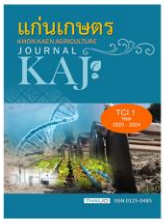
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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



อิทธิพลของการใส่ปุ๋ยโบรอนต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกใน 2 พื้นที่

Effects of boron fertilizer applications on yield of 'Sanpatong 1' rice variety grown at two locations

จินตนา สงค์ศรีอินทร์[1], สุชาดา จำรัส[1], สุภาภรณ์ ญะเมืองมอญ[1]และชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย[1,2]*

Jintana Songsriin[1], Suchada Jumrus[1], Supapohn yamuangmorn[2] 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 Agricultural, Chiang Mai University
[2] ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2] Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University

บทคัดย่อ: พืชที่ปลูกในดินที่ขาดโบรอนทำให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง งานวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยโบรอนต่อผลผลิตของพืชมีเป็นจำนวนมากทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ แต่พบน้อยมากสำหรับการศึกษาในข้าว การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการใส่ปุ๋ยโบรอนต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก จำนวน 4 ซ้ำ ปลูกข้าวในสภาพแปลงปลูกฤดูนาปรัง พ.ศ. 2561 ที่ประกอบไปด้วยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอน 3 กรรมวิธี ได้แก่ ทางดิน ทางใบ และไม่ใส่ปุ๋ยโบรอนเป็นกรรมวิธีควบคุม ทดลองใน 2 แปลง ได้แก่ แปลงทดลองที่สถานีวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และแปลงเกษตรกรที่อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ โดยจัดการทดลองเหมือนกันทุกประการในทั้งสองแปลง จากผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนในนาข้าวทั้งในรูปแบบทางดินและทางใบไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ทั้งสองพื้นที่ เมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยโบรอน แต่พบรูปแบบการใส่ปุ๋ยโบรอนมีผลต่อจำนวนหน่อต่อกอและจำนวนรวงต่อกอแตกต่างกันในข้าวที่ปลูกในแปลงที่สถานีวิจัย และแปลงเกษตรกรสันทราย การใส่ปุ๋ยโบรอนทางใบทำให้ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในแปลงที่สถานีวิจัย มีจำนวนหน่อต่อกอและจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้น แต่พบว่า ข้าวที่ปลูกในแปลงสันทรายมีจำนวนหน่อต่อกอลดลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดิน นอกจากนี้ พบจำนวนเมล็ดดีมีการตอบสนองต่อรูปแบบการใส่ปุ๋ยโบรอนของข้าวที่ปลูกใน 2 แปลงแตกต่างกัน โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินและทางใบสามารถเพิ่มจำนวนเมล็ดดีต่อรวงในข้าวที่ปลูกในแปลงที่สถานีวิจัย แต่ไม่พบการตอบสนองในข้าวที่ปลูกในแปลงสันทราย ผลการศึกษาในครั้งนี้บ่งชี้ว่าสภาพแปลงปลูกที่แตกต่างกันทำให้มีความแตกต่างในการตอบสนองของปุ๋ยโบรอน ต่อการสร้างองค์ประกอบผลผลิต แม้ว่าไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ด แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนน่าจะเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตข้าวซึ่งอาจต้องการงานทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาปัจจัยที่มีประสิทธิภาพในการกำหนดการจัดการปุ๋ยโบรอนต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวสันป่าตอง 1; การใส่ปุ๋ยทางดิน; การใส่ปุ๋ยทางใบ; ผลผลิต; โบรอน

ABSTRACT: Boron-deficient soil causes inefficient plant growth and productivity. Many studies have been reported the effect of applying boron fertilizer on productivity in many crops of Thailand and other countries, but limit information is available on rice crop. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of boron fertilizer application on yield and yield components of Sanpatong 1 rice variety. The experiment was arranged in randomized complete block design (RCB) with four replications. The field experiment was conducted in the dry season of 2018 comprising of three boron fertilizer applications as soil boron, foliar boron, and non-boron fertilizer application. Rice plants were grown at two locations: the research station, Chiang Mai University and farmer's field at San Sai District, Chiang Mai Province. The results showed that soil and foliar applications of boron had no

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

Received: date; April 19, 2021 Accepted: date; July 14, 2021 Published: date; February 5, 2022

significant effect on grain yield of Sanpatong 1 rice variety grown at both locations compared with non- boron fertilizer application, while it was affected on tiller number and panicle number per hill differently by the location. Foliar boron application increased tillers and panicles number per hill of rice grown at the research station, while soil boron application decreased tillers per hill of rice grown in San Sai location. In addition, boron application significantly affected on number of filled grains differently at each the location. It was found that soil and foliar boron applications increased the percentage of filled grains per panicle of rice grown at the research station, but no response was found in rice grown in San Sai location. The results from this study indicate that boron had affected on yield component depended on the growing location. Although, there was no significant effect on grain yield, but it is likely that boron fertilizer could improve grain yield, which should be determined and confirmed the efficient methodology of boron application in the future study.
Keywords: Sanpatong 1 rice variety; soil boron fertilizer application; foliar boron fertilizer application; yield production; boron

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นธัญพืชอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อประชากรประมาณร้อยละ 50 ของประชากรโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคที่มีการเติบโตทางด้านจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว การเพิ่มผลผลิตข้าวให้พอเพียงต่อความต้องการในการบริโภคของประชาการที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นเร่งด่วน ในขณะที่ผลผลิตข้าวเฉลี่ยในประเทศผู้ผลิตข้าวทั่วโลกยังค่อนข้างต่ำ (Fageriaand, 2003) โดยพบว่า สาเหตุหนึ่งที่สำคัญคือการขาดโบรอนในดิน (Warington, 1933; Shorrocks, 1997) ซึ่งส่งผลทำให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดข้าวต่ำกว่ามาตรฐาน โดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกข้าวในแถบเอเชีย ซึ่งแม้ว่าข้าวสายพันธุ์ใหม่มีศักยภาพสูงในการดูดใช้สารอาหารระดับจุลภาคได้ดีขึ้นกว่าพันธุ์พื้นเมืองทั่วไปที่จะสามารถนำไปสร้างผลผลิตได้ แต่การขาดโบรอนในระบบการปลูกข้าวยังพบว่าเป็นปัญหาที่สำคัญต่อการสร้างผลผลิตในปัจจุบัน อีกทั้งยังส่งผลต่อการลดลงของคุณภาพของเมล็ดข้าวอีกด้วย (Pandey และ Velasco 1999; Sharma, 2007)

โบรอน จัดเป็นธาตุอาหารจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช อยู่ในกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณน้อย แต่พืชบางชนิดพบว่ามีการตอบสนองต่อโบรอนสูง (Brown et al., 2002) เนื่องจากโบรอนมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชรวมทั้งข้าวด้วย (Gupta, 1979; Dunnetal, 2005) โบรอนส่วนใหญ่พบที่บริเวณผนังเซลล์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงและการรักษารูปร่างของเซลล์ (Reid et al., 2004; Caffall และ Mohnen, 2009) ดังนั้น การขาดโบรอนจึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืชในพื้นที่เพาะปลูกมากกว่า 80 ประเทศ ทั่วโลก (Reid et al., 2004; Caffall และ Mohnen, 2009) ในข้าวพบว่า การขาดโบรอนส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เช่น การขยายตัวและการแบ่งตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายรากลดลง (Marschner, 2002) นอกจากนี้ การขาดโบรอนยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตในระยะการเจริญพันธุ์ โดยพบว่า การขาดโบรอนส่งผลให้ข้าวมีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงลดลง เนื่องจากส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสมบูรณ์ของดอกข้าว เช่น การพัฒนาของอับเรณูและการเจริญเติบโตของรังไข่ที่ลดลง การสร้างรังไข่หรือละอองเกสรที่ผิดปกติ (Neieuwenhuis et al., 2000; Gowri, 2005) รายงานก่อนหน้านี้ พบว่าผลผลิตของข้าวลดลงประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเจริญเติบโตของข้าวที่ไม่สม่ำเสมอในสภาพการขาดโบรอน (Cakmak และ Römheld, 1997; Rashid et al., 2004, 2006) และหากดินมีการขาดโบรอนในระดับที่รุนแรงขึ้น อาจส่งผลกระทบทำให้เมล็ดมีขนาดลดลงอีกด้วย (Welch et al., 1991)

การใสปุ๋ยโบรอนเป็นวิธีที่ช่วยแก้ไขปัญหาการขาดธาตุโบรอนในดินได้ โดยมีรายงานว่า การใส่โบรอนทางดินในอัตรา 0.49 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มผลผลิตฟางข้าวและผลผลิตเมล็ดข้าวได้ 10 ถึง 77 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน (Shah et al., 2011) ในขณะเดียวกัน พบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินในอัตรา 0.08 มิลลิกรัมโบรอนต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตเมล็ดและผลผลิตฟ่างมากขึ้นประมาณ 10 ถึง 46 เปอร์เซ็นต์ และประมาณ 2 ถึง 77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Rashid et al., 2002) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยโบรอนในระยะที่แตกต่างกันยังส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันด้วย การจากรายงานพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินระยะออกดอกมีประสิทธิภาพมากกว่าการใส่ในระยะก่อนปลูกและระยะแตกกอ เนื่องจากมีจำนวนหน่อ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวนเมล็ดต่อรวง ดัชนีการเก็บเกี่ยว และผลผลิตที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน เนื่องจากโบรอนมีส่วนช่วยในการ

พัฒนาของละอองเรณูในระยะผสมเกสรให้สมบูรณ์ ช่วยให้ช่อดอกมีความอุดมสมบูรณ์ ไม่เป็นหมัน ส่งผลทำให้รวงติดเมล็ดมาก (Rashid et al., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ พบว่า โบรอนมีความสำคัญมากในระยะเจริญพันธุ์เมื่อเทียบกับระยะการเจริญเติบโตของพืชในธัญพืช ซึ่งส่งผลทำให้ขนาดเมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อรวงเพิ่มขึ้น (Rerkasem และ Jamjod, 1997) ในขณะเดียวกัน รูปแบบการใส่ปุ๋ยโบรอนที่แตกต่างกันก็มีผลต่อการสร้างผลผลิตข้าว ในรายงานพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินในอัตรา 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเฮกโตเมตร ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการพ่นปุ๋ยทางใบในอัตรา 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเฮกโตเมตร (Muhammad et al., 2012)

แหล่งที่ปลูกเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการขาดโบรอนในดิน เนื่องจากความแตกต่างของสภาพอากาศและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางเคมีของดินที่มีผลต่อการดูดใช้และเคลื่อนย้ายธาตุโบรอนในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว (Marschner, 1995) เช่นเดียวกับโครงสร้างของดินที่พบว่ามีผลต่อปริมาณโบรอนในดินเช่นเดียวกัน ซึ่งความแตกต่างกันของเนื้อดินสามารถบ่งบอกถึงความเป็นประโยชน์ของโบรอนต่อการดูดไปใช้ของพืช เช่น โครงสร้างของเนื้อดินหยาบมีโบรอนในดินทั้งหมดและโบรอนในรูปที่ละลายได้ในน้ำต่ำกว่าดินที่มีโครงสร้างของดินเนื้อละเอียด เพราะฉะนั้นดินที่มีโครงสร้างของเนื้อดินหยาบจึงพบปัญหาการขาดโบรอนของพืชที่ปลูกในพื้นที่นั้นอยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากการถูกชะล้างของโบรอน (Wilson et al., 1951; Ouelltte, 1958) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yermiyahu et al. 2001 และ Gupta., 2016 ที่พบว่าดินเนื้อละเอียดมีโบรอนมากกว่าดินเนื้อหยาบ โดยความเข้มข้นของโบรอนในดินจะเพิ่มขึ้นตามความละเอียดของเนื้อดิน ซึ่งสามารถดูดซับโบรอนได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตาม การศึกษาและวิจัยเพื่อประเมินอิทธิพลของปุ๋ยโบรอนต่อการดูดใช้และการสร้างผลผลิตในข้าวในประเทศไทยยังมีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของรูปแบบการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินและทางใบต่อการดูดใช้โบรอนและการสร้างผลผลิตในข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ในแหล่งปลูกที่แตกต่างกัน 2 พื้นที่ ซึ่งผลจากการทดลองนี้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดการปุ๋ยโบรอนเพื่อการปรับปรุงผลผลิตในข้าวต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลองและการปลูกดูแลรักษา

งานวิจัยครั้งนี้ดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลจาก 2 แปลงทดลอง ได้แก่ แปลงที่ 1 ที่ศูนย์วิจัยสาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สภาพดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sieve/hydrometer) มีความเป็นกรดด่าง (pH meter ดิน:น้ำ; 1:2) ที่ 6.06 อินทรียวัตถุ (Walkly & Black) 1.14% ฟอสฟอรัส (Bray II Extraction) โพแทสเซียม (NH_4OAC pH7/AES) สังกะสี (DTPA/AAs) และโบรอน ($CaCl_2$-manital) 184.24, 109.28, 2.53 และ 0.19 มก./กก. ตามลำดับ และแปลงที่ 2 ทดลองที่แปลงเกษตรกร หมู่บ้านสันป่าเปา อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ สภาพดินเป็นดินร่วน (Sieve/hydrometer) มีความเป็นกรดด่าง (pH meter ดิน:น้ำ; 1:2) ที่ 5.03 อินทรียวัตถุ (Walkly & Black) 1.63% ฟอสฟอรัส (Bray II Extraction) โพแทสเซียม (NH_4OAC pH7/AES) สังกะสี (DTPA/AAs) และโบรอน ($CaCl_2$-manital) 12.95, 114.58, 2.84 และ 0.20 มก./กก. ตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบลอก Randomize Complete Block Design (RCBD) โดยมีกรรมวิธีทั้งหมด 3 กรรมวิธี ประกอบด้วย ไม่ใส่โบรอน (control) ใส่โบรอนทางดิน (Soil B) และใส่โบรอนทางใบ (Foliar B) โดยใส่โบรอนเหมือนกันในรูปของ Etidot-67 ซึ่งมีความเข้มข้นของโบรอน 21 เปอร์เซ็นต์โบรอน ทดลองซ้ำกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบคือ สันป่าตอง 1 (SPT1) ปลูกข้าวในฤดูเพาะปลูกนาปรังในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2562 เตรียมกล้าข้าวในแปลงปลูกและย้ายต้นกล้าข้าวที่มีอายุ 30 วัน ลงปลูกในแปลงทดลองที่มีขนาด 3 × 3.5 เมตร โดยใช้ต้นกล้าจำนวน 3 ต้นต่อหลุม ใส่ปุ๋ยโบรอนทางดิน ในอัตรา 14.3 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในวันก่อนปักดำ 1 วัน ส่วนการพ่นปุ๋ยโบรอนทางใบ พ่น 2 ครั้ง ที่ระยะออกดอกและระยะน้ำนม ในอัตราครั้งละ 500 ลิตรต่อเฮกตาร์ ใส่ปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จำนวน 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 สูตร 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันก่อนปักดำ 1 วัน ครั้งที่ 2 สูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะเริ่มแตกกอ และครั้งที่ 3 สูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะกำเนิดช่อดอก ปลูกข้าวในสภาพน้ำขังโดยรักษาระดับน้ำสูงเหนือผิวดินประมาณ 10 เซนติเมตร และหยุดให้น้ำก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 14 วัน ดูแลกำจัดวัชพืชและศัตรูพืชตามความเหมาะสมในระหว่างการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยว

เมื่อถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าว สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ของแต่ละซ้ำในแต่ละกรรมวิธีการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตเมล็ด จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อต้น ความยาวรวง น้ำหนักแห้งฟาง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และความสูงลำต้น จากนั้นนำเมล็ดข้าวมาลดความชื้นโดยการผึ่งแดด 2-3 วัน และคำนวณหาผลผลิตในหน่วยกิโลกรัมต่อไร่ที่ความชื้นเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของผลผลิตฟางนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง และบันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้ง โดยประเมินค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest index) สมการด้านล่างนี้

$$\text{Harvest index} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ด}}{\text{น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมด}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลผลผลิตเมล็ด และองค์ประกอบผลผลิต วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิต ในแต่ละกรรมวิธี โดยใช้ค่า Least significance difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SX for Window เวอร์ชั่น 9.0

ผลการศึกษา

ผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยว

จากผลการทดลองพบว่า ผลผลิตเมล็ดในข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกรรมวิธีการจัดการปุ๋ยโบรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ **(Table 1)** โดยพบว่า ข้าวที่ปลูกในแปลงสันทรายมีผลผลิตเมล็ดเท่ากับ 5.1 ตันต่อเฮคตาร์ ซึ่งสูงกว่าผลผลิตของแปลงที่ มช. ที่มีผลผลิตเท่ากับ 4.4 ตันต่อเฮคตาร์ เท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนและสถานที่ปลูกต่อผลผลิตเมล็ด

พบการจัดการปุ๋ยโบรอนมีผลต่อน้ำหนักแห้งฟางแตกต่างกันระหว่างแปลงปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ **(Table 1)** โดยพบว่า กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในแปลง มช. มีน้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้น 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโบรอน แต่ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักแห้งฟางระหว่างข้าวที่ปลูกภายใต้กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางใบและกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน ในทางตรงกันข้ามพบว่าข้าวที่ปลูกในแปลงสันทรายภายใต้กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทั้งทางดินและทางใบส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งฟางต่ำกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโบรอน 17 เปอร์เซ็นต์และ 9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ไม่พบความแตกต่างของดัชนีการเก็บเกี่ยวภายใต้การจัดการปุ๋ยโบรอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่พบสถานที่ปลูกมีผลต่อความแตกต่างของดัชนีการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ **(Table 1)** โดยพบว่า ดัชนีการเก็บเกี่ยวในข้าวที่ปลูกในแปลงสันทราย มีค่าสูงกว่าข้าวที่ปลูกในแปลง มช.เท่ากับ 9 เปอร์เซ็นต์

Table 1 Grain yield, straw dry weight and harvest index of Sanpatong 1 rice variety grown at CMU and San Sai under different treatment of boron fertilizers

Location	Treatment	Grain Yield (ton ha^{-1})	Straw dry weight (ton ha^{-1})	Harvest index
CMU	Control	4.5	4.2 cd	0.48
	Soil B	4.8	4.9 a	0.46
	Foliar B	4.1	4.4 bc	0.45
San Sai	Control	5.3	4.7 ab	0.50
	Soil B	5.0	3.9 d	0.52
	Foliar B	4.9	4.3 c	0.50
Mean	CMU	4.4 B	4.5	0.46 B
	San Sai	5.1 A	4.3	0.50 A
	Control	4.9	4.5	0.49
	Soil B	4.9	4.4	0.49
	Foliar B	4.5	4.3	0.47
F-test	Location (L)	***	ns	***
	Treatment (T)	ns	ns	ns
	L×T	ns	***	ns
	$LSD_{0.05}$ (L)	0.2	-	0.02
	$LSD_{0.05}$ (T)	-	-	-
	$LSD_{0.05}$ (L×T)	-	0.2	-

*, ** and *** = Significantly different at P<0.05, P<0.01 and P<0.001, respectively; ns = Non significant; Means in each column followed by different letters indicate significant differences using least significant difference (LSD) at P<0.05

องค์ประกอบผลผลิต

พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกรรมวิธีการจัดการปุ๋ยโบรอนและสถานที่ปลูกต่อจำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ **(Table 2)** โดยพบว่า ข้าวที่ปลูกในแปลง มช. ภายใต้กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางใบส่งผลให้ข้าวมีจำนวนหน่อต่อกอเพิ่มขึ้น 13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน ในขณะที่กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินไม่พบว่ามีความแตกต่างกันของจำนวนหน่อต่อกอเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโบรอน ในทางตรงกันข้ามกับการตอบสนองของข้าวที่ปลูกในแปลงสันทราย โดยพบว่า กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินและทางใบส่งผลให้ข้าวมีจำนวนหน่อต่อกอลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโบรอน ในส่วนของจำนวนรวงต่อกอ พบว่า ข้าวที่ปลูกในแปลง มช. ภายใต้กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางใบมีจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน ในขณะเดียวกันข้าวที่ปลูกในแปลงสันทรายพบว่า กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินและทางใบมีจำนวนรวงต่อกอไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโบรอน นอกจากนี้กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทั้งทางดินและทางใบส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในแปลง มช. มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน ในขณะเดียวกันไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีภายใต้การจัดการปุ๋ยโบรอนที่แตกต่างกัน

การจัดการปุ๋ยโบรอนและสถานที่ปลูกไม่มีผลต่อความแตกต่างกันของน้ำหนักเมล็ดและความยาวรวงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบความสูงต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้การจัดการปุ๋ยโบรอนที่แตกต่างกัน **(Table 2)** โดยพบว่า กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยทางดินส่งผลให้ข้าวมีความสูงต้นลดลงเมื่อเทียบกับข้าวที่ปลูกแบบไม่มีการใส่ปุ๋ยโบรอน แต่ไม่พบความแตกต่างกันของความสูงต้นระหว่างข้าวที่ปลูกภายใต้กรรมวิธีการใส่โบรอนทางใบและกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยโบรอน

Table 2 Yield components of Sanpatong 1 rice variety grown at CMU and San Sai under different treatment of boron fertilizers

Location	Treatment	Tillers plant^{-1}	Panicles plant^{-1}	Filled grain (%)	1,000 grains weight (g)	Panicle length (cm)	Culm length (cm)
CMU	Control	14.3 b	13.6 bc	78.3 c	30.4	25.7	70.7
	Soil B	14.3 b	13.8 b	82.5 b	30.8	26.0	70.3
	Foliar B	16.2 a	15.7 a	82.3 b	30.7	25.5	72.8
San Sai	Control	14.3 b	13.1 bcd	90.9 a	31.3	26.3	71.7
	Soil B	12.7 c	12.5 d	89.3 a	31.0	25.8	66.4
	Foliar B	13.0 c	12.8 cd	89.0 a	31.2	26.5	71.4
Mean	CMU	14.9 A	14.4 A	81.1 B	30.6	25.8	71.3
	San Sai	13.3 B	12.8 B	89.7 A	31.2	26.2	69.8
	Control	14.3 *a*	13.3 *b*	84.6	30.9	26.0	71.2 *a*
	Soil B	13.5 *b*	13.2 *b*	85.9	30.9	26.0	68.3 *b*
	Foliar B	14.6 *a*	14.2 *a*	85.6	31.0	25.9	72.1 *a*
F-test	Location (L)	***	***	***	ns	ns	ns
	Treatment (T)	**	*	ns	ns	ns	**
	L×T	***	**	*	ns	ns	ns
	$LSD_{0.05}$ (L)	0.4	0.6	1.9	-	-	-
	$LSD_{0.05}$ (T)	0.7	0.7	-	-	-	2.0
	LSD0.05 (L×T)	1.0	1.0	3.0	-	-	-

*, ** and *** = Significantly different at P<0.05, P<0.01 and P<0.001, respectively; ns = Non significant; Means in each column followed by different letters indicate significant differences using least significant difference (LSD) at P<0.05

วิจารณ์

ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนในนาข้าวทั้งรูปแบบทางดินและทางใบไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ทั้งสองแปลงปลูกที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และสันทราย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย โบรอนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืช พบรายงานว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตของโบรอนในดินสำหรับการปลูกข้าวมีค่า 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (Debnath et al., 2009) โดยดินในแปลงที่ทำการทดลองมีความเข้มข้นของโบรอนที่ 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินที่แปลงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินที่แปลงสันทราย ซึ่งต่ำกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤต โบรอนจึงอาจเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโตของข้าวในทั้ง 2 พื้นที่ปลูก อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยโบรอนทั้งสองแบบไม่มีผลทำให้ผลผลิตในข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปุ๋ยโบรอนที่ใส่ในดินและการให้ทางใบอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพียงพอหรือไม่ ในการทดลองนี้ไม่ได้วัดค่าความเป็น

ประโยชน์ของโบรอนหลังจากที่ใส่ลงไปในดินที่มีความแตกต่างของความเป็นกรดด่างทั้งสองพื้นที่และน่าจะส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินต่อพืช นอกจากนี้เป็นไปได้ว่าช่วงระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยโบรอนน่าจะมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของข้าว การทดลองนี้ใส่ปุ๋ยโบรอนครั้งเดียวเป็นปุ๋ยรองพื้นตั้งแต่ก่อนการย้ายกล้าปลูกในแปลง งานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินในรูปของปุ๋ยบอแรกซ์ในระยะออกดอก มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตเมล็ดมากกว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนในระยะก่อนปลูกและระยะแตกกอ และข้าวที่ใส่โบรอนในระยะออกดอกมีศักยภาพในการสร้างจำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในระยะรองพื้น (Mubshar et al., 2012) ผลจากการทดลองดังกล่าวอาจต้องทำการทดลองในอนาคตเพื่อกำหนดระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยโบรอนในข้าวในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอย่างละเอียดอีกครั้ง

นอกจากนี้รูปแบบของการใส่ปุ๋ยโบรอนในข้าวที่อาจเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของข้าว การทดลองนี้พบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนทางใบไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเมล็ดในข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 เช่นเดียวกับการใส่ทางดิน ซึ่งตรงกันข้ามกับ Rehman et al. (2014) ที่รายงานว่า การใช้โบรอนทางใบในข้าวในระยะกล้าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาการขาดธาตุโบรอนในข้าว โดยส่งผลทำให้ข้าวมีผลผลิตมากขึ้น เนื่องจากข้าวมีการแตกกอและน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นจากการเคลื่อนย้ายโบรอนจากใบมาใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้พบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนโดยการพ่นทางใบให้กับข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่แปลงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทำให้องค์ประกอบผลผลิตในส่วนของจำนวนหน่อต่อกอและจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบการตอบสนองดังกล่าวที่แปลงสันทราย เป็นไปได้ว่าการตอบสนองดังกล่าวมีความแปรปรวนไปตามพื้นที่ ที่อาจมีความแตกต่างในเรื่องของความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งการสร้างจำนวนหน่อ และจำนวนรวงที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะการพ่นโบรอนทางใบในระยะการเจริญเติบโตที่เหมาะสมคือระยะออกดอกและระยะน้ำนม เนื่องจากมีรายงานว่าดินที่ขาดธาตุโบรอนทำให้ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ เกิดการเป็นหมันรวงลีบ ไม่ติดเมล็ด และผลผลิตต่ำ โดยเมื่อมีการเพิ่มระดับธาตุโบรอนทำให้ดัชนีการติดเมล็ดเพิ่มขึ้น (จำเนียร, 2544) ดังนั้น ในระยะที่ต้นข้าวกำลังออกดอก ผสมเกสรและเติมเมล็ด อาจเป็นระยะที่เหมาะสมในการเติมโบรอนให้กับข้าวอีกครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เห็นผลการพ่นปุ๋ยโบรอนทางใบในการสร้างผลผลิตเมล็ดในข้าวต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินและการพ่นปุ๋ยทางใบทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มขึ้นในข้าวที่ปลูกแปลงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่แต่ไม่พบในแปลงที่สันทราย สอดคล้องกับงานทดลองของ Cheng et al. (1993) รายงานว่า โบรอนมีความจำเป็นต่อขั้นตอนการงอกของละอองเรณูและการเจริญของหลอดละอองเรณูในข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ ซึ่งการขาดโบรอนทำให้เกิดความล้มเหลวในการปฏิสนธิที่เกิดจากเกสรตัวผู้ไม่พัฒนา หลอดเรณูจะมีลักษณะผิดปกติ ในขณะเดียวกันอาการขาดโบรอนในข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์จะแสดงออกในลักษณะการที่รวงเป็นหมัน สามารถสังเกตได้ในหลังระยะดอกผสมเกสร โดยพบว่ารวงมีลักษณะโปร่งใส เกสรตัวผู้ฝ่อ และหลังจากนั้นรวงจะลีบไม่ติดเมล็ด เนื่องจากไม่มีการผสมเกสร ซึ่งเป็นผลมาจากพัฒนาการของละอองเรณูล้มเหลว (เบญจวรรณ และศันสนีย์, 2532; Rerkasem et al., 1997) เนื่องจากโบรอนมีส่วนช่วยในการพัฒนาของละอองเรณูในระยะผสมเกสรให้สมบูรณ์ ช่วยให้ช่อดอกมีความอุดมสมบูรณ์ ไม่เป็นหมัน ส่งผลทำให้รวงติดเมล็ดมาก (Rashid et al., 2004) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนอาจมีผลทำให้ส่งเสริมการเพิ่มจำนวนหน่อ จำนวนรวงและความมีชีวิตและความสมบูรณ์ของเกสรตัวผู้ในระยะสืบพันธุ์ ในข้าวได้ แต่อาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละพื้นที่ปลูก ในขณะที่งานวิจัยในข้าวเกี่ยวกับลักษณะความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของเกสรตัวผู้ต่อเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดภายใต้การจัดการปุ๋ยโบรอนยังไม่มีการศึกษามากนักเมื่อเทียบกับพืชเมืองหนาวอย่างข้าวสาลีและบาร์เล่ย์ ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในข้าวเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการจัดการปุ๋ยโบรอนในข้าวเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตต่อไป

ความแตกต่างในการตอบสนองต่อปุ๋ยโบรอนของแปลงปลูกข้าวทั้งสองแหล่ง โดยพบว่าข้าวที่ปลูกในแปลงสันทรายมีจำนวนหน่อต่อกอลดลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดิน ในขณะที่ไม่พบการลดลงในข้าวที่ปลูกในแปลง มช. ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ลักษณะดินและสมบัติทางเคมีของดินที่แตกต่างกันระหว่างดินสองแปลงมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินและการดูดนำโบรอนไปใช้ของข้าว โดยมีรายงานระบุว่า ดินที่มีโครงสร้างของเนื้อดินหยาบจะมีโบรอนในดินทั้งหมดและโบรอนในรูปที่ละลายได้ในน้ำต่ำกว่าดินที่มีโครงสร้างของดินเนื้อละเอียด ดังนั้น ดินที่มีโครงสร้างของเนื้อดินหยาบจึงพบปัญหาการขาดโบรอนอยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากการถูกชะล้างของโบรอน (Wilson et al., 1951; Ouelltte, 1958) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yermiyahu et al. (2001) และ Gupta (2016) ที่

พบว่าดินเนื้อละเอียดมีโบรอนมากกว่าดินเนื้อหยาบ โดยความเข้มข้นของโบรอนในดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อละเอียดจะดูดซับโบรอนได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ ดังนั้น มักพบว่าพืชที่ปลูกในดินทรายจะแสดงอาการขาดโบรอนได้ง่าย ในขณะเดียวกันความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินอาจลดลงเนื่องจาก กรดบอริกเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำได้บอเรตไอออนซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีประจุจะถูกดูดยึดโดยอนุภาคในดินทำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (Mengel และ Kirkby, 2001) ดินที่ปลูกทั้งสองแปลงในการทดลองนี้มีค่าความเป็นกรดด่างในดินที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดิน โดยพบว่าดินที่มีค่าความเป็นด่างสูง ความเป็นประโยชน์ของโบรอนต่อการดูดไปใช้ของพืชก็จะน้อยลง (Tyler และ Olsson, 2001) ซึ่งจากงานทดลองนี้พบว่า แปลงปลูกมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีค่าความเป็นกรดด่างของดินสูงกว่าแปลงสันทราย จึงส่งผลให้การตอบสนองของโบรอนต่อการสร้างผลผลิตในข้าวที่ปลูกในแปลงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าแปลงสันทรายที่มีค่าความเป็นกรดด่างที่ระดับปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่า ความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสที่มีความแตกต่างกันของทั้งสองแปลงปลูกน่าจะมีผลต่อน้ำหนักแห้งฟาง จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ของทั้งสองแปลงปลูกอีกด้วย ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นอันดับสองรองจากไนโตรเจน ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช (Brady และ Weil., 2008) การทำงานร่วมกันระหว่างโบรอนและฟอสฟอรัส สังเกตเห็นได้จากปัจจัยหลายประการของการขาดฟอสฟอรัส สนับสนุนการทดลองของ Nelyubova และ Sychev (1959) ที่พบว่าการขาดฟอสฟอรัสอาจชะลอการดูดใช้โบรอนในต้นพืช ซึ่งเกิดจากการลดความเข้มข้นของ DNA และ RNA ในการขาดฟอสฟอรัสจะมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อทั้งโบรอนและฟอสฟอรัสขาดร่วมกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากฟอสฟอรัสเป็นส่วนหนึ่งของนิวคลีโอไทด์ (Bould, 1983; Hundt et al., 1970) ซึ่งสร้างกรดนิวคลีอิก และโบรอนจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ส่วนประกอบบางอย่างของกรดนิวคลีอิก และการขาดมีส่วนเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายของกรดนิวคลีอิก (Kevresan et al., 1971; Dugger., 1983) การลดลงของกรดนิวคลีอิกในการขาดโบรอนและฟอสฟอรัสร่วมกันอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) และการลดลงใน RNA จะทำให้เกิดการลดลงของโปรตีนซึ่งจะนำไปสู่การเจริญเติบโต และการลดลงของน้ำหนักแห้ง (Hewitt, 1983) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bonilla et al. (2004) ที่รายงานว่าอัตราที่เพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสและโบรอนจะเกี่ยวข้องกับ ความสูงต้น จำนวนหน่อต่อกอ ความยาวรวง และจำนวนรวงต่อกอของข้าว อย่างไรก็ตาม ผลกระทบของโบรอนมีมากที่สุด เมื่อระดับฟอสฟอรัสต่ำเมื่อเทียบกับระดับฟอสฟอรัสปานกลางและสูง ในทำนองเดียวกัน Kabir et al. (2556) มีรายงานว่าการใช้ฟอสฟอรัสร่วมกับโบรอนช่วยเพิ่มความสูง และเพิ่มจำนวนต้นในถั่วลิสง โดยฟอสฟอรัสช่วยให้ความสูงของพืชเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น จึงส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (El-Habbasha et al., 2007) นอกจากนี้โบรอนยังจำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชและความสูงของพืชเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Camacho-Cristóbal et al., 2015) งานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าการใช้ฟอสฟอรัส และโบรอนร่วมกันช่วยเพิ่มการเติบโตผลผลิตและคุณภาพของพืชไร่ชนิดต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (Huang et al., 2012; Kabir et al., 2013; Chowdhury et al., 2015; Muhlbachova et al., 2017) สอดคล้องกับการทดลองของ Muhammad et al. (2018) พบว่าผลการใช้โบรอนและฟอสฟอรัสร่วมกันมีความเด่นชัดที่สุด โดยการใส่ฟอสฟอรัสในอัตรา 90 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ ใส่โบรอนในอัตรา 1.5 กิโลกรัมโบรอนต่อเฮกตาร์ เป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของพืช การสะสมสารอาหาร และผลผลิตของเมล็ดข้าวสาลี นอกจากนี้อัตราปุ๋ยโบรอนที่เหมาะสมอาจเป็นตัวกำหนดต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในการเพิ่มผลผลิตในข้าว จากงานทดลองการตอบสนองของปุ๋ยโบรอนในอัตราที่แตกต่างกันในข้าว โดยพบว่า ข้าวมีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยโบรอนอยู่ระหว่าง 0.5 - 1.0 ปอนด์ต่อเอเคอร์ (0.55 - 1.1 กิโลกรัมโบรอนต่อเฮกตาร์) ทำให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Dunn et al., 2005) จากเหตุผลดังกล่าวอาจเป็นไปได้ว่า แปลงที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีเนื้อดินหยาบกว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนที่ 3 กิโลกรัมต่อเฮคตาร์ ไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว เนื่องจากโบรอนที่ใส่ทางดินบางส่วนอาจถูกชะล้างไป ในขณะที่ดินในแปลงสันทรายที่มีเนื้อดินละเอียดกว่าสามารถดูดซับโบรอนในดินได้ดี อาจส่งผลให้ดินมีปริมาณโบรอนมากเกินความจำเป็นจึงส่งผลให้มีจำนวนหน่อต่อกอลดลงได้ สำหรับความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินต่อพืชจากอิทธิพลของคุณสมบัติดินและความเข้มข้นของธาตุอาหารอื่น ๆ ที่กล่าวข้างต้น เช่น ความเป็นกรดดางและความเข้มข้นของฟอสฟอรัส อาจจะต้องทำการทดลองโดยการแยกปัจจัยเดี่ยวๆ อีกครั้ง เพื่อยืนยันผลต่อการสร้างผลผลิตของข้าว นอกจากนี้ การวิเคราะห์โบรอนในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชอาจเป็นแนวทางในการบ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดใช้ การสะสม และการปันส่วนไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวได้ ดังนั้น การใส่ปุ๋ยโบรอนที่เหมาะสมในการปลูกข้าวจึงควรพิจารณาจากชนิดดินที่

ปลูก ปริมาณโบรอนที่สะสมอยู่ในดินก่อนทำการเพาะปลูกพืช ชนิดของปุ๋ยโบรอน รูปแบบของการใส่ปุ๋ย และระยะการเจริญเติบโตของข้าว

สรุป

จากการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยโบรอนในนาข้าวทั้งรูปแบบทางดินและทางใบไม่มีผลต่อผลผลิตเมล็ดของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ทั้งสองแปลงปลูกที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และแปลงสันทราย ชี้ให้เห็นว่าแม้โบรอนจะเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ความเป็นประโยชน์ของโบรอนต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของข้าวอาจมีปัจจัยที่ควบคุมหลายอย่าง เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดินและสมบัติต่าง ๆ ของดิน นอกจากนี้ ยังพบการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยโบรอนต่อองค์ประกอบผลผลิตที่แตกต่างกันในทั้งสองพื้นที่ปลูก พบว่าวิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนด้วยการพ่นทางใบให้กับข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในแปลงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีจำนวนหน่อต่อกอและจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้นแม้จะไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตเมล็ด แต่ในทางตรงกันข้ามกับการตอบสนองของข้าวที่ปลูกในแปลงสันทราย โดยพบว่า วิธีการใส่ปุ๋ยโบรอนทางดินและทางใบส่งผลให้ข้าวมีจำนวนหน่อต่อกอลดลง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใส่ปุ๋ยโบรอนไม่ได้มีผลต่อการเพิ่มของผลผลิตเมล็ดได้อย่างชัดเจน แต่การใส่ปุ๋ยโบรอนทั้งทางดินและทางใบสามารถช่วยเพิ่มจำนวนเมล็ดดีต่อรวง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวที่ปลูกในแปลงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แต่ทั้งนี้ไม่พบการตอบสนองดังกล่าวในแปลงที่สันทราย จากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ผลการตอบสนองโบรอนในดินแปลงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีปริมาณโบรอนในดินต่ำและเนื้อดินหยาบ ทำให้ข้าวตอบสนองโบรอนได้ดี ในขณะดินแปลงสันทรายที่มีเนื้อดินละเอียดสามารถดูดซับโบรอนในดินได้ดี แต่กลับพบว่าการใส่โบรอนลงไปมีผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตลดลง ซึ่งความแตกต่างในการตอบสนองต่อการจัดการปุ๋ยโบรอนทั้งสองพื้นที่ปลูกยืนยันได้ว่าความแตกต่างของพื้นที่ปลูกมีหลายปัจจัย เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งในด้านกายภาพและเคมี รวมถึงความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศ มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินและพืช การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโบรอนในเนื้อเยื่อพืชและดินอย่างละเอียดน่าจะสามารถอธิบายความแตกต่างในการตอบสนองได้มากขึ้นและสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดการปุ๋ยโบรอนเพื่อประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

จำเนียร วงษ์โม้. 2544. การเปรียบเทียบการตอบสนองต่อธาตุโบรอนในข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และศันสนีย์ จำจด. 2532. การแก้ปัญหารวงลีบเนื่องจากการธาตุโบรอนในข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์. วารสารดินและปุ๋ย. 11: 200-209.

Bonilla, I., A. El-Hamdaoui, and L. Bolaños. 2004. Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development undersalt stress. Plant and Soil. 267: 97–107.

Bould, C., E. Hewitt, and P. Needham. 1983. Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Vol. 1, Principles. Her Majesty's Stationery Office, London.

Brady, N.C., and R.R. Weil, .2008. The Nature and Properties of Soils. 14th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Brown, P.H., N. Bellaloui, M.A. Wimmer, E.S. Bassil, J. Ruiz, H. Hu, H. Pfeffer, F. Dannel, and V. Römheld. 2002. Boron in plant biology. Plant Biology. 4: 211–229.

Caffall, K.H., and D. Mohnen. 2009. The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. Carbohydrate Research. 344: 1879–1900.

Cakmak, I., and V. Römheld. 1997. Boron deficiency induced impairments of cellular functions in plants. Plant and Soil. 193: 71–83.

Camacho-Cristóbal, J.J., E.M. Martín-Rejano, M.B. Herrera-Rodríguez, M.T. Navarro-Gochicoa, J. Rexach, and A. González-Fontes. 2015. Boron deficiency inhibits root cell elongation via an ethylene/auxin/ROS-dependent pathway in Arabidopsis seedlings. Journal of Experimental Botany. 66(13): 3831-3840.

Cheng, C.H., and B. Rerkasem. 1993. Effects of boron on pollen viability in wheat. Plant and Soil. 155/156: 313–315.

Chowdhury, S.Z., M.A. Sobahan, A.H.M. Shamim, N. Akter, and M.M. Hossain. 2015. Interaction effect of phosphorus and boron on yield and quality of lettuce. Azarian Journal of Agriculture. 2(6): 147-154.

Debnath, P., and K. Ghosh. 2009. Distribution of available boron in relation to physico-chemical properties in the selected surface and sub-surface soils of alluvial zone of West Bengal. Environment and Ecology. 27: 139-142.

Dugger, W.M. 1983. Boron in plant metabolism. pp: 626–650. In: Laèuchli A, BieleskiRL (eds) In organic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology. Springer, Berlin.

Dunn, D., G. Stevens, and A. Kendig. 2005. Boron fertilization of rice with soil and foliar applications. Online. Crop Management. 4(1): 1-7.

El-Habbasha, S.F., M. Hozayn, and A. Khalafallah. 2007. Integration effect between phosphorus levels and biofertilizers on quality and quantity yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in newly cultivated sandy soils. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 3: 966-971.

Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2003. Methodology for evaluation of lowland rice genotypes for nitrogen use efficiency. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 26: 1315–1333.

Gowri, S. 2005. Physiological studies on aerobic rice (*Oryza sativa* L.). M.Sc. Thesis, Tamil Nadu Agriculture University, Coimbatore, India.

Gupta, U.C. 1979. Boron nutrition of crops. Advances in Agronomy. 31: 273–307.

Gupta, U.C. 2016. Handbook of Plant Nutrition. Available: https://www.routledgehandbooks.com. Accessed Sep. 26, 2018.

Huang, Y.F., L.B. Huang, X.L. Yan, and H. Lia. 2012. Effects of phosphorus and boron coupled deficiency on soybean growth, phosphorus, boron uptake and the genetic variations. Journal of South China Agricultural University. 33: 129-134.

Hundt, I., G. Schilling, F. Fischer, and W. Bergmann. 1970. In vestigations on the influence of micronutrient boron on nucleic acid metabolism. In German. Thaer-Arch. 14: 725-737.

Kabir, R., S. Yeasmin, A.K.M.M. Islam, and M.A.R. Sarkar. 2013. Effect of phosphorus, calcium and boron on the growth and yield of groundnut (Arachis hypogea L.). International Journal of Bio-Science Bio-Technology 5(3): 51-59.

Kevresan, S., S. Grujic, R. Kastori, and T. Kandrac. 1977. Study of the ratio of some groups of nucleic acids in relation to boron nutrition. Zemljiste Blljke. 26: 57-64.

Marschner, H. 2002. 8 - Functions of Mineral Nutrients: Macronutrients. pp: 229-312. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Second Edition). Academic Press, San Diego.

Mengel, K., and E.A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition, 5th Ed., Kluwer Academic, Dordrecht.

Mubshar, H., K. Ayaz, K. Bismillah, F. Muhammad, and F. Shahid. 2012. Boron Application Improves Growth, Yield and Net Economic Return of Rice. Rice Science. 19(3): 259-262.

Muhammad, A. I., Q. Xiang, X. Liao, D. Liu, and T. Ding. 2018. Understanding the impact of nonthermal plasma on food constituents and microstructure — A review. Food and Bioprocess Technology. 11(3): 463– 486.

Muhlbachova, G., P. Cermak, R. Vavera, M. Kas, M. Pechova, K. Markova, H. Kusa, P. Ruzek, J. Hlusek, and T. Losak. 2017. Boron availability and uptake under increasing phosphorus rates in a pot experiment. Plant Soil and Environment. 63(11): 483-490.

Nieuwenhuis, J., B.A.M. Bouman, and A. Castaneda. 2000. Crop–water re-sponses of aerobically grown rice, preliminary results of pot experiments. In: Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban PS,Tuong TP, Ladha JK (eds) Water wise rice production. pp: 177–186. Proceedings of a thematic workshop on water-wise rice production. 8–11 April 2002. IRRI Headquarters in Los Banos, Philippines.

Pandey, S., and L.E. Velasco. 1999. Economics of alternative rice establishment methods in Asia: a strategic analysis. Discussion Paper, Social Sciences Division Discussion Paper, International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines

Rashid, A., S. Muhammad, and E. Rafique. 2002. Genotypic variation in boron uptake and utilization in rice and wheat. pp: 305-310. In: Goldbach H E, Rerkasem B, Wimmer M A, Brown P H, Thellier M, Bell R W. All Aspects of Plant and Animal Boron Nutrition. Kluwer and Plenum Academic Publishers.

Rashid, A., M. Yaseen, M. Ashraf, and R.A. Mann. 2004. Boron deficiency in calcareous soils reduces rice yield and impairs grain quality. International Rice Research Notes. 29: 58-60.

Rashid, A., M. Yasin, M.A. Ali, Z. Ahmad, and R. Ullah. 2007. An alarming boron deficiency in calcareous rice soils of Pakistan: boron use improves yield and cooking quality. pp: 103–116. In: Xu F (ed) Advances in plant and animal boron nutrition. Proc 3rd international symposium on all aspects of plant and animal boron nutrition, Wuhan, China, 9–13 Sep. 2005. Springer, Dordrecht.

Rehman, A., M. Farooq, Z.A. Cheema, A. Nawaz, and A. Wahid. 2014. Foliage applied boron improves the panicle fertility, yield and biofortification of fine grain aromatic rice. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 14: 723–733.

Reid, R.J., J.E. Hayes, A. Post, J.C.R. Stangoulis, and R.D. Graham. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. Plant, Cell and Environment. 27: 1405–1414.

Rerkasem, B., R.W. Bell, S. Lordkaew, and J.F. Loneragan. 1997. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max* L. Merr.). Nutrient Cycling in Agroecosystems. 48: 217–223.

Rerkasem, B., and S. Jamjod. 1997. Genotypic variation in crop response to low boron and implication for plant breeding. Plant Soil. 193: 169-180.

Shah, J.A., M.Y. Memon, M. Aslam, D. Nizamuddin, N.A. Sial, and P. Khan. 2011. Response of two rice varieties viz., khushboo-95 and mehak to different levels of boron. Pakistan Journal of Botany. 43: 1021–1031.

Sharma, K.R., P.C. Srivastava, P. Srivastava, V.P. Singh. 2006. Effect of farmyard manure application on boron adsorption–desorption characteristics of some soils. Chemosphere. 65: 769–777.

Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. Plant and Soil. 193: 121–148.

Warington, K. 1933. The influence of length of day on the response of plants to boron. American Journal of Botany. 47: 429.

Wilson, C.M., R.L. Lovvom, and J.R. Woodhouse. 1951. Movement and accumulation of water-soluble boron within the soil profile. Agronomy Journal. 43: 363-367.