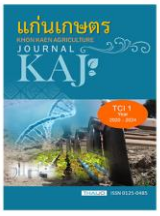
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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



ผลของชนิดปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปลูกในสภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำ

Effects of potassium fertilizer source on grain yield and yield components of Chai Nat 1 grown under flooded and non-flooded conditions

เอกพันธ์ แซ่ย่าง[1], สุภาภรณ์ ญะเมืองมอญ[1] และ ชนากานต์ พรมอุทัย[1]*

Akkaphan Saeyang[1], Supapohn Yamuangmorn[1] and Chanakan Prom-u-Thai[1]*

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

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

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

Received: date; April 17, 2020 Accepted: date; July 16, 2020 Published: date February 15, 2021

บทคัดย่อ: พื้นที่ดินส่วนใหญ่ที่เหมาะกับการเพาะปลูกพืชมีปัญหาการขาดโพแทสเซียม (K) เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ปุ๋ยโพแทสเซียมจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพาะปลูกและเพิ่มผลผลิตข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของชนิดปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปลูกในสภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4x2 factorial (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ปลูกข้าวในบ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยปัจจัย A คือปุ๋ยโพแทสเซียม จำนวน 4 ชนิดคือ 1. MOP 2. POLY4 3. MOP ร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate; AS) 4. MOP ร่วมกับ POLY4 และปัจจัย B คือ สภาพการให้น้ำ 2 ระดับคือการปลูกข้าวในสภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำ พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP ร่วมกับ AS ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวและน้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้น 31% และ 22% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (กรรมวิธีควบคุม) แต่ไม่พบความแตกต่างในกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยชนิดอื่น และพบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้ข้าวมีจำนวนหน่อต่อกอและจำนวนรวงต่อต้นมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ยกเว้นการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP เพียงชนิดเดียวเท่านั้น นอกจากนี้สภาพการปลูกแบบน้ำขังทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวและน้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้นมากกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำ 23% และ 24% ตามลำดับ นอกจากนี้การปลูกแบบน้ำขังทำให้ข้าวมีความสูงของต้น จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำ แม้ว่าการทดลองนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างชนิดปุ๋ยโพแทสเซียมกับสภาพการให้น้ำ แต่ในการเพิ่มผลผลิตข้าวโดยการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมจำเป็นต้องคำนึงถึงชนิดปุ๋ยโพแทสเซียมและการจัดการน้ำในนาข้าวด้วย

คำสำคัญ: ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1; ผลผลิต; องค์ประกอบผลผลิต; ปุ๋ยโพแทสเซียม

ABSTRACT: The large agricultural area is getting a high risk of potassium (K) deficiency. Supplying K fertilizer to the soil has become important management in rice production. The objective of this study was to determine the effects of potassium fertilizer source on grain yield and yield components of Chai Nat 1 rice variety grown under different water conditions. The 4x2 factorial in completely randomized design (CRD) with 4 replications was arranged for this study. Rice is grown in the cement pot with the five sources of K fertilizer under flooded and non-flooded conditions. Applying K fertilizer in the form of MOP + AS increased grain yield and straw dry weight by 31% and 22%, respectively compared with no K fertilizer (control treatment), while no significant difference in the other K sources were found. Application of K fertilizer in all treatments resulted in the higher number of tillers per hill and panicles per plant than no K application, except in MOP fertilizer. Rice grown under the flooded condition had 23% and 24% grain yield and straw dry weight higher than that of non-flooded treatment, respectively. Similarly, the higher culm length, number of tillers per hill, number of spikelets per panicle and 1,000 grain weight were found in rice grown under the flooded condition. Even though, the interaction effects between K source and water conditions was not found in this study, but the source of K and water management should be carefully considered when dealing with K management in order to improve grain yield in rice production.

Keywords: Chai Nat 1 rice; yield; yield components; potassium

บทนำ

ประชากรในโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่า 40% โดยเฉพาะในเอเชีย แอฟริกา อเมริกาใต้ และออสเตรเลีย (Yoshida, 1981; Mohammad, 1999) ดังนั้นการผลิตข้าวที่เป็นพืชอาหารหลักของประชากรโลกให้เพียงพอต่อจำนวนประชากรที่ยังคงมีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่องจึงต้องใช้ปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยในปริมาณมากขึ้นเพื่อเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้น เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นหลักในการรักษาเสถียรภาพของผลผลิตข้าว ในขณะที่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่เป็นธาตุอาหารหลักเช่นเดียวกันกลับไม่ถูกนำมาใช้หรือใช้ในอัตราต่ำเมื่อเทียบกับปุ๋ยสองชนิดแรก และเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้โพแทสเซียมในดินขาดความสมดุลกับธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ (Dobermann et al., 1996; Singh et al., 2002) โดยการลดลงของโพแทสเซียมในดินส่งผลทำให้โพแทสเซียมเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโตของพืชและมีการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารอื่น ๆ ลดลง มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตและท้ายสุดส่งผลให้พื้นที่ทำการเกษตรมีปัญหาการขาดโพแทสเซียมในดินตามไปด้วย ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงต่อความมั่นคงทางอาหารในอนาคต (Cakmak, 2010) จากรายงานในประเทศจีนพบว่า พื้นที่เพาะปลูกพืชทั่วไป 23% และพื้นที่ปลูกข้าว 70% เกิดปัญหาการขาดโพแทสเซียมในดิน (Yang et al., 2004) สอดคล้องกับการรายงานของ Kemmler (1980) ที่รายงานว่าพื้นที่ปลูกข้าวในทวีปเอเชียขาดโพแทสเซียมในดินเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในประเทศบังกลาเทศ กัมพูชา ศรีลังกา และรวมถึงประเทศไทย ซึ่งในประเทศไทยมีพื้นที่ในการทำนาประมาณ 68.7 ล้านไร่ แบ่งออกเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 41.7 ล้านไร่ ภาคเหนือ 15.8 ล้านไร่ ภาคกลาง 10.2 ล้านไร่ และภาคใต้ 1 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั่วประเทศทั้งหมด 73,306 จุด แสดงให้เห็นว่าดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (>90 มก./กก.) พบกระจายในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง ตลอดจนพื้นที่ปากพนังในภาคใต้ และพื้นที่ลุ่มจังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากเป็นดินเหนียวที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่พัดพามากับน้ำ พื้นที่ดังกล่าวจึงเหมาะ

ต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการปลูกข้าวเป็นหลัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) โดยทั่วไปคำแนะนำในการใช้ปุ๋ยสำหรับข้าวที่ปลูกในบริเวณที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง มีการแนะนำปุ๋ยสูตรที่ไม่มีโพแทสเซียมหรือมีโพแทสเซียมต่ำ เช่น สูตร 16-20-0 หรือ 16-16-8 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) แต่เนื่องจากการปลูกข้าวอย่างเข้มข้นต่อเนื่องและไม่ได้ทดแทนธาตุนี้ให้แก่ดินนา รวมถึงการเผาฟาง โดยเฉพาะในพื้นที่ดินแห้งและมีลมแรง เป็นสาเหตุที่ทำให้สูญเสียโพแทสเซียมไปจากดินโดยไม่ได้รับการชดเชย ซึ่งพบว่า พื้นที่บางส่วนที่เป็นพื้นที่ปลูกข้าวในภาคกลางเริ่มแสดงให้เห็นถึงปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลางถึงต่ำ เช่นในบริเวณจังหวัดสิงห์บุรี ชัยนาท พิจิตร และพิษณุโลก เป็นต้น (พิสิฐ, 2544; กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (<60 มก./กก.) พบกระจายสูงสุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นดินร่วนปนทรายที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินมาจากหินทรายที่มีแร่โพแทสเซียมและความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียมต่ำ ส่วนภาคใต้พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการชะละลายอย่างรุนแรงจากปริมาณน้ำฝนและเป็นดินที่มีพัฒนาการสูง ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) นอกจากนี้มีข้อมูลเพิ่มเติมจากการศึกษาของนพรัตน์และคณะ (2541) พบว่า ดินนาภาคเหนือตอนบนส่วนใหญ่เป็นดินร่วนและดินทรายที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกัน คืออยู่ระหว่าง 14 - 44 มก./กก. ดังนั้นการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินร่วนและดินทรายจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากต่อการเพิ่มผลิตข้าวมากกว่าดินชนิดอื่น

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญ มีส่วนช่วยให้พืชเจริญเติบโตและพัฒนา รักษาสมดุลของเอนไซม์และ ควบคุมแรงดันต่าง ๆ ในเซลล์พืช (Marschner, 1995) การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 3 - 20 % เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (Zhang et al., 2010) จากการศึกษาของ หรรษาและคณะ (2540) พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 16 กก. K_2O/ไร่ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 23 สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม เนื่องจากการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีผลทำให้ต้นข้าวมีจำนวนรวง จำนวนเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวต้องคำนึงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวแต่ละแห่งมีความสามารถในการให้ผลผลิตไม่เท่ากัน รวมถึงพันธุ์ข้าวและวิธีการจัดการดูแลของเกษตรกรด้วย โดยทั่วไปชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับการผลิตพืชมีหลายชนิด เช่น Muriate of potash (MOP) หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมซัลเฟต (SOP หรือ K_2SO_4) โพแทสเซียมแมกนีเซียมซัลเฟต (SOPM หรือ $K_2SO_4.2MgSO_4$) และโพลีฮาไลต์ (polyhalite; POLY4) ที่เป็นแร่ไฮเดรตซัลเฟตที่ประกอบไปด้วยธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ (Mello et al., 2018a; Mello et al., 2018b) การเลือกชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมให้เหมาะสมกับการปลูกข้าวอาจต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันในปุ๋ยแต่ละชนิด เช่น ธาตุอาหารอื่น ๆ ที่อยู่ในปุ๋ยโพแทสเซียมและความสามารถการละลายน้ำ ซึ่งอาจมีผลการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าว การจัดการน้ำหรือสภาพของน้ำในดินในระหว่างที่ข้าวกำลังเจริญเติบโตพบว่ามีผลต่อความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินต่อพืช ซึ่งพบว่าในดินนาน้ำขังที่มีการขังน้ำตลอดเวลา โพแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (soluble K) เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสภาพน้ำขังเกิดกระบวนการรีดิวซ์ธาตุเหล็กและแมงกานีสเป็นแคทไอออน (Fe^{2+} และ Mn^{2+}) ไปแทนที่ K^+ ที่ถูกดูดยึดไว้ในอนุภาคดินเหนียว ทำให้การเคลื่อนย้ายโพแทสเซียมเข้าสู่รากพืชมากกว่าสภาพดินแห้งหรือไม่ขังน้ำที่มีการ diffusion โพแทสเซียมจากสารละลายดินสู่รากพืชลดลง (Ponnamperuma, 1965; Gething, 1990) การรักษาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ของข้าวในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตต้องคำนึงถึงสภาพน้ำในดินด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของชนิดปุ๋ยโพแทสเซียมที่มีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปลูกอยู่ในสภาพการจัดการน้ำแตกต่างกันคือสภาพน้ำขังและไม่ขังน้ำ ซึ่งผลจากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมในนาข้าวต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่การทำนาที่อาจมีการจัดการน้ำในสภาพที่แตกต่างกันออกไป

วิธีการศึกษา

สถานที่และการปลูกข้าว

ทำการทดลองที่สาขาวิชาพืชไร่ ศูนย์วิจัยสาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2562 โดยการปลูกข้าวในบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 ซม. ความสูงบ่อ 50 ซม. บรรจุดิน 160 กก. ไว้ในบ่อซีเมนต์แต่ละบ่อ โดยดินที่ใช้ปลูกมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางเท่ากับ 5.82 (1:1, ดิน:น้ำ) มีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.38% (Walkley-Black method) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.7 ก./กก. (Kjeldahl method) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 35.06 มก./กก. (Bray 2) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 39.28 มก./กก. (NH_4OAc, pH = 7) ปลูกข้าวโดยเริ่มจากการเตรียมต้นกล้าโดยนำเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดที่งอกแล้วมาเพาะในถาดเพาะกล้า จนต้นกล้ามีอายุ 7 วัน จึงย้ายลงปลูกในบ่อซีเมนต์ กำหนดระยะปลูกระหว่างต้นและแถวเท่ากับ 25 x 25 ซม. โดยปลูกจำนวน 1 ต้นต่อหลุม รวมทั้งหมด 12 ต้นต่อบ่อซีเมนต์ กำจัดวัชพืชโดยวิธีกลคือ การใช้แรงงานคนในการกำจัดตั้งแต่ปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว และใช้สารฟิโพรนิลแบบเม็ด (fipronil granule; GR) 0.3% อัตรา 3 กก./ไร่ สำหรับการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยใส่ทางดินในระยะข้าวแตกกอ ส่วนการป้องกันกำจัดโรคพืชใช้สารคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์แบบผง (cupper hydroxide wettable powder; WP) 77% อัตรา 20 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร โดยวิธีการฉีดพ่นทางใบ 2 ครั้ง เว้นระยะ 7 วัน ในระยะข้าวตั้งท้อง

การวางแผนการทดลอง การใส่ปุ๋ย และการให้น้ำ

การทดลองนี้มีการจัดชุดการทดลองแบบ 4x2 แฟคทอเรียล (factorial) สำหรับการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดปุ๋ยโพแทสเซียม จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ 1. MOP 2. POLY4 3. MOP ร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate; AS) 4. MOP ร่วมกับ POLY4 และปัจจัยที่ 2 คือ การจัดการสภาพน้ำ 2 แบบ ได้แก่ น้ำขังและไม่ขังน้ำ ทุกกรรมวิธีได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากันในอัตรา 60 กก. K_2O/เฮกตาร์ ซึ่งมากกว่า 60% เมื่อเทียบกับคำแนะนำการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในข้าวตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) โดยแบ่งใส่ปุ๋ยจำนวน 2 ครั้ง ในอัตราที่เท่ากัน คือ ระยะตั้งท้องและระยะออกดอก ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทุกกรรมวิธีเหมือนกัน โดยใส่ปุ๋ยยูเรียและโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (monoammonium phosphate; MAP) ในอัตรา 146 และ 144 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ ยกเว้นในกรรมวิธีที่ 3 มีการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 188 กก./เฮกตาร์ และใส่ปุ๋ยยูเรีย 60 กก./เฮกตาร์ ซึ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแบ่งใส่ 3 ระยะ ในอัตราที่เท่ากัน คือ ระยะแตกกอ (30 วันหลังงอก) ระยะตั้งท้อง (50 วันหลังงอก) และระยะออกดอก (70 วันหลังงอก) การให้น้ำในสภาพน้ำขัง ระยะต้นกล้าควบคุมไม่ให้ระดับน้ำสูงเกินไปจากระดับผิวหน้าดินและรักษาระดับน้ำจนต้นกล้าสามารถตั้งตัวได้ จากนั้นเพิ่มระดับน้ำให้ถึง 10 ซม. เหนือระดับผิวดินและรักษาระดับน้ำจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ส่วนในสภาพไม่ขังน้ำ ก่อนย้ายกล้าลงปลูกในบ่อซีเมนต์ให้น้ำในดินจนสังเกตสภาพดินในบ่อซีเมนต์อิ่มตัวด้วยน้ำ (ประมาณค่าความจุความชื้นสนาม (filed capacity) ที่ 100%) โดยไม่มีน้ำท่วมขังเหนือระดับผิวดิน จากนั้นรักษาระดับความชื้นโดยการรดน้ำทุกวัน วันละ 2 ครั้งเช้าและเย็นเพื่อรักษาระดับความชื้นให้คงที่เท่ากับความจุความชื้นสนามจนถึงระยะเก็บเกี่ยว

การเก็บบันทึกข้อมูล

เก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกองค์ประกอบผลผลิตในระยะสุกแก่เมื่อข้าวมีอายุ 125 วัน หลังย้ายปลูก เก็บข้อมูลความสูงต้นโดยวัดจากพื้นดินถึงปลายใบยอดหรือปลายใบธง ความยาวรวง จำนวนหน่อต่อกอและจำนวนรวงต่อต้น จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่าง

เพื่อบันทึกจำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เก็บเกี่ยวผลผลิต แยกเมล็ดกับฟางออกจากกัน นำฟางมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำฟางมาชั่งน้ำหนักแห้งและบันทึกข้อมูล ส่วนของเมล็ดที่ได้นำไปตากแดด ชั่งน้ำหนักเมล็ดและบันทึกผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14%

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยหาค่า LSD (least significant difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละคู่โดยการหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient)

ผลการศึกษา

ผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟาง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมและสภาพการให้น้ำมีอิทธิพลต่อผลผลิตเมล็ดของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) **(Table 1)** โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP ร่วมกับ AS ทำให้ข้าวมีผลผลิตเมล็ดสูงสุดเท่ากับ 207.1 กรัม/กระถาง ซึ่งมากกว่าผลผลิตเมล็ดที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (กรรมวิธีควบคุม) เท่ากับ 31% มีผลผลิตเมล็ดเท่ากับ 158.3 กรัม/กระถาง แต่ไม่พบความแตกต่างของผลผลิตในกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมแบบ MOP ร่วมกับ POLY4 และ POLY4 อย่างเดียว ในขณะที่สภาพการให้น้ำแบบน้ำขังทำให้ข้าวมีผลผลิตเมล็ดมากกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำเท่ากับ 23% แต่อย่างไรก็ตามไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมและสภาพการให้น้ำต่อผลผลิตเมล็ด (P<0.05) **(Table 1)** นอกจากนี้พบชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมและสภาพการให้น้ำมีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งฟางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) **(Table 1)** โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด POLY4 และชนิด MOP ร่วมกับ AS ทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งฟางเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 204.2 และ 203.4 กรัม/กระถาง ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีควบคุมเท่ากับ 22% มีน้ำหนักแห้งฟางเท่ากับ 167.6 กรัม/กระถาง ส่วนสภาพการปลูกแบบน้ำขังมีน้ำหนักแห้งฟางเฉลี่ยเท่ากับ 204.6 กรัม/กระถาง ซึ่งมากกว่าน้ำหนักแห้งฟางของการปลูกแบบไม่ขังน้ำ 24% ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 165.2 กรัม/กระถาง แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมและสภาพการปลูกต่อน้ำหนักแห้งฟาง (P<0.05) **(Table 1)** นอกจากนี้พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางจากการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต (r = 0.84; P<0.01) **(Figure 1)**

Table 1 Analysis of variances (ANOVA) on the effects of potassium fertilizer on grain yield (14% moisture content) and straw dry weight of rice variety Chai Nat 1 grown under different water conditions

Source	Yield (g/pot)		Harvest index
	Grain Yield (g/pot)	Straw dry weight (g/pot)	
Fertilizer			
Control	158.3b	167.6b	0.45
MOP	156.4b	165.1b	0.45
POLY4	180.3ab	204.2a	0.43
MOP + AS	207.1a	203.4a	0.46
MOP + POLY4	181.4ab	183.9ab	0.46
Water condition			
Flooded	195.0a	204.6a	0.45
Non-flooded	158.4b	165.2b	0.45
F-test			
Fertilizer (A)	**	**	
Water condition (B)	**	**	
A x B	ns	ns	
CV (%)	15.4	10.9	

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

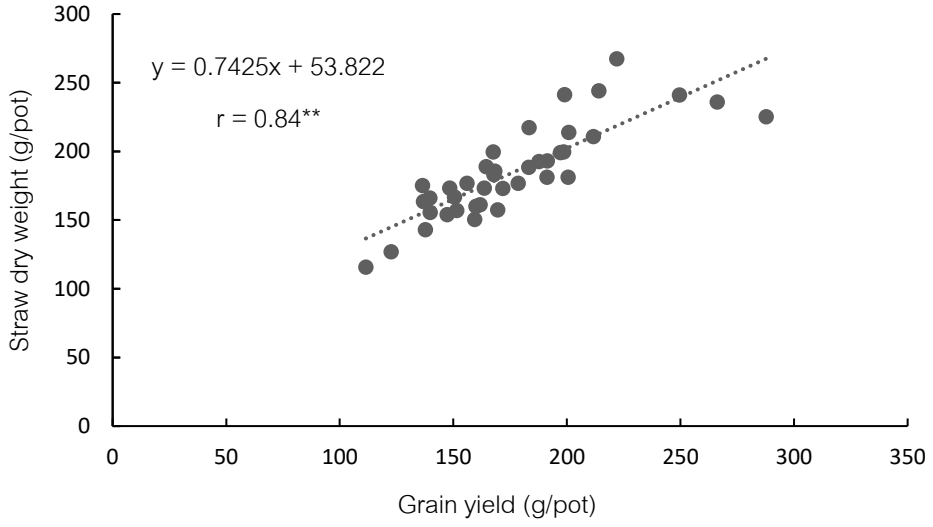


Figure 1 Relationship between grain yield and straw dry weight of rice variety Chai Nat 1 grown under different potassium fertilizer sources and water conditions

องค์ประกอบผลผลิต

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมมีอิทธิพลต่อความสูงของต้น จำนวนหน่อต่อกอ และจำนวนรวงต่อต้น (P<0.05, 0.01) **(Table 2)** โดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP ร่วมกับ AS ทำให้ความสูงของต้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 73.1 ซม. ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมเท่ากับ 8% ในขณะที่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิดอื่น ๆ ไม่ทำให้ความสูงต้นแตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม และพบว่าทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอื่น ๆ ยกเว้นการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP เพียงอย่างเดียว ทำให้จำนวนหน่อต่อกอมากกว่ากรรมวิธีควบคุมเฉลี่ยเท่ากับ 30% นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP ร่วมกับ AS และปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด POLY4 เพียงชนิดเดียว ทำให้จำนวนรวงต่อต้นมากที่สุด ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีควบคุมเฉลี่ยเท่ากับ 17% แต่อย่างไรก็ตามไม่พบอิทธิพลของชนิดปุ๋ยโพแทสเซียมต่อความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) **(Table 2)** นอกจากนี้พบสภาพการให้น้ำต่างกันมีอิทธิพลต่อความสูงของต้น จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (P<0.05) **(Table 2)** โดยพบว่า การปลูกแบบน้ำขังทำให้ความสูงของต้น จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สูงกว่าการปลูกแบบไม่ขังน้ำเท่ากับ 4%, 10%, 19%, และ 9% ตามลำดับ แต่สภาพการให้น้ำต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนรวงต่อต้น ความยาวของรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) **(Table 2)**

Table 2 Analysis of variances (ANOVA) on the effects of potassium fertilizer sources and water condition on growth and yield components of rice variety Chai Nat 1

	Culm length (cm)	No. of tillers/hill	No. of panicles/ plant	Panicle length (cm)	No. of spikelets/ panicle	Filled grain (%)	1,000 grain weight (g)
Fertilizer							
Control	67.9b	9.3b	8.8cd	23.6	104	94.3	28.4
MOP	69.4ab	9.4b	8.4d	23.9	99	94.1	28.6
POLY4	72.1ab	11.8a	10.1ab	24.4	106	94.7	28.7
MOP + AS	73.1a	12.4a	11.0a	24.2	105	95.4	28.4
MOP + POLY4	70.1ab	11.3a	9.6bc	24.5	109	95.5	28.4
Water condition							
Waterlogged	72.0a	11.1a	9.8	24.4	113a	95.1	29.7a
Dryland	69.2b	10.5b	9.4	24.0	96b	94.4	27.2b
F-test							
Fertilizer (A)	*	**	**	ns	ns	ns	ns
Water condition (B)	*	*	ns	ns	**	ns	**
A x B	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.9	8.4	8.8	3.5	9.8	1.8	2.7

* , ** = Significantly different at P<0.05 and P<0.01, 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

จากผลการทดลองพบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยคือชนิดของปุ๋ยโพแทสเศียมและสภาพการจัดการน้ำต่อผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 จึงไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิดใดร่วมกับการจัดการสภาพน้ำแบบน้ำขังและไม่ขังน้ำที่ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางสูงสุด อย่างไรก็ตาม พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้ข้าวมีผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม โดยความแตกต่างขึ้นอยู่กับชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่ด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Lu et al. (2017) พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในการปลูกข้าวเป็นระยะเวลามากกว่า 5 ปี สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้มากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมประมาณ 14% และข้าวที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียม สามารถดูดใช้โพแทสเซียมในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตได้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเมล็ดสูงขึ้น (Yoshida, 1981; Halvin et al., 2005; Mengel, 2006) เนื่องจากโพแทสเซียมมีส่วนช่วยเพิ่มขบวนการหายใจ จึงทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวเพิ่มขึ้น (Zain and Ismail, 2016) จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้ต้นข้าวมีการแตกกอและมีจำนวนรวงเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดดีและน้ำหนักเมล็ด อาจกล่าวได้ว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีความสำคัญในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ซึ่งจะมีผลต่อการสร้างผลผลิตข้าวในระยะการสืบพันธุ์ขั้นตอนสุดท้าย ดังนั้นการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในระยะและอัตราที่เหมาะสมอาจส่งเสริมให้ข้าวมีการดูดใช้โพแทสเซียมเพื่อนำไปสร้างผลผลิตได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาในการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลดังกล่าวต่อไป นอกจากนี้ชนิดปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าว โดยชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP ร่วมกับ AS ส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางสูงสุด สอดคล้องกับรายงานของ Kafkafi et al. (2001) ที่ระบุว่าปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน โดยการใส่ปุ๋ย AS สามารถปลดปล่อยแอมโมเนียม (NH_4^+) ที่ช่วยให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมไอออน (K^+) เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ที่ได้จากการใส่ปุ๋ย AS ยังช่วยลดการแข่งขันของไอออนลบระหว่าง Cl^- กับ SO_4^{2-} ที่มีอยู่ในดิน ซึ่งทำให้พืชได้รับ SO_4^{2-} มากกว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP เพียงชนิดเดียว (Pavuluri et al., 2017) สอดคล้องกับการรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP เพียงชนิดเดียวไม่ส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตและน้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้น (Fageria, 2014) นอกจากนี้ผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันระหว่างการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP และ POLY4 จากงานทดลองชี้ให้เห็นว่าโพแทสเซียมชนิด POLY4 มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางสูงกว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม MOP เนื่องจากการใส่ POLY4 สามารถปลดปล่อย K^+ ได้มากกว่า ซึ่งจากการทดลองใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP กับ POLY4 ในปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากัน พบว่าการปลดปล่อย K^+ ของปุ๋ย POLY4 สูงถึง 86% ในขณะที่ปุ๋ย MOP ปลดปล่อย K^+ ได้เพียง 16% (Lewis et al. 2019) นอกจากปุ๋ย POLY4 จะปลดปล่อย K^+ แล้ว ยังสามารถปลดปล่อยประจุไอออนบวก Ca^{2+}และ Mg^{2+} ส่งผลให้การตรึง (fixation) หรือการดูดซับ (adsorption) K^+ โดยอนุภาคดินเหนียวต่ำกว่าการใส่ปุ๋ย MOP ที่มี K^+ เพียงตัวเดียว และการใส่ปุ๋ย POLY4 ยังปลดปล่อย SO_4^{2-} ที่มีส่วนช่วยให้พืชมีเจริญโตและผลผลิตเพิ่มขึ้น (Pavuluri et al., 2017) สอดคล้องกับการศึกษาของ Lewis et al. (2019) พบว่าจากการใส่ปุ๋ย POLY4 ทางดินสามารถปลดปล่อย Ca^{2+}, Mg^{2+} และ SO_4^{2-} ได้ถึง 102%, 71% และ 127% ตามลำดับ และยังสามารถปลดปล่อย K^+ ได้มากกว่าการใส่ปุ๋ย MOP เนื่องจาก Ca^{2+} ไปแทนที่ K^+ ในอนุภาคดินเหนียวส่งผลให้ K^+ ในสารละลายดินเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้คุณภาพและผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการใส่ปุ๋ย POLY4 เพื่อเป็นแหล่งโพแทสเซียมสำหรับข้าวมีความเหมาะสมมากกว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมควรคำนึงถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ต้นทุนในการซื้อปุ๋ยรวมไปถึงความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้ และหากต้องมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม MOP ในนาข้าวอาจใส่ร่วมกับปุ๋ย AS ที่เป็นแหล่งของไนโตรเจนแทนการใส่ปุ๋ยยูเรีย

สภาพการให้น้ำมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวนาสวนที่ปกติทั่วไปมีการขังน้ำตลอดระยะการเจริญเติบโต ซึ่งพบว่าผลผลิตลดลงอย่างมากเมื่อปลูกในสภาพไม่ขังน้ำ สอดคล้องกับการศึกษาของ

Xiaoguang et al. (2002) ระบุว่าผลผลิตข้าวนาสวนพันธุ์ JD305 มีผลผลิตลดลง เมื่อเปลี่ยนจากการปลูกข้าวแบบน้ำขังเป็นน้ำแห้ง แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ข้าวแอโรบิกอื่น (aerobic variety) การปลูกข้าวนาสวนในสภาพน้ำแห้งอาจส่งผลกระทบต่อระบบทางสรีรวิทยาข้าวที่ก่อให้เกิดสภาวะเครียดน้ำได้ โดยพบว่าพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการหายใจ และการเปิดปากใบลดลง ซึ่งการลดลงดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการดูดใช้ธาตุอาหารพืชที่ลดลงในสภาพน้ำน้อยหรือสภาพขาดน้ำ (Estein, 1972; Cao et al., 2002) โดยทั่วไปสภาพน้ำขังมีความเหมาะสมต่อการปลูกข้าว เนื่องจากในดินกรดเมื่อถูกน้ำขังจะเกิดปฏิกิริยารีดักชั่น (reduction) Fe และ Mn ที่ต้องใช้ H^+ ในปฏิกิริยาดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (สมการที่ 1 ได้แก่ $Fe_2O_3 + 6H^+ + 2e^- \leftrightarrow 2Fe_2^+ + 3H_2O$ สมการที่ 2 ได้แก่ $MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \leftrightarrow Mn_2^+ + 2H_2O$) ส่งผลให้ดินมี H^+ ลดลง ซึ่งมีผลทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ส่วนดินด่างที่ pH ของดินลดลง เนื่องจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ในดิน ทำให้เพิ่มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (H_2O) ในดินจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิค (carbonic acid) ซึ่งแยกตัวออกเป็น H^+ และ bicarbonate (HCO_3^-) ส่งผลทำให้ H^+ ในดินเพิ่มมากขึ้น (Fageria et al., 2011) ดังนั้น ในดินนาน้ำขังจึงมีค่า pH ในดินปรับตัวเข้าสู่ช่วงที่เป็นกลาง (pH 6.5 – 7.5) ซึ่งทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินส่วนใหญ่รวมถึงโพแทสเซียมอยู่ในรูปของสารละลายในดินเพิ่มขึ้น (Yoshida, 1981; Ponnamperuma, 1984) จึงอาจเป็นไปได้ว่าข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ขังน้ำมีการดูดใช้โพแทสเซียมต่ำกว่าสภาพน้ำขัง การศึกษาการตอบสนองของปุ๋ยโพแทสเซียมในข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ต่อการดูดใช้และการสะสมโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของข้าวที่ปลูกระหว่างน้ำขังและไม่ขังน้ำ อาจเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อเพิ่มผลผลิตในนาข้าวต่อไป

สรุป

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารสำคัญที่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ได้ แต่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในข้าวเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตต้องคำนึงชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใช้ด้วย โดยการทดลองนี้บ่งชี้ว่าการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมชนิด MOP ร่วมกับ AS, MOP ร่วมกับ POLY4 และ POLY4 ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวและน้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้น ส่วนสภาพการปลูกแบบน้ำขังทำให้ผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางสูงกว่าสภาพการปลูกแบบไม่ขังน้ำ การศึกษาการดูดใช้และการสะสมธาตุโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ อาจสร้างความรู้ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวมากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในนาข้าว

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนการวิจัยส่วนหนึ่งจาก Sirius Mineral Company (https://siriusminerals.com/) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: http://www.ldd.go.th/www/files/80750.pdf. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2563.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. แหล่งข้อมูล: http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00271.pdf. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2563.

นพรัตน์ ม่วงประเสริฐ, สิรี สุวรรณเขตนิคม, สมพงษ์ พงค์วุฒิ, มงคล มั่นเหมาะ และอภิชาติ เนินพลับ. 2541 การศึกษาพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตและคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในเขตภาคเหนือตอนบน. น: 821-838. ใน: ผลงานวิจัยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว เรื่องเต็ม ปี 2539. ศูนย์วิจัยข้าวแพร่และสถานีทดลองเครือข่าย.

บังอร อุบล, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว, และศุภชัย อำคา. 2559. ผลของการจัดการตอซังข้าวร่วมกับการเตรียมดินและชนิดของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตข้าว และสมบัติของดินบางประการ. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 2: 39-49.

พิพัฒน์ ไทยกล้า, สถาพร ใจอารีย์, อโนชา เทพสุภรณ์กุล, และบังอร ทองท้วม. 2553. ความเสื่อมโทรมของที่ดินและการจัดการแก้ไข. แหล่งข้อมูล: http://www.ldd.go.th/Thai-html/Work12/Project3/PDF/All.pdf. ค้นเมื่อ 8 เมษายน 2563.

พิสิฐ พรหมนารท. 2544. มุมมองที่แตกต่างของการใช้ปุ๋ยเพื่อการผลิตข้าว. วิชาการเกษตร. 3: 236-245.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2561. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/jounal/2563/yearbook62edit.pdf. ค้นเมื่อ 8 เมษายน 2563.

หรรษา คุณาไท, ทรงชัย วัฒนพายัพกุล, ธีรพันธ์ แพทยารักษา, และจิรพงษ์ ประสิทธิเขตร. 2540. การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผลต่อผลผลิตข้าวและปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ดข้าว จังหวัดนครราชสีมา. น.224-241. ใน: รายงานผลการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2531-2535. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

Cakmak, I. 2010. Potassium for better crop production and quality. Plant and Soil. 335: 1-2.

Cao, W., D. Jiang, S. Wang, and Y. Tian. 2002. Physiological Characterization of Rice Grown under Different Water Management Systems. P.249-258. In: B. A. M. Bouman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P. S. Bindraban, T. P. Tuong, and J. K. Ladha. Water-Wise Rice Production. In: Proceedings of the international workshop on water-wise rice production 8-11 April 2002. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Dobermann, A., P. C. S. Cruz, and K. G. Cassman. 1996. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. i. potassium uptake and K balance. Nutrient Cycling in Agroecosystem. 46: 1–10.

Fageria, N. K. 2014. Mineral Nutrition of Rice. CRC Press, Boca Raton.

Fageria, N. K., G. D. Carvalho, A. B. Santos, E. P. B. Ferreira, and A. M. Knupp. 2011. Chemistry of lowland rice soils and nutrient availability. Communication in Soil Science and Plant Nutrition. 42: 1913-1933.

Gething, P. A. 2000. Potash facts: Soil water. Available: https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/potash_facts.pdf. Accessed Jun. 20, 2020.

Havlin, J. L. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

Kafkafi, U., G. Xu, P. Imas, H. Magen, and J. Tarchitzk. 2001. Potassium and Chloride in Crops and Soils: The Role of Potassium Chloride Fertilizer in Crop Nutrition. IPI Research Topics No. 22. Int Potash Inst, Basilea.

Kemmler, G. 1980. Potassium Deficiency in Soils of The Tropics as a Constraint to Food Production. In: Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in The Tropics. jointly sponsored and published by International Rice Research Institute and New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University in cooperation with University Consortium of soils for the Tropics, Los Banos.

Lewis, T. D., P. D. Hallett, G. I. Paton, and L. Harrold. 2019. Retention and release of nutrients from polyhalite to soil. Soil Use and Management. 36: 117-122.

Lu, D., C. Li, E. Sokolwski, H. Magen, X. Chen, H. Wang, and J. Zhou. 2017. Crop yield and soil available potassium changes as affected by potassium rate in rice–wheat systems. Field Crops Research. 214: 38-44.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press San Diego, CA.

Mello, S. D., F. J. Pierce, R. Tonhati, G. S. Almeida, D. D. Neto, and K. Pavuluri. 2018a. Potato response to polyhalite as a potassium source fertilizer in Brazil. Hortscience. 53: 373-379.

Mello, S. D., R. Tonhati, D. D. Neto, M. Darapuneni, and K. Pavuluri. 2018b. Response of tomato to polyhalite as a multi-nutrient fertilizer in southeast Brazil. Plant Nutrition. 41: 2126-2140.

Mengel, K. 2006. Potassium. P.91-120. In: A. V. Barker., and D. J. Pilbeam. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Boca Raton.

Mohammad, S. 1999. Long-term effects of fertilizers and integrated nutrient supply systems in intensive cropping on soil fertility, nutrient uptake and yield of rice. Journal of Agricultural Science. 133: 365–370.

Pavuluri, K., Z. Malley, M. K. Mzimbiri, T. D. Lewis, and R. Meakin. 2017. Evaluation of polyhalite in comparison to muriate of potash for corn grain yield in the southern highlands of Tanzania. African Journal of Agricultural Research. 5: 325-332.

Ponnamperuma, F.N. 1965. Dynamic Aspects of Flooded Soils and The Nutrition of The Rice Plant. p. 295-328. In: The Mineral Nutrition of The Rice Plant. Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland.

Ponnamperuma, F. N. 1984. Effects of Flooding on Soils. P.9-45. In: T. Kozlowski. Flooding and Plant Growth. Academic Press, New York.

Ranjha, Z. M., T. Waheed, S. M. Mehdi, and S. S. Rehman. 2001. Effect of potassium sources on rice yield. International Journal of Agriculture and Biology. 3: 69-71.

Singh, M., A. K. Tripathi, and D. D. Reddy. 2002. Potassium balance and release kinetics of non-exchangeable K in a Typic Haplustert as influenced by cattle manure application under a soybean-wheat system. Australian Journal of Soil Research. 40: 533-541.

Xiaoguang, Y., W. Huaqi, W. Zhimin, Z. Junfang, C. Bin, and B. A. M. Bouman. 2002. Yield of Aerobic Rice (Han Dao) under Different Water Regimes in North China. P.155-164. In: B. A. M. Bouman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P. S. Bindraban, T. P. Tuong, and J. K. Ladha. Water-Wise Rice Production. In: Proceedings of the international workshop on water-wise rice production 8-11 April 2002. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Yang, X. E., J. X. Liu, W. M. Wang, Z. Q. Ye, and Z. Q. Luo. 2004. Potassium internal use efficiency relative to growth vigor, potassium distribution, and carbohydrate allocation in rice genotypes. Plant Nutrition. 27: 837–852.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Zain, N. A. M., and M. R. Ismail. 2016. Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. Agricultural Water Management. 164: 83-90.

Zhang, H., M. Xu, X. Shi, Z. Li, Q. Huang, and X. Wang. 2010. Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China. Nutrient Cycling Agroecosystem. 88: 341-349.