



วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj>



ผลของการจัดการปุ๋ยโบรอนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันต่อการดูดใช้และการสร้างผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกแบบไม่ขังน้ำและขังน้ำ

Effects of boron fertilizer application at different growth stages on boron uptake and productivity in KDML105 rice variety grown under non-flooded and flooded conditions

สิทธิกร บดีรัฐ¹ และ ชนกานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย^{1,2*}

Sitthikorn Bodeerath¹ and Chanakan Thebault Prom-u-thai^{1,2*}

¹ สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Division of Agronomy, Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

² ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² Lanna Rice Center, Chiang Mai University

บทคัดย่อ: โบรอนเป็นจุลธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตในพืช การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของการดูดใช้โบรอนที่ใส่ทางดินในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ในการสร้างผลผลิตเปรียบเทียบการปลูกในสภาพไม่ขังน้ำและขังน้ำในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยจัดชุดการทดลองแบบ 2x4 factorial ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ในสภาพกระถาง ประกอบด้วยกรรมวิธีการจัดการน้ำ 2 แบบ คือ การปลูกข้าวแบบไม่น้ำขังและขังน้ำ ร่วมกับกรรมวิธีการจัดการปุ๋ยโบรอนทางดิน (อัตรา 0.48 กก. โบรอน/ไร่) 4 รูปแบบ คือ 1) ไม่ใส่โบรอน (กรรมวิธีควบคุม) 2) ใส่ในระยะแตกกอ 3) ใส่ในระยะออกดอก และ 4) ใส่ 2 ครั้งในระยะแตกกอและออกดอก ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อผลผลิต แต่พบว่าการปลูกแบบขังน้ำทำให้ผลผลิตมากกว่าการปลูกในสภาพไม่ขังน้ำ 15% ในขณะที่การใส่ปุ๋ยโบรอนในระยะออกดอกและ 2 ครั้งในระยะแตกกอและระยะออกดอกภายใต้การปลูกแบบไม่ขังน้ำ และการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอกในการปลูกแบบขังน้ำ ทำให้จำนวนดอกย่อยต่อรวงและโดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวนเมล็ดลีบที่ได้รับการผสมเพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน แม้ว่าการเพิ่มขึ้นดังกล่าวไม่มีผลต่อผลผลิต การเพิ่มขึ้นของจำนวนดอกย่อยต่อรวงและจำนวนเมล็ดลีบที่ได้รับการผสมแล้วเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นโบรอนในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวและการดูดใช้โบรอนทั้งหมดจากการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอกและ 2 ครั้งในระยะแตกกอและออกดอก ภายใต้การปลูกทั้งสองแบบ บ่งชี้ได้จากความสัมพันธ์เชิงบวกของความเข้มข้นโบรอนในส่วนต่าง ๆ ต่อจำนวนดอกย่อยและจำนวนเมล็ดลีบที่มีการผสม ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในการจัดการสภาพการปลูกที่เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวด้วยการจัดการปุ๋ยโบรอนร่วมกับธาตุอาหารอื่น ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตข้าวให้สูงขึ้นและเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรต่อไป

คำสำคัญ: โบรอน; ข้าว; ผลผลิต; การจัดการน้ำ; การใส่ปุ๋ยโบรอนทางดิน

ABSTRACT: Boron (B) is an essential micronutrient for plant growth and development. This study evaluated the responses of boron uptake and productivity of KDML105 rice variety to soil boron fertilizer applications in Khao Dawk Mali 105 (KDML105) rice variety grown under non-flooded and flooded conditions. The pot experiment was arranged in 2x4 factorial in a completely randomized design (CRD) with four replications. Rice plants were cultivated under two different water managements, 1) non-flooded and 2) flooded conditions, with four soil boron fertilizer applications, 1) the control with no boron, 2) boron application at tillering stage, 3) boron application at flowering

* Corresponding author: chanakan.p@cmu.ac.th

Received: date; February 27, 2024 Revised: date; April 30, 2024

Accepted: date; May 13, 2024 Published: date; July 12, 2024

stage, and 4) boron application two times at tillering and flowering stages. Results showed that grain yield had no clear response to boron application in all treatments, but plants grown under flooded condition had 15% grain yield higher than that under non-flooded condition. The number of spikelets per panicle and the percentage of unfilled fertilized grains were increased compared to the control, even though it did not affect on grain yield but the number of spikelets per panicle and the percentage of unfilled fertilized grains increased with increasing of boron concentration in different plant parts and total boron uptake in boron fertilizer application at flowering, and two times at tillering and flowering stages under non-flooded and flooded conditions. These were indicated by the positive correlation between boron concentration in different plant parts and the percentage of unfilled fertilized grain. However, this study has a positive trend to further investigate the appropriate management for rice variety by boron fertilizer with other elements to improve yield components and productivity which would benefit to farmers.

Keywords: boron; rice; yield; water management; soil boron application

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่อประชากรมากกว่าร้อยละ 50 ของประชากรโลกทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศแถบเอเชีย (Roy and Shil, 2020) ประเทศไทยมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและส่งออกเป็นสินค้าเศรษฐกิจหลักของประเทศ โดยมีการส่งออกข้าวประมาณ 8.76 ล้านตันและมีมูลค่าถึง 178 พันล้านบาทต่อปี (Office of the Permanent Secretary of the Ministry of Commerce, 2024) ดังนั้น การรักษาเสถียรภาพทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพผลผลิตของข้าวที่ผลิตในประเทศไทยจึงเป็นเรื่องสำคัญ โดยนอกจากศักยภาพของพันธุ์ข้าวแล้วพบว่าสภาพแวดล้อมในการปลูกและการจัดการยังมีบทบาทและความสำคัญมากที่ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าว เช่น การจัดการธาตุอาหารให้มีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของข้าว ซึ่งนอกจากธาตุอาหารหลักที่สามารถส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตข้าวแล้ว ยังพบว่าจุลธาตุอาหารบางชนิดยังมีความจำเป็นในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของข้าวเช่นกัน เช่น โบรอน ที่พบว่าการขาดโบรอนในข้าวมีผลต่อการพัฒนาของดอกซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตโดยรวมทั้งข้าว

โบรอนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช โดยมีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ทั้งในระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เช่น กระบวนการสังเคราะห์และสร้างผนังเซลล์ (Ullisik et al., 2018) และมีความสำคัญต่อระยะการเจริญของดอกและผล เช่น การออกดอก การผสมเกสร และการเกิดเมล็ด (Singh and Singh, 2023) ซึ่งดินที่ใช้ในการปลูกข้าวมีความเข้มข้นวิกฤติของโบรอนอยู่ที่ 0.35 มก./กก. และความเข้มข้นวิกฤติในเนื้อเยื่อของข้าวอยู่ที่ 12.5 มก./กก. (Debnath and Gosh, 2011) การขาดโบรอนเป็นปัญหาหลักต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตในข้าว เนื่องจากการขาดโบรอนส่งผลกระทบต่อความมีชีวิตของละอองเรณู จากการลดลงของกระบวนการไมโครสปอโรเจเนซิส กระบวนการงอก และการยึดของท่อเรณู (Brdar-Jokanović, 2020) นอกจากนี้ การขาดโบรอนยังมีผลต่อกระบวนการเอมบริโอเจเนซิสภายหลังจากการปฏิสนธิซึ่งนำไปสู่ผลกระทบทางลบ เช่น การเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ การเกิดเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ หรือทำให้คัพพะเสียหาย (Rerkasem et al., 2019) ทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตและคุณภาพของเมล็ด (Liak et al., 2021) งานวิจัยจำนวนมากพบว่าโบรอนช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของข้าว (Patel et al., 2020; Khan et al., 2023) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของปุ๋ยโบรอนยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของปุ๋ย อัตรา และระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยด้วย (Shahid et al., 2018; Songsriin et al., 2023; Patel et al., 2019) นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำยังเป็นอีกปัจจัยหลักในการเพาะปลูกพืชเกือบทุกชนิด (Songsriin et al., 2020) โดยเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีในดินที่ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนได้ เช่น การลดความเป็นประโยชน์ของโบรอน (Soheili-Movahhed et al., 2019) และการเคลื่อนย้ายของโบรอนในดิน (Moitazedi et al., 2023) อย่างไรก็ตาม การศึกษาถึงการจัดการปุ๋ยโบรอนต่อการดูแลและการสร้างผลผลิตในข้าวพันธุ์ไทยภายใต้การจัดการน้ำที่แตกต่างกันยังมีจำนวนจำกัด ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการปุ๋ยโบรอนต่อการดูแลและการสร้างผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวหอมคุณภาพที่มีการเพาะปลูกทั่วประเทศไทยร่วมกับการปลูกแบบไม่ขังน้ำและขังน้ำ โดยมีสมมติฐานของการทดลองครั้งนี้คือหากการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันร่วมกับการปลูกข้าวแบบขังน้ำและไม่ขังน้ำมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินมีความแตกต่างกันแล้วการใส่ปุ๋ยโบรอนร่วมกับการปลูกในสภาพน้ำในดินที่เหมาะสมน่าจะส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินและพืชในการดูแล

โบรอนไปสร้างผลผลิตได้มากที่สุด ซึ่งผลจากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดการปุ๋ยโบรอนร่วมกับการจัดการน้ำให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าว เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตข้าวให้สูงขึ้นและเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลองและการปลูกดูแลรักษา

งานวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลจากโรงเรือนทดลองสาขาวิชาพืชไร่ ศูนย์วิจัย สาธิต และฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วางแผนการทดลอง 2×4 Factorial แบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) มี 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 การจัดการน้ำ คือ ไม่ขังน้ำและขังน้ำ ปัจจัยที่ 2 การจัดการปุ๋ยโบรอนทางดิน แบ่งเป็น 4 กรรมวิธี คือ ไม่ใส่โบรอนทางดิน (กรรมวิธีควบคุม) ใส่โบรอนในระยะแตกกอ ใส่โบรอนในระยะออกดอก และใส่โบรอน 2 ครั้งในระยะแตกกอและระยะออกดอก ทดลองซ้ำกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบ คือ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) ปลูกข้าวในฤดูนาปี ช่วงเดือนสิงหาคม – พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 โดยเพาะกล้าข้าวในถาดเพาะเมล็ด จนกล้ามีอายุประมาณ 2 สัปดาห์ เตรียมดินใส่ในกระถางทดลองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.0 ซม. สูง 23.5 ซม. บรรจุดินแห้งกระถางละ 10 กก. โดยดินที่ใช้ปลูกเป็นชุดดินสนทราย ซึ่งเป็นชุดในบริเวณพื้นที่ทดลอง มีลักษณะเป็นดินร่วน (Sieve/hydrometer) มีร้อยละของดินทราย ดินร่วน และดินเหนียว 46.60 34.60 และ 18.80 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter ดิน:น้ำ; 1:2 w/v) ที่ 6.84 อินทรีย์วัตถุ 3.10% (Walkley and Black) มีปริมาณความเข้มข้นฟอสฟอรัส 679.95 มก./กก. (Bray II Extraction) โพแทสเซียม 455.04 มก./กก. (NH_4OAc , pH7/AES) และโบรอน 0.46 มก./กก. (CaCl_2 -manitol) ตามลำดับ ปลูกแบบต้นเดียวกระถางละ 5 ต้น ใส่ปุ๋ยโบรอนกรรมวิธีที่ 2 ถึง 4 โดยใช้ปุ๋ยโบรอนรูปแบบเดียวกัน คือ Borax Pentahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) แต่ละครั้งในอัตรา 3.18 กก./ไร่ (อัตรา 0.48 กก. โบรอน/ไร่) (Saleem et al., 2010; Songsriin et al., 2023) โดยใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และใส่ 2 ครั้งในระยะแตกกอและระยะออกดอก และใส่ปุ๋ย N-P-K อัตรา 14.4 9.6 และ 9.6 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) กก./ไร่ แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งแรกใส่วันก่อนย้ายปลูก 1 วัน ครั้งที่สองใส่ที่ระยะแตกกอ และครั้งที่สามใส่ที่ระยะออกดอก งานทดลองมีการจัดการน้ำ 2 แบบ คือ ไม่ขังน้ำและขังน้ำ โดยขังน้ำในกระถางตั้งแต่ระยะกล้า จนถึงระยะสุกแก่ และรักษาระดับน้ำสูงเหนือผิวดินประมาณ 10 ซม. ในการปลูกแบบขังน้ำ และสำหรับการปลูกแบบไม่ขังน้ำ รดน้ำวันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 2 ลิตร รักษาระดับน้ำในดินให้อยู่ในระดับความจุความชื้นสนาม (field capacity) โดยวัดปริมาณน้ำในดินจากการชั่งน้ำหนักกระถาง และหยดให้น้ำทั้งสองรูปแบบก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 1 สัปดาห์ เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในกระถาง เพื่อวิเคราะห์หาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ระยะสุกแก่ บันทึกน้ำหนักผลผลิตที่ความชื้น 14% ในส่วนผลผลิตฟาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกน้ำหนักแห้ง วัดองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนหน่อ/รวงต่อต้น จำนวนดอกย่อยต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และดัชนีเก็บเกี่ยว เมล็ดลิบที่ไม่มีการเติมเต็มเมล็ดทั้งหมดได้นำมาแยกและนับจำนวนเป็นเมล็ดลิบที่มีการผสม (unfilled fertilized) และเมล็ดลิบที่ไม่มีการผสม (unfilled unfertilized) และแสดงผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณเมล็ดลิบทั้งหมด

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโบรอนในเมล็ด ลำต้น ใบ และใบธง

สุ่มตัวอย่างเมล็ด ลำต้น ใบ ใบธง และเมล็ด นำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง และเผาตัวอย่างด้วยวิธี Dry-ashing ที่อุณหภูมิ 535 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโบรอนด้วยวิธี Azomethine-H (Lohse, 1982) แล้วนำสารละลายตัวอย่างมาอ่านค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer เปรียบเทียบความเข้มข้นจากสารละลายมาตรฐานโบรอน จากนั้นคำนวณปริมาณโบรอนในแต่ละส่วนด้วยผลคูณระหว่างน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วนและความเข้มข้นโบรอน และคำนวณปริมาณการดูดใช้โบรอนทั้งหมดจากผลรวมของปริมาณโบรอนในแต่ละส่วน (Songsriin et al., 2023)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธี โดยใช้ค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix for window เวอร์ชัน 10 และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละคู่โดยวิธีหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์

ผลการศึกษา

ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำต่อผลผลิตเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) แต่พบความแตกต่างของการจัดการน้ำ ($P < 0.05$) โดยการปลูกแบบขังน้ำมีผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 29.1 กรัมต่อกระถาง ซึ่งมากกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำที่มีผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 25.3 กรัมต่อกระถาง และไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำต่อน้ำหนักแห้งฟางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) แต่พบความแตกต่างของการจัดการน้ำ ($P < 0.05$) และการจัดการปุ๋ยโบรอน ($P < 0.05$) โดยการปลูกแบบขังน้ำมีน้ำหนักแห้งฟางเฉลี่ย 24.8 กรัมต่อกระถาง ซึ่งมากกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำที่มีน้ำหนักแห้งฟางเฉลี่ย 21.5 กรัมต่อกระถาง ในส่วนของการจัดการปุ๋ยโบรอน พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก มีน้ำหนักแห้งฟางที่สูงขึ้น 15.3% เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอนและกรรมวิธีอื่น ๆ และพบว่ามีผลแตกต่างของการจัดการน้ำและการใส่ปุ๋ยโบรอนต่อดัชนีการเก็บเกี่ยว (Table 1) โดยการปลูกแบบไม่ขังน้ำมีดัชนีเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 0.56 ซึ่งมากกว่าการปลูกแบบขังน้ำที่มีดัชนีเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 0.54 และพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกมีดัชนีเก็บเกี่ยวสูงขึ้น 6.3% 2.9% และ 5.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน

องค์ประกอบผลผลิต พบว่า การจัดการน้ำและการใส่ปุ๋ยโบรอนมีผลต่อจำนวนดอกย่อยต่อรวงของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2) โดยการปลูกแบบไม่ขังน้ำ พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก ส่งผลให้จำนวนดอกย่อยต่อรวงเพิ่มขึ้นคิดเป็น 19.8% และ 10.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน ในขณะที่การปลูกแบบขังน้ำ พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก ส่งผลให้จำนวนดอกย่อยต่อรวงเพิ่มขึ้นคิดเป็น 7.0% เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน ในขณะเดียวกัน พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำต่อความสูงของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2) โดยการปลูกแบบไม่ขังน้ำ พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนในระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก ส่งผลให้ความสูงลดลงคิดเป็น 5.5% 3.2% และ 4.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน ในขณะที่การปลูกแบบขังน้ำ พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก ส่งผลให้ความสูงลดลง 2.7% เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน นอกจากนี้ ไม่พบความแตกต่างของการจัดการน้ำและการใส่ปุ๋ยโบรอนต่อจำนวนหน่อ/รวงต่อต้น เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (Table 2)

Table 1 Grain yield, straw dry weight, and harvest index of KDML105 grown under different boron fertilizer applications and water managements

Water management (W)	Boron fertilizer application (B)	Grain yield (g/pot)	Straw dry weight (g/pot)	Harvest index
Non-flooded	Control	22.7	22.1	0.54
	Tillering	25.9	19.0	0.58
	Flowering	27.0	25.5	0.56
	Tillering + Flowering	25.8	19.3	0.56
Flooded	Control	28.8	26.5	0.52
	Tillering	28.0	24.1	0.55
	Flowering	29.6	26.3	0.53
	Tillering + Flowering	29.9	22.3	0.56
Mean	Non-flooded	25.3 B	21.5 B	0.56 A
	Flooded	29.1 A	24.8 A	0.54 B
	Control	25.8	24.3 <i>a</i>	0.53 <i>c</i>
	Tillering	26.9	21.6 <i>b</i>	0.56 <i>a</i>
	Flowering	28.3	25.9 <i>a</i>	0.54 <i>b</i>
	Tillering + Flowering	27.8	20.8 <i>b</i>	0.56 <i>a</i>
F-test	Water management (W)	**	**	**
	Boron fertilizer application (B)	ns	**	**
	W×B	ns	ns	ns
	LSD _{0.05} (W)	1.48	1.19	0.01
	LSD _{0.05} (B)	-	1.68	0.01
	LSD _{0.05} (W×B)	-	-	-

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$, *)

ns = not significantly different ($P < 0.05$), * and ** = significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

Table 2 Yield components of KDML105 grown under boron fertilizer applications and water managements

Water management (W)	Boron fertilizer application (B)	Height (cm)	Tillers/plant	Panicles/plant	Spikelets/panicle	Filled grain (%)	1000 grain weight (g)
Non-flooded	Control	79.4 bc	3.8	3.1	89.0 d	87.6	21.0
	Tillering	75.0 d	3.5	3.2	90.7 d	87.4	21.8
	Flowering	76.8 d	3.7	3.6	106.6 a	82.5	21.8
	Tillering + Flowering	75.8 d	3.3	3.1	98.4 bc	85.2	22.3
Flooded	Control	81.4 a	4.7	4.6	93.0 cd	88.0	22.8
	Tillering	81.1 ab	4.6	4.1	87.9 d	91.6	22.5
	Flowering	81.5 a	4.6	4.4	99.4 b	86.4	22.8
	Tillering + Flowering	79.2 c	4.4	3.8	90.9 d	90.6	23.4
Mean	Non-flooded	76.7 B	3.6 B	3.2 B	96.2 A	85.7 B	21.7 B
	Flooded	80.8 A	4.5 A	4.2 A	92.8 B	89.1 A	22.8 A
	Control	80.4 a	4.3	3.8	91.0 bc	87.8 a	21.9
	Tillering	78.1 bc	4.0	3.6	89.3 c	89.5 a	22.1
	Flowering	79.1 ab	4.1	4.0	103.0 a	84.5 b	22.3
	Tillering + Flowering	77.5 c	3.8	3.5	94.6 b	87.9 a	22.8
F-test	Water management (W)	**	**	**	*	**	**
	Boron fertilizer application (B)	**	ns	ns	**	*	ns
	W×B	*	ns	ns	*	ns	ns
	LSD _{0.05} (W)	0.96	0.38	0.37	3.14	2.21	0.50
	LSD _{0.05} (B)	1.36	-	-	4.45	3.13	-
	LSD _{0.05} (W×B)	1.92	-	-	6.29	-	-

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$, *)

ns = not significantly different ($P < 0.05$), * and ** = significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มีการผสมและไม่มีการผสม

พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มีการผสม และเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 1) และพบว่า ในสภาพขังน้ำทำให้ร้อยละของการลดลงของเมล็ดลีบสูงกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำทุกกรรมวิธี ในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและที่ระยะออกดอก ส่งผลให้ร้อยละของเมล็ดลีบที่มีการผสมเพิ่มขึ้น 26.3% 61.9% และ 67.0% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน และพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและที่ระยะออกดอก ส่งผลให้ร้อยละของเมล็ดลีบที่มีการผสมเพิ่มขึ้น 14.8% และ 26.6% ตามลำดับ และยังพบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอไม่มีผลทำให้ร้อยละของการเมล็ดลีบที่มีการผสมในการปลูกขังน้ำเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันพบว่า การจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำส่งผลต่อการลดลงของเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 1B) ในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก ส่งผลให้ร้อยละของเมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมลดลง 11.5% 17.6% และ 19.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน และการใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและที่ระยะออกดอก ส่งผลให้ร้อยละของเมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมลดลง 8.0% อีกทั้งยังพบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ และที่ระยะออกดอก ไม่มีผลทำให้ร้อยละของเมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมในการปลูกแบบขังน้ำเพิ่มขึ้น

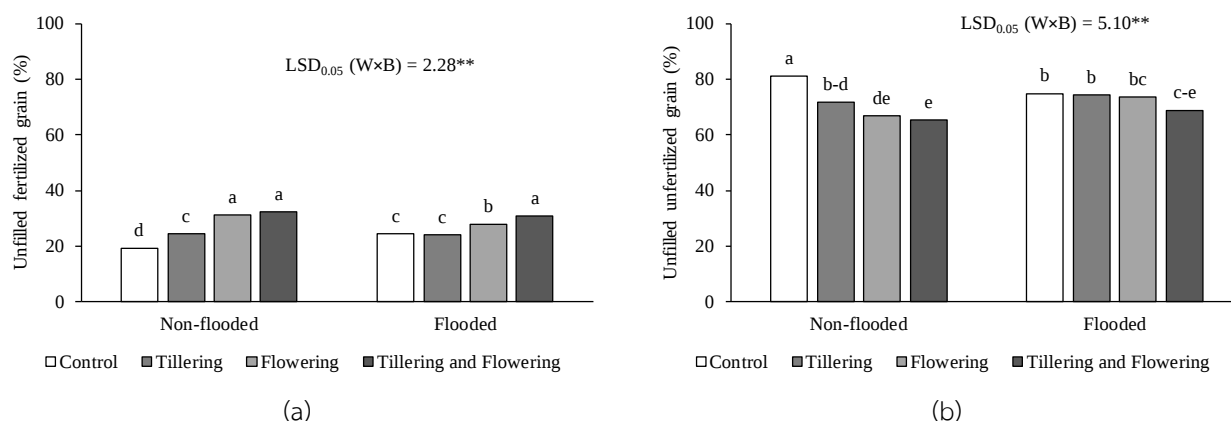


Figure 1 The percentage of (a) unfilled fertilized and (b) unfilled unfertilized grain of KDML105 grown under boron fertilizer applications and water managements. The different letters above the bars indicate difference by LSD at P<0.05. ** = significantly different at P<0.01.

ความเข้มข้นโบรอน ปริมาณโบรอน และปริมาณการดูดใช้โบรอนทั้งหมด

พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นโบรอนในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ต่อการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำ (P<0.05) (Figure 2) โดยในแต่ละกรรมวิธีมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นเหมือนกัน แต่มีความเข้มข้นในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ภายใต้การปลูกแบบขังน้ำมีความเข้มข้นโบรอนในลำต้นสูงกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำ โดยในการปลูกแบบไม่ขังน้ำมีความเข้มข้นโบรอนในลำต้นตั้งแต่ 2.5 ถึง 8.2 มก./กก. และจาก 5.6 ถึง 13.9 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ โดยความเข้มข้นโบรอนในลำต้นสูงสุดในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ เท่ากับ 8.2 มก./กก. เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก และ 13.9 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก (Figure 2A) และพบว่า ในการปลูกแบบไม่ขังน้ำมีความเข้มข้นโบรอนในใบตั้งแต่ 10.4 ถึง 29.2 มก./กก. และจาก 9.3 ถึง 52.3 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ โดยความเข้มข้นโบรอนในใบสูงสุดในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ เท่ากับ 29.2 มก./กก. และ 52.3 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกในการจัดการทั้งสองแบบ (Figure 2B) เช่นเดียวกัน พบว่า ในการปลูกแบบไม่ขังน้ำมีความเข้มข้นโบรอนในใบธงตั้งแต่ 5.9 ถึง 21.9 มก./กก. และจาก 10.3 ถึง 43.7 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ โดยความเข้มข้นโบรอนในใบธงสูงสุดในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ เท่ากับ 21.9 มก./กก. และ 43.7 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกในการจัดการทั้งสองแบบ (Figure 2C) ในขณะที่ ในการปลูกแบบไม่ขังน้ำมีความเข้มข้นโบรอนในเมล็ดตั้งแต่ 4.0 ถึง 6.9 มก./กก. และจาก 4.6 ถึง 8.7 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ โดยความเข้มข้นโบรอนในเมล็ดสูงสุดในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ เท่ากับ 6.9 มก./กก. เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก และ 8.7 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก (Figure 2D)

จากการศึกษาผลของการจัดการปุ๋ยโบรอนต่อปริมาณโบรอนในส่วนต่าง ๆ ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในการปลูกแบบไม่ขังน้ำและขังน้ำ พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำต่อปริมาณโบรอนในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ลำต้น ใบ และใบธงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (Table 3) โดยพบว่าการปลูกแบบขังน้ำมีการตอบสนองต่อการจัดการปุ๋ยโบรอนสูงกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำต่อปริมาณโบรอนในส่วนต่าง ๆ ยกเว้นปริมาณโบรอนในเมล็ด พบว่า ปริมาณโบรอนในลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกในการปลูกแบบไม่ขังน้ำคิดเป็น 2.3 3.3 และ 2.8 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน แต่พบว่า ในการปลูกแบบขังน้ำมีปริมาณโบรอนในลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกคิดเป็น 1.2 2.5 และ 2.0 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน และพบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกในการปลูกแบบไม่ขังน้ำสามารถ

เพิ่มปริมาณโบรอนในใบ 2.6 เท่าทั้งสองกรรมวิธี และพบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโบรอนในใบ ในขณะที่การปลูกแบบขังน้ำมีปริมาณโบรอนในใบเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกคิดเป็น 1.8 4.0 และ 4.0 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน เช่นเดียวกับปริมาณโบรอนในใบธง พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ สามารถเพิ่มปริมาณโบรอนในใบธง 2.0 และ 1.8 เท่า ตามลำดับ และพบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโบรอนในใบธง ในขณะที่การปลูกแบบขังน้ำมีปริมาณโบรอนในใบธงเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะแตกกอ ที่ระยะออกดอก และ 2 ครั้ง ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกคิดเป็น 2.0 2.6 และ 3.5 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน อย่างไรก็ตาม ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำต่อปริมาณโบรอนในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3)

พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำต่อปริมาณการดูดใช้โบรอนทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกแบบขังน้ำมีการดูดใช้โบรอนสูงกว่าในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ และในแต่ละกรรมวิธีมีแนวโน้มของการดูดใช้โบรอนเพิ่มขึ้นเหมือนกัน แต่มีการเพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอนแตกต่างกัน ปริมาณการดูดใช้โบรอนทั้งหมดในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 จาก 0.20 ถึง 0.46 มก./กระถาง ในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ และจาก 0.30 ถึง 0.77 มก./กระถาง ในการปลูกแบบขังน้ำ โดยปริมาณการดูดใช้โบรอนทั้งหมดในส่วนต่าง ๆ มีค่าสูงสุดในการปลูกแบบไม่ขังน้ำ เท่ากับ 0.46 มก./กระถาง และ 0.77 มก./กก. ในการปลูกแบบขังน้ำ เมื่อใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก

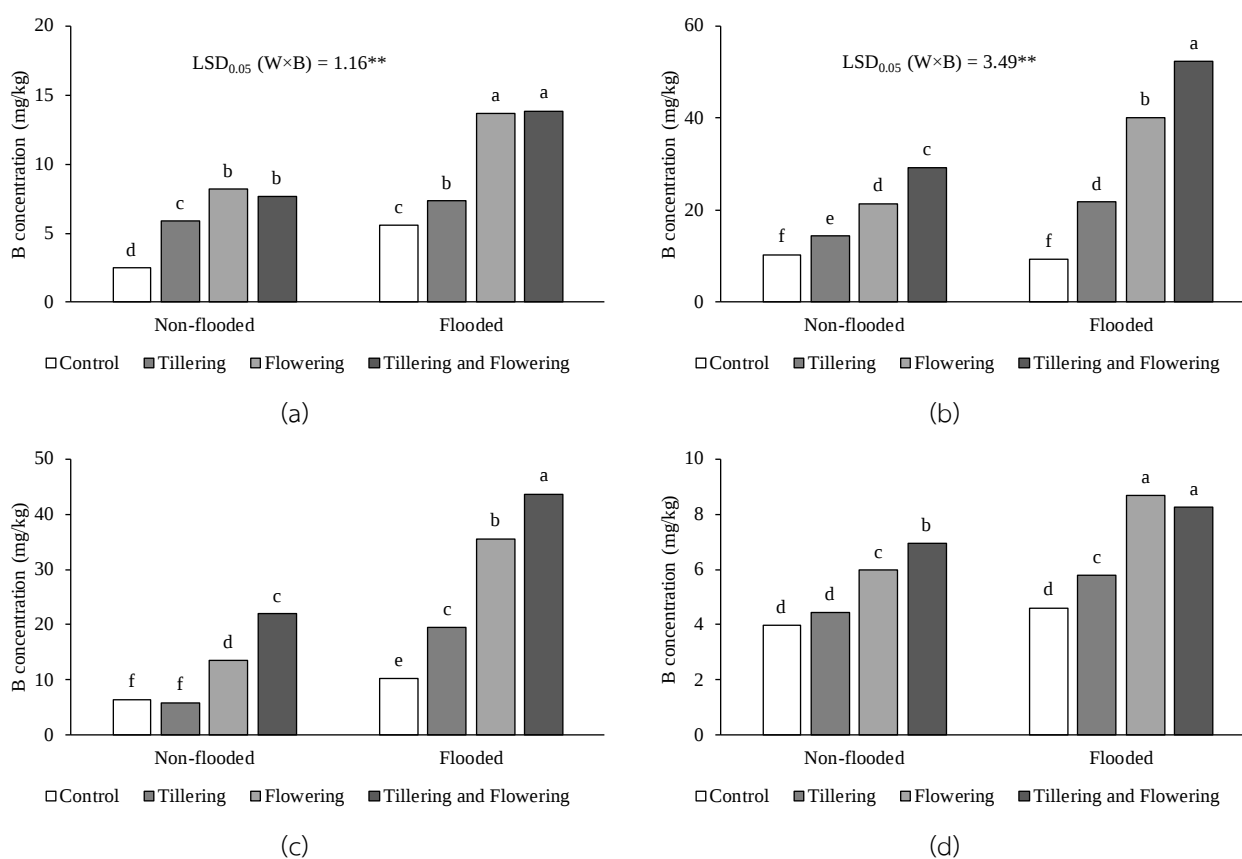


Figure 2 Boron concentration in (a) stem, (b) leaf, (c) flag leaf, and (d) grain of KDML105 grown under boron fertilizer applications and water managements. The different letters above the bars indicate difference by LSD at $P < 0.05$. * and ** = significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

Table 3 Boron contents in different parts and total B uptake of KDML105 grown under four treatments of B fertilizer applications and two water managements

Water management	B fertilizer application	B content (mg/pot)				B uptake (mg/pot)
		Stem	Leaves	Flag leaves	Grains	
Non-flooded	Control	0.04 e	0.05 d	0.006 f	0.10	0.20 f
	Tillering	0.09 d	0.06 d	0.003 f	0.12	0.27 e
	Flowering	0.13 c	0.13 b	0.012 d	0.20	0.46 c
	Tillering and Flowering	0.11 d	0.13 b	0.011 d	0.17	0.41 d
Flooded	Control	0.11 d	0.05 d	0.011 d	0.13	0.30 e
	Tillering	0.13 c	0.09 c	0.022 c	0.18	0.41 d
	Flowering	0.28 a	0.20 a	0.029 b	0.26	0.77 a
	Tillering and Flowering	0.22 b	0.20 a	0.038 a	0.22	0.68 b
Mean	Non-flooded	0.09 B	0.09 B	0.008 B	0.15 B	0.33 B
	Flooded	0.18 A	0.14 A	0.025 A	0.20 A	0.54 A
	Control	0.08 d	0.05 c	0.008 d	0.12 d	0.25 d
	Tillering	0.11 c	0.08 b	0.012 c	0.15 c	0.34 c
	Flowering	0.21 a	0.16 a	0.020 b	0.23 a	0.61 a
	Tillering + Flowering	0.16 b	0.16 a	0.024 a	0.20 b	0.54 b
F-test	Water management (W)	**	**	**	**	**
	Boron fertilizer application (B)	**	**	**	**	**
	W×B	**	**	**	ns	**
	LSD _{0.05} (W)	0.01	0.01	0.001	0.01	0.02
	LSD _{0.05} (B)	0.01	0.01	0.001	0.02	0.02
	LSD _{0.05} (W×B)	0.02	0.01	0.002	-	0.03

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$, *)

ns = not significantly different ($P < 0.05$), ** = significantly different at $P < 0.01$.

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกแบบไม่ขังน้ำ พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวงต่อต้น ($r = 0.55^*$) จำนวนดอกย่อยต่อรวง ($r = 0.62^*$) และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r = 0.68^{**}$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความสูง ($r = -0.51^*$) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกแบบขังน้ำไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว (Data not shown)

นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลผลิต จำนวนดอกย่อยต่อรวง เมล็ดดี เมล็ดลีบ เมล็ดลีบที่มีการผสม และเมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมต่อความเข้มข้นโบรอนในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Table 4) พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกแบบไม่ขังน้ำ มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความเข้มข้นของโบรอนในส่วนของลำต้น ใบ ใบธง และเมล็ด ต่อจำนวนดอกย่อยต่อรวง ($r = 0.72^{**}$, 0.59^* , 0.55^* , และ 0.77^{**} ตามลำดับ) ต่อเมล็ดลีบ ($r = 0.64^{**}$, 0.60^* , 0.59^* , และ 0.63^{**} ตามลำดับ) และต่อเมล็ดลีบที่มีการผสม ($r = 0.90^{**}$, 0.88^{**} , 0.80^{**} , และ 0.85^{**} ตามลำดับ) และมีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความเข้มข้นของโบรอนในส่วนของลำต้น ใบ ใบธง และเมล็ดต่อเมล็ดลีบที่ไม่มีการผสม ($r = -0.94^{**}$, -0.77^{**} , -0.63^{**} , และ -0.74^{**} ตามลำดับ) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกแบบขังน้ำ พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความเข้มข้นของโบรอนในส่วนของลำต้น ใบ ใบธง และเมล็ดต่อเมล็ดลีบที่มีการผสม ($r = 0.85^{**}$, 0.88^{**} , 0.87^{**} , และ 0.74^{**} ตามลำดับ) และมีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความเข้มข้นของโบรอนในส่วนของลำต้น ใบ และใบธงต่อเมล็ดลีบที่ไม่มีการผสม ($r = -0.53^*$, -0.60^* , และ -0.59^* ตามลำดับ)

Table 4 The correlation between B concentration in different plant parts and yield components of KDML105 grown under four boron fertilizer applications and two water managements

Water management	Yield components	Boron concentration (mg/kg)			
		Stem	Leaf	Flag leaf	Grain
Non-flooded	Grain yield (g/pot)	0.48 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.43 ^{ns}
	Number of spikelets per panicle	0.72**	0.59*	0.55*	0.77**
	Filled grain (%)	-0.41 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.40 ^{ns}
	Unfilled grain (%)	0.64**	0.60*	0.59*	0.63**
	Unfilled grain fertilized (%)	0.90**	0.88**	0.80**	0.85**
	Unfilled grain unfertilized (%)	-0.94**	-0.77**	-0.63**	-0.74**
Flooded	Grain yield (g/pot)	0.43 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.34 ^{ns}
	Number of spikelets per panicle	0.29 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.20 ^{ns}
	Filled grain (%)	-0.20 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.23 ^{ns}
	Unfilled grain (%)	0.09 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.07 ^{ns}
	Unfilled grain fertilized (%)	0.85**	0.88**	0.87**	0.74**
	Unfilled grain unfertilized (%)	-0.53*	-0.60*	-0.59*	-0.43 ^{ns}

ns = not significantly different ($P < 0.05$), * and ** = significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

วิจารณ์

ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า การจัดการปุ๋ยโบรอนและการจัดการน้ำสามารถส่งเสริมการสะสมโบรอนและการดูดใช้โบรอนของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยมีผลต่อการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญ คือ จำนวนดอกย่อยต่อรวงและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มีการผสมแล้ว แม้ว่าการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบผลผลิตดังกล่าวจะไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก และการใส่ 2 ครั้งที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกในการปลูกแบบขังน้ำ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน แต่กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนดังกล่าวในการปลูกแบบขังน้ำส่งผลให้พืชมีการดูดใช้โบรอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินมีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ในดิน โดยน้ำในดินที่มีปริมาณจำกัดลดความเป็นประโยชน์ของโบรอนลง (Rehman et al., 2014) และความชื้นที่ต่ำส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยโบรอนจากสารเชิงซ้อนอินทรีย์ (mineralization) และการขนส่งธาตุอาหารไปยังส่วนของต้นลดลง ทำให้พืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารลดลง (Hussain et al., 2018)

การใส่โบรอนที่ระยะออกดอก และการใส่ 2 ครั้งที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกทั้งในการปลูกแบบไม่ขังน้ำและขังน้ำ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนเมล็ดต่อรวงและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มีการผสม แต่มีผลต่อการลดลงของเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบผลผลิตดังกล่าวจะไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แต่มีแนวโน้มว่าผลผลิตของข้าวสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการจัดการโบรอนและน้ำที่เหมาะสม เนื่องจากโบรอนมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ของพืช การศึกษาจำนวนมากพบว่าโบรอนส่งผลต่อการเจริญเติบโต เช่น การมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างผนังเซลล์ การกระจายของเซลล์ การยืดขยายของรากและลำต้น การงอก และการขนส่งคาร์โบไฮเดรต (Rerkasem et al., 2020; Shresha et al., 2020; Herrera-Rodríguez et al., 2022) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาของพืช โบรอนมีความเกี่ยวข้องกับการออกดอก การผสมเกสรและการเกิดเมล็ด (Singh and Singh, 2023) จากการที่โบรอนช่วยลดความเป็นพิษของโลหะหนักและช่วยเติมเต็มเมล็ดของข้าว (Fatima et al., 2018; Prashanth et al., 2018) โดยการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ช่วยปรับปรุงผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในพืช เช่น การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะตั้งท้อง ระยะออกดอก และระยะน้ำนมในข้าวสาลี (Javed et al., 2023) และที่

ระยะแตกกอสูงสุดและระยะเต็มเต็มเมล็ดในข้าว (Patel et al., 2019) สอดคล้องกับรายงานของ Tanaka et al. (2014) พบว่า การลดลงของผลผลิตข้าวในสภาพโบรอนต่ำ เกิดจากการยับยั้งการเกิดรวงเป็นผลให้เกิดจำนวนดอกย่อยต่อรวงลดลง และพบว่า การขาดน้ำเพียงเล็กน้อยในช่วงก่อนการผสมเกสร ส่งผลต่อการลดลงของจำนวนดอกย่อยต่อรวง และผลผลิตเมล็ดในข้าวสาลี (Shahgholi et al., 2023) ในทางกลับกัน พบว่า การใส่โบรอนทุกกรรมวิธีในการปลูกแบบไม่ขังน้ำส่งผลต่อการลดลงของความสูงต้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Tepe and Aydenir (2017) ที่ศึกษาการตอบสนองของข้าวสาลีสองสายพันธุ์กับการใส่ปุ๋ยโบรอน พบว่าข้าวสาลีทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อปุ๋ยโบรอนแตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยโบรอนส่งผลให้ความสูงต้นลดลงในข้าวสาลีพันธุ์ Bezostoya แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในข้าวสาลีพันธุ์ Kutluk 94 ดังนั้น ควรมีการศึกษาอัตราปุ๋ยโบรอนที่เหมาะสมในข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เพิ่มเติมต่อไป เนื่องจากโบรอนที่สูงเกินไปส่งผลต่อการลดลงของความสูงต้นจากความเสี่ยงจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และลิพิดเพอร็อกซิเดชันที่ส่งผลเสียต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้พืชมีการเจริญเติบโต รวมไปถึงความสูงต้น ราก และน้ำหนักแห้งฟางลดลง (Shah et al., 2017) นอกจากนี้ การศึกษาในครั้งนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างผลผลิต จำนวนดอกย่อยต่อรวง เมล็ดดี เมล็ดลีบ เมล็ดลีบที่มีการผสม และความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างเมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมต่อความเข้มข้นโบรอนในส่วนต่าง ๆ

จากการทดลองพบความเข้มข้นโบรอนมากที่สุดที่ใบ ใบธง ลำต้น และเมล็ด ตามลำดับ จากการใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้งที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกที่ปลูกแบบไม่ขังน้ำและขังน้ำช่วยเพิ่มความเข้มข้นโบรอนในส่วนต่าง ๆ ของข้าว โดยในการปลูกแบบไม่ขังน้ำมีความเข้มข้นโบรอนในใบตั้งแต่ 10.4 ถึง 29.2 มก./กก. แต่ในการปลูกแบบขังน้ำมีความเข้มข้นโบรอนในใบ (52.3 มก./กก.) และส่วนอื่น ๆ สูงกว่าด้วย สอดคล้องกับรายงานของ Qin et al. (2021) พบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนส่งผลให้ความเข้มข้นโบรอนในใบสูงขึ้น เนื่องจากพืชดูดโบรอนโดยรากและสะสมในบริเวณต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการคายน้ำ (Antonopoupou and Chatzissavvidis, 2022) นอกจากนี้ Huang et al. (2022) รายงานว่า การสะสมโบรอนของข้าวถูกควบคุมโดยยีน *OsBOR1* ที่มีผลต่อความเข้มข้นโบรอน เนื่องจากโปรตีน *OsBOR1* จะสลายลงเมื่อได้รับโบรอนในอัตราที่สูงมีผลให้ยีน *OsBOR1* เปลี่ยนการดูดใช้ ซึ่งแทนที่จะนำโบรอนไปสะสมในใบใหม่และร่วงกลับมีการเพิ่มขึ้นของโบรอนที่ใบแก่ (Shao et al., 2021) จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นในเมล็ดในการปลูกแบบไม่ขังน้ำและขังน้ำ เท่ากับ 6.9 และ 8.2 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับรายงานของ Rehman et al. (2014) พบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนทั้งในการปลูกแบบขังน้ำและไม่ขังน้ำไม่มีผลต่อความแตกต่างของความเข้มข้นโบรอนในเมล็ด แต่พบว่าการได้รับโบรอนที่เพียงพอช่วยรักษาการสะสมโบรอนไปยังเมล็ดข้าวที่กำลังพัฒนา (Jehangir et al., 2017) อีกทั้งการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การดูดใช้โบรอนทั้งหมดในการปลูกแบบไม่ขังน้ำและขังน้ำ เท่ากับ 0.46 และ 0.77 มก./กระถาง ตามลำดับ เมื่อใส่โบรอนที่ระยะออกดอก และ 0.41 และ 0.68 มก./กระถาง เมื่อใส่โบรอน 2 ครั้งที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก สอดคล้องกับรายงานของ Liu et al. (2018) พบว่า การเพิ่มการให้น้ำส่งผลให้มีการดูดใช้ของข้าวสาลีเพิ่มสูงขึ้น เช่น ไนโตรเจน และในการปลูกแบบขังน้ำช่วยเพิ่มความเข้มข้นของโบรอนในข้าวให้สูงขึ้น (Abinaya et al., 2021) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยโบรอน 2 ครั้งที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกส่งผลให้การดูดใช้โบรอนทั้งหมดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Çelik et al. (2019) พบว่า การใช้โบรอนอัตราที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ผนังเซลล์หนาขึ้น ทำให้การดูดใช้อาหารยากขึ้น และมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งฟางของพืช ดังนั้น การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอก และการใส่ 2 ครั้งที่ระยะแตกกอและระยะออกดอกช่วยเพิ่มการดูดใช้โบรอนทั้งหมดและแม้จะไม่ส่งผลต่อผลผลิต แต่ช่วยปรับปรุงองค์ประกอบผลผลิต คือ จำนวนดอกย่อยต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มีการผสม และช่วยลดเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมด้วย อย่างไรก็ตามพบรายงานเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยโบรอนร่วมกับธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งสามารถปรับปรุงการดูดใช้โบรอนและผลผลิตให้สูงขึ้นได้ เช่น สังกะสี (Biswas et al., 2015) ดังนั้น การศึกษาอัตราการใช้ปุ๋ยโบรอนกับธาตุอาหารอื่น ๆ ที่เหมาะสมต่อข้าวจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าวต่อไปได้

สรุป

การทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะออกดอกช่วยเพิ่มความเข้มข้นของโบรอนในส่วนต่าง ๆ ของพืช และการดูดใช้โบรอนโดยรวมสูงสุด แม้ว่าปุ๋ยโบรอนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันร่วมกับการจัดการน้ำไม่มีผลต่อผลผลิต เมล็ดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แต่พบว่าสามารถช่วยปรับปรุงองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญ คือ จำนวนดอกย่อยต่อรวง และ เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มีการผสม และสามารถลดเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่ไม่มีการผสมได้ บ่งชี้ถึงแนวโน้มในทิศทางที่ดีในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม เพื่อให้องค์ประกอบผลผลิตดังกล่าวสามารถส่งเสริมผลผลิตได้ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยโบรอนที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ร่วมกับธาตุอาหารอื่นในสภาพแปลงแบบขังน้ำเพิ่มเติม และทดสอบการตอบสนองร่วมกับข้าวพันธุ์อื่น ๆ เพื่อยืนยันผลการทดลองและเป็นแนวทางในการจัดการเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวต่อไป

คำขอบคุณ

ขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย (TA/RA) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และงบประมาณการวิจัยบางส่วนจากศูนย์วิจัยและนวัตกรรมข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- Abinaya, M.R., R. Manivannan, M.V. Sriramachandrasekharan, P. Senthilvalavan, S. Kalaisudarsorn, and C. Ravikumar. 2021. Response of rice (*Oryza sativa* L.) productivity and nutrient uptake to nitrogen and boron fertilization in Typic Ustifluvents soil. *Journal of Applied and Natural Science*. 13(4): 1372-1377.
- Antonopoupou, C., and C. Chatzissavvidis. 2022. Chapter 8 – Impact of boron and its toxicity on photosynthetic capacity of plants. p. 169-186. In: Esten, K. Boron in plants and agriculture. Academic press, CA.
- Biswas, A., D. Mukhopadhyay, and A. Biswas. 2015. Effect of soil zinc and boron on the yield and uptake of wheat in an acid soil of West Bengal, India. *International Journal of Plant and Soil Science*. 6(4): 203-217.
- Brdar-Jokanović, M. 2020. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 21(4): 1424.
- Çelik, H., M.A. Turan, B.B. Aşık, S. Öztüfekçi, and A.V. Katkat. 2019. Effects of soil-applied materials on the dry weight and boron uptake of maize shoots (*Zea mays* L.) under high boron conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 50(7): 811-826.
- Debnath, P., and S. K. Ghosh. 2011. Determination of critical limit of available boron for rice in terai zone soils of West Bengal. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 59: 82-86.
- Fatima, A., S. Ali, M. Ijaz, R. Mahmood, S. Sattar, J. Khan, A. I. Dar, and M. Ahmad. 2018. Boron application improves the grain yield and quality of fine grain rice cultivars in Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 55(4): 761-766.
- Geetha, P., and P. Sureshkumar. 2018. Aerobic rice for nutrient and water use efficiency in lateritic soils of Kerala. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 9(5): 562-567.
- Herrera-Rodríguez, M.B., J.J. Camacho-Cristóbal, R. Barrero-Rodríguez, J. Rexach, M.T. Navarro-Gochicoa, and A. González-Fontes. 2022. Crosstalk of cytokinin with ethylene and auxin for cell elongation inhibition and boron transport in *Arabidopsis* primary root under boron deficiency. *Plants*. 11: 2344.
- Huang, S., N. Konishi, N. Yamaji, J.F. Shao, N. Mitani-Ueno, and J.F. Ma. 2022. Boron uptake in rice is regulated post-translationally via a clathrin-independent pathway. *Plant Physiology*. 188: 1649-1664.

- Hussain, M., S. Farooq, W. Hasan, S. Ul-Allah, M. Tanveer, M. Farooq, and A. Nawaz. 2018. Drought stress in sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*. 201: 152-166.
- Javed, M.S., Y. Saeed, S. Anwar, K. Ullah, H.M.S. Zafar, K. Nazir, I.A. Siddh, and S. Ahmad. 2023. Impact of foliar application of boron on productivity of different varieties of *Triticum aestivum* L. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*. 8(6): 84-88.
- Jehangir, I.A., S. H. Wani, M.A. Bhat, A. Hussain, W. Raja, and A. Haribhushan. 2017. Micronutrients for crop production: role of boron. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(11): 5347-5353.
- Khan, M.K., Md. Arifuzzaman, A. Pandey, Mst. T. S. Turin, M. Hamurcu, T. Athar, Mst. S. Masuda, F. G. Yilmaz, A. Topal, and S. Gezgin. 2023. Chapter 21 – Advancement in mitigating the effects of boron stress in wheat. p. 329-338. In: Khan, M. K., A. Pandey, M. Hamurcu, O. P. Gupta, and S. Gezgin. *Abiotic stresses in wheat*. Academic press, CA.
- Laik, R., S.K. Singh, B. Pramanick, V. Kumari, D. Nath, E.S. Dessoky, A.O. Attia, M.M. Hassan, and A. Hossain. 2021. Improved method of boron fertilization in rice (*Oryza sativa* L.)–mustard (*Brassica juncea* L.) cropping system in upland calcareous soils. *Sustainability*. 13(9): 5037.
- Liu, W., J. Wang, C. Wang, G. Ma, Q. Wei, H. Lu, Y. Xie, D. Ma, and G. Kang. 2018. Root growth, water and nitrogen use efficiencies in winter wheat under different irrigation and nitrogen regimes in North China plain. *Frontiers in Plant Science*. 9: 1798.
- Lohse, G. 1982. Microanalytical azomethine-H method for boron determination in plant tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 13(2): 127-134.
- Moitazedi, S., S. Sayfzadeh, R. Haghparast, H.R. Zakerin, and H. Jabari. 2023. Mitigation of drought stress effects on wheat yield via the foliar application of boron, zinc, and manganese nano-chelates and supplementary irrigation. *Journal of Plant Nutrition*. 46(9): 1988-2002.
- Office of the Permanent Secretary of the Ministry of Commerce. 2023. Trade report. Available <https://tradereport.moc.go.th/>. Accessed on Jan.31, 2024.
- Patel, S., R.P. Singh, S. Kumar, and S. Bedwal. 2020. Effect of boron on growth, yield and yield attributing characters of rice crop, (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 8(3): 2051-2054.
- Patel, S.K., R.P. Singh, S. Shrivastava, A.K. Pandey, and S.K.S. Chandel. 2019. Effect of foliar application of boron at different stages of crop growth on nutrient utilization and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Scientific Research*. 9(2): 1-6.
- Prashanth, K.M., H.M. Chidanandappa, Y.V. Shetty, D. Ravikumar, P. Chandravamshi, and B. Naik. 2018. Effect of different levels of borax application on yield and yield attributes in rice. *Journal of Farm Sciences*. 31(5): 552-554.
- Qin, S., Y. Xu, H. Liu, C. Li, Y. Yang, and P. Zhao. 2021. Effect of different boron levels on yield and nutrient content of wheat based on grey relational degree analysis. *Acta Physiologiae Plantarum*. 43: 127.
- Rehman, A., M. Farooq, A. Nawaz, and R. Ahmad. 2014. Influence of boron nutrition on the rice productivity, kernel quality and biofortification in different production systems. *Field Crops Research*. 169: 123-131.

- Rehman, A., M. Farooq, A. Rashid, F. Nadeem, S. Stuerz, F. Asch, R.W. Bell, and K.H.M. Siddique. 2018. Boron nutrition of rice in different production systems – a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 38: 25.
- Rerkasem, B., S. Jamjod, and T. Pusadee. 2020. Productivity limiting impacts of boron deficiency, a review. *Plant Soil*. 455: 23-40.
- Rerkasem, B., S. Lordkaew, N. Yimyam, and S. Jamjod. 2019. Evaluating boron efficiency in heat tolerant wheat germplasm. *International Journal of Agriculture and Biology*. 21: 385-390.
- Roy, S.C., and P. Shil. 2020. Assessment of genetic heritability in rice breeding lines based on morphological traits and caryopsis ultrastructure. *Scientific Reports*. 10: 7830.
- Saleem, M., Y.M. Khanif, C. Fauziah, A.W. Samsuri, and B. Hafeez. 2010. Effectiveness of borax and colemanite as boron sources for rice grown in flooded acidic soil. p. 9-11. In: *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science*. DVD, Brisbane.
- Shah, A., X. Wu, A. Ullah, S. Fahad, R. Muhammad, L. Yan, and C. Jiang. 2017. Deficiency and toxicity of boron: alterations in growth, oxidative damage and uptake by citrange orange plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 145: 575-582.
- Shahgholi, S., S. Sayfzadeh, E.H. Masouleh, N. Shahsavari, and H. Zakerin. 2023. Assessment of zinc, boron, and iron foliar application on wheat yield and yield components under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 54(9): 1283-1292.
- Shahid, M., A.K. Nayak, R. Tripathi, J.L. Katara, P. Bihari, B. Lal, and P. Gautam. 2018. Boron application improves yield of rice cultivars under high temperature stress during vegetative and reproductive stages. *International Journal of Biometeorology*. 62: 1375-1387.
- Shao, J.F., N. Yamaji, S. Huang, and J.F. Ma. 2021. Fine regulation system for distribution of boron to different tissues in rice. *New Phytologist*. 230: 656-668.
- Shrestha, S., M. Becker, J.P.A. Lamers, and M.A. Wimmer. 2020. Diagnosis of zinc and boron availability in emerging vegetable-based crop rotations in Nepal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 183(4): 429-438.
- Singh, G., and S. Singh. 2023. Effect of straw mulch and foliar application of boron on growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Journal of Medicinal Plants Studies*. 11(3): 19-24.
- Soheili-Movahhed, S., S. Khomari, P. Sheikhzadeh, and B. Alizadeh. 2019. Improvement in seed quantity and quality of spring safflower through foliar application of boron and zinc under end-season drought stress. *Journal of Plant Nutrition*. 42(8): 942-953.
- Songsriin, J. 2021. Effects of boron fertilizer applications on boron uptake and yield production in ‘Sanpatong 1’ rice variety grown at 2 different locations. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Songsriin, J., S. Jamrus, S. Yamuangmorn, J. Veeradittakit, S. Lordkaew, and C. Prom-u-thai. 2020. Effects of water management and zinc foliar fertilizer on grain yield and nutrient accumulation of five glutinous rice varieties. *Journal of Agriculture*. 37(1): 51-63. (in Thai)
- Tanaka, N., S. Uraguchi, and T. Fujiwara. 2014. Exogenous boron supplementation partially rescues fertilization defect of *osbor4* mutant. *Plant Signaling and Behavior*. 9: e28356.

Tepe, D.H., and T. Aydemir. 2017. Investigation of the changes in low molecular weight organic acids and other physiological parameters by nitric oxide application in two wheat cultivars exposed to boron stress. *Journal of Plant Nutrition*. 40(9): 1287-1299.

Ulusik, I., H.C. Karakaya, and A. Koc. 2018. The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 45: 156-162.