

การประยุกต์ใช้ธรณีสถิติเพื่อประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในนาข้าว Using Geostatistics to Assess the Potassium Fertilizer Rate in Paddy Fields

ณัฐวิภา อ่อนละมัย¹, พรทิพย์ โพนตุแสง^{1*} และ อนงนฏ ศรีประโชติ¹

Natthawipa Onramai¹, Porntip Phontusang^{1*} and Anongnat Sriprachote¹

บทคัดย่อ

การศึกษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน (K) และคำแนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (K₂O) (สูตร 0-0-60) ตามค่าวิเคราะห์ดินตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตรโดยใช้ธรณีสถิติและทำการประมาณค่าในช่วงแบบคริกิง (Kriging) บริเวณพื้นที่ปลูกข้าว อ.พระยืน จ.ขอนแก่น ทั้งหมด 5 พื้นที่ (แต่ละพื้นที่ขนาด 2,500 ตร.ม.) ประกอบไปด้วยพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลาน้อยกว่า 5 ปี (N1 และ N2) และพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลามากกว่า 30 ปี (L1 L2 และ L3) เก็บตัวอย่างดิน 100 ตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ วิเคราะห์ K ในห้องปฏิบัติการและนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สร้างเซมิแวริโอแกรมโมเดลและสร้างแผนที่ด้วยวิธี Kriging ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลาน้อยกว่า 5 ปี ทั้ง 2 พื้นที่ (N1 และ N2) มี K ระดับสูงทั่วทั้งพื้นที่ จึงไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ย K₂O สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลามากกว่า 30 ปี พบว่ามีความแตกต่างกัน ในพื้นที่ L1 พบระดับสูงถึงระดับปานกลางพื้นที่ 11 ตร.ม. ควรใส่ปุ๋ยอัตรา 0.03 kg KCl/rai พื้นที่ L2 พบระดับสูงถึงระดับปานกลางพื้นที่ 746 ตร.ม. ควรใส่ปุ๋ยอัตรา 2.33 kg KCl/rai และพื้นที่ L3 พบตั้งแต่ระดับสูงถึงต่ำ พบระดับปานกลางและต่ำพื้นที่ 1,026 ตร.ม. และ 216 ตร.ม. ควรใส่ปุ๋ยอัตรา 1.35 และ 3.21 kg KCl/rai ตามลำดับ

คำสำคัญ : โพแทสเซียม, อัตราการใส่ปุ๋ย, นาข้าว, ธรณีสถิติ

Abstract

This research aims to study of the level of potassium (K) extracted and recommendations on the rate of potassium chloride fertilization (K₂O) (formula 0-0-60) according to the Department of Agriculture using geostatistics and Kriging interpolation. The study was conducted in Phra Yuen District, Khon Kaen Province. 5 study areas were selected (2,500 m² each area), included the rice planting area for < 5 years (sites N1 and N2) and > 30 years (sites L1, L2 and L3). The 100 soil samples were collected each site and analyzed K in the laboratory and imported to the GIS software and generated semivariogram models and kriged maps. The results showed that the rice planting area for < 5 years, both areas (sites N1 and N2) was entirely high K content. So, the K₂O were not required. For the rice planting area > 30 years, the different level of K content appeared in these areas. Site L1, the K content was high to moderate level, in area of 11 m² of moderate K content, the K₂O should

¹ สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Soil Science and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

be applied at rate of 0.03 kg KCl/rai. Site L2, the K was high to moderate level, in area of 746 m² of moderate K content, the K₂O should be applied at 2.33 kg KCl/rai. Site L3, the soil was ranging from high to low K, the areas of moderate and low K level area 1,026 m² and 216 m², respectively. So, the K₂O should be applied at 1.35 kg KCl/rai and 3.21 kg KCl/rai, respectively.

Keyword: Potassium, Fertilizer rate, Paddy field, Geostatistics

Corresponding author; email address: porntph@kku.ac.th

คำนำ

โพแทสเซียม (K) มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นอย่างมาก หากดินมีปริมาณ K ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว จะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงและการเพิ่มจำนวนเซลล์ในการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในสภาวะผิดปกติ (Oosterhuis *et al.*, 2014) ในปัจจุบันเกษตรกรจำเป็นต้องพึ่งพาการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย หากมีข้อมูลสถานะและความแปรปรวนของสมบัติดินที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน โดยเฉพาะระดับ K ในดิน และคำแนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (K₂O) ในนาข้าวซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญประการหนึ่งที่สามารถใช้เป็นแนวทางให้นักวิชาการ นักวิจัย สำหรับการปรับปรุงดินและสามารถใช้ในการแนะนำเกษตรกรจัดการการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว

การประยุกต์ใช้ธรณีสถิติเข้ามามีบทบาทในการศึกษาทางด้านปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม สำหรับการเกษตรแบบแม่นยำ (precision agriculture) เพื่อศึกษาสถานะและระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน (Vasu *et al.*, 2017; Bhunia *et al.*, 2019) ซึ่งเทคนิคนี้จะใช้เซมิแวกเรียแกรม (semivariogram) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความแปรปรวน (Oliver and Webster, 2014) และการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) แบบคริกิง (Kriging) ซึ่งเป็นการประเมินค่าเชิงเส้นที่มีอคติน้อยที่สุด (Phontusang *et al.*, 2018) ในปัจจุบันนักวิจัยได้นำเทคนิคนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อใช้เป็นแนวทางการจัดการการใส่ปุ๋ยในพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ (Vasu *et al.*, 2017; Bhunia *et al.*, 2019) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายเชิงพื้นที่พร้อมจัดทำแผนที่ของระดับความเป็นประโยชน์ของ K และจัดทำแผนที่และตารางแสดงคำแนะนำการใส่ปุ๋ย K₂O ตามค่าวิเคราะห์ดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา วิธีการเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น พิกัด $16^{\circ} 18' 23''$ N $102^{\circ} 39' 05''$ E มีพื้นที่ทั้งหมด 172 ตร.กม. ทำการคัดเลือกพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 5 แห่ง จากการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่พบว่าเป็นพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลาการปลูกข้าวต่างกัน โดยจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ พื้นที่ปลูกข้าวที่ใช้พื้นที่เป็นระยะเวลาน้อยกว่า 5 ปี (new agricultural soil, N) จำนวน 2 แห่ง (ชั้นจำแนก N1 และ N2) และพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี (long-term agricultural soil, L) จำนวน 3 แห่ง (ชั้นจำแนก L1, L2 และ L3) และเป็นชุดดินทราย คือ ชุดดินบ้านไผ่ (Bpi) และชุดดินดงยางเอน (Don) (Figure 1a) ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในเดือนเมษายน 2562 ด้วยวิธีการสุ่มในกริด (Stratified systematic unaligned sampling) ขนาด 5x5 ม. ในพื้นที่ขนาด 50 x 50 ตร.ม. (Figure 1b) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. ในแต่ละพื้นที่ศึกษาเก็บตัวอย่างดินจำนวน 100 ตัวอย่าง (รวมพื้นที่ทั้งหมด 5 แห่ง 500 ตัวอย่าง) และทำการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมต่างๆที่ผ่านมา จากนั้นเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์หาโพแทสเซียมที่สกัดได้ (extractable K) โดยใช้วิธี Ammonium acetate method (Doll and Lucas, 1973) และประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของ K ในดินตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร (2547) มี 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (< 60 mg/kg) ระดับปานกลาง (60-80 mg/kg) และระดับสูง (>80 mg/kg)

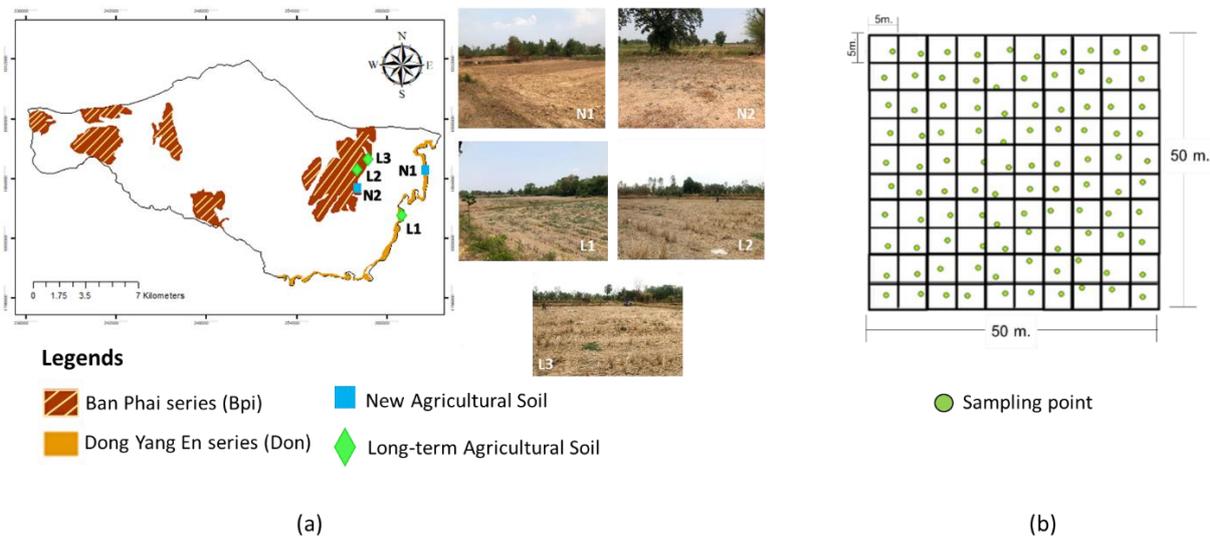


Figure 1 (a) Study areas in Phra Yuen district, Khon Kaen province. (b) Stratified systematic unaligned sampling in 5x5 m² in area of 50x50 m² grid.

การวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาและธรณีสถิติ

นำข้อมูลค่า K ในดินที่ได้จากห้องปฏิบัติการมาวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย, ค่าต่ำสุดและสูงสุด, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD), สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of variation, CV) และค่าความเบ้ (Skewness) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธีธรณีสถิติ (Geostatistics) โดยวิธีการนี้สามารถแสดงถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ได้ ซึ่งเป็นการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินโดยการสร้างเซมิแวริโอแกรม (สมการที่ 1) และเลือกเซมิแวริโอแกรมโมเดล (semivariogram model) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนและระยะทางที่เหมาะสมกับข้อมูลในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากค่า Coefficient of determination (R^2) ควรมีค่า ≥ 0.5 และค่า Residual sum of squares (RSS) ควรมีค่าน้อยที่สุด (Duffera *et al.*, 2007) จากนั้นทำการประมาณค่าในช่วงแบบ Kriging จากโปรแกรม GS⁺ Version 9.1 (Gamma Designed Software, 2008) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง โดยจะทำการวัดระยะทางระหว่างจุดทุกคู่เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ เพื่อให้ได้แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ K ในดิน

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (Z(X_i) - Z(X_i + h))^2 \dots\dots\dots (1)$$

โดยที่ $\gamma(h)$ คือ ฟังก์ชันเซมิแวริโอแกรม

$Z(X_i)$ คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่ง x

$Z(X_i + h)$ คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่งของข้อมูลตัวที่สองซึ่งอยู่ห่าง

จากข้อมูล x เป็นระยะและทิศทางที่กำหนดด้วยเวกเตอร์ h

n คือ จำนวนคู่ของตัวอย่างทั้งหมด

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โดยใช้วิธีการ cross-validation แบบ Leave-one-out โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติ ได้แก่ Mean Prediction Error (MPE) ซึ่งเป็นดัชนีวัดระดับความเอนเอียงของข้อมูล ควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และ Root Mean Square Prediction Error (RMSPE) เป็นดัชนีวัดความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ Kriging ซึ่งควรมีค่าน้อยที่สุด (Phontusang *et al.*, 2018)

การจำแนกระดับความเป็นประโยชน์และการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (K_2O) (สูตร 0-0-60)

หลังจากได้แผนที่การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ K ในแต่ละพื้นที่แล้วนั้น นำไปจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของ K และคำนวณอัตราการใส่ปุ๋ย K_2O สูตร 0-0-60 ที่เหมาะสมกับความต้องการของข้าวตามเกณฑ์ของ กรมวิชาการเกษตร (2547) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (< 60 mg/kg) ควรใส่ปุ๋ย K_2O ปริมาณ

6 kg K₂O/rai ระดับปานกลาง (60 – 80 mg/kg) ควรใส่ปุ๋ย K₂O ปริมาณ 3 kg K₂O/rai และระดับสูง (> 80 mg/kg) ไม่ต้องใส่ปุ๋ย

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความแปรปรวนและความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของ K

จาก (Table 1) แสดงข้อมูลระดับความเป็นประโยชน์และความแปรปรวนของ K จากสถิติเชิงพรรณนา พบว่าเมื่อจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของ K ในดินตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร (2547) ในพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลาน้อยกว่า 5 ปี (N1 และ N2) มีตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูง (K = 76.57 - 430.05 mg/kg) ระดับความแปรปรวนเมื่อจำแนกด้วยค่า CV% ตามเกณฑ์ของ Sumner (2000) พบว่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (CV% >15%) สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลามากกว่า 30 ปี (พื้นที่ L1, L2 และ L3) มีตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง (K = 31 - 227.82 mg/kg) และระดับความแปรปรวนจัดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (CV% >15%)

สำหรับผลการวิเคราะห์ทางธรณีสถิติพบว่าเคมีแวริโอแกรมโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูล K ของแต่ละพื้นที่ศึกษาแสดงใน (Table 2) และ (Figure 2) ซึ่งโมเดลที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละพื้นที่มีค่า R² > 0.6 หมายถึง เคมีแวริโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมที่สุดนี้สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความแปรปรวนในพื้นที่ดังกล่าวมากกว่า 60% สำหรับระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่บ่งชี้จากค่า nugget/sill ที่ได้จากโมเดลที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลจากเคมีแวริโอแกรมโมเดลของทุกพื้นที่นี้สามารถนำไปทำการประมาณค่าในช่วงแบบ Kriging เพื่อแสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ K ได้

จาก (Figure 3) แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ K พบว่าไม่สอดคล้องกันในทุกพื้นที่แม้กระทั่งในพื้นที่ที่มีระยะเวลาการปลูกข้าวที่เท่ากัน รูปแบบการกระจายตัวเป็นหย่อมๆ (patchy) ของพื้นที่ต่างๆจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (nugget/sill) และระยะ effective range ที่ปรากฏบนเคมีแวริโอแกรมที่เหมาะสมที่สุด จาก (Table 2) ในพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลาน้อยกว่า 5 ปี พื้นที่ N1 มีระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่อยู่ในระดับสูงและระยะ effective range มีระยะยาวกว่าในพื้นที่ N2 ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่อยู่ในระดับปานกลางและมีระยะ effective range สั้นกว่า ดังนั้นลักษณะของ patch ในพื้นที่ N1 จึงมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ N2 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณ K ของพื้นที่ทั้งสองมีตั้งแต่ 76 - 430.05 mg/kg ดังแสดงใน Figure 3(a) และ 3(b) สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลามากกว่า 30 ปี มีปริมาณ K ตั้งแต่ 30 - 227.82 mg/kg ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตัวในลักษณะเป็นหย่อมๆ ขนาดของ patch ในพื้นที่ทั้งสาม (L1, L2 และ L3) ขึ้นอยู่กับระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และระยะ effective range โดยพื้นที่ L1 มีระยะ effective range ยาวกว่าพื้นที่ L3 และ L2 ตามลำดับ ดังนั้นขนาดของ patch จึงมีขนาดใหญ่ในพื้นที่ L1 รองลงมาคือ L3 และ L2 ตามลำดับ แสดงดัง Figure 3(c) - 3(e)

Table 1 Descriptive statistics of soil potassium in different study areas.

Classify site	Study site ^{1/}	Soil series ^{2/}	min	max	mean	SD	CV (%)	Degree of variation in soil	Skewness	Skewness (log-transformed data)
			(——— mg/kg———)							
< 5 year	N1	Don	100	427	167	57	34	Moderate	2.43	1.27
	N2	Bpi	76	430	201	71	35	High	0.93	-0.21
>30 year	L1	Don	41	221	134	27	20	Moderate	0.35	-
	L2	Don	50	227	107	38	35	High	0.89	-
	L3	Bpi	31	216	103	40	39	High	0.65	-

^{1/}N1 and N2; study sites of new agricultural soil which the used of land less than 5 years. L1, L2 and L3; study site of long-term agricultural soil which the used of land more than 30 years. ^{2/}Don: Dong Yang En series, Bpi: Ban Phai Series.

Table 2 Semivariogram parameters of soil potassium concentration in differing study areas.

Classify site	Study site	nugget (mg/kg) ²	sill (mg/kg) ²	range/	effective range ^{2/} (m)	nugget/sill	Degree of spatial dependence ^{3/}
				range of influence ^{1/} (m)			
< 5 year	N1	0.04	0.70	209	363	0.06	High
	N2	0.08	0.13	32	32	0.61	Moderate
> 30 year	L1	354	2,818	102	177	0.12	High
	L2	379	1,582	13	13	0.23	High
	L3	853	3,605	75	130	0.23	High

^{1/}“range” for spherical model, and “range of influence” for gaussian model. ^{2/}For spherical model, effective range = range×1. For gaussian model, effective range = range of influence×1.732 ^{3/} The ratios of <0.25, 0.25-0.75, and >0.75 are classified as strong, moderate, and weak spatial dependence’ respectively.

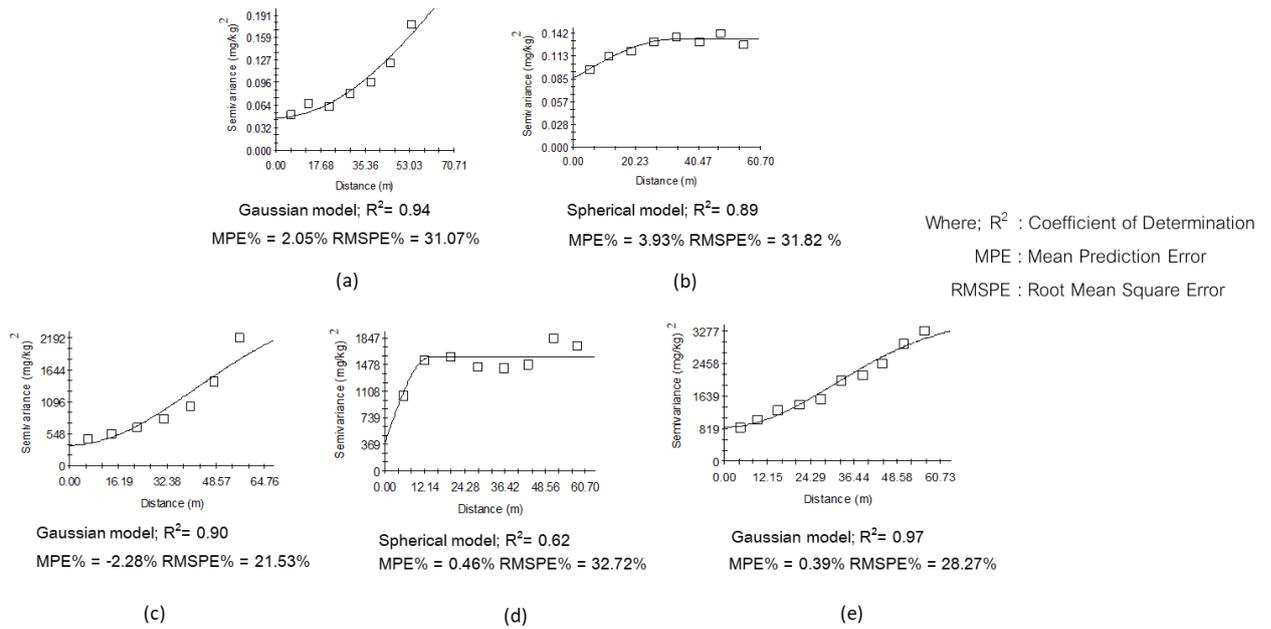


Figure 2 Best-fit semivariograms showing relationship between distance and variogram of soil potassium concentrations in different study sites. Letters (a) – (e) represent areas N1, N2, L1, L2 and L3, respectively.

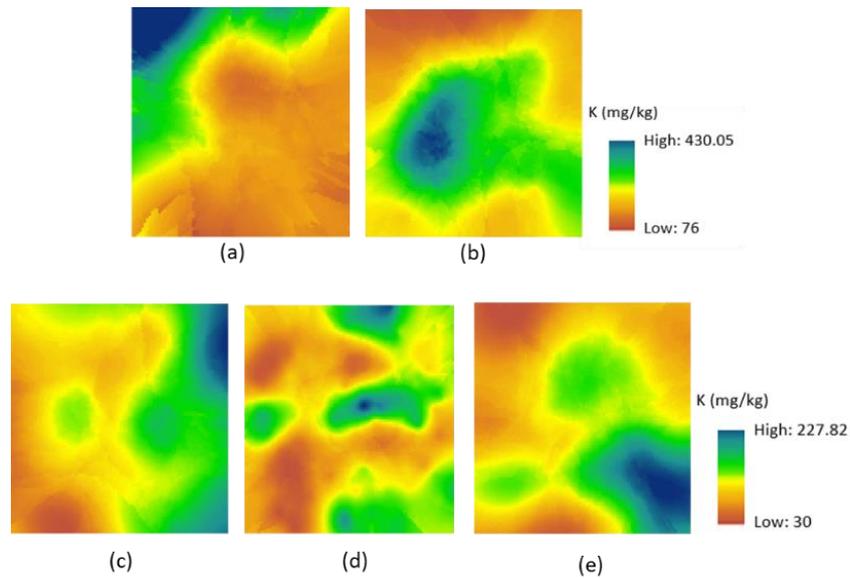


Figure 3 Map showing spatial variation of potassium extracted in soil for study sites. The letters (a) - (e) represent areas N1, N2, L1, L2 and L3, respectively.

ความถูกต้องของแผนที่ (mapping accuracy)

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โดยใช้ค่า MPE% และ RMSPE% ที่บ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือของแผนที่ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของ K จาก Figure 2(a) และ 2(b) พบว่าแผนที่ของพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลาน้อยกว่า 5 ปี ในพื้นที่ N1 และ N2 มีค่า MPE% ที่บ่งบอกถึงระดับความเอนเอียงของข้อมูล เท่ากับ 2.05% และ 3.93% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแผนที่ที่ได้จากวิธีการ Kriging ในพื้นที่นี้มีค่าพยากรณ์ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (under-estimated) ในขณะที่ค่า RMSPE% บ่งชี้ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ Kriging เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลพบว่าในพื้นที่นี้มีค่าเท่ากับ 31.71% และ 31.83% ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลามากกว่า 30 ปี Figure 2(c) - 2(e) พบว่าในพื้นที่ L1, L2 และ L3 มีค่า MPE% เท่ากับ -2.28%, 0.46% และ 0.39% ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าแผนที่ที่ได้จากวิธีการ Kriging ในพื้นที่ L1 มีค่าพยากรณ์สูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (over-estimated) ในขณะที่พื้นที่ L2 และ L3 มีค่าพยากรณ์ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (under-estimated) สำหรับค่า RMSPE% เท่ากับ 21.53%, 32.72% และ 28.27% ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าความผิดพลาด RMSPE% ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่จะสัมพันธ์กันตามระดับความแปรปรวนของแต่ละพื้นที่นั้นๆ (Table 1)

แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นประโยชน์ของ K และอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (K_2O) (สูตร 0-0-60) ในแต่ละพื้นที่ศึกษาตามค่าวิเคราะห์ดิน

เมื่อจำแนกเป็นแผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของ K ในพื้นที่ 2,500 ตร.ม. ตามกรมวิชาการเกษตร (2547) (Figure 5 และ Table 4) พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลาน้อยกว่า 5 ปี ทั้งพื้นที่ N1 และ N2 มีความเป็นประโยชน์ของ K ระดับสูง ($K > 80$ mg/kg) ทั่วทั้งพื้นที่ ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของข้าว ดังนั้นในพื้นที่ทั้งสองนี้จึงไม่ต้องใส่ปุ๋ย ส่วนในพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลามากกว่า 30 ปี พบความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของความเป็นประโยชน์ของ K หลายระดับ ในพื้นที่ L1 พบว่ามีความเป็นประโยชน์ของ K ระดับสูง (2,489 ตร.ม.) และระดับปานกลาง (11 ตร.ม.) ควรใส่ปุ๋ยอัตรา 0.03 kg KCl/rai แสดงดัง Figure 5(c) สำหรับในพื้นที่ L2 พบว่ามีความเป็นประโยชน์ของ K ระดับสูง (1,754 ตร.ม.) จนถึงระดับปานกลาง (746 ตร.ม.) ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยอัตรา 2.33 kg KCl/rai แสดงดัง Figure 5(d) และในพื้นที่ L3 พบว่ามีความเป็นประโยชน์ของ K แปรปรวนสูงมากตั้งแต่ระดับสูงปานกลางและต่ำ มีพื้นที่ 1,258 ตร.ม. 1,026 ตร.ม. และ 216 ตร.ม. ตามลำดับ ดังนั้นควรใส่ปุ๋ย K_2O ปริมาณ 1.35 kg KCl/rai และปริมาณ 3.21 kg KCl/rai ตามลำดับ แสดงดัง Figure 5(e) ดังนั้นการใส่ปุ๋ย K_2O อาจใส่ได้ในปริมาณ 1.35 kg KCl/rai ในบริเวณที่พบปริมาณ K อยู่ในระดับปานกลางและต่ำได้ แต่หากปริมาณ K ในดินไม่เพียงพอที่พืชนำไปใช้และทำให้ผลผลิตข้าวลดลงควรใส่ปุ๋ยตามอัตราที่ได้แนะนำไปในข้างต้น รายละเอียดการคำนวณอัตราปุ๋ยดังแสดงใน (Table 4)

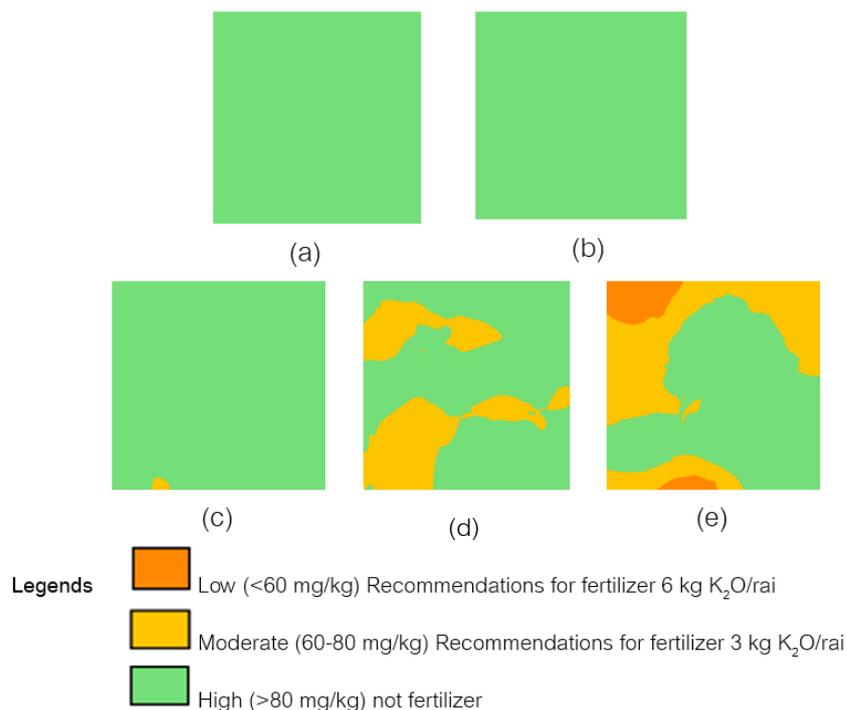


Figure 5 Map showing spatial distribution patterns of potassium extracted in soil according to the classification criteria of the Rice Department (2004). The letters (a) - (e) represent areas N1, N2, L1, L2 and L3, respectively.

Table 4 Potassium chloride fertilizer application (0-0-60) in each study area.

Potassium chloride application rate according to soil analysis values	Study areas ^{1/}							
	N1 and N2		L1		L2		L3	
	areas (m ²)	fertilizer rate (kg KCl/rai)	areas (m ²)	fertilizer rate (kg KCl/rai)	areas (m ²)	fertilizer rate (kg KCl/rai)	areas (m ²)	fertilizer rate (kg KCl/rai)
<60 mg/kg (fertilizer rate 6 kg K ₂ O/rai)	-	-	-	-	-	-	216	1.35
60-80 mg/kg (fertilizer rate 3 kg K ₂ O/rai)	-	-	11	0.03	746	2.33	1,026	3.21
>80 mg/kg (No need fertilizer)	2,500	-	2,489	-	1,754	-	1,258	-
Total areas (m²)	2,500		2,500		2,500		2,500	

^{1/}N1 and N2; study sites of new agricultural soil which the used of land less than 5 years. L1, L2 and L3; study site of long-term agricultural soil which the used of land more than 30 years.

สรุป

จากการประยุกต์ใช้ GIS เพื่อประเมินอัตราการใส่ปุ๋ย K_2O ในนาข้าวของ อ.พระยืน จ.ขอนแก่น โดยใช้ ธรณีสถิติด้วยวิธีการ Kriging นี้พบว่า (1) เมื่อใช้สถิติเชิงพรรณนาพบว่ามีความแปรปรวนตั้งแต่ปานกลางถึงสูง ในพื้นที่ทั้งสองระยะเวลาการใช้งาน (2) เมื่อใช้ธรณีสถิติโดยใช้เซมิแวกเรียแกรม พบว่าเซมิแวกเรียแกรมโมเดลมีความเหมาะสม ($R^2 > 0.6$) สามารถใช้วิธี Kriging ได้เป็นอย่างดี และเมื่อใช้วิธี Kriging ในการศึกษาการแพร่กระจายของ K พบว่าแผนที่มีความถูกต้องในระดับที่น่าเชื่อถือได้ และขนาดของ patch ควบคุมโดยระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และระยะ effective range ของแต่ละพื้นที่ ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีลักษณะแตกต่างกันแม้กระทั่งในพื้นที่ที่มีระยะเวลาการใช้ที่ดินเดียวกัน (3) เมื่อจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของ K และประเมินอัตราปุ๋ย K_2O พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลาน้อยกว่า 5 ปี มีปริมาณ K สูง ($K > 80$ mg/kg) ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของข้าวแล้ว ในขณะที่พื้นที่ปลูกข้าวเป็นเวลามากกว่า 30 ปี พบระดับความแปรปรวนและความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของ K ในระดับที่สูงมาก การใส่ปุ๋ย K_2O ในอัตราที่ได้คำนวณไว้เพื่อให้ข้าวเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์จึงมีหลายระดับเนื่องจากมี K ระดับปานกลางจนถึงต่ำ ($K < 80$ mg/kg) ทั้งนี้เกษตรกรควรใส่ปุ๋ย K_2O เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปักดำหรือก่อนปลูกข้าว เนื่องจากช่วงระยะดังกล่าวยังไม่มีการขังน้ำในนาข้าว

จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ GIS ร่วมกับงานทางด้านการเกษตร สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้หากนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งต้องเก็บตัวอย่างจำนวนมากและพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น อาจต้องมีการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์มาใช้ เพื่อประหยัดงบประมาณในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการ และในอนาคตควรนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่มีจีพีเอส (GPS) เช่น โดรน (Drone) ที่ใช้สำหรับหว่านปุ๋ย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเกษตรให้มีความแม่นยำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยทุนพัฒนาบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก. 2547. การจัดการธาตุอาหารหลักในนาข้าว. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2, พิษณุโลก.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. คำแนะนำการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1.

สถาบันวิจัยข้าว, กรุงเทพฯ

Bhunja, G.S., P.K. Shit and R. Chattopadhyay. 2019. Assessment of spatial variability of soil properties using geostatistical approach of lateritic soil (West Bengal, India). *Ann. Agrar. Sci.* 16(4): 436-443.

- Doll, E.C., and R.E. Lucas. 1973. **Testing Soil for Potassium, Calcium, and Magnesium**, in L.M. Walsh and J.D. Beaton, Eds., **Soil Testing and Plant Analysis**, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Duffera, M., J.G. White and R. Weise. 2007. Spatial variability of southeastern US coastal plain soil physical properties: Implications for site-specific management. **Geoderma**. 137: 327-339.
- FAOSTAT. 2014. **FAO Statistical Yearbook 2014**. Available <http://www.fao.org/3/a-i3590e.pdf>, 11 September, 2020.
- Gamma Designed Software. 2008. **Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software**, Plainwell: Michigan. 158 p.
- Oosterhuis, D., D. Loka, E. Kawakami and W. Pettigrew. 2014. The physiology of potassium in crop production. **Adv. Agron**. 126: 203-234.
- Oliver, M.A., and R. Webster. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. **Catena**. 113: 56-69.
- Phontusang, P., R. Katawatin, K. Pannangpetch, R. Lerdsuwansri, S. Kingpaiboon and K. Wangpichet. 2018. Field-scale spatial variability of electrical conductivity of the inland, salt-affected soil of Northeast Thailand. **WJST**. 15: 341-355.
- Sumner, M.E. 2000. **Handbook of Soil Science**. CRC Press, Washington D.C.
- Vasua, D., S.K. Singha, N. Saha, P. Tiwary, P. Chandrana, V.P. Duraisamib, V. Ramamurthy, M. Lalitha and B. Kalaiselvi. 2017. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management