

ผลของการจัดการน้ำและการพ่นสังกะสีทางใบต่อผลผลิตและ การสะสมธาตุอาหารในเมล็ดข้าวเหนียว 5 พันธุ์

Effects of Water Management and Zinc Foliar Fertilizer on Grain Yield and Nutrient Accumulation of Five Glutinous Rice Varieties

จินตนา สงค์ศรีอินทร์¹ สุชาดา จำรัส¹ สุภาภรณ์ ญะเมืองมอญ¹ จีราภรณ์ วีระดิษฐกิจ¹
สิทธิเสวต ลอดแก้ว² และ ชนกานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย^{1*}

Jintana Songsriin¹, Suchada Jumrus¹, Supapohn Yamuangmorn¹, Jeeraporn Veeradittakit¹,
Sithisavet Lordkaew² and Chanakan Thebault Prom-u-thai^{1*}

¹สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Division of Agronomy, Department 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: chanakan.p@cmu.ac.th; chanakan15@hotmail.com

(Received: 8 April 2020; Accepted: 30 November 2020)

Abstract: Grain yield and quality can be improved by agronomical managements such as water and fertilizer. The objective of this study was to evaluate the responses of grain yield and zinc (Zn) and nitrogen (N) concentrations on water management and foliar Zn application among five glutinous rice varieties. The experiment was arranged in factorial in RCBD with two replications. Five glutinous rice varieties (RD4, RD6, RD10, RD14 and SPT1) were grown under waterlogged and non-flooded soils with and without applying of foliar Zn fertilizer. The results showed that rice grown under well-drained soil had reduced grain yield and individual grain weight by averaged about 34 % and 7 %, respectively. Similarly, the lower straw dry weight and number of filled grain was found in rice grown under the non - flooded soil. Applying foliar Zn increased grain Zn concentration by 43 - 92 % which was found in all rice varieties. Grain N concentration of rice applied with foliar Zn also increased by 9 - 12 % in RD4, RD6 and RD14, but the statistical difference was not found in RD10 and SPT1 varieties. This experiment indicated that growing glutinous rice under the non - flooded soil resulted in the reduction of grain yield. In the meantime, foliar Zn application could improve the number of filled grains and an individual grain weight as well as effectively increased grain Zn and N concentrations. The different response among glutinous rice varieties on water management and Zn fertilizer application would be useful information to manage the appropriated environmental condition for rice growing to improve grain yield and quality.

Keywords: Glutinous rice, grain nutrient, foliar zinc fertilizer, water management

บทคัดย่อ: ผลผลิตเชิงปริมาณและคุณภาพของข้าวสามารถควบคุมได้โดยการจัดการปัจจัยการผลิตให้มีความเหมาะสม เช่น น้ำและธาตุอาหาร การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีและไนโตรเจนต่อการจัดการน้ำและการพ่นสังกะสีในข้าวเหนียวพันธุ์ต่าง ๆ วางแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD โดยปลูกข้าวเหนียว 5 พันธุ์ (กข4, กข6, กข10, กข14 และสันป่าตอง 1) ภายใต้สภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำ ร่วมกับการจัดการปุ๋ยสังกะสี 2 แบบ คือ พ่นและไม่พ่นสังกะสี ผลการทดลองพบว่า ข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพไม่ขังน้ำมีผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักเมล็ดต่ำกว่าข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำขังโดยเฉลี่ยเท่ากับ 34 และ 7 % ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับน้ำหนักแห้งฟางและจำนวนเมล็ดดีที่ลดลงเมื่อปลูกในสภาพไม่ขังน้ำ แต่การตอบสนองแตกต่างกันในข้าวเหนียวแต่ละพันธุ์ นอกจากนี้การพ่นสังกะสีทางใบทำให้ข้าวมีความเข้มข้นสังกะสีเพิ่มขึ้น 43-92 % ในข้าวทั้ง 5 พันธุ์ และความเข้มข้นไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 9-12 % ในพันธุ์ กข4, กข6 และ กข14 ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างในพันธุ์ กข10 และสันป่าตอง 1 การทดลองนี้บ่งชี้ว่าการปลูกข้าวเหนียวในสภาพไม่ขังน้ำส่งผลให้มีผลผลิตเมล็ดลดลง ในขณะเดียวกันการพ่นสังกะสีสามารถเพิ่มจำนวนเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ด รวมทั้งเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีและไนโตรเจนในเมล็ดได้ การตอบสนองที่แตกต่างกันในข้าวเหนียวแต่ละพันธุ์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อการจัดการน้ำร่วมกับการพ่นสังกะสีทางใบให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพเมล็ดต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวเหนียว ธาตุอาหารในเมล็ด การพ่นสังกะสีทางใบ การจัดการน้ำ

คำนำ

ข้าวเหนียว (glutinous rice) เป็นพืชอาหารหลักที่มีการเพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ โดยพบว่า ประเทศไทยมีการปลูกข้าวเหนียวคิดเป็นร้อยละ 26 ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมด (OAE, 2019) นอกจากการบริโภคข้าวเหนียวภายในประเทศแล้ว การส่งออกข้าวเหนียวไปยังต่างประเทศยังมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกด้วย (TREA, 2019) แต่เนื่องจากสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของสภาวะอากาศ การจัดการน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจส่งผลกระทบต่อ การเพาะปลูกข้าวมากขึ้นในอนาคต จากข้อมูลทางสถิติของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรคาดว่าผลผลิตข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ปีเพาะปลูก 2562/63 ลดลงที่ร้อยละ 3.6 และ 32.4 ตามลำดับ เนื่องจากได้รับผลกระทบจากภาวะแล้ง ปริมาณฝนที่ต่ำกว่าปกติและไม่ทั่วถึง ส่งกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวและผลผลิต (BOF, 2019) เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยหลักในการผลิตพืชเกือบทุกชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะปลูกข้าวนาสวนซึ่งต้องมีการขังน้ำตลอดช่วงระยะการเจริญเติบโต โดยพบว่า การเปลี่ยนจากการปลูกข้าวนาสวนแบบน้ำขังเป็นแบบไม่ขังน้ำส่งผลให้ข้าว

มีผลผลิตลดลง เนื่องจากการลดลงของจำนวนเมล็ดต่อรวง (Anning *et al.*, 2018) ในขณะเดียวกันการปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้ง (alternate wetting and drying irrigation) ที่ระดับความขึ้นดินสูงกว่า - 20 kPa กลับไม่ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลง แต่เมื่อปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้งที่ระดับความขึ้นต่ำกว่า - 20 kPa พบว่า ผลผลิตลดลง 22 % (Carrizo *et al.*, 2017) จึงเห็นได้ว่าการจัดการน้ำโดยการรักษาปริมาณน้ำหรือความชื้นในดินในระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกข้าวมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการช่วยลดความเสี่ยงในการสูญเสียผลผลิต ในงานวิจัยที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับการจัดการน้ำในการเพาะปลูกข้าวเหนียวในประเทศไทยยังมีการศึกษาไม่มากนัก การตอบสนองของปริมาณผลผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงระบบการปลูกจากสภาพน้ำขังเป็นไม่ขังน้ำหรือน้ำแห้งในข้าวเหนียวพันธุ์ต่าง ๆ อาจเป็นแนวทางหนึ่งในการตัดสินใจเลือกพันธุ์ปลูกให้เหมาะสมกับการปลูกข้าวระบบน้ำน้อยในอนาคตได้

การจัดการธาตุอาหารพืชมีความสำคัญต่อการสร้างผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการของข้าว เช่นเดียวกัน ธาตุสังกะสีเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์มากกว่า 100 ชนิดและมีส่วนช่วยในการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ

เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในพืช (Broadley *et al.*, 2012) การใส่ปุ๋ยสังกะสีในนาข้าวพบว่า สามารถช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์รวมถึงผลผลิตเมล็ดในข้าว (Rana and Kashif, 2014) สังกะสียังเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของมนุษย์ เนื่องจากมีส่วนเกี่ยวข้องกับเอนไซม์มากกว่า 300 ชนิดในร่างกาย ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้ทำหน้าที่ในกระบวนการเผาผลาญ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมันและแอลกอฮอล์ (Coleman, 1998) ดังนั้น อาการผิดปกติของร่างกาย เช่น มีระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง การพัฒนาการของทารกไม่สมบูรณ์ อาจเกิดขึ้นได้หากขาดธาตุสังกะสีในร่างกาย (Gibson *et al.*, 2007) โดยร่างกายต้องการปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 9-15 มิลลิกรัมต่อวัน ขึ้นอยู่กับความต้องการที่ต่างกันตามอายุและเพศ (Institute of Medicine Panel on Micronutrients, 2001) จากผลสำรวจพบว่า ปริมาณหนึ่งในสามของประชากรโลกอยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการขาดธาตุสังกะสี โดยเฉพาะธาตุสังกะสีในข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรไทยและอีกหลายภูมิภาคในโลกแต่กลับพบว่า มีธาตุสังกะสีในเมล็ดในปริมาณต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชอื่น ๆ (Black *et al.*, 2008; Brown *et al.*, 2004) โดยเป้าหมายปริมาณสังกะสีที่ต้องการในข้าวคือ 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (IRRI, 2015) จากการรายงานก่อนหน้านี้ ข้าวเจ้าพันธุ์ไทยมีปริมาณสังกะสีสะสมอยู่ในช่วง 15.5 ถึง 30.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Laenoi *et al.*, 2015) แสดงให้เห็นว่าข้าวบางสายพันธุ์มีปริมาณสังกะสีสะสมอยู่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การบริโภคข้าวที่มีสังกะสีสูงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยป้องกันการขาดธาตุสังกะสีในร่างกายได้ การพ่นสังกะสีทางใบเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว (Phuphong *et al.*, 2018; Cakmak and Kutman, 2018) แต่ผลงานวิจัยนี้ยังไม่เฉพาะเจาะจงในแต่ละสภาพแปลงปลูกทั่วประเทศที่อาจแตกต่างกันโดยเฉพาะในเขตที่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ อีกทั้งการศึกษาการพ่นสังกะสีในพันธุ์ข้าวเหนียวไทยยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจน ดังนั้นการดำเนินงานวิจัยควรควบคู่ไปกับการวิจัยทางด้านพันธุ์ข้าว การศึกษาการตอบสนองของการใส่ปุ๋ยสังกะสีในข้าวแต่ละพันธุ์ภายใต้การจัดการน้ำ

ที่แตกต่างกันจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของผลผลิตและการสะสมธาตุอาหารในเมล็ดข้าวต่อการพ่นปุ๋ยสังกะสีทางใบในเหนียวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำเพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการแนะนำการจัดการน้ำและการพ่นสังกะสีให้เหมาะกับพันธุ์ข้าวเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับปรุงผลผลิตและคุณภาพเมล็ดข้าวต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การปลูกข้าวและการเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล ศูนย์วิจัยสาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 2 ซ้ำ และจัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียล $5 \times 2 \times 2$ ประกอบด้วยข้าวเหนียว 5 พันธุ์ คือ กข4 (RD4), กข6 (RD6), กข10 (RD10), กข14 (RD14) และสันป่าตอง 1 (SPT1) โดยปลูกในสภาพการจัดการน้ำ 2 แบบ คือ น้ำขัง (waterlogged) และไม่ขังน้ำ (non-flooded) ร่วมกับการจัดการปุ๋ยสังกะสี 2 แบบ คือ พ่นสังกะสี (Zn+) และไม่พ่นสังกะสี (Zn-) ทำการทดลองในฤดูนาปีช่วงเดือนกรกฎาคม - พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 เพาะเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ละ 20 กรัม ในถาดพลาสติกนาน 14 วัน จากนั้นย้ายลงปลูกในกระถางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บรรจุดินแห้ง กระถางละ 15 กิโลกรัม โดยดินที่ใช้ปลูกมีลักษณะดินร่วนปนทราย มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลาง เท่ากับ 5.82 (ดิน : น้ำ, 1 : 1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 1.38 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 35.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 39.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NH_4OAc , pH 7) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Zn available, DTPA) ปลูกแบบต้นเดี่ยวกระถางละ 5 ต้น โดยมีการจัดการน้ำที่ต่างกัน คือ สภาพน้ำขัง (waterlogged) โดยทำการขังน้ำประมาณ 10 เซนติเมตร เหนือระดับผิวดินตลอด

การปลูก และสภาพน้ำไม่ขัง (non - flooded) โดยรักษา ระดับความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 18-20 % ด้วยเครื่องวัด ความชื้นดิน (HH2 Moisture Meter, Delta - T - Devices Cambridge - England) โดยให้น้ำวันละ 2 ครั้ง เข้าและ เย็น (ครั้งละประมาณ 3 ลิตร) โดยไม่มีน้ำท่วมขังเหนือ ระดับผิวดิน ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 11.9 กรัมต่อกระถาง แบ่งใส่จำนวน 4 ครั้ง ในอัตราที่เท่ากันในระยะหลังปลูกข้าว 2 สัปดาห์ ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้องและระยะออกดอก ฟันปุ๋ยสังกะสีทางใบที่ระดับความเข้มข้น 0.5 % $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ในอัตรา 130 ลิตรต่อไร่ ฟันจำนวน 3 ครั้ง ในระยะแทงรวง ระยะออกดอกและระยะน้ำนม เก็บเกี่ยวผลผลิตเมล็ดและองค์ประกอบผลผลิตที่ ระยะสุกแก่ บันทึกน้ำหนักผลผลิตที่ความชื้นเมล็ด 14 % จากนั้นนำเมล็ดไปกะเทาะเปลือกให้ได้ข้าวกล้องเพื่อนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารต่อไป ส่วนของผลผลิตฟาง นำไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 °C นาน 72 ชั่วโมง แล้วชั่งพร้อมบันทึกน้ำหนักแห้งฟาง บันทึกข้อมูล องค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความสูงต้น ความยาวรวง จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อต้น เปอร์เซ็นต์ เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในเมล็ด

วิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุสังกะสีในเมล็ด ข้าวกล้องโดยวิธีการ dry ashing เผาตัวอย่างโดยใช้ อุณหภูมิ 540 °C นาน 8 ชั่วโมง และนำสารละลาย ตัวอย่างมาอ่านค่าด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AA) เปรียบเทียบความเข้มข้น จากสารละลายมาตรฐานของสังกะสี (Allan, 1961) วิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (total Kjeldahl nitrogen) ในเมล็ดข้าวกล้องโดยการย่อย ตัวอย่าง (digestion) ใน Kjeldahl digestion apparatus จากนั้นกลั่น (distillation) และไทเทรตเพื่อหาปริมาณ ไนโตรเจน (titration) (Bremner, 1960)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลผลผลิตเมล็ด องค์ประกอบผลผลิต และความเข้มข้นธาตุสังกะสีและไนโตรเจนในเมล็ดไป วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่าง

ระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีในข้าวเหนียว 5 พันธุ์ โดยหาค่า least significant difference (LSD) ที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SX for Window เวอร์ชัน 9.0

ผลการทดลอง

ผลผลิตเมล็ด น้ำหนักฟางแห้ง และองค์ประกอบ ผลผลิต

ผลการศึกษาพบว่า การจัดการน้ำและพันธุ์ข้าว มีผลต่อความแตกต่างของผลผลิตเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 1) การปลูกข้าวเหนียวภายใต้สภาพน้ำขัง โดยเฉลี่ยเท่ากับ 34 % โดยพบว่าพันธุ์ กข6 มีผลผลิตเมล็ดสูงสุด รองลงมาคือพันธุ์ กข 14, สันป่าตอง 1, กข4 และ กข10 ตามลำดับ ในขณะที่ การฟันสังกะสีไม่มีผลต่อความแตกต่างของผลผลิต เมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบ ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการน้ำและพันธุ์ข้าว ต่อความแตกต่างของน้ำหนักแห้งฟางอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 1) โดยพันธุ์ กข 14 และ สันป่าตอง 1 เมื่อปลูกภายใต้สภาพน้ำขังมีน้ำหนัก แห้งฟางต่ำกว่าการปลูกข้าวแบบน้ำขังเท่ากับ 24 และ 40 % ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนัก แห้งฟางภายใต้การจัดการน้ำทั้ง 2 แบบ ในข้าวพันธุ์อื่น ๆ นอกจากนี้พบการฟันสังกะสีมีผลต่อน้ำหนักแห้งฟาง แตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (Figure 1A) โดยการฟันสังกะสีส่งผลให้ พันธุ์ กข14 มีน้ำหนักแห้งฟางลดลง 25 % เมื่อเทียบ กับการไม่ฟันสังกะสี อย่างไรก็ตามการฟันสังกะสี ไม่มีผลต่อความแตกต่างของน้ำหนักแห้งฟางใน ข้าวเหนียวพันธุ์อื่น ๆ

สำหรับองค์ประกอบผลผลิต พบว่า การจัดการ น้ำมีผลต่อความยาวรวงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการปลูกข้าวในสภาพขังน้ำส่งผลให้มีความยาวรวงมากกว่าการปลูกข้าวในสภาพน้ำไม่ขังน้ำ เฉลี่ยเท่ากับ 7 % (Table 1) ในส่วนของเปอร์เซ็นต์เมล็ด ดีและความสูงต้น พบการจัดการน้ำมีผลต่อเปอร์เซ็นต์

เมล็ดดีในข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 1) การปลูกข้าวภายใต้สภาพไม่ขังน้ำ ส่งผลให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่ำกว่าการปลูกข้าวภายใต้สภาพน้ำขังเท่ากับ 15, 5, 14 และ 7 % ในพันธุ์ กข6, กข10, กข14 และสันป่าตอง 1 ตามลำดับ ยกเว้น พันธุ์ กข4 ที่ไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ต่อสภาพการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน และการตอบสนอง ของความสูง พบว่า พันธุ์ กข6, กข10 และสันป่าตอง 1 เมื่อปลูกภายใต้สภาพน้ำขังมีลำต้นสูงกว่าข้าวที่ปลูก

ในสภาพไม่ขังน้ำ เท่ากับ 23, 16 และ 11 % ตามลำดับ แต่ไม่พบอิทธิพลของการจัดการน้ำต่อความสูงต้นใน พันธุ์อื่น ๆ นอกจากนี้การพ่นสังกะสีมีผลต่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ด แตกต่างกัน ข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (Figure 1B) การพ่นสังกะสี ส่งผลให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 % ในพันธุ์ กข10 เมื่อเทียบกับการไม่พ่นสังกะสี ในขณะที่ การพ่นสังกะสีไม่มีผลต่อความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ เมล็ดดีในพันธุ์อื่น ๆ

Table 1. Grain yield, straw dry weight and yield components of five glutinous rice varieties grown in waterlogged and non - flooded soil conditions

Variety	Water condition	Grain yield (g pot ⁻¹)	Straw dry weight (g pot ⁻¹)	No. of tillers plant ⁻¹	No. of panicles plant ⁻¹	Filled grain (%)	1,000 grain weight (g)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)
RD4	waterlogged	112	249 ^e	11	10	92 ^{ab}	29.5	120 ^{cd}	28
	non - flooded	74	249 ^e	11	10	91 ^{bc}	26.0	117 ^{de}	27
RD6	waterlogged	161	377 ^{bc}	9	9	95 ^a	27.0	174 ^a	28
	non - flooded	108	378 ^{bc}	12	11	81 ^e	25.0	141 ^b	27
RD10	waterlogged	94	298 ^{de}	10	9	92 ^{bc}	30.5	120 ^{cd}	25
	non - flooded	76	277 ^{de}	13	11	87 ^d	28.5	104 ^g	24
RD14	waterlogged	129	424 ^b	10	10	89 ^{cd}	29.8	115 ^{def}	26
	non - flooded	77	321 ^{cd}	12	11	77 ^f	28.8	109 ^{fg}	25
SPT1	waterlogged	129	503 ^a	12	11	87 ^d	30.5	125 ^c	27
	non - flooded	72	303 ^{de}	11	10	81 ^e	28.0	112 ^{ef}	25
Variety mean									
RD4		93 ^{bc}	249 ^b	11	10	92 ^a	27.8 ^b	118 ^b	27 ^a
RD6		134 ^a	377 ^a	10	10	88 ^b	26.0 ^c	158 ^a	27 ^{ab}
RD10		85 ^c	287 ^b	11	10	89 ^{ab}	29.5 ^a	112 ^c	25 ^d
RD14		103 ^b	372 ^a	11	10	83 ^c	29.3 ^a	112 ^c	25 ^{cd}
SPT1		100 ^b	403 ^a	12	11	84 ^c	29.3 ^a	118 ^b	26 ^{bc}
Water mean									
	waterlogged	125 ^a	350	10	10	91 ^a	29.5 ^a	131 ^a	27 ^a
	non - flooded	81 ^b	326	12	11	83 ^b	27.3 ^b	117 ^b	25 ^b
Variety		**	**	ns	ns	**	**	**	**
Water		**	ns	ns	ns	**	**	**	**
Variety x Water		ns	**	ns	ns	**	ns	**	ns
CV (%)		15.6	11.7	16.8	17.2	2.8	2.5	3.4	4.0
Correlation (r) with grain yield			0.40 ^{ns}	-0.46*	-0.12 ^{ns}	0.49*	0.10 ^{ns}	0.75**	0.62**

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

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

The data was obtained from the mean of plants applied with and without foliar Zn fertilizer application

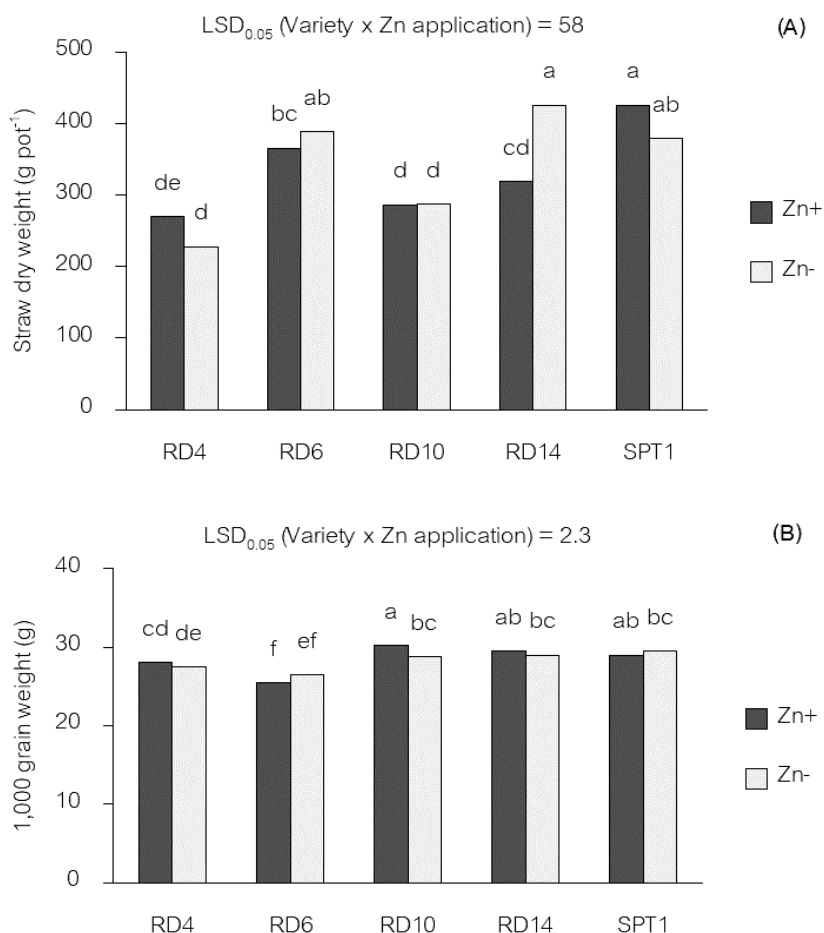


Figure 1. Straw dry weight (A) and 1,000 grain weight (B) of five glutinous rice varieties with and without foliar Zn fertilizer application. Significant difference at $P < 0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars. The data was obtained from the mean of plants grown in waterlogged and non - flooded soil conditions

ความเข้มข้นสังกะสีและไนโตรเจนในเมล็ดข้าวกล้อง

การพ่นสังกะสีทางใบมีผลต่อความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 2) การพ่นสังกะสีส่งผลให้เมล็ดมีความเข้มข้นสังกะสีเพิ่มขึ้นเท่ากับ 57, 63 และ 43 % ในพันธุ์ กข4, กข10 และ กข14 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่มีการพ่นสังกะสี ในขณะที่พันธุ์สันป่าตอง 1 และ กข6 มีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดสูงถึง 76 และ 92 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไม่พบอิทธิพลของการจัดการน้ำต่อความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง ($P < 0.05$) ในขณะที่การจัดการน้ำมีผลต่อความเข้มข้นไนโตรเจน

ในเมล็ดข้าวกล้องแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (Figure 3) โดยพบว่าพันธุ์ กข4 และ กข6 เมื่อปลูกภายใต้สภาพไม่ขังน้ำมีความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดสูงกว่าข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำขังเท่ากับ 15 และ 12 % ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับการตอบสนองในพันธุ์ กข10 และสันป่าตอง 1 ที่พบว่าการปลูกข้าวภายใต้สภาพน้ำขังมีความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดสูงกว่าการปลูกข้าวภายใต้สภาพไม่ขังน้ำเท่ากับ 8 และ 15% ตามลำดับ ในขณะเดียวกันการจัดการน้ำไม่มีผลต่อความแตกต่างกันของความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดพันธุ์ กข14 นอกจากนี้

พบการพ่นสังกะสีทางใบมีผลต่อความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 4) โดยการพ่นสังกะสีส่งผลให้เมล็ดข้าวพันธุ์ กข4, กข6 และ กข14 มีความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดสูงกว่าเมล็ดที่ไม่มีการพ่นสังกะสีเท่ากับ 12, 10 และ 9 % ตามลำดับ ในขณะที่การพ่นสังกะสีไม่มีผลต่อความแตกต่าง

ของความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดพันธุ์ กข10 และ สันป่าตอง 1

อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดกับความเข้มข้นสังกะสีและไนโตรเจนในข้าวกล้องทั้ง 5 พันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกันกับไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสังกะสีและไนโตรเจนในข้าวกล้องทั้ง 5 พันธุ์ ($P < 0.05$)

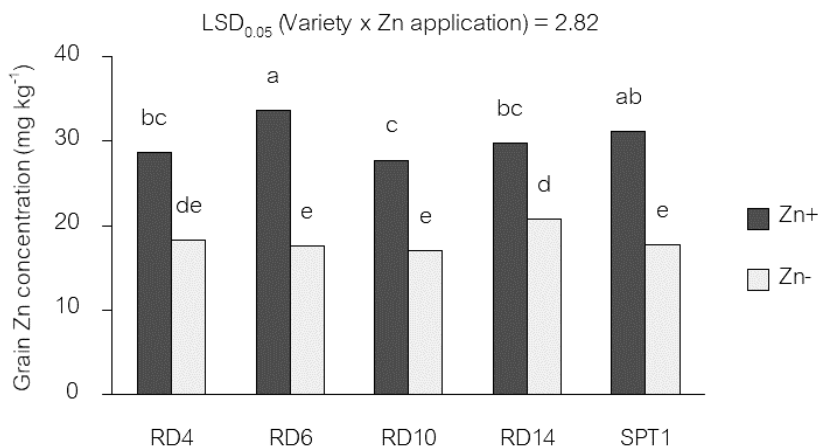


Figure 2. Grain Zn concentration of five glutinous rice varieties with and without foliar Zn fertilizer application. Significant difference at $P < 0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars

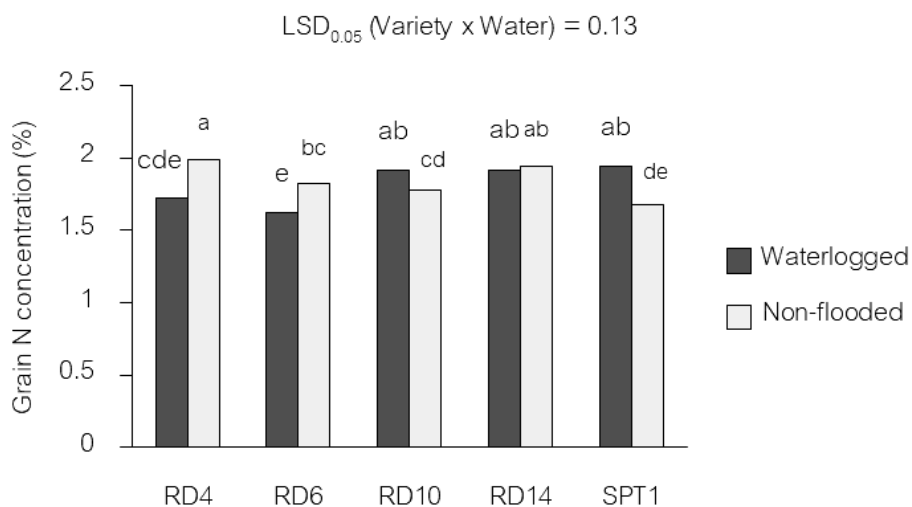


Figure 3. Grain N concentration of five glutinous rice varieties grown in waterlogged and non - flooded soil conditions. Significant difference at $P < 0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars

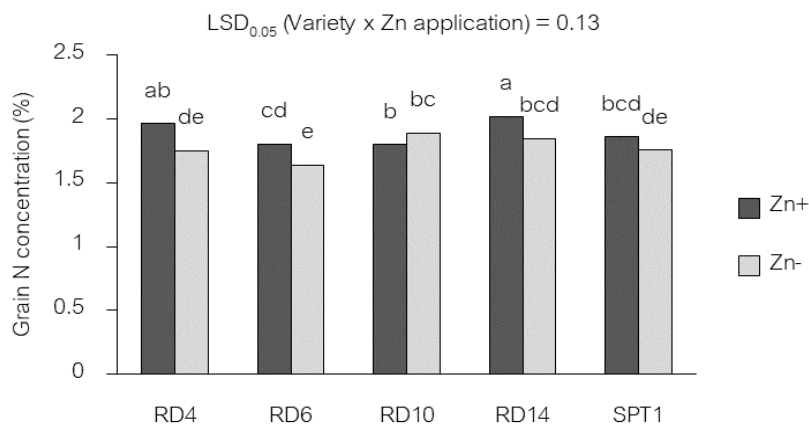


Figure 4. Grain N concentration of six glutinous rice varieties with and without foliar Zn fertilizer application. Significant difference at $P < 0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars

วิจารณ์

ปัญหาการขาดแคลนน้ำที่เกิดบ่อยและรุนแรงขึ้นในแต่ละปีสร้างความเสียหายต่อการผลิตข้าวเป็นอย่างมาก ดังนั้น การจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพพร้อมกับการวิจัยค้นคว้าพันธุ์ข้าวที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในสภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำน่าจะสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในระบบการเพาะปลูกข้าวในอนาคต จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกข้าวเหนียวทั้ง 5 พันธุ์ ในสภาพไม่ขังน้ำส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตลดลงเมื่อเทียบกับการปลูกในสภาพน้ำขังอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากพันธุ์ข้าวเหนียวที่ใช้ทดสอบทั้งหมดเป็นข้าวนาสวนซึ่งโดยปกติมีการขังน้ำตลอดระยะเวลาการเพาะปลูก การเปลี่ยนแปลงระบบการปลูกจากน้ำขังเป็นไม่ขังน้ำอาจส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตทางด้านสรีรวิทยาพืชและการสร้างผลผลิต โดยพบว่า การปลูกข้าวนาสวนภายใต้การปลูกแบบเปียกสลับแห้งส่งผลให้ข้าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการหายใจ และอัตราการคายน้ำลดลง และส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดลดลง (Khairi *et al.*, 2015; Joshi *et al.*, 2018) เนื่องจากความชื้นในดินมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำภายในต้นพืช โดยพบว่า ปริมาณความชื้นในดินที่ลดลงทำให้ข้าวมีปริมาณน้ำในใบและการชักน้ำการเปิดปากใบลดลงเช่นเดียวกัน

(Zaman *et al.*, 2018) การทดลองนี้พบผลผลิตลดลงในข้าวเหนียวทุกพันธุ์ แต่ระดับการลดลงมีความแตกต่างกัน โดยพันธุ์ กข10 มีผลผลิตลดลง 20 % เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ ที่ลดลงมากถึง 33-44 % แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ดังกล่าวสามารถปรับตัวในการเจริญเติบโตได้ทั้งในน้ำขังและน้ำแห้งเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวอาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาทางสรีรวิทยาเชิงลึกต่อไป เช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้พบการตอบสนองของผลผลิตต่อสภาพน้ำมีความแตกต่างกันในข้าว 2 ชนิด พันธุ์ข้าวนาสวนเมื่อปลูกภายใต้สภาพไม่ขังน้ำมีผลผลิตลดลง 31 % เมื่อเทียบกับการปลูกแบบน้ำขัง แต่พันธุ์ข้าวไร่ พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเมื่อปลูกภายใต้สภาพน้ำที่แตกต่างกัน (Rinsinjoy *et al.*, 2019) แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้พันธุ์ที่มีศักยภาพให้ผลผลิตสูงถือเป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณาเป็นลำดับต้น ๆ เช่น ในกรณีพันธุ์ กข4 และ กข6 เมื่อนำมาปลูกภายใต้สภาพไม่ขังน้ำมีระดับการลดลงของผลผลิตที่ใกล้เคียงกัน แต่พบว่าพันธุ์ กข6 ที่ปลูกทั้งใน 2 สภาพการจัดการน้ำมีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ กข4 ดังนั้น การเลือกใช้พันธุ์ที่มีผลผลิตสูงและมีความเสถียรซึ่งอาจเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดความเสียหายได้หากต้องปลูกข้าวภายใต้สภาพน้ำน้อย นอกจากนี้การลดลงของเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สอดคล้องกับการลดลงของผลผลิตเมล็ด

แสดงให้เห็นว่า การลดลงของผลผลิตอาจต้องพิจารณาถึง การตอบสนองขององค์ประกอบผลผลิตในลักษณะอื่น ๆ ร่วมด้วย สอดคล้องกับการลดลงของน้ำหนักเมล็ดในข้าว ที่ปลูกภายใต้สภาพไม่ขังน้ำ (aerobic) และการให้น้ำแบบ ชั่วคราว (intermittent irrigation) ส่งผลให้ข้าวมีผลผลิต โดยรวมลดลง (Joshi *et al.*, 2018; Pascual and Wang, 2017) ในขณะที่งานวิจัยของ Khairi *et al.* (2015) ระบุว่า การควบคุมปริมาณน้ำในดินให้สูงกว่าจุดอิ่มตัวของน้ำ ในดิน (saturated soil) สามารถลดการสูญเสียจำนวน เมล็ดดีได้ในข้าวที่ปลูกแบบเปียกสลับแห้ง เนื่องจาก ความเครียดน้ำที่เกิดโดยเฉพาะในระยะที่ข้าวเริ่มแทงรวง เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ดอกเป็นหมันและส่งผลให้มี จำนวนเมล็ดดิบมากขึ้น (Kato *et al.*, 2009) นอกจากนี้ การขาดน้ำในระยะดังกล่าวอาจทำให้การเคลื่อนย้าย สารอาหารจากลำต้นไปยังเมล็ดลดลง เนื่องจากมีจำนวน เซลล์เอนโดสเปิร์มลดลง (endosperm cells) และส่งผลให้เมล็ดมีขนาดเล็กลง (Xue *et al.*, 2008) แสดงให้เห็น ว่าปริมาณน้ำในดินมีความสำคัญอย่างมากต่อการสร้าง ผลผลิตโดยเฉพาะในระยะออกดอก เนื่องจากปริมาณน้ำ ในดินที่ไม่เพียงพออาจส่งผลต่อความสมบูรณ์ของดอก และส่งผลต่อขนาดเมล็ดที่ลดลงในตอนสุดท้าย แต่ทั้งนี้ การปลูกข้าวภายใต้สภาพไม่ขังน้ำทำให้ข้าวมีจำนวนต้น ต่อกอและจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่การเพิ่มขึ้น ดังกล่าวไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต ดังนั้น การรักษาระดับปริมาณน้ำให้เหมาะสมหรือมีการขังน้ำในระยะ ที่ข้าวกำลังออกดอกอาจเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถ ควบคุมขนาดของ sink โดยเฉพาะจำนวนเมล็ดดีและ น้ำหนักเมล็ดได้ นอกจากนี้การพ่นสังกะสีทางใบทำให้ ข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากพืชมี ความต้องการสังกะสีในปริมาณที่สูงเพื่อใช้ในการสร้าง โปรตีนใน pollen tubes (Ender *et al.*, 1983) สอดคล้อง กับงานวิจัยของ Karim *et al.* (2012) และ Firdous *et al.* (2018) ที่รายงานว่า การพ่นสังกะสีทางใบช่วยเพิ่มความมี ชีวิตของละอองเกสรและส่งผลให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ ความเป็นหมันลดลง นอกจากนี้การพ่นสังกะสีทางใบ ยังทำให้ข้าวมีน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นในข้าวบางพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในข้าวสาลี (El-Dahshouri *et al.*, 2017) แสดงให้เห็นว่า การพ่นสังกะสี

อาจเป็นประโยชน์ต่อการปลูกข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภายใต้สภาพไม่ขังน้ำหรือน้ำแห้ง เนื่องจากสังกะสีช่วยให้ ข้าวมีจำนวนเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พันธุ์ข้าวส่วนใหญ่ไม่มีการตอบสนอง ต่อการพ่นสังกะสีในลักษณะของการเพิ่มน้ำหนักเมล็ด แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองในลักษณะดังกล่าวอาจ ถูกกำหนดด้วยการจัดการน้ำและปัจจัยอื่น ๆ เช่น พันธุกรรมข้าว และการจัดการธาตุอาหารอื่น ๆ ด้วย จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สภาพน้ำในดินและ การพ่นปุ๋ยสังกะสีมีผลต่อการเจริญเติบโตและการสร้าง ผลผลิตของข้าวเหนียวที่ปลูกในสภาพกระถางเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในสภาพ แปลงปลูก และจำนวนซ้ำที่เพิ่มขึ้นเพื่อความถูกต้องและ แม่นยำของข้อมูลในงานทดลองต่อไป

ธาตุสังกะสีในเมล็ดเป็นคุณค่าทางโภชนาการ อย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผู้บริโภคข้าว ดังนั้น งานวิจัย ปัจจุบันจึงมุ่งเน้นหาวิธีการเพิ่มธาตุสังกะสีมากขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยการปรับปรุงพันธุ์และการจัดการ สภาพแวดล้อมในแปลงปลูก การพ่นสังกะสีทางใบเป็น วิธีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว (Phuphong *et al.*, 2018) เนื่องจากสังกะสีเคลื่อนย้าย จากใบไปสะสมในเมล็ดได้โดยตรง เมื่อเทียบกับการใส่ทางดินที่สังกะสีมีความเป็นประโยชน์ต่ำและมีการเคลื่อนย้ายช้าภายในต้นพืช อีกทั้งอาจเกิดการสูญเสีย ธาตุอาหารจากการชะล้างของดิน (Broadley *et al.*, 2012; Kannan, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ ที่แสดงให้เห็นว่า การพ่นปุ๋ยสังกะสีทางใบสามารถเพิ่ม การสะสมสังกะสีในข้าวเหนียวได้สูงถึง 28 - 34 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในช่วงของระดับความเข้มข้นที่ตรง ตามวัตถุประสงค์ของการเพิ่มสังกะสีในเมล็ดข้าว (28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (IRRI, 2015) นอกจากนี้ งานทดลองยังพบอีกว่า ข้าวเหนียวในแต่ละพันธุ์มีระดับ การเพิ่มขึ้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวแตกต่างกัน ในพันธุ์ กข6 พบว่า มีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นเกือบหนึ่งเท่า ในขณะที่พันธุ์ กข14 มีสังกะสีเพิ่มขึ้นในเมล็ดเพียง ครึ่งหนึ่งของเมล็ดที่ไม่มีการพ่นสังกะสี เช่นเดียวกับ งานวิจัยในข้าวจำนวน 4 พันธุ์ ที่พบว่า การพ่นสังกะสี ทางใบช่วยเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีประมาณ 14 - 50 %

(Tuiwong *et al.*, 2015) อาจกล่าวได้ว่าพันธุกรรมข้าวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างของการสะสมสังกะสีในข้าวแต่ละพันธุ์ Impa *et al.* (2013a) รายงานว่าความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากส่วนใบไปยังเมล็ดมีความแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ โดยพันธุ์ที่มีศักยภาพในการดึงธาตุสังกะสีจากส่วนลำต้นเหนือดินมาใช้ในเมล็ดสูงจะมีการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดสูงตามไปด้วย นอกจากนี้พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สะสมในส่วนลำต้นเหนือดินในปริมาณที่เหมาะสมทั้งในระยะก่อนดอกบานและหลังดอกบานมีผลต่อการเคลื่อนย้ายสังกะสีไปยังส่วนเมล็ด โดยพบว่า การเคลื่อนย้ายสังกะสีจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากที่ข้าวเข้าสู่ระยะออกดอก (Stomph *et al.*, 2014) แม้ว่าการพ่นสังกะสีส่งผลให้ข้าวมีการสะสมสังกะสีเพิ่มขึ้นในบริเวณส่วนของใบ แต่เคลื่อนย้ายสังกะสีจากใบไปยังเมล็ดอาจถูกจำกัด Doolette *et al.* (2018) ระบุว่า การเคลื่อนย้ายสังกะสีจากส่วนใบไปยังเมล็ดอาจลดลงเนื่องจากสังกะสีบางส่วนจับกับสารประกอบอื่น ๆ เช่น phytate และ citrate จากงานวิจัยดังกล่าวอาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างทางพันธุกรรมข้าวที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายสังกะสีจากลำต้นเหนือดินในส่วนต่าง ๆ ไปยังส่วนของเมล็ดมีความแตกต่างกัน ซึ่งความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารอาจเป็นตัวกำหนดให้ข้าวแต่ละพันธุ์มีการสะสมสังกะสีในเมล็ดแตกต่างกัน การศึกษาการสะสมสังกะสีในส่วนของใบและเมล็ดควบคู่กันในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ อาจทำให้เกิดความเข้าใจกลไกการเคลื่อนย้ายสังกะสีมากขึ้น

สังกะสีเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของโปรตีนสังกะสีที่จับกับโปรตีนมีบทบาทสำคัญต่อความเสถียรของโครงสร้างทางเคมีของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ รวมทั้งรักษาสสมดุลของกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารทางพันธุกรรม (Broadley *et al.*, 2012) โดยพบว่า การใส่สังกะสีทางดินในอัตราที่เพิ่มขึ้นในข้าวสาลีส่งผลให้เมล็ดมีโปรตีนเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดเพิ่มขึ้นในส่วน of ใบง เช่น nitrate reductase และ glutamine synthetase โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงดอกบาน ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีบทบาทต่อการนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในการสร้างผลผลิตและคุณภาพ

เมล็ด (Liu *et al.*, 2015) จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การพ่นสังกะสีสามารถเพิ่มความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดข้าวกล้องได้เช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องเมื่อมีการพ่นสังกะสีทางใบ (Hussain *et al.*, 2018; Rana and Kashif, 2014) แสดงให้เห็นว่าสังกะสีอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในเมล็ด แต่อย่างไรก็ตาม ข้าวเหนียวที่บริโภคกันส่วนใหญ่จะเป็นในรูปของข้าวขาว ซึ่งธาตุอาหารของส่วนใหญ่วมถึงจุลธาตุอย่างเช่นสังกะสีจะถูกเก็บสะสมในบริเวณส่วนของเนื้อเยื่อรำชั้นนอก (outer aleurone layers) และมีการเคลื่อนย้ายจากส่วนเนื้อเยื่อรำชั้นนอกไปยังเอนโดสเปิร์มในปริมาณที่ต่ำ (Impa *et al.*, 2013b) โดยส่วนมากการเคลื่อนย้ายสังกะสีไปยังเมล็ดจะมีประสิทธิภาพและรวดเร็วในช่วงแรกของการเติมเต็มเมล็ด และจะมีการเคลื่อนย้ายลดลงเมื่อเมล็ดเข้าสู่ระยะการสะสมคาร์โบไฮเดรต (Wang *et al.*, 2011) ดังนั้น การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสะสมธาตุสังกะสีในส่วน of เมล็ดข้าวขาวด้วยวิธีการพ่นธาตุสังกะสีทางใบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น ระยะเวลาพ่นและอัตราที่เหมาะสมที่เฉพาะเจาะจงในข้าวแต่ละพันธุ์ หรือการพ่นสังกะสีร่วมกับธาตุอาหารอื่น ๆ อาจเป็นแนวทางในการเพิ่มธาตุอาหารในข้าวขาวและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคมากขึ้น

สรุป

การจัดการน้ำมีความสำคัญต่อการสร้างผลผลิตของข้าว จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการปลูกข้าวเหนียวภายใต้สภาพไม่ขังน้ำส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดลดลงอย่างมาก เนื่องจากข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดลดลง แต่ไม่พบการลดลงของจำนวนหน่อตอกและจำนวนรวงต่อต้น แสดงให้เห็นว่าจำนวนเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดอาจเป็นองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญที่จะใช้ประเมินการตอบสนองต่อระบบการเพาะปลูกข้าวแบบใช้น้ำน้อยต่อไป การจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การปลูกแบบเปียกสลับแห้งหรือมีการขังน้ำในช่วงที่ข้าวออกดอกอาจเป็นแนวทางในการลดความเสียหายอันเนื่องมาจากความไม่เสถียรของจำนวน

เมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดได้ ในขณะที่เกี่ยวกับการพ่นสังกะสีเป็นวิธีที่สามารถช่วยปรับปรุงผลผลิตของข้าวได้เนื่องจากสังกะสีทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การพ่นสังกะสีทางใบเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มธาตุสังกะสีและไนโตรเจนในเมล็ดข้าวกล้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระดับการเพิ่มขึ้นนั้นมีความแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ ซึ่งการตอบสนองต่อสภาพน้ำและการพ่นสังกะสีที่แตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์สามารถใช้เป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการศึกษากลไกการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาต่อไป ข้าวที่มีศักยภาพในการเจริญเติบโตได้ดีในสภาพไม่ขังน้ำโดยมีการสูญเสียผลผลิตน้อยที่สุดและเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการสะสมธาตุสังกะสีและไนโตรเจนในเมล็ดสูง อาจเป็นลักษณะที่ดีในการคัดเลือกพันธุ์ให้สามารถปลูกได้ดีในสภาพน้ำแห้ง โดยมีปริมาณผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการสูง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนทุนวิจัยส่วนหนึ่งจากโครงการวิจัยปุ๋ยสังกะสีในข้าว (www.havestzinc.org) คณะเกษตรศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

Allan, J.E. 1961. The determination of zinc in agricultural materials by atomic-absorption spectrophotometry. *Analyst* 86(1025): 530-534.

Anning, D., J. Ofori, I. Addai and Y. Abdulai. 2018. Effect of water management and nitrogen fertilizer sources on yield and water use efficiency of lowland rice. *Journal of Ghana Science Association* 18(1): 32-40.

BOF. 2019. Report of price in importance crop in Thailand for the 4th phase of 2019 (rice). Bank of Thailand, Bangkok. 17 p. (in Thai)

Black, R.E., L.H. Allen, Z.A. Bhutta, L.E. Caulfield, M. de Onis, M. Ezzati, C. Mathers and J. Rivera. 2008. Maternal and child under nutrition: global and regional exposures and health consequences. *The Lancet*. 371(9608): 243-260.

Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science* 55(1): 11-33.

Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, Z. Rengel and F. Zhao. 2012. Function of Nutrients: Micronutrients. pp. 191-248. *In*: P. Marschner (ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. Academic Press, San Diego.

Brown, K.H., J.A. Rivera, Z. Bhutta, R.S. Gibson, J.C. King, B. Lonnerdal, M.T. Ruel, B. Sandtröm, E. Wasantwisut and C. Hotz. 2004. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) technical document #1. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin* 25(1 Suppl. 2): S99-203.

Cakmak, I and U.B. Kutman. 2018. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science* 69(1): 172-180.

Carrijo, D.R., M.E. Lundy and B.A. Linquist. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. *Field Crops Research* 203: 173-180.

Coleman, J.E. 1998. Zinc enzymes. *Current Opinion in Chemical Biology* 2(2): 222-234.

Doolette, C.L., T.L. Read, C. Li, K.G. Scheckel, E. Donner, P.M. Kopittke, J.K. Schjoerring and E. Lombi. 2018. Foliar application of zinc sulphate and zinc EDTA to wheat leaves: differences in mobility, distribution, and speciation. *Journal of Experimental Botany* 69(18): 4469-4481.

- El-Dahshouri, M.F., M.M. El-Fouly, R.K.M. Khalifa and H.M.A. El-Ghany. 2017. Effect of zinc foliar application at different physiological growth stages on yield and quality of wheat under sandy soil conditions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal (Special Issue)*: 193-200.
- Ender, C., M.Q. Li, B. Martin, B. Povh, R. Nobiling, H.D. Reiss and K. Traxel. 1983. Demonstration of polar zinc distribution in pollen tubes of *Lilium longiflorum* with the Heidelberg proton microprobe. *Protoplasma* 116: 201-203.
- Firdous, S., B.K. Agarwal, D.K. Shahi and S. Bhushan. 2018. The effect of zinc fertilization on rice productivity and economics in acid alfisol of Jharkhand, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences (Special Issue 7)*: 2676-2682.
- Gibson, R.S., M.S. Manger, W. Krittaphol, T. Pongcharoen, S. Gowachirapant, K.B. Bailey and P. Winichagoon. 2007. Does zinc deficiency play a role in stunting among primary school children in NE Thailand? *British Journal of Nutrition* 97(1): 167-175.
- Hussain, S., K. Sahar, A. Naeem, M. Zafar-ul-Hye and M. Aon. 2018. Combined zinc and nitrogen applications at panicle initiation for zinc biofortification in rice. *Periodicum Biologorum* 120(2-3): 105-110.
- Impa, S.M., A. Gramlich, S. Tandy, R. Schulin, E. Frossard and S.E. Johnson-Beebout. 2013a. Internal Zn allocation influences Zn deficiency tolerance and grain Zn loading in rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in Plant Science* 4: 534, doi: 10.3389/fpls.2013.00534.
- Impa, S.M., M.J. Morete, A.M. Ismail, R. Schulin and S.E. Johnson-Beebout. 2013b. Zn uptake, translocation and grain Zn loading in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes selected for Zn deficiency tolerance and high grain Zn. *Journal of Experimental Botany* 64(10): 2739-2751.
- Institute of Medicine Panel on Micronutrients. 2001. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. National Academy Press, Washington. 773 p.
- IRRI. 2015. Biofortification. (Online). Available: <https://www.iri.org/biofortification> (21 October, 2020).
- Joshi, R., B. Singh and A. Shukla. 2018. Evaluation of elite rice genotypes for physiological and yield attributes under aerobic and irrigated conditions in Tarai areas of Western Himalayan region. *Current Plant Biology* 13: 45-52.
- Kannan, S. 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production. pp. 371-402. *In*: E. Lichtfouse (ed.). Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming. Sustainable Agriculture Reviews, volume 4. Springer, Dordrecht.
- Karim, M.R., Y.Q. Zhang, R.R. Zhao, X.P. Chen, F.S. Zhang and C.Q. Zou. 2012. Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175(1): 142-151.
- Kato, Y., M. Okami and K. Katsura. 2009. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Research* 113(3): 328-334.

- Khairi, M., M. Nozulaidi, A. Afifah and M.S. Jahan. 2015. Effect of various water regimes on rice production in lowland irrigation. *Australian Journal of Crop Science* 9(2): 153-159.
- Laenoi, S., B. Dell, C. Prom-u-thai and B. Rerkasem. 2015. Iron and zinc variation along the grain length of different Thai rice varieties. *ScienceAsia* 41(6): 386-391.
- Liu, H.E., Q.Y. Wang, Z. Rengel and P. Zhao. 2015. Zinc fertilization alters flour protein composition of winter wheat genotypes varying in gluten content. *Plant, Soil and Environment* 61: 195-200.
- OAE. 2019. Agricultural production. (Online). Available: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/type%20rice%2061.pdf> (March, 10 2020). (in Thai)
- Pascual, V.J. and Y.M. Wang. 2017. Impact of water management on rice varieties, yield, and water productivity under the system of rice intensification in Southern Taiwan. *Water* 9(1): 3, doi: 10.3390/w9010003.
- Phuphong, P., I. Cakmak, B. Dell and C. Prom-u-thai. 2018. Effects of foliar application of zinc on grain yield and zinc concentration of rice in farmers' fields. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences* 17(3): 181-190.
- Rana, W.K. and S.R. Kashif. 2014. Effect of different zinc sources and methods of application on rice yield and nutrients concentration in rice grain and straw. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences* 1: 9.
- Rinsinjoy, R., S. Lordkaew and C.T. Prom-u-thai. 2019. Zinc accumulation in upland and wetland rice grown under non-flooded and flooded conditions. *Journal of Agriculture* 35(3): 425-434. (in Thai)
- Stomph, T.J., W. Jiang, P.E.L. Van Der Putten and P.C. Struik. 2014. Zinc allocation and re-allocation in rice. *Frontiers in Plant Science* 5: 8, doi: 10.3389/fpls.2014.00008.
- TREA. 2019. Rice exports statistics. (Online). Available: http://www.thairiceexporters.or.th/List_%20of_statistic.htm (10 March, 2020). (in Thai)
- Tuiwong, P., P. Jaksomsak, B. Rerkasem and C.T. Prom-u-thai. 2015. Effect of foliar zinc application on grain yield and zinc accumulation in brown rice of local and improved varieties. *Khon Kaen Agriculture Journal* 43(4): 605-612. (in Thai)
- Wang, Y.X., A. Specht and W.J. Horst. 2011. Stable isotope labelling and zinc distribution in grains studied by laser ablation ICP-MS in an ear culture system reveals zinc transport barriers during grain filling in wheat. *New Phytologist* 189(2): 428-437.
- Xue, C., X. Yang, B. Bouman, W. Deng, Q. Zhang, W. Yan, T. Zhang, A. Rouzi and H. Wang. 2008. Optimizing yield, water requirements, and water productivity of aerobic rice for the North China Plain. *Irrigation Science* 26(6): 459-474.
- Zaman, N.K., M.Y. Abdullah, S. Othman and N.K. Zaman. 2018. Growth and physiological performance of aerobic and lowland rice as affected by water stress at selected growth stages. *Rice Science* 25(2): 82-93.

