

ผลของการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบต่อผลผลิตและประสิทธิภาพ การใช้ฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข61

Effects of Foliar Phosphorus Fertilizer on Yield and Phosphorus Use Efficiency in Rice RD61 Variety

สายชล สุขญาณกิจ^{1*} โสภิตา สุขญาณกิจ¹ ชาลินี คงสุต² และ ธนวรรณ พานิชพัฒน์³
Saychol Sukyankij^{1*}, Sopida Sukyankij¹, Chaline Khongsud² and Thanawan Panich-pat³

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา 13000

¹Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

²ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

²Central Laboratory and Greenhouse Complex, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

³ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³Department of Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus,
Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: saychol.agri@gmail.com

(Received: 27 October 2021; Accepted: 2 February 2022)

Abstract: Foliar fertilizer application is one of the methods to increase fertilizer use efficiency in plant. The objective of this research was to evaluate the rate of basal phosphorus (P) fertilizer combined with foliar P fertilizer application for improving yield and P use efficiency (PUE) in rice. The variety RD61 was planted in the Ayutthaya soil series, Phranakhon Si Ayutthaya province. The experimental design was carried out in randomized complete block design (RCBD) with 3 replications and 11 treatments. The results showed that the basal P fertilizer at the rate 0.5 times of site-specific fertilizer management (SSF) combined with foliar P fertilizer application at 1.28 kg P₂O₅/rai (P_{0.5SSF} + FP_{1.28}) provided the highest grain yield (1,185 kg/rai) which was not significantly different from the P fertilizer application according to the farmers practices (P_{FMP}) (10 kg P₂O₅/rai) and also gave the highest total P uptake in rice (10.17 kg P/rai). The basal fertilizer application of P_{0.5SSF} was linear correlation between grain yield (R² = 0.89*) and total P uptake in grain (R² = 0.95**) with the concentration of foliar P fertilizer application higher than P_{0.25SSF}. It was found that the foliar P fertilizer application at various rates had higher P use efficiency than basal P fertilizer application. The application of basal P fertilizer at 0.5 times of SSF combined with foliar P fertilizer at 1.28 kg P₂O₅/rai is suggested as a suitable method to increase yield and P use efficiency of rice RD61 variety planted in Phranakhon Si Ayutthaya province.

Keywords: Phosphorus, foliar fertilizer, P use efficiency, rice RD61 variety

บทคัดย่อ: การให้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบที่สามารถส่งเสริมการสร้างผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข61 ที่ปลูกในชุดดินอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 11 ดำรับทดลอง ผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุด (1,185 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีการของเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) และกรรมวิธีดังกล่าวยังให้ค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในข้าวสูงที่สุดด้วย (10.17 กิโลกรัม P/ไร่) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างผลผลิตเมล็ด ($R^2 = 0.89^*$) และปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด ($R^2 = 0.95^{**}$) กับอัตราการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน ด้านประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวนั้น การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราต่าง ๆ ส่งผลให้ข้าวพันธุ์ กข61 มีประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดิน ดังนั้นการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำของฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข61 ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

คำสำคัญ: ฟอสฟอรัส การให้ปุ๋ยทางใบ ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส ข้าวพันธุ์ กข61

คำนำ

ข้าวพันธุ์ กข61 ได้รับความนิยมในการปลูกในพื้นที่นาชลประทานของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่มีระยะเวลาดังแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้นกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคใบไหม้ได้ดี (Division of Rice Research and Development, 2021) ลักษณะต้นค่อนข้างเตี้ยโดยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 80 เซนติเมตร ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวได้ง่ายไม่ค่อมประสบปัญหาการหักล้มของข้าวเมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ กข61 ยังเป็นสายพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง โดยจากการสอบถามเกษตรกรผู้ปลูกข้าวสายพันธุ์นี้ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า เกษตรกรบางรายสามารถปลูกและได้ผลผลิตสูงถึง 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และด้วยเป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีระยะเวลาดังแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้นจึงเหมาะสมที่จะปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมเป็นประจำ (Division of Rice Research and Development, 2021) เช่น ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยานั้น เป็นพื้นที่ในเขตดินเปรี้ยวจัดในกลุ่ม

ดินเปรี้ยวเทียม (post-active acid sulfate soil) ที่สำคัญของประเทศไทย ลักษณะสำคัญของดินในกลุ่มนี้คือเป็นดินเหนียวจัด ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียวในกลุ่ม 2 : 1 ดินอาจมีพีเอชสูงกว่า 4 แต่ยังมีแร่ธาตุไฮโดรเจนซัลเฟตซึ่งเป็นแร่ก่อกรดอยู่ในหน้าตัดดิน ดังนั้น ดินจึงอาจแสดงความเป็นกรดเพิ่มขึ้นหากช่วงหน้าแล้งในพื้นที่เกิดระเหที่ลึกพอให้อากาศผ่านลงไปทำปฏิกิริยากับแร่ไพไรต์แล้วเกิดเป็นแร่ธาตุไฮโดรเจนซัลเฟต ซึ่งทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและจำกัดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน (Attanandana, 2007; Sukyankij *et al.*, 2021) โดยเฉพาะฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ในพืชนั้นฟอสฟอรัสมีบทบาทเกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของเซลล์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกซึ่งเกี่ยวข้องกับ การสังเคราะห์โปรตีน เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีบทบาทในกระบวนการทางชีวเคมีในเซลล์พืช (Bumphenyoo and Ruamrungsri, 2003; Osotsapar, 2015) และสืบเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะกับ

ธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมในดินเปรี้ยวจัด (Pierzynski *et al.*, 2005) ดังนั้น ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทั้งดินในกลุ่ม active sulfate soil และ post-active sulfate soil เช่น ดินในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จึงมักถูกจำกัดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส หรือแม้กระทั่งการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสลงไปก็เกิดการทำปฏิกิริยากับเหล็ก หรืออะลูมิเนียมที่ละลายออกมาและกลายเป็นสารประกอบต่าง ๆ เช่น Ca-P, Fe-P หรือ Al-P (Girma *et al.*, 2007; Penn and Camberato, 2019) ทำให้พืชดูดฟอสฟอรัสไปใช้ได้ไม่เต็มที่ ทั้งนี้ Roberts and Johnston (2015) รายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงดินเกิดการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม และมีปริมาณน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ที่ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที ในข้าวฟอสฟอรัสมิชอบาทสำคัญเกี่ยวกับการส่งเสริมการแตกกอ การพัฒนาของราก การออกดอกและการสุกแก่ การขาดฟอสฟอรัสในข้าวมีผลให้การแตกกอลดลง ช่อดอก และเมล็ดลดลงขณะที่ใบอ่อนยังคงเจริญต่อไปได้แต่ใบแก่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายลง (Dobermann and Fairhurst, 2000) ดังนั้น การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญและพัฒนาของข้าว ด้านการตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นมีความผันแปรไปขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพของดิน สายพันธุ์ข้าว รวมถึงระบบการจัดการในการเพาะปลูก (Fageria *et al.*, 1988; Jiang *et al.*, 2021) โดยเฉพาะสมบัติดินเบื้องต้นนั้นมีผลอย่างมากในส่วนของ การตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ การพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในข้าวนั้นทำได้โดยการจัดการดินและระบบการปลูกพืช การจัดการด้านสภาพแวดล้อมการเพาะปลูก รวมทั้งแหล่งของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ (Bationo and Kumar, 2002) และประเมินประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจากค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช (phosphorus-use efficiency, PUE) โดยคำดังกล่าวเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพืชที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไป (Girma *et al.*, 2007; Mosali *et al.*, 2006) มีรายงานการให้ปุ๋ย

ฟอสฟอรัสทางใบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืชได้ดีกว่าการให้ทางดินเพียงอย่างเดียว (Girma *et al.*, 2007; Mosali *et al.*, 2006) โดย Girma *et al.* (2007) รายงานว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืชสูงกว่าการให้ทางดิน และการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราความเข้มข้นต่ำให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืชสูงกว่าการพ่นในอัตราความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารเช่นกัน โดย Mosali *et al.* (2006) ศึกษาการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในข้าวสาลีพบว่า การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในข้าวสาลีที่ระยะดอกบานเต็มที่ช่วยให้ข้าวสาลีมีประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการพ่นที่ระยะเจริญทางลำต้นหรือที่ระยะเริ่มติดดอก โดยปุ๋ยฟอสฟอรัสที่นิยมนำมาใช้เป็นปุ๋ยทางใบนั้นมีหลายชนิด และหนึ่งในนั้นคือปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) (0-52-34) ซึ่งเป็นปุ๋ยที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากปุ๋ยฟอสฟอรัสชนิดนี้เป็นปุ๋ยสูตรเข้มข้น สมบัติทางกายภาพดี และสารประกอบฟอสเฟตในปุ๋ยแตกตัวได้ง่าย จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นปุ๋ยทางใบ (Osotsapar *et al.*, 2013) ดังนั้น การพิจารณาให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบเพิ่มเติมจากการให้ปุ๋ยโดยวิธีหว่านปกติอาจเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด รวมทั้งช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวที่ปลูกในพื้นที่ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบที่แตกต่างกันร่วมกับการให้ปุ๋ยทางดินต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวที่ปลูกในดินพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

จัดทำแปลงทดลองสำหรับปลูกข้าวในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 โดยใช้แปลงนาเกษตรกรในตำบลกระแซง อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ซึ่งจัดอยู่ในชุดดินอยุธยา (very-fine, mixed, active, acid, isohyperthermic, Vertic Endoaquepts) (Division of Soil Survey and Soil Resource Research, 2019) เก็บตัวอย่างดินในแปลงก่อนทดลองที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร (Apg horizon) เพื่อวิเคราะห์สมบัติดินชั้นพื้นฐาน ประกอบด้วย เนื้อดิน (Gee and Bauder, 1986) พีเอชดิน (Thomas, 1996) ค่าการนำไฟฟ้า ขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Rhoades, 1996) อินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) (Table 1) โดยพบว่า ดินที่ใช้ทดลองมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด (pH 5.0) ปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก (49.5 กรัมต่อกิโลกรัม และ 148.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง (18.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 11 ดำรับทดลอง รายละเอียดดำรับทดลองแสดงใน Table 2 สร้างแปลงทดลองขนาด 12 ตารางเมตร (3 x 4 เมตร) ใช้ข้าวพันธุ์ กข61 เป็นพืชทดลอง ปลูกข้าวโดยวิธีหว่านอัตราเมล็ด 20 กิโลกรัมต่อไร่ ในส่วนของการใช้ปุ๋ยทางดินจะใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (46 - 0 - 0) และปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18 - 46 - 0) โดยปุ๋ยฟอสฟอรัสใส่ในอัตรา 0.25, 0.5 และ 1 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (เทียบเท่า 0.75, 1.5 และ 3 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) และอัตราตามวิธีเกษตรกรในพื้นที่ (10 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) โดยใส่เมื่อข้าวมีอายุได้ 21 วันหลังหว่าน ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนใส่ในอัตรา 1 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยใส่ในทุกดำรับทดลองซึ่งแบ่งใส่ 2 ครั้ง ใส่ครั้งแรกพร้อมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสและใส่อีกครั้งเมื่อข้าวอายุได้ 50 วันหลังหว่าน โดยทั้งปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใช้ในการทดลองคำนวณการใส่โดยใช้โปรแกรม SimRice2000_V110 ซึ่งได้อัตราการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 2 - 3 - 0 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่ ส่วนการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบใช้ในรูปแบบ

โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) ความสามารถในการละลายได้ 99.9 เปอร์เซ็นต์ และปรับระดับของโพแทสเซียมในแต่ละดำรับทดลองให้เท่ากันด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โดยใช้วิธีพ่นทางใบเช่นกันในการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบนั้นแบ่งพ่น ดังนี้ ดำรับทดลองที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.64 และ 1.28 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งพ่น 3 ครั้ง คือที่ระยะกล้า (21 วันหลังหว่าน) ระยะแตกกอสูงสุด (50 วันหลังหว่าน) และระยะติดเมล็ด (65 วันหลังหว่าน) ในอัตรา 50, 25 และ 25 เปอร์เซ็นต์ (เทียบเท่าปุ๋ยน้ำหนัก 2.40, 1.20 และ 1.20 กรัมต่อแปลงทดลอง สำหรับดำรับที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.64 กิโลกรัมต่อไร่ และ 4.80, 2.40 และ 2.40 กรัมต่อแปลงทดลอง สำหรับดำรับที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 1.28 กิโลกรัมต่อไร่) ของปริมาณฟอสฟอรัสที่กำหนดในดำรับทดลอง ตามลำดับดำรับทดลองที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.32 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งพ่น 2 ครั้ง คือที่ระยะแตกกอสูงสุดและระยะติดเมล็ดในอัตราครึ่งละ 50 เปอร์เซ็นต์ (เทียบเท่าครึ่งละ 1.20 กรัมต่อแปลงทดลอง) และดำรับที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.16 กิโลกรัมต่อไร่ พ่นเพียงครั้งเดียวคือที่ระยะแตกกอสูงสุด (เทียบเท่า 1.20 กรัมต่อแปลงทดลอง) ด้านรายละเอียดในการพ่นนั้นผสมปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) ในอัตราตามที่อธิบายข้างต้นในน้ำ 250 มิลลิลิตร ใส่สารจับใบ 1 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ใส่กระบอกฉีด (foggy) แล้วฉีดพ่นให้ทั่วแปลงทดลอง

การวิเคราะห์พืชและคำนวณประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส

วิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนเมล็ดและตอซังโดยย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยกรดผสม (acid mixture: HNO_3-HClO_4 ในอัตรา 10:3 (- v/v)) ตามวิธีการของ Pequerul *et al.* (1993) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปหาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีเทียบสี (vanadomolybdate yellow color method) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1962) คำนวณค่าการดูดสะสมฟอสฟอรัส (phosphorus uptake, PU) ตามวิธีการของ

Table 1. Properties of soil used in the experiment

Texture	Soil pH (1 _{soil} : 1 _{water})	EC _e (dS/m)	Organic matter (g/kg)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
Clay	5.0 (SA) ¹	0.9 (VL) ¹	49.5 (H) ¹	18.6 (MH) ¹	148.2 (H) ¹

¹ Interpretation according to FAO Project Staff and Land Classification Division (1973): SA= strongly acid; VL= very low; MH= moderately high; H= high

Table 2. Treatment details of phosphorus fertilizer in basal and foliar application in comparison with the control treatment

Treatments	Symbols	Describes
1	C	Control (no P fertilizer)
2	P _{FMP}	Basal of P fertilizer according to the rate of FMP ¹ (10 kg P ₂ O ₅ /rai)
3	P _{SSF}	Basal of P fertilizer according to the rate of SSF ² (3 kg P ₂ O ₅ /rai)
4	P _{0.25SSF} +FP _{0.16}	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF ² + foliar P at 0.16 kg P ₂ O ₅ /rai
5	P _{0.25SSF} +FP _{0.32}	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF ² + foliar P at 0.32 kg P ₂ O ₅ /rai
6	P _{0.25SSF} +FP _{0.64}	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF ² + foliar P at 0.64 kg P ₂ O ₅ /rai
7	P _{0.25SSF} +FP _{1.28}	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF ² + foliar P at 1.28 kg P ₂ O ₅ /rai
8	P _{0.5SSF} +FP _{0.16}	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF ² + foliar P at 0.16 kg P ₂ O ₅ /rai
9	P _{0.5SSF} +FP _{0.32}	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF ² + foliar P at 0.32 kg P ₂ O ₅ /rai
10	P _{0.5SSF} +FP _{0.64}	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF ² + foliar P at 0.64 kg P ₂ O ₅ /rai
11	P _{0.5SSF} +FP _{1.28}	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF ² + foliar P at 1.28 kg P ₂ O ₅ /rai

¹ FMP= farmer practices; 2 SSF=site specific fertilizer management

Akinrinde and Gaizer (2006) และประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส (phosphorus-use efficiency, PUE) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Fageria *et al.* (2014) และ Girma *et al.* (2007) ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$PU = \text{Total P (g/kg)} \times \text{DM (kg/rai)} \quad (1)$$

$$PUE = \frac{\text{GPU treatment (kg/rai)} - \text{GPU control (kg/rai)}}{\text{P rate (kg/rai)}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ PU = การดูดสะสมฟอสฟอรัส (กิโลกรัมต่อไร่), Total P = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพืช (กรัมต่อกิโลกรัม), DM = น้ำหนักแห้งพืช (กิโลกรัมต่อไร่), PUE = ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์), GPU treatment = การดูดสะสมฟอสฟอรัสในเมล็ดของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (กิโลกรัมต่อไร่), GPU control = การดูดสะสมฟอสฟอรัสในเมล็ดของตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (กิโลกรัมต่อไร่) และ P rate = ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ (กิโลกรัมต่อไร่)

การเก็บข้อมูล

ที่ระยะเก็บเกี่ยว (96 วันหลังหว่าน) วัดความสูงต้นข้าว นับจำนวนต้นตอก และสุ่มเลือกรวงข้าวจากแต่ละตำรับทดลองเพื่อนำมานับจำนวนเมล็ดตอรวง หลังจากนั้นใช้เคียวตัดต้นข้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยตัดให้สูงจากพื้นประมาณ 5 เซนติเมตร ตัวอย่างข้าวที่ได้นำมาวัดโดยใช้แรงงานคนเพื่อแยกส่วนเมล็ดและตอชังออกจากกัน จากนั้นบันทึกน้ำหนักและแบ่งตัวอย่างจากทั้ง 2 ส่วนไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างพืชแห้งสนิท (Attanandana and Chanchareonsook, 1999) แล้วบันทึกน้ำหนักอีกครั้ง นำค่าที่บันทึกได้มาคำนวณค่าน้ำหนักแห้งตอชัง น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก 100 เมล็ด และค่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ตามลำดับ ทั้งตัวอย่างเมล็ดและตอชังที่อบจนแห้งแล้วนำไปบดจนละเอียดเพื่อนำไปหาค่าความเข้มข้นและประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละตำรับทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และหาความสัมพันธ์ของผลผลิตเมล็ด ความเข้มข้น และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดกับอัตราการฟอสฟอรัสเป็นปุ๋ยทางใบโดยวิธี partial correlation analysis

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิต

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้จำนวนต้นตอก ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดตอรวงของข้าวพันธุ์ กข61 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตำรับทดลองที่มีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) (P_{FMP}) ให้จำนวนต้นตอก ความยาวรวง และจำนวน

เมล็ดตอรวงสูงที่สุด (3.00 ต้นตอกกอ, 20.5 ซม. และ 79.3 เมล็ดตอรวง ตามลำดับ) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกับตำรับที่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ($P_{0.5SSF} + FP_{1.28}$) ขณะที่ค่าความสูง น้ำหนัก 100 เมล็ด และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P \geq 0.05$) โดยมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 68.6 - 79.6 เซนติเมตร, 3.48 - 3.75 กรัม และ 90.3 - 97.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3)

น้ำหนักผลผลิตเมล็ดและตอชังแสดงใน Figure 1 พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบให้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งตอชังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีของเกษตรกร (P_{FMP}) ให้ค่าน้ำหนักแห้งตอชังสูงที่สุด (1,319 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง P_{SSF} , $P_{0.25SSF} + FP_{0.16}$, $P_{0.25SSF} + FP_{0.64}$, $P_{0.25SSF} + FP_{1.28}$, $P_{0.5SSF} + FP_{0.16}$ และ $P_{0.5SSF} + FP_{1.28}$ ในขณะที่น้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์นั้น พบว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ($P_{0.5SSF} + FP_{1.28}$) ให้ค่าน้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์สูงที่สุด (1,185 กิโลกรัมต่อไร่) ทั้งนี้ผลผลิตที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง P_{FMP} โดย Dobermann and Fairhurst (2000) รายงานว่าฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการแตกกอของข้าวอีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการพัฒนาของรากในระยะเริ่มแรกของการเจริญเติบโต หากพืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ส่งผลให้การแตกกอ จำนวนต้นตอก รวมถึงจำนวนรวงตอกลดลง ซึ่งส่งผลถึงน้ำหนักแห้งตอชังและผลผลิตเมล็ดต่อไร่ที่ลดลงด้วย จาก Figure 1 จะเห็นได้ว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้น้ำหนักแห้งตอชังมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการ

Table 3. Effect of P fertilizer application on growth and yield components of rice variety RD61

Treatments	Height (cm) ¹	Plant/Tiller (No/tiller) ¹	Panicle length (cm) ¹	Seed/Panicle (No/panicle) ¹	100 grain wt (g) ¹	Fertile grain (%) ¹
Control	69.6	1.33 ^c	17.6 ^b	48.3 ^c	3.72	94.7
P _{FMP}	79.6	3.00 ^a	20.5 ^a	71.3 ^a	3.73	90.3
P _{SSF}	68.6	2.00 ^{bc}	17.3 ^b	60.0 ^{bc}	3.48	93.6
P _{0.25SSF} +FP _{0.16}	74.6	1.67 ^{bc}	17.4 ^b	55.3 ^{bc}	3.60	92.6
P _{0.25SSF} +FP _{0.32}	72.6	2.33 ^{bc}	18.5 ^{ab}	61.6 ^{bc}	3.70	94.4
P _{0.25SSF} +FP _{0.64}	74.0	2.00 ^{bc}	17.3 ^b	54.6 ^{bc}	3.63	94.0
P _{0.25SSF} +FP _{1.28}	75.6	2.33 ^{bc}	18.6 ^{ab}	65.6 ^{ab}	3.75	95.2
P _{0.5SSF} +FP _{0.16}	73.0	1.67 ^{bc}	17.6 ^b	56.3 ^{bc}	3.65	97.0
P _{0.5SSF} +FP _{0.32}	68.6	2.00 ^{bc}	18.6 ^{ab}	51.0 ^{bc}	3.72	95.0
P _{0.5SSF} +FP _{0.64}	70.6	2.67 ^{ab}	18.6 ^{ab}	59.3 ^{bc}	3.52	96.1
P _{0.5SSF} +FP _{1.28}	74.0	2.67 ^{ab}	19.8 ^a	65.0 ^{abc}	3.67	94.3
F-test	ns	*	*	*	ns	ns
CV (%)	6.07	24.81	5.88	14.38	3.64	1.18

¹ Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using by DMRT,

* significant difference at 0.05 probability levels, ^{ns} not significant

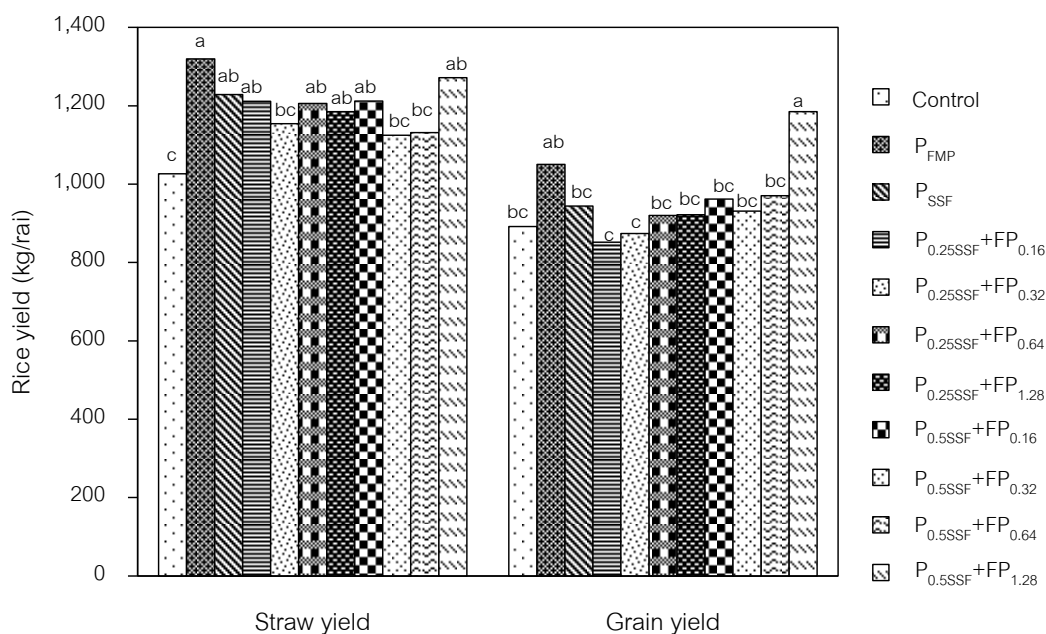


Figure 1. Straw and grain yield of rice variety RD61 when applied with different P fertilizer at different rates. The lowercase letters above the bar indicated significant differences among treatments by using DMRT at $P < 0.05$

การพ่น ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ให้ปริมาณผลผลิตเมล็ดสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบมีส่วนช่วยให้ข้าวมีการติดดอกและสามารถพัฒนาเป็นเมล็ดได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าจำนวนเมล็ด/รวงของข้าวที่ใส่ปุ๋ยตามวิธีการดังกล่าวให้ค่าจำนวนเมล็ดต่อรวง (65 เมล็ดต่อรวง) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีการของเกษตรกรที่ให้จำนวนเมล็ดต่อรวงสูงที่สุด (71.3 เมล็ดต่อรวง) โดยผลการวิจัยสอดคล้องกับรายงานของ Zambrosi (2019) ซึ่งศึกษาการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในรูปของ KH_2PO_4 และ KH_2PO_3 ในประเทศบราซิล พบว่า การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 มีแนวโน้มให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสาลีเพิ่มขึ้น โดยการพ่นในอัตรา 4 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดที่ใช้ในการทดลองให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสาลีเพิ่มขึ้นประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัส และในทางตรงข้ามการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_3 กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวสาลิลดลง และเมื่อพิจารณาจากต้นทุนราคาปุ๋ยนาที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสและเป็นที่นิยมใช้ของเกษตรกรซึ่งมีการขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน (ปุ๋ย 16 - 20 - 0) พบว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัสจำนวน 10 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ มีต้นทุนราคาประมาณ 860 บาท ขณะที่ปุ๋ยเกรดโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (0 - 52 - 34) มีราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัมประมาณ 108 บาท จากข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการปรับเปลี่ยนจากการใช้ปุ๋ยตามวิธีกาของเกษตรกรมาเป็นการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยทางใบซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตในส่วน of ค่าปุ๋ยเคมีลงได้

ความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวพิจารณาจากในส่วนเมล็ดและตอซัง ขณะที่การดูดใช้ฟอสฟอรัสนั้นพิจารณาจากส่วนเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมด (Table 4) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินและการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวมี

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เช่นเดียวกันกับค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวทั้งส่วนเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมดที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเช่นกัน ($P \leq 0.01$) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 0.64 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ($P_{0.5SSF} + FP_{0.64}$) ให้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนตอซังสูงที่สุด (3.54 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับค่ารับทดลอง $P_{0.25SSF} + FP_{1.28}$, $P_{0.5SSF} + FP_{0.32}$ และ $P_{0.5SSF} + FP_{1.28}$ ในส่วนของค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมดนั้น ค่ารับทดลองที่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ($P_{0.5SSF} + FP_{1.28}$) ให้ค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมดสูงที่สุด (3.56, 6.61 และ 10.17 กิโลกรัม P/ไร่ ตามลำดับ) Osotsapar (2015) รายงานว่า พืชโดยทั่วไปจะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อระหว่าง 3 - 5 กรัมต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ (ค่าพิสัยของความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังอยู่ระหว่าง 2.30-5.19 กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินในอัตรา 0.25 หรือ 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตรา 0.64 - 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ให้ผลรวมของการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีของเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบซึ่งมีปริมาณการใช้ที่น้อยกว่าแต่ให้ผลด้านปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารไม่ต่างจากการใช้ปุ๋ยในอัตราสูงตามแบบวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับ Zambrosi (2019) ที่พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในรูปของปุ๋ย KH_2PO_4 ส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของข้าวสาลีเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ ขณะที่ Sherchand and Paulsen (1985) ศึกษาการตอบสนองของข้าวสาลีต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงในรัฐแคนซัส ประเทศ

สหรัฐอเมริกา พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตรา 1 กิโลกรัม KH_2PO_4 /เฮกตาร์ ทำให้ข้าวสาลีมีปริมาณผลผลิตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยรวมทั้งหมดสูงกว่าการพ่นที่อัตรา 2 หรือ 4 กิโลกรัม KH_2PO_4 /เฮกตาร์ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการพ่นปุ๋ย KH_2PO_4 ในอัตราสูงชักนำให้เกิดโรคน้ำค้ำในข้าวสาลี จึงเป็นเหตุผลให้ผลผลิตในตำรับที่มีการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูงมีค่าลดลง ดังนั้น ในการให้ปุ๋ยทางใบนอกจากต้องพิจารณาถึงปริมาณของปุ๋ยที่ใช้แล้ว ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมขณะพ่นด้วย โดยควรหลีกเลี่ยงการพ่นในสภาวะที่อากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง เพื่อหลีกเลี่ยงการชักนำให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชต่าง ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างการพ่นฟอสฟอรัสและผลผลิตข้าว

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ แสดงใน Figure 2 โดยพบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นฟอสฟอรัสและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ขณะที่การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นให้ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และมีความสัมพันธ์

Table 4. Effect of P fertilizer application on P concentration and total P uptake in different parts of rice variety RD61

Treatments	Phosphorus concentration (g/kg) ¹		Total phosphorus uptake (kg/rai) ¹		
	Straw	Grain	Straw	Grain	Total
Control	2.46 ^b	4.05	1.92 ^{bc}	4.14 ^c	6.07 ^c
P _{FMP}	2.44 ^b	4.83	2.25 ^b	6.37 ^a	8.63 ^{ab}
P _{SSF}	2.30 ^b	4.48	1.91 ^{bc}	5.49 ^b	7.40 ^b
P _{0.25SSF} +FP _{0.16}	2.35 ^b	4.43	1.76 ^c	5.37 ^b	7.13 ^b
P _{0.25SSF} +FP _{0.32}	2.33 ^b	4.94	1.79 ^c	5.67 ^b	7.46 ^b
P _{0.25SSF} +FP _{0.64}	2.53 ^b	5.00	2.05 ^{bc}	6.02 ^{ab}	8.07 ^{ab}
P _{0.25SSF} +FP _{1.28}	3.13 ^{ab}	4.78	2.57 ^b	5.65 ^b	8.22 ^{ab}
P _{0.5SSF} +FP _{0.16}	2.32 ^b	3.86	1.98 ^{bc}	4.65 ^{bc}	6.63 ^c
P _{0.5SSF} +FP _{0.32}	3.02 ^{ab}	4.39	2.44 ^b	4.90 ^{bc}	7.34 ^b
P _{0.5SSF} +FP _{0.64}	3.54 ^a	4.40	3.01 ^{ab}	4.98 ^{bc}	7.99 ^{ab}
P _{0.5SSF} +FP _{1.28}	3.45 ^a	5.19	3.56 ^a	6.61 ^a	10.17 ^a
F-test	**	ns	**	**	**
CV (%)	16.42	12.60	19.36	11.88	7.78

¹ Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using by DMRT, ** significant difference at 0.01 probability levels, ^{ns} not significant

เชิงเส้นกับผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยให้ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) ความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินเท่ากับ 0.82* และ 0.84* (Figure 2A, 2C) ส่วนในดินที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินให้ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.89* และ 0.95** ในผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดตามลำดับ (Figure 2D, 2F)

การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในส่วนของผลผลิตข้าว กข61 ได้ดีกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินดังจะเห็นได้จากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและอัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบ (Figure 2A, 2D) นอกจากนี้การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่น

ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบยังให้ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินด้วย (Figure 2C, 2F) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตทั้งในระหว่างการเจริญทางลำต้นและระยะสืบพันธุ์ในพืช การขาดฟอสฟอรัสในข้าวในช่วงระยะสืบพันธุ์ (reproductive stage) มีผลต่อการติดดอกและพัฒนาของเมล็ด (Dobermann and Fairhurst, 2000) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราเพิ่มขึ้นมีผลให้ผลผลิตข้าวที่ปลูกเพิ่มสูงขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาจากอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ทางดินทั้งอัตรา 0.25 และ 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน พบว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินให้ผลผลิต (Figure 1) และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน (Figure 3A, 3D) ทั้งนี้ เป็นผล

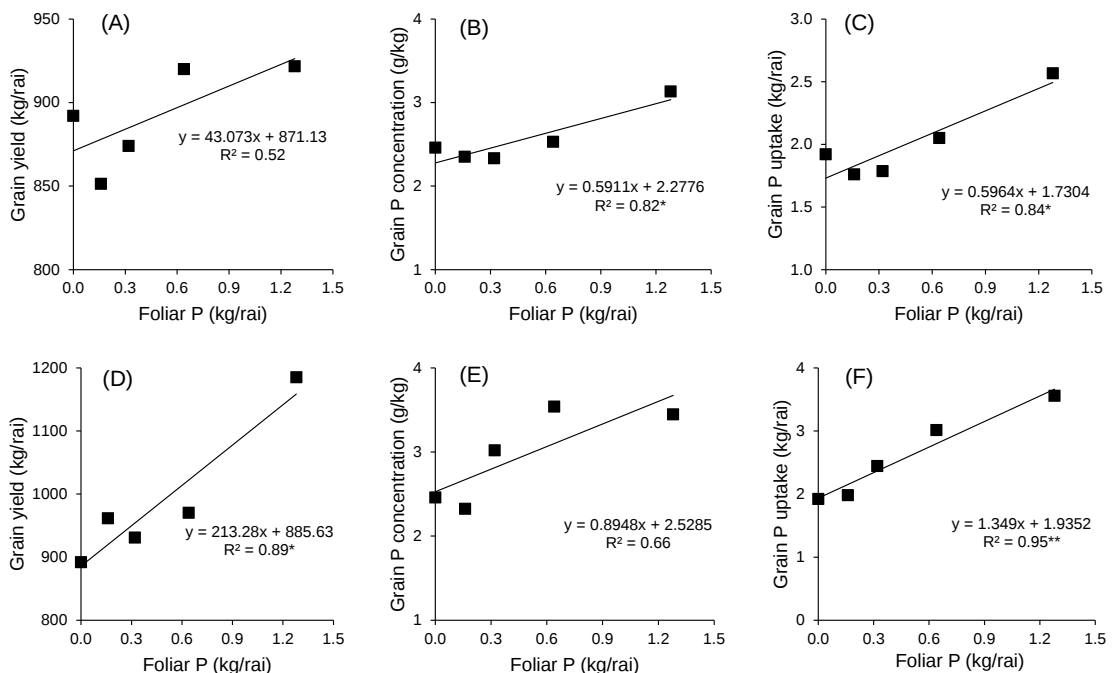


Figure 2. Relationships of grain yield, grain P concentration, grain P uptake and foliar P different rates applied in rice variety RD61 applied with two levels of soil P fertilizer at 21 days after sowing (A-C and D-F were applied with P fertilizer at 0.25 and 0.5 time of SSF, respectively)

มาจาก 1) จากเกณฑ์การประเมินของ FAO Project Staff and Land Classification Division (1973) ระบุว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ทดลองเท่ากับ 18.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับค่อนข้างสูง แต่จากรายงานของ Dobermann and Fairhurst (2000) ระบุว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II ในดินกรด (acid soil) ที่มีค่าระหว่าง <12-20 มิลลิกรัม P/กิโลกรัม ถือว่ามีความเสี่ยงต่อข้าวที่ปลูกแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากดินที่มีสภาพเป็นกรด เช่น ดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ส่งเสริมให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทำปฏิกิริยากับเหล็ก หรืออะลูมิเนียมที่ละลายออกมาและกลายเป็นสารประกอบต่าง ๆ เช่น Fe-P หรือ Al-P (Girma *et al.*, 2007; Penn and Camberato, 2019) เป็นผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อข้าวที่ปลูกมีค่าลดลง และ 2) ข้าวที่ปลูกมีความต้องการฟอสฟอรัสสูงถึงแม้มีการพ่นทางใบเพิ่มเติมก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินในอัตราที่สูงขึ้นจึงทำให้ข้าวมีการตอบสนองต่อปุ๋ยทั้งในแง่ของผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและการสะสมของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว

อัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินและการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบที่แตกต่างกันส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว กข61 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ($P_{0.5SSF} + FP_{1.28}$) ให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด (71.5 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่การพ่นปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (P_{FMP}) ให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำที่สุด (6.8 เปอร์เซ็นต์) และเมื่อพิจารณาในภาพรวมจะเห็นได้ว่าทุกตำรับทดลองที่มีการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าตำรับที่มีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดิน (ตำรับทดลอง P_{FMP} และ P_{SSF}) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Girma *et al.* (2007) ที่กล่าวว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบนั้นช่วยให้พืชมีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสมากกว่าการใส่ทางดิน เนื่องจากฟอสเฟตไอออนในปุ๋ยที่ใช้เป็นปุ๋ยทางใบ เช่น ปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟตนั้นสามารถละลายและถูกดูดซับผ่าน stomata ในแผ่นใบได้ง่าย จึงทำให้ข้าวสามารถดูดและเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส

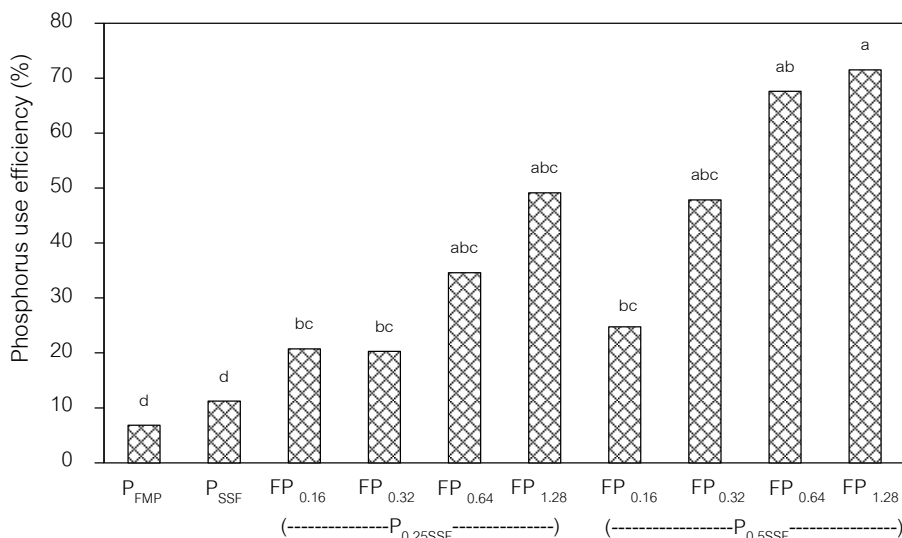


Figure 3. Phosphorus use efficiency of rice variety RD61 as affected by different rates of P fertilizer. The different lowercase letters above the bars indicated significant differences among treatments by using DMRT at $P < 0.05$

ไปสู่ส่วนต่าง ๆ ได้รวดเร็วกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน ขณะที่ Mosali *et al.* (2006) รายงานว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในช่วงที่พืชเริ่มมีดอกจนถึงติดดอกสมบูรณ์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในพืชได้มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบคือภายหลังจากพืชออกดอกแล้วจนถึงระยะติดดอกสมบูรณ์ ขณะที่ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นนั้นควรใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและไนโตรเจนควบคู่กัน (Mosali *et al.*, 2006)

สรุป

ข้าว กข61 ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตต่อการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ (รวมเป็นปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.78 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) ไม่แตกต่างกับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีของเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) ในส่วนของผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์นั้น กรรมวิธีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ให้ผลผลิตสูงสุดของการทดลอง ขณะที่การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว กข61 พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.25 และ 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 0.64 - 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ให้ค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมไม่แตกต่างจากการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีเกษตรกร เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสกับผลผลิตรวมทั้งความชื้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด พบว่า การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าว กข61 มีผลผลิตเมล็ดและค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินในอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน ในส่วนของประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว นั้น การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 0.16 - 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ ส่งผลให้ข้าวพันธุ์ กข61 มีประสิทธิภาพ

การดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดิน ดังนั้น การปรับเปลี่ยนวิธีการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรจากเดิมที่มีการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูง (10 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) มาเป็นการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่ อาจเป็นวิธีการหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตในส่วน of ค่าปุ๋ยเคมีของเกษตรกรลงได้

เอกสารอ้างอิง

- Akinrinde, E.A. and T. Gaizer. 2006. Differences in the performance and phosphorus-use efficiency of some tropical rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Pakistan Journal of Nutrition* 5(3): 206-211.
- Attanandana, T. 2007. Paddy Soil Science. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 359 p. (in Thai)
- Attanandana, T. and J. Chanchareonsook. 1999. Manual of Soil and Plant Analysis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 108 p. (in Thai)
- Bationo, A. and K.A. Kumar. 2002. Phosphorus use efficiency as related to sources of P fertilizers, rainfall, soil, crop management, and genotypes in the West African semi-arid tropics. pp. 145-154. *In*: J.J. Adu-Gyamfi (ed.). Food Security in Nutrient-Stressed Environments: Exploiting Plants' Genetic Capabilities. Springer, Dordrecht.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1): 39-46.

- Bumphenyoo, W. and S. Ruamrungsri. 2003. Deficiency of mineral nutrients in *Globba* ssp. Journal of Agriculture 19(2): 116-124. (in Thai)
- Division of Rice Research and Development. 2021. Rice RD61 variety. (Online). Available: <http://library.ricethai-land.go.th/images/stories/brochure/september2017/rd61.pdf> (January 3, 2021). (in Thai)
- Division of Soil Survey and Soil Resource Research. 2019. Soil map of Phranakhon Si Ayutthaya province. (Online). Available: http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoilinf/central/Ayutthaya/ay_map/ay_series/ay_series58.html (July 7, 2019). (in Thai)
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Oxford Graphic Printers, Singapore. 191 p.
- Fageria, N.K., O.P. de Morais, A.B. dos Santos and M.J. Vasconcelos. 2014. Phosphorus use efficiency in upland rice genotypes under field conditions. Journal of Plant Nutrition 37(5): 633-642.
- Fageria, N.K., O.P. Morais, V.C. Baligar and R.J. Wright. 1988. Response of rice cultivars to phosphorus supply on an oxisol. Fertilizer Research 16: 195-206.
- FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Classification Division, Department of Land Development, Bangkok. 169 p.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. In: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Girma, K., K.L. Martin, K.W. Freeman, J. Mosali, R.K. Teal, W.R. Raun, S.M. Moges and D.B. Arnall. 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliar applied phosphorus in corn. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38(9-10): 1137-1154.
- Jiang, B.S., J.L. Shen, M.H. Sun, Y.J. Hu, W.Q. Jiang, J. Wang, Y. Li and J.S. Wu. 2021. Soil phosphorus availability and rice phosphorus uptake in paddy fields under various agronomic practices. Pedosphere 31(1): 103-115.
- Mosali, J., K. Desta, R.K. Teal, K.W. Freeman, K.L. Martin, J.W. Lawles and W.R. Raun. 2006. Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. Journal of Plant Nutrition 29(2): 2147-2163.
- Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta 27: 31-36.
- Osotsapar, Y. 2015. Plant Nutrition. Kasetsart University Press, Bangkok. 548 p. (in Thai)
- Osotsapar, Y., A. Wongmaneeeroj and C. Hongprayoon. 2013. Fertilizer for Sustainable Agriculture. Kasetsart University Press, Bangkok. 519 p. (in Thai)
- Penn, C.J. and J.J. Camberato. 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. Agriculture 9(6): 120, doi: 10.3390/agriculture9060120.
- Pequerul, A., C. Perez, P. Madero, J. Val and E. Monge. 1993. A rapid wet digestion method for plant analysis. pp. 3-6. In: M.A.C. Frago and M.L. van Beusichem

- (eds.). Optimization of Plant Nutrition. Springer Science+Business Media, Dordrecht.
- Pierzynski, G.M., R.W. McDowell, and J.T. Sims. 2005. Chemistry, cycling and potential movement of inorganic phosphorus in soil. pp. 53-86. *In*: J.T. Sims and A.N. Sharpley (eds.). Phosphorus: Agriculture and the Environment. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. pp. 417-435. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Roberts, T.L. and A.E. Johnston. 2015. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. Resources, Conservation and Recycling 105: 275-281.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-165. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp. 475-490. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Sherchand, K. and G.M. Paulsen. 1985. Response of wheat to foliar phosphorus treatments under field and high temperature regimes. Journal of Plant Nutrition 8(12): 1171-1181.
- Sukyankij, S., S. Sawatdikarn, S. Samitharporn and T. Panich-pat. 2021. Effects of lime material and waterlogging period on availability of phosphorus and yield of Hom Pathum rice in soils of Phranakhon Si Ayutthaya province. Khon Kaen Agriculture Journal 49(4): 842-855. (in Thai)
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of degtjareff methods for determining soil organic matter, and a proposed for modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38.
- Zambrosi, F.C.B. 2019. Foliar phosphorus applications in the forms of phosphate and phosphite have contrasting effects on wheat performance under field conditions. Journal of Crop Science and Biotechnology 22(5): 395-401.
-