

การศึกษาสถานการณ์การปนเปื้อนสารหนูในข้าวมีสีพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย

สิริรัฐญา ผดุงอรธ¹, เวณิกา เบ็ญจพงษ์^{1*}, รจนา ชุณหะวัณ², จินตนา ศิริวรราชัย², นิภา โรจน์รุ่งวดีกุล¹
จักรกฤษณ์ สกลกิจดิณภากุล¹, ปิยนุช วิเศษชาติ¹, นฤมล คงทน³, ปริยาภรณ์ แจ่มการกิจ³

¹สถาบันโภชนาการ, มหาวิทยาลัยมหิดล

²กลุ่มสาขาวิชาโภชนศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

³สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม

บทคัดย่อ

สารหนูที่พบในข้าวไทยส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารหนูอนินทรีย์ ซึ่งพบในข้าวกล้องปริมาณสูงกว่าข้าวขัดสี ข้าวมีสีมีประโยชน์เชิงสุขภาพจึงแนะนำให้บริโภคในลักษณะข้าวกล้อง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนสารหนูในข้าวมีสี 5 ชนิด ได้แก่ หอมมะลิแดง หอมนิล ไรซ์เบอร์รี่ สังข์หยด และข้าวเหนียวลิ้มฟัว โดยเก็บตัวอย่างจากซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพฯและปริมณฑล และกลุ่มผู้ผลิตข้าวใน 4 ภูมิภาคของประเทศไทย วิเคราะห์ปริมาณสารหนูรวม (total As) สารหนูอนินทรีย์ [As(III), As(V)] และสารหนูอินทรีย์ (DMA, MMA) โดย HPLC-ICPMS ข้าวมีสี 103 ตัวอย่าง พบสารหนูทั้งหมดในระดับต่ำ ค่าเฉลี่ยของสารหนูรวม สารหนูอนินทรีย์ และสารหนูอินทรีย์ เท่ากับ 0.179, 0.112 และ 0.036 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบสารหนูอนินทรีย์ระดับสูงกว่าสารหนูอินทรีย์ สัดส่วนสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูรวมในข้าวมีสี 5 ชนิด ที่ระดับเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ในช่วง 0.52-0.65 พบสารหนูอนินทรีย์ในรูป As(III) ในปริมาณและจำนวนตัวอย่างมากกว่า As(V) พบสารหนูอินทรีย์ในรูป DMA ตัวอย่างข้าวมีสีส่วนใหญ่ (ร้อยละ 96) มีสารหนูอนินทรีย์ต่ำกว่าปริมาณสูงสุดที่เสนอโดยสหภาพยุโรป (0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในข้าวกล้อง) การศึกษานี้พบปริมาณสารหนูอนินทรีย์สูงสุดในข้าวสังข์หยด (ค่าเฉลี่ย 0.166 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และต่ำสุดในข้าวเหนียวลิ้มฟัว (ค่าเฉลี่ย 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวมีสีทั้ง 2 ชนิด เป็นข้าวเฉพาะถิ่นที่ปลูกในพื้นที่เพาะปลูกต่างภูมิภาค ซึ่งมีลักษณะทางธรณีวิทยาต่างกัน ดังนั้นการปนเปื้อนสารหนูในข้าวมีสีเกิดจากหลายปัจจัย และพบในบางพื้นที่เพาะปลูก

คำสำคัญ: สารหนู ข้าวมีสี ข้าวกล้อง

***ผู้รับผิดชอบบทความ**

ผศ.ดร.เวณิกา เบ็ญจพงษ์

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 0-2800-2380 ต่อ 311 โทรสาร 0-2441-9344

Email : wenika.ben@mahidol.ac.th

The Situation of Arsenic Contamination in Different Types of Pigmented Rice in Thailand

Siriranya Padungaad¹, Wenika Benjapong^{1*}, Rodjana Chunhabundit², Jintana Sirivarasai², Nipa Rojroongwasinkul¹, Jakkit Solkittinapakul¹, Piyanuch Visetchart¹, Narumon Kongton³, Preeyaporn Jaengkarnkit³

¹Institute of Nutrition, Mahidol University

²Graduate Program in Nutrition, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University

³National Food Institute, Ministry of Industry

Abstract

Arsenic in Thai rice is mostly found in an inorganic form and the level of arsenic reveals higher in unpolished rice than in polished rice. Pigmented rice is beneficial for health and suggested to consume as unpolished rice. The objective of this study was to evaluate the status of arsenic contamination in 5 Thai pigmented rice, including Hom Mali Dang rice, Hom Nil rice, Riceberry rice, Sang Yod rice and Luem Pua glutinous rice. The samples were collected from supermarkets in Bangkok metropolitan region and the local rice producer groups in 4 regions of Thailand. Total arsenic, inorganic arsenic [As (III) and As (V)] and organic arsenic (DMA and MMA) in 103 rice samples were analyzed by HPLC-ICPMS. The pigmented rice samples were found to contain low levels of total arsenic. The mean contents of total arsenic, inorganic and organic arsenic were 0.179, 0.112 and 0.036 mg/kg, respectively. The level of inorganic arsenic was higher than organic arsenic. The ratio of inorganic arsenic to total arsenic in 5 types of pigmented rice at the mean levels were similar, with a range of 0.60 - 0.65. For inorganic arsenic, As (III) was found in higher level and more number of samples than As(V). For organic arsenic, only DMA was found. Most pigmented rice samples (96 %) contained inorganic arsenic below the maximum level proposed by the European Commission (0.25 mg/kg for unpolished rice). This study found that Sung Yod rice contained the highest inorganic arsenic content (mean concentration was 0.166 mg/kg) whereas Luem Pua glutinous rice contained the lowest inorganic arsenic content (mean concentration was 0.015 mg/kg). Two types of rice were domestically grown in different regions with geographically difference. Thus, the contamination of arsenic in the pigmented rice may cause by many factors and only found in some agricultural areas.

Keywords: Arsenic, Pigmented rice, Unpolished rice

* Corresponding author

Asst. Dr. Wenika Benjapong

Institute of Nutrition, Mahidol University, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

Tel. 0-2800-2380 Ext. 311 Fax. 0-2441-9344 Email : wenika.ben@mahidol.ac.th

บทนำ

สารหนูเป็นโลหะหนักพบในสิ่งแวดล้อมตามสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ และการประกอบกิจกรรมบางชนิด เช่น เหมืองแร่ การปล่อยของเสียจากอุตสาหกรรม การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีส่วนประกอบของสารหนู เป็นต้น นำไปสู่การปนเปื้อนสารหนูในดินและน้ำที่ใช้เพาะปลูก ทำให้เกิดการสะสมสารหนูรูปต่างๆ ในพืชอาหาร¹ โดยเฉพาะข้าว (rice) ต้นข้าวมีความสามารถดูดซึมสารหนูจากดินและน้ำที่ใช้เพาะปลูก นำมาสะสมในส่วนต่างๆ รวมทั้งเมล็ดข้าว ได้สูงกว่าธัญพืชอื่น^{2,3} การเพาะปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง (submerged paddy soil) ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารหนูในรูป Arsenite [As(III)] ซึ่งรากของต้นข้าวสามารถดูดซึมได้ดี^{4,5} สารหนูที่พบในข้าวส่วนใหญ่เป็นสารหนูอนินทรีย์ เนื่องจากเป็นรูปที่พบตามสภาพทางธรณีวิทยาของดินที่ใช้เพาะปลูก มีรายงานการพบสารหนูอนินทรีย์ปริมาณสูงในข้าวที่เพาะปลูกในบางพื้นที่ของประเทศในทวีปเอเชีย⁶ ได้แก่ บังกลาเทศ (0.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใต้หวัน (0.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจีน (0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ขณะที่ข้าวที่ปลูกในบางพื้นที่ของสหรัฐอเมริกาพบสารหนูอนินทรีย์ในสัดส่วนสูงกว่าสารหนูอนินทรีย์ เนื่องจากอดีตมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีส่วนประกอบของสารหนูอนินทรีย์⁷ สารหนูอนินทรีย์มีความเป็นพิษต่อมนุษย์สูงกว่าสารหนูอินทรีย์ ก่อความเป็นพิษทั้งในลักษณะที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer effects) เช่น ความผิดปกติที่ผิวหนัง ความเป็นพิษต่อตับ ความเป็นพิษต่อระบบประสาท มีผลต่อพัฒนาการ โรคหัวใจ และหลอดเลือด เป็นต้น และลักษณะที่ก่อให้เกิด

มะเร็ง (Cancer effects) ได้แก่ มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งปอด และมะเร็งผิวหนัง เป็นต้น⁸ องค์การวิจัยมะเร็งนานาชาติ (The International Agency for Research on Cancer; IARC) สรุปว่ามีข้อมูลเพียงพอที่จัดให้สารหนูและสารหนูอนินทรีย์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogens Group 1)⁹

การประชุมคณะกรรมการโคเด็กซ์ สาขาสารปนเปื้อน (Codex Committee on Contaminants in Foods; CCCF) กำหนดค่าสูงสุด (Maximum Level, ML) ของสารหนูอนินทรีย์ สำหรับ “ข้าวขัดสี” (Polished rice) ที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับ “ข้าวกล้อง” (Unpolished rice) มีการเสนอให้พิจารณาค่า ML ในระดับที่สูงกว่า “ข้าวขัดสี” โดยอยู่ระหว่างขั้นตอนพิจารณาค่า ซึ่งมีการเสนอไว้ที่ระดับ 0.3 หรือ 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม¹⁰ ขณะที่สหภาพยุโรปกำหนดค่าสูงสุดของสารหนูอนินทรีย์ในข้าวกล้องที่ 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม¹¹ ประเทศไทยมีนโยบายส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีการศึกษาพบสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวมีสีหลายชนิด¹² เพื่อคงประโยชน์ด้านวิตามินและเกลือแร่ ซึ่งสะสมในเยื่อหุ้มเมล็ด¹³ จึงสนับสนุนให้บริโภคในลักษณะข้าวกล้อง อย่างไรก็ตามมีการศึกษาในประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทย พบปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในข้าวกล้องสูงกว่าข้าวขัดสี⁶ เนื่องจากสารหนูอนินทรีย์จะสะสมในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด (Pericarp) มากกว่าภายในเมล็ด (Endosperm)¹⁴ เพื่อยืนยันความปลอดภัยการปนเปื้อนสารหนูในข้าวไทย จำเป็นต้องมีการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนสารหนูรูปฟอร์มต่างๆ ที่พบในข้าวมีสีที่เพาะปลูกในประเทศไทย

วิธีการศึกษา

การคัดเลือกชนิดข้าวมีสีของประเทศไทย และรูปของสารหนูในข้าว เพื่อศึกษาการปนเปื้อนสารหนู

สำรวจชนิดข้าวมีสีที่จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ตของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และการจำหน่ายของกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวในพื้นที่ต่างๆของประเทศไทย นำข้อมูลมาคัดเลือกข้าวมีสีที่มีการผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ 5 อันดับแรก คือ “ข้าวเจ้ามีสี” ได้แก่ ข้าวหอมมะลิแดง หอมนิล ไรซ์เบอร์รี่ และสังข์หยด ตามลำดับ และ “ข้าวเหนียวมีสี” ได้แก่ ข้าวเหนียวลิ้มฟัว ทบทวน วรรณกรรมเพื่อระบุรูปของสารหนูที่มักพบในข้าวในกลุ่มของสารหนูอนินทรีย์ ได้แก่ Arsenite [As(III)] และ Arsenate [As(V)] และสารหนูอินทรีย์ ได้แก่ Dimethylarsinic acid (DMA) และ Monomethylarsonic acid (MMA)

การเก็บตัวอย่างข้าวมีสีจากพื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างข้าวสารมีสี 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิแดง หอมนิล ไรซ์เบอร์รี่ สังข์หยด และข้าวเหนียวลิ้มฟัว ระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2557 จำนวน 103 ตัวอย่าง จากซูเปอร์มาร์เก็ตของกรุงเทพฯและปริมณฑล และกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวใน 4 ภูมิภาคของประเทศไทย โดยมีการกระจายตัวในพื้นที่เพาะปลูกสำคัญ พื้นที่เพาะปลูกรอง และ/หรือพื้นที่เพาะปลูกอื่น (ถ้ามี) เลือกข้าวมีสีที่ระบุแหล่งผลิตชัดเจน ทราบพื้นที่เพาะปลูก ดังแสดงในตารางที่ 1 เก็บตัวอย่างข้าว ตัวอย่างละ 5 กิโลกรัม นำมาบรรจุถุงสุญญากาศ ถุงละ 1 กิโลกรัม (รวมตัวอย่างละ 5 ถุง) เก็บรักษาในตู้ปัดสนที่ อุณหภูมิห้อง

การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในข้าว

นำตัวอย่างข้าวที่บรรจุในถุงสุญญากาศ จำนวน 5 ถุง (ถุงละ 5 กิโลกรัม) มาเทรวมในถุงซิปลาสติกขนาดใหญ่ เขย่าให้ข้าวผสมรวมกัน นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารหนูทั้งหมด (Total arsenic) และชนิดของสารหนู

วิเคราะห์สารหนูรวม (Total arsenic)

นำตัวอย่างข้าวบดละเอียด 1 กรัม มาย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้ 68% Nitric acid 7 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง และ 30% Hydrogen peroxide 1 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ตรวจวัดปริมาณสารหนูรวมโดยเทคนิค inductively coupled plasma mass spectrometry¹⁵ โดยขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.050 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

วิเคราะห์ชนิด (species) ของสารหนูอนินทรีย์ (inorganic arsenic)

วิเคราะห์ชนิดของสารหนูอนินทรีย์ ได้แก่ As (III) และ As (V) และชนิดของสารหนูอินทรีย์ (organic arsenic) ได้แก่ MMA และ DMA นำตัวอย่างข้าวบดละเอียด 0.5 กรัม มาย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้ Nitric acid ความเข้มข้น 0.15 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แยกและตรวจวัดปริมาณ As(III), As(V), DMA และ MMA โดยเทคนิค high performance liquid chromatography coupled with inductively coupled plasma mass spectrometry¹⁶ โดยขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) สำหรับ As (III) เท่ากับ 0.050 มิลลิกรัมต่อ

ตารางที่ 1 สรุปผลการเก็บตัวอย่างข้าวมีสีในแหล่งเพาะปลูกข้าวแต่ละพื้นที่

ชนิดข้าว	แหล่งเพาะปลูกสำคัญ			
	แหล่งผลิตที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกใหญ่	แหล่งผลิตที่ 2 พื้นที่เพาะปลูกรอง	แหล่งผลิตที่ 3 พื้นที่เพาะปลูกรอง	แหล่งผลิตที่ 4 พื้นที่เพาะปลูกอื่น (พื้นที่ไม่สำคัญ)
	ข้าวมีสีที่มีการเพาะปลูกทั่วไป			
	ภาคอีสาน	ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ภาคใต้
ข้าวหอมมะลิแดง 21 ตัวอย่าง	11 ตัวอย่าง	7 ตัวอย่าง	3 ตัวอย่าง	-
ข้าวหอมนิล 21 ตัวอย่าง	8 ตัวอย่าง	8 ตัวอย่าง	4 ตัวอย่าง	1 ตัวอย่าง
ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 22 ตัวอย่าง	9 ตัวอย่าง	6 ตัวอย่าง	6 ตัวอย่าง	1 ตัวอย่าง
ชนิดข้าว	ข้าวมีสีที่มีการเพาะปลูกเฉพาะถิ่น			
	ภาคอีสาน	ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ภาคใต้
ข้าวสังข์หยด 21 ตัวอย่าง	-	-	-	21 ตัวอย่าง
ข้าวเหนียวลิ้มผัว 18 ตัวอย่าง	2 ตัวอย่าง	-	16 ตัวอย่าง	-

กิโลกรัม สำหรับ As (V), MMA และ DMA เท่ากับ 0.020 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

analysis of variance (One-Way ANOVA) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics Version 19 ใช้สถิติเชิงพรรณนาแสดงผลด้วยการแจกแจงความถี่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้าวมีสี 5 ชนิด ใช้การวิเคราะห์ด้วย One-Way

ผลการศึกษา

ปริมาณและชนิดของสารหนูในข้าวมีสีทั้ง 5 ชนิด

ข้าวมีสีที่นำมาศึกษา ได้แก่ ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวหอมนิล ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวลิ้มผัวมีการจำหน่ายลักษณะ “ข้าวกล้อง” ข้าวสังข์หยด มีการจำหน่ายลักษณะ “ข้าวซ้อมมือ” จึงเรียกรวมกันว่า “ข้าวมีสี” ปริมาณเฉลี่ยของสารหนูรูป

ต่างๆ ที่พบในข้าวทั้ง 5 ชนิด (103 ตัวอย่าง) แสดงในตารางที่ 2 พบค่าเฉลี่ยสารหนูรวม เท่ากับ 0.182 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบในรูปสารหนูอนินทรีย์ ได้แก่ As (III) และ As (V) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของสารหนูอนินทรีย์ เท่ากับ 0.112 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับสารหนูอนินทรีย์ พบเพียง DMA ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.036 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่างข้าวมีสีทั้ง 5 ชนิด มีสารหนูอนินทรีย์ปริมาณมากกว่าสารหนูอนินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยชนิดของสารหนูที่พบมากที่สุด คือ As (III) รองมาคือ DMA และ As (V) ตามลำดับ

การกระจายตัวของปริมาณสารหนูในข้าวมีสีแต่ละชนิด

สารหนูรวม (Total As)

ปริมาณเฉลี่ยสารหนูรวมมีค่าสูงสุดในข้าวสังข์หยด (0.275 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองมาคือ ข้าวหอมมะลิแดง (0.204 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (0.204 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมนิล (0.180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และต่ำสุดในข้าวเหนียวลิ้มฟัว (0.023 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยข้าวสังข์หยดมีปริมาณเฉลี่ยสารหนูรวมสูงกว่าข้าวหอมนิลและข้าวเหนียวลิ้มฟัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ข้าวมีสีส่วนใหญ่ ยกเว้น ข้าวสังข์หยด มีสารหนูรวมระดับต่ำ (รูปที่ 1) โดยมีปริมาณต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 94 ของข้าวเหนียวลิ้มฟัว ร้อยละ 81 ของข้าวหอมนิล ร้อยละ 67 ของข้าวหอมมะลิแดง และร้อยละ 50 ของข้าวไรซ์เบอร์รี่) ข้าวสังข์หยดส่วนใหญ่ (ร้อยละ 48) มีสารหนูรวมระดับปานกลาง (> 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบตัวอย่างเพียงร้อยละ 11 มีสารหนูรวม

ระดับสูงกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ข้าวสังข์หยด 5 ตัวอย่าง (0.820, 0.500, 0.330, 0.330 และ 0.320 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมมะลิแดง 2 ตัวอย่าง (0.470 และ 0.310 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 2 ตัวอย่าง (0.310 และ 0.310 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมนิล 1 ตัวอย่าง (0.480 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และข้าวเหนียวลิ้มฟัว 1 ตัวอย่าง (0.370 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

สารหนูอนินทรีย์ [As(III) + As(V)]

ชนิดของสารหนูอนินทรีย์ที่พบในข้าวมีสีพบทั้ง As(III) และ As(V) ปริมาณเฉลี่ยสารหนูอนินทรีย์มีค่าสูงสุดในข้าวสังข์หยด (0.166 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองมาคือ ข้าวหอมมะลิแดง (0.132 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (0.122 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมนิล (0.112 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และต่ำสุดในข้าวเหนียวลิ้มฟัว (0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยพบว่าข้าวสังข์หยดมีปริมาณเฉลี่ยสารหนูอนินทรีย์สูงกว่าข้าวหอมนิลและข้าวเหนียวลิ้มฟัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ส่วนใหญ่ของข้าวมีสี ยกเว้น ข้าวเหนียวลิ้มฟัว มีสารหนูอนินทรีย์ระดับปานกลาง (รูปที่ 2) โดยมีปริมาณระหว่าง 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 67 ของข้าวสังข์หยด ร้อยละ 62 ของข้าวหอมนิล ร้อยละ 55 ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ และร้อยละ 52 ของข้าวหอมมะลิแดง) พบตัวอย่างข้าวมีสีเพียงร้อยละ 11 ที่มีสารหนูอนินทรีย์ในระดับสูงกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ข้าวสังข์หยด 5 ตัวอย่าง (0.391, 0.261, 0.248, 0.237 และ 0.215 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมมะลิแดง 2 ตัวอย่าง (0.373 และ 0.214 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1

ตัวอย่าง (0.220 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมนิล 1 ตัวอย่าง (0.263 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และข้าวเหนียวลิ้มฟัว 1 ตัวอย่าง (0.244 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

สารหนูอินทรีย์ (DMA)

ชนิดของสารหนูอินทรีย์ที่พบในข้าวมีสีจากการศึกษานี้ คือ DMA มีปริมาณเฉลี่ยสูงสุดในข้าวสังข์หยด (0.064 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองมาคือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (0.038 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมมะลิแดง (เฉลี่ย 0.036 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ข้าวหอมนิล (0.035 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ต่ำสุดในข้าวเหนียวลิ้มฟัว (0.004 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยข้าวสังข์หยดมีปริมาณเฉลี่ยสารหนูอินทรีย์ (DMA) สูงกว่าข้าวเหนียวลิ้มฟัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ส่วนใหญ่ของข้าวมีสีมีสารหนูอินทรีย์ (DMA) ระดับต่ำมาก (รูปที่ 3) โดยมีปริมาณต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ร้อยละ 100 ของข้าวหอมมะลิแดง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวลิ้มฟัว ร้อยละ 95 ของข้าวหอมนิล และร้อยละ 90 ข้าวสังข์หยด) พบข้าวมีสีมีปริมาณสารหนูอินทรีย์ (DMA) สูงกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพียง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ข้าวสังข์หยด 2 ตัวอย่าง (0.320 และ 0.230 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และข้าวหอมนิล 1 ตัวอย่าง (0.190 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

วิจารณ์ผลการศึกษา

ปริมาณและรูปของสารหนูในข้าวมีสีทั้ง 5 ชนิด

สารหนูที่พบในข้าวมีสีทั้ง 5 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นสารหนูอนินทรีย์ อัตราส่วนของสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูรวม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.52-

0.65 ใกล้เคียงกับการศึกษาของ สุมลธา และคณะ¹⁷ ที่พบสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูรวมในข้าวมีสี (red rice) และข้าวเหนียวดำ (black sticky rice) 0.63 และ 0.66 ตามลำดับการรวบรวมข้อมูลของ Codex พบว่าข้าวที่ปลูกในประเทศเดียวกันมีอัตราส่วนสารหนูอนินทรีย์ต่อสารหนูรวมแตกต่างกัน¹⁷ โดยพบความแตกต่างในข้าวต่างสายพันธุ์ และรูปของสารหนูในดินที่ใช้เพาะปลูก ชนิดของสารหนูที่พบในตัวอย่างข้าวมีสีมากที่สุด คือ As(III) รองลงมาคือ DMA และ As(V) ตามลำดับ เนื่องจากข้าวมีความสามารถดูดซึมสารหนูในรูป As(III) จากดินที่ใช้เพาะปลูกสูงกว่าในรูปอื่น¹ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณสารหนูอนินทรีย์ (As(III) และ As(V)) สูงกว่าข้าวขัดสี เนื่องจากสารหนูอนินทรีย์ส่วนใหญ่สะสมในบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดมากกว่าภายในเมล็ดข้าว¹⁸ แม้สารหนูที่พบในข้าวมีสีของประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นสารหนูอนินทรีย์ แต่อัตราส่วนที่พบต่อสารหนูรวมใกล้เคียงกับข้าวกล้องในประเทศอเมริกา (0.66)¹⁰ แต่ต่ำกว่าข้าวกล้องในประเทศจีน (0.82)¹⁰ ประเทศญี่ปุ่น (0.92)¹⁰ และประเทศสเปน (0.79-0.93)¹⁹

การกระจายตัวของปริมาณสารหนูในข้าวมีสีแต่ละชนิด

สารหนูรวม (Total As)

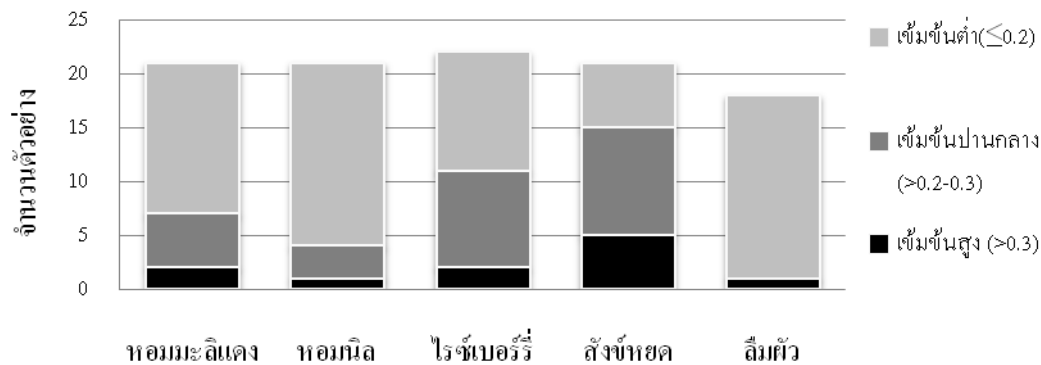
ปริมาณเฉลี่ยสารหนูรวมในข้าวมีสีทั้ง 5 ชนิด (0.023-0.275 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ สุมลธา และคณะ¹⁷ ในข้าวสารที่เก็บจากร้านจำหน่ายข้าวของประเทศไทย ปี พ.ศ.2555-2551 ซึ่งพบว่าข้าวข้าวมีสี (red rice) มีค่าเฉลี่ยสารหนูรวม 0.211 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 2 ปริมาณสารหนูในข้าวมีสี 5 ชนิด ที่เก็บจากสถานจำหน่ายเชิงพาณิชย์ และกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวในพื้นที่เพาะปลูกของประเทศไทย

ชนิดข้าว	จำนวนตัวอย่าง (%)	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารหนู Mean±SD (ค่าต่ำสุด-สูงสุด)						
		สารหนูรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	สารหนูอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			Ratio of iAs to tAs		Ratio of oAs to tAs
			As(III)	As(V)	รวม	DMA	MMA	
หอมมะลิแดง	21 (20.4)	0.204 ± 0.078 ^e (0.120-0.470)	0.126 ± 0.048 (0.081-0.300)	0.006 ± 0.017 (ND-0.073)	0.132 ± 0.064 ^e (0.081-0.373)	0.036 ± 0.026 (ND-0.095)	ND	0.036 ± 0.026 (ND-0.095)
	21 (20.4)	0.180 ± 0.082 ^{de} (0.067-0.480)	0.106 ± 0.044 (ND-0.240)	0.007 ± 0.010 (ND-0.031)	0.112 ± 0.047 ^{de} (ND-0.263)	0.035 ± 0.041 (ND-0.190)	ND	0.035 ± 0.041 (ND-0.190)
ไรซ์เบอร์รี่	22 (21.4)	0.204 ± 0.061 ^e (0.100-0.310)	0.120 ± 0.040 (0.060-0.220)	0.002 ± 0.005 (ND-0.015)	0.122 ± 0.042 ^e (0.060-0.220)	0.038 ± 0.020 (ND-0.091)	ND	0.038 ± 0.020 (ND-0.091)
	21 (20.4)	0.275 ± 0.151 ^{be} (0.081-0.820)	0.146 ± 0.056 (0.058-0.310)	0.020 ± 0.019 (ND-0.081)	0.166 ± 0.073 ^{be} (0.058-0.391)	0.064 ± 0.075 (ND-0.320)	ND	0.064 ± 0.075 ^e (ND-0.320)
ลิ้มฟ้า	18 (17.5)	0.023 ± 0.087 ^{abc,d} (ND-0.370)	0.013 ± 0.052 (ND-0.220)	0.003 ± 0.006 (ND-0.024)	0.015 ± 0.057 ^{abc,d} (ND-0.244)	0.004 ± 0.019 (ND-0.080)	ND	0.004 ± 0.019 ^d (ND-0.080)
	103 (100)	0.182 ± 0.124 (ND-0.820)	0.105 ± 0.065 (ND-0.310)	0.008 ± 0.014 (ND-0.081)	0.112 ± 0.074 (ND-0.391)	0.036 ± 0.045 (ND-0.320)	ND	0.036 ± 0.045 (ND-0.320)

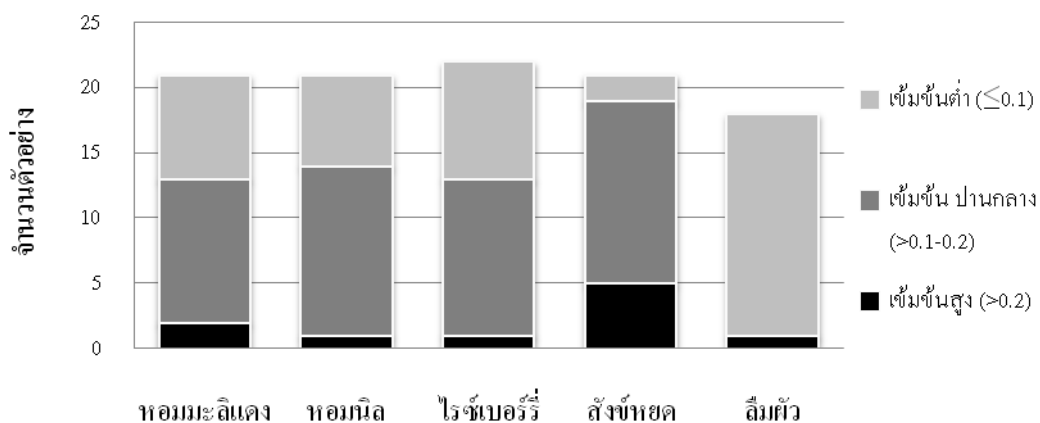
หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} และ ^e หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากข้าวหอมมะลิแดง, หอมนิล, ไรซ์เบอร์รี่, ลิ้มฟ้า และข้าวเหนียวลิ้มฟ้า ตามลำดับ ที่ระดับ *p*-value < 0.05, ND = 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่า LOD ของสารหนูรวม และสารหนูอินทรีย์ (As(III)) เท่ากับ 0.050 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, สารหนูอินทรีย์ (As(V)) และสารหนูอินทรีย์ (MMA, DMA) เท่ากับ 0.020 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณสารหนูรวม (Total As)



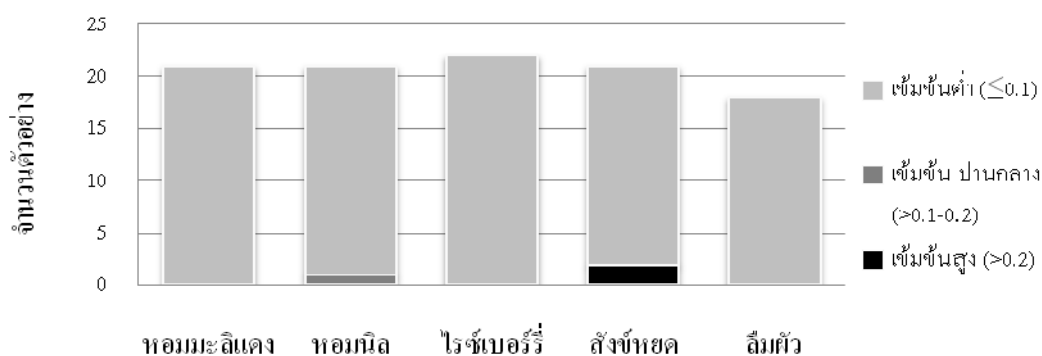
รูปที่ 1 จำนวนตัวอย่างข้าวมีสี 5 ชนิด ที่มีสารหนูรวมที่ระดับความเข้มข้นสูง กลาง และต่ำ

ปริมาณสารหนูอินทรีย์ (As(III)+As(V))



รูปที่ 2 จำนวนตัวอย่างข้าวมีสี 5 ชนิด ที่มีสารหนูอินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้นสูง กลาง และต่ำ

ปริมาณสารหนูอินทรีย์ (DMA)



รูปที่ 3 จำนวนตัวอย่างข้าวมีสี 5 ชนิด ที่มีสารหนูอินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้นสูง กลาง และต่ำ

ใกล้เคียงกับที่พบในข้าวหอมมะลิแดง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมนิล แต่ในการศึกษานี้ข้าวเหนียวดำ(black sticky rice) มีค่าเฉลี่ยสารหนูรวม 0.124 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าข้าวเหนียวลิ้มฟัว ในการศึกษานี้อาจเนื่องจากเป็นข้าวคนละสายพันธุ์ และเก็บจากแหล่งเพาะปลูกต่างพื้นที่ แม้ข้าวสังข์หยดจะเป็นข้าวที่พบสารหนูรวมปริมาณสูงกว่าข้าวมีสีชนิดอื่น แต่พบในระดับใกล้เคียงกับข้าวกล้องในประเทศจีน (0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ ประเทศออสเตรเลีย (0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ และประเทศเวียดนาม (0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)²⁰ อย่างไรก็ตามสารหนูรวมในข้าวมีสีในการศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับข้าวกล้องในประเทศญี่ปุ่น (0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ สหภาพยุโรป (0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ สหรัฐอเมริกา (0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ แต่ต่ำกว่าข้าวกล้องบาสมาติในประเทศอาร์เจนตินา (0.308-0.568 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)²¹

การศึกษานี้พบปริมาณเฉลี่ยสารหนูรวมสูงสุดในข้าวสังข์หยด อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่เพาะปลูก โดยตัวอย่างข้าวสังข์หยดในการศึกษานี้มาจากพื้นที่เพาะปลูกในภาคใต้เท่านั้น ขณะที่ข้าวมีสีชนิดอื่นมาจากแหล่งผลิตต่างภูมิภาค ในภาคอีสาน ภาคกลาง และ/หรือ ภาคเหนือ (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามตัวอย่างข้าวสังข์หยดส่วนใหญ่ (ร้อยละ 88) มีปริมาณสารหนูรวมต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่มีการเสนอให้พิจารณาในการกำหนดปริมาณสูงสุดสำหรับสารหนูอนินทรีย์ในข้าวกล้องในการประชุมคณะกรรมการโคเด็กซ์ สาขาสารปนเปื้อน

แม้ข้าวสังข์หยดจะเป็นข้าวที่พบสารหนู

อนินทรีย์ปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องมีสีชนิดอื่น แต่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับข้าวกล้องในประเทศบราซิล (0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ และประเทศญี่ปุ่น (0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ ต่ำกว่าประเทศจีน (0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ แต่สูงกว่าประเทศออสเตรเลีย (0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ และสหรัฐอเมริกา (0.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)¹⁰ แสดงว่าต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่เพาะปลูกเฉพาะพื้นที่ซึ่งพบสารหนูอนินทรีย์ในข้าวปริมาณสูง เพื่อควบคุมปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในข้าวสังข์หยดจากพื้นที่เพาะปลูกสำคัญให้มีระดับต่ำลง โดยเฉพาะในพื้นที่เสี่ยงที่พบปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในข้าวสูงเกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังที่พบในตัวอย่างข้าวมีสีที่มาจากพื้นที่เพาะปลูกแหล่งหนึ่งในจังหวัดปัตตานี ได้แก่ ข้าวสังข์หยด (0.391 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และพื้นที่เพาะปลูกแหล่งหนึ่งในจังหวัดราชบุรี ได้แก่ ข้าวหอมมะลิแดง (0.373 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) หากควบคุมให้ข้าวมีสีที่เพาะปลูกจากแหล่งผลิตสำคัญมีปริมาณสารหนูอนินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานของโคเด็กซ์ จะเป็นการเพิ่มโอกาสการแข่งขันด้านการผลิตข้าวที่มีคุณภาพและความปลอดภัยในระดับไม่ก่อความกังวลต่อสุขภาพของผู้บริโภค

สารหนูอนินทรีย์ (DMA)

ปริมาณเฉลี่ยสารหนูอนินทรีย์ (DMA) ในข้าวมีสีทั้ง 5 ชนิด (0.004-0.064 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของสุมลธาและคณะ¹⁷ ซึ่งพบว่าข้าวเจ้ามีสีมีค่าเฉลี่ยสารหนูอนินทรีย์ 0.025 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิแดง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมนิล ในการศึกษานี้ แต่ข้าวเหนียวดำมีค่าเฉลี่ยสาร

หนูนินทรีย์ 0.021 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าข้าวเหนียวลิ้มผั่วที่พบในการศึกษานี้

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สารหนูรวม สารหนูนินทรีย์ และสารหนูนินทรีย์ในข้าวมีสี 10 ชนิด 53 ตัวอย่าง (มีปริมาณเฉลี่ย 0.182, 0.112 และ 0.036 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ พบในข้าวเจ้ามีสี 4 ชนิดระดับสูงกว่าข้าวเหนียวลิ้มผั่ว โดยพบสารหนูนินทรีย์ในสัดส่วนที่สูงกว่าสารหนูนินทรีย์อัตราส่วนสารหนูนินทรีย์ต่อสารหนูรวมในข้าวมีสี ชนิดใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.52-0.65 (เฉลี่ย 0.60) ในกลุ่มสารหนูนินทรีย์ พบ As(III) ในปริมาณและจำนวนตัวอย่างที่มากกว่า As(V) กลุ่มสารหนูนินทรีย์ พบเฉพาะ DMA แต่ปริมาณที่พบต่ำกว่า As(III) มาก เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของโคเด็กซ์ ซึ่งกำหนดปริมาณสูงสุด (Maximum level) สำหรับสารหนูนินทรีย์ในข้าวชนิดสี ที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าข้าวมีสีส่วนใหญ่ (ร้อยละ 90) มีปริมาณสารหนูนินทรีย์ต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับที่พบว่าข้าวมีสีส่วนใหญ่ (ร้อยละ 89) มีปริมาณสารหนูรวมต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นหากข้าวมีสีมีสารหนูรวมต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โอกาสที่จะพบสารหนูนินทรีย์เกินมาตรฐานเป็นไปได้น้อย

ข้าวมีสีส่วนใหญ่พบปริมาณสารหนูเป็นไปตามมาตรฐานของโคเด็กซ์¹⁷ “ข้าวเจ้ามีสี” ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวหอมนิล ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวสังข์หยด มีค่าเฉลี่ยสารหนูนินทรีย์ ระหว่าง 0.012-0.116 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบสารหนูนินทรีย์เกิน 0.2

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพียง 9 ตัวอย่าง (ร้อยละ 11) ได้แก่ ข้าวสังข์หยด 5 ตัวอย่าง ข้าวหอมมะลิแดง 2 ตัวอย่าง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1 ตัวอย่าง และข้าวหอมนิล 1 ตัวอย่าง โดยพบสูงสุด 0.391 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในตัวอย่างข้าวสังข์หยดจากพื้นที่เพาะปลูกหนึ่งในจังหวัดปัตตานี อย่างไรก็ตามควรมีการประเมินความเสี่ยงในการได้รับสัมผัสสารหนูนินทรีย์จากการบริโภคข้าวในประชากรไทย เนื่องจากสารหนูนินทรีย์จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และคนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก จึงจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าการปนเปื้อนของสารหนูนินทรีย์ในระดับใดจึงก่อความเสี่ยงที่น่ายกยดต่อสุขภาพของประชากรไทย

การปนเปื้อนสารหนูในข้าวระดับสูงอาจเกิดจากหลายปัจจัย ดังที่พบว่าข้าวสังข์หยดเป็นข้าวที่พบสารหนูสูงกว่าข้าวมีสีชนิดอื่น เนื่องจากเป็นข้าวประจำถิ่นในภาคใต้ ตัวอย่างที่ศึกษาเป็นข้าวจากพื้นที่เพาะปลูกในภาคใต้ ซึ่งสภาพทางธรณีวิทยาแตกต่างจากภาคอื่น จึงควรมีการศึกษาข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่เพาะปลูกในพื้นที่เพาะปลูกซึ่งพบปริมาณสารหนูในข้าวสูง เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารหนูในข้าวที่เพาะปลูกในพื้นที่นั้น ความต่างของสายพันธุ์ข้าวอาจเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้พบสารหนูในระดับต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างทางชีวภาพ และลักษณะการดูดซึมสารอาหารจากรากสู่ลำต้นข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน อาจส่งผลต่อการดูดซึมสารหนูเข้าสู่ต้นข้าว และการสะสมสารหนูในเมล็ดข้าว²² ดังที่พบว่าตัวอย่างข้าวมีสีที่มาจากพื้นที่เพาะปลูกหนึ่งในจังหวัดปัตตานี ได้แก่ ข้าวสังข์หยด และข้าวหอมนิล แม้พบสารหนูปริมาณสูง แต่พบระดับแตกต่างกัน เป็นที่น่าสังเกตว่า

“ข้าวเหนียวมีสี” คือ ข้าวเหนียวลิ้มฟัว ส่วนใหญ่มีสารหนูอนินทรีย์ในปริมาณต่ำมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของสายพันธุ์ และวิธีการเพาะปลูก เนื่องจากข้าวเหนียวลิ้มฟัวส่วนใหญ่มาจากแหล่งเพาะปลูกในที่สูง เป็นข้าวนาปี อาศัยน้ำฝนในการเพาะปลูก มีรายงานการศึกษาพบว่าข้าวที่ปลูกโดยไม่ใช้น้ำท่วมขัง (aerobic condition) มีปริมาณสารหนูในเมล็ดข้าวต่ำกว่าข้าวที่ปลูกโดยใช้น้ำท่วมขัง^{18, 23} ดังนั้นควรมีการศึกษาเชิงพื้นที่ สายพันธุ์ข้าว รูปแบบการเพาะปลูก เพื่อควบคุมปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้ข้าวมีปริมาณสารหนูสูง เนื่องจากอาจก่อความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากรในท้องถิ่นนั้น ในการได้รับสารหนูอนินทรีย์ในระดับที่น่ากังวล หากมีการบริโภคข้าวจากแหล่งเพาะปลูกนั้นเป็นประจำ

กิตติกรรมประกาศ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันอาหาร

เอกสารอ้างอิง

1. Loebenstein JR. The materials flow of arsenic in the United States, *Bureau of Mines Information Circular* 1994; 9382.
2. Williams PN, Villada A, Deacon C, *et al.* Greatly enhanced arsenic shoot assimilation in rice leads to elevated grain levels compared to wheat and barley. *Environ Sci Technol* 2007; 41: 6854–9.
3. Surasani VKR, Shukla SS, Dorris KL, *et al.* A study of the levels of toxic metals in Indian and USA rice samples using icp-aes and various surface analysis techniques. Lamar University. *ProQuest LLC* 2013; UMI Number: 1544872.
4. Heikens A. Arsenic contamination of irrigation water, soil and crops in Bangladesh: Risk implications for sustainable agriculture and food safety in Asia. *FAO, RAP PUBLICATION* 2006; 2006/20.
5. Su YH, Steve PG, Zhao FJ. Rice is more efficient in arsenite uptake and translocation than wheat and barley. *Plant and Soil* 2010; 328: 1, 27-34.
6. Williams PN, Price AH, Raab A, *et al.* Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure. *Environ Sci Technol* 2005; 39: 5531–40.
7. Zavala YJ, Duxbury JM. Arsenic in Rice: I. Estimating Normal Levels of Total Arsenic in Rice Grain. *Environ Sci Technol* 2008; 42: 3856-60.
8. NRCC (National Research Council of Canada). Effects of Arsenic in the Canadian Environment. *NRCC* 1978; no. 15391.
9. IARC (International Agency for Research on Cancer). IARC Monographs on the

- Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon, France: WHO, 2012.
10. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods. Proposed Draft Maximum Levels for Arsenic in Rice (Raw and Polished Rice). Agenda Item 6 2014; CX/CF 14/8/6.
 11. The commission's regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 on the determination of maximum levels for certain foreign substances in food.
 12. Sangkitikomol W, Tencomnao T, Rocejanasaroj A, *et al.* Comparisons of total antioxidants of red rice, black rice, and black sticky rice. *J Nutr Assoc Thai* 2008; 43: 2.
 13. Zhang JZ, Joseph AC. The Toxicity Assessment of Heavy Metals and Their Species in Rice. Jiling University. *ProQuest LLC* 2009; UMI Number: 1478570.
 14. Emma HA, Petra F, Karin G, *et al.* Inorganic Arsenic in Rice and Rice Products on the Swedish Market. *Nat Food Agen* 2015; ISSN 1104-7089.
 15. Julshamn K, Maage A, Norli HS, *et al.* Determination of Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods by Pressure Digestion and Inductively Coupled Plasma/ Mass Spectrometry: First Action 2013.06. *J AOAC Int* 2013.
 16. Megumi HN, Kenichi H, Masakatsu U, *et al.* Nitric Acid-based Partial-digestion Method for Selective Determination of Inorganic Arsenic in Hijiki and Application to Soaked Hijiki. *J Food Hyg Soc Jpn* 2007; 49: 2.
 17. Nookabkaew S, Rangkadilok N, Mahidol C, *et al.* Determination of Arsenic Species in Rice from Thailand and Other Asian Countries Using Simple Extraction and HPLC-ICP-MS Analysis. *J Agric Food Chem* 2013; 61: 6991-8.
 18. Xu XY, McGrath SP, Meharg AA, *et al.* Growing rice aerobically markedly decreases arsenic accumulation. *Environ Sci Technol* 2008; 42: 5574-9.
 19. Silvia TE, Mariana L, Dinora Z, *et al.* Total and Inorganic Arsenic Concentrations in Rice Sold in Spain, Effect of Cooking, and Risk Assessments. *Environ Sci Technol* 2008; 42: 3867-72.
 20. Phuong TD, Chuong PV, Khiemc DT, *et al.* Elemental content of Vietnamese rice Part 1. Sampling, analysis and comparison with previous studies. *Analyst* 1999; 124: 553-60.
 21. Arsenic in your food, Our findings show a real need for federal standards for this

- toxin. *ConsumerReports.org* 2012;
Available at: <http://www.consumerreports.org/cro/magazine/2012/11/arsenic-in-your-food/index.htm>. Accessed date: September 28, 2015.
22. Rahman MA, Hasegawa H, Rahman MM, *et al*. Accumulation of Arsenic in Tissues of Rice Plant (*Oryza sativa* L.) and its Distribution in Fractions of Rice Grain. *Chemosphere* 2007; 69: 942–8.
23. Li RY, Stroud JL, Ma JF, *et al*. Mitigation of arsenic accumulation in rice with water management and silicon fertilization. *Environ Sci Technol* 2009; 43 (10): 3778–83.