Research Article

Received: August 5, 2019; Accepted: November 8, 2019

การสะสมแคดเมียมและตะกั่วในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ (*Oryza sativa* L.) ในสภาวะการทดลอง

In vivo Study of Cadmium and Lead Accumulations in the Root, Stem and Leaf of Riceberry (*Oryza sativa* L.)

ฉัตรพงษ์ คำเลิศ, ลำใย ณีรัตนพันธุ์ และอุไรวรรณ ภูนาพลอย*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

พรภิไล ถนอมสงัด

สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ถนนมาลัยแมน อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

Chatpong Khamlerd, Lamyai Neeratanaphan and Uraiwan Phoonaploy*

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University,

Nai Muang, Muang, Khon Kaen 40002

Pornpilai Thanomsangad

Occupational Health and Safety Program, Faculty of Science and Technology,

Nakhon Pathom Rajabhat University, Malaiman Road, Muang, Nakhon Pathom 73000

บทคัดย่อ

การศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่วในดิน สะสมในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังการทดลองปลูก 3 เดือน ที่ระดับความเข้มข้นแคดเมียม 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว 400, 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินภายหลังการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน ส่วนปริมาณแคดเมียมที่สะสมในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองความเข้มข้น 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร รากมีค่าเฉลี่ย 3.54±3.03, 20.90±0.70, 37.06±0.86 และ 45.73±0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ลำต้นมีค่าเฉลี่ย 1.04±0.47, 7.88±0.47, 8.70±0.36 และ 9.14±0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และใบมีค่าเฉลี่ย 0.25±0.09, 1.32±0.41, 1.70±0.13 และ 1.15±0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้นมีปริมาณการสะสม

***ผู้รับผิดชอบบทความ** : uraiwan_2534@hotmail.com **doi:** 10.14456/tstj.2020.160

แคดเมียมสูงในราก > ลำต้น > ใบ ส่วนปริมาณตะกั่วของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองความเข้มข้น 400, 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร รากมีค่าเฉลี่ย 18.90±0.24, 233.77±0.84, 267.95±0.27 และ 286.03±1.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ลำต้นมีค่าเฉลี่ย 3.29±0.60, 5.07±0.36, 5.29±0.56 และ 5.58±0.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และใบมีค่าเฉลี่ย 7.84±1.21, 12.80±0.35, 9.71±0.16 และ 12.18±0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าตะกั่วทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีปริมาณการสะสมตะกั่วสูงในราก > ใบ > ลำต้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมและตะกั่วกับค่ามาตรฐานพบว่าการสะสมในทุกส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่เกินค่ามาตรฐาน (0.5 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นแคดเมียมในใบของกลุ่มควบคุมไม่เกินค่ามาตรฐาน การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่วจะเกิดการสะสมในแต่ละส่วนของต้นข้าวต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนัก หากมีการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่แบบปลอดสารพิษควรหลีกเลี่ยงพื้นที่มลพิษ

คำสำคัญ : แคดเมียม; ตะกั่ว; ข้าวไรซ์เบอร์รี่; โลหะหนัก

Abstract

The objective of this research was to study the contamination of cadmium and lead in soil, and their accumulations in root, stem and leaf of Riceberry (*Oryza sativa* L.) after 3 months experiment at different concentrations of cadmium (0, 40, 50 and 60 mg/L) and lead (0, 400, 500 and 600 mg/L). Cadmium and lead concentrations were measured by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The results showed that cadmium and lead concentrations in soil after the experiment were within Thailand's soil quality standard. Cadmium accumulations in root of the control (0 mg/L) and the experimental groups (40, 50 and 60 mg/L) were 3.54±3.03, 20.90±0.70, 37.06±0.86, and 45.73±0.45 mg/kg, respectively, whereas those in stem and leaf were 1.04±0.47, 7.88±0.47, 8.70±0.36 and 9.14±0.06, and 0.25±0.09, 1.32±0.41, 1.70±0.13, and 1.15±0.02 mg/ kg, respectively. The control and the experimental groups were found that cadmium concentrations in root > stem > leaf. Lead accumulations in root of the control (0 mg/L) and the experimental groups (400, 500 and 600 mg/ L) were 18. 90±0. 24, 233. 77±0. 84, 267. 95±0. 27, and 286. 03±1. 33 mg/ kg, respectively, whereas those in stem and leaf were 29±0. 60, 5. 07±0. 36, 5.29±0.56 and 5.58±0.40, and 7.84±1.21, 12.80±0.35, 9.71±0.16, and 12.18±0.19 mg/kg, respectively. The control and the experimental groups were found that lead concentration in root > leaf > stem. When comparing cadmium and lead concentrations with standard values, both concentrations in all parts of Riceberry exceeded the standards (0.5 and 0.3 mg/kg), except cadmium concentrations in leaf of the control group. The results of this study suggested that Riceberry cultivation in contaminated areas can accumulate cadmium and lead in each part of rice, depending on types of heavy metals. Riceberry cultivation should be avoided planting in polluted area.

Keywords: cadmium; lead; Riceberry; heavy metal

1. บทนำ

ประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการผลิตสินค้าทางการเกษตรเพื่อการบริโภคภายในประเทศและเป็นสินค้าส่งออกจำหน่ายต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ซึ่งข้าวเป็นสินค้าทางการเกษตรหลักที่สำคัญของประเทศไทย และประชากรมากกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยส่งออกข้าวประมาณ 11.63 ล้านตันข้าวสาร คิดเป็นมูลค่า 174,506 ล้านบาท ซึ่งถูกจัดอันดับให้เป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ 1 ใน 5 ของโลก [1,2] โดยประชากรประเทศไทยบริโภคข้าวปริมาณ 106 กิโลกรัมต่อคนต่อปี [3] การปลูกข้าวพบทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย และพันธุ์ข้าวที่ปลูกก็มีหลากหลายสายพันธุ์แตกต่างกันตามสภาพภูมิศาสตร์ วัฒนธรรม เศรษฐกิจ วิถีชีวิตสังคม และความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ [2] ซึ่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลูกข้าวมากที่สุดในประเทศ ข้าวมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์หลายชนิด ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง เป็นต้น [4] ปัจจุบันการรับประทานข้าวหรืออาหารเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมในกลุ่มผู้รักสุขภาพเป็นจำนวนมาก ข้าวไรซ์เบอร์รี่ถูกพัฒนาพันธุ์ขึ้นมาใหม่จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลักษณะเด่น คือ เมล็ดเรียวยาว มีสีม่วงเข้มเกือบดำ รสชาติหอมหวาน เป็นชนิดพันธุ์ข้าวที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเพราะเป็นข้าวเพื่อสุขภาพ มีคุณประโยชน์สูง ช่วยป้องกันและรักษาโรคได้หลายโรค เป็นที่ยอมรับว่าเป็นข้าวเกรดดีที่สุด สมบัติเด่นด้านโภชนาการ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีเบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี มีโฟเลตสูง มีดัชนีน้ำตาลต่ำถึงปานกลางและปราศจากสารปนเปื้อน ซึ่งสมบัติดังกล่าวนอกจากจะใช้รับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ช่วยลดระดับไขมันและคอลเรสเตอรอล ป้องกันโรคหัวใจ ทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเป็นโภชนาการบำบัดอีกด้วย อีกทั้งหน่วยงานภาครัฐยังสนับสนุนให้มีการแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้เป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด [5-7]

การปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในบริเวณพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม เช่น พื้นที่ใกล้แหล่งฝังกลบขยะชุมชน ขยะอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรม รวมทั้งการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช อาจก่อให้เกิดการสะสมโลหะหนักในแต่ละส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ การศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิดในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู โครเมียม ทองแดง และปรอท เป็นต้น [8-11] โลหะหนักที่เป็นปัญหาของประเทศไทย คือ ตะกั่วและแคดเมียม [12] มีการรายงานพบแคดเมียมและตะกั่วปริมาณค่อนข้างสูงในน้ำและดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม [13-17] รวมทั้งมีการสะสมในข้าว พืชผักเกินค่ามาตรฐาน [14,18-21] โดยพืชจะสามารถสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง หากปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม เพราะพืชสามารถดูดซับแคดเมียมไว้ในแต่ละส่วนได้ดีกว่าโลหะหนักชนิดอื่น [22] และพืชยังสามารถสะสมตะกั่วได้ในปริมาณที่สูงโดยไม่แสดงอาการเป็นพิษ แม้จะมีความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อเยื่อสูงถึง 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง [23,24] โลหะหนักจะถูกดูดซับผ่านทางรากพร้อมกับแร่ธาตุอาหาร เกิดการแพร่กระจายไปสะสมยังเนื้อเยื่อแต่ละส่วน ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของพืช ได้แก่ ใบมีสีซีด ลำต้นสั้น รากสั้นและมีแขนงรากน้อย เป็นต้น [5] รวมทั้งมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต กระบวนการเมทาบอลิซึม การทำงานของเอนไซม์บางชนิดและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางชีวโมเลกุลของพืช [25-28] โลหะหนักมีความคงทนสลายตัวในกระบวนการตามธรรมชาติได้ยาก หากมี

การจัดการที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนในดิน แหล่งน้ำ และอากาศ ส่งผลต่อระบบนิเวศและสะสมในสิ่งมีชีวิต รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ในพื้นที่ [29-31]

ปัญหาในพื้นที่ที่กล่าวมาข้างต้นอาจก่อให้เกิดการแพร่กระจายของโลหะหนักหลายชนิดออกสู่สิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่วในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรที่มีการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ การสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในแต่ละส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่จะมีความแตกต่างกันหรือไม่เป็นประเด็นการศึกษาที่น่าสนใจ เนื่องจากเกิดการสะสมผ่านกระบวนการลำเลียงน้ำและอาหาร ดังนั้นเพื่อยืนยันกระบวนการดังกล่าวของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการสะสมแคดเมียมและตะกั่วในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันในสภาวะการทดลอง

2. วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 วิธีการเตรียมข้าวไรซ์เบอร์รี่ ความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่ว

2.1.1 การเพาะเลี้ยงต้นกล้าข้าวไรซ์เบอรี่

แช่เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในน้ำเปล่า 12 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำออก แล้วนำไปใส่ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติ รากจะเริ่มงอก โดยให้มีการเจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 1 เดือน และมีความสูงประมาณ 15 เซนติเมตร

2.1.2 การเตรียมสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) โดยให้ได้สารละลายแคดเมียม (Cd^{2+}) ที่มีความเข้มข้น 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายเลดแอซิเตต $(CH_3COO)_2Pb{\bullet}3H_2O$ โดยให้ได้สารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) ที่มีความเข้มข้น 400, 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอ้างอิงตามรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน เช่น พบปริมาณแคดเมียมในดินพื้นที่ปลูกข้าวบริเวณลุ่มน้ำแม่ตาว อยู่ในช่วง 11.45-46.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบปริมาณตะกั่วที่สะสมในมะเขือเทศเชอรี่ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) สายพันธุ์ CH 154 ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วจากบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี ความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดในราก 30.82±54.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) [24,39]

2.2 แผนการทดลอง

2.2.1 กลุ่มควบคุม

นำดินที่ซื้อมาจากร้านขายต้นไม้ผสมกับน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้เข้ากัน และนำดินมาใส่ในกระถางพลาสติกที่รองด้วยถุงพลาสติกอีกชั้นจำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่มาปลูกในกระถาง รดน้ำ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ให้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 3 เดือน

2.2.2 กลุ่มทดลองที่ผสมแคดเมียม (Cd^{2+}) และตะกั่ว (Pb^{2+}) ในดิน

นำดินที่ซื้อมาจากร้านขายต้นไม้ผสมกับสารละลายแคดเมียมแต่ละระดับความเข้มข้น 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายตะกั่วแต่ละระดับความเข้มข้น 400, 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตรให้เข้ากัน จากนั้นนำดินที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแต่ละความเข้มข้นใส่ในกระถางพลาสติกที่รองพื้นด้วยถุงพลาสติกอีกชั้น จำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ และนำต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่มาปลูกในกระถาง รดน้ำ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ให้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 3 เดือน (รูปที่ 1)

2.3 ปริมาณโลหะหนักในดินและข้าวไรซ์เบอร์รี่

2.3.1 ปริมาณโลหะหนักในดินหลังการทดลอง

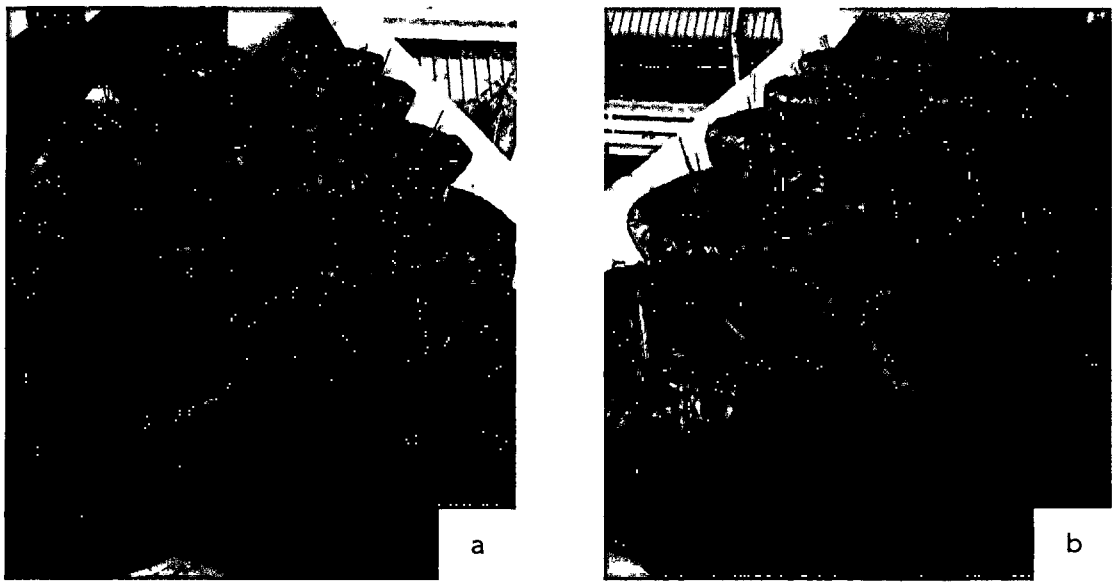

Figure 1 The experimental group containing cadmium (Cd^{2+}) in soil (a) and the experimental group containing lead (Pb^{2+}) in soil (b)

เตรียมตัวอย่างดินตามวิธีมาตรฐานของ EPA method 6010 โดยนำตัวอย่างดินหลังการทดลองมาตากในร่มจนแห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร [32] จากนั้นชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดก้นกลม เติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 15 มิลลิลิตร กรดไนตริก (HNO_3) 5 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 10 มิลลิลิตร ย่อยในเครื่องชุดย่อยดิน ที่อุณหภูมิ 180-220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนเป็น 50 มิลลิลิตร จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES [33,34]

2.3.2 ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่

เตรียมตัวอย่างต้นข้าวตามวิธีมาตรฐานดัดแปลงจากวิธีของ Chand และ Prasad (2013) และ Bailey และคณะ (2003) โดยแยกตัวอย่างราก ลำต้นและใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกเป็นระยะเวลา 3 เดือน นำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง [34,35] บดให้ละเอียด และชั่งตัวอย่างข้าว 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริก 7 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร ย่อยบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนเป็น 25 มิลลิลิตร จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES [36,37]

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดินหลังการทดลอง

ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินหลังการทดลอง (ตารางที่ 1) พบว่าแคดเมียมของ

Table 1 Cadmium and lead concentrations in soil after 3 months of the experiment

Heavy metal concentrations (mg/L)		Concentrations (mg/kg)	Standard[a] (mg/kg)
Cd^{2+}	control	0.59±0.05	37
	40	11.07±0.22	
	50	10.71±0.68	
	60	13.87±0.30	
Pb^{2+}	control	27.89±1.61	400
	400	150.72±0.28	
	500	224.64±0.23	
	600	297.53±1.95	

[a] Soil quality standards for habitat and agriculture [38]

กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองความเข้มข้น 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 0.59±0.05, 11.07±0.22, 10.71±0.68 และ 13.87±0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนตะกั่วของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองความเข้มข้น 400, 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 27.89±1.61, 150.72±0.28, 224.64±0.23 และ 297.53±1.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน [38] ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน โดยตัวอย่างดินในกลุ่มควบคุมมีปริมาณแคดเมียมและตะกั่วน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่มีการผสมโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด และแสดงให้เห็นว่าดินในกลุ่มควบคุมก็มีการปนเปื้อนโลหะหนักได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของธนภัทร และคณะ [39] พบว่ามีการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินนาบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวลุ่มน้ำแม่ตาวและมีรายงานโลหะหนักชนิดอื่น พบว่ามีการปนเปื้อนของสารหนูในดินบริเวณใต้บ่อกักเก็บกากแร่ของเหมืองแร่ทองคำ มีความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดิน [40]

3.2 ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่สะสมในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ตารางที่ 2 และรูปที่ 2) ในกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองความเข้มข้น 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร รากมีค่าเฉลี่ย 3.54±3.03, 20.90±0.70, 37.06±0.86 และ 45.73±0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ลำต้นมีค่าเฉลี่ย 1.04±0.47, 7.88±0.47, 8.70±0.36 และ 9.14±0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และใบมีค่าเฉลี่ย 0.25±0.09, 1.32±0.41, 1.70±0.13 และ 1.15±0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทุกระดับความเข้มข้นมีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูงในราก > ลำต้น > ใบ ส่วนปริมาณตะกั่วของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองความเข้มข้น 400, 500

Table 2 Cadmium concentrations in root, stem and leaf of Riceberry (*Oryza sativa* L.) after 3 months of the experiment

Cd^{2+} concentrations (mg/L)	Cd concentrations in Riceberry (mg/kg)			Standard[b] (mg/kg)
	Root	Stem	Leaf	
Control	3.54±3.03	1.04±0.47	0.25±0.09	
40	20.90±0.70	7.88±0.47	1.32±0.41	0.5
50	37.06±0.86	8.70±0.36	1.70±0.13	
60	45.73±0.45	9.14±0.06	1.15±0.02	

[b] International standards for vegetables of the Food and Agriculture Organization (FAO) [45]

Table 3 Lead concentrations in root, stem and leaf of Riceberry (*Oryza sativa* L.) after 3 months of the experiment

Pb^{2+} concentrations (mg/L)	Pb concentrations in riceberry (mg/kg)			Standard[b] (mg/kg)
	Root	Stem	Leaf	
Control	18.90±0.24	3.29±0.60	7.84±1.21	
400	233.77±0.84	5.07±0.36	12.80±0.35	0.3
500	267.95±0.27	5.29±0.56	9.71±0.16	
600	286.03±1.33	5.58±0.40	12.18±0.19	

[b] International standards for vegetables of the Food and Agriculture Organization (FAO) [45]

และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 3 และรูปที่ 3) รากมีค่าเฉลี่ย 18.90±0.24, 233.77±0.84, 267.95± 0.27 และ 286.03±1.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ลำต้นมีค่าเฉลี่ย 3.29±0.60, 5.07±0.36, 5.29± 0.56 และ 5.58±0.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และใบมีค่าเฉลี่ย 7.84±1.21, 12.80±0.35, 9.71± 0.16 และ 12.18±0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีปริมาณการสะสมตะกั่วสูงในราก > ใบ > ลำต้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมและตะกั่วกับค่ามาตรฐาน การสะสมในทุกส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเกินมาตรฐาน (0.5 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นแคดเมียมในใบของกลุ่มควบคุมไม่เกินค่ามาตรฐาน

รูปที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าการสะสมในรากสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วที่ผสมในดิน เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีรากฝอยจำนวนมากแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดินและรากฝอยจะมีรากขนอ่อน ซึ่งรากเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนประจุของแร่ธาตุหลายชนิด รวมถึงโลหะหนักทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นพิษต่อข้าว จึงทำให้เกิดการดูดซับและสะสมโลหะหนักในปริมาณที่สูง [6] สอดคล้องกับการศึกษาของ Panichpat และ Srinives [42] พบว่าตะกั่วมีปริมาณการสะสมสูงในราก > ลำต้น > ใบ > เมล็ด ส่วนของรำ > แกลบ ไม่มีการสะสมในข้าวขาว

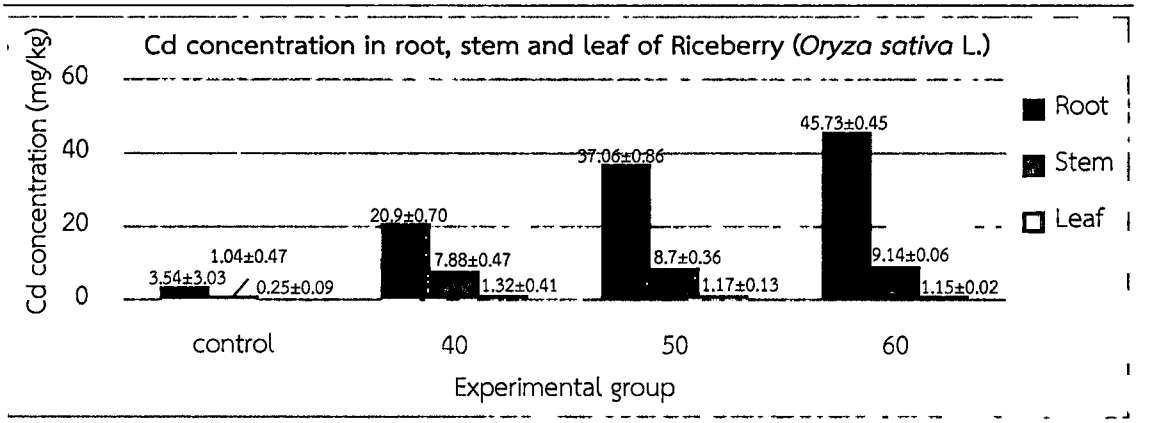

Figure 2 Cadmium concentrations in root, stem and leaf of Riceberry (*Oryza sativa* L.) after 3 months of the experiment

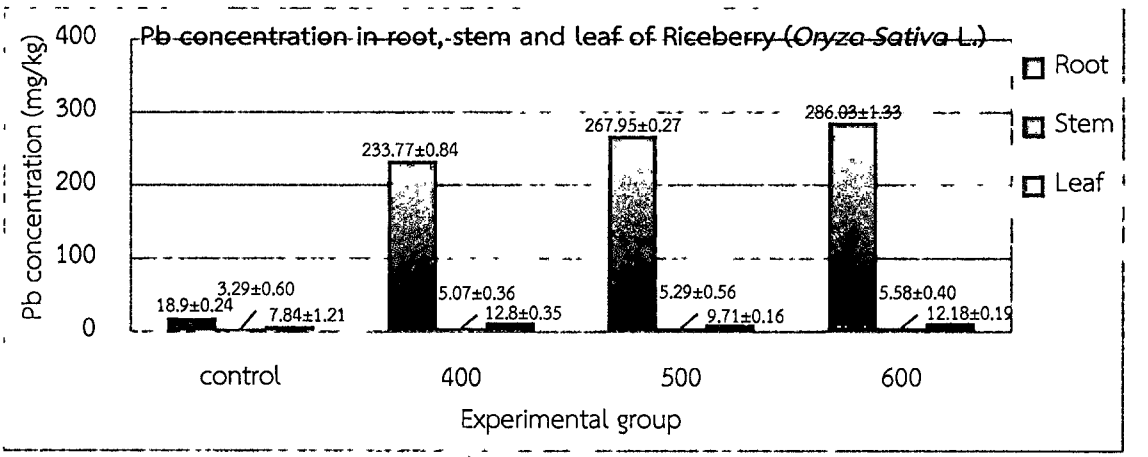

Figure 3 Lead concentrations in root, stem and leaf of Riceberry (*Oryza sativa* L.) after 3 months of the experiment

รวมถึงการศึกษาของ Neeratanaphan และคณะ [20] พบปริมาณความเข้มข้นตะกั่วในราก ลำต้นและใบ 14.67±0.56, 0.67±0.29 และ 2.04±1.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนเมล็ดข้าวและแกลบพบ 1.06±0.50 และ 1.53±0.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการศึกษาของ Chobtam [10] พบความเข้มข้นของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในราก ลำต้น และเมล็ดข้าว 0.023-0.045, 0.014-0.059 และ 0.006-0.019 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อีกทั้งยังมีรายงานการสะสมโลหะหนักชนิดอื่น เช่น สารหนูบริเวณใต้บ่อกักเก็บกากแร่ของเหมืองแร่ทองคำ พบว่าสารหนูมีการสะสมสูงในราก > ใบ > เมล็ด ตามลำดับ [40] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาแคดเมียมและตะกั่วในพืชชนิดอื่นด้วย และผลการศึกษาที่ผ่านมาสอดคล้องกับการสะสมในข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ มีการสะสมในราก > ลำต้น > ใบ [41] การสะสมของโลหะหนักในแต่ละส่วนที่แตกต่างกัน เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีการลำเลียงสารที่แตกต่างกันสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะลำเลียงผ่านท่ออาหาร ส่วนสารอินทรีย์จะลำเลียงผ่านทั้งท่อน้ำและท่ออาหาร อีกทั้งตะกั่วที่อยู่ในรูปตะกั่วสองบวก (Pb^{2+}) มีความเสถียรมากที่สุด มี

ลักษณะคล้ายกับกลุ่มของโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท จึงเข้าไปแทนที่โพแทสเซียมในแร่ธาตุอาหารได้ตรงบริเวณตำแหน่งที่ไอออนของธาตุถูกดูดซับ ซึ่งโพแทสเซียมเป็นธาตุที่ช่วยในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงและสะสมตะกั่วไว้ที่ใบของพืชได้ [23,42,43] การปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม พืช หรือสิ่งมีชีวิตอื่นที่เพาะปลูกหรืออาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อน สามารถได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายทั้งทางตรงและทางอ้อม เกิดการสะสมในแต่ละส่วนของร่างกายตามอวัยวะเป้าหมายของโลหะหนักแต่ละชนิด และถ่ายทอดโลหะหนักไปตามห่วงโซ่อาหาร รวมถึงส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ในอนาคตซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้าย [44]

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการสะสมแคดเมียมและตะกั่วในราก ลำต้น และใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่างกัน คือ แคดเมียมมีปริมาณการสะสมสูงในราก > ลำต้น > ใบ ส่วนตะกั่วมีปริมาณการสะสมสูงในราก > ใบ > ลำต้น โดยพืชแต่ละชนิดจะสะสมแคดเมียมและตะกั่วได้ต่างกัน เนื่องจากความสามารถในการดูดซับและความทนทานต่อความเป็นพิษต่างกัน ผลกระทบจากการเพาะปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่หรือพืชชนิดอื่นในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก พืชจะสามารถดูดซับและสะสมโลหะหนักไว้ในแต่ละส่วนที่ต่างกัน ดังนั้นจึงไม่ควรนำฟางที่มีการปลูกในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากแหล่งกำเนิดไปใช้เลี้ยงสัตว์ เนื่องจากจะเกิดการสะสมในร่างกายของสัตว์ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการสะสมในสิ่งมีชีวิตตามลำดับขั้นการบริโภคที่สูงขึ้นในห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากพืชเป็นผู้ผลิตลำดับแรกของการสะสมสารพิษในสิ่งแวดล้อม และมวลชีวภาพของพืชที่สะสมโลหะหนักนั้น สามารถนำไปกำจัดโดยการเผาหรือนำมาย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัยนิเวศพิษวิทยาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการสนับสนุนเงินทุนการศึกษาวิจัย

6. References

[1] Office of Agricultural Economics, 2018, Agricultural Statistics of Thailand 2017, Ministry of Agriculture and Cooperatives Thailand, Bangkok, 197 p. (in Thai)

[2] Hensawang, S., 2017, Rice ... importance nutritional value and contamination, Environ. J. 21: 15-18. (in Thai)

[3] Agricultural Economics and Forecasting Center (Maejo Poll) , 2017, Rice Consumption Behavior of Thai People, Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai. (in Thai)

[4] Sirianusornsak, W., Soiklom, S. and Thana ruksa, R., 2016, Determination of heavy metals (Cd, Cr and Pb) in Thai rice, pp. 65-71, 54th Kasetsart University Academic Conference, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

[5] Thaenghin, P., Pewnim, T. and Nakphay phan, A. , 2017, Effect of cadmium to growth rates, cytotoxicity and pigment contents in rice berry (*Oryza sativa* L.), Silpakorn University, Veridian E- J. Sci. Tech. 4: 10-20. (in Thai)

[6] Rice Science Center, Knowledge of Rice

berry rice, Available Source: http://www.dna.kps.ku.ac.th.php, November 1, 2018. (in Thai)

[7] Pholkla, S., Thongnaowarat, J., Chunchom boon, A., Jantree, K. and Wisedsri, P., 2016, Riceberry Rice Buns, Bangkaewfa Vocational College, Nakhon Pathom, 52 p. (in Thai)

[8] Leung, A., Cai, Z.W. and Wong, M.H., 2006, Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, Southeast China, J. Mater. Cycles Waste Manag. 8: 21-23.

[9] Ha, N.N., Agusa, T., Ramu, K., Tu, N.P.C., Murata, S., Bulbule, K.A., Parthasaraty, P., Takahashi, S., Subramanian, A. and Tanabe, S., 2009, Contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India, Chemosp. J. 76: 9-15.

[10] Chobtam, M., 2007, The Study to Distribution of Cadmium in Paddy Field at Disposals Site of Nonthaburi and Suphanburi Province, Master Thesis, Thammasat University, Pathum Thani, 147 p. (in Thai)

[11] Alabi, O.A., Bakare, A.A., Xu, X., Lin, B., Zhang, Y. and Huo, X., 2012, Comparative evaluation of environmental contamination and DNA damage induced by electronic-waste in Nigeria and China, Sci. Total. Environ. 423: 62-72.

[12] Kruatrachue, M., 2009, Treatment of Soil and Water Contaminated with Lead by Using Plants, Mahidol University, Available Source: http://www.eht.sc.mahidol.ac.th/article/509, February 26, 2019. (in Thai)

[13] Luo, C., Liu, C., Wang, Y., Liu, X., Li, F., Zhang, G. and Li, X., 2011, Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, South China, J. Hazard. Mater. 186: 481-490.

[14] Sawanwong, T. and Wachirawongsakorn, P., 2012, Assessment of heavy metal contamination in soil and shallot samples from shallot farming of Bantuek sub-district, Srisatchanalai district, Sukhothai province, pp. 294-298, 4th Science Research Conference, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)

[15] Water Quality Management Office, 2009, Environmental Quality Situation in Huay Klity, Annual Report, Pollution Control Department, Bangkok. (in Thai)

[16] Suwannachote, P., Suppadit, T., Poungsuk, P. and Sangla, L., 2009, Growth perfor mance and productivity of *Jatropha curcas* Linn., Rayong variety planted in cadmium contaminated soil, J. Environ. Manage. 5: 100-117. (in Thai)

[17] Nambang, W. and Maoteja, W., 2014, Distribution of Heavy Metals in Paddy Fields around Community Landfill Ponds: A Case Study of Wang Nam Khu Sub-district, Mueang District, Phitsanulok Province, Research Report, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 90 p. (in Thai)

[18] Panichpat, T., 2010, Partitioning of Lead Accumulation in Rice Plant, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 29 p. (in Thai)

[19] Food Institute, 2014, It Comes with Food: Heavy Metals in Tea Leafs, Thai Rath: Nfitr, 750, 1 p. (in Thai)

[20] Neeratanaphan, L., Khamma, S., Bencha wattananon, R., Ruchuwararak, P., Appa maraka, S. and Intamat, S., 2017, Heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa*) near electronic waste dumps and related human health risk assessment, Hum. Ecol. Risk. Ass. 23: 1086-1098.

[21] Sukyankij, S. and Panichpat, T., 2013, Comparison of growth and lead accumulation of sunflower and sorghum in lead contaminated soil, KKU Sci. J. 41(4): 996-1007. (in Thai)

[22] Food institute, Heavy Metal: Cadmium, Ministry of industry, Available Source: http://fic.nfi.or.th/foodsafety, February 26, 2019. (in Thai)

[23] Koomrae, B., 2006, The Relationships between the Concentrations of Manganese, Lead and Cadmium in Water and Sediment in Pasak River, Master Thesis, Thammasat University, Pathum Thani, 119 p. (in Thai)

[24] Intachote, W. and Panichpat, T., 2013, Lead accumulation in cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) CH 154 grown in lead contaminated soil from Klity village, Kanchanaburi province, Veridian E-J. Sci. 6: 959-970. (in Thai)

[25] Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupe, G. and Gardea-Torresdey, J., 2009, The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain, Int. J. Biochem. Cell. Bio. 41: 1665-1677.

[26] Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T. and Niazi, N.K., 2017, Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake, J. Hazard. Mater. 325: 36-58.

[27] Manahan, S.E., 2003, Toxicology, Chemis try and Biochemistry, 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton.

[28] Phutkhao, M., Champathong, K., Worasut pisan, O., Maneechat, P., Chidjaidial, A., Srisang, K., Boonpradup, S., Chuencharoen, T., Sutthisarnvanich, K., Meeklin, K., Kwosa kaeo, P., Klinphogup, S., Nobunthao, W., Athachusasit, S., Srisawangwong, S. and Siangsai, S., 2014, Comparison of Metal Contamination in Fresh Root and Chip of Difference Cassava Varieties, Department of Agriculture, Bangkok, 18 p. (in Thai)

[29] Foroughi, M., Najafi, P. and Toghiani, S., 2011, Trace elements removal from waste water *Ceratophyllum demersum*, J. Appl. Sci. Environ. Manag. 15: 197-201.

[30] Miretzky, P., Saralegui, A. and Cirelli, A.F., 2004, Aquatic macrophytes potential for

the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina), Chemos phere 57: 997-1005.

[31] Wittayaanumat, S., 2017, TDIR Report: Electronic Waste Management in Thailand, Thailand Development Research Institute, Bangkok, 24 p. (in Thai)

[32] U. S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2007, Method 6010: Inductive Coupled Plasma-atomic Emission Spectro metry, District of Columbia, Washington, D.C., 30 p.

[33] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 1996, Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils: 3050 Method B, District of Columbia, Washington, D.C., 12 p.

[34] Chand, V. and Prasad. S., 2013, ICP-OES assessment of heavy metal contamina tion in tropical marine soils: A comparative study of two digestion techniques, Micro chem. J. 111: 53-61.

[35] Bailey, R.M., Stokes, S. and Bray, H., 2003, Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP- MS) for dose rate determination: Some guidelines for sample preparation and analysis, Ancient. TL. 21: 11-15.

[36] Hashim, R., Song, T.H., Muslim, N.Z.M. and Yen, T.P., 2014, Determination of heavy metal levels in fishes from the lower reach of the Kelantan river, Kelantan, Malaysia, Tropic. Life Sci. Res. 25: 21-39.

[37] Yang, L., Li, Y., Xj, G., Ma, X. and Yan, Q., 2013, Comparison of dry ashing, wet ashing and microwave digestion for determination of trace elements in periostracum serpentis and periostracum cicadae by ICP-AES, J. Chil. Chem. Soc. 58: 1876-1879.

[38] Thailand Pollution Control Department (TPCD), 2004, Soil Quality Standard for Residential and Agricultural Use According, Notification of the National Environmental Board, No. 25, Bangkok.

[39] Pluemphuak, T., Mala, T. and Kumlung A., 2014, Cadmium contents in rice grown in Cd contaminated paddy fields in Mae Tao floodplains Tak province Thailand, Thammasat Int. J. Sci. Tech. 3(2): 26-37. (in Thai)

[40] Neeratanaphan, L., Intamat, S., Khamma nichanh, A. and Sriuttha, M., 2015, Arsenic quantity in sticky rice (*Oryza Sativa*) of gold mining area, Koch Cha Sarn J. Sci. 37: 11-25. (in Thai)

[41] Rattanapaiboon, W. , Dampin, N. and Chankao, K., 2015, The quantity of heavy metal accumulated in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) cultured in Tha Chin river, Naresuan Univ. J. Sci. Tech. 23(1): 82-93. (in Thai)

[42] Panichpat, T. and Srinives, P., 2009, Partitioning of lead accumulation in rice plants, Thai J. Agric. Sci. 42: 35-40.

[43] Department Kasetsart University, 1998,

Basic Agronomy, Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)

[44] Thaenghin, P., 2016, Effect of Cadmium on Silicon Content, Pigments, Antioxidant Enzyme Level and Phytochelatin Formation in Riceberry (*Oryza Sativa* L.), Master Thesis, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 112 p. (in Thai)

[45] Food and Agriculture Organization (FAO), 2001, Codex Alimentarius Commission Food Additives and Contaminants, FAO/ WHO, ALINORM 01/12A, Rome, 289 p.