ผลขนาดอนุภาคดินต่อการตรวจหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินที่ใช้ปลูกพืชไร่โดยใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้

Effects of Soil Particle Size on Quantitative Determination of Organic Carbon and Organic Matter in Filed-Crop Soils Using Near-Infrared Spectroscopy

อิสรานุวัฒน์ วินทะสมบัติ[1], นิพนธ์ มาวัน[1,2], เมทินี นาคดี[1], สุวิทย์ กิระวิทยา[3] และ วันวิสาข์ ปั้นศักดิ์[1*]

Itsaranuwat Winthasombat[1], Nipon Mawan[1,2], Methinee Nakdee[1], Suwit Kiravittaya[3] and Wanwisa Pansak[1*]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

[2]ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

[3]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

[1]Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

[2]Northeast Thailand Cane and Sugar Research Center, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

[3]Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

*Corresponding author: wanwisapa@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลขนาดอนุภาคดินต่อการตรวจหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินที่ใช้ปลูกพืชไร่บางชนิด โดยใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ตัวอย่างดินเหนียวและดินร่วนปนดินเหนียวถูกเก็บที่สองระดับความลึก คือ 0-20 และ 20-50 ซม. โดยเก็บจากพื้นที่ปลูกข้าวโพด พื้นที่ปลูกข้าวโพดแล้วเปลี่ยนมาปลูกยางพาราและ พื้นที่ปลูกข้าว พื้นที่ปลูกอ้อยที่มีการเผาและไม่เผาก่อนการเก็บเกี่ยว ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 149 ตัวอย่าง จาก 2 จังหวัด (จังหวัดน่าน และจังหวัดกำแพงเพชร) โดยนำตัวอย่างดินเดียวกันร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มม. เพื่อนำไปวัดสเปกตรัมการสะท้อนแสงในช่วงเลขคลื่น 12,500 ถึง 4,000 cm^{-1} แล้วจึงนำค่าวิเคราะห์ทางเคมีและสเปกตรัม มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ผลการทดลองพบว่า สเปกตรัมจากอนุภาคดินขนาด 0.5 มม. ที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี multiplicative scatter correction สามารถนำมาสร้างสมการทำนายค่าอินทรีย์คาร์บอนในดินได้แม่นยำกว่าดินที่มีขนาด 2 มม. มีค่า R^2-Cal และ R^2-Val เทากับ 0.97 และ 0.98 และมีค่า SEC และ SEP เท่ากับ 0.11% และ 0.15% สำหรับค่า Bias มีค่าเท่ากับ 0.007% ค่า RPD เท่ากับ 6.97 การใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้ มีความแม่นยำในการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมากกว่าทำนายปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

คำสำคัญ: เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้, อินทรีย์คาร์บอนในดิน, อินทรียวัตถุในดิน, ขนาดอนุภาคดิน

ABSTRACT

This research aimes to study effects of soil particle size on quantitative determination of organic carbon and organic matter in some filed-crop soils using near-infrared spectroscopy. Clay and clay loam soil samples were collected at 2 depths, i.e., 0-20 and 20-50 cm from maize and changing maize production to rubber tree areas. Other soil samples were taken from paddy rice field, burn and no-burn sugarcane management systems. Total 149 soil samples were sieved to grain size 0.5 and 2 mm. After that all soil samples were measured by NIR spectrometer in the range of 12,500-4,000 cm^{-1} with reflectance mode. Data of the chemical analysis and the NIR spectrum were analyzed to investigate the correlation. The results showed that soil particle size of 0.5 mm can accurately predict soil organic carbon. All spectra were pre-processed with multiplicative scatter correction method. It was found that the model can predict soil organic carbon with high accuracy at R^2-Cal and R^2-Val of 0.97 and 0.98, respectively. SEC, SEP, Bias and RPD values were 0.11%, 0.15%, 0.007%, and 6.97 respectively. Moreover, NIR technique is more accurate to predict the amount of organic carbon than to predict the amount of organic matter.

Keywords: Near infrared spectroscopy, soil organic carbon, soil organic matter, soil particle size

บทนำ

อินทรียวัตถุมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยช่วยปรับปรุงสมบัติของดินทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ และทำให้ดินมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนในดิน การสลายตัวของอินทรียวัตถุที่สะสมในดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอน โดยดินเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่ใหญ่ ประมาณ 3.3 เท่าของในบรรยากาศ (Lal, 2004) การลดลงของปริมาณสารอินทรีย์ทำให้ดินเสื่อมสภาพ เนื่องจากปัจจุบันการทำเกษตรกรรมที่ขาดการปรับปรุงบำรุงดินทำให้อินทรียวัตถุในผิวหน้าดินลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น อินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินได้ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการประเมินคุณภาพดินเพื่อใช้พัฒนาระบบการจัดการเกษตรแบบยั่งยืน จึงควรมีการทดสอบหาประมาณของอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินก่อนทำการเกษตร เพื่อจัดการดินที่เหมาะสมและช่วยลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร ปัจจุบันเทคนิคการการตรวจทดสอบปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดิน ต้องอาศัยการใช้สารเคมีและระยะเวลานาน ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง และไม่ทันต่อความต้องการของเกษตรกร เทคโนโลยีแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy) สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุดังกล่าวในดิน แบบไม่ทำลายตัวอย่าง ประหยัด รวดเร็ว และสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบที่ต้องการศึกษาได้หลายองค์ประกอบในเวลาเดียวกัน ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลขนาดอนุภาคดินต่อการตรวจหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินที่ใช้ปลูกพืชไร่บางชนิดโดยใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างดินและการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินโดยวิธีมาตรฐาน

ตัวอย่างดินถูกเก็บที่สองระดับความลึก 0-20 และ 20-50 ซม. โดยเก็บจากพื้นที่ทำการเกษตร ได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าวโพด ปลูกข้าวโพดร่วมกับยางพารา พื้นที่ปลูกข้าวโพดแล้วเปลี่ยนมาปลูกยางพารา จากอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน จำนวน 67 ตัวอย่าง และจากพื้นที่ปลูกข้าว พื้นที่ปลูกอ้อยที่มีการเผาและไม่เผาก่อนการเก็บเกี่ยว จากอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 82 ตัวอย่าง ตัวอย่างดินทั้งหมด 149 ตัวอย่าง การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน ใช้เครื่อง CHN analyzer

(Vario EL Cube, Germany) โดยนำตัวอย่างดินกำจัดอนินทรีย์คาร์บอนโดยการใช้สารละลายไฮโดรคลอริก 10% และวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยการออกซิเดชันแบบเปียก ตามวิธี Walkly and Black Titration (Walkley and Black, 1934)

การเตรียมตัวอย่างและการวัดค่าการดูดกลืนแสงของดินด้วยเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้

การเตรียมตัวอย่างดินโดยนำตัวอย่างดินทำให้ผึ่งแห้งในที่ร่มทำการย่อยให้มีขนาดเล็กลงและร่อนตัวอย่างดินผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มม. เก็บไว้ในถุงที่แห้งสนิท นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้วัดค่าการดูดกลืนแสงของดินด้วยเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ในการวัดสเปกตรัมการดูดซับคลื่นแสงในช่วงเลขคลื่น 12,500 ถึง 4,000 cm^{-1} ทำการวัดโดยใส่ตัวอย่างดินจำนวน 20 กรัม ลงในภาชนะที่ด้านล่างเป็นพื้นที่รับแสงแล้วทำการวัดสเปกตรัมแสงแบบสะท้อนกลับ จากนั้นใช้วิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม OPUS V7.0 โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยกำลังน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Regression; PLSR) เพื่อทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดิน เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าทำนายกับค่าที่วัดได้จากวิธีมาตรฐานโดยการตรวจสอบแบบ Cross-validation สมการที่ได้ใช้ค่าสถิติมาพิจารณาความแม่นยำของสมการที่ได้ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (SEC) ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (SEP) และค่าความผิดพลาด (Bias)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างดินที่ศึกษา พบว่า ตัวอย่างดินในเขตพื้นที่ตำบลดู่พงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน จำนวน 67 ตัวอย่าง มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อยู่ในช่วง 0.77 - 2.39% และอินทรียวัตถุในดิน 1.23 – 4.7% ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว ในขณะที่ตัวอย่างดินในเขตพื้นที่ศึกษาตำบลสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 82 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อยู่ในช่วง 0.3 – 0.19% และ อินทรียวัตถุในดิน 0.23 – 3.9% ลักษณะเนื้อดินมีทั้งที่เป็นดินเหนียวและดินร่วนปนดินเหนียว (Table 1)

สเปกตรัมแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR spectrum) ของตัวอย่างดิน

ค่า NIR spectrum ของตัวอย่างดินขนาด 2 และ 0.5 มม. ทั้งหมด 149 ตัวอย่าง พบว่าสเปกตรัมมีระดับความแตกต่างกันของการดูดกลืนแสงของดินที่เห็นได้ชัดเจนอยู่ 3 ตำแหน่ง คือ ที่ประมาณเลขช่วงคลื่น 7050, 5150 และ 4500 cm^{-1} (Figure 1) ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของพันธะ C-H, C=O, และ C-H/C=O combination ซึ่งเป็นกลุ่มที่เป็นส่วนประกอบหลักของอินทรีย์คาร์บอน และอินทรียวัตถุในดิน (Workman, 2000) จากการวัดสเปกตรัม NIR ของดินที่มีขนาด 2 และ 0.5 มม. พบว่าสเปกตรัม NIR โดยใช้ตัวอย่างดินขนาดอนุภาค 2 มม. ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น 7142-4000 cm^{-1} มีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.9 ในขณะที่ตัวอย่างดินขนาดอนุภาค 0.5 มม. พบว่าค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.2-0.7 จากค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมแสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคดินที่ลดลงการดูดกลืนแสงจะลดลงเช่นกัน ซึ่งหมายความว่าค่าการสะท้อนแสงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับรายงานของ Osborne *et al*. (1993) ที่รายงานว่าขนาดอนุภาคของตัวอย่างที่แตกต่างกันจะทำให้เส้นสเปกตรัม NIR แตกต่างกัน โดยตัวอย่างขนาดเล็กสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่าตัวอย่างขนาดใหญ่

การทดสอบสมการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

การสร้างสมการและทดสอบสมการในการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุใน พบว่าดินขนาด 0.5 มม. สามารถใช้ทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินได้ดีกว่าดินขนาด 2 มม. โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ พบว่าตัวอย่างดินขนาด 0.5 มม. ทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน มีค่า R^2-Cal และ R^2-Val เทากับ 0.97 และ 0.98 และมีค่า SEC และ SEP เท่ากับ 0.11% และ 0.15% สำหรับค่า Bias มีค่าเท่ากับ 0.007% ค่า RPD เท่ากับ 6.97 อยู่ในระดับดีมากมีความน่าเชื่อถือ และทำนายปริมาณอินทรียวัตถุในดินขนาด 0.5 มม. มีค่าสัมประสิทธิ์

การตัดสินใจ R^2-Cal และ R^2-Val เท่ากับ 0.45 และ 0.50 และมีค่า SEC และ SEP เท่ากับ 0.73% และ 0.74% สำหรับค่า Bias มีค่าเท่ากับ 0.098% ค่า RPD เท่ากับ 1.34 (Table 2) ทั้งนี้เนื่องจากดินที่มีขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่การวางตัวอย่างมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันทำให้ การเดินทางของแสงลงในตัวอย่างไม่มากเท่ากับตัวอย่างดินที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กกกว่าซึ่งดินจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวทำให้แสงสามารถเดินทางเข้าไปในตัวอย่างได้ระยะทางมากกว่าก่อนที่แสงจะสะท้อนกลับออกมาทำให้สามารถดูดกลืนแสงได้มากกว่า ดังนั้น จะเห็นได้ว่าสเปกตรัม NIR ของดินได้รับอิทธิพลอย่างมากจากขนาดอนุภาคดิน ซึ่งเป็นไปในทิศจากเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ NIR ก่อนหน้านี้ (Madari *et al*., 2006; An *et al*., 2012) อย่างไรก็ดีจากรายงานของ Zhang *et al*., (2016) พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคลดลงการสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้นทำให้สมการการทำนายปริมาณฟอสฟอรัสในดินโดยใช้สเปกตรัม NIR ดีขึ้น แต่เมื่อขนาดอนุภาคดินต่ำกว่า 0.25 มม. ขนาดอนุภาคดินที่มีขนาดเล็กเกินไปมีผลกระทบต่อความถูกต้องของสมการที่ใช้ทำนายปริมาณฟอสฟอรัสในดินเช่นกัน

สรุป

ในการวัดด้วยเทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้ การใช้ตัวอย่างดินขนาด 0.5 มม. ที่ผึ่งแห้งด้วยลมในที่ร่มให้ผลการทำนายค่าอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินดีกว่าดินที่มีขนาด 2 มม. และเทคนิคนี้มีความแม่นยำในการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากกว่าการทำนายปริมาณอินทรียวัตถุ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ GIG, Chinese Academy of Sciences ที่ให้การสนับสนุนในการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในดิน และขอขอบคุณ ผศ.ดร. สนธยา นุ่มท้วม และ ดร. เสาวลักษณ์ รุ่งแจ้ง สำหรับคำแนะนำในการวัดและใช้เครื่องมือ FT-NIR Spectrometer

เอกสารอ้างอิง

An, X. F., Li, M. Z. and Zheng, L. H. 2012. Estimation of Soil Total Nitrogen and Soil Moisture based on NIRS Technology. In Proceedings of CCTA 2011, The fifth International Conference of Computer and computing Technology in Agriculture, 639–646.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304:1623–1627.

Madari, B.E., Reeves III, J.B., Machado, P.L.O.A., Guimarães, C.M., Torres, E., McCarty, G.W., 2006. Mid- and near-infrared spectroscopic assessment of soil compositional parameters and structural indices in two Ferralsols. Geoderma 136, 245-259.

Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P.H. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. 2nd edition. Longman Scientific and Technical, Singapore. 227 p.

Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-37.

Workman, J. 2000. Handbook of Organic Compounds: NIR, IR, Raman, and UV-Vis Spectra Featuring Polymers and Surfactants, Vol. 1, Academic Press, pp. 77-197.

Zhang, L. and Zhang, R. 2016. Effect of Soil Moisture and Particle Size on Soil Total Phosphorus Estimation by Near-Infrared Spectroscopy. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 26, No. 1, 395-401.

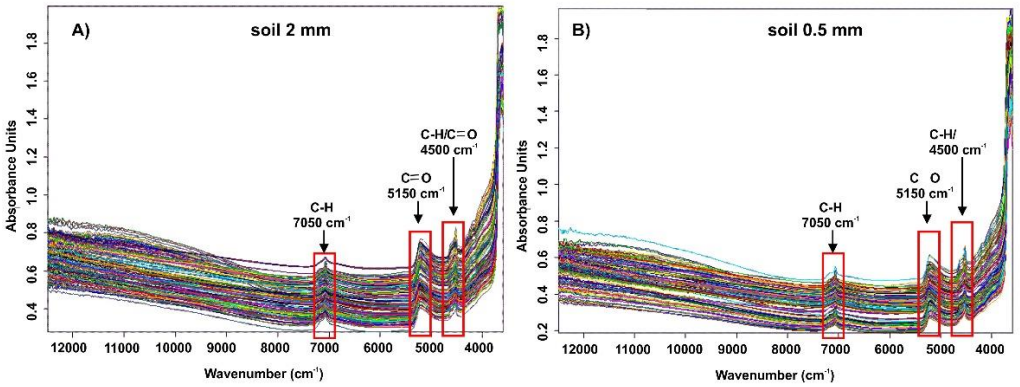

Figure 1 NIR Spectra of 149 soil samples A) soil particle size at 2 mm and B) soil particle size at 0.5 mm.

Table 1 Organic carbon and organic matter of 149 field-crop soil samples

Soil chemical constituents	N	Range	Mean	Soil texture
Organic carbon (%)				
Soil from Santisuk District, Nan Province	67	1.23-2.55	1.69±0.31	Clay
Soil from Muang Kamphaeng Phet	82	0.03-0.19	0.10±0.05	Clay, Clay loam
Organic matter (%)				
Soil from Santisuk District, Nan Province	67	1.55-4.97	3.24±0.68	Clay
Soil from Muang Kamphaeng Phet	82	0.23-3.92	1.85±0.96	Clay, Clay loam

Table 2 Calibration and validation for soil organic carbon and organic matter using NIR

Items	F	R^2-Cal	SEC (%)	R^2-Val	SEP (%)	RPD	Bias (%)
Organic carbon							
2 mm	9	0.94	0.16	0.96	0.19	4.75	-0.006
0.5 mm	10	0.97	0.11	0.98	0.15	6.97	0.007
Organic matter							
2 mm	7	0.30	0.82	0.27	0.75	1.19	-0.059
0.5 mm	9	0.45	0.73	0.50	0.74	1.34	0.098