การตอบสนองของผลผลิตในข้าว 3 พันธุ์ที่ปลูกในดินที่มีปริมาณแคดเมียมแตกต่างกัน

Response of grain yield among 3 rice varieties grown at different soil Cd concentrations

กัญญ์กุลณัช คำปวง[1], พลยุทธ ศุขสมิติ[2], สมชัย ลาภอนันต์นพคุณ[3], ยุทธ์ดนัย ยอดทองดี[3] และ ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย[1,4*]

Kankunlanach Khampuang[1], Ponlayuth Sooksamiti[2], Somchai Lapanantnoppakun[3], Yutdanai Yodthongdee[3] and Chanakan Thebault Prom-u-thai[1,4*]

บทคัดย่อ: การบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียมก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้บริโภค ซึ่งนำมาสู่การสะสมสารพิษในร่างกายและอวัยวะต่างๆ ทำงานบกพร่อง การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของผลผลิตข้าวต่างพันธุ์กันเมื่อปลูกในสภาพดินที่มีปริมาณแคดเมียมแตกต่างกัน ทำการทดลองในกระถาง วางแผนการทดลองแบบ 3×4 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ใช้พันธุ์ข้าวจำนวน 3 พันธุ์ คือ กำหอม มช. ขาวดอกมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง ปลูกในดินที่ใส่แคดเมียมต่างกัน 4 ระดับ คือ 0 (control), 5, 100, 200 มก./กก.ดิน ประเมินผลผลิตในระยะสุกแก่ พบว่าผลผลิตข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อความเข้มข้นแคดเมียมในดินแตกต่างกัน ข้าวพันธุ์สังข์หยด ที่ปลูกในดินที่มีระดับแคดเมียมในดิน 200 มก./กก.ดิน ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 31.88 ในขณะที่แคดเมียมในดินที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 100 มก./กก.ดิน ไม่มีผลต่อผลผลิตเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ไม่ใส่แคดเมียม ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 การใส่แคดเมียมในดินที่ระดับ 5 มก./กก.ดิน มีผลผลิตไม่แตกต่างจากที่ไม่ใส่แคดเมียม แต่พบว่าที่ระดับแคดเมียม 100 และ 200 มก./กก.ดิน ส่งผลให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 42.08 และ 84.35 ตามลำดับ และในข้าวพันธุ์กำหอม มช. พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินไม่มีผลต่อผลผลิต ซึ่งผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า ผลผลิตข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองเมื่อปลูกในดินที่มีปริมาณแคดเมียมแตกต่างกัน พันธุ์สังข์หยดมีผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีผลผลิตลดลง ในขณะที่ผลผลิตข้าวพันธุ์กำหอม มช. ไม่ตอบสนองต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ซึ่งความแตกต่างในการตอบสนองดังกล่าว จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาสรีรวิทยาการสร้างผลผลิตและการสะสมแคดเมียมในเมล็ดของข้าวแต่ละพันธุ์เมื่อปลูกในสภาพดินที่มีแคดเมียมแตกต่างกันได้ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความทนทานในการสร้างผลผลิต เมื่อปลูกในดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อนสูงแต่มีการสะสมแคดเมียมในเมล็ดต่ำได้ต่อไป

คำสำคัญ: แคดเมียม, ผลผลิตข้าว, การปนเปื้อน, โลหะหนัก

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
Department of plant and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

[2] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

[3] สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 เชียงใหม่ 50200
Office of Primary Industries and Mines, Region 3, Chang Mai 50200

[4] ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: Chanakan15@hotmail.com

ABSTRACT: Consumption of Cd contaminated rice leads to the toxic on human health. This study was to evaluate the response of grain yield in different rice varieties grown under different soil cadmium concentrations. The pot experiment was arranged in 3 4 factorial in completely randomized design (CRD) with three replications. The 3 rice varieties used were Kam Hom CMU, KDML 105 and Sang Yod (Phattalung). Cadmium concentration in the soil was varied into 0 (control), 5, 100 and 200 mg Cd per kg soil. Grain yield of the three varieties was affected by soil cadmium concentration differently. In Sang Yod, grain yield increased 31.88% in 200 mg Cd per kg soil, while it was not affected by Cd concentration at 5 and 100 mg Cd per kg soil compared with the control (no Cd in the soil). In KDML 105, grain yield was not affected by Cd at 5 mg per kg soil, but it was decreased 42.08 and 84.35% when soil Cd concentration increased at 100 and 200 mg Cd per kg soil, respectively. In Kam Hom CMU, grain yield was not affected by soil cadmium concentration. This study indicated the difference responses of grain yield among the 3 rice varieties grown at different soil Cd concentration. Grain yield of Sang Yod was increased, while the reversed response was found in KDML 105 and it was not affected in Kam Hom CMU. The difference responses among these rice varieties will be useful information to further study on physiological mechanism of rice production under different soil Cd concentration as well as the accumulation of Cd in rice grain which could be also useful for the selection of rice varieties as source of genetic material in breeding program for Cd tolerance rice variety.
Keywords: Cadmium, Grain yield, Contamination, Heavy metal

บทนำ

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษ หากได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดความผิดปกติของระบบการทำงานของไตและเกิดการสะสมสารพิษในส่วนอื่นๆ ของร่างกายด้วย (Yanagisawa et al., 1984; Sriprachote et al., 2012) เช่น ในประเทศญี่ปุ่นที่พบว่าการบริโภคข้าวที่มีแคดเมียมปนเปื้อนเกินมาตรฐาน เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต (Wu et al., 2006) สำหรับในประเทศไทยพบว่าเมล็ดข้าวสะสมแคดเมียมเกินมาตรฐาน มีสาเหตุมาจากการปลูกข้าวในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากภาคอุตสาหกรรมและการเกษตร อย่างที่พบในพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินดังกล่าวส่งผลกระทบแก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก โดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2547) รายงานว่าในปี พ.ศ.2546 พบการปนเปื้อนแคดเมียมในดินบริเวณที่ใกล้แหล่งน้ำที่ห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ประเทศไทย อยู่ในช่วง 0.46-218 มก./กก.ดิน ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยแคดเมียมในดินของประเทศไทยที่ 0.15 มก./กก.ดิน

นอกจากแคดเมียมจะเป็นพิษต่อมนุษย์แล้วยังพบว่า มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชด้วย แม้ว่าแคดเมียมจะไม่ใช่ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช แต่พืชสามารถดูดซับแคดเมียมได้อย่างรวดเร็วและถูกส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆได้ (Li et al., 1995; Dong et al., 2006; Gao et al., 2011) สำหรับข้าวที่เป็นอาหารหลักของประชากรเกือบครึ่งโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย พบว่า ผลผลิตข้าวแต่ละพันธุ์มีศักยภาพในการตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นแคดเมียมแตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินที่ระดับแคดเมียม 0.002, 3, 48 และ 277 มก./กก. พบว่าที่ระดับแคดเมียม 0.002 และ 3 มก./กก. ให้ผลผลิตปกติและมีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย คือ 60.04 และ 36.18 ก./กระถาง ตามลำดับ ส่วนที่ระดับแคดเมียม 48 และ 277 มก./กก. ไม่ให้ผลผลิต และพบว่าการใส่แคดเมียมในดินที่ระดับ 3, 48 และ 277 มก./กก. ส่งผลให้น้ำหนักฟางลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ปนเปื้อนแคดเมียม (0.002 มก./กก.) โดยมีน้ำหนักฟางเฉลี่ย คือ 65.30, 44.43, 13.20 และ 7.41 ก./กระถาง ตามลำดับ (สรัตนา, 2548)

แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาผลของความเข้มข้นแคดเมียมในดินต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ปรับปรุง (improved traditional varieties) พันธุ์ต่างๆ ที่อาจจะมีการตอบสนองแตกต่างกับข้าวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ (high yielding varieties) ข้างต้น ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินผลของแคดเมียมในดินที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อผลผลิตในข้าวพันธุ์ปรับปรุงจากพันธุ์พื้นเมืองแต่ละพันธุ์ คือ

ก่ำหอม มช. และ สังข์หยดพัทลุง เปรียบเทียบกับพันธุ์ข้าว ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งข้อมูลความแตกต่างในตอบสนองของผลผลิตที่ระดับความเข้มข้นแคดเมียมแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์นี้ จะสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาสรีรวิทยาพืชเชิงลึกถึงอิทธิพลของความเข้มข้นแคดเมียมในดิน ต่อการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวและการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้สามารถทนต่อสภาพดินที่มีแคดเมียมและลดการสะสมแคดเมียมในเมล็ดได้

วิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

ดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล ณ ศูนย์วิจัยทรัพยากรพันธุกรรมและธาตุอาหารพืช คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำการทดลองในกระถาง จัดชุดการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design (CRD) มี 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ข้าวจำนวน 3 พันธุ์ คือ ก่ำหอม มช. ขาวดอกมะลิ 105 และสังข์หยดพัทลุง ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาการตอบสนองไว้เพียงบางส่วน ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และสังข์หยด จึงได้นำข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. มาศึกษาเปรียบเทียบ ปัจจัยที่ 2 ปริมาณแคดเมียมที่ใส่ในดิน 4 ระดับ คือ 0, 5, 100, 200 มก./กก.ดิน โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

การปลูกข้าว

ปลูกข้าวในฤดูเพาะปลูกนาปี ในช่วงเดือนมิถุนายน - ธันวาคม พ.ศ. 2557 ดินที่ใช้ปลูกข้าวเป็นชุดดินสันทราย มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย มีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 6.36 - 6.43 และค่าแคดเมียมในดินที่ 0.10 มก./กก. เตรียมดินโดยตากดินให้แห้ง หลังจากนั้นบดดินให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. นำแร่ผสมที่ได้จากโรงงานอุตาสาหกรรมการผลิตปุ๋ย และมีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบที่ความเข้มข้น 2,296 มก./กก. โดยในแร่ผสมยังประกอบไปด้วยธาตุอื่นๆ คือ ปรอท ทองแดง สังกะสี เหล็ก และแมงกานีส นำมาบดละเอียดคลุกผสมกับดินที่บดและร่อนแล้วข้างต้นตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมทั้ง 4 ระดับ คือ 0 (ไม่ใส่แร่ผสม), 5, 100 และ 200 มก./กก.ดิน หลังจากนั้นนำดินที่ผสมแร่แต่ละระดับความเข้มข้นใส่ในกระถางพลาสติกที่เตรียมไว้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 ซม. สูง 30 ซม. ปริมาณดินที่ใส่ 10 กก./กระถาง หมักดินไว้ในกระถางและวัดค่า pH ทุกสามวัน หลังจากค่า pH ดินคงที่ นำต้นกล้าของข้าวแต่ละพันธุ์ที่มีอายุ 2 สัปดาห์ย้ายลงปลูกในกระถางทดลอง โดยปลูกกระถางละ 5 ต้น ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 0.9 ก./กระถาง โดยแบ่งใส่ทั้งหมด 4 ครั้ง ครั้งที่ 1 หลังปลูก 2 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 ระยะข้าวแตกกอ ครั้งที่ 3 ระยะข้าวตั้งท้อง และครั้งที่ 4 ระยะออกข้าวออกดอก ให้น้ำแบบขังน้ำทุกกระถาง โดยมีระดับน้ำสูงเหนือผิวดินประมาณ 10 ซม. และหยุดให้น้ำก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 1 เดือน และรักษาระดับความชื้นดินให้อยู่ในระดับความชื้นภาคสนาม (field capacity)

การเก็บตัวอย่างและข้อมูลข้าว

เก็บตัวอย่างข้าวเมื่อถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity) ของข้าวแต่ละพันธุ์ ซึ่งเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. ขาวดอกมะลิ 105 และสังข์หยด ที่ 93, 114 และ 136 วันหลังปลูก โดยตัดต้นข้าวที่อยู่เหนือพื้นดิน จากนั้นนำไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ส่วนของเมล็ดข้าวนำมาลดความชื้นโดยการตากแดดไว้ให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 14 ชั่งน้ำหนักแห้งพร้อมบันทึกจำนวนหน่อ/กอ จำนวนรวง/กอ น้ำหนักฟาง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และประเมินค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) โดยประเมินจากสมการ

$$HI = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ด}}{\text{น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตรวมทั้งดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เก็บบันทึกทั้งหมดไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติ โดย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

รวมทั้งดัชนีการเก็บเกี่ยวในแต่ละระดับความเข้มข้นแคดเมียมในดิน ในข้าว 3 พันธุ์ โดยใช้ค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SX for Window เวอร์ชั่น 9.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

พบอิทธิพลของพันธุ์ข้าว ความเข้มข้นแคดเมียมในดิน และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยต่อผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) (Table 1)

Table 1 Analysis of variance (ANOVA) of the effects of soil cadmium concentration, rice varieties and interactions between the two factors on grain yield, straw weight and harvest index among three rice varieties.

Source	DF	Mean Square		
		Grain yield	Straw dry weight	Harvest Index
Varieties (V)	2	4,070.00**	32,739.6**	0.079**
Cd concentration (C)	3	208.10*	2,708.7**	0.035**
V×C	6	447.25**	571.0**	0.010**
CV %		18.26	7.07	9.52

* = Indicate significant difference between treatments at $P < 0.05$, ** = Indicate significant difference between treatments at $P < 0.01$

ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใส่ในดินมีผลต่อผลผลิตเมล็ดแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ ($P< 0.05$) (Figure 1) โดยพบว่าข้าวพันธุ์สังข์หยดที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 200 มก./กก.ดิน มีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 31.88 เปรียบเทียบกับผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่แคดเมียม ในขณะที่การใส่แคดเมียมในดินที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 100 มก./กก. ดิน ไม่มีผลต่อผลผลิต ส่วนในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 การใส่แคดเมียมในดินที่ระดับ 5 มก./กก.ดิน มีผลผลิตเมล็ดไม่แตกต่างจากในดินที่ไม่ใส่แคดเมียม แต่พบว่าที่ระดับแคดเมียม 100 และ 200 มก./กก.ดิน ทำให้ผลผลิตเมล็ดลดลงร้อยละ 42.08 และ 84.35 ตามลำดับ จากผลผลิตเมล็ดที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่แคดเมียม และในข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. พบว่ามีผลผลิตเมล็ดอยู่ในช่วง 24.70 - 37.27 กรัม/กระถาง ซึ่งไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใส่ในดิน

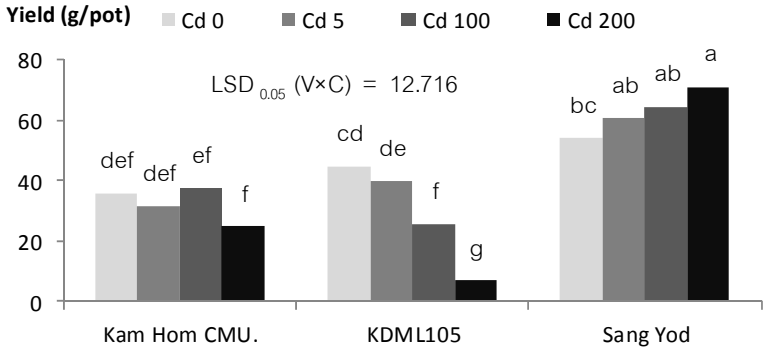

Figure 1 Grain yield of three rice varieties (Kam Hom CMU, KDML 105 and Sang Yod) grown under four different soil Cd concentrations (control, 5, 100 and 200 mg/kg). Difference letters above each bar (means) indicate significant difference at P<0.05 (LSD).

ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใส่ให้ดินมีผลต่อน้ำหนักแห้งฟางแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ ($P< 0.05$) (**Figure 2**) โดยพบว่าข้าวพันธุ์สังข์หยดที่ระดับแคดเมียมที่ใส่ให้ดิน 5, 100, และ 200 มก./กก. ทำให้น้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.30, 43.96, 61.07 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งฟางที่ไม่ใส่แคดเมียมในดิน ส่วนในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า การใส่แคดเมียมในดินที่ระดับ 5 มก./กก. มีน้ำหนักแห้งฟางไม่แตกต่างจากที่ไม่ใส่แคดเมียม แต่พบว่าที่ระดับแคดเมียม 100 และ 200 มก./กก. ส่งผลให้น้ำหนักฟางเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.22 และ 59.24 ตามลำดับ และในข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. พบว่า มีน้ำหนักแห้งฟางอยู่ในช่วง 37.30 - 47.40 กรัม/กระถาง ซึ่งไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใส่ในดิน

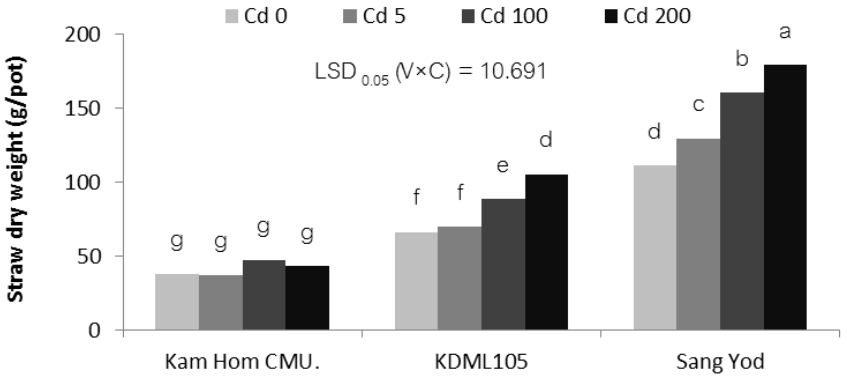

Figure 2 Straw dry weights of three rice varieties (Kam Hom CMU, KDML 105 and Sang Yod) grown under four different soil Cd concentrations (control, 5, 100 and 200 mg/kg). Difference letters above each bar (means) indicate significant difference at $P<0.05$ (LSD).

พบว่า ผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางมีความสัมพันธ์แตกต่างกันในข้าวทั้ง 3 พันธุ์ (**Figure 3**) โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิตและน้ำหนักแห้งฟางในข้าวพันธุ์สังข์หยด ($r = 0.65^{*}$) ในขณะที่พบความสัมพันธ์ในเชิงลบในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ($r = -0.86^{**}$) ส่วนในข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและน้ำหนักแห้งฟาง ($r = 0.32^{ns}$)

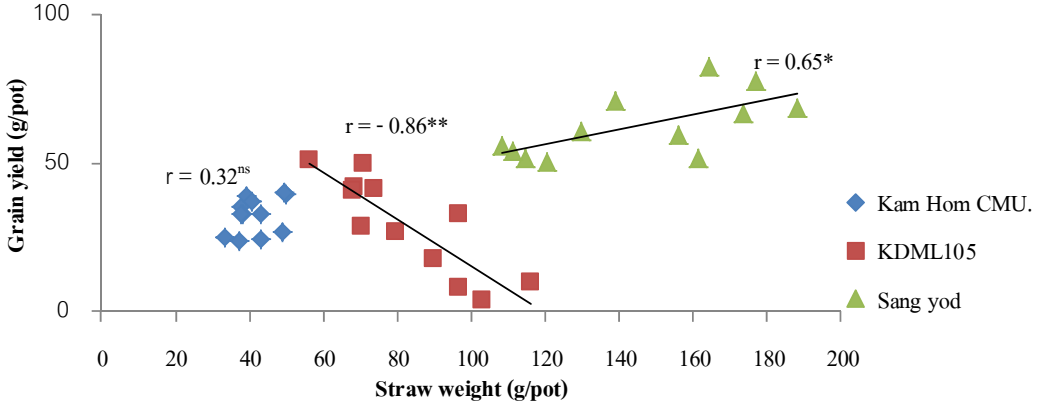

Figure 3 Correlation between grain yield and straw dry weight of three rice varieties (n=12); ns indicates no significant difference, *indicates significant difference at $P < 0.05$; ** indicates significant difference at $P < 0.01$.

ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินมีผลต่อค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันในข้าวทั้ง 3 พันธุ์ (Figure 4) โดยพบว่าข้าวพันธุ์กำหอม มช. ที่ระดับแคดเมียมในดิน 200 มก./กก. ส่งผลให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวลดลงร้อยละ 18.91 จากค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่แคดเมียม ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแคดเมียมในดิน 5 และ 100 มก./กก. มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับระดับแคดเมียม 0 มก./กก. ส่วนในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 การใส่แคดเมียมในดินที่ระดับ 5 มก./กก. ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างจากที่ไม่ใส่แคดเมียม แต่พบว่าที่ระดับแคดเมียม 100 และ 200 มก./กก. ส่งผลให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวลดลงร้อยละ 34.62 และ 65.38 ตามลำดับ และในข้าวพันธุ์สังข์หยดพบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นของแคดเมียมไม่มีผลต่อค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.29 - 0.34

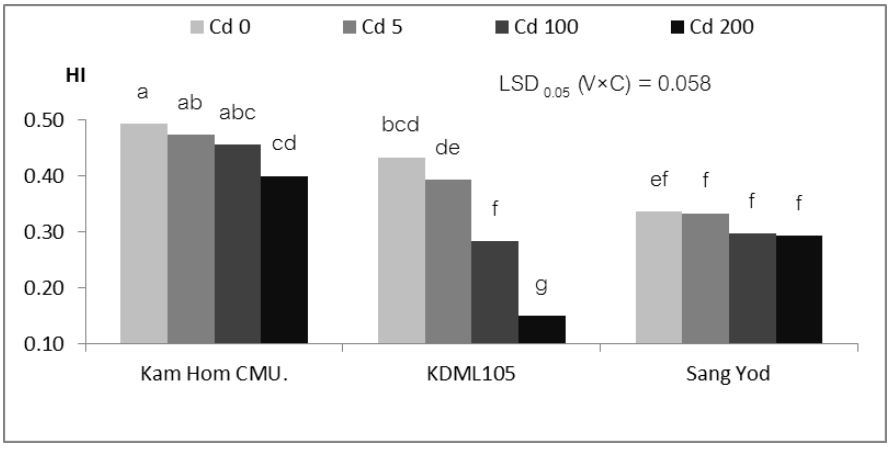

Figure 4 Harvest index of three rice varieties (Kam Hom CMU, KDML 105 and Sang Yod) grown under different soil Cd concentrations (control, 5, 100 and 200 mg/kg). Difference letters above each bar indicates significant difference at $P<0.05$ (LSD).

ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า ปริมาณแคดเมียมในดินมีอิทธิพลต่อผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยวในข้าวทั้ง 3 พันธุ์แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างของข้าวแต่ละพันธุ์ในการตอบสนองต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในดินระดับต่างๆ นั้นคาดว่าจะเกิดจากความแตกต่างของกลไกการดูดซับธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุที่ระดับความเข้มข้นของของแคดเมียมในดินไม่มีผลต่อการตอบสนองของผลผลิตข้าวพันธุ์กำหอม มช. และสังข์หยด น่าจะเป็นเพราะมีกลไกการดูดซับแคดเมียมน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยข้าวพันธุ์กำหอม มช. มีผลผลิตเมล็ดไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ซึ่งน่าจะเป็นกลไกในการกีดกันผลของแคดเมียมในดินไม่ให้เป็นพิษต่อการสร้างผลผลิตของข้าว เนื่องจากพันธุ์กำหอม มช. เป็นข้าวเหนียวกำปรับปรุงพันธุ์มาจากพันธุ์พื้นเมือง เยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ ไวต่อช่วงแสง เจริญเติบโตได้ดีเมื่อปลูกในสภาพข้าวไร่ ไม่ขังน้ำ ซึ่งถึงแม้ว่าในการทดลองนี้จะปลูกในสภาพข้าวนาสวนแบบขังน้ำ แต่ก็ทำให้ลักษณะกลไกในการตอบสนองต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในดินแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่นๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ข้าวบาร์เลย์พันธุ์ Tokak ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความทนทานต่อแคดเมียม เนื่องจากมีความสามารถในการกำจัดแคดเมียม โดยกันแคดเมียมไว้ในแวคิวโอลของราก และ แวคิวโอลในเซลล์ต่างๆ ของลำต้น หรือยับยั้งแคดเมียมให้อยู่ในรูปสารเชิงซ้อนคงตัวด้วยสารประกอบ เช่น สารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและไฟโทคีลาทิน (phytochelatins) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการขับสารพิษ และยึดจับโลหะหนัก (Ha et al.,1999; Tirakioglu et al., 2006) ส่วนในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นแคดเมียมสูงขึ้นส่งผลให้มีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น เทียบกับผลผลิตข้าว

ที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่แคดเมียม ซึ่งเป็นไปได้ว่ามีธาตุอาหารตัวอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นไปพร้อมๆ กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นแคดเมียมในดินและพันธุ์สังข์หยดสามารถดูดเอาไปใช้ได้ทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น เช่น ธาตุสังกะสี เนื่องจากแคดเมียมที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ได้เป็นสารประกอบบริสุทธิ์ แต่เป็นส่วนของแร่ผสมจากโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ที่มีธาตุ ปรอท ทองแดง สังกะสี เหล็ก และแมงกานีสประกอบอยู่ด้วย ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การประยุกต์ใช้ธาตุสังกะสี ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดข้าวโพดลดลง จึงเชื่อว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีทำให้ได้รับผลกระทบจากแคดเมียมเบาบางลง ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดได้ (Fahad et al., 2015) โดยข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุง ก็เป็นข้าวที่มีการปรับปรุงพันธุ์มาจากพันธุ์พื้นเมืองจากภาคใต้ของประเทศไทย มีเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีแดง ไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวนาสวน การที่ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่สูงขึ้น และการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆ ในดิน พืช รวมทั้งแร่แคดเมียมที่ใส่ลงไปในดินว่ามีสารประกอบอะไรอยู่บ้างในปริมาณเท่าไร น่าจะสามารถอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้มากกว่านี้ ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคต ในทางตรงกันข้ามในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตมีแนวโน้มลดลง ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากลักษณะการตอบสนองของกลไกทางสรีรวิทยาต่อความเป็นพิษของแคดเมียมในดินที่ทำให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ดังกล่าวลดลง ถึงแม้ว่าจะมีธาตุอาหารอื่นๆ รวมอยู่ในแร่แคดเมียมด้วยตามที่กล่าวแล้วข้างต้น แต่พบว่าพันธุ์ข้าวมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ สรัตนา (2548) จากการทดลองการดูดดึงธาตุโลหะหนักของหญ้าแฝกทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อน สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว พบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินที่มีแคดเมียมต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.002, 3, 48 และ 277 มก./กก. โดยที่ระดับ 3 มก./กก. ให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 39.74 ส่วนที่ระดับแคดเมียม 48 และ 277 มก./กก. ไม่ให้ผลผลิต ซึ่งผลผลิตข้าวที่ลดลงสามารถบ่งชี้ถึงความเสี่ยงที่เกิดจากความเป็นพิษของแคดเมียม (ธนภัทร, 2557) ถึงแม้ว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ ขาวดอกมะลิ 105 มีการตอบสนองต่อแคดเมียมที่คล้ายกัน แต่แตกต่างกันกับพันธุ์ก่ำหอม มช. และสังข์หยด ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะข้าวแต่ละพันธุ์มีความสามารถในการดูดซับ การเคลื่อนย้าย และการสะสมธาตุอาหารแตกต่างกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางที่แตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์แสดงถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทสารสังเคราะห์จากส่วนต้นไปยังผลผลิตเมล็ดซึ่งเกี่ยวข้องกับดัชนีการเก็บเกี่ยว ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางในข้าวพันธุ์สังข์หยด แสดงว่าการสร้างน้ำหนักฟางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่า ดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์สังข์หยดค่อนข้างคงที่ต่อระดับแคดเมียมในดินต่างๆ แสดงว่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทสารสังเคราะห์จากส่วนต้นไปสร้างผลผลิตมีค่อนข้างจำกัดและไม่มีอิทธิพลจากความเข้มข้นแคดเมียมในดิน แต่ถ้าสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งฟางได้ก็จะเพิ่มผลผลิตได้เช่นกัน ในขณะที่ความสัมพันธ์เชิงลบในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บ่งชี้ว่า การเพิ่มน้ำหนักฟางมีผลไปลดผลผลิตเมล็ดของข้าว เนื่องจากไม่มีการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปยังส่วนผลผลิตเมล็ด ทำให้ข้าวพันธุ์นี้มีดัชนีการเกี่ยวต่ำและดัชนีการเก็บเกี่ยวได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นแคดเมียมในดินมาก ส่วนในพันธุ์ก่ำหอม มช.พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักฟางข้าว ดัชนีการเก็บเกี่ยวไม่มีผลกระทบจากระดับแคดเมียมในดิน ยกเว้นที่ระดับแคดเมียมในดิน 200 มก./กก. ที่มีผลทำให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวลดลง ความแตกต่างในการตอบสนองของผลผลิตต่อระดับความเข้มข้นแคดเมียมในดินที่แตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ มาจากลักษณะของกลไกทางชีวเคมีและสรีรวิทยาที่ตอบสนองแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น การศึกษาเชิงลึกถึงกลไกในการตอบสนองดังกล่าว จะทำให้อธิบายความแตกต่างในการตอบสนองของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ได้ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากในการปรับปรุงพันธุ์พืชให้สามารถทนทานต่อการสร้างผลผลิตและการสะสมแคดเมียมในเมล็ดเมื่อปลูกในสภาพดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อนในบางพื้นที่ได้

สรุป

พันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่นำมาใช้ในการศึกษาถึงการตอบสนองของผลผลิตต่อความเข้มข้นแคดเมียมในดิน ในการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของกลไกในการตอบสนองที่แตกต่างกันในข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ซึ่งความแตกต่างนี้จะสามารถทำให้สามารถคัดเลือกพันธุ์ข้าวไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แตกต่างกัน ข้าวพันธุ์กำหอม มช. มีผลผลิตเมล็ดที่ไม่ตอบสนองต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ซึ่งถ้าวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมแล้วพบว่าไม่ได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณแคดเมียมในดิน ข้าวพันธุ์นี้น่าจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการปลูกในพื้นที่ที่การปนเปื้อนของแคดเมียมสูงได้ ในขณะที่พันธุ์สังข์หยดมีผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแคดเมียม น่าจะเป็นผลมาจากการตอบสนองต่อแร่ธาตุอื่นๆ ที่ประกอบอยู่ด้วย เช่น สังกะสี เหล็ก และแมงกานีส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีผลผลิตลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน แม้ว่าจะมีแร่ธาตุอื่นๆ ปนมาด้วยก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามต้องวัดปริมาณการสะสมแคดเมี่ยมในเมล็ดของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ เพื่อยืนยันผลการตอบสนองที่แตกต่างกัน ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาความแตกต่างทางสรีรวิทยาเชิงลึกของการตอบสนองของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ และรวมทั้งเป็นข้อมูลในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ให้สามารถทนทานต่อสภาพดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อน และลดการสะสมแคดเมียมในเมล็ดได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยทรัพยากรพันธุกรรมและธาตุอาหารพืช คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทดลอง สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับงบประมาณแผ่นดินปี 2559 และบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2547. รายงานการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ณ เดือน พฤษภาคม 2547. แหล่งข้อมูล: http://goo.gl/uetEMd. ค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2015.

ธนภัทร ปลื้มพวก, ธงชัย มาลา และอรุณศิริ กำลัง. 2557. ปริมาณแคดเมียมในข้าวที่ปลูกในดินนาปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาว จังหวัดตาก ประเทศไทย. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 3: 26-38.

สรัตนา เสนาะ. 2548. การดูดดึงโลหะหนักของหญ้าแฝกทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และ ตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Dong, J., F. Wu, and G. Zhang. 2006. Influence of cadmium on antioxidant capacity and four microelement concentrations in tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum*). Chemosphere. 64: 1659-1666.

Fahad, S., S.D. Hussain, S. Saud, S. Hassan, D.R. Shan, Y.T. Chen, N.Y. Deng, F.H. Khan, C. Wu, W. Wu, F.R. Shah, B.S. Ullah, M.M. Yousaf, S. Ali, and J.L. Huang. 2015. Grain cadmium and zinc concentrations in maize influenced by genotypic variations and zinc fertilization. Clean - Soil Air Water. 43: 1433-1440.

Gao, X.P., R.M. Mohr, D.L. Mclaren, and C.A. Grant. 2011. Grain cadmium and zinc concentrations in wheat as affected by genotypic variation and potassium chloride fertilization. Field Crop Res. 122: 95-103.

Ha, S.B., A.P. Smith, R. Howden, W. M. Dietrich, S. Bugg, M. J. O'Connell, P. B. Goldsbrough, and C. S. Cobbetta. 1999. Phytochelatin Synthase Genes from Arabidopsis and the Yeast *Schizosaccharomyces pombe*. Plant Cell. 11: 1153-1163.

Li, Y.M., L.R. Channey, and A.A. Schneiter. 1995. Genotypic variation in kernel cadmium concentration in sunflower germplasm under varying soil conditions. Crop Sci. 35: 137-141.

Sriprachote, A., P. Kanyawongha, G. Pantuwan, K. Ochiai, and T. Matoh. 2012. Evaluation of thai rice cultivars with low-grain cadmium. Soil Sci. Plant Nutr. 58: 568-572.

Tiryakioglu, M., M. Eker, F. Ozkutlu, S Husted, and I. Cakmak. 2006. Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. J Trace Elem Med Biol. 20: 181-189.

Wu, F., J. Dong, G. Jia, S. Zheng, and G. Zhang. 2006. Genotypic difference in the responses of seedling growth and Cd toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). Agr Sci. China. 5: 68-76.

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 Agric. Exp. Stn. 15: 1-110.