

ผลของการพ่นสังกะสีที่ใบต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสี ในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง

Effect of foliar zinc application on grain yield and zinc accumulation in brown rice of local and improved varieties

พัชรินทร์ ตูย์วงศ์¹, เพ็ญภา จักรสมศักดิ์¹, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม²
และ ชนาภานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย^{1,3*}

Patcharin Tuiwong¹, Pennapa Jaksomsak¹, Benjavan Rerkasem²
and Chanakan Thebault Prom-u-thai^{1,3*}

บทคัดย่อ: การบริโภคข้าวที่ขาดธาตุสังกะสีส่งผลให้เกิดการขาดธาตุสังกะสีต่อผู้บริโภคข้าว ทำให้เกิดความบกพร่องของพัฒนาการทั้งทางด้านร่างกายและสมอง การเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวโดยการพ่นธาตุสังกะสีทางใบอาจจะสามารถเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวได้ ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคได้รับธาตุสังกะสีมากขึ้นด้วย การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินผลของการพ่นสังกะสีทางใบต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง วางแผนการทดลองแบบ 2×4 factorial in RCB มี 4 ซ้ำ โดยปลูกข้าวพันธุ์ปรับปรุง 2 พันธุ์ คือ กข 21, ชัยนาท 1 และพันธุ์พื้นเมือง 2 พันธุ์ คือ ขาวโป่งไคร้และน้ำว้าที่แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงเดือนมิถุนายน – พฤศจิกายน 2556 ในสภาพนาสวนมีน้ำขังตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยว พ่นสังกะสีทางใบที่ระดับความเข้มข้น 0.5% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ เปรียบเทียบกับการพ่นด้วยน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียวแต่ไม่มีธาตุสังกะสี โดยพ่น 2 ครั้ง ที่ระยะตั้งท้องและดอกบาน เก็บเกี่ยวผลผลิตในระยะสุกแก่ นำตัวอย่างมากะเทาะเปลือก นำส่วนของข้าวกล้องมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุสังกะสี ผลการทดลองพบว่า การพ่นธาตุสังกะสีทางใบไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดและฟางข้าวของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ และพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิตเมล็ดและฟางข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ($r = 0.95^{***}$) พันธุ์ข้าวและการพ่นสังกะสีมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง โดยข้าวทั้ง 4 พันธุ์ มีปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องเพิ่มขึ้นเมื่อพ่นสังกะสี แต่มีระดับการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ พันธุ์น้ำว้าและขาวโป่งไคร้มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องเพิ่มขึ้น 13.5-17.7% จากข้าวที่ไม่ได้พ่นสังกะสีซึ่งเป็นสัดส่วนที่ต่ำกว่าพันธุ์ กข 21 และชัยนาท 1 ที่เพิ่มขึ้น 43.3-49.8% พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิตเมล็ดและความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์ปรับปรุงทั้ง 2 พันธุ์ ($r = 0.69^*$) แต่พบความสัมพันธ์ลบระหว่างผลผลิตเมล็ดและความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมือง ($r = -0.63^{***}$) ดังนั้น การพ่นสังกะสีทางใบสามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องได้ในสัดส่วนที่แตกต่างกันระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์ปรับปรุง และความเข้มข้นของธาตุสังกะสีที่

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agricultural, Chiang Mai University

² หน่วยวิจัยธัญอาหารพืช มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Plant Genetic Resources and Nutrition Laboratory, Chiang Mai University

³ ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University

* Corresponding author: chanakan15@hotmail.com, chanakan.p@cmu.ac.th

สะสมในข้าวกล้องมีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตของข้าวทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน ซึ่งผลจากการทดลองนี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดการเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว ซึ่งสามารถเป็นประโยชน์ต่อคุณค่าทางโภชนาการของผู้บริโภคได้

คำสำคัญ: การพ่นธาตุสังกะสี, การสะสมธาตุสังกะสี, ข้าวกล้อง, ข้าวพันธุ์พื้นเมือง, ข้าวพันธุ์ปรับปรุง

ABSTRACT: Consumption of low Zn concentration in rice grain results in Zn deficiency among rice consumers. Deficiency of Zn is known to have serious adverse impacts on human health. Foliar application of Zn may increase Zn concentration in rice grain and results in increasing of Zn intake among rice consumers. The objective of this study was to evaluate the effect of foliar zinc application on grain yield and Zn accumulation in brown rice of the local and improved varieties. The experiment was carried out by 2x4 factorial in RCB with 4 replications. The 2 local (KPK and NR) and 2 improved (RD21 and CNT1) rice varieties were planted under wetland condition until maturity during the period of June-November 2013 at Chiang Mai University, Thailand Zinc was applied by foliar spraying with 0.5% $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ at booting and flowering stages (foliar) in comparison with those foliar sprayed with distilled water (non-foliar). Rice plants were harvested at maturity. The seed samples were de-husked to yield brown rice before Zn concentration analysis. Foliar application of Zn did not have any effect on grain and straw yield of all varieties. There was a positive correlation between grain and straw yields among the varieties tested ($r = 0.95^{***}$). The concentration of Zn in brown rice grain was affected by rice variety and foliar Zn application. Zinc concentration in brown rice was increased by foliar Zn application in all rice varieties, but with difference magnitude of increasing among rice varieties. Foliar Zn application increased 13.5-17.7% Zn concentration in brown rice of the local varieties (NR and KPK), while it was increased 43.3-49.8% in the improved varieties (RD21 and CNT1). There was a positive correlation between grain yield and Zn concentration in brown rice of the improved varieties ($r = 0.69^*$), but the negative correlation was found among the local varieties ($r = -0.63^{***}$). In this, this study indicated that increasing Zn concentration in brown rice can be accomplished by foliar Zn application. The magnitude of increasing Zn concentration in brown rice by foliar Zn application depended on rice varieties. Increasing Zn concentration in brown rice affected on grain yield differently among the local and improved rice varieties. The results found here therefore would be useful in improving Zn concentration in rice grain by foliar Zn application which will be consequently improved Zn intake among rice consumers.

Keywords: Foliar Zinc Application, Zinc Accumulation, Brown Rice, Local Varieties, Improved Varieties

บทนำ

การขาดธาตุสังกะสี (Zn) เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประชากรโลกถึงหนึ่งในสาม ซึ่งพบประชากรป่วยเป็นโรคขาดธาตุสังกะสีตั้งแต่ร้อยละ 4 ถึง 73 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ที่มีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ทั้งนี้เนื่องจากข้าวที่ใช้บริโภคมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีต่ำ (Hotz and Brown, 2004; Black et al., 2008) และไม่มีการบริโภคธาตุสังกะสีมาจากแหล่งอาหารอื่นๆ การขาดธาตุสังกะสีทำให้เกิดความบกพร่องทางพัฒนาการของร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกัน ความสามารถในการเรียนรู้ เพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรค นอกจากนี้ทำให้ชิ้นส่วนของ DNA เสียหาย และเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (Brown et al., 2002; Hotz and Brown, 2004; Prasad, 2007) การเพิ่มธาตุสังกะสีในข้าวจึงน่าจะ สามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดธาตุสังกะสีในประชากรได้ วิธีการในการเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว

สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปรับปรุงพันธุ์ข้าว การจัดการต่างๆ ในระหว่างการปลูก การตัดต่อยีน และการเพิ่มธาตุสังกะสีโดยการเติมธาตุสังกะสีในข้าวระหว่างกรนึ่งข้าว (สุพรรณิ, 2556) ซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความรู้ อุปกรณ์และวิธีการที่เอื้ออำนวย

ธาตุสังกะสีมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน และการแสดงออกของยีนในพืช (Cakmak, 2000) พบว่า การทำหน้าที่ต่างๆ ของโปรตีนในพืช ต้องการธาตุสังกะสีในการทำหน้าที่ร่วมด้วย (Andreini et al., 2006) และสังกะสียังทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ร่วมในการทำหน้าที่ของเอนไซม์ชนิดต่างๆ มากกว่า 300 ชนิดในพืช (Coleman, 1998) และที่สำคัญธาตุสังกะสีในพืชยังมีบทบาทสำคัญในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการงอกอีกด้วย (Cakmak, 1993) การให้ธาตุสังกะสีแก่พืชโดยวิธีการใส่ปุ๋ยทางดินหรือฉีดพ่นทางใบในดินที่ขาดธาตุสังกะสีพบว่า สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชและ

ผลผลิตได้ (Rengel et al., 1995a) ธาตุสังกะสีที่มีอยู่ในดินสามารถนำมาใช้ได้โดยตรง ทั้งที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ เช่น ZnO , $ZnEDTA$ และ Zn -oxysulfate นอกจากนี้ยังพบว่า ธาตุสังกะสีที่อยู่ในรูปสารประกอบซัลเฟต ($ZnSO_4$) นำมาใช้อย่างแพร่หลายเช่นกัน เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและมีราคาถูก (Ishimaru et al., 2011) ในข้าวสาลีการใส่ปุ๋ยสังกะสีช่วยให้การเจริญเติบโตดีขึ้น ช่วยปรับปรุงผลผลิตและปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดได้ 3-4 เท่า (Yilmaz et al., 2010) ในดินที่ขาดธาตุสังกะสีในปริมาณมากพบว่าการใส่ปุ๋ยทางดินรวมกับการฉีดพ่นทางใบสามารถเพิ่มผลผลิตเมล็ดและปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดได้ดีมากกว่าการใส่ทางดินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากพ่นทางใบพืชสามารถนำกลับไปได้ (remobilization) ได้อย่างรวดเร็วเทียบกับการให้ทางดิน และข้อดีของการฉีดพ่นธาตุสังกะสีทางใบคือสามารถลดปัญหาสารเคมีตกค้างในดินได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับ การให้ปุ๋ยทางดิน การฉีดพ่นสังกะสีทางใบจะได้ผลดีมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการให้ปุ๋ยด้วย (Cakmak et al., 2010) ในกรณีของข้าวสาลีพบว่า เมล็ดมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีสูงที่สุดเมื่อได้รับการพ่นธาตุสังกะสีที่ระยะดอกบาน (Zadok et al., 1974)

สำหรับในข้าวจากการวิเคราะห์ธาตุสังกะสีในพันธุ์ข้าวไทย 15 พันธุ์ พบว่ามีความแปรปรวนของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องอยู่ในช่วง 17.3 ถึง 59.2 มก./กก. โดยพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ปรับปรุงมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีต่ำสุด และพันธุ์น้ำรุ่มมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีสูงสุด (Saenchai et al., 2012) พันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีธาตุสังกะสีในเมล็ดสูง เช่น น้ำรุ่ม ข้าวโป่งโครี น่าจะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีปริมาณธาตุสังกะสีสูงได้ การทดลองก่อนหน้านี้นี้พบว่า การพ่นธาตุสังกะสีทางใบของข้าวพันธุ์ปรับปรุงในระยะการตั้งท้องและระยะดอกบาน สามารถเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องได้ 55% (Phattarakul et al., 2012; Boonchay et al., 2013) อย่างไรก็ตาม ในข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดสูงอาจจะมีการ

สะสมของธาตุสังกะสี จากการพ่นธาตุสังกะสีทางใบ แตกต่างกับข้าวพันธุ์ปรับปรุงที่ได้มีการทดลองก่อนหน้านี้

ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินผลของการพ่นสังกะสีทางใบต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง ซึ่งผลจากการทดลองนี้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดการเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว และการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีธาตุสังกะสีสูง ซึ่งจะทำให้สามารถแก้ปัญหาการขาดธาตุสังกะสีในประชากรที่บริโภคข้าวได้ต่อไป

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ 2×4 factorial in RCB (Randomized Complete Block) มี 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีที่ใช้พ่น 2 ระดับ คือ 0 และ 0.5 % $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ และปัจจัยที่ 2 ได้แก่ พันธุ์ข้าว 4 พันธุ์ ใช้ข้าวพันธุ์ปรับปรุง 2 พันธุ์ คือ กข 21, ชัยนาท 1 และพันธุ์พื้นเมือง 2 พันธุ์คือข้าวโป่งโครี และน้ำรุ่ม ปลูกในฤดูนาปีแบบนาดำ ที่แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงเดือนมิถุนายน – พฤศจิกายน พ.ศ.2556 ดินที่ใช้ปลูกเป็นชุดดินสันทราย มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย มีค่า pH ที่ 6.1 และค่าสังกะสีในดินที่ 0.97 มก./กก. โดยนำต้นกล้าที่เพาะอายุได้ 30 วัน ย้ายปลูกแบบต้นเดียวในแปลงทดลองขนาด 20×20 ตารางเมตร ระยะปลูก 25×25 เซนติเมตร แต่ละพันธุ์ใช้พื้นที่แปลงขนาด 4.5×20 ตารางเมตร ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0, 0-46-0 และ 0-0-60 ในอัตรา 19-7-5 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งจะได้ปริมาณธาตุ N= 474 กรัม, P_2O_5 = 186 กรัม และ K_2O = 161 กรัม/พื้นที่ 90 ตารางเมตร แบ่งใส่ 2 ครั้ง ที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังปักดำ พ่นธาตุสังกะสี 2 ระดับ ในแต่ละพันธุ์ พื้นที่ที่ใช้พ่น 1 ตารางเมตร โดยพ่นธาตุสังกะสีทางใบ 2 ระยะการเจริญเติบโต คือ ระยะตั้งท้องและระยะดอกบาน และเก็บเกี่ยวเมื่อถึงระยะสุกแก่

สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกประมาณ 200 เมล็ด และเมล็ดแยกส่วนที่เป็นข้าวกล้องและเปลือกออกจากกัน วิเคราะห์ปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดโดยใช้วิธีการ dry-

ashing เผาตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิ 535 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง และนำสารละลายตัวอย่างมาอ่านค่า ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometry (AA) เปรียบเทียบความเข้มข้นจากสารละลาย มาตรฐานของธาตุสังกะสี

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี โดยหาค่า LSD (Least Significant Difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละชุดโดยวิธีการวิเคราะห์ Correlation Analysis

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดลองพบว่า ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและระดับการพ่นธาตุสังกะสีทางใบ ต่อผลผลิตเมล็ดและฟางข้าว และการพ่นธาตุสังกะสีทางใบไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดและฟางข้าวของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (Table 1) แต่พบว่าผลผลิตเมล็ดและฟางข้าว มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวโดยพบว่าพันธุ์ กข 21 และ ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ปรับปรุงมีผลผลิตเมล็ดและ ฟางข้าวสูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวโป่งไคร้และน้ำรู่ ซึ่งเป็น พันธุ์พื้นเมืองถึง 672 และ 756 กก./ไร่ ตามลำดับ และ พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิตเมล็ดและฟาง ของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ($R^2 = 0.90$, $p < 0.05$) (Figure 1)

แสดงว่าผลผลิตฟางของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ที่เพิ่มขึ้นส่งผล ให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่ไม่พบว่า มี ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและระดับการพ่นธาตุ สังกะสีทางใบต่อความเข้มข้นธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว กล้องเช่นเดียวกัน แต่พบว่า การพ่นธาตุสังกะสีทางใบ และพันธุ์ข้าวส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการ สะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องอยู่ในช่วง 17.7-30.4 มก./กก. ($p < 0.05$) (Figure 2) ความเข้มข้นของธาตุ สังกะสีในข้าวกล้องที่ได้รับการพ่นสังกะสีสูงกว่าที่ไม่ ได้พ่นสังกะสี ในข้าวทุกพันธุ์ โดยเรียงลำดับจากพันธุ์ ที่มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีมากที่สุดไปหาน้อยสุดดังนี้ คือ น้ำรู่ > ขาวโป่งไคร้ > ชัยนาท 1 > กข 21 มีค่า 32.8, 29.0, 24.0 และ 20.9 มก./กก. ตามลำดับ และสัดส่วน การเพิ่มขึ้นของธาตุสังกะสีหลังจากพ่นธาตุสังกะสี แตกต่างกัน ข้าวแต่ละพันธุ์ พันธุ์น้ำรู่และขาวโป่ง ไคร้ พบว่ามีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว กล้องเพิ่มขึ้น 13.5-17.7% จากข้าวที่ไม่ได้พ่นธาตุ สังกะสีซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าพันธุ์ กข 21 และ ชัยนาท 1 ที่เพิ่มขึ้น 43.3-49.8% และพบความสัมพันธ์ เชิงบวกระหว่างผลผลิตเมล็ดข้าวและความเข้มข้นของ ธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์ปรับปรุง ($r = 0.69$, $p < 0.05$) แต่พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่าง ผลผลิตเมล็ดข้าวและความเข้มข้นของธาตุสังกะสีใน ข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมือง ($r = -0.63$, $p < 0.05$) (Figure 3)

Table 1 Grain and straw yield of 4 rice varieties in non-foliar and foliar Zn spraying with 0.5% ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) for 2 times at booting and flowering stages.

Variety	Straw yield (kg/rai)			Grain yield (kg/rai)		
	Non-foliar	Foliar	Mean	Non-foliar	Foliar	Mean
RD 21	1126	1080	1103 A	892	844	868 A
CNT 1	1240	1064	1152 A	943	1060	1002 A
KPK	472	428	450 B	354	286	320 B
NR	285	300	293 B	210	201	205 B
Mean	781	718		600	598	
Variety		..			..	
Zn treatment		ns			ns	
Variety × Zn treatment		ns			ns	
LSD _{0.05} (Variety)		181			186	

**The upper case letters indicate significant difference among different rice varieties at 99% confidential interval.

ns indicates non- significant difference between rice varieties and Zn treatments at 95% confidential interval.

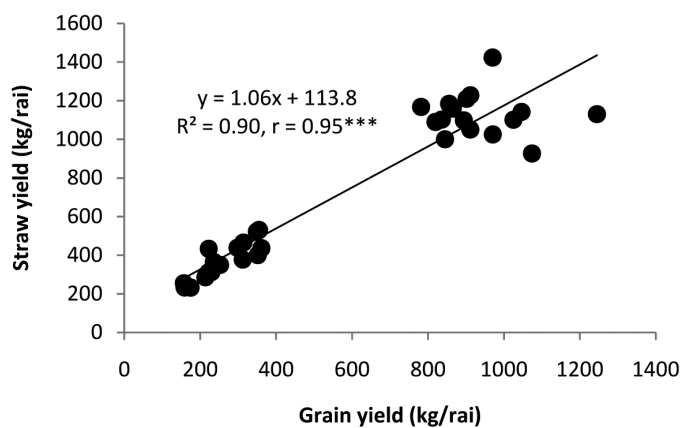


Figure 1 Relationship between grain and straw yields of 4 rice varieties as affected by Zn foliar application 0.5% ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) for 2 times at booting and flowering stages

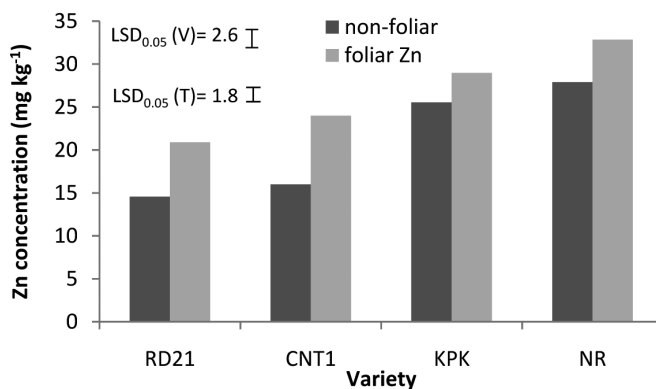


Figure 2 Zinc concentration in brown rice of 4 varieties = LSD at $P < 0.05$ as affected by Zn application. (I = LSD at $P < 0.05$)

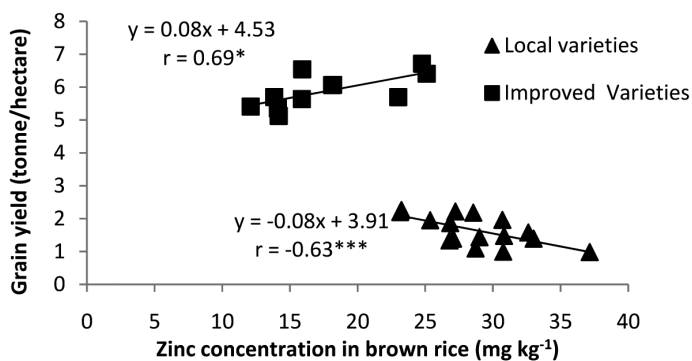


Figure 3 Relationship between grain yield and zinc concentration in brown rice of 2 local and 2 improved rice varieties as affected by Zn foliar application.

การทดลองนี้บ่งชี้ผลของการพ่นธาตุสังกะสีต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าว 4 พันธุ์ ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง 2 พันธุ์ และพันธุ์ปรับปรุง 2 พันธุ์ โดยข้าวทั้ง 2 ชนิด มีการตอบสนองแตกต่างกัน การพ่นธาตุสังกะสีช่วยเพิ่มความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเนื้อเยื่อของพืชและยังเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีต่อกระบวนการ remobilization จากเนื้อเยื่อไปสู่เมล็ด (Rengel et al., 1991) ซึ่งธาตุสังกะสีที่สะสมอยู่ในเมล็ดข้าวจะสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคข้าว โดยมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 300 ชนิด ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์และสลายคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิก นอกจากนี้ยังมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์สารพันธุกรรม การแสดงออกของยีน และระบบภูมิคุ้มกัน

การพ่นธาตุสังกะสีทางใบสามารถเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องได้ร้อยละ 55 เปรียบเทียบการไม่พ่น (Zhang et al., 2008; Prattarakul et al., 2012; Boonchuay et al., 2013) โดยจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า การพ่นที่ระยะข้าวออกดอกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเพิ่มธาตุสังกะสีในข้าวกล้องได้ดีที่สุด (Boonchuay et al., 2013) การทดลองนี้พบว่า การพ่นธาตุสังกะสีทางใบไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักฟางของข้าวทั้งในพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Boonchuay et al. (2013) และ Prattarakul et al. (2012) ที่พบว่า การพ่นสังกะสีในใบไม่มีผลต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ต่างๆ แต่ผลผลิตที่ได้จากการทดลองนี้ มีความแตกต่างอย่างเห็นชัดในข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง ผลผลิตที่ต่ำกว่าในข้าวพันธุ์พื้นเมืองเนื่องจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะรักษาเสถียรภาพของผลผลิตไว้ได้ดี แม้ว่าได้รับน้ำและปุ๋ยผลผลิตยังคงที่ ทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ปรับปรุง โดยข้าวพันธุ์ปรับปรุงผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการดูแลจึงทำให้มีผลผลิตสูง แต่ในทางตรงกันข้ามข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ปรับปรุง (Brush et al., 2000) พบว่า

ข้าวพันธุ์ IR8 และพวก กข ผลผลิตมีการตอบสนองที่ดีต่อการใส่ปัจจัยการผลิต ทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมากหรือมีการสะสมน้ำหนักแห้งมากส่งผลให้ผลผลิตมากตามไปด้วย (เฉลิมพล, 2542)

อย่างไรก็ตาม การพ่นธาตุสังกะสีทางใบสามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องได้ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากข้าวมีความต้องการธาตุสังกะสีเนื่องจากธาตุสังกะสีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และฮอร์โมน นอกจากนี้ธาตุสังกะสียังมีบทบาทในการทำหน้าที่ของเนื้อเยื่อของพืชและการสืบพันธุ์ ซึ่งพบว่าการขาดธาตุสังกะสีทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ไขมันและโปรตีนรั่วไหลจาก peroxidation ที่เกิดจากอนุมูลอิสระของออกซิเจน โดยธาตุสังกะสีที่มีธาตุทองแดงเป็นส่วนประกอบร่วมกันในเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ (Cakmak and Marschner, 1988) จึงอาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มของธาตุสังกะสีเกิดจากการสังเคราะห์โปรตีนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนเหล่านี้มีธาตุสังกะสีเป็นองค์ประกอบนั่นเอง (Cakmak et al., 1989) นอกจากนี้พบว่า การให้ธาตุสังกะสีทางใบแก่ข้าวเมื่อข้าวเริ่มเข้าสู่ระยะสืบพันธุ์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดให้มีความเข้มข้นสูงที่สุด (Waters et al., 2009) โดยเมื่อพ่นธาตุสังกะสีทางใบ การดูดซึมธาตุสังกะสีจะเกิดจากกระบวนการ passive และ active โดยกระบวนการ passive นั้น ไอออนจะผ่านเข้าสู่ใบพืชโดยการแพร่กระจาย (diffusion) และการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผิวใบมีช่องว่างจำนวนมากประมาณ 5-20 % ของปริมาตรใบ ส่วนกระบวนการ active สังกะสีจะผ่านคิวติเคิลและผ่านเข้าสู่พลาสมาเมมเบรน ความเร็วขึ้นอยู่กับความหนาของคิวติเคิลและอายุของใบ จากนั้นธาตุสังกะสีจะถูกเคลื่อนย้ายทางท่อไซเลมเพื่อไปทำหน้าที่ในส่วนที่มีบทบาทต่อไป (Schmidt et al., 1979) ซึ่งผลจากการทดลองครั้งนี้ขออธิบายเพิ่มเติมว่า สัดส่วนของการเพิ่มขึ้นนั้นจะพบในข้าวพันธุ์ปรับปรุงมากกว่าพันธุ์พื้น

เมือง ถึงแม้ว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีสูงกว่าพันธุ์ปรับปรุงก็ตาม ส่วนหนึ่งเนื่องจากการพันธุศาสตร์ทางใบน่าจะสามารเพิ่มเข้มข้นในข้าวกล้องในพันธุ์ข้าวที่เริ่มต้นด้วยความเข้มข้นที่ต่ำอย่างข้าวพันธุ์ปรับปรุงได้มากกว่าพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีสูงอยู่แล้วอย่างในข้าวพันธุ์พื้นเมือง (Wu et al., 2010) จึงมีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าในข้าวพันธุ์ปรับปรุงเมื่อเทียบกับพันธุ์พื้นเมือง และเนื่องจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีผลผลิตต่ำกว่าธาตุสังกะสีที่พืชรับเข้ามาจึงไม่ถูกกระจายไปยังแต่ละเมล็ดมากนัก ดังนั้นความเข้มข้นของธาตุสังกะสีภายในเมล็ดจะสูงกว่าเมื่อเทียบกับเมล็ดของพันธุ์ปรับปรุงที่มีผลผลิตสูงและธาตุสังกะสีที่พืชรับเข้ามาจึงได้กระจายไปยังแต่ละเมล็ด ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดจึงเจือจางกว่า (Impa et al., 2012) ซึ่งแนวทางในการเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องสำหรับข้าวพันธุ์ปรับปรุงน่าจะสามารเพิ่มธาตุสังกะสีในสัดส่วนที่มากกว่าการทดลองนี้ในข้าวพันธุ์อื่นๆ ดังนั้นจึงควรเพิ่มจำนวนพันธุ์ข้าวในการทดลองครั้งต่อไปให้มากขึ้น หรือแม้ในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีสูงอยู่แล้วยังเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีเข้าไปได้อีกเช่นกัน

แม้ว่าการพันธุศาสตร์ทางใบจะสามารเพิ่มเข้มข้นของปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวที่จะสามารนำไปใช้ประโยชน์ในทางโภชนาการต่อผู้บริโภคและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินกล้าข้าวได้ แต่ความแตกต่างในการตอบสนองต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวและผลผลิตข้าวในข้าวพันธุ์ปรับปรุงและข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นเรื่องที่ควรพิจารณาด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากความเข้มข้นของธาตุสังกะสีที่เพิ่มขึ้นในข้าวพันธุ์ปรับปรุงมีแนวโน้มที่จะทำให้ผลผลิตของข้าวสูงขึ้นด้วย ในขณะที่การตอบสนองกลับตรงกันข้ามในข้าวพันธุ์พื้นเมือง เป็นไปได้ว่าการพันธุศาสตร์ทางใบในข้าวพันธุ์พื้นเมืองอาจจะต้องทำด้วยวิธีการที่แตกต่างกับข้าวพันธุ์ปรับปรุง เช่นการลดความเข้มข้นของสังกะสีที่พื้น หรืออาจจะต้องพันรวมกับยูนิตอื่นๆ ที่สามารเพิ่มผลผลิตของข้าวได้ด้วยในขณะเดียวกันก็ได้

สรุป

การศึกษานี้บ่งชี้ว่าการพันธุศาสตร์ทางใบสามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องได้ ในสัดส่วนที่แตกต่างกันระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์ปรับปรุง ข้าวพันธุ์ปรับปรุงมีแนวโน้มการเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีและผลผลิตไปในทางเดียวกัน หลังจากการพันธุศาสตร์ทางใบ แต่การเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องที่สูงเกินไปโดยการพันทางใบในข้าวพันธุ์พื้นเมืองอาจจะมีผลทำให้ไปลดผลผลิตของข้าวลงได้ ผลจากการทดลองนี้จะสามารนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ ได้ ซึ่งการเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว แม้ว่าอาจจะไม่มีผลในการเพิ่มผลผลิตเมล็ดข้าว แต่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ขาดธาตุสังกะสีได้เป็นอย่างมาก และนอกจากนี้เมล็ดพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุสังกะสีสูง จะมีผลต่อความสมบูรณ์แข็งแรงของต้นกล้าข้าวได้ แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนพันธุ์ข้าวในการศึกษาและวิจัยในเรื่องดังกล่าวจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้นต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากโครงการพัฒนานักวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ (RSA5580056) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ และทุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. สรีระวิทยาการผลิตพืชไร่. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ช่อเพชร แสนไชย. 2557. การแบ่งปันธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าว. เกษตร. 42: 409-418.

- สุพรรณิ สุวรรณประภา. 2556. ผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวและสภาพของข้าวหนึ่งต่อคุณภาพทางโภชนาการของข้าวหนึ่ง. แก่นเกษตร. 41: 383-392.
- Andreini, C., L. Banci, and A. Rosato. 2006. Zinc through the three domains of life. *J. Proteome Res.* 5: 3173–3178.
- Black, R., H. Lindsay, Z. Bhutta, L. Caulfield, and M. Onnis. 2008. Maternal and child under-nutrition: Global and regional exposures and health consequences. *Lancet.* 371: 243–260.
- Boonchuay, P., I. Cakmak, B. Rerkasem, and C. Prom-u-thai. 2013. Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. *Soil Sci Plant Nutr.* 59: 182-187.
- Brown, K., J. Peerson, J. Rivera, and L. Allen. 2002. Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition.* 75: 1062–1071.
- Cakmak, I. 2000. Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytol.* 146: 185–205.
- Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. *Plant Soil.* 302: 1–17.
- Cakmak, I., H. Marschner, and F. Bangerth. 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3- acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Exp Bot.* 40: 405–412.
- Cakmak, I., D. Strbac, and H. Marschner. 1993. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. *J. Exp. Bot.* 44: 127–132.
- Coleman, J.E. 1998. Zinc enzymes. *Curr. Opin. Chem Biol.* 2: 222–234.
- Hotz, C., and K.H. Brown. 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutr Bull.* 25: S94–S203.
- Ishimaru, Y., K. Bashir, and N.K. Nishizawa. 2011. Zn uptake and translocation in rice plants. *Rice.* 4: 21–27.
- Person, J.N., and Z. Rengel. 1991. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of experimental Botany.* 45: 1829-1835.
- Phattarakul, N., B. Rerkasem, L.J. Li, L.H. Wu, C.Q. Zou, H. Ram, V.S. Sohu, B.S. Kang, H. Surek, M. Kalayci, A. Yazici, F.S. Zhang, and I. Cakmak. 2012. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant Soil.* 361: 131-141.
- Prom-u-thai, C., S. Fukai, I.D. Godwin, and L. Huang. 2007. Genotypic variation of iron partitioning in rice grain. *J Sci Food Agric.* 87: 2049-2054.
- Rengel, Z., and R.D. Graham. 1995a. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. 1. Vegetative growth. *Plant Soil.* 173: 259–266.
- Rengel, Z., and R.D. Graham. 1995b. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. 2. Grain-yield. *Plant Soil.* 173: 267–274.
- Saenchai, C., C. Prom-u-thai, S. Jamjod, B. Dell, and B. Rerkasem. 2012. Genotypic variation in milling depression of iron and zinc concentration in rice grain. *Plant Soil.* 361: 271-278.
- Schmidt, A. 1979. Photosynthetic assimilation of sulfur compounds. In: *Photosynthesis Encycl. Plant physio.* Heidelberg. 6: 481-496.
- Sperotto, R.A., F.K. Ricachenevsky, G.L. Duarte, T. Boff, K.L. Lopes, E.R. Sperb, M.A. Grusak, and J.P. Fett. 2009 Identification of upregulated genes in flag leaves during rice grain filling and characterization of OsNAC5, a new ABA-dependent transcription factor. *Planta.* 230: 985–1002.
- Wu, C.Y., L.L. Lu, X.E. Yang, Y. Feng, Y.Y. Wei, H.L. Hao, P.J. Stoffella, and Z.L. He. 2010. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. *J Agric Food Chem.* 58: 6767–6773.
- Yilmaz, K., K. Saltali, E.U. Guzel, and H. Dikici. 2010. Zinc(II) sorption characteristics of soils in predominant smectite, illite and kaolinite clay minerals. *Asian J Chem.* 22: 1487–1494.
- Zadok, J.C., T.T. Chang, and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415–421.
- Zhang, J., L.S. Wu, and M.Y. Wang. 2008. Iron and zinc biofortification in polished rice and accumulation in rice plant (*Oryza sativa* L.) as affected by nitrogen fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Plant Soil Science.* 58: 267-272.