

ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินร่วนและดินทรายใช้ปลูกข้าว อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่นโดยใช้ธรณีสถิติ

Spatial Variability of Soil Organic Matter Content in Paddy Loamy and Sandy Soils in Amphoe Phra Yuen, Khon Kaen Province Thailand Using Geostatistics

พรทิพย์ โพนตุแสง¹, สุปรานี ศรีท่าบุญ² และเริงศักดิ์ กตเวทิน¹

Pornthip Phontusang¹, Supranee Sritumboon² and Roengsak Katawat¹

บทคัดย่อ

ข้อมูลความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการทำการเกษตรแบบแม่นยำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินปลูกข้าวที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนและดินทราย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ธรณีสถิติ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและคัดเลือกพื้นที่ศึกษา ในอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น ที่มีการปลูกข้าว ในชุดดินดงยางเอน ซึ่งเป็นดินร่วน และชุดดินบ้านไผ่ ซึ่งเป็นดินทราย จำนวน 5 บริเวณ แต่ละบริเวณดำเนินการเก็บดินที่ความลึก 0-15 ซม. แบบวิธีการสุ่มในกริดขนาด 5x5 ม. ในพื้นที่ขนาด 50x50 ตร.ม. ได้จำนวนตัวอย่างดินทั้งหมด 500 ตัวอย่าง แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยใช้สถิติเบื้องต้นและธรณีสถิติ ผลการศึกษาพบว่า ความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีลักษณะแตกต่างกันแม้จะเป็นชุดดินเดียวกัน โดยระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อจำแนกด้วยค่า CV% พบความแปรปรวนของชุดดินดงยางเอนอยู่ในระดับปานกลางทุกพื้นที่ (CV > 18.95-33.42%) และชุดดินบ้านไผ่อยู่ในระดับสูงทุกพื้นที่ (CV > 35.72%) สำหรับการใช้อธิบายเชิงพื้นที่ด้วยโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทั้งสองชุดดินคือโมเดล spherical และ/หรือ Gaussian ซึ่งมีค่าในระดับที่ยอมรับได้ ($R^2 > 0.600$) รูปแบบการกระจายตัวของพื้นที่ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ Kriging มีความน่าเชื่อถือ (RMSPE% < 40) โดยขนาดของหย่อม (patch) ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ขึ้นอยู่กับระยะที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน (effective range) ซึ่งในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อเนื่องยาวนานจะมีความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงมาก จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของความแปรปรวนและความแตกต่างของรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่ ระยะเวลาการใช้ที่ดินและการทำกิจกรรมทางการเกษตรในพื้นที่

คำสำคัญ: อินทรีย์วัตถุ ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ธรณีสถิติ ความแปรปรวนเชิงพื้นที่

Abstract

Information on the spatial variability of soil organic matter is very useful for precision agriculture. The objective of this study was to investigate the status of spatial variability and spatial distribution patterns of soil organic matter (SOM) in paddy soils with loamy and sandy textures found in northeast Thailand using geostatistics. The researchers selected 5 study sites in Phra Yuen District, Khon Kaen Province. These were the areas of Dong Yang En (loamy soil) and Ban Phai (sandy soil) soil series. The soil was collected at a depth of 0-15 cm at each site using a non-aligned stratified sampling method in a 5x5 m grid in an area of 50x50 m². A total of 500 soil samples were analyzed for organic matter content in the laboratory. Basic statistics and geostatistics were employed to study the variability, spatial variability, and spatial distribution patterns of soil organic matter. The results showed differences in spatial variation and spatial distribution patterns of SOM among the study sites, even at sites of the same soil series. The variations in SOM based on CV% were moderate (CV > 18.95-33.42%) and high (CV > 35.72%) for the Dong Yang En and Ban Phai soil series, respectively. When geostatistics were applied, the best-fitting semivariogram models for all study sites were the Spherical and/or Gaussian models, and judging by R^2 values

¹ สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

¹ Department of Soil Science and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang Khon Kaen, Khon Kaen, 40002

² สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

² Land Development Office 5, Land development department, Muang Khon Kaen, Khon Kaen, 40000

*Corresponding author, Email: pornthip@kku.ac.th

(> 0.600), the models were good enough for the next step - spatial interpolation. The spatial distribution pattern calculated from the Kriging interpolation was reliable (RMSPE% < 40) as the patch of soil organic matter is upon on the effective range between a sample point. Thus, long continuous areas of cultivation had a higher variation. The result also indicated that differences in the spatial variability and spatial distribution patterns of soil organic matter varied according to the landscape, length of time farmed, and agricultural activities at each site.

Keywords: soil organic matter, fertility level, geostatistics, spatial variability

คำนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกข้าว คิดเป็นร้อยละ 60.59 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) หากใช้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ จะก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของดิน และเกิดปัญหาหลายประการตามมา (Khaledian et al., 2016; Bogunovic et al., 2017) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter, SOM) เป็นดัชนีบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ช่วยปรับโครงสร้างของดิน ช่วยให้การอุ้มน้ำ การระบายอากาศของดินดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนแคตไอออนและแอนไอออน เป็นแหล่งของธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชโดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และนอกจากนี้ยังเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตในดินอีกด้วย (Bot and Benites, 2005; Gajda et al., 2016) นอกจากนี้ SOM ยังช่วยกักเก็บคาร์บอนเอาไว้ในดิน ลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้อีกด้วย (Whitmore et al., 2015)

การเกษตรแบบแม่นยำ (precision farming) จำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลายด้านเข้ามาประกอบการพิจารณา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อมูลด้านการแพร่กระจายและความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติทางกายภาพ เคมี และปริมาณธาตุอาหารในดิน เพื่อให้สามารถวางแผนการจัดการดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Bogunovic et al., 2017) ซึ่งการศึกษาความแปรปรวนโดยทั่วไปแล้วจะใช้สถิติพื้นฐาน (basic statistics) ในการอธิบายแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง และการกระจาย (central tendency) หรือความแปรปรวน (variability) อย่างไรก็ตามการอธิบายลักษณะความแปรปรวนด้วยสถิติพื้นฐานยังไม่สามารถอธิบายได้ครอบคลุมสำหรับการใช้ประโยชน์อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ ได้กำหนดว่า ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (unknown population) จะต้องถูกเก็บตัวอย่างมาแบบสุ่ม (random sampling) และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่สำหรับตัวแปรซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น สมบัติต่าง ๆ ของดิน ค่าของตัวแปรเกิดแบบมีความต่อเนื่องสัมพันธ์กัน มีทิศทางและระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สาเหตุนี้การใช้สถิติพื้นฐานอธิบายความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีของธาตุอาหารพืชในดินจึงไม่เพียงพอ ดังนั้นในการศึกษารูปแบบ และความแปรปรวนของดินจำเป็นต้องใช้เทคนิคทางธรณีสถิติ (geostatistics) ในการวิเคราะห์เพื่ออธิบายลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติดังกล่าว (Oliver and Webster, 2014) นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารพืชในดินโดยใช้ธรณีสถิติ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) อินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon, SOC) อินทรีย์วัตถุในดิน (SOM) ไนโตรเจน (nitrogen, N) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) โพแทสเซียม (potassium, K) และซัลเฟอร์ (sulfur, S) เป็นต้น (Bogunovic et al., 2017; Xue-song et al., 2019) ซึ่งพบว่าสมบัติเหล่านี้มีความแปรปรวนสูงมากโดยเฉพาะในพื้นที่การเกษตร และข้อมูลนี้ยังเป็นประโยชน์สำหรับใช้เป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่ทำการเกษตร เช่น การใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ (Gorai et al., 2015; Bogunovic, 2017)

ข้อมูลความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน มีส่วนช่วยในการจัดทำแผนที่และคำอธิบายชนิด รูปแบบ และความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีของดินในแง่ของระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการทำการเกษตรแบบแม่นยำ สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการการใส่ปุ๋ยในพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ (Tripler et al., 2006; Santra et al., 2008; Li et al., 2016) ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินปลูกข้าวที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนและดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้ธรณีสถิติ

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน

ดำเนินการในพื้นที่อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น พิกัด 16° 18' 23" N 102° 39' 05" E มีพื้นที่ทั้งหมด 172 ตร.กม. มีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบสูงและมีแม่น้ำชีไหลผ่านบริเวณทางทิศตะวันออก การศึกษาครั้งนี้ทำการคัดเลือกพื้นที่ที่ศึกษา

ทั้งหมด 5 บริเวณ ได้แก่ ชุดดินบ้านไผ่ (Bpi) (loamy, siliceous, isohyperthermic Arenic Paleustalfs) จำนวน 2 บริเวณ และ ชุดดินดงยางเอน (Don) (Fine-silty, mixed, active, isohyperthermic Oxyaquic (Ultic) Haplustalfs) จำนวน 3 บริเวณ นอกจากนี้ยังทำการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่ผ่านมากในพื้นที่ศึกษาอีกด้วย ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีการสุ่มในกริด (stratified systematic unaligned sampling) (Campbell, 1996) ขนาด 5x5 ม. ในพื้นที่ขนาด 50x50 ตร.ม.ที่ระดับความลึก 0-15 ซม.จำนวน 100 ตัวอย่าง ในเดือนเมษายน 2562 รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 500 ตัวอย่าง (Figure 1) และวิเคราะห์หาปริมาณ OM ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธี wet digestion (Walkley and Black, 1934)

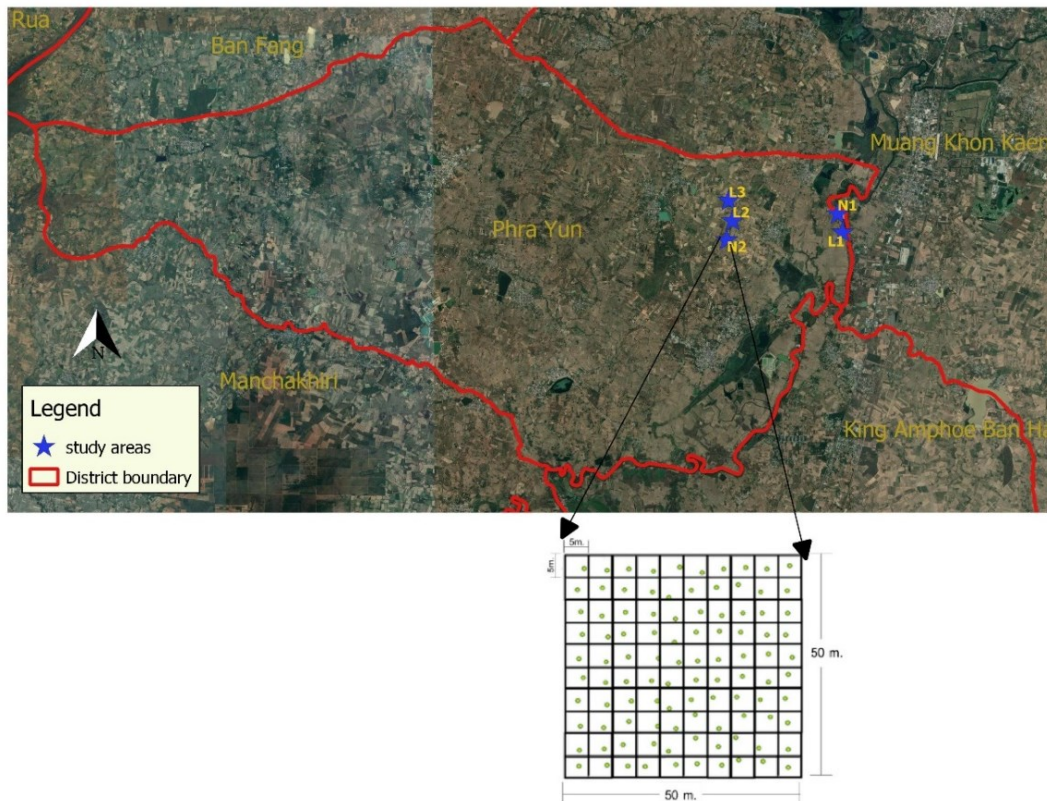


Figure 1 Stratified systematic unaligned sampling in Phra Yuen district, Khon Kaen province. N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

การวิเคราะห์ทางสถิติพื้นฐานและธรณีสถิติ

นำข้อมูลค่าอินทรีย์วัตถุ มาวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean), ค่าต่ำสุดและสูงสุด (minimum and maximum), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD), สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) และค่าความเบ้ (skewness) และพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ (normal distribution) จากค่าความเบ้ซึ่งจะต้องมีค่าอยู่ที่ -1 ถึง 1 หากพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบผิดปกติต้องปรับค่าข้อมูลโดยวิธีการแปลงค่าด้วย log ฐาน 10 (log-transformation) เพื่อให้ข้อมูลเป็นข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบปกติและวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางธรณีสถิติโดยใช้ เซมิแวกเรียแกรม (Figure 2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนและระยะทางระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งสามารถบ่งบอกคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ได้ตามวิธีของ Oliver and Webster (2014) ดังสมการที่ (1)

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่	$\hat{\gamma}(h)$	คือ ฟังก์ชันเซมิแวรีโอแกรม
	$Z(x_i)$	คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่ง x_i
	$x_i + h$	คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่งของข้อมูลตัวที่สอง ซึ่งอยู่ห่างจากข้อมูล x เป็นระยะและทิศทางที่กำหนดด้วยเวกเตอร์ h
	N	คือ จำนวนคู่ของตัวอย่างทั้งหมด

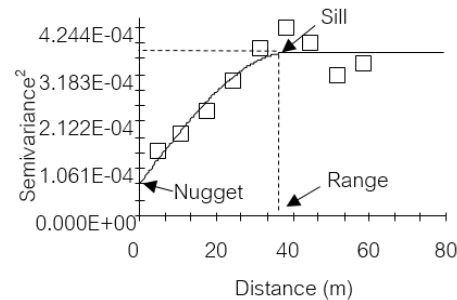


Figure 2 Semivariogram showing nugget sill and range parameters.

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางธรณีสถิติจะต้องเลือกเซมิแวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลด้วยวิธีการผสมผสานระหว่างคอมพิวเตอร์และสายตาร่วมกัน โดยพิจารณาจากค่า coefficient of determination (R^2) ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสอดคล้องของข้อมูลในการอธิบายความผันแปรของข้อมูลควรมีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 และค่า residual sum of squares (RSS) จะต้องมิต่ำน้อย ซึ่งมีโมเดลในแบบต่าง ๆ ได้แก่ exponential model, gaussian model และ spherical model เป็นต้น (Oliver and Webster, 2014)

เมื่อได้โมเดลที่เหมาะสมแล้ว จึงอ่านค่าจากเซมิแวรีโอแกรมซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก (Figure 2) คือ (1) ค่าความแปรปรวนนุกเก็ต (nugget) อธิบายถึงความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด บ่งบอกถึงความผิดพลาดจากการเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างมากเกินไปหรือความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ (2) ค่าความแปรปรวนคงที่ (sill) อธิบายถึงความแปรปรวนสูงสุดที่ข้อมูลเริ่มหมดความสัมพันธ์ และ (3) ค่าระยะอิทธิพล (range) อธิบายถึงระยะทางที่ข้อมูลเริ่มมีความเป็นอิสระต่อกัน เมื่อได้เซมิแวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลแล้วนำค่า effective range คือค่าระยะทางที่ข้อมูลหมดความสัมพันธ์กันมาใช้ในการระบุระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดิน โดยแต่ละเซมิแวรีโอแกรมโมเดลจะมีค่า effective range ที่แตกต่างกัน ได้แก่ spherical model, exponential model และ gaussian model จะใช้ค่า range/range of influence คูณกับค่าคงที่คือ 1, 3 และ 1.732 ตามลำดับ (Phontusang, 2016) ซึ่ง Sumner (2000) และ IT Department (2001) เสนอว่า ระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมควรมีระยะ $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของระยะ effective range นอกจากนี้การจำแนกระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สามารถจำแนกได้จากสัดส่วน nugget/sill ตามเกณฑ์ของ Oliver and Webster (2014) แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ สูง (< 0.25) ปานกลาง ($0.25 - 0.75$) ต่ำ (> 0.75) และไม่พบความสัมพันธ์ ($= 1$) ค่า nugget sill และ range จากเซมิแวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมจะถูกใช้ในการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ด้วยวิธีการ kriging แบบ ordinary kriging (Oliver and Webster, 2014) เพื่อให้ได้แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าอินทรีย์วัตถุในดิน

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โดยใช้วิธีการ cross-validation แบบ leave-one-out โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติ ได้แก่ mean prediction error (MPE) ซึ่งเป็นดัชนีวัดระดับความเอนเอียง (bias) ของข้อมูล ควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และ root mean square prediction error (RMSPE) ซึ่งเป็นดัชนีวัดความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ ordinary kriging ซึ่งควรมีค่าน้อยที่สุด (Yao et al., 2014)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ระดับและความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

จาก Table 1 แสดงความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินโดยใช้สถิติเบื้องต้น เมื่อจำแนกตามค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ศึกษาทั้งสองชุดดิน จากเกณฑ์การจำแนกของกองสำรวจและจำแนกดิน (2543) โดยทั่วไปในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 บริเวณมีระดับอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำจนถึงค่อนข้างสูง ($OM = 0.05-2.87\%$) โดยเฉพาะในชุดดินดงยางเอน (Don) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินระดับต่ำจนถึงค่อนข้างสูง ($OM = 0.25-2.87\%$) โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ L1 บ่งชี้อินทรีย์วัตถุในปริมาณค่อนข้างสูง (mean $OM = 1.83\%$) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมด เนื่องจากในพื้นที่นี้อยู่ใกล้กับแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการทับถมของตะกอนน้ำพา รองลงมาคือในพื้นที่ N1 และ L2 ตามลำดับ โดยในพื้นที่ N1 เป็นพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนมาก่อนแต่ถูกปรับพื้นที่เพื่อทำการเกษตรโดยการเผาเศษพืช จึงทำให้มีค่าอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าพื้นที่ L1 แต่สูงกว่าพื้นที่ L2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรมาเป็นเวลานานมากกว่า 30 ปี สำหรับชุดดินบ้านไผ่ (Bpi) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ($OM = 0.05-1.99\%$) ในพื้นที่ L3 พบค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าในพื้นที่ N2 (Table 1) เนื่องจากในพื้นที่ N2 มีการเผาเศษพืชในพื้นที่ก่อนจะดำเนินการเก็บตัวอย่าง สำหรับการจำแนกระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเมื่อจำแนกตามเกณฑ์ของ Sumner (2000) พบว่าชุดดินดงยางเอนและชุดดินบ้านไผ่มีระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุสอดคล้องกันในทุกพื้นที่ โดยชุดดินดงยางเอนมีระดับความแปรปรวนของปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับปานกลาง ($CV = 18.95-33.42\%$) ส่วนชุดดินบ้านไผ่มีความแปรปรวนระดับสูง ($CV > 35.72\%$) สำหรับค่าความเบ้ (skewness) ของชุดข้อมูลทั้งหมดมีการกระจายตัวเป็นปกติ (skewness อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1) จึงไม่ต้องการแปลงฐานข้อมูลด้วย log-transformation

Table 1 Showing variation of soil organic matter in 5 study sites using basic statistics.

Study site ¹	Soil series	Min (OM%)	Max (OM%)	Mean (OM%)	Status ²	SD	CV (%)	Variation class ³	Skewness
N1	Don	0.65	2.12	1.26	Low-Moderate	0.3	23.77	Moderate	0.44
L1		1.01	2.87	1.83	Rather low-Rather high	0.35	18.95	Moderate	0.99
L2		0.25	1.43	0.59	Low-Rather low	0.20	33.42	Moderate	0.9
L3	Bpi	0.26	1.99	1.11	Low-Moderate	0.40	35.72	High	-0.14
N2		0.05	1.81	0.56	Low-Moderate	0.33	58.19	High	0.31

¹ N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

² Classified based on Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department (2005).

³ Classified based on Sumner (2000).

ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าอินทรีย์วัตถุในดิน

จากกราฟเซมิแวรีโอแกรมและค่า nugget sill range ของแต่ละพื้นที่ศึกษา (Figure 3 และ Table 2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของอินทรีย์วัตถุในดินกับระยะทางระหว่างจุดเก็บตัวอย่างดินพบว่า โมเดลที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินร่วนและดินทรายในพื้นที่ศึกษา คือ gaussian และ spherical models มีค่า $R^2 > 0.600$ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประมาณค่าด้วยวิธีการ kriging interpolation โดยในชุดดินดงยางเอนซึ่งเป็นดินร่วนปนทรายแบ่ง พบโมเดลที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินคือ gaussian และ spherical ($R^2 = 0.600-0.960$) สำหรับชุดดินบ้านไผ่ซึ่งเป็นดินทรายปนดินร่วน พบว่าโมเดลที่เหมาะสมที่สุดคือ spherical model ($R^2 = 0.818-0.894$) ค่า nugget/sill บ่งชี้ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่เมื่อจำแนกตามเกณฑ์ของ Oliver and Webster (2014) พบว่าในชุดดินดงยางเอนมีระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูง (nugget/sill = 0.01-0.47) ในขณะที่ชุดดินบ้านไผ่มีระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงสอดคล้องกันในทุกพื้นที่ศึกษา (nugget/sill = 0.04-0.14) สำหรับค่า effective range หรือระยะทางที่ข้อมูลความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินไม่มีความสัมพันธ์กัน จากการศึกษานี้พบว่าในพื้นที่ชุดดินดงยางเอนมีระยะทางที่ข้อมูลความแปรปรวนของอินทรีย์วัตถุในดินไม่มีความสัมพันธ์กันอีกต่อไปอยู่ระหว่าง 12-414 เมตร และในชุด

ดินบ้านไผ่มีระยะระหว่าง 39-42 เมตร ดังนั้นความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของดินทรายใช้ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความเป็นไปได้ตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงสูง ดังนั้นจากรายงานของ Sumner (2000) และ IT Department (2001) เกี่ยวกับระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม คือ 3 เมตร ในกรณีที่พื้นที่ได้รับการตรวจสอบข้อมูลแล้วมีระดับความแปรปรวนในพื้นที่สูง ส่วนในกรณีพื้นที่ที่ข้อมูลมีระดับความแปรปรวนในพื้นที่ต่ำสามารถเก็บตัวอย่างดินที่มีระยะห่างกันถึง 207 เมตร

จากการจำแนกรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่โดยอ้างอิงความสัมพันธ์ของค่า nugget/sill และ range โดยใช้วิธีการ kriging interpolation เพื่อแสดงรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่ารูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจะมีลักษณะเป็นหย่อม ๆ (patches) แตกต่างกันไปตามสภาพของพื้นที่ ขนาดของ patch จะผันแปรไปตามระยะ effective range ที่พบในแต่ละพื้นที่ศึกษา (Figure 3)

Table 2 Showing semivariogram parameters of soil organic matter in different 5 study sites using geostatistics approach.

Study site ¹	Soil series	Model	Nugget (OM% ²)	Sill (OM% ²)	Range (m)	Effective range (m)	¼ - ½ range of influence	Nugget /Sill	Spatial dependence class ²	R ²
N1		Gaussian	0.064	0.13	65.98	114.27	28.56-57.13	0.47	Moderate	0.900
L1	Don	Gaussian	0.040	2.09	239.02	413.98	103.49-206.99	0.01	Strong	0.960
L2		Spherical	0.001	0.03	12.44	12.44	3.11-6.22	0.02	Strong	0.622
L3	Bpi	Spherical	0.009	0.22	41.59	41.59	10.39-20.79	0.04	Strong	0.818
N2		Spherical	0.019	0.13	39.70	39.70	9.92-19.85	0.14	Strong	0.894

¹ N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

² Classified based on Oliver and Webster (2014).

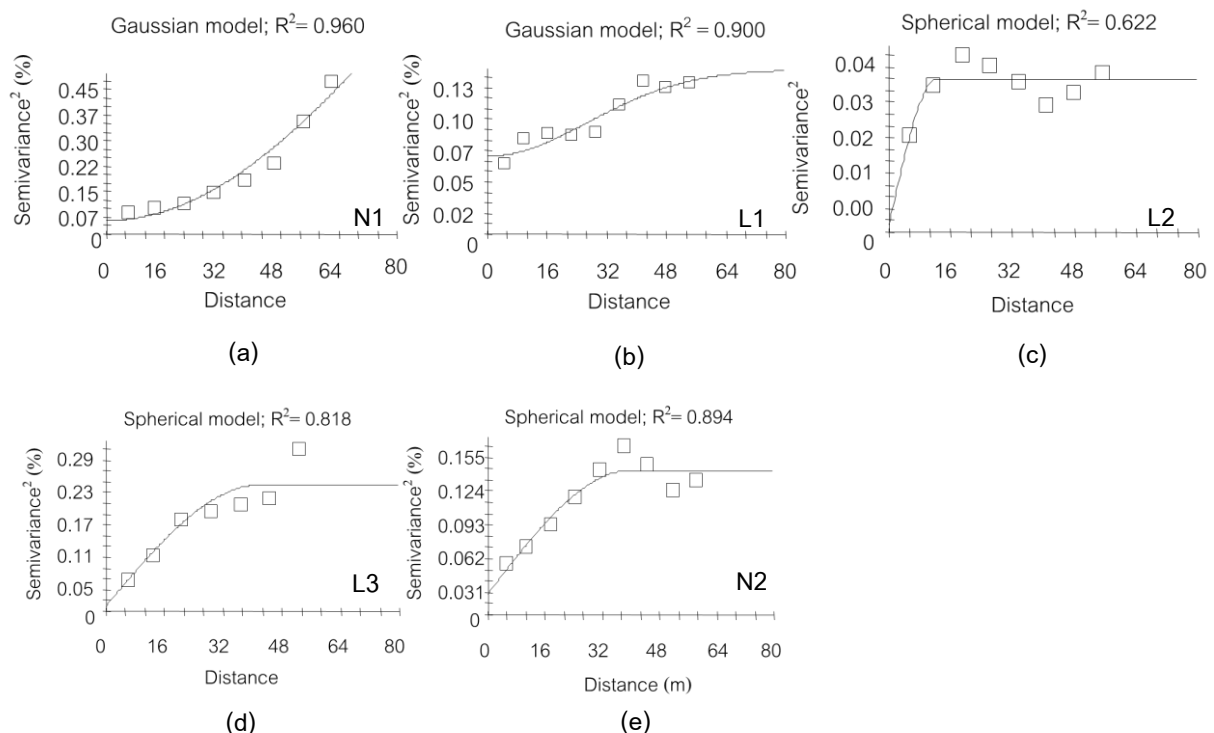


Figure 3 Semivariogram showing relationship between semivariance and distance of different 5 study sites. (a)-(c) showing sites N1, L1 and L2, respectively and (d)-(e) showing sites N2 and L3, respectively.

จากการศึกษาระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 แห่ง พบว่า ระยะเวลาในการทำกิจกรรมการใช้ที่ดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงขึ้น ซึ่งจากการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่พบว่าในพื้นที่ชุดดินดงยางเอน ในพื้นที่ N1 เป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีกิจกรรมใด ๆ ทางเกษตร ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ที่พบในพื้นที่อยู่ในระดับปานกลาง ($nugget/sill = 0.47$) สำหรับพื้นที่ L1 และ L2 มีการใช้พื้นที่ปลูกข้าวต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานมากกว่า 30 ปี ทำให้ในพื้นที่นี้มีการเกษตรกรรม เช่น การไถพรวนและการเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วยเครื่องจักร การใส่ปุ๋ยเคมี การใช้สารเคมีทางการเกษตร หรือการเผาเศษพืช (ถ้ามี) ส่งผลให้ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงมากกว่าพื้นที่ N1 ($nugget/sill < 0.04$) อย่างไรก็ตามในพื้นที่ L2 มีระยะ effective range สั้นที่สุด จึงมีขนาด patch เล็กกระจายทั่วพื้นที่ รองลงมาคือ พื้นที่ N1 และ L1 ตามลำดับ (Figure 3 (a)-(c))

ในขณะที่ชุดดินบ้านไผ่ ระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของทั้งสองพื้นที่มีระดับสูงเหมือนกัน แต่ค่า $nugget/sill$ ในพื้นที่ N2 (0.14) สูงกว่าในพื้นที่ L3 (0.02) เล็กน้อย เนื่องจากในพื้นที่ N2 มีการใช้พื้นที่ปลูกข้าวต่อเนื่องประมาณ 5 ปี ซึ่งน้อยกว่าพื้นที่ L3 ที่มีการใช้พื้นที่ปลูกข้าวต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานกว่า 30 ปี ระยะ effective range ของทั้งสองพื้นที่ใกล้เคียงกัน รูปแบบการกระจายตัวจึงมีลักษณะเป็น patch ขนาดใหญ่ ดังแสดงใน Figure 3(d) และ 3(e) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Behera et al. (2018) และ Gao et al. (2019) รายงานว่า ความแตกต่างของระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในแต่ละพื้นที่ศึกษานี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในและภายนอกของพื้นที่นั้น ๆ โดยปัจจัยภายใน ได้แก่ วัตถุดิบกำเนิดดิน ชนิดของดิน ชุดดิน และลักษณะภูมิประเทศ เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ ประเภทของการใช้ที่ดิน ระยะเวลาการใช้ที่ดิน และกิจกรรมทางการเกษตร

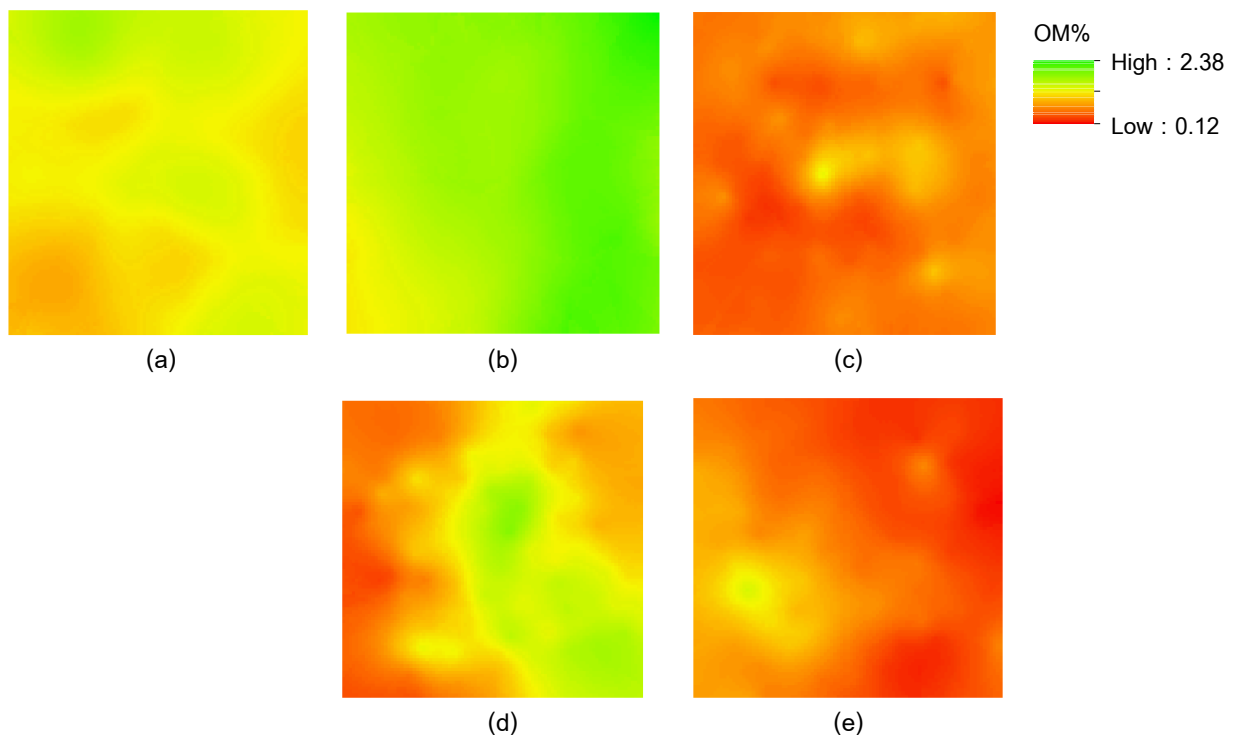


Figure 4 Showing the spatial distribution pattern generated from Kriging interpolation of different 5 study sites. (a)-(c) showing sites N1, L1 and L2, respectively and (d)-(e) showing sites N2 and L3, respectively.

ความถูกต้องของแผนที่แสดงระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

จาก Table 3 แสดงค่าความความผิดพลาดของแผนที่ด้วยวิธีการ cross-validation แบบ leave-one-out และคำนวณค่าความผิดพลาดเปรียบเทียบ ระหว่างค่าอินทรีย์วัตถุที่ได้จากพื้นที่จริง และ ค่าที่พยากรณ์โดยใช้ kriging interpolation เพื่อคำนวณค่า MPE% และ RMSPE% ซึ่งบ่งบอกถึงความเอนเอียงและความน่าเชื่อถือของแผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ศึกษา พบว่า ระดับความเอนเอียงของข้อมูล (bias) บ่งชี้จากค่า MPE และ MPE% โดยทั่วไป

ในพื้นที่ศึกษาทุกแห่งมีค่าพยากรณ์ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ ordinary kriging ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (under-estimated) ซึ่งมีค่า MPE% < 0.32 และความผิดพลาดของแผนที่ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ kriging เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในพื้นที่จริง บ่งชี้จากค่า RMSPE และ RMSPE% ซึ่งเป็นที่น่าเชื่อถือ มีค่า RMSPE% < 40% ซึ่งค่า RMSPE% ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่จะสัมพันธ์กันตามระดับความแปรปรวนของแต่ละพื้นที่นั้น ๆ

Table 3 Mapping accuracy of soil organic matter generated from kriging interpolation.

Study site ¹	MPE ²	MPE% ²	RMSPE ³	RMSPE% ³
N1	0.00	0.00	0.26	20.44
N2	0.00	0.32	0.22	39.03
L1	0.00	0.20	0.27	15.01
L2	0.00	0.20	0.15	25.27
L3	0.00	0.31	0.20	17.84

¹ N1 and N2 represent the areas for rice cultivation < 5 years and L1- L3 represent the areas for rice cultivation > 30 years in areas of Bpi and Don soil series.

² MPE = Mean Prediction Error / MPE% = Normalize Mean Prediction Error.

³ RMSPE = Root Mean Square Prediction Error / RMSPE% = Normalize Root Mean Square Prediction Error.

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความแปรปรวนและรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ธรณีสัณติ ในพื้นที่ อ.พระยืน จ.ขอนแก่น โดยใช้สถิติเบื้องต้นและธรณีสัณติ พบว่า ระดับของปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยปริมาณของค่าอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยในพื้นที่ชุดดินดงยางเอนที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วน อยู่ในระดับต่ำจนถึงปานกลาง ระดับความแปรปรวนเมื่อจำแนกด้วยค่า CV อยู่ในระดับปานกลางทุกพื้นที่ (CV = >18.95-33.42%) ในขณะที่ชุดดินบ้านไผ่ที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำจนถึงค่อนข้างต่ำ ระดับความแปรปรวนเมื่อจำแนกด้วยค่า CV อยู่ในระดับสูง (CV >35.72%)

สำหรับการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ในพื้นที่ โดยใช้เซมิแวกเรียแกรมและประมาณค่าในช่วงแบบ kriging ของวิธีการทางธรณีสัณติ พบว่า ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ ระยะเวลาและกิจกรรมการใช้ที่ดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา โดยในชุดดินดงยางเอน มีความเหมาะสมกับเซมิแวกเรียแกรมโมเดลแบบ spherical หรือ gaussian ($R^2=0.600-0.960$) สำหรับชุดดินบ้านไผ่เหมาะสมกับเซมิแวกเรียแกรมโมเดลแบบ spherical ($R^2>0.818$) นอกจากนี้เมื่อจำแนกระดับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ตามค่า nugget/sill และ effective range ที่ได้จากเซมิแวกเรียแกรม และจากการประมาณค่าในช่วงแบบ kriging ของทั้งสองชุดดินมีความแตกต่างกัน จึงส่งผลให้ขนาดของ patch แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่

จากการใช้ธรณีสัณติเพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์วัตถุนี้ เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ได้ข้อมูลสภาพพื้นที่ และใช้เป็นแนวทางในการจัดทำคำอธิบายชนิด รูปแบบ และความแปรปรวนของระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งข้อมูลนี้เป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการจัดการแบบแม่นยำในพื้นที่เสื่อมโทรมจากการทำการเกษตรได้ และในอนาคตควรนำข้อมูลที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ หรือ โดรน (drone) ที่มีระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) สำหรับหว่านปุ๋ย สารบำรุงดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเกษตรให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

- กองสำรวจและจำแนกดิน. 2543. *วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการประเมินผลวิเคราะห์ดิน*. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2564*. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- Behera, S. K., Mathur, R. K., Shukla, A. K., Suresh, K., and Prakash, C. 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. *Catena* 165: 251-259.
- Bogunovic, I., Pereira, P., and Brevik, E. 2017. Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. *Science of the Total Environment* 584-585: 535-545.
- Bot, A., and Benites, J. 2005. *The importance of soil organic matter – Key to drought-resistant food and production*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.
- Campbell, J.B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*. New York: The Guilford Press.
- Gajda, M. A., Czyż, A. E., and Dexter, R. A. 2016. Effects of longterm use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. *International Agrophysics* 30: 165-172.
- Gao, X., Xiao, Y., Deng, L., Qi-quan, L., Chang-quan, W., Bing, L., Ou-ping, D., and Min, Z. 2019. Spatial variability of soil total nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture* 18: 279-289.
- Gorai T., Ahmed, N., Patra, A., Sahoo, R., Sarangi, A., Meena, M., and Sharma, R. 2015. Site Specific Nutrient Management of an Intensively Cultivated Farm Using Geostatistical Approach. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 87(2): 477-488.
- IT Department. 2001. *ILWIS 3.0 Academic User's Guide*. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Khaledian, Y., Pereira, P., Brevik, E., Pundyte, N., and Paliulis, D. 2016. The influence of organic carbon and pH on heavy metals, potassium and magnesium in Lithuanian podzols. *Land Degradation Development* 28(1): 345-354.
- Oliver, M., and Webster, R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena* 113: 56-69.
- Phontusang, P. 2016. *Improving Salt-affected Soils Mapping in Northeast Thailand*. Doctoral Dissertations. Khon Kaen: Khon Kaen University.
- Santra, P., Chopra, U. K., and Chakraborty, D. 2008. Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. *Current Science* 95(7): 937-945.
- Sumner, M. E. 2000. *Handbook of Soil Science*. Washington D.C.: CRC Press.
- Tripler, C., Kaushal, S., Likens, G., and Walter, M. 2006. Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. *Ecology Letters* 9: 451-466.
- Walkley, A., and Black, I. A. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.
- Whitmore, A. P., Kirk, G. J. D., and Rawlins, B. G. 2015. Technologies for increasing carbon storage in soil to mitigate climate change. *Soil Use Management* 31: 62-71.
- Xue-song, G., Yi, X., Liang-ji, D., Qi-quan, L., Chang-quan, W. Bing, L., Ou-ping, D., and Min, Z. 2019. Spatial variability of soil total nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture* 18(2): 279-289.
- Yao, R. J., Yang, J. S., Gao, P., Shao, H. B., Liu, G. M., and Yu, S. P. 2014. Comparison of statistical prediction methods for characterizing the spatial variability of apparent electrical conductivity in coastal salt-affected farmland. *Environmental earth sciences* 71(1): 233-243.

วันรับบทความ (Received date) : 21 ธ.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 25 มี.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65