วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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

การประเมินประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดในการตรวจวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและการตอบสนองต่อข้าวปทุมธานี 1

Assessment the efficacy of extractants for examining of available phosphorus in soils and the response of Pathum Thani 1 rice

สายชล สุขญาณกิจ[1]*, ภารดี แซ่อึ้ง[1], ยุพาภรณ์ วิริยะนานนท์[1] และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์[2]

Saychol Sukyankij[1]*, Paredee Sea-Ung[1], Yupaporn Wiriyananon[1] and Thanawan Panich-pat[2]

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

บทคัดย่อ: ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกข้าวผันแปรตามชนิดของน้ำยาสกัด สมบัติดิน และการตอบสนองของพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดฟอสฟอรัสชนิดต่าง ๆ ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้และ การตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวปทุมธานี 1 เพื่อสร้างสมการคาดคะเนอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยทำการศึกษา 1) ประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดฟอสฟอรัส ได้แก่ Mehlich 1, Mehlich 3, Bray 1, Bray 2, $CaCl_2$ และ BSES เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างสมการคาดคะเนผลผลิต 2) ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 โดยทำการศึกษาใน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา ผลการทดลองพบว่า น้ำยาสกัด Bray 2 ให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เฉลี่ยสูงที่สุด (16.62 มก./กก.) และพบสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 กับน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 เท่านั้น โดยน้ำยาสกัด Bray 2 ให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับฟอสฟอรัสในเมล็ดสูงสุด (r =0.914**) รองลงมาคือน้ำยาสกัด Bray 1 (r =0.727**) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ทำให้ผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อแทนค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากน้ำยาสกัดทั้ง 2 ชนิด (b) และอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส (x) ในสมการ Mitscherlich Bray เพื่อคาดคะเนผลผลิต (y) ของข้าวปทุมธานี 1 พบว่าน้ำยาสกัด Bray 1 ให้ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตจริงกับผลผลิตทำนายสูงสุด (R^2 =0.847**) โดยสมการที่ได้คือ log (100-y) = 2-0.116b-0.139x เป็นสมการที่คาดคะเนอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยการวิเคราะห์ดินที่จำเพาะต่อดินปลูกข้าวปทุมธานี 1 ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยามากกว่าน้ำยาสกัดชนิดอื่น ๆ

คำสำคัญ: น้ำยาสกัด; ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์; ข้าวปทุมธานี 1; สมการ Mitscherlich Bray

ABSTRACT: The content of available phosphorus in rice growing soils vary depending on the types of extractants, soil properties and crop responses. The objective of this research was to assess the efficacy of various phosphorus extractant on the extractable phosphorus content and yield responses to phosphorus fertilizer rates of Pathum Thani 1 rice by investigating 1) the efficacy of phosphorus extractants, i.e., Mehlich 1, Mehlich 3, Bray 1, Bray 2, $CaCl_2$ and BSES to use as the data in rice yield prediction equations, and 2) the effects of phosphorus fertilizer on yield of Pathum Thani 1 rice. The study was conducted in 3 soil series, consisting of Tha Rua, Sena and Ayutthaya soil series. The results showed that Bray 2 provided the highest mean of extractable phosphorus (16.62 mg/kg) and only Bray 1 and Bray 2 extractant were significantly correlated with phosphorus concentration in Pathum Thani 1 rice grain, while the Bray 2 extractant showed the highest linear correlation with grain phosphorus (r = 0.914**),

*Corresponding author: saychol.agri@gmail.com

Received: date; June 16, 2021 Accepted: date; October 7, 2021 Published: date; April 1, 2022

followed by Bray 1 (r = 0.727**). Phosphorus fertilizer application at different rates had no significant effects on grain yield of Pathum Thani 1 rice (p>0.05). The phosphorus content from both extractants (b) and the rate of phosphorus fertilizer (x) were substituted in the Mitscherlich-Bray equation to estimate rice grain yield (y), the result found that the Bray 1 gave the highest correlation between predicted and actual yields (R^2=0.847**), where the obtained equation was log (100-y) = 2-0. 116b-0. 139x which is more specific equation for estimating phosphorus fertilizer rate by soil test for Pathum Thani 1 rice growing soil in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province than other soil extractants.

Keywords: chemical extractant; available phosphorus; Pathum Thani 1 rice; Mitscherlich-Bray equation

บทนำ

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) เป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลิอิก สารประกอบ ATP เกี่ยวข้องกับการส่งถ่ายพลังงานภายในเซลล์ ในข้าวฟอสฟอรัสมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการแตกกอของข้าว การพัฒนาของราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีส่วนในการออกดอก การเจริญของผล การสร้างและการสุกแก่ของเมล็ด (Dobermann and Fairhurst, 2000; USDA-NRCS, 2020) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พีเอชดิน ปริมาณและรูปของออกไซด์และไฮดร็อกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว ปริมาณแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Mbene et al., 2017) และวิธีการในการสกัดฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ สำหรับประเทศไทยนั้นนิยมใช้วิธี Bray 2 โดย ประพิศ (2544) รายงานว่า น้ำยาสกัด Bray 2 (0.1 M HCl + 0.03 M NH_4F) มีประสิทธิภาพในการสกัดฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายง่าย เช่น Ca-P, Fe-P และ Al-P เนื่องจากเป็นน้ำยาสกัดที่เป็นกรดทำให้ F^- ในน้ำยาสกัดเกิดการรวมตัวกับ Al และ Fe เกิดเป็น complexing ion ทำให้ฟอสฟอรัสที่ดูดยึดกับ Al และ Fe ถูกปลดปล่อยออกมา น้ำยาสกัดชนิดนี้จึงสามารถสกัดอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ออกมาได้ดี ขณะที่ในต่างประเทศมีการแนะนำน้ำยาสกัดฟอสฟอรัสในดินที่แตกต่างกันออกไป เช่น Mehlich, Bray 1, BSES และ 0.01 M $CaCl_2$ เป็นต้น (Bray and Kurtz, 1945; Kerr and von Stieglitz, 1938; Mehlich, 1953; Mehlich, 1984; Wuenscher et al., 2015) ทั้งนี้ความแม่นยำในการประเมินปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนั้น นอกจากจะขึ้นกับน้ำยาสกัดดินแล้ว ชนิดและปริมาณของดินที่ทำการสกัดรวมทั้งการเจริญเติบโตของพืชที่ทำการทดสอบก็มีความสำคัญเช่นกัน จากรายงานของ Boem et al. (2011) ซึ่งศึกษาการสกัดฟอสฟอรัสในดินโดยน้ำยาสกัด Mehlich 3 และ Bray 1 ในดินมอลลิซอลส์ที่มีอินทรียวัตถุสูงและไม่เป็นดินด่าง (non calcareous soil) กล่าวว่า การสกัดดินโดยน้ำยาสกัดทั้งสองชนิดให้ค่าสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินกลุ่มที่ไม่ใช่ดินเนื้อปูน ขณะที่ Wuenscher et al. (2015) ได้เปรียบเทียบการสกัดฟอสฟอรัสในดินโดยใช้น้ำยาสกัดที่แตกต่างกัน 14 ชนิดพบว่า น้ำยาสกัด Bray 2 และ Mehlich 3 มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันสูงที่สุด (r =0.944***) จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าน้ำยาสกัดแต่ละชนิดล้วนแล้วแต่มีประสิทธิภาพในการสกัดฟอสฟอรัสในดินแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ดังนั้นการประเมินปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินโดยใช้น้ำยาสกัดตามวิธีมาตรฐาน (Bray 2) มาใช้ในการประเมินอาจให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ไม่สอดคล้องกับค่าที่เป็นจริง และส่งผลถึงการคาดคะเนปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่แก่พืชปลูกในพื้นที่ นอกจากนี้น้ำยาสกัดบางชนิดสามารถเตรียมได้ง่ายและมีต้นทุนในการเตรียมต่ำกว่าน้ำยาสกัดวิธีมาตรฐาน เช่น Mehlich 1 (0.0125 M H_2SO_4 + 0.025 M HCl), BSES (0.005 M H_2SO_4) และ $CaCl_2$ (0.01 M $CaCl_2$) เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ไม่ซับซ้อนและเป็นสารเคมีพื้นฐานที่มีราคาถูกและใช้กันทั่วไปในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดเหล่านี้อาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดต้นทุนในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญเป็นลำดับต้น ๆ ในการเจริญเติบโตของพืช จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดธาตุฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงชนิดของน้ำยาสกัดที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการประเมินปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่จำเพาะต่อข้าวปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักในพื้นที่ และเปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินต่างชนิดกัน

วิธีการศึกษา

1. การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินซึ่งใช้เป็นตัวแทนดินปลูกข้าวครอบคลุมพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินท่าเรือ ชุดดินเสนา และชุดดินอยุธยา โดยเก็บตัวอย่างดินบน (Apg horizon) หรือที่ความลึก 30 ซม. ชุดดินละ 5-9 บริเวณ รวมทั้งหมด 23 บริเวณ แล้วนำมาคัดเลือกเพียงชุดดินละ 1 บริเวณ ที่มีระดับของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยประเมินด้วยวิธีมาตรฐาน (Bray 2) แตกต่างกัน 3 ระดับ คือระดับ ต่ำ ปานกลาง และสูง ดังนี้ ชุดดินท่าเรือ (Tr) (Very-fine, mixed, active, nonacid, isohyperthermic Vertic (Aeric) Endoaquepts) เก็บที่ตำบลวังแดง อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (14°52'90.27"N 100°67'28.60"E) ชุดดินเสนา (Se) (Very-fine, mixed, active, acid, isohyperthermic Sulfic Endoaquepts) เก็บที่ตำบลชายนา อำเภอเสนา (14°27'74.09"N 100°35'76.80"E) และชุดดินอยุธยา (Ay) (Very-fine, mixed, active, acid, isohyperthermic Vertic Endoaquepts) เก็บที่ตำบลกระแชง อำเภอบางไทร (14°29'42.94"N 100°49'94.25"E) (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2562) ซึ่งดินทั้ง 3 บริเวณนี้เป็นตัวแทนของดินใน 3 ชุดดินในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่มีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้ง แล้วแบ่งบางส่วนไปวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ เนื้อดิน (Gee and Bauder, 1986) พีเอชดิน (Thomas, 1996) ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Rhoades, 1996) อินทรียวัตถุ (Walkley and Black, 1946) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Thomas, 1982) นอกจากนี้จะวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมด ตามวิธีการของ Olsen and Sommer (1982) โดยทำการย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยกรดผสม 2 ชนิด (HNO_3+$HClO_4$) อัตราส่วน 2:1 แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธีเทียบสี (vanadomolybdate yellow color method) ผลการวิเคราะห์แสดงใน **Table 1** โดยการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และสมบัติดินก่อนการทดลองนั้นจะวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ส่วนตัวอย่างดินที่เหลือทุบให้ละเอียดเพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลองขั้นถัดไป

Table 1 Physiochemical property of soils used in the experiment

Properties	Soil series		
	Tha Rue (Tr)	Sena (Se)	Ayutthaya (Ay)
Textural class	Silty Clay	Clay	Clay
Sand (g/kg)	152	75	19
Silt (g/kg)	439	378	369
Clay (g/kg)	409	538	612
Soil pH (1_{soil}:1_{water})	6.5	4.8	6.1
EC_e (dS/m)	0.6	1.2	1.4
Organic matter (g/kg)	1.5	5.0	5.2
Total phosphorus (mg/kg)	623	1,785	1,920
Exchangeable potassium (mg/kg)	94.7	157.7	234

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดฟอสฟอรัสในดิน

นำตัวอย่างดินทั้ง 3 ชุดดินที่ผ่านการผึ่งให้แห้งมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยน้ำยาสกัดต่างชนิดกัน จำนวน 6 ชนิด รายละเอียดของวิธีการสกัดแสดงใน **Table 2** แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสารละลายดินโดยวิธีเทียบสี (colorimetric by ascorbic acid method) (Kuo, 1996) ด้วยเครื่อง Uv-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

Table 2 Soil extraction methods used for determination of available phosphorus in soils

Extractant	Extractant composition	Soil: extractant	Time shaking (min)	Reference
Bray 1	0.03 M NH_4F + 0.025 M HCl	1:7	40 s	Bray and Kurtz (1945)
Bray 2	0.03 M NH_4F + 0.1 M HCl	1:10	1	Bray and Kurtz (1945)
Mehlich 1	0.0125 M H_2SO_4 + 0.025 M HCl	1:5	5	Mehlich (1953)
Mehlich 3	0.015 M NH_4F + 0.2 M HOAc + 0.25 M NH_4NO_3 + 0.013 M HNO_3 + 0.001 M EDTA	1:10	5	Mehlich (1984)
$CaCl_2$	0.01 M $CaCl_2$	1:10	120	Wuenscher et al. (2015)
BSES	0.005 M H_2SO_4	1:200	960	Kerr and von Stieglitz (1938)

3. ศึกษาการตอบสนองของข้าวปทุมธานี 1 ต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส

นำดินจากทั้ง 3 ชุดดินมาทำการทดสอบปลูกข้าวปทุมธานี 1 ในสภาพกระถาง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ 4 ตำรับทดลอง ประกอบด้วยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 0, 0.5, 1 และ 2 เท่า ของอัตราแนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร (2543) ซึ่งเทียบเท่ากับปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมดาในอัตรา 0, 12.5, 25 และ 50 กก./ไร่ (0, 0.2, 0.4 และ 0.8 กรัม/กระถาง) ตามลำดับ ในการปลูกข้าวจะชั่งตัวอย่างดินแห้งหนัก 5 กก. ใส่กระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร เติมน้ำแล้วกวนดินให้เป็นเทือก ปักดำกล้าข้าวปทุมธานี 1 ที่อายุ 20 วัน จำนวน 2 ต้น/กระถาง รักษาระดับน้ำให้สูง 5 ซม. จากผิวดินตลอดระยะเวลาการทดลอง ด้านการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักจะใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยอ้างอิงวิธีการใส่ตามรายงานของกรมวิชาการเกษตร (2543) เรื่องสูตรปุ๋ยเคมีและอัตราการใช้ปุ๋ยในข้าวตามชนิดเนื้อดิน ซึ่งระบุว่าการใส่ปุ๋ยเคมีสำหรับข้าวที่ปลูกในดินเนื้อละเอียดหรือดินเหนียวนั้น แนะนำให้ใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีการในแผนการทดลองนั้นจะใส่เพียงครั้งเดียวที่ระยะ 7 วันหลังปักดำ อัตราการใส่ตามแผนการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้น ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนจะแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือที่ระยะหลังปักดำ 7 วัน และที่ระยะแตกกอสูงสุด (70 วันหลังปักดำ) ในอัตราครั้งละ 4.3 กก. N/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2543) โดยปุ๋ยไนโตรเจนใช้ในรูปปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสใช้ในรูปปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตธรรมดา (0-20-0)

4. การเก็บข้อมูล

ข้อมูลผลการทดลองประกอบด้วย 1) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากการสกัดด้วยน้ำยาสกัดทั้ง 6 ชนิด และ 2) ข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 ประกอบด้วย ความสูงที่ระยะเก็บเกี่ยว (111 วันหลังปักดำ) ระยะเวลาในการออกดอก จำนวนหน่อ/กอ จำนวนรวง/กอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ด/รวง น้ำหนัก 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักแห้งตอซัง และน้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14% และ 3) เก็บตัวอย่างข้าวแบบแยกส่วน (เมล็ดและตอซัง) เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว (Akinrinde and Gaizer, 2006; Murphy and Riley, 1962)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ 2) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสในดิน ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโดยวิธี Partial correlation analysis 3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและฟอสฟอรัสจากปุ๋ยโดยใช้สมการ Mitscherlich-Bray โดยมีสมการคือ $\log (A-y) = \log A - Cb - C_1x$ เมื่อ A คือ ผลผลิตสูงสุด (กำหนดให้เป็น 100%) ค่า y คือ ผลผลิตที่ได้ (คิดเป็น % ของผลผลิตสูงสุด) ค่า C_1 คือ ค่าคงที่สำหรับประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสที่มีอยู่แล้วในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากตำรับควบคุมในทุกดินที่ทำการศึกษา ค่า C คือ ค่าคงที่สำหรับประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสจากปุ๋ยซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่า C_1 ของดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ค่า b คือ ค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่

เป็นประโยชน์ที่มีอยู่แล้วในดินซึ่งสกัดได้โดยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ (หน่วยเป็น มก./กก.) และค่า x คือ อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ (หน่วยเป็น กก./ไร่) (ปภัชญา และคณะ, 2560; สายชล, 2562; Tisdale and Nelson, 1975)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

จากผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยาสกัดที่แตกต่างกัน 6 ชนิด (**Table 3**) พบว่าน้ำยาสกัดแต่ละชนิดมีความสามารถในการสกัดฟอสฟอรัสจากแต่ละชุดดินได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยน้ำยาสกัด Bray 2 ให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงสุดโดยมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 9.84-26.56 มก./กก. รองลงมาคือน้ำยาสกัด Mehlich 1, Mehlich 3, Bray 1, BSES และ $CaCl_2$ โดยให้ค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้อยู่ในพิสัย 6.67-12.40, 4.20-7.91, 3.79-7.70, 4.47-6.32 และ 0.35-0.41 ตามลำดับ โดยชุดดินอยุธยาให้ค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ สูงที่สุด จากรายงานของสายชล และคณะ (2560) กล่าวว่าชุดดินอยุธยาเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยมีปริมาณไนโตรเจน อินทรียวัตถุ และปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก และจากสมบัติดินเบื้องต้นใน **Table 1** จะพบว่าชุดดินอยุธยามีค่าพีเอชดินอยู่ในระดับเป็นกรดเล็กน้อย และปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง (ตามเกณฑ์ประเมินของ FAO Project Staff and Land Classification Division (1973) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีค่าสูงที่สุดในทั้ง 3 ชุดดินที่ทำการศึกษา โดย Barrow (2017) รายงานว่าในดินทั่วไปพีเอชที่เหมาะสมและทำให้ฟอสฟอรัสมีความเป็นประโยชน์สูงสุดมีช่วงระหว่าง 5.5-7.0 ขณะที่ในดินกรดช่วงพีเอชที่ส่งเสริมให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงสุดจะมีค่าในช่วง 6.0-7.0 ขณะที่อินทรียวัตถุมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งสำรองธาตุอาหารพืช ทั่งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ (Bot and Benites, 2005) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ จากชุดดินอยุธยามีค่าสูงกว่าชุดดินอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา ขณะที่ชนิดของน้ำยาสกัดก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยน้ำยาสกัดที่มีฤทธิ์เป็นกรด ได้แก่ Bray 1, Bray 2, Mehlich 1, Mehlich 3 และ BSES (ค่าพิสัยของฟอสฟอรัสที่สกัดได้เท่ากับ 3.79-26.56 มก./กก.) มีประสิทธิภาพในการสกัดฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินได้สูงกว่าน้ำยาสกัดที่มีองค์ประกอบของเกลือที่มีฤทธิ์เป็นกลาง เช่น $CaCl_2$ (Zhang et al., 2010) อย่างชัดเจน (ค่าพิสัยของฟอสฟอรัสที่สกัดได้เท่ากับ 0.35-0.41 มก./กก.) ซึ่งอาจเป็นเพราะน้ำยาสกัดที่มีฤทธิ์เป็นกรดมีความสามารถในการสลายพันธะระหว่างฟอสฟอรัสกับสารประกอบชนิดต่าง ๆ ในดินได้ดีกว่าจึงส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้มีค่ามากกว่านั่นเอง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Herlihy et al. (2006), Boem et al. (2011) และ Seth et al. (2018)

Table 3 Extractable P in studied soils by different extractants

Extractable P	Soil series (mg/kg)			Average
	Tha Rue (Tr)	Sena (Se)	Ayutthaya (Ay)	
Mehlich 1	10.06	6.67	12.40	9.71
Mehlich 3	5.94	4.20	7.91	6.02
Bray 1	4.33	3.79	7.70	5.27
Bray 2	9.84	13.46	26.56	16.62
$CaCl_2$	0.35	0.40	0.41	0.39
BSES	6.19	4.47	6.32	5.90
Range	0.35-10.06	0.40-13.46	0.41-26.56	

ในส่วนของสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินจากน้ำยาสกัดทั้ง 6 ชนิดนั้น (**Table 4**) พบว่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากน้ำยาสกัดแต่ละชนิดมีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในพิสัย 0.664*-0.978** ยกเว้นปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยาสกัด $CaCl_2$ และ BSES อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จะ

ขึ้นอยู่กับธรรมชาติหรือองค์ประกอบของสารที่ใช้สกัด โดยน้ำยาสกัดที่มีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกันจะให้ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกันสูง (สายชล, 2562) โดยจากผลการทดลองพบว่าน้ำยาสกัด Mehlich 1 และ Mehlich 3 ให้ฟอสฟอรัสที่สกัดได้มีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกันสูงที่สุด (0.978**) รองลงมาคือน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 (0.929**) เนื่องจากเป็นน้ำยาสกัดที่มีองค์ประกอบของสารละลายกรดเป็นส่วนผสม สอดคล้องกับผลการทดลองของ Athokpam et al. (2016) ซึ่งทำการประเมินวิธีการสกัดฟอสฟอรัสในดินกรดที่ปลูกถั่วลันเตาในประเทศอินเดีย พบว่าการสกัดฟอสฟอรัสโดยน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน (r =0.525*) นอกจากนี้ยังพบสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำยาสกัด Mehlich 3 และ Bray 1 และน้ำยาสกัด Mehlich 3 และ Bray 2 ด้วย (r =0.679** และ r =0.469*) ขณะที่น้ำยาสกัด $CaCl_2$ ซึ่งเป็นสารละลายเกลือความเข้มข้นต่ำ (สายชล, 2562) และมีองค์ประกอบของสารแตกต่างจากน้ำยาสกัดชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้มีความแตกต่างและไม่พบสหสัมพันธ์กับน้ำยาสกัดชนิดอื่น ๆ นั่นเอง

Table 4 Correlation coefficients (r) for linear relationship between Extractable P by different extractants

Extractable P	Mehlich 3	Bray 1	Bray 2	$CaCl_2$	BSES
Mehlich 1	0.978**	0.865**	0.664*	-0.062	0.801**
Mehlich 3		0.918**	0.735**	0.031	0.738**
Bray 1			0.929**	0.141	0.502
Bray 2				0.181	0.223
$CaCl_2$					0.039

Remark: *,** = correlations are significant at p ≤ 0.05 and 0.01 probability level respectively

2. การตอบสนองของข้าวปทุมธานี 1 ต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส

การตอบสนองของข้าวปทุมธานี 1 ต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสพิจารณาจากความสูง ระยะเวลาในการออกดอก จำนวนหน่อ/กอ จำนวนรวง/กอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ด/รวง น้ำหนัก 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักแห้งตอซัง และน้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14% (**Figure 1**) โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0-10 กก. P_2O_5/ไร่ ไม่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นจำนวนรวง/กอของข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินอยุธยาที่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการปลูกข้าวในระบบข้าวนาสวนนั้นจะมีการขังน้ำในแปลงนา ซึ่งจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพีเอชดิน (ไพบูลย์, 2546) และการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยสายชล และคณะ (2564) รายงานว่าการขังน้ำนั้นมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา การขังน้ำในช่วงระยะ 1-120 วัน มีผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นระหว่าง 3.6-8.2, 5.3-22.5 และ 23.5-99.7 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนี้อาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส แต่ถึงกระนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14% และน้ำหนักแห้งตอซังมีค่าเพิ่มขึ้น (**Figure 1i** และ **Figure 1j**) โดยมีค่าพิสัยของน้ำหนักผลผลิตเมล็ดอยู่ระหว่าง 10.7-14.7, 17.5-24.5 และ 15.8-21.3 กรัม/กระถาง ส่วนน้ำหนักแห้งตอซังมีค่าอยู่ในพิสัย 35.2-44.8, 56.3-68.3 และ 77.0-86.7 กรัม/กระถาง สำหรับข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา ตามลำดับ ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่มีบทบาทชัดเจนต่อการเจริญและพัฒนาของข้าวตั้งแต่เริ่มเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีบทบาทในการเจริญเติบโตและพัฒนาของราก การออกดอกจนถึงการสุกแก่ของเมล็ด การขาดฟอสฟอรัสจะมีผลให้จำนวนต้นต่อกอลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังมีผลในการลดลงของจำนวนใบ ช่อดอกและผลผลิตเมล็ดด้วย (Dobermann and Fairhurst, 2000) จากรายงานของสายชล และคณะ (2558) ศึกษาผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข41 พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 2.5, 5 และ 7 กก.P_2O_5/ไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสประมาณ 19, 17 และ 27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการทดลอง นอกจากนี้ลักษณะเนื้อดิน ปริมาณ

อินทรียวัตถุ และพีเอชดินก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวที่ทดลอง เนื่องจากเนื้อดินนั้นมีผลต่อความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืช โดยดินเนื้อละเอียดซึ่งมีอนุภาคดินเหนียวสูงจะมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้สูงกว่าดินที่มีลักษณะเป็นดินเนื้อหยาบ (Brady and Weil, 2002) โดยจะเห็นได้ว่าชุดดินท่าเรือซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง (ปริมาณอนุภาคดินเหนียวเท่ากับ 409 ก./กก.) (**Table 1**) มีปริมาณผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งตอซังน้อยกว่าข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยาซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว และประกอบกับชุดดินท่าเรือมีปริมาณอินทรียวัตถุ (1.5 ก./กก.) น้อยกว่าชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยา (5.0 และ 5.2 ก./กก. ตามลำดับ) (**Table 1**) ยิ่งส่งผลให้ปริมาณผลผลิตทั้งในส่วนเมล็ดและน้ำหนักแห้งตอซังน้อยกว่าข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยาอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่านอกจากปัจจัยด้านธาตุอาหารพืชแล้ว สมบัติทางกายภาพของดินรวมทั้งปริมาณอินทรียวัตถุในดินล้วนมีผลต่อผลผลิตพืชทั้งสิ้น

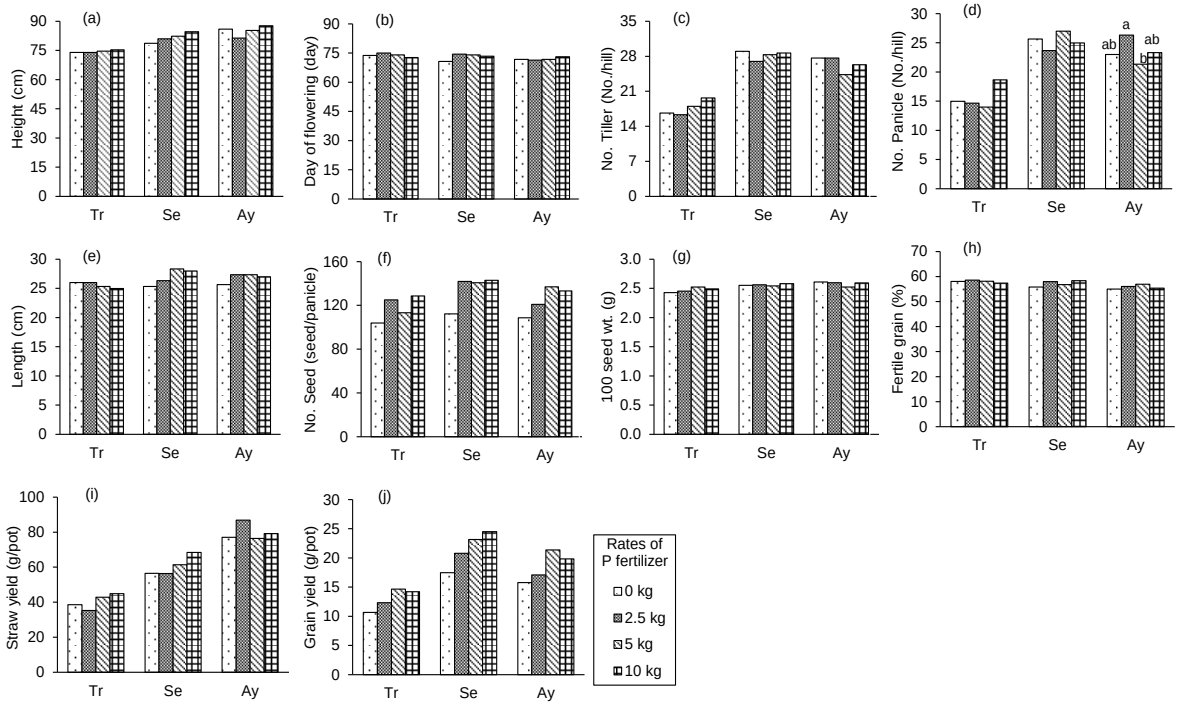

Figure 1 A response of yield and yield component of Hom Pathum rice to different of P fertilizer rates; plant high (a), day of flowering (b), number of tiller (c), number of panicle (d), panicle length (e), number of seed (f), 100 grain weight (g), fertile grain (h), dry straw weight (i) and grain yield (j); a and b are the homogeneous subsets of number of panicle were significantly different at $p \leq 0.05$ of DMRT.

3. สหสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่สกัดได้กับฟอสฟอรัสในผลผลิตข้าวปทุมธานี 1

การประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสโดยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด 6 ชนิด กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส การดูดใช้ฟอสฟอรัส และผลผลิตสัมพัทธ์ทั้งในส่วนเมล็ดและตอซัง (**Table 5**) พบว่าน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r =0.727** และ r =0.914** ตามลำดับ) ขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนตอซังพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงผกผัน (r =-0.855** และ r =-0.975** ตามลำดับ) ขณะที่น้ำยาสกัดชนิดอื่น ๆ ไม่พบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 เป็นน้ำยาสกัดที่มีความเหมาะสมในการประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากพบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในผลผลิตข้าว ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ สุรเชษฎ์ และคณะ (2550) ที่ทำการประเมินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมโดยวิธี Mehlich 3 เทียบกับวิธีมาตรฐานโดยพบว่า การสกัดดินโดยวิธี

Bray 2 ให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวโพดสูงกว่าวิธี Mehlich 3 ขณะที่ Wünscher (2013) ได้เปรียบเทียบการสกัดฟอสฟอรัสโดยวิธีต่าง ๆ กับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวสาลีให้ผลการทดลองที่ได้แตกต่างออกไป โดยพบว่าการสกัดดินโดยน้ำยาสกัด $CaCl_2$ ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นกับน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวสาลี (r =0.467***) สูงกว่าการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray 2 และ Mehlich 3 (r =0.400** และ r =0.380** ตามลำดับ)

Table 5 Correlation coefficients (r) for linear relationships between extractable P in soils and P concentration, P uptake and relative yield

P in rice and relative yield	Correlation coefficient (r)					
	Mehlich 1	Mehlich 3	Bray 1	Bray 2	$CaCl_2$	BSES
P in grain (mg/kg)	0.312	0.416	0.727**	0.914**	0.235	-0.160
P in straw (mg/kg)	-0.506	0.598	-0.855**	-0.975**	-0.311	-0.077
P uptake in grain (g/pot)	-0.057	0.049	0.420	0.655*	0.172	-0.431
P uptake in straw (g/pot)	0.015	0.144	0.412	0.641*	0.320	-0.401
Total P uptake (g/pot)	-0.015	0.113	0.447	0.691*	0.279	-0.446
Relative grain yield (%)	0.087	0.031	0.114	0.066	-0.269	0.089
Relative straw yield (%)	0.415	0.465	0.383	0.321	0.209	0.282

Remark: *,** = correlations are significant at p ≤ 0.05 and 0.01 probability level respectively.

4. สมการคำนวณอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสจากค่าวิเคราะห์ดินโดยวิธี Mitscherlich-Bray Equation

จากการประเมินประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดฟอสฟอรัสทั้ง 6 ชนิดที่มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้น การดูดใช้ และผลผลิตสัมพัทธ์ของข้าวปทุมธานี 1 พบว่ามีน้ำยาสกัด 2 ชนิดที่มีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวปทุมธานี 1 คือ น้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 (**Table 5**) ข้อมูลที่ได้นี้นำมาใช้ในการคาดคะเนผลผลิตด้วยสมการ Mitscherlich-Bray จะทำให้ได้สมการที่ใช้ประเมินผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 ที่มีความจำเพาะกับน้ำยาสกัดทั้ง 2 ชนิด โดยแทนค่าผลผลิตเมล็ดสัมพัทธ์ที่ได้จากตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงในสมการ log (A-y) = log A-Cb-C_1x (**Table 6**) โดยพบว่าผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการที่ใช้น้ำยาสกัด Bray 1 ให้ค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างผลผลิตที่คาดคะเนและผลผลิตที่ได้รับจริงสูงกว่าน้ำยาสกัด Bray 2 เล็กน้อย (R^2= 0.8471 และ R^2= 0.8312 สำหรับน้ำยาสกัด Bray 1และ Bray 2 ตามลำดับ) (**Figure 2**) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Watham et al. (2014) ซึ่งทำการประเมินวิธีการทดสอบฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และประเมินค่าวิกฤตในถั่วเขียวผิวดำของประเทศอินเดียรายงานว่า น้ำยาสกัด Bray 1 มีประสิทธิภาพในประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด โดยพบค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างน้ำยาสกัด Bray 1 กับฟอสฟอรัสที่ดูดใช้ในถั่วเขียวมีค่าสูงที่สุด (r =0.887**) แต่ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำยาสกัด Bray 2 (r =0.555**) เช่นเดียวกันกับ Kumar et al. (1992) ได้เปรียบเทียบการสกัดฟอสฟอรัสโดยน้ำยาสกัด 7 ชนิดในประเทศออสเตรเลียพบว่า ในภาพรวมของการทดลองน้ำยาสกัด Bray 1 และ Colwell (0.5 M $NaHCO_3$) สามารถประมาณค่าผลผลิตพืชได้แก่ ผักกาดหอม ข้าวสาลี และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ดีที่สุด ขณะที่ Fernandes et al. (2000) ได้ประเมินวิธีการทดสอบปริมาณฟอสฟอรัสในดินของประเทศโปรตุเกสพบว่าน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 ต่างก็มีประสิทธิภาพในการประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างน้ำยาสกัดและปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวสาลีสูงสุดถึง 98.9 และ 99.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 ในการสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งมีประสิทธิภาพในการสกัดใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการเลือกใช้น้ำยาสกัดอาจต้องพิจารณาถึงต้นทุนในส่วนของสารเคมีที่ใช้ ซึ่งโดยหลักแล้วองค์ประกอบของน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 มีองค์ประกอบของสารที่ใช้เหมือนกัน แต่แตกต่างที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

ที่ใช้ โดยน้ำยาสกัด Bray 1 ใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.025 M ส่วนน้ำยาสกัด Bray 2 ใช้ความเข้มข้น 0.1 M ดังนั้นวิธีการสกัดฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในพื้นที่อาจใช้น้ำยาสกัด Bray 1 แทนน้ำยาสกัดแบบดั่งเดิมที่ใช้กันมาตลอดได้

Table 6 Equations relating expected relative grain yields to availability indices for soil P and rates of P fertilizer required for different chemical extractant solution by using Mitscherlich-Bray equation method

Chemical extractants	Mitscherlich Bray Equation
Bray 1	log (100-y) = 2-0.116b-0.139x
Bray 2	log (100-y) = 2-0.04b-0.137x

Remark: y = the obtained grain yield (% of maximum yield), b = availability index for soil P (mg/kg), x = rate of fertilizer P required (kg P_2O_5/rai)

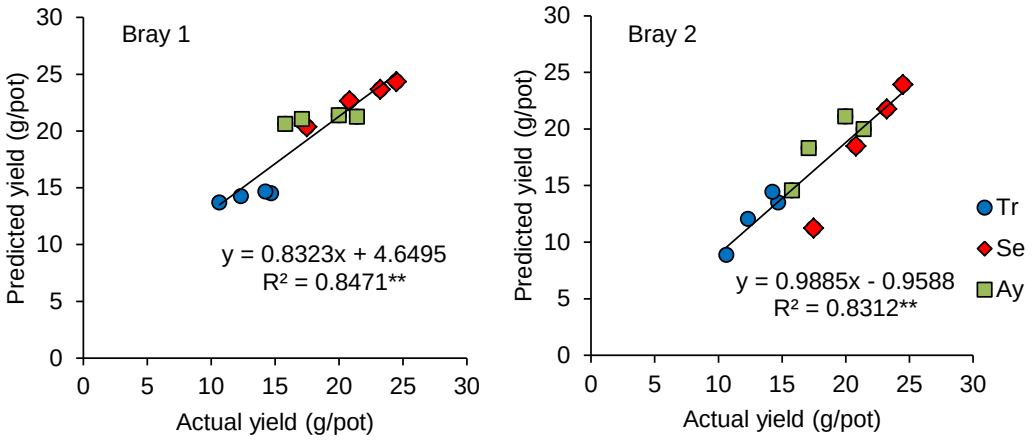

Figure 2 Linear relationship between the actual grain yields and the yields predicted by the Mitscherlich-Bray equation

สรุป

ชนิดของน้ำยาสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ปลูกข้าวปทุมธานี 1 ทั้ง 3 ชุดดิน โดยเฉพาะชุดดินอยุธยามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ สูงกว่าชุดดินอื่น ๆ ขณะที่น้ำยาสกัด Bray 2 ให้ค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้เฉลี่ยสูงที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ พบว่า น้ำยาสกัดที่มีฤทธิ์เป็นกรดได้แก่ Mehlich 1, Mehlich 3, Bray 1 และ Bray 2 มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบสหสัมพันธ์กับน้ำยาสกัด $CaCl_2$ ทั้งนี้เป็นผลมาจากองค์ประกอบของน้ำยาสกัดเป็นสำคัญ การตอบสนองของข้าวปทุมธานี 1 ในส่วนของผลผลิตต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นไม่พบความแตกต่างระหว่างตำรับทดลอง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการขังน้ำในระหว่างการปลูกทำให้ฟอสฟอรัสในดินเกิดการเปลี่ยนรูปมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น ประกอบกับดินที่ใช้บางชุดดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่สูง ทำให้ไม่พบความแตกต่างระหว่างตำรับที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และเมื่อพิจารณาสหสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่สกัดได้กับปริมาณฟอสฟอรัสในผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 พบว่าน้ำยาสกัด Bray 1 และ Bray 2 มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 และจากการนำข้อมูลของน้ำยาสกัดทั้ง 2 ชนิดมาใช้คาดคะเนผลผลิตด้วยสมการ Mitscherlich Bray พบว่า ผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการของน้ำยาสกัด Bray 1 มีค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติสูงกว่าน้ำยาสกัด Bray 2 เล็กน้อย ดังนั้นน้ำยาสกัด Bray 1 มีความเหมาะสมสำหรับใช้ประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่จำเพาะกับดินที่ใช้ปลูกข้าวปทุมธานี 1 ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มากกว่าน้ำยาสกัดชนิดอื่น ๆ ซึ่งช่วยให้สามารถคาดคะเนอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสได้แม่นยำ นอกจากนี้น้ำยาสกัดชนิดดังกล่าวยังสามารถช่วยประหยัด

ต้นทุนในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเมื่อเทียบกับน้ำยาสกัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (Bray 2) อย่างไรก็ตามน้ำยาสกัดทั้ง 2 ชนิดสามารถใช้ทดแทนกันได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่สัญญา ววน. 4/2564 ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2543. คำแนะนำปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว, กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพ ฯ.

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

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

ปภัชญา สนิทมัจโร ศุภิฌา ธนะจิตต์ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และเอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2560. สถานะของกำมะถันในดินที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิและผลของปุ๋ยกำมะถันที่มีต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารแก่นเกษตร. 45(1): 35-46.

ประพิศ แสงทอง. 2544. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน. หน้า 54-64. ใน: เอกสารวิชาการ คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช, กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพ ฯ.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. เคมีดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัดเชียงใหม่พิมพ์สวย, เชียงใหม่.

สายชล สุขญาณกิจ. 2562. ผลของฟอสฟอรัสต่อจลนพลศาสตร์การปลดปล่อยและดัชนีความเป็นประโยชน์ของสังกะสีต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ ฯ.

สายชล สุขญาณกิจ ธนภัทร ปลื้มพวก และธนวรรณ พาณิชพัฒน์. 2558. ผลของระดับฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวเจ้าพันธุ์ กข41. หน้า 1751-1758. ใน: รายงานการประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 12 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สายชล สุขญาณกิจ ศานิต สวัสดิกาญจน์ สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ และธนวรรณ พาณิชพัฒน์. 2564. ผลของวัสดุปูนและระยะเวลาการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและผลผลิตข้าวหอมปทุมในดินพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. วารสารแก่นเกษตร. 49(4): 842-855.

สายชล สุขญาณกิจ สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ และ ธนภัทร ปลื้มพวก. 2560. ผลของการจัดการฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยพืชสดต่อสมบัติทางเคมีของดินในชุดดินอยุธยา. หน้า 2507-2517. ใน: รายงานการประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 14 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

สุรเชษฎ์ อร่ามรักษ์ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และ เอ็จ สโรบล. 2550. การประเมินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินโดยวิธีเมลิช 3. หน้า 50-57. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 สาขาพืช, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. 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.

Athokpam, H., G.K. Ghosh, H.S. Athokpam, S.H. Wani, S. Akoijam, and R. Ningthoujam. 2016. Evaluation of some soil test methods in acid soils for available phosphorus for pea of Senapati district of Manipur (India). International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology. 9(1): 63-68.

Barrow, N.J. 2017. The effects of pH on phosphate uptake from the soil. Plant and Soil. 410: 401–410.

Boem, F.H.G., G. Rubio, and A.D. Barbero. 2011. Soil phosphorus extracted by Bray 1 and Mehlich 3 soil tests as affected by the soil/ solution ratio in Mollisols. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 42: 220-230.

Bot, A., and J. Benites. 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food and production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

Brady, N.C., and R.R. Weil, 2002. The nature and properties of soils, 13th (Ed.). Prentice- Hall Inc., New Jersey.

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

Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Oxford Graphic Printers, Singapore.

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

Fernandes, M.L., F. Calouro, R. Indiati, and A.M. Barros. 2000. Evaluation of soil test methods for estimation of available phosphorus in some Portuguess soils: A greenhouse study. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 31: 2535-2546.

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.

Herlihy, M., J. McCarthy, and D. Brennan. 2006. Divergent relationships of phosphorus soil tests in temperate grassland soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 37: 693-705.

Kerr H.W., and C.R. von Stieglitz. 1938. The laboratory determination of soil fertility. Technical Communication No. 9. Bureau of Sugar Experiment Stations, Queensland, Australia.

Kumar, V., R.J. Gilkes, and M.D.A. Bolland. 1992. A comparison of seven soil P test for plant species with different external P requirement grown on soil containing rock phosphate and superphosphate residues. Fertilizer Research. 33: 35-45.

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.

Mbene, K., A.S. Tening, C.E. Suh, N.N. Fomenky, and V.B. Che. 2017. Phosphorus fixation and its relationship with physicochemical properties of soils on the Eastern flank of Mount Cameroon. African Journal of Agricultural Research. 12: 2742-2753.

Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH_4. North Carolina Soil Test Division. Mimeo, Raleigh, NC.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 for soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 15: 1409 1416.

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.

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

Seth, A., D. Sarkar, R.E. Masto, K. Batabyal, S. Saha, S. Murmu, R. Das, D. Padhan, and B. Mandal. 2018. Critical limits of Mehlich 3 extractable phosphorous, potassium, sulfur, boron and zinc in soils for nutrition of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 18: 512-523.

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.

Tisdale, S.L., and W.L. Nelson, 1975. Soil Fertility and Fertilizer. 3rd ed., Macmillan Publishing Co., Inc., New York.

USDA-NRCS. 2020. Soil phosphorus; Soil Health- Guides for Educator. Available: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/assessment/?cid=nrcs142p2_053870. Accessed June 22, 2020.

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.

Watham, L., H.S. Athokpam, W.H. Meitei, N. Chongtham, K.N. Devi, N.B. Singh, N.G. Singh, and N.J. Singh. 2014. Evaluation of some soil test methods foe available phosphorus and its critical limits for black gram in acid soils of Inphal west district, Manipur (India). International Biannual Journal of Environmental Science. 8: 199-202.

Wuenscher, R., H. Unterfrauner, R. Peticzka, and F. Zehetner. 2015. A comparison of 14 soil phosphorus extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. Plant Soil and Environment. 61: 86-96.

Wünscher, R. 2013. A comparison of different phosphorus extraction methods with the phosphorus uptake of wheat. Master thesis. University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna.

Zhang, M.K., Z.Y. Liu, and H. Wang. 2010. Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 41: 820-831.