

การสะสมธาตุสังกะสีในข้าวไร่และข้าวนาสวนภายใต้การปลูกแบบไม่ขังน้ำและน้ำขัง

Zinc Accumulation in Upland and Wetland Rice Grown Under Non-flooded and Flooded Conditions

รรินธร รินสินจ้อย¹ สิทธิชัย ลอดแก้ว² และ ชนาکانด์ เทโบลด์ พรหมอุทัย^{1*}

Rarinthorn Rinsinjoy¹, Sittichai Lordkaew² and Chanakan Thebault Prom-u-thai^{1*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ศูนย์วิจัยระบบทรัพยากรเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

²Center for Agricultural Resource System Research, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: chanakan15@hotmail.com

(Received: 6 December 2018; Accepted: 27 March 2019)

Abstract: The objective of this study was to compare the responses of upland and wetland rice varieties namely KH CMU and CNT1, respectively grown under different water conditions to grain yield and Zn accumulation. The experiment was arranged in factorial in CRD with three replications. Yield, yield component and grain Zn concentration were evaluated in comparison between the rice ecotypes and water condition. The result showed that in CNT1, the wetland rice variety, was found to decreased yield by 30.8% in the aerobic condition compared with flooded condition. While, KH CMU, the upland rice variety had no significant difference between both water conditions affected on yield. The concentration of Zn in brown rice also responded differently between the two varieties grown under different water conditions. KH CMU grown under the aerobic condition had 20.7% Zn concentration in brown rice higher than under flooded condition, while it was not found the difference between both water conditions in CNT1. The result showed no significant correlation between Zn concentration in brown rice and grain yield in 2 rice varieties. This experiment indicated that upland rice and wetland rice varieties responded differently to water condition for both production and grain Zn accumulation in brown rice. The appropriate water management for each rice variety would be able to improve both yield and nutritional value in rice grain and consequently for rice consumers.

Keywords: Zinc, flooded, aerobic, upland rice, wetland rice

บทคัดย่อ: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของผลผลิตและการสะสมสังกะสีในพันธุ์ข้าวมข. (ข้าวไร่) และ ชัยนาท 1 (ข้าวนาสวน) ที่ปลูกในสภาพขังน้ำและแอโรบิก วางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตและความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องเพื่อเปรียบเทียบการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ผลการทดลองพบว่าพันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อปลูกในสภาพแอโรบิกให้ผลผลิตเมล็ดลดลงร้อยละ 30.8 เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพน้ำขัง ขณะที่การจัดการน้ำไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของผลผลิตในพันธุ์ข้าวมข. สำหรับความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดพบว่าพันธุ์ข้าวมข. เมื่อปลูกในสภาพแอโรบิกมีความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องมากกว่าการปลูกในสภาพน้ำขังร้อยละ 20.7 ขณะที่พันธุ์ชัยนาท 1 ไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง และพบว่าความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องและผลผลิตไม่มีความสัมพันธ์กันในข้าวทั้งสองพันธุ์ การทดลองนี้ชี้ว่าพันธุ์ข้าวนาสวนและข้าวไร่มีการตอบสนองต่อการจัดการน้ำในการปลูกแตกต่างกันในการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว การจัดการสภาพการปลูกที่เหมาะสมในข้าวแต่ละพันธุ์น่าจะเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการสำหรับผู้บริโภคข้าวได้ต่อไป

คำสำคัญ: สังกะสี น้ำขัง แอโรบิก ข้าวไร่ ข้าวนาสวน

คำนำ

การขาดธาตุสังกะสีเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประชากรจำนวนหนึ่งในสามของโลก โดยพบประชากรป่วยเป็นโรคขาดธาตุสังกะสีตั้งแต่ร้อยละ 4-73 (Hotz and Brown, 2004) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชากรในแถบทวีปเอเชียและแอฟริกาที่พบผู้ป่วยดังกล่าวถึงร้อยละ 10-60 (de Benoist *et al.*, 2008) สาเหตุของการขาดธาตุสังกะสีส่วนใหญ่เกิดจากการบริโภคธาตุสังกะสีไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เนื่องจากธาตุสังกะสีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาและเปลี่ยนสภาพของเนื้อเยื่อเจริญส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย รวมถึงระบบภูมิคุ้มกันและระบบทางเดินอาหาร (Brown *et al.*, 2002) เกือบร้อยละ 50 ของพื้นที่เพาะปลูกพืชอาหารหลักในโลกเป็นพื้นที่ที่มีธาตุสังกะสีต่ำ (Cakmak, 2002) ที่มีสาเหตุมาจากความสามารถในการละลายของสังกะสีในดินต่ำ และเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาการขาดธาตุสังกะสีในพืชส่วนใหญ่ นอกจากบทบาทและความสำคัญในมนุษย์ ธาตุสังกะสียังมีบทบาทและความสำคัญในพืชเป็นอย่างมาก โดยเกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิด โดยเอนไซม์ในพืชชั้นสูงจำนวนมากต้องการสังกะสีช่วยกระตุ้นกิจกรรม ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase)

แอลโดเลส (aldolases) ไอโซเมอเรส (isomerases) และทรานสฟอสฟอรีเลส (transphosphorylases) รวมทั้งมีบทบาทในเมตาบอลิซึมของดีเอ็นเอ การสังเคราะห์โปรตีนและการแบ่งเซลล์ (Coleman, 1992) โดยทั่วไปธาตุสังกะสีมีประจุไอออน Zn^{2+} (divalent cation) แต่ในสภาพที่มี pH สูง พืชอาจมีการดูดใช้ในรูป $ZnOH^+$ (monovalent cation) (Marschner, 1995) พืชชั้นสูงดูดใช้ธาตุสังกะสีผ่านกลไกการไหลมวลสาร (mass flow) และการแพร่ (diffusion) ของราก ซึ่งเป็นกลไกแบบ passive ที่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับความเข้มข้นของธาตุสังกะสีที่เคลื่อนผ่านผนังเซลล์ของราก (Lee *et al.*, 2010) โดยงานวิจัยของ Herren and Feller (1994) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างท่อลำเลียงของเมล็ด (grain vascular bundle) ในระยะเต็มเมล็ดและการขนส่งธาตุอาหารต่าง ๆ ไปยังส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ผ่านวิถี apoplast จากชั้นของนิวเคลลัส (nucellus layer) ผ่านเข้าสู่ชั้นเยื่ออาลิโรน (aleurone layer) และไปสู่เอนโดสเปิร์ม (endosperm) ซึ่งขั้นตอนนี้มีบทบาทสำคัญในการขนส่งธาตุสังกะสีไปเก็บไว้ยังเอนโดสเปิร์มของเมล็ดพืช

ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ลุ่มหรือเรียกว่าข้าวนาสวนจะปลูกภายใต้สภาพน้ำขัง ในเอเชียมีการผลิตข้าวลักษณะนี้คิดเป็นร้อยละ 70 ของการเพาะปลูกข้าวทั้งหมด (Farooq *et al.*, 2007) โดยทั่วไปในดินที่มีน้ำขังอย่างต่อเนื่องจะพบการขาดธาตุสังกะสีรุนแรงมากขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า pH มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดิน (Rehman *et al.*, 2012) ปฏิกริยาทางเคมีที่มีค่า pH มากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายธาตุสังกะสีในดินต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับดินในสภาพไม่ขังน้ำหรือสภาพไร่ ซึ่งมีปริมาณธาตุสังกะสีที่เป็นประโยชน์มากกว่าในสภาพน้ำขัง (Impa and Johnson-Beebout, 2012) อย่างไรก็ตาม การปลูกข้าวในสภาพไร่มักจะเน้นในเรื่องของศักยภาพในการผลิตและการใช้น้ำ (Yang *et al.*, 2005) ในพื้นที่ที่มีน้ำจำกัด การลดลงของน้ำในดินอาจเป็นปัจจัยจำกัดการดูดใช้และการขนส่งธาตุสังกะสีของรากพืช (Yoshida, 1981) ในประเทศไทยมีการปลูกข้าวไร่พื้นที่รวม 668,486 ไร่ อยู่ในภาคเหนือ 343,461 ไร่ ชายแดนฝั่งตะวันตก 202,383 ไร่ ชายแดนฝั่งตะวันออก 41,979 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 42,293 ไร่ และภาคใต้ 38,370 ไร่ แต่ไม่พบพื้นที่ปลูกข้าวไร่ในภาคกลาง (Damrongkiat, 2012) ซึ่งในระบบการจัดการการเพาะปลูกที่สามารถผลิตเมล็ดข้าวที่มีธาตุสังกะสีสูงจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาคาดขาดธาตุสังกะสีในผู้บริโภคข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในพันธุ์ข้าวไร่และข้าวนาสวนภายใต้การจัดการน้ำที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการกำหนดศักยภาพผลผลิตทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การปลูกข้าวและการเก็บข้อมูล

ดำเนินการทดลองในกระถางขนาดใหญ่ที่แปลงทดลองพืชไร่ ศูนย์วิจัย สาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหิยะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างเดือนสิงหาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 วาง

แผนการทดลองแบบ factorial in CRD จำนวน 3 ข้ำ และประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือพันธุ์ข้าวจำนวน 2 พันธุ์ คือข้าวไร่ (พันธุ์กำหอม มช.; KH CMU) และข้าวนาสวน (พันธุ์ชัยนาท 1; CNT1) และปัจจัยที่ 2 การจัดการสภาพน้ำในการปลูกคือการปลูกแบบขังน้ำ (flooded) และไม่ขังน้ำ (non-flooded) โดยเพาะกล้าข้าวทั้ง 2 พันธุ์เป็นเวลา 7 วัน ก่อนย้ายกล้าลงปลูกในกระถางซีเมนต์ที่ใส่ดินเตรียมไว้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระถางคือ 80 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร บรรจุดินแห้งกระถางละ 160 กิโลกรัม โดยดินที่ใช้ปลูกมีลักษณะดินร่วนปนทราย (sedimentation method) (Das, 2002) มีค่าปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางเท่ากับ 5.82 (ดิน:น้ำ, 1:1) (Jones, 2001) ปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 1.38 (Walkley and Black, 1947) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 35.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Watanabe and Olsen, 1962) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 39.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NH_4OAc , pH 7) (Schollenberger and Simon, 1945) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Zn available, DTPA) (Lindsay and Norvell, 1978) 0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลูกกล้าข้าวทั้งสองพันธุ์จำนวนพันธุ์ละ 6 ต้น ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร ปลูกแบบต้นเดียว โดยมีการจัดการน้ำ 2 แบบคือแบบขังน้ำและไม่ขังน้ำ ในกรรมวิธีที่ขังน้ำเริ่มขังน้ำในกระถางตั้งแต่วาระต้นกล้าจนถึงระยะสุกแก่ โดยรักษาระดับน้ำให้อยู่ที่ประมาณ 10 เซนติเมตรเหนือระดับผิวดิน ในสภาพไม่ขังน้ำ ก่อนย้ายกล้าลงปลูกในกระถางให้น้ำในดินจนสังเกตสภาพดินในกระถางอิมตัวด้วยน้ำ (ประมาณค่าความจุความชื้นสนามที่ 100 เปอร์เซ็นต์) โดยไม่มีน้ำท่วมขังเหนือระดับผิวดิน และเมื่อปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์จึงรักษาระดับความชื้นในดินให้คงที่สังเกตจากผิวน้ำดินโดยให้น้ำวันละ 2 ครั้ง เข้าและเย็น (ครั้งละประมาณ 3 ลิตร) จนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยว ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (urea) ในอัตรา 30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส (sodium dihydrogen orthophosphate) ในอัตรา 30 กิโลกรัมฟอสเฟต (P_2O_5) ต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม (potassium chloride) ในอัตรา 30 กิโลกรัมโพแทสเซียม (K_2O) ต่อไร่ แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งละเท่า ๆ กัน ครั้งแรกใส่ระยะแตกกอ ครั้งที่สองใส่ระยะกำเนิดช่อดอก และครั้งที่สามใส่ระยะออกดอก เก็บเกี่ยวเพื่อประเมิน

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวแต่ละพันธุ์ ในระยะสุกแก่ นำตัวอย่างไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (de Mello Prado and Caione, 2012) จากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งพร้อมบันทึกข้อมูลในส่วนของเมล็ดข้าวที่เป็นผลผลิตนำมาผึ่งแดดเพื่อลดความชื้นให้เหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ ชั่งน้ำหนักแห้งพร้อมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวล้าง

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุสังกะสีที่สะสมในเมล็ดข้าวล้าง โดยวิธีการ dry ashing เผาตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิ 535 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง และนำสารละลายตัวอย่างมาอ่านค่าด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AA) เปรียบเทียบความเข้มข้นจากสารละลายมาตรฐานของสังกะสี โดยมีตัวอย่างใบถั่วเขียวเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ วิธีการวิเคราะห์ (Bell *et al.*, 1991)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยหาค่า least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผล statistix 8 analytical software; SX

หาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละคู่โดยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (coefficient of correlation)

ผลการศึกษา

การศึกษาอิทธิพลของพันธุ์ข้าวกับสภาพการปลูกพบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและสภาพการปลูกต่อผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 1) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อปลูกในสภาพไม่ขังน้ำให้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 45.0 กรัม/ต้น เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพน้ำขังให้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 65.0 กรัม/ต้น (ลดลงร้อยละ 30.8) ขณะที่พันธุ์เก่าหอม มข. ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของผลผลิตที่ปลูกในสภาพไม่ขังน้ำและสภาพน้ำขัง (ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 34.1 และ 33.7 กรัม/ต้น ตามลำดับ) ในขณะที่น้ำหนักฟางข้าวของพันธุ์ชัยนาท 1 ลดลงร้อยละ 33.7 จากการปลูกในสภาพน้ำขัง (ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 47.2 กรัม/ต้น) เมื่อเทียบกับการปลูกในสภาพไม่ขังน้ำ (ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 31.3 กรัม/ต้น) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักฟางข้าวในพันธุ์เก่าหอม มข. (ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 18.5 กรัม/ต้นในสภาพน้ำขัง และ 26.2 กรัม/ต้นในสภาพไม่ขังน้ำ) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและสภาพการปลูกต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ

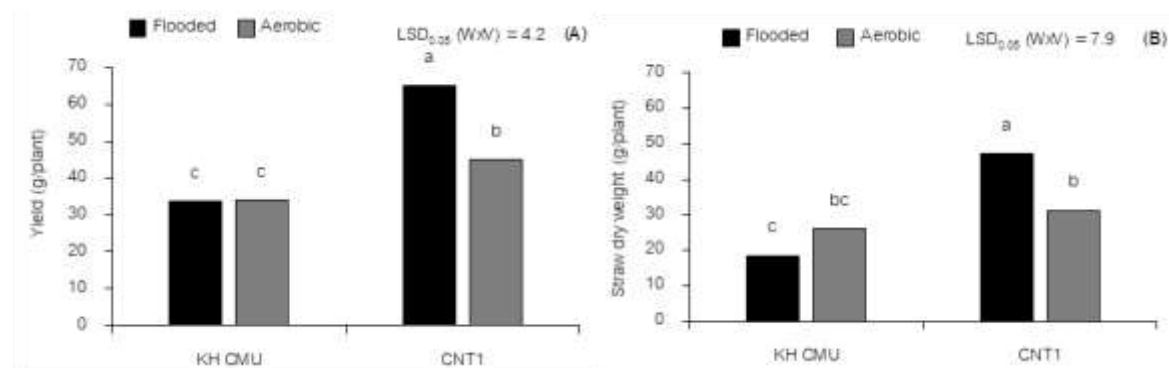


Figure 1. Grain yield (A) and straw dry weight (B) of 2 rice varieties (KH CMU and CNT1) grown in 2 water conditions (flooded and aerobic). Significant difference at $P < 0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars

นอกจากนี้ยังพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับสภาพการปลูกต่อองค์ประกอบผลผลิตคือจำนวนหน่อตอก และจำนวนรวงต่อกออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1) เมื่อปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในสภาพไม่ขังน้ำพบว่าจำนวนหน่อตอกลดลงร้อยละ 44.2 เมื่อเทียบกับสภาพน้ำขัง ในขณะที่พันธุ์กำหอม มข. เมื่อปลูกในสภาพน้ำขังให้จำนวนหน่อตอกลดลงร้อยละ 41.2 เมื่อเทียบกับการปลูกในสภาพไม่ขังน้ำ ในขณะที่การปลูกในสภาพไม่ขังน้ำมีจำนวนรวงต่อกอของพันธุ์ชัยนาท 1 ลดลงร้อยละ 41.9 ในขณะที่พันธุ์กำหอม มข. ไม่พบความแตกต่างของจำนวนหน่อตอกระหว่างสภาพการปลูกทั้งสองสภาพการปลูก

ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง

ความเข้มข้นธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องมีความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและสภาพน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Figure 2) โดยพันธุ์กำหอม มข. มีปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องมากกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 ในทั้งสองสภาพการปลูก โดยมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีในสภาพไม่ขังน้ำมากกว่าสภาพน้ำขังร้อยละ 20.7 แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างสภาพการปลูกในพันธุ์ชัยนาท 1

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง

ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและความเข้มข้นสังกะสีในข้าวกล้องข้าวทั้งสองพันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน ($P<0.05$) (Figure 3)

Table 1. Yield components (no. of tillers/hill, no. of panicles/hill, percent filled grain and 1,000 filled grains weight) of 2 rice varieties grown under 2 water conditions

Water condition	Variety	No. of tillers/hill	No. of panicles/hill	Filled grain (%)	1,000 Filled grains weight (g)
Flooded	KH CMU	5.7 d	5.3 c	96.8	27.1
	CNT1	31.0 a	27.0 a	97.5	29.8
Aerobic	KH CMU	9.7 c	9.7 c	97.8	30.5
	CNT1	17.3 b	15.7 b	98.2	28.6
F-test					
Water condition (W)		**	*	ns	ns
Varieties (V)		**	**	ns	ns
W x V		**	**	ns	ns
LSD (0.05) (W x V)		2.6	4.7	-	-
CV (%)		8.0	16.5	0.7	5.7

ns, *, ** indicates non-significant difference and significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively

Significant difference within column at $P<0.05$ indicated by different lowercase letters

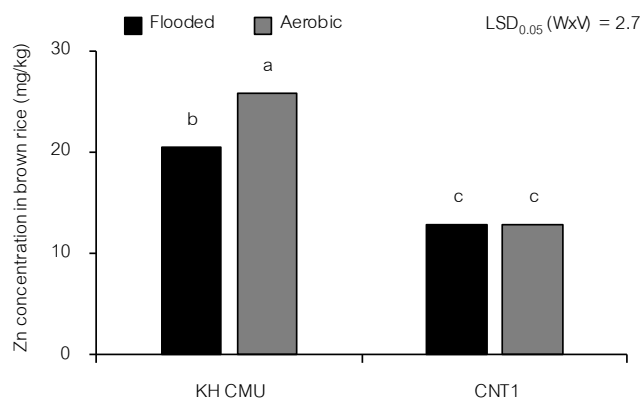


Figure 2. Zinc concentration in brown rice of 2 varieties (KH CMU and CNT1) grown in different water conditions (flooded and aerobic). Significant difference at $P < 0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars

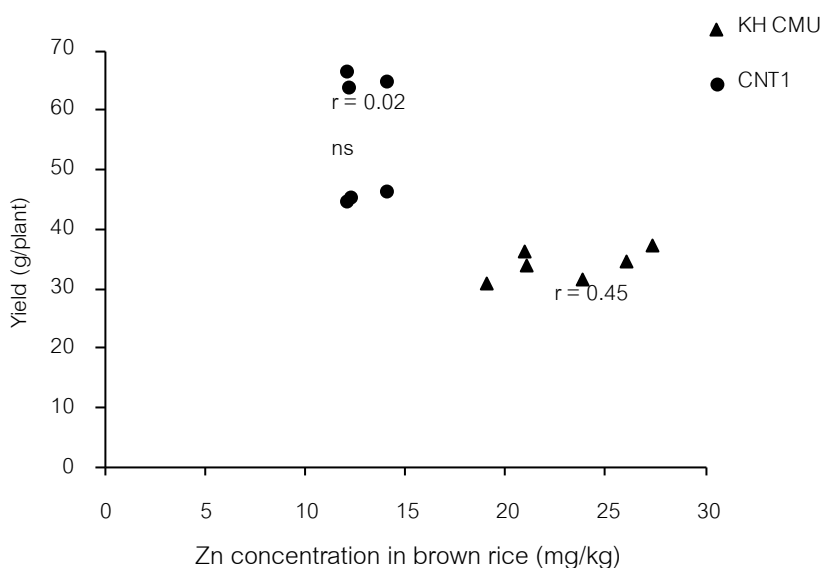


Figure 3. Correlation between grain zinc concentration in brown rice and grain yield in 2 rice varieties (KH CMU and CNT1)

วิจารณ์

ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าการตอบสนองของผลผลิตและความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวมีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวนาสวนและข้าวไร่และสภาพน้ำในการปลูกแบบขังน้ำและไม่ขังน้ำ ซึ่งการจัดการสภาพน้ำให้ได้ประโยชน์สูงสุดของทั้งผลผลิตและความเข้มข้นสังกะสี

ในเมล็ดข้าวควรต้องคำนึงถึงพันธุ์ข้าวที่ปลูกด้วย พันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวนาสวน มีการตอบสนองต่อสภาพน้ำอย่างชัดเจน โดยมีผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งฟาง จำนวนหน่อตอกอ จำนวนรวงตอกอลดลงอย่างมากเมื่อนำมาปลูกในสภาพไม่ขังน้ำ แสดงถึงการปรับตัวต่อสภาพการปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขังและไม่ขังน้ำในระหว่างการปลูกในการสร้างผลผลิตที่ค่อนข้างจำกัดในข้าวพันธุ์

ชัยนาท 1 มีรายงานว่าข้าวนาสวนมีระบบรากค่อนข้างตื้นและมีลักษณะรวมเป็นกระจุก กระจายตัวอยู่ในระดับชั้นดินบนที่ 15-30 เซนติเมตร ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจเป็นข้อจำกัดต่อการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารในสภาพไม่ขังน้ำ (Serraj *et al.*, 2011) ในขณะที่พันธุ์เก่าหอม มข. ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวไร่ที่ปลูกในสภาพไม่ขังน้ำพบว่ามีการปรับตัวต่อสภาพน้ำได้ดีกว่า โดยไม่พบความแตกต่างของผลผลิตในทั้งสองสภาพการปลูกทั้งน้ำหนักเมล็ดและฟางข้าวแม้จะมีจำนวนหน่อต่อกอที่ลดลงในการปลูกแบบไม่ขังน้ำเปรียบเทียบกับปลูกในสภาพน้ำขัง แต่ไม่ส่งผลต่อผลผลิตและน้ำหนักแห้งฟาง ซึ่งแม้ว่าข้าวไร่มีลักษณะการกระจายของรากจะน้อยกว่าข้าวนาสวน แต่ข้าวไร่มีความยาวของรากที่มากกว่าข้าวนาสวน ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของข้าวไร่สำหรับการดูดใช้น้ำในชั้นดินลึกในกรณีที่เกิดภาวะเครียดในสภาพแห้งแล้ง ซึ่งรากบางส่วนอาจมีความยาวถึง 70-80 เซนติเมตร (Abe and Morita, 1994) อย่างไรก็ตาม ภายในพันธุ์กรรมของข้าวไร่ก็มีความแปรปรวนทางพันธุกรรมในลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการต้านทานต่อการขาดน้ำได้มากกว่าข้าวนาสวน ซึ่งพบความแตกต่างของความกว้างใบ จำนวนหน่อ และความยาวของราก ระหว่างข้าว 2 พันธุ์ (Shashidhar *et al.*, 2012) โดยรายงานของ Heinemann *et al.* (2011) ระบุว่าพืชหลายชนิดมีความแตกต่างทางพันธุกรรมในการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ใบเป็นผลจากยีนบางชนิดที่สามารถระงับการคายน้ำในสภาวะที่ดินจะแห้งสนิท ในขณะที่บางชนิดตอบสนองโดยลดการคายน้ำในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำสูง ซึ่งเชื่อว่าการแตกต่างดังกล่าวส่งผลให้ข้าวไร่และข้าวนาสวนมีความสามารถในการปรับตัวแตกต่างกันในสภาพการปลูกที่ต่างกัน และมีผลทำให้เกิดความแตกต่างในการสร้างผลผลิต นอกจากนี้อาจส่งผลต่อความแตกต่างในการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวด้วย Wissuwa *et al.* (2008) บ่งชี้ว่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ 8-47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การทดลองนี้พบว่าพันธุ์เก่าหอม มข. มีความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องมากกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 ในทั้งสองสภาพการปลูก โดยการปลูกในสภาพไม่ขังน้ำมีปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องมากกว่าสภาพน้ำขัง

Jiang *et al.* (2008) แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการเคลื่อนย้ายของธาตุสังกะสีในต้นข้าวมีความสำคัญต่อปริมาณของธาตุสังกะสีในเมล็ด ขณะที่การดูดซึมธาตุอาหารของรากที่มากขึ้นไม่จำเป็นต้องมีผลต่อการสะสมธาตุสังกะสี เนื่องจากพืชมีกลไกเพื่อใช้ในการรักษาสมดุลธาตุสังกะสีด้วยการเคลื่อนย้ายทางไซเล็มและโฟลเอ็ม ซึ่งพบว่าปริมาณการเคลื่อนย้ายธาตุสังกะสีไปยังเมล็ดสามารถบ่งบอกสถานะภาพธาตุสังกะสีของพืชได้ด้วย โดยมีรายงานว่าพืชที่ขาดแคลนสังกะสี จะพบการจับของธาตุสังกะสีอยู่ในเมทาบออลิฟูล ทำให้มีการเคลื่อนย้ายไปยังเมล็ดน้อย (Osothsapha, 2015) รายงานของ Wu *et al.* (2010) ระบุว่าในสภาพที่ดินมีธาตุสังกะสีเพียงพอ ธาตุสังกะสีที่สะสมในเมล็ด ได้มาจากการดูดธาตุอาหารจากราก ขณะที่ในสภาพที่ดินขาดธาตุสังกะสี พืชจะมีการลำเลียงธาตุสังกะสีจากส่วนของลำต้นมาสะสมไว้ในเมล็ด ทั้งนี้ค่าวิกฤตของการขาดธาตุสังกะสีในดินทั่วไปอยู่ในช่วง 0.5-1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Alloway 2008) ซึ่งการขาดธาตุสังกะสีของดินจากวิธีการ DTPA extraction method มีค่าเฉลี่ย 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Dobermann and Fairhurst, 2000) ในการวิเคราะห์ดินก่อนการทดลองพบว่าดินมีความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสี 0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวทั้งสองพันธุ์และทั้งสองสภาพการปลูกอยู่ในช่วง 12.8-25.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับการทดลอง Wissuwa *et al.* (2008) พบว่าในสภาพที่ดินขาดธาตุสังกะสี (ความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีในดิน 0.79-0.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สามารถให้ความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวเฉลี่ยในช่วง 7.8-27.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดมาจากเสถียรภาพและการดูดใช้สังกะสีซึ่งคาดว่าจะขึ้นอยู่กับศักยภาพและกลไกทางสรีรวิทยาของข้าว แม้ในดินจะมีการขาดธาตุสังกะสีก็ตาม ทั้งนี้การจัดการการปลูกส่งผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางเคมีดิน ตัวอย่างเช่น เมื่อดินถูกน้ำขังเป็นเวลานานค่าศักย์รีดอกซ์ (redox potential; Eh) จะลดลง ซึ่งปกติแล้วดินในสภาพไม่ขังน้ำจะมีค่าศักย์รีดอกซ์ที่มากกว่าในสภาพน้ำขัง ในระบบการปลูกข้าวไร่ (ไม่ขังน้ำ) จะเกิดกระบวนการ oxidation ของเหล็ก ($\text{Fe}(\text{OH})_3$)

โดยจากการปลดปล่อย O_2 ออกมาทำให้ค่า pH บริเวณรอบรากลดลง และค่า pH ที่ลดลงส่งผลต่อการปลดปล่อยสังกะสีจากส่วนที่ตกตะกอนในดิน (Abdullah 2015) ขณะที่ในดินน้ำขังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้สังกะสีถูกตรึง เช่น การเกิดอนุมูลของ OH^- , PO_4^{3-} , S^{2-} และการเพิ่มขึ้นของ pH ส่งผลให้สังกะสีถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ZnS , $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$ และ $Zn_3(PO_4)_2$ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และรายงานก่อนหน้านี้ระบุว่าเมื่อ pH ของดินเพิ่มขึ้น 1 หน่วยการละลายได้ (solubility) ของสังกะสีจะลดลง 100 เท่า (Randhawa *et al.*, 1978) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าวิกฤตสังกะสีในดินอาจจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดการสภาพแวดล้อม และการสะสมธาตุสังกะสีในส่วนต่างๆ ของพืชแต่ละชนิดอาจจะมีกลไกการดูดซึมของระบบราก และการลำเลียงธาตุอาหารแตกต่างกัน จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุสังกะสีระหว่างข้าวไร่และข้าวนาสวน

สรุป

พันธุ์ข้าวไร่และข้าวนาสวนมีการตอบสนองของผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องที่แตกต่างกันในการจัดการสภาพน้ำที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกข้าวนาสวนในสภาพไม่ขังน้ำส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดน้อยกว่าการปลูกในสภาพน้ำขัง (45.0 และ 65.0 กรัม/ต้น ตามลำดับ) แต่การจัดการน้ำที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง (12.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ขณะที่ข้าวไร่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของผลผลิตเมล็ดระหว่างสภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำ (33.7 และ 34.1 กรัม/ต้น ตามลำดับ) แต่การจัดการน้ำมีผลให้ความเข้มข้นธาตุสังกะสีในสภาพไม่ขังน้ำมากกว่าสภาพน้ำขัง (25.7 และ 20.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพการจัดการน้ำในการปลูกพบว่าพันธุ์ข้าวแต่ละชนิดมีเสถียรภาพในการรักษาผลผลิตและความเข้มข้นธาตุสังกะสีต่างกัน โดยข้าวนาสวนมีเสถียรภาพในการรักษาความเข้มข้นธาตุสังกะสีได้ดีกว่าข้าวไร่ ขณะที่ข้าวไร่มีเสถียรภาพในการรักษาผลผลิตเมล็ดได้ดีกว่าข้าวนาสวน เนื่องจากอาจมีการ

ปรับตัวของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาที่ต่างกัน จึงควรมีการศึกษากลไกการตอบสนองและความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุสังกะสีในข้าวแต่ละชนิดต่อไปในอนาคต เพื่อประโยชน์ในการจัดการการปลูกข้าวและการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีผลผลิตและปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดสูง เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในข้าวสำหรับผู้บริโภคข้าวต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เป็นส่วนหนึ่งในการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาสาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Abdullah, A.S. 2015. Zinc availability and dynamics in the transition from flooded to aerobic rice cultivation. *Journal of Plant Biology & Soil Health* 2(1): 2-5.
- Abe, J. and S. Morita. 1994. Growth direction of nodal roots in rice: its variation and contribution to root system formation. *Plant and Soil* 165(2): 333-337.
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2nd ed. International fertilizer Industry Association and International Zinc Association, Brussels, and Paris. 139 p.
- Bell, P.F., R.L. Chaney and J.S. Angle. 1991. Free metal activity and total metal concentrations as indices of micronutrient availability to barley (*Hordeum vulgare* (L.) 'Klages'). *Plant and Soil* 130: 51-62.
- Brown, K.H., J.M. Pearson, J. Rivera and L.H. Allen. 2002. Effect of supplemental zinc on the

- growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition* 75(6): 1062-1071.
- Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil* 247(1): 3-24.
- Coleman, J.E. 1992. Zinc proteins: enzymes, storage proteins, transcription factors, and replication proteins. *Annual Review of Biochemistry* 61(1): 897-946.
- Damrongkiat, C. 2012. Upland rice production with food security. pp. 2-23. *In: Proceedings of the 2nd Academic Rice International Conference*. Swisotel Le Concorde, Bangkok. (in Thai)
- Das, B.M. 2002. *Soil Mechanics Laboratory Manual Sixth Edition*, Oxford University Press, New York. 215 p.
- de Benoist, B., E. McLean, I. Egli and M. Cogswell. 2008. *Worldwide Prevalence of Anaemia 1993-2005: WHO Global Database of Anaemia*. World Health Organization, Geneva. 40 p.
- de Mello Prado, R. and G. Caione. 2012. Plant analysis. pp. 115-134. *In: R.N. Issaka (ed.). Soil Fertility Edited by Roland Nuhu Issaka*. InTech, Rijeka.
- Dobermann, A. and T.H. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management*. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute, Philippines. 191 p.
- Farooq, M., S.M.A. Basra and N. Ahmad. 2007. Improving the performance of transplanted rice by seed priming. *Plant Growth Regulation* 51(2): 129-137.
- Heinemann, A.B., L.F. Stone and N.K. Fageria. 2011. Transpiration rate response to water deficit during vegetative and reproductive phases of upland rice cultivars. *Scientia Agricola* 68(1): 24-30.
- Herren, T. and U. Feller. 1994. Transfer of zinc from xylem to phloem in the peduncle of wheat. *Journal of Plant Nutrition* 17(9): 1587-1598.
- Hotz, C. and K.H. Brown. 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin* 25(1)(Supplement 2): S99-203.
- Impa, S.M. and S.E. Johnson-Beebout. 2012. Mitigating zinc deficiency and achieving high grain Zn in rice through integration of soil chemistry and plant physiology research. *Plant and Soil* 361(1): 3-41.
- Jiang, W., P.C. Struik, M. Zhao, H. Van Keulen, T.Q. Fan and T.J. Stomph. 2008. Indices to screen for grain yield and grain-zinc mass concentrations in aerobic rice at different soil-Zn levels. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 55(2): 181-197.
- Jones, J.B., Jr. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press, Boca Raton. 357 p.
- Lee, S., H.J. Jeong, S.A. Kim, J. Lee, M.L. Guerinot and G. An. 2010. OsZIP5 is a plasma membrane zinc transporter in rice. *Plant Molecular Biology* 73(4): 507-517.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3): 421-428.
- Mahata, M.K., P. Debnath and S.K. Ghosh. 2012. Critical limits of zinc in soil and rice plant

- grown in alluvial soils of west bengal, india. SAARC Journal of Agriculture 10(2): 137-146.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, Amsterdam. 889 p.
- Osothsapha, Y. 2015. Nutrition of Plants. Kasetsart University Press, Bangkok. 548 p. (in Thai)
- Papademetriou, M.K., F.J. Dent and E.M. Herath. 2000. Bridging the Rice Yield Gap in the Asia-Pacific Region. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok. 222 p.
- Randhawa, N.S., M.K. Sinha and P.N. Takkar. 1978. Micronutrients. pp. 581-603. *In*: IRRI. Soils and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños.
- Rehman, H., T. Aziz, M. Farooq, A. Wakeel and Z. Rengel. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and Soil 361(1): 203-226.
- Schollenberger, C.J. and R.H. Simon. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil by ammonium acetate method. Soil Science 59(1): 13-24.
- Serraj, R., K.L. McNally, I. Slamet-Loedin, A. Kohli, S.M. Haeefe, G. Atlin and A. Kumar. 2011. Drought resistance improvement in rice: an integrated genetic and resource management strategy. Plant Production Science 14(1): 1-14.
- Shashidhar, H.E., A. Henry and B. Hardy. 2012. Methodologies for Root Drought Studies in Rice. International Rice Research Institute, Los Baños. 65 p.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil Science Society of America Proceedings 63: 257.
- Watanabe, F.S. and S.R. Olsen. 1962. Colorimetric determination of phosphorus in water extracts of soil. Soil Science 93(3): 183-188.
- Wissuwa, M., A.M. Ismail and R.D. Graham. 2008. Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability and zinc fertilization. Plant and Soil 306(1): 37-48.
- Wu, C., L. Lu, X. Yang, Y. Feng, Y. Wei, H. Hao, P.J. Stoffella and Z. He. 2010. Uptake, translocation and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58(11): 6767-6773.
- Yang, X., B.A.M. Bouman, H. Wang, Z. Wang, J. Zhao and B. Chen. 2005. Performance of temperate aerobic rice under different water regimes in North China. Agricultural Water Management 74(2): 107-122.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute, Los Baños. 269 p.
-