วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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



ผลของวัสดุปูนและระยะเวลาการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและผลผลิตข้าวหอมปทุมในดินพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Effects of lime material and waterlogging period on availability of phosphorus and yield of Hom Pathum rice in soils of Phranakhon Si Ayutthaya province

สายชล สุขญาณกิจ[1]* ศานิต สวัสดิกาญจน์[1] สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์[1]และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์[2]

Saychol Sukyankij[1]*, Sanit Sawatdikarn[1], Siriwan Samithiarporn[1] and Thanawan Panich-pat[2]

[1] *คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000*
[1] *Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand*
[2] *ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140*
[2] *Department of Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand*

บทคัดย่อ: การใส่ปูนร่วมกับการขังน้ำเป็นวิธีการจัดการดินเปรี้ยวจัดที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง โดยการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุปูนร่วมกับระยะเวลาการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส และผลผลิตข้าวหอมปทุมที่ปลูกใน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินท่าเรือ (Vertic (Aeric) Endoaquepts) ชุดดินเสนา (Sulfic Endoaquepts) และชุดดินอยุธยา (Vertic Endoaquepts) โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง 1) ศึกษาผลของวัสดุปูนต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาที่ผ่านการขังน้ำเป็นเวลา 120 วัน ประกอบด้วยการใส่วัสดุปูนในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 3 ระดับ (0, 500 และ 1,000 กก./ไร่) ผลการทดลองพบว่า การขังน้ำมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าสูงขึ้น การใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ ให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินเสนาสูงสุด (27.6 มก./กก.) ที่ระยะ 90 วันหลังการขังน้ำ ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับชุดดินท่าเรือ ในส่วนชุดดินอยุธยา การใส่วัสดุปูนอัตรา 500 กก./ไร่ ทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด (111 มก./กก.) ที่ระยะ 30 วันหลังการขังน้ำ 2) ศึกษาผลของวัสดุปูนต่อผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารในข้าวหอมปทุมพบว่า การใส่วัสดุปูนมีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนา การใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ ให้จำนวนหน่อ/กอ จำนวนรวง/กอ และน้ำหนักแห้งตอซังสูงที่สุด (31.3 หน่อ/กอ, 28.6 รวง/กอ และ 74.2 ก./กระถาง) ด้านการดูดใช้ธาตุอาหารโดยรวมพบว่าข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนามีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุปูน ซึ่งตรงข้ามกับข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าเรือและอยุธยา ส่วนการดูดใช้แคลเซียมพบว่ามีปริมาณการดูดใช้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่วัสดุปูนในทุกชุดดิน ในส่วนของสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างผลผลิตทั้งในส่วนเมล็ด ตอซัง และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของการขังน้ำพบว่ามีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในพิสัย 0.48* ถึง 0.67**

คำสำคัญ: วัสดุปูน; ดินนาขังน้ำ; ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์; ข้าวหอมปทุม

ABSTRACT: Using of lime material combine with waterlogging has been efficiency method for management acid sulfate soil. The study was conducted to evaluate the effects of lime material (LM) on availability of phosphorus (P) and an effect on yield of Hom Pathum rice grown in three soil series consisting of Tha Rua (Tr, Vertic (Aeric) Endoaquepts), Sena (Se, Sulfic Endoaquepts) and Ayutthaya (Ay, Vertic Endoaquepts) soil series. This study was divided into 2 parts, the first part is the effect of 3 level of LM (0, 500 and 1,000 kg/rai) on availability of P in paddy

* Corresponding author: saychol.agri@gmail.com

Received: date; October 10, 2020 Accepted: date; February 1, 2021 Published: date; August 5, 2021

soils with waterlogging period for 120 days. The results showed that the increasing period of waterlogging soils increased availability of P in all soils. The LM application at 1,000 kg/rai resulted in the highest available P in Se soil series (27.6 mg/kg) at 90 days after flooding that in contrast in Tr soil series. For Ay soil series found the LM application at 500 kg/rai resulted in the highest available P (111.0 mg/kg) at 30 days after flooding. The second part is the effects of LM on yield and nutrient uptake in Hom Pathum rice and the results showed that the application of LM had a statistically significant increase in yield and yield components, especially for rice cultivated in Se soil series. The LM application at 1,000 kg/rai gave the highest of number of tiller/hill, panicle/hill and dry straw weight (31.3 tiller/hill, 28.6 panicle/hill and 74.2 g/pot, respectively). The uptake of nutrient as a whole found that rice cultivated in Se soil series showed an increase in total P uptake according to the LM rate as opposed to rice grown in Tr and Ay soil series. While calcium uptake increased with the LM added to all soils. In the linear correlation between grain yield, straw yield, total P uptake in rice and available P during the different periods of waterlogging, there was a statistically significant correlation between 0.48* to 0.67**.
Keywords: lime material; waterlogged paddy soil; availability of phosphorus; Hom Pathum rice.

บทนำ

พื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยเป็นแหล่งดินเปรี้ยวจัด (Acid sulfate soil) ที่สำคัญ เอิบ (2550) รายงานว่าประเทศไทยมีดินเปรี้ยวจัดประมาณ 9.4 ล้านไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ในเขตที่ราบลุ่มภาคกลางซึ่งมีประมาณ 5.2 ล้านไร่ หรือประมาณ 56% ของพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทั้งประเทศ โดยพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศ ปัญหาสำคัญของดินเปรี้ยวจัดคือสภาพดินที่มีพีเอชต่ำ จนเกิดสภาพเหล็ก อะลูมินัม และซัลไฟด์ในดินเป็นพิษ เกิดการขาดธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (ทัศนีย์, 2550; Attanandana and Vacharotayan, 1986) ในธรรมชาติดินเปรี้ยวจัดที่ยังไม่เกิดการออกซิเดชันของไพไรต์ (Potential acid sulfate soil) ดินจะมีพีเอชใกล้กลาง มีการระบายน้ำเลว และมีแร่ไพไรต์ในหน้าตัดดินสูง แต่เมื่อมีการระบายน้ำออกและดินมีการระบายอากาศ แร่ไพไรต์จะถูกออกซิเดชันและเปลี่ยนเป็นแร่จาโรไซต์ทำให้เกิดกรดกำมะถันในชั้นดิน ดินจะมีสภาพเป็นดินเปรี้ยวจริง (Active acid sulfate soils) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีพีเอชต่ำกว่า 4 แต่เมื่อมีการทำการเกษตรในพื้นที่ มีการใส่ปูน และมีการระบายน้ำออกจะส่งผลให้ความเป็นกรดของดินลดลงและเปลี่ยนเป็นดินเปรี้ยวเทียม (Post- active acid sulfate soils) ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 4 เนื่องจากถูกชะหรือสะเทินความเป็นกรดออกไปแต่ยังมีแร่จาโรไซต์ซึ่งเป็นแร่ก่อกรดอยู่ในส่วนลึกของหน้าตัดดิน (ทัศนีย์, 2550; Sukitprapanon et al., 2015) ดินเหล่านี้มีค่าพีเอชดินสูงกว่าดินในกลุ่มดินเปรี้ยวจริงและเนื่องจากมีสภาพความเป็นกรดลดลงทำให้ธาตุอาหารต่าง ๆ ละลายได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโต ช่วยเพิ่มจำนวนราก ประสิทธิภาพในการดูดน้ำและธาตุอาหาร ดัชนีพื้นที่ใบ จำนวนรวงต่อกอ รวมถึงผลผลิตเมล็ด (ยงยุทธ, 2558ก; Dobermann and Fairhurst, 2000) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับเหล็กและอะลูมินัมในดินเปรี้ยวจัด (Pierzynski et al., 2005) ดังนั้นจึงมักพบปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัดอยู่เสมอ (Attanandana, 1993; Ch'ng et al. 2014) การใส่ปูนเป็นวิธีการแก้ปัญหาดินเปรี้ยวจัดที่ได้ผลดีและมีการส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่แก้ปัญหาดินเปรี้ยวจัดโดยวิธีนี้มาเป็นระยะเวลายาวนาน โดยปูนที่ใส่ในดินจะเกิดการสลายตัวให้ HCO_3^- ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับ H^+ ในสารละลายดิน ทำให้พีเอชของดินเปรี้ยวจัดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แคลเซียมจากปูนและ HCO_3^- ที่เหลือยังสามารถทำปฏิกิริยากับ H^+ และ Al^{3+} ที่ดูดซับที่ผิวคอลลอยด์ดินทั้งที่อยู่ในรูป exchangeable และ residual acidity ทำให้สภาพกรดรวมที่ดูดซับที่ผิวคอลลอยด์ดินลดลง ซึ่งมีผลให้พีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้น (ไพบูลย์, 2546) แต่ถึงกระนั้นการใส่ปูนติดต่อกันเป็นเวลานานก็มีผลเสียเช่นกัน เนื่องจากฟอสฟอรัสสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมในปูนและเกิดการตกตะกอนทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินลดลง (ยงยุทธ, 2558ก; Jan et al., 2015; Dobermann and Fairhurst, 2000) ในทางการเกษตรปูนที่มีการใช้แก้ปัญหาดินเปรี้ยวจัดมีหลายประเภท เช่น ปูนขาว หินปูนบด ปูนมาร์ล และปูนโดโลไมต์ (ปิยะ, 2556) ทั้งนี้หน่วยงานราชการมักมีการแจกจ่ายปูนแก่เกษตรกรในเขตพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินในพื้นที่เป็นประจำ ทำให้ความรุนแรงของสภาพกรดในดินลดลงและช่วยให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น โดยจังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นพื้นที่หนึ่งที่อยู่ในเขตพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดจึงมีการใช้วัสดุปูนเพื่อปรับปรุงบำรุงดิน แต่ทั้งนี้ข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับอัตราการใช้ปูนในดินแต่ละพื้นที่ของจังหวัดนั้นยังมีข้อมูลน้อยมากซึ่งส่วนใหญ่เป็นคำแนะนำแบบกว้าง ๆ ไม่จำเพาะเจาะจง โดยแนะนำให้ใส่ปูนมาร์ล ประมาณ 500-1,000 กก./ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) ด้วยเหตุนี้อัตราการใช้ปูนตามคำแนะนำอาจมากหรือน้อยเกินไป และอาจกระทบต่อพืชปลูกและความ

อุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ เนื่องจากวัสดุปูนนั้นมีองค์ประกอบของแคลเซียมซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาและลดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส นอกจากนี้แคลเซียมในปูนยังสามารถไล่ที่ธาตุประจุบวกอื่น ๆ เช่น ธาตุโพแทสเซียมในดิน ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมมีวาเลนซี (2+) ซึ่งสูงกว่าโพแทสเซียม (1+) ทำให้มีอำนาจในการไล่ที่และดูดยึดกับเซลล์รากพืชได้มากกว่าโพแทสเซียมนั่นเอง (ไพบูลย์, 2546) โดยดินส่วนใหญ่ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาจัดอยู่ในชุดดินอยุธยาและชุดดินเสนาซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของจังหวัด (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2562) ซึ่งเป็นชุดดินที่อยู่ในกลุ่มดินเปรี้ยวเทียม หรือ Post-active acid sulfate soil (Attanandana and Vacharotayan, 1986) ในด้านความอุดมสมบูรณ์ดินนั้นถือได้ว่าดินในพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงโดยเฉพาะชุดดินอยุธยา เนื่องจากมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพา (สายชล และคณะ 2560; Sukitprapanon et al., 2016) ประกอบกับพื้นที่ของจังหวัดส่วนใหญ่มีระบบการชลประทานที่ดี มีการทำการเกษตรอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน ทำให้ช่วยลดความรุนแรงของกรดที่สะสมในดิน ดินเหล่านี้จึงมีความเป็นกรดไม่รุนแรงเนื่องจากกรดบางส่วนในดินถูกสะเทินออกไปบ้างแล้ว ดังนั้นปริมาณปูนที่ใช้ในการปรับปรุงดินจึงไม่มากและบางพื้นที่อาจไม่จำเป็นต้องใส่ จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลการใส่ปูนในอัตราที่เหมาะสมมีความสำคัญทั้งในแง่ของการเพิ่มผลผลิตพืชรวมทั้งการคงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการใส่วัสดุปูนในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์หอมปทุมที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา อีกทั้งศึกษาผลของการใส่ปูนต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าว (1-120 วัน)

วิธีการศึกษา

1. การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินในเดือนพฤศจิกายน 2562 โดยเลือกดินที่เป็นตัวแทนดินปลูกข้าวในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประกอบด้วย 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินท่าเรือ (Tr) ชุดดินเสนา (Se) และชุดดินอยุธยา (Ay) (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2562) (**Table 1**) ในแต่ละชุดดินทำการเก็บตัวอย่างชั้นดินบน (ความลึก 0-30 ซม.) แล้วนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้ง จากนั้นแบ่งตัวอย่างดินบางส่วนมาวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ เนื้อดิน (Gee and Bauder, 1986) พีเอชดิน (Thomas, 1996) ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Rhoades, 1996) อินทรียวัตถุ (Walkley and Black, 1946) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurzt, 1945) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Olsen and Sommer, 1982) แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) และแคลเซียมทั้งหมด (กนกพร และคณะ, 2560; Blair and Choguill, 1950) ผลวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นแสดงใน **Table 2** ส่วนตัวอย่างดินที่เหลือทำการทุบให้ละเอียดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองอื่น ๆ ต่อไป

2. ศึกษาอิทธิพลของการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

นำตัวอย่างดินจากทั้ง 3 ชุดดินมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ชั่งตัวอย่างดินใส่กระบะพลาสติกก้นทึบชุดดินละ 1 กก. (ทำ 3 ซ้ำ) จากนั้นเติมน้ำกลั่นและกวนจนเป็นเทือก รักษาระดับน้ำให้สูงจากผิวดิน 5 ซม. และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บตัวอย่างดินในวันที่ 1, 7, 14, 30, 60, 90 และ 120 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยใช้น้ำยาสกัด Bray 2 ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะใช้ตัวอย่างดินในสภาพสนาม (ดินเปียก) ประมาณ 5.0-5.5 กรัม เติมน้ำยาสกัด 30 มล. เขย่านาน 1 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ของเหลวที่ได้จากการกรองนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธีเทียบสี (colorimetric by ascorbic acid method) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (Kuo, 1996) อนึ่งในการวิเคราะห์ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสนั้นตัวอย่างดินที่ใช้เป็นตัวอย่างดินในสภาพสนาม ดังนั้นทุกช่วงระยะที่เก็บตัวอย่างดินจะทำการหาความชื้นดินทุกครั้งเพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณน้ำหนักแห้งดินเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อไป

3. ศึกษาผลของวัสดุปูนต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

ศึกษาการใส่วัสดุปูนในดินจำนวน 3 ชุดดิน (ชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใส่วัสดุปูน 3 ระดับ คือ 0, 1.6 และ 3.2 ก./ดิน 1 กก. ซึ่งเทียบเท่ากับการใช้วัสดุปูนในอัตรา 0, 500 และ 1,000 กก./ไร่ ใช้วัสดุปูนในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ด้านการวิเคราะห์ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจะทำการเก็บตัวอย่างดินจาก

แต่ละตำรับทดลองที่ระยะ 1, 7, 14, 30, 60, 90 และ 120 วัน มาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ (ใช้วิธีการวิเคราะห์และเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อที่ 2)

4. ศึกษาการตอบสนองของข้าวหอมปทุมต่อวัสดุปูน

ศึกษาการตอบสนองของข้าวหอมปทุมต่อวัสดุปูนใน 3 ชุดดิน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จำนวน 3 ตำรับทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ประกอบด้วย ไม่ใส่วัสดุปูน (Control) ใส่วัสดุปูนอัตรา 500 และ 1,000 กก./ไร่ (เทียบเท่าการใส่ปูนในอัตรา 0, 8 และ 16 ก./กระถาง) โดยชั่งตัวอย่างดินแห้งหนัก 5 กก. ใส่น้ำแล้วกวนดินให้เป็นเทือก ปักดำกล้าข้าวหอมปทุมอายุ 20 วัน จำนวน 2 ต้น/กระถาง รักษาระดับน้ำให้สูง 5 ซม. จากผิวดินตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ด้านการให้ปุ๋ยจะใช้ตามอัตราแนะนำของแอพพลิเคชั่น TFT ปุ๋ยสั่งตัด ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) อัตรา 11, 9 และ 9 กก./ไร่ ที่ระยะ 10 วันหลังการปักดำ และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 5, 3 และ 3 กก./ไร่ ที่ระยะแตกกอสูงสุด (70 วันหลังปักดำ) สำหรับชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา ตามลำดับ ด้านการเก็บเกี่ยวนั้น ทำการเก็บเกี่ยวข้าวที่อายุ 111 วันหลังปักดำ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างพืชแบบแยกส่วนคือ ส่วนเมล็ดและตอซัง และแบ่งตัวอย่างพืชบางส่วนไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชม. จากนั้นนำมาบดจนละเอียดแล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและแคลเซียมในเมล็ดและตอซังโดยย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดผสม 2 ชนิด (acid mixture, HNO_3-$HClO_4$ อัตรา 2:1 (v/v)) นำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธีเทียบสี (vanadomolybdate yellow color method) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1962) และวัดปริมาณแคลเซียมทั้งหมดโดยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer จากนั้นคำนวณค่าการดูดสะสมฟอสฟอรัสและแคลเซียมในส่วนเมล็ดและตอซัง โดยนำค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารคูณกับน้ำหนักแห้งพืชในแต่ละส่วน (Akinrinde and Gaizer, 2006)

5. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลประกอบด้วย 1) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ที่ระยะ 1, 7, 14, 30, 60, 90 และ 120 วัน 2) ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวหอมปทุม ประกอบด้วย ความสูงที่ระยะเก็บเกี่ยว ระยะเวลาการออกดอก จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักแห้งตอซัง และน้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14% และ 3) ความเข้มข้นและการดูดสะสมธาตุฟอสฟอรัสและแคลเซียมในส่วนเมล็ดและตอซังข้าว

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละตำรับทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และหาความสัมพันธ์ของผลผลิตในส่วนเมล็ด ตอซัง และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในช่วง 1-120 วันหลังการขังน้ำโดยวิธี partial correlation analysis

Table 1 Soil sampling sites

Soil series	Location			Classification[1/]	Land Use	Coordination
	Sub-district	District	Province			
Tha Rua (Tr)	Wang Daeng	Tha Rua	Ayutthaya	Vertic (Aeric) Endoaquepts	Paddy rice	14°52'90.27"N 100°67'28.60"E
Sena (Se)	Chai Na	Sena	Ayutthaya	Sulfic Endoaquepts	Paddy rice	14°27'74.09"N 100°35'76.80"E
Ayutthaya (Ay)	Krachaeng	Bangsai	Ayutthaya	Vertic Endoaquepts	Paddy rice	14°29'42.94"N 100°49'94.25"E

Note: [1/] Division of Soil Survey and Soil Resource Research (2019)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. สมบัติดินที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง (**Table 2**) พบว่าชุดดินเสนาและอยุธยามีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ส่วนชุดดินท่าเรือมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง ชุดดินเสนามีค่าพีเอชดินอยู่ในระดับเป็นกรดจัดมากขณะที่ชุดดินท่าเรือและชุดดินอยุธยาค่าพีเอชดินอยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อย ดินทั้งสามชุดดินไม่เป็นดินเค็ม ชุดดินท่าเรือมีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนชุดดินเสนาและอยุธยามีค่าอินทรียวัตถุในระดับสูงมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง สำหรับชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา ตามลำดับ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงสำหรับชุดดินท่าเรือ ส่วนชุดดินเสนา และอยุธยาอยู่ในระดับสูงมาก แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในชุดดินเสนาอยู่ในระดับสูง ส่วนชุดดินท่าเรือและอยุธยาอยู่ในระดับสูงมาก และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงทั้งสามชุดดิน ตามเกณฑ์การประเมินของ FAO Project Staff and Land Classification Division (1973)

Table 2 Physiochemical property of soils used in the experiment

Properties	Tr soil	Se soil	Ay soil
Texture class	Silty Clay	Clay	Clay
Sand (g/kg)	152	75	19
Silt (g/kg)	439	387	369
Clay (g/kg)	409	538	612
Soil pH (1_{soil}:1_{H2O})	6.5	4.8	6.1
Electrical Conductivity (dS/m)	0.6	1.2	1.4
Organic matter (g/kg)	1.5	5.0	5.2
Available phosphorus (mg/kg)	3.9	13.7	26.9
Total phosphorus (mg/kg)	623	1,785	1,920
Exchangeable calcium (mg/kg)	5,031	2,418	4,340
Total calcium (mg/kg)	9,095	5,179	6,655
Exchangeable potassium (mg/kg)	94	157	234
Exchangeable magnesium (mg/kg)	385	443	698

2. อิทธิพลของการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินที่ศึกษาภายใต้สภาพการขังน้ำเป็นเวลา 120 วัน พบว่า ดินทุกชุดดินที่ศึกษามีระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นภายหลังการขังน้ำ (**Figure 1**) โดยชุดดินอยุธยามีระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงสุดที่ระยะ 120 วันหลังการขังน้ำ (99.67 มก./กก.) โดยสังเกตได้ว่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการขังน้ำ โดยมีค่าสูงสุดในช่วงแรกที่ระยะ 30 วันหลังการขังน้ำ จากนั้นจะมีค่าลดลงที่ระยะ 60 วัน และเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ระยะ 90 และ 120 วันหลังการขังน้ำ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับชุดดินเสนา ซึ่งมีค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงสุดที่ระยะ 120 วันหลังการขังน้ำ (22.49 มก./กก.) และชุดดินท่าเรือ ซึ่งมีค่าระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ระยะ 90 และ 120 วันหลังการขังน้ำใกล้เคียงกัน (8.25 และ 7.48 มก./กก.) ยงยุทธ (2558ก) รายงานว่าการขังน้ำมีผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มสูงขึ้น โดยมีสาเหตุหลักมาจากเฟอริกฟอสเฟตในดินเกิดการแปรสภาพเป็นเฟอรัสฟอสเฟต และแมงกานีสฟอสเฟตแปรสภาพเป็นแมงกานัสฟอสเฟตซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย นอกจากนี้ในดินเปรี้ยวจะมีการปลดปล่อยฟอสเฟตจากสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตมากขึ้น เนื่องจากพีเอชของดินภายหลังการขังน้ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้กิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ดินมีมากขึ้นฟอสฟอรัสในดินจึงถูกปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นนั่นเอง สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ซึ่งแสดงใน **Figure 1** โดยจะเห็นได้ว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ในดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อดินมีระยะเวลาการขังน้ำยาวนานขึ้น โดยเฉพาะในชุดดินอยุธยาที่มีการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอย่างชัดเจน โดย Patrick and Mahapatra (1968) รายงานว่าการขังน้ำจะส่งผลให้ฟอสฟอรัสในดินเปลี่ยนรูปเป็น Fe-P สูงกว่าดินที่ไม่มีการขังน้ำ ขณะที่ Maranguit et al. (2017) ศึกษาผลของการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและเหล็กในดินที่มีการผุพังสลายตัวสูงพบว่า ในช่วง 0-20 วันหลังการขังน้ำ ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากนั้นจะมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อผ่านการขังน้ำไปแล้ว 60 วัน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของการขังน้ำซึ่งมีผลให้ธาตุอื่น ๆ เช่น ธาตุเหล็กในดินละลายออกมาและเกิดการทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส ส่งผลให้ฟอสฟอรัสในดินอยู่ในรูป Fe-P ระดับของฟอสฟอรัสในช่วงระยะเวลาดังกล่าวจึงลดลง ทั้งนี้อัตราเร็วและปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณเหล็กออกไซด์ในดิน อินทรียวัตถุและจุลินทรีย์ดิน ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และสภาพพีเอชดิน (Maranguit et al., 2017)

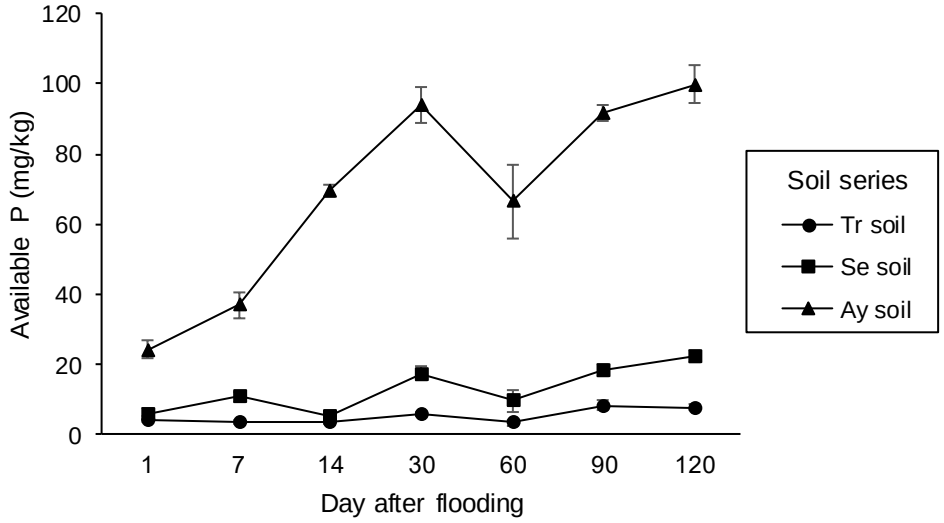


Figure 1 Available phosphorus of the studied soil during flooding for 120 days

3. ผลของวัสดุปูนต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

อัตราการใส่วัสดุปูนที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 3 ชุดดิน (**Figure 2**) ในชุดดินท่าเรือการใส่วัสดุปูนส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มลดลง โดยพบความแตกต่างทางสถิติของการใส่วัสดุปูนในอัตราที่แตกต่างกันเฉพาะที่ระยะ 30 วันหลังการขังน้ำ โดยตำรับควบคุม (ไม่ใส่วัสดุปูน) ให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด (5.89 มก./กก) ซึ่งตรงข้ามกับชุดดินเสนา ที่พบว่าการใส่วัสดุปูนส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม โดยพบความแตกต่างทางสถิติของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ระยะ 14 และ 90 วันหลังการขังน้ำ ซึ่งการใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ ให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด (9.30 และ 27.69 มก./กก. ตามลำดับ) ส่วนในชุดดินอยุธยาการใส่วัสดุปูนอัตรา 500 กก./ไร่ ให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในช่วง 1-60 วันหลังการขังน้ำ สูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ โดยมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 27.6-111.0 มก./กก. ซึ่งค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดของตำรับการทดลองนี้ถือเป็นค่าสูงสุดของชุดดินอยุธยา ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอัตราการใส่วัสดุปูนดังกล่าว เป็นอัตราที่เหมาะสมในการสะเทินปฏิกิริยาความเป็นกรดของดินทั้งในส่วนกรดจริงและกรดแฝง ส่งผลให้ค่าพีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้นและอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในชุดดินดังกล่าว จากผลการทดลองเห็นได้ว่าการใส่วัสดุปูนมีผลอย่างชัดเจนต่อการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในชุดดินเสนา (**Figure 2B**) ทั้งนี้อาจเพราะชุดดินเสนามีพีเอชต่ำกว่าชุดดินอื่น ๆ ซึ่งพีเอชดินถือเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมากต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเปรี้ยวจัด ทั้งนี้เพราะลักษณะของดินดังกล่าวมีการตรึงฟอสฟอรัสสูง (Attanandana, 1993; Ch'ng et al. 2014) อันเนื่องมาจากในสภาพดินเปรี้ยวจัดนั้น แร่ดินเหนียว เช่น แร่เกอไทต์ และฮีมาไทต์จะเกิดการผุพังสลายตัวอย่างรุนแรงแล้วทำให้ธาตุเหล็กและอะลูมินัมซึ่งเป็น

องค์ประกอบของแร่เหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมา (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Sukitprapanon et al., 2018) และสามารถทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสเกิดเป็นสารประกอบที่ละลายได้ยากคือ Al-P และ Fe-P (Mkhonza et al, 2018; Seng et al., 2006) การใส่ปูนจะมีผลในการสะเทินปฏิกิริยาความเป็นกรดของดินทำให้พีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้น เหล็กและอะลูมินัมจะทำปฏิกิริยากับปูนและเกิดการตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยากคือ $Fe(OH)_3$ และ $Al(OH)_3$ (Mkhonza et al., 2018) ขณะที่ในชุดดินท่าเรือพบว่าการใส่ปูนมีแนวโน้มให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินลดลงซึ่งอาจมีผลมาจากชุดดินท่าเรือมีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงประกอบกับค่าพีเอชดินที่อยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5) (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) (**Table 1**) การใส่ปูนจะมีผลในการเพิ่มการสร้างพันธะระหว่างฟอสฟอรัสและแคลเซียมเกิดเป็น Ca-P ซึ่งมีผลทำให้ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีค่าลดลง (Dobermann and Fairhurst, 2000) สอดคล้องกับรายงานของ Fageria (2001) กล่าวว่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียม ซึ่งอาจเป็นมาจากการสร้างพันธะระหว่างธาตุทั้งสองชนิดและเปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่ละลายทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารโดยพืชมีค่าลดลง

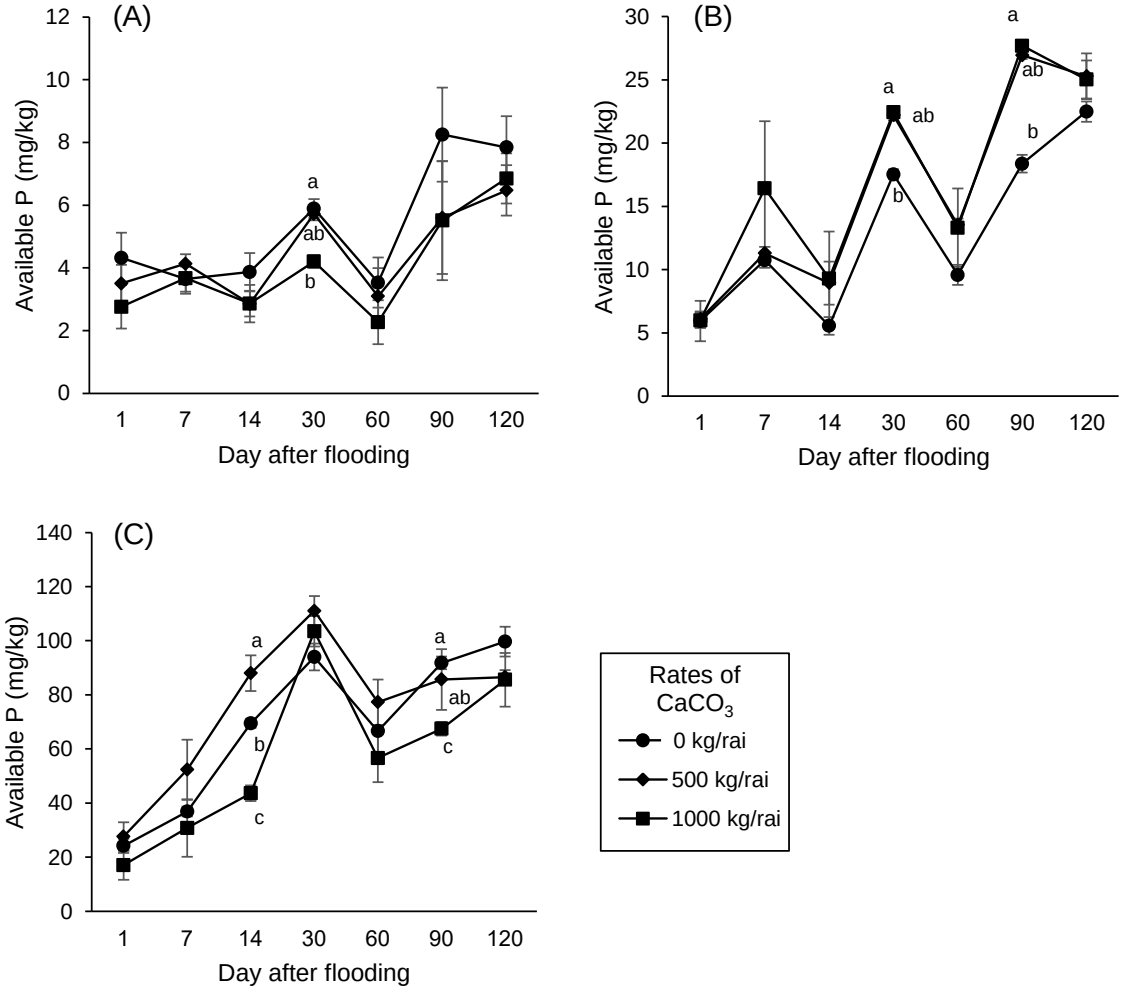


Figure 2 Effect of lime material on available phosphorus in Tha Rua (A), Sena (B) and Ayutthaya (C) soil series at different waterlogging period

4. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

การใส่วัสดุปูนมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอย่างชัดเจนแต่กลับมีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวหอมปทุมไม่ชัดเจนยกเว้นในชุดดินเสนา โดยการใช้วัสดุปูนในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนามีจำนวนหน่อต่อกอ จำนวน

รวงต่อกอ และน้ำหนักตอซังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ ทำให้ข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินเสนามีจำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และน้ำหนักตอซังสูงที่สุด (31.3 หน่อ/กอ, 28.6 รวง/กอ และ 74.2 กรัม/กระถาง ตามลำดับ) ส่วนในชุดดินท่าเรือการใส่วัสดุปูนมีผลให้ผลผลิตเมล็ดมีค่าลดลง โดยการใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ ให้ค่าน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% ต่ำที่สุด (11.8 กรัม/กระถาง) ขณะที่ในชุดดินอยุธยาพบว่าการใส่วัสดุปูนในอัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวหอมปทุม (**Figure 3**) การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยวัสดุปูนนั้นอาจให้ผลที่ไม่ชัดเจนในกรณีที่ดินมีค่าพีเอชสูง แต่จะให้ผลชัดเจนต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตพืชในกรณีที่ดินพีเอชดินต่ำกว่า 5.5 (Ferdous et al., 2018) ทั้งนี้ Seng et al. (2006) รายงานว่ามีงานทดลองหลายงานที่พบว่าผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่มีการขังน้ำอย่างต่อเนื่องไม่ตอบสนองต่อการใส่ปูนหรือมีการเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง โดยจะเห็นได้ว่าข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินเสนาซึ่งเป็นดินที่มีพีเอชต่ำ (**Table 2**) มีการตอบสนองต่อวัสดุปูนที่ใส่อย่างชัดเจน ขณะที่ชุดดินอยุธยาซึ่งเป็นดินที่มีค่าพีเอชสูงขึ้นมาข้าวที่ปลูกไม่มีการตอบสนองต่อวัสดุปูนที่ใส่ ส่วนในชุดดินท่าเรือการใส่วัสดุปูนกลับมีผลในการลดระดับของผลผลิตข้าวที่ปลูก ทั้งนี้เป็นอาจผลมาจากระดับของพีเอชดินที่ทำการศึกษา ไพบูลย์ (2546) รายงานว่าดินโดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นกรดหรือด่าง ความเป็นกรดหรือด่างนี้จะเปลี่ยนแปลงมาอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง (พีเอช 7) ภายในระยะเวลา 1-2 เดือนหลังการขังน้ำ และจะรักษาระดับของพีเอชนี้อยู่เป็นเวลานาน โดยพีเอชดินนั้นมีผลอย่างยิ่งต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชทั้งการปลดปล่อยธาตุอาหารผ่านกระบวนการ Mineralization โดยจุลินทรีย์ดิน และการทำปฏิกิริยาของธาตุอาหารพืชในดินจนเกิดเป็นสารประกอบที่มีความเสถียรและเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก การเกิดปรากฏการเหล่านี้ล้วนมีผลมาจากพีเอชของดินทั้งสิ้น (Maranguit et al., 2017; Mkhonza et al., 2018) จากรายงานของ Attanandana and Vacharotayan (1986) ได้ศึกษาผลของการขังน้ำ การล้างดิน และการใส่ปูนในดินเปรี้ยวจัดชุดดินธัญบุรีเป็นระยะเวลา 3 ปีพบว่า การขังน้ำเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนปลูกข้าวทำให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 7.7% ขณะที่การใส่ปูนสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 11.5% ขณะที่ Seng et al. (2006) รายงานว่าการใส่ปูนอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลต่อชีวมวลน้ำหนักแห้งของข้าว ทั้งนี้หากพิจารณาสมบัติดินเบื้องต้น (**Table 2**) ประกอบกับอิทธิพลจากการขังน้ำจะพบว่า ชุดดินท่าเรือและชุดดินอยุธยามีพีเอชในระดับเป็นกรดเล็กน้อยการใส่ปูนลงไปเพิ่มเติมจึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้พีเอชดินเพิ่มขึ้นจนถึงระดับเป็นกลางหรืออาจมากกว่าระดับที่เป็นกลางสำหรับชุดดินท่าเรือ ประกอบกับอิทธิพลจากการขังน้ำซึ่งมีผลให้ธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น (**Figure 1**) ดังนั้นสำหรับชุดดินท่าเรือและอยุธยาจึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีความจำเป็นต้องใส่วัสดุปูนทั้งเพื่อเหตุผลด้านการเพิ่มระดับความอุดมสมบูรณ์ดินหรือเพื่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต แต่ในกรณีของชุดดินเสนานั้นจะเห็นได้ว่าการใส่วัสดุปูนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นทั้งระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และผลผลิตข้าวดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสำหรับชุดดินเสนาการใส่วัสดุปูนยังคงมีความสำคัญต่อการเพราะปลูกพืชในพื้นที่

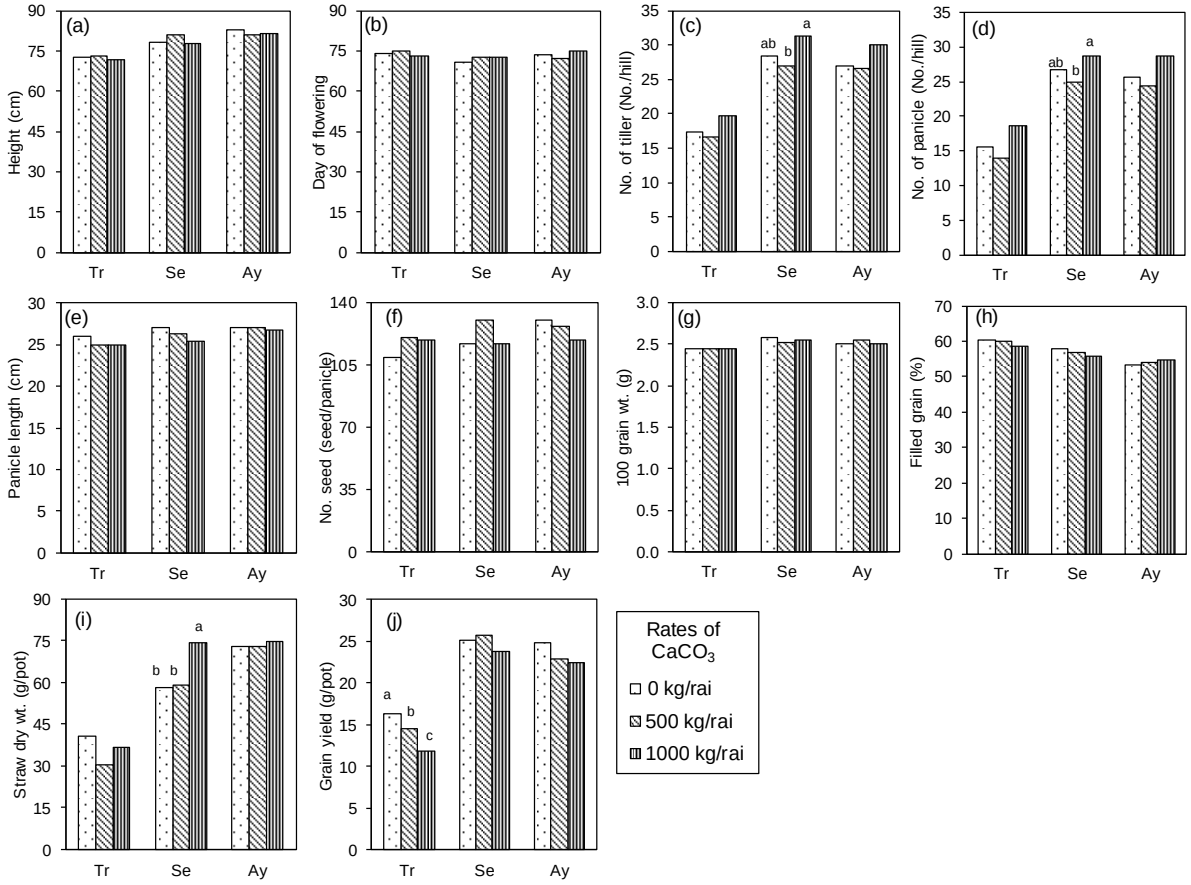


Figure 3 A response of yield and yield component of Hom Pathum rice to lime material at different rates; plant high (a), day of flowering (b), number of tliier (c), number of panicle (d), panicle length (e), number of seed (f), 100 grain weight (g), filler grain (h), dry straw weight (i) and grain yield (j); $^{a, b, c}$ are the homogeneous subsets of yield and yield components were significantly different at $p < 0.05$ of DMRT

5. ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารในข้าวหอมปทุม

ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสและแคลเซียมในส่วนเมล็ดและตอซังข้าวหอมปทุมพบว่า การดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสทั้งในส่วนตอซังและเมล็ดในข้าวหอมปทุมที่ปลูกในทั้ง 3 ชุดดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 3**) ในชุดดินท่าเรือการใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งในส่วนตอซังมีค่าลดลงอย่างชัดเจน ขณะที่ในชุดดินเสนาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุปูน โดยการใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ ให้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังสูงที่สุด (5.15 และ 6.25 ก./กก. ตามลำดับ) ในชุดดินอยุธยาการใส่วัสดุปูนมีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชมีค่าลดลงโดยพบว่า การใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 และ 500 กก./ไร่ ให้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนตอซังและเมล็ดต่ำที่สุด (4.36 และ 4.58 ก./กก. ตามลำดับ) ด้านความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชพบว่า มีความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นแคลเซียมในส่วนตอซังของข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินท่าเรือและชุดดินเสนา ขณะที่ในเมล็ดพบความแตกต่างทางสถิติของแคลเซียมในข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยา ทั้งนี้ความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชทั้ง 2 ส่วนในทุกชุดดินที่ทำการศึกษามีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุปูน (**Table 3**) ด้านการดูดใช้ฟอสฟอรัสและแคลเซียมพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเมล็ดข้าวที่ปลูกในทุกชุดดิน ขณะที่ในส่วนตอซังพบเฉพาะข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินเสนาเท่านั้น **(Figure 4)** โดยข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนาที่ใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ มีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด (0.6 กรัม/กระถาง) ขณะที่ชุดดินท่าเรือและชุดดินอยุธยามีค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 0.20-0.24 และ 0.42-0.47 กรัม/กระถาง ตามลำดับ ในส่วนของการดูดใช้แคลเซียมพบว่า การใส่วัสดุปูนมีผลให้ข้าวที่ปลูกในทุกชุดดินมีค่าการดูดใช้แคลเซียมเพิ่มขึ้น โดยการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตอัตรา 500

กก./ไร่ ทำให้ข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยามีค่าการดูดใช้แคลเซียมสูงที่สุด (1.61 และ 0.92 กรัม/กระถาง ตามลำดับ) ขณะที่ในชุดดินท่าเรือพบว่าการดูดใช้แคลเซียมของข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุปูน จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวหอมปทุมที่ปลูกในทุกชุดดิน (2.73-6.25 ก./กก.) มีค่าอยู่ในระดับสูงกว่าเกณฑ์ที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว โดย Dobermann and Fairhurst (2000) รายงานระดับของฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยวมีค่าอยู่ในพิสัย 1.0-1.5 ก./กก. ขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียมในข้าวพบว่า ข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินอยุธยามีค่าความเข้มข้นของแคลเซียม 989-1,174 มก./กก. ซึ่งต่ำกว่าระดับวิกฤตที่กำหนดไว้คือ 1,500 มก./กก. ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้ในส่วนของข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seng et al. (2006) ส่วนในชุดดินท่าเรือและชุดดินอยุธยาให้ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Fageria (2001) (**Table 3**) ฟอสฟอรัสและแคลเซียมมีอันตรกิริยาในเชิงปฏิปักษ์ต่อกันการเพิ่มระดับแคลเซียมในดินจะมีผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยพืชที่ปลูกมีค่าลดลง (ยงยุทธ, 2558ข; Fageria, 2001; Hopkins, 2015) ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช เช่น สภาพพีเอชดิน ปริมาณออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม อินทรียวัตถุ และช่วงอายุในการเจริญเติบโตของพืช (ยงยุทธ, 2558ก; Maranguit et al., 2017)

Table 3 Effect of lime material on phosphorus and calcium concentration in Hom Pathum rice

Rates of $CaCO_3$	Phosphorus concentration (g/kg)[1]		Calcium concentration (mg/kg)[1]	
(kg/rai)	Straw	Grain	Straw	Grain
		Tr soil series		
0	4.08 a	4.32 b	1,065 c	400
500	4.61 a	5.42 a	1,773 b	441
1,000	2.73 b	4.50 b	2,128 a	449
F-test	**	**	*	ns
CV (%)	2.07	2.21	26.70	14.12
		Se soil series		
0	3.43 c	4.07 c	1,552 b	323 c
500	4.28 b	4.92 b	2,551 a	425 b
1,000	5.15 a	6.25 a	1,853 ab	573 a
F-test	**	**	**	*
CV (%)	1.38	1.16	10.00	12.78
		Ay soil series		
0	5.65 a	5.12 a	989	421 c
500	5.09 ab	4.58 b	1,154	557 b
1,000	4.36 b	4.99 ab	1,174	649 a
F-test	**	**	ns	*
CV (%)	2.00	1.60	17.59	8.69

Remark [1] Means within the same column followed by the same letters indicate no significant difference among treatment using by DMRT, **,* Significant different at 0.01 and 0.05 probability levels, [ns] not significant

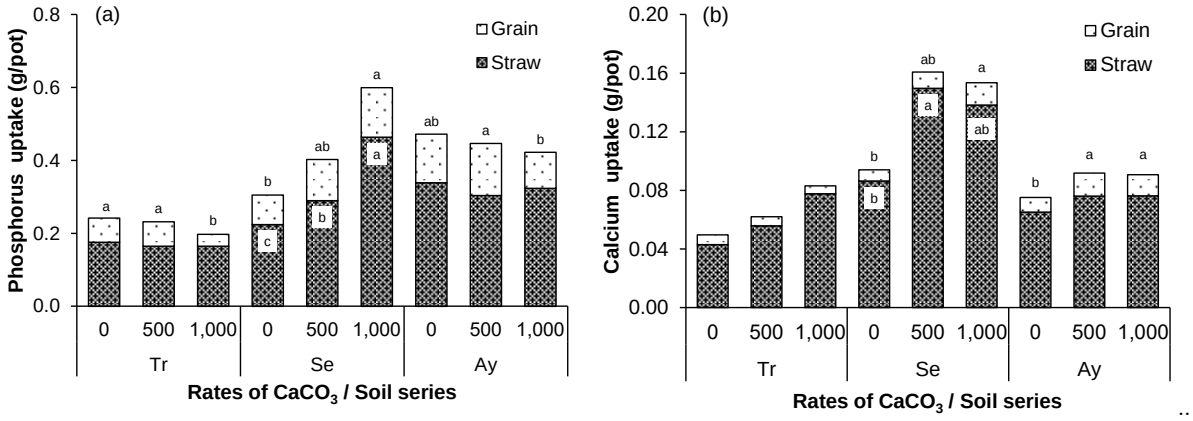


Figure 4 Uptake of phosphorus (a) and calcium (b) in grain and straw of Hom Pathum rice with received lime material at different rates

6. สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต ปริมาณฟอสฟอรัสในข้าว และความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินแต่ละช่วงเวลาภายหลังการขังน้ำแสดงใน **Table 4** จากผลการทดลองพบว่า ผลผลิตเมล็ดและตอซัง และปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในพิสัย 0.48* ถึง 0.67** แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินในแต่ละช่วงเวลาของการขังน้ำมีอิทธิพลต่อผลผลิตข้าวทั้งในส่วนเมล็ดและตอซัง รวมถึงการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวด้วย ทั้งนี้ฟอสฟอรัสถือเป็นธาตุที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของ ดีเอ็นเอ และสารให้พลังงานในพืช ในข้าวฟอสฟอรัสมีบทบาทอย่างมากในการแตกกอ การพัฒนาของราก การออกดอกและการสุกแก่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ (ทศพร และคณะ, 2560; ยงยุทธ, 2558ข; Dobermann and Fairhurst, 2000) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระยะ 90 วันหลังการขังน้ำ น้ำหนักแห้งตอซัง และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวมีค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าช่วงระยะเวลาอื่น ๆ (0.67** และ 0.62** ตามลำดับ) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในการแพร่กระจายและขยายขนาดของราก อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการแตกกอของข้าวซึ่งส่งผลให้ข้าวมีการสะสมน้ำหนักแห้งได้สูงขึ้น (Tian et al., 2016) เป็นเหตุผลที่ทำให้พบสหสัมพันธ์ทางสถิติสูงในช่วงการเจริญพันธุ์ถึงระยะใกล้เก็บเกี่ยว อีกทั้งการใส่วัสดุปูนช่วยยกระดับค่าพีเอชในดินเปรี้ยวจัดบางชุดดินที่ใช้ในการทดลองส่งผลให้เกิดกระบวนการ mineralization ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น ข้าวจึงสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสและสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้มากขึ้น จึงพบสหสัมพันธ์ทางสถิติของการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวกับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินในช่วงใกล้ระยะเก็บเกี่ยวข้าว ทั้งนี้การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตและธาตุอาหารพืชในดินนั้นถูกควบคุมด้วยปัจจัยทางดินที่หลากหลาย อีกทั้งชนิดและสายพันธ์พืชปลูกก็มีความสำคัญเช่นกัน (Hopkins, 2015; Maranguit et al., 2017)

Table 4 Correlation coefficient (*r*) for linear relationships between grain, straw, total phosphorus in rice and available phosphorus with affecting by lime material in soil at different day of waterlogging

Yield and total P in rice (g/pot)	Available phosphorus (mg/kg) (n=27)						
	Day after flooding						
	1	7	14	30	60	90	120
Straw	0.57**	0.65**	0.54**	0.61**	0.60**	0.67**	0.64**
Grain	0.55**	0.64**	0.52**	0.54**	0.55**	0.61**	0.55**
Total P in rice	0.50**	0.61**	0.48*	0.53**	0.52**	0.62**	0.57**

Remark *,** = correlations are significant at 0.05 and 0.01 probability levels respectively

สรุป

การขังน้ำมีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ชุดดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดดินอยุธยาซึ่งมีค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัยกว้างกว่าชุดดินอื่น (24.2-99.6 มก./กก.) ขณะที่การใส่วัสดุปูนในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตอัตรา 500-1,000 กก./ไร่ ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในชุดดินเสนาเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับชุดดินท่าเรือ ส่วนในชุดดินอยุธยานั้นการใส่วัสดุปูนอัตรา 500 กก./ไร่ ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ระยะ 1-60 วันหลังการขังน้ำ มีค่ามากกว่าการไม่ใส่หรือใส่วัสดุปูนอัตรา 1,000 กก./ไร่ การใส่วัสดุปูนมีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินเสนาเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ในชุดดินท่าเรือพบว่าผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14% มีค่าลดลงตามอัตราการใส่วัสดุปูน การใส่วัสดุปูนยังมีผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยรวมทั้งส่วนเมล็ดและตอซังของข้าวในชุดดินเสนาเพิ่มขึ้น ขณะที่ในชุดดินท่าเรือให้ผลตรงข้าม ส่วนการดูดใช้แคลเซียมนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใส่วัสดุปูนในอัตราที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากวัสดุปูนที่ใส่ลงไปมีผลต่อค่าพีเอชดินที่สูงขึ้น ทำให้ธาตุอาหารพืชหลาย ๆ ชนิด สามารถละลายออกมาและเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งเห็นผลได้อย่างชัดเจนในข้าวหอมปทุมที่ปลูกในชุดดินเสนาซึ่งเป็นดินที่มีค่าพีเอชต่ำที่สุด แต่สำหรับดินที่มีพีเอชใกล้กลาง เช่น ชุดดินท่าเรือ การใส่วัสดุปูนเพิ่มอาจทำให้ฟอสฟอรัสในดินทำปฏิกิริยากับปูนที่ใส่ลงไปแล้วเกิดเป็นสารประกอบ Ca-P ซึ่งมีผลในการลดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินลงและส่งผลถึงผลผลิตพืชที่ลดลงด้วย ดังนั้นการใส่ปูนเพื่อปรับปรุงดินในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาควรพิจารณาใส่เฉพาะพื้นที่ที่เป็นชุดดินเสนา เช่น พื้นที่ในเขตอำเภอเสนา ลาดบัวหลวง บางซ้าย และบางไทรในบางตำบล ส่วนชุดดินท่าเรือและชุดดินอยุธยาอาจไม่มีความจำเป็นต้องใส่วัสดุปูนเพื่อปรับปรุงดิน

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

กนกพร มานันตพงศ์, ศุภิฌา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และ เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2560. ผลของแคลเซียมและแมกนีเซียมต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาและดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ. แก่นเกษตร 45(1): 101-112.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2562. ข้อมูลการจัดการดิน: การจัดการปัญหาดินเปรี้ยวจัด. แหล่งข้อมูล: https://www.ldd.go.th/Web_Soil/acid.htm#51. ค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2563.

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2562. แผนที่ชุดดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. แหล่งข้อมูล: http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoilinf/central/Ayutthaya/ay_map/ay_series/ay_series58.html, ค้นเมื่อ 7 กรกฎาคม 2562.

ทศพร บ่อบัวทอง, เนตรนภา อินสลุด, วิชญ์ภาส สังพาลี และ จุฑามาศ อาจนาเสียว. 2560. ผลของระดับฟอสฟอรัสต่อการพัฒนาระบบรากข้าว. แก่นเกษตร. 45(ฉบับพิเศษ 1): 997-1002.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2550. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558ก. ฟอสฟอรัสของข้าว. หน้า 261-275. ใน: ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558ข. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2556. สารปรับปรุงดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. เคมีดิน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สายชล สุขญาณกิจ, สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ และธนภัทร ปลื้มพวก. 2560. ผลของการจัดการฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยพืชสดต่อสมบัติทางเคมีของดินในชุดดินอยุธยา. หน้า 2507-2517. ใน: รายงานประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 14 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, จังหวัดนครปฐม.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2550. ดินเปรี้ยวในประเทศไทย. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. กรุงเทพ ฯ.

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. 1993. Deficiencies and toxicities of some nutrient elements in acid sulfate soils of Thailand. Kasetsart Journal: Natural Science 27: 508-515.

Attanandana, T., and S. Vacharotayan. 1986. Acid sulfate soils: their characteristics, genesis, amelioration and utilization. Japanese Journal of Southeast Asian Studies 24: 154-180.

Blair, B.O., and H.S. Choguill. 1950. Comparison of methods for determination of soil calcium. Transactions of the Kansas Academy of Science 53: 23-27.

Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59: 39–45.

Ch'ng, H.Y., O.H. Ahmed, and N.M. Ab. Majid. 2014. Improving phosphorus availability in an acid soil using organic amendments produced from agroindustrial wastes. The Scientific World Journal 2014: 506356.

Division of Soil Survey and Soil Resource Research. 2019. Soil map of Phranakhon Si Ayutthaya. Available: http://oss101.ldd.go. th/web_thaisoilinf/central/Ayutthaya/ay_map/ay_series/ay_series58.html. Accessed July 7, 2019.

Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Potash and Phosphate Institute (PPI), Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI).

Fageria, V.D. 2001. Nutrient interaction in crop plants. Journal of Plant Nutrition 24: 1269-1290.

FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperative, Bangkok.

Ferdous, S.A., M.N.H. Miah, M. Hoque, M.S. Hossain, and A.K. Hasan. 2018. Enhancing rice yield in acidic soil through liming and fertilizer management. Journal of Bangladesh Agricultural University 16: 357-365.

Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis, pp. 383-412. In: A. Klute, (ed.). Methods of Soil Analysis Part 1 – Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America Journal, Medison, Wisconsin.

Hopkins, B.G. 2015. Phosphorus. pp. 65-126. In: Barker A.V. and D.J. Pilbeam (eds.). Handbook of Plant Nutrition. CRC Press. London, UK.

Jan, J., J. Borovec, J. Kopacek, and J. Hejzlar. 2015. Assessment of phosphorus associated with Fe and Al (hydr)oxides in sediments and soils. Journal of Soils and Sediments 15: 1620–1629.

Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soil and Plant, 2nd ed. CCR Press, Boca Raton, Florida.

Kuo, S. 1996. Phosphorus. pp. 869-919. In: Sparks D. L. (ed.). Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods. Soil Science Society of America Journal. Madison, Wisconsin.

Maranguit, D., T. Guillaume, and Y. Kuzyakov. 2017. Effects of flooding on phosphorus and iron mobilization in highly weathered soils under different land-use types: Short-term effects and mechanisms. Catena 158: 161-170.

Mkhonza, N.P., N.N. Buthelezi-Dube, and P. Muchaonyerwa. 2018. Effects of lime application on nitrogen and phosphorus availability in humic soils. Scientific Reports 10: 8634.

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.

Olsen, S.R., and L.E. Sommer. 1982. Phosphorus, pp. 403-430. In: A.L. Page et al. (eds.). Methods of Soil Analysis Part 2 - Chemical and Microbiological Properties. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, Wisconsin.

Patrick, W.H.J., and I.C. Mahapatra. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Advances in Agronomy 20: 323-359.

Pierzynski, G.M., R.W. McDowell, and J.T. Sims. 2005. Chemistry, cycling and potential movement of inorganic phosphorus in soil. In: Sims, J.T. and A.N. Sharpley (eds.). Phosphorus: Agriculture and the Environment. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids, pp. 417-435. In: D.L. Sparks (ed.). Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods. SSSA Book Ser. 5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Seng, V., R.W. Bell, and I.R. Willett. 2006. Effect of lime and flooding on phosphorus availability and rice growth on two acidic lowland soils, Communications in Soil Science and Plant Analysis 37: 313-336.

Sukitprapanon, T., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, S. Anusontpornperm, and R.J. Gilkes. 2015. Forms of acidity in potential, active and post-active acid sulfate soils in Thailand. Thai Journal of Agricultural Science 48: 133-146.

Sukitprapanon, T., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, S. Anusontpornperm, and R.J. Gilkes. 2016. A comparison of potential, active and post active acid sulfate soils in Thailand. Geoderma Regional 7: 346-356.

Sukitprapanon, T., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, and R.J. Gilkes. 2018. Partitioning and potential mobilization of aluminum, arsenic, iron, and heavy metals in tropical active and post-active acid sulfate soils: Influence of long-term paddy rice cultivation. Chemosphere 197: 691-702.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable Cations, pp. 159-161. In: A.L. Page et al. (eds.). Methods of Soil Analysis Part 2 - Chemical and Microbiological Properties. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, Wisconsin.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil acidity, pp. 475-490. In: D.L. Sparks, (ed.). Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods. SSSA Book Ser. 5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Tian, Z., J. Li, X. Jia, F. Yang, and Z. Wang. 2016. Assimilation and translocation of dry matter and phosphorus in rice genotypes affected by salt-alkaline stress. Sustainability 8: 568.

Walkley, A., and C.A. Black. 1934. An examination of degradation methods for determining soil organic matter: a proposed for modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29–35.