลูกข้าว โดยพื้นที่ปลูกข้าว A, B และ C มีปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วง 15.35-36.20, 12.00-17.67 และ 11.45-46.87 มก./กก. (Table 1) ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติโดยแปลง C4 มีปริมาณแคดเมียมสูงที่สุด (46.87 มก./กก.) และแปลง C2 มีปริมาณแคดเมียมต่ำที่สุด 11.45 มก./กก. ซึ่งการสะสม

แคดเมียมโดยทั่วไปมีสาเหตุจากกระบวนการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติของแร่ และการที่ฝนตกชะหน้าดินที่อุดมด้วยแร่สังกะสีและแคดเมียม ลงสู่ต้นน้ำของลำน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนท้องน้ำ และทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคดเมียมได้ โดยปริมาณแคดเมียมที่พบนี้ใกล้เคียงกับผลการวิจัยของอนงค์นาฏ (2549) ที่ศึกษาการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ลุ่ม บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งพบปริมาณแคดเมียมเฉลี่ย 23.00-27.00 มก./กก. โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0-20 ซม. และจากการศึกษานี้พบว่าในจุดที่อยู่ติดกับลุ่มน้ำแม่ตาวมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าจุดอื่นๆ ในพื้นที่ (Figure 2)

Table1 Some properties of soil before planting and extractable Cd of soil after harvesting.

Areas	Before planting				
	pH (1:1)	Organic matter (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	Extractable Cd (mg/kg)
A-1	6.65 bc	1.84 ab	60.64 ab	84.75 f	20.10 d
A-2	6.31 cd	1.69 a-c	38.76 c-e	123.07 b	15.35 de
A-3	6.10 de	1.87 ab	34.07 c-e	80.89 g	27.47 c
A-4	7.36 a	1.84 ab	62.85 ab	106.11 d	36.20 b
Mean A	6.61	1.81	49.08	98.71	24.78
B-1	5.41 f	1.40 c	48.41 b-d	86.44 e	15.05 de
B-2	5.67 ef	1.68 a-c	26.89 e	128.09 a	17.67 de
B-3	5.83 df	1.45 c	72.59 a	79.64 h	13.00 de
B-4	5.86 df	1.80 ab	31.67 de	113.11 c	12.00 e
Mean B	5.70	1.58	44.90	101.82	14.42
C-1	7.09 ab	1.79 ab	48.78 b-d	55.02 i	14.10 de
C-2	7.25 a	2.01 a	26.72 e	27.88 j	11.45 e
C-3	7.27 a	1.59 bc	66.57 ab	28.72 j	16.02 de
C-4	7.46 a	1.70 a-c	51.60 bc	86.33 e	46.87 a
Mean C	7.27	1.77	48.17	49.49	22.10
F-test	**	**	**	**	**
CV %	11.43	10.24	33.52	32.97	53.72

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly.

** = highly significant at $p < 0.01$

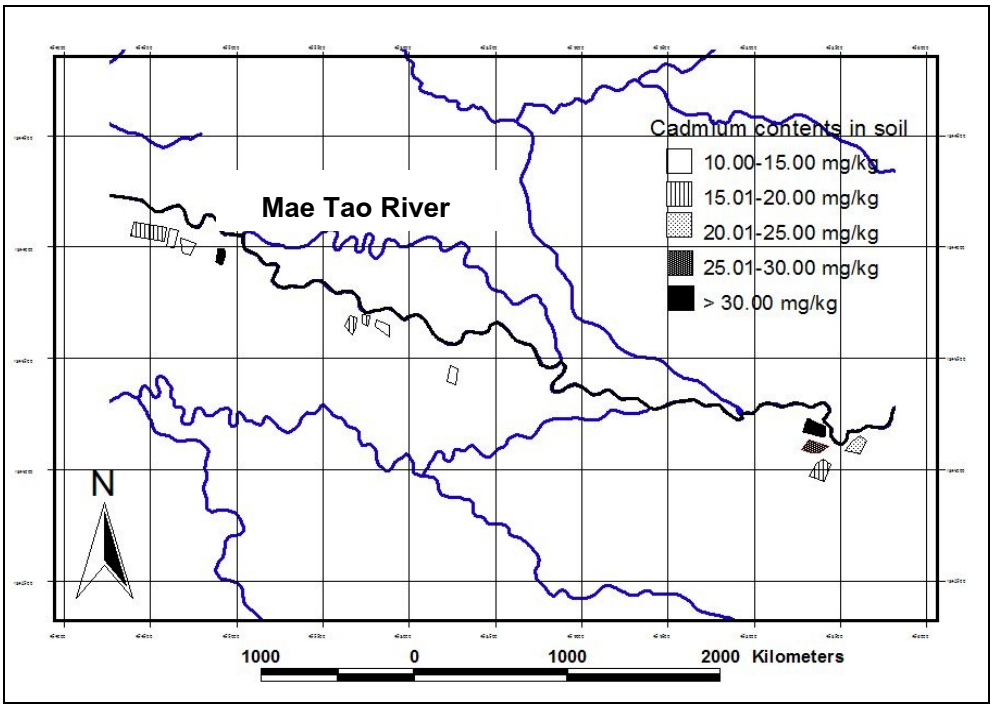

Figure 2 Cd contents in the study areas before planting.

2. การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

Table 2 แสดงความสูงของต้นข้าวที่อายุต่างๆใน 3 กลุ่มพื้นที่เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยเมื่อข้าวมีอายุ 45, 90 และ 120 วัน ในแปลง C1 และ C2 ให้ความสูงของต้นข้าวสูงที่สุดคือ 26.17, 25.60, 77.97, 78.05 และ 101.37, 99.98 ซม.ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่สูงกว่าข้าวในแปลงของพื้นที่ปลูกข้าว A และพื้นที่ปลูกข้าว B และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของต้นข้าวที่อายุ 45, 90 และ 120 วันหลังปลูก กับปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูก (Figure 4) แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคดเมียมในดินไม่ส่งผลต่อความสูงของข้าว เช่นเดียวกับรายงานของพิชิต (2545) พบว่าข้าวที่ปลูกในบริเวณที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมไม่แสดงอาการผิดปกติทางลำต้นและใบให้เห็นด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในลำต้นและใบข้าว สามารถบ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของแคดเมียมต่อข้าวที่จะอาจมีผลทำให้ผลผลิตลดลงถึง 40 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูกกับผลผลิตข้าว พบว่า ปริมาณแคดเมียมมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตข้าว (Table 3) ซึ่งปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูกแสดงใน Table 1 จะพบว่าในแปลง A4 และ C4 มีปริมาณแคดเมียมสูง เท่ากับ 36.20 และ 46.87 มก./กก. ตามลำดับ ส่งผลให้ผลผลิตของแปลง A4 และ C4 ให้ผลผลิตต่ำสุดคือ 464.18 และ 457.29 กก./ไร่ ตามลำดับ ในขณะที่ในพื้นที่ที่มีปริมาณแคดเมียมในดินต่ำ ในแปลง B4 และ C2 มีปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 11.99 และ 11.44 mg/kg ให้ผลผลิตข้าวสูงสุดและใกล้เคียงกันคือ 665.52 และ 666.81 กก./ไร่ ตามลำดับ ทั้งนี้สมการแสดงอิทธิพลของปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูกต่อผลผลิตข้าว ได้แสดงใน Figure 3

Table 2 Plant heights and yields of Khao Dawk Mali 105 growing in Cd contaminated soil of Mae Tao River.

Areas	Plant height (cm)			Yield
	45 days	90 days	120 days	(kg/rai)
A-1	21.59 cd	66.00 cd	91.87 a-c	589.15 bc
A-2	22.63 bc	63.25 d	88.87 c	614.56 b
A-3	21.56 cd	64.37 d	96.45 a-c	519.19 d
A-4	26.00 a	69.22 b-d	90.35 bc	464.18 e
mean A	23.24	65.46	91.29	546.77
B-1	23.75 a-c	75.27 ab	94.92 a-c	592.72 bc
B-2	23.65 a-c	70.37 a-d	89.10 c	528.43 d
B-3	22.55 c	73.32 a-c	93.12 a-c	623.30 b
B-4	22.55 c	73.32 a-c	93.12 a-c	665.52 a
mean B	22.44	71.91	91.96	602.50
C-1	26.17 a	77.97 a	101.37 a	626.18 b
C-2	25.60 a	78.05 a	99.98 ab	666.81 a
C-3	25.20 ab	74.77 ab	93.98 a-c	573.81 c
C-4	23.77 a-c	76.00 ab	95.12 a-c	457.29 e
mean C	23.51	70.98	93.34	581.03
F-test	**	**	**	**
CV %	6.95	7.16	4.15	12.26

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly.

** = highly significant at $p < 0.01$

Table 3 The correlation coefficient between extractable cadmium in soil before planting and in milled rice, rice husk and rice yield.

	Extractable Cd	Milled rice	Rice husk	Yield
Extractable Cd	-	-0.1461	0.0065	-0.9001**
Milled rice	-	-	0.5776*	0.1274
rice husk	-	-	-	0.0239
Yield	-	-	-	-

*’ ** represent that the correlation relationships are significant at the levels of 0.05 and 0.01 respectively

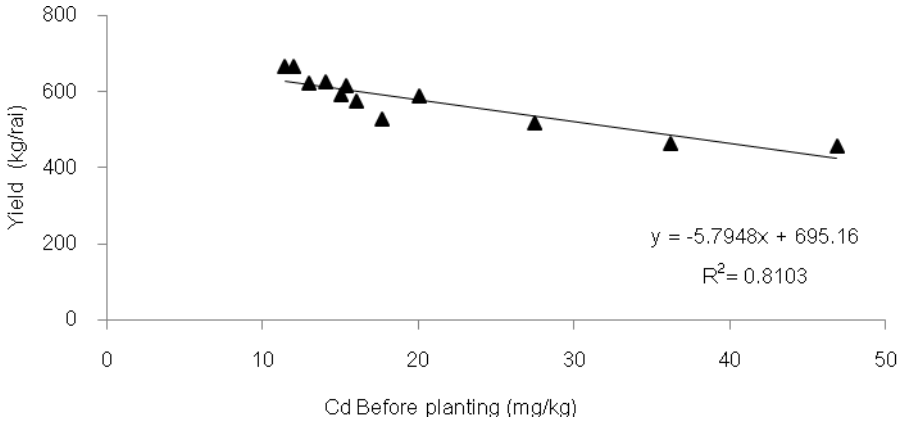

Figure 3 The linear correlation between cadmium contents in soil before planting and rice yield.

3. ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในต้นข้าวส่วนเหนือดินและในเมล็ดข้าวสาร

ปริมาณแคดเมียมในต้นข้าวที่อายุต่างกันใน 3 กลุ่มพื้นที่แสดงใน Table 4 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในต้นข้าวที่อายุ 45, 90 และ 120 วันหลังปักดำ พบปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในพื้นที่ปลูกข้าว A, B และ C เท่ากับ 10.54, 12.97, 14.27 มก./กก. 10.67, 11.00, 13.00 มก./กก. และ 10.11, 10.81, 11.31 มก./กก. ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Simmons *et al.* (2003) ศึกษาความเข้มข้นของแคดเมียมในต้นข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมบริเวณบ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบความเข้มข้นแคดเมียมในต้นข้าวอยู่ในช่วง 0.38-22.00 มก./กก. จากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าช่วงเวลาที่เปลี่ยนไป ยังคงพบปริมาณแคดเมียมในพื้นที่อยู่ และพืชยังคงสามารถดูดไปสะสมอยู่ในต้นและใบ โดยเฉพาะในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ศึกษายังคงพบปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือดินสูงถึง 17.34 มก./กก. ในพื้นที่ปลูกข้าว A และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมในต้นข้าวที่อายุ 45, 90 และ 120 วันหลังปลูก กับปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูก (Figure 4) ไม่พบความสัมพันธ์ของแคดเมียมในดินต่อการสะสมแคดเมียมในต้นข้าวที่อายุต่างๆ กัน

Table 4 Cd contents in shoot of Khao Dawk Mali 105 growing in Cd contaminated soil of Mae Tao River.

Areas	Total Cd (mg/kg)		
	45 days	90 days	120 days
A-1	10.89 b	13.23 b	17.34 a
A-2	10.29 b-d	16.06 a	15.04 b
A-3	9.99 cd	11.03 c-f	11.75 cd
A-4	10.97 b	11.56 c-e	12.95 c
mean A	10.54	12.97	14.27
B-1	10.02 cd	10.52 d-f	16.69 a
B-2	9.82 d	10.34 ef	12.21 cd
B-3	10.10 b-d	11.17 c-f	11.69 cd
B-4	12.71 a	11.96 c	11.40 cd
mean B	10.66	11.14	12.99
C-1	9.91 cd	10.99 c-f	11.28 d
C-2	10.77 bc	11.70 cd	10.93 d
C-3	9.85 d	10.30 f	11.05 d
C-4	9.88 cd	10.24 f	11.96 cd
mean C	10.10	10.81	11.31
F-test	**	**	**
CV %	7.96	14.21	17.38

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly.

** = highly significant at $p < 0.01$

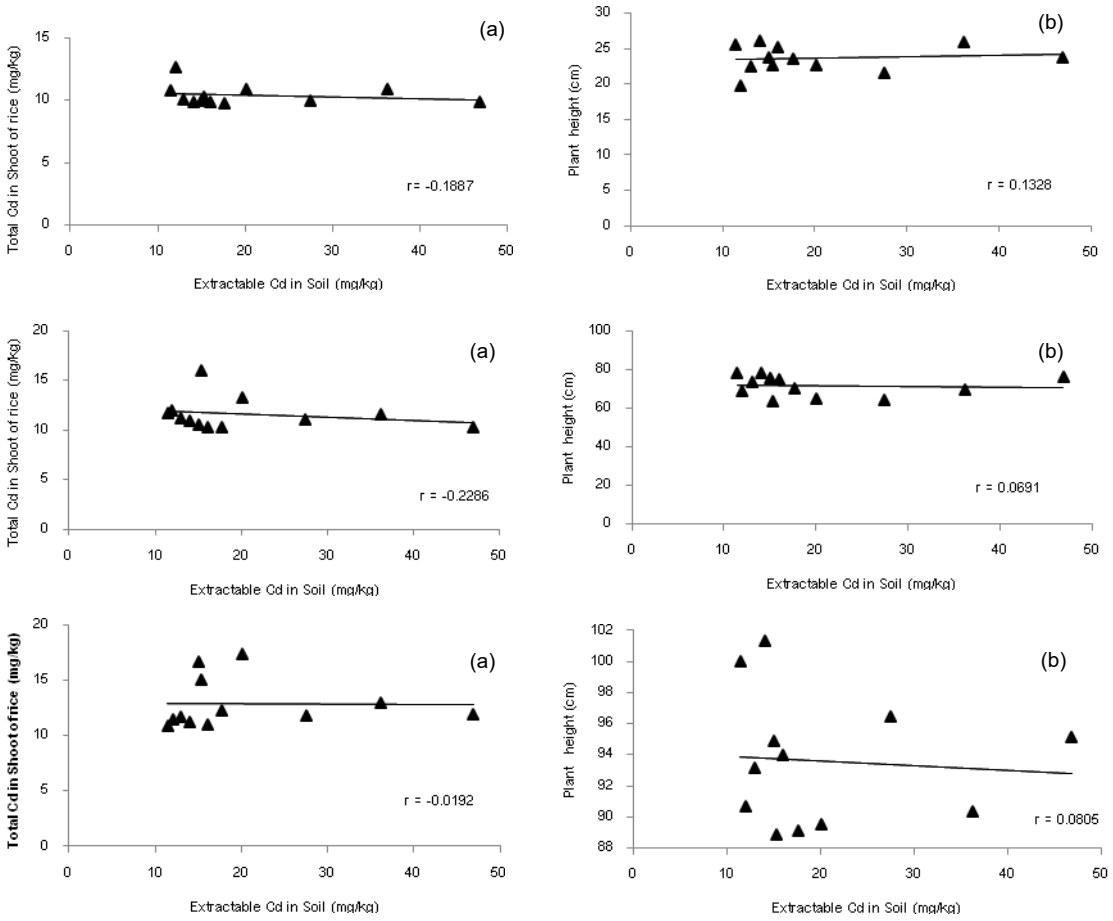

Figure 4 The liner correlation between cadmium contents in soil and (a) total cadmium contents in rice stems and (b) the heights of rice at days 45, 90 and 120 respectively.

พืชแต่ละชนิดจะสะสมแคดเมียมได้ต่างกัน เนื่องจากความสามารถในการดูดดึงแคดเมียม รวมทั้งความทนทานต่อความเป็นพิษของแคดเมียมแตกต่างกัน จากการศึกษาปริมาณแคดเมียมในผลผลิต (Table 5) ของข้าวสารและแกลบพบว่า ในแปลง A1 มีปริมาณแคดเมียมสูงสุด (9.27 และ 10.42 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมสะสมสูงกว่าค่ามาตรฐาน CODEX (CODEX, 2006) และปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวที่พบนี้สูงกว่างานวิจัยของ Anongnat *et al*. (2012) ซึ่งได้ประเมินการปนเปื้อนแคดเมียมในนาข้าว จากครัวเรือนที่บริโภคข้าวจำนวน 23 ครัวเรือนในหมู่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมในเมล็ดข้าวเปลือกตั้งแต่ 0.04 ถึง 1.75 มก./กก. และมากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวอย่างข้าวทั้งหมดที่ศึกษามีระดับแคดเมียมสูงกว่ามาตรฐาน CODEX ปริมาณการสะสมแคดเมียมของผลผลิตข้าว ซึ่งได้แก่ ข้าวสาร และแกลบ มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ศึกษา นอกจากจะขึ้นอยู่กับความสามารถของพืชในการดูดดึงธาตุแคดเมียมแล้ว ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่มีผลต่อการดูดดึงแคดเมียมของพืช เช่น ลักษณะสมบัติของดิน เนื้อดิน วัตถุต้นกำเนิดดิน ชนิดและปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในดินและในสารละลายดิน อุณหภูมิของดินและกิจกรรมจุลินทรีย์ของดิน เป็นต้น (ศุภมาศ, 2540) ซึ่งการดึงดูดแคดเมียมจะลดลงเมื่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่ม โดยปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงในดินจะช่วย

ลดแคดเมียมในดินได้ เนื่องจากอินทรียวัตถุสามารถจับยึดแคดเมียมได้ดี จึงทำให้แคดเมียมจับยึดกับอินทรีย์ในดินมากขึ้นและพืชก็จะดูดดึงแคดเมียมเข้าไปได้น้อยลง (Chaney, 1982)

Table 5 Total cadmium of Milled Khao Dawk Mali 105 rice and rice husk from Cd contaminated soil of Mae Tao River.

Areas	Total Cd (mg/kg)	
	Milled Rice	Rice husk
A-1	9.27 a	10.42 a
A-2	8.48 bc	10.05 b
A-3	7.15 f	8.67 e
A-4	8.33 c	10.32 a
mean A	8.31	9.87
B-1	9.07 a	8.36 f
B-2	8.26 c	7.67 h
B-3	8.67 b	9.51 c
B-4	8.50 bc	9.00 d
mean B	8.63	8.64
C-1	7.60 e	8.08 g
C-2	7.49 e	7.66 h
C-3	7.65 e	7.62 h
C-4	7.97 d	7.52 h
mean C	7.68	7.72
F-test	**	**
CV %	7.91	12.59

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly.

** = highly significant at $p < 0.01$

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณแคดเมียมในดินต่อผลผลิตข้าว (Figure 3) พบว่าในดินที่มีปริมาณแคดเมียมสูงมีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวลดลง มีรายงานการศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมในเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินที่ใส่แคดเมียมในระดับต่างๆ พบว่าข้าวที่ปลูกในดินที่ใส่แคดเมียมมากกว่า 21 มก./กก. ไม่ให้ผลผลิต (สรัตนา, 2548) ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าข้าวที่ปลูกในดินที่มีปริมาณแคดเมียมมากกว่า 20 mg/kg ข้าวยังคงให้ผลผลิตอยู่แต่มีแนวโน้มลดลง เพราะแคดเมียมมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง เนื่องจากแคดเมียมทำให้น้ำตาลไรบูโลสบิสฟอสเฟตและเอมไซม์ไรบูโลสบิสฟอสเฟตคาร์บอกซิเลสลดลง ส่งผล

ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง (Liphaazi and Kirkham, 2006) มีผลทำให้ผลผลิตพืชลดลงด้วย และไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูกกับการสะสมในข้าวสารและแกลบ

สรุปผลการทดลอง

การปนเปื้อนแคดเมียมในดินนา บริเวณลุ่มน้ำแม่ตาว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบการปนเปื้อนแคดเมียมสูงสุดคือ 46.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในแปลง C4 ปริมาณแคดเมียมที่พบในครั้งนี้ไม่ได้ลดลงไปจากเดิมกับปริมาณแคดเมียมที่พบในปี 2543-2547 และปริมาณแคดเมียมที่พบในดินไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้นข้าวที่อายุต่างๆ แต่ปริมาณแคดเมียมที่สูงกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลทำให้ผลผลิตข้าวลดลง การสะสมแคดเมียมในข้าวสารและแกลบสูงสุดในแปลง A4 (9.27 และ10.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และในทุกพื้นที่การศึกษาสูงกว่าค่ามาตรฐานของแคดเมียมสำหรับผลิตอาหารซึ่งกำหนดโดย CODEX

เอกสารอ้างอิง

กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการเล่มที่ 28 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร.

พิชิต พงษ์สกุล. 2545. ผลการดำเนินงานชุดโครงการวิจัยสารปนเปื้อนในดินน้ำและพืช, น. 127-133. *ใน* เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2545. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ จันทร์โพธิ์. 2548. การกระจายตัวและความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมและสังกะสีในดิน บริเวณลุ่มน้ำแม่กุ ตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภมาศ พานิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สรัตนา เสนาะ. 2548. การดูดดึงโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อน สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนงนาฏ ศรีประโชติ. 2549. การกระจายตัวของแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Anongnat S., P. Kanyawongha, K. Ochiai and T. Matoh. 2012. Current situation of cadmium-polluted paddy soil, rice and soybean in the Mae Sot District, Tak Province, Thailand. Soil Science and Plant Nutrition 58:3, 349-359.

Amacher, C.M. 1996. Nickel, Cadmium and Lead, pp. 739-768. *In* Sparks D.L., ed. Methods of SoilAnalysis: Chemical Methods, Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron. Madison, WI, USA.

Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sciences 59: 39-45.

Chaney, R.L. 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland Processings International Symposium Land Application of Sewage Sluge., Cited by Kuntz, H., Pluquet, E.,Stark, J.H. and Coopoia, S.Current Techniques for the Evaluation of Metal Problems due to Sludge. pp. 394-403 *In* Hermite, P.L. and H. Ott, eds.

Processing and Use of Sewage. Sludge. Holiand: D. Redal.

Codex Alimentarius Commission. 2006. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Alimentarius Commission Report of the 29th Session. Available Source: http://www.codexalimentarius. May, 2010.

Kirkham, M.B. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. Geoderma 137:19–32.

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

National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, USDA.

Simmons R.W., P. Pongsakul., D. Saiyasitpanich., and S. Klinphoklap, 2003. Elevated levels of cadmium and zinc in paddy soils and elevated levels of cadmium in rice grain downstream of a zinc mineralized area in Thailand: Implications for public health. Environmental Geochemistry and Health 27: 501-511.

Singh, B.R, and M.J. McLaughlin. 1999. Cadmium in Soils and Plants. pp. 257-267 *In* Launghlin M.J. and B.R. Singh, eds. Cadmium Soils and Plants. Kluwer Academic, Dordrecht.

Sparks D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soluanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner. 1996. Method of Soil Analysis Part 3 Chemical Method. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy and Inc., Madison,Wisconsin, USA.

Takijima, Y., and F. Katsumi. 1973. Cadmium contamination of soils and rice plants caused by zinc mining I.Production of high cadmium rice on the paddy fields in lower reaches of the mine station. Soil Science Plant Nutrient 19: 29-38.

Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff Method for determining soil organic matter: a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sciences. 37: 29-35.

Yanagisawa M., Y.Shinmura, N. Yamada, A. Segawa and K. Kida. 1984. Heavy metal pollution and methods of restoration of polluted soil in the Jinzu River basin. Bull. Toyama Agriculture Exp. Stn.15 :1-110 in Japanese with English summary.

Received 11 February 2014

Accepted 29 August 2014