

การวัดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ธราธิป นวมยากุล^{1*}, สุกัญญา แยมประชา² และ วสุ อุดมเพทยากุล¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เขตลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

²หลักสูตรปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เขตลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

ผู้เขียนติดต่อ: ธราธิป นวมยากุล E-mail: tharathip31506@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในการให้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน แต่วิธีการตรวจสอบมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและกระบวนการทางเคมีหลายขั้นตอน อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายที่สูง โดยแต่ละธาตุที่ต้องการทดสอบก็จะมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป ทำให้เกษตรกรไม่นิยมที่จะตรวจสอบธาตุอาหารในดิน จึงควรมีการพัฒนาวิธีการที่เพิ่มความสะดวกในการวัดธาตุอาหารในดินขึ้น โดยเทคนิค Near-infrared spectroscopy เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการตรวจสอบธาตุอาหารของดินได้หลายอย่างได้ในเวลาเดียวกันอย่างรวดเร็ว

งานวิจัยนี้ ใช้ FT-NIR Spectrometer ในการวัดสเปกตรัมการดูดซับคลื่นแสงในช่วงเลขคลื่น 12,500 ถึง 4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800 ถึง 2500 nm) ของตัวอย่างดินร่วนปนทราย (ชุดดินชุมพวง) จำนวน 72 ตัวอย่าง และสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) เพื่อทำนายปริมาณ Total Nitrogen, Available Phosphorus และ Exchangeable Potassium โดยทำการเปรียบเทียบค่าทำนายกับค่าที่วัดได้จากวิธีมาตรฐานโดยการตรวจสอบแบบ Cross-Validation พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ในการทำนาย (R^2) ของแบบจำลอง Total Nitrogen, Available Phosphorus และ Exchangeable Potassium เท่ากับ 0.735, 0.425, และ 0.714 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSECV) 0.00462%, 1.32 mg/kg และ 5.64 mg/kg ตามลำดับ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มที่ดีในการทำนายค่า Total Nitrogen และ Exchangeable Potassium โดยต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการใช้ตัวอย่างที่มากขึ้น รวมถึงใช้ชนิดดินที่มีความหลากหลายมากขึ้น

คำสำคัญ: ธาตุอาหารในดิน, เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Measurement and Analysis of Soil Nutrient Content using Near-infrared Spectroscopy Technique

Tharathip Nuamyakul^{1*}, Sukunya Yampracha² and Vasu Udompetaikul¹

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

²Program in Soil Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

Corresponding author: Tharathip Nuamyakul. E-mail: tharathip31506@hotmail.com

Abstract

In the effective fertilizing of agricultural fields, farmers must know the initial amount of nutrient in the soil before topping additional fertilizer to meet the plant requirements. However, soil test procedures are time-consuming and costly with tedious sample preparation and intensive chemical processes. All of this makes unattractive for farmers to monitor the soil nutrients. To achieve an efficient fertilization, a simple but effective measurement method is needed. Near-infrared spectroscopy is one technique that can be used to determine of soil nutrients rapidly. Also, multiple soil chemical components can be detected at the same time with this approach.

In this research, an FT-NIR Spectrometer was used to measure the absorption spectra (12,500 to 4,000 cm^{-1} wave number or 800 to 2,500 nm wavelength) of 72 sandy loam samples (Chum Phuang series). Partial Least Squares Regression (PLSR) models were developed to predict Total Nitrogen, Available Phosphorus and Exchangeable Potassium in the soil samples. Cross-Validation comparison of the predicted and the actual (using standard methods) values was performed. Coefficients of prediction (R^2) in Total Nitrogen, Available Phosphorus and Exchangeable Potassium models were 0.735, 0.425, and 0.714 respectively. Root Mean Square Errors of Cross Validation (RMSECV) were 0.00462%, 1.32mg/kg, and 5.64mg/kg for the respective parameters. It is evident that Total Nitrogen and Available Phosphorus can be

predicted using the developed models. However, more studies are needed to improve the predictability, e.g., more samples and more soil types to be included.

Keywords: Soil nutrient content, Near-infrared spectroscopy.

1. บทนำ

ปุ๋ยเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนในการผลิตพืชเศรษฐกิจ ในภาพรวมของประเทศ เกษตรกรมีต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยประมาณ 1,000 – 1,500 บาทต่อไร่ (ประทีป, 2552) โดยปุ๋ยเป็นเคมีภัณฑ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศกว่าร้อยละ 95 ของปริมาณปุ๋ยที่ใช้ทั้งประเทศ (นรินทร์, 2559) การให้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรได้ โดยต้องมีการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินแล้วคำนวณหาปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ในการเพาะปลูก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ดินมีกระบวนการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน อีกทั้งการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ยังมีความยุ่งยากและใช้เวลานาน (ทัศนีย์ และคณะ, 2542) ทำให้เกษตรกรไม่นิยมที่จะตรวจสอบธาตุอาหารในดิน การใช้เทคนิคที่มีการเตรียมตัวอย่างที่ไม่ซับซ้อน และให้ผลได้อย่างรวดเร็ว เช่น Near-infrared spectroscopy (NIRS) เข้ามาช่วย จะส่งผลให้มีการในการตรวจสอบธาตุอาหารในดินเพื่อการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

เทคนิค NIRS คือการใช้เทคนิคการวัดค่าพลังงานจากการดูดกลืนแสง ในช่วง NIR ที่ความยาวคลื่น 800 ถึง 2,500 nm พลังงานในช่วงคลื่นนี้มีมากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานการสั่นในระดับต่ำจะไม่เกิดความร้อนและความเสียหายในวัสดุ โดยพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสมบัติเฉพาะของโมเลกุลนั้นๆ ข้อดีของเทคนิคนี้คือ มีความรวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวอย่างไม่สามารถวัดค่าคุณสมบัติเชิงปริมาณของวัสดุหลายค่าในเวลาเดียวกัน (อนุพันธ์, 2558)

โดยธาตุอาหารหลักในดินนั้น จะมีอยู่ด้วยกัน 3 ธาตุหลัก นั่นก็คือ Nitrogen (N) Phosphorus (P) และ Potassium (K) โดยความสำคัญของ Nitrogen จะมีบทบาทในการเจริญของพืชอย่างเห็นได้ชัด และจะไปช่วยในกระบวนการสร้างโปรตีนได้อย่างเพียงพอ ในส่วนของ Phosphorus นั้น มีหน้าที่ควบคุมความเป็นกรดเป็นด่าง และใช้ในกระบวนการสร้างสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานในพืช สุดท้ายก็คือ Potassium มีความสำคัญในกระบวนการสร้างลำเลียงน้ำตาล และแป้ง รวมถึงการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลผลิต (ยงยุทธ และคณะ, 2541) เช่นตัวอย่างในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดธาตุอาหารในดิน โดยใช้เทคนิค NIRS ของ Haiyan song et. al (2005) พบว่ามีคาร์บอน Nitrogen และ Organic matter ได้เป็นอย่างดีในส่วนของ Phosphorus และ Potassium การนำมาวัดด้วยเทคนิค NIR ยังไม่ให้เห็นผลที่ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค NIRS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน โดยมีการอภิปรายถึงแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการวัดที่มีความแม่นยำสูงขึ้นต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของดิน

ในงานวิจัยนี้ ใช้ FT-NIR Spectrometer (MPA, Brunner, German) ในการวัดสเปกตรัมการดูดซับคลื่นแสงในช่วงเลขคลื่น 12,500 ถึง 4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800 ถึง 2,500 nm) ของตัวอย่างดินร่วนปน จำนวน 72 ตัวอย่าง เป็นชุดดินชุมพวง โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบผ่านผึ่งดินให้แห้งในที่ร่ม (air dried) แล้วร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ทำการทดลองโดยใส่ตัวอย่างดินในถ้วยใส่ตัวอย่างที่พื้นที่ได้รับแสงด้านล่างทำจากควอตซ์ (Quartz) แล้วทำการวัดสเปกตรัมแสงโดยเครื่อง Spectrometer ที่ความละเอียดของช่วงคลื่น 16 cm^{-1} โดยแต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วใช้วิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม OPUS V7.0 โดยใช้เทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) เพื่อทำนายปริมาณ Total Nitrogen, Available Phosphorus และ Exchangeable Potassium แล้วทำการเปรียบเทียบค่าทำนายกับค่าที่วัดได้จากวิธีมาตรฐานโดยการตรวจสอบแบบ Cross-Validation

2.2 การวัดค่าธาตุอาหารในดินโดยวิธีมาตรฐาน

ก่อนทำการหาธาตุอาหารในดิน ก็จะต้องมีการเตรียมดินโดยนำตัวอย่างที่นำมาทดสอบผ่านผึ่งดินให้แห้งในที่ร่ม (air dried) แล้วร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ซึ่งตัวอย่างดิน 2 g (± 0.01) ในการทดสอบ ธาตุอาหารในดินที่ต้องการทราบคือ Total Nitrogen, Available Phosphorus และ Exchangeable Potassium โดยกระบวนการทางเคมีต่อไปนี้

- Total Nitrogen (N) โดยวิเคราะห์ผ่านการหาค่า อินทรีย์วัตถุในดิน โดย ค่า Total nitrogen จะมีค่าอยู่ที่ 5% ของ อินทรีย์วัตถุในดิน (Brady, 1990 อ้างถึงใน พัชรี, 2552) โดยใช้วิธี Walkley & Black (Conklin, 2005; Jacobsen and Lobber, 1998 อ้างถึงใน พัชรี, 2552)

- Available Phosphorus (P) ใช้วิธีการวิเคราะห์ โดยสกัดด้วยน้ำยา Bray II ที่เป็นสารละลาย ส่วนผสมของ 0.03 N NH_4F และ 0.1 N HCl มีค่า pH 2.6 (Jones, 2001 อ้างถึงใน พัชรี, 2552) และตรวจวัด ด้วยวิธีการ molybdenum blue ตามวิธีที่พัฒนาโดย Murphy & Riley (Foth and Ellis, 1997; Henry and Boyd, 1997; Pierzynski et al., 2005; Schroth et al., 2003 อ้างถึงใน พัชรี, 2552) ที่สามารถตรวจสอบด้วย spectrometer

- Exchangeable Potassium (K) จะใช้สารละลาย ammonium acetate ที่เป็นกลาง (1 N NH_4OAc pH 7) เป็นน้ำยาสกัด

(Troeh and Thompson, 2005 อ้างถึงใน พัทธี, 2553) สามารถตรวจสอบได้โดย flame spectrometer

3. ผลและวิจารณ์

จากการตรวจวัดตัวอย่างดินที่ใช้ศึกษาจำนวน 72 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ Total Nitrogen Available Phosphorus และ Exchangeable Potassium มีค่าเฉลี่ยและช่วงของข้อมูลแสดงดัง Table 1

Table 1 Statistics of soil chemical constituents.

Soil Chemical Constituent	N	Range	Mean	S.D.
Total Nitrogen (%)	72	0.035- 0.083	0.059	0.010
Available Phosphorus (mg/kg)	72	5.08- 59.77	16.46	8.95
Exchangeable Potassium (mg/kg)	72	2.67-49.05	18.91	10.13

Table 2 Calibration and Validation Statistics of Total Nitrogen, Available Phosphorus and Exchangeable Potassium.

Soil Chemical Constituent	PC	R ² Calibration	RMSEE	R ² Validation	RMSECV	RPD	Bias
Total N (%)	6	0.792	0.00417	0.735	0.00463	1.94	-0.000003
Available P (mg/kg)	6	0.732	3.84	0.425	1.32	1.32	-0.050000
Exchangeable K (mg/kg)	5	0.825	4.47	0.714	5.64	1.87	0.033900

เมื่อนำตัวอย่างดินมาสแกนจะได้สเปกตรัมดังในรูปที่ 1 โดยพบว่า มีช่วงของการดูดซับแสงของตัวอย่างดินที่เห็นได้ชัดอยู่ 3 ตำแหน่ง คือ ที่ประมาณเลขคลื่น 7006 cm⁻¹ (1427nm) 5184 cm⁻¹ (1929nm) และ 4536 cm⁻¹ (2204nm) ซึ่งจะเป็นช่วงที่ดูดกลืนของพันธะ N-H (first overtone), C=O (second overtone) และ C-H+C=O ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของอินทรีย์วัตถุในดินทั้งสิ้น เมื่อนำสเปกตรัมที่ได้มาสร้างสมการทำนาย โดยใช้เฉพาะช่วงเลขคลื่น 10,000 – 4,400 cm⁻¹ ซึ่งมีสัญญาณรบกวนต่ำ ผลของการทำนายของธาตุอาหารทั้งสามค่า แสดงดัง Table 2

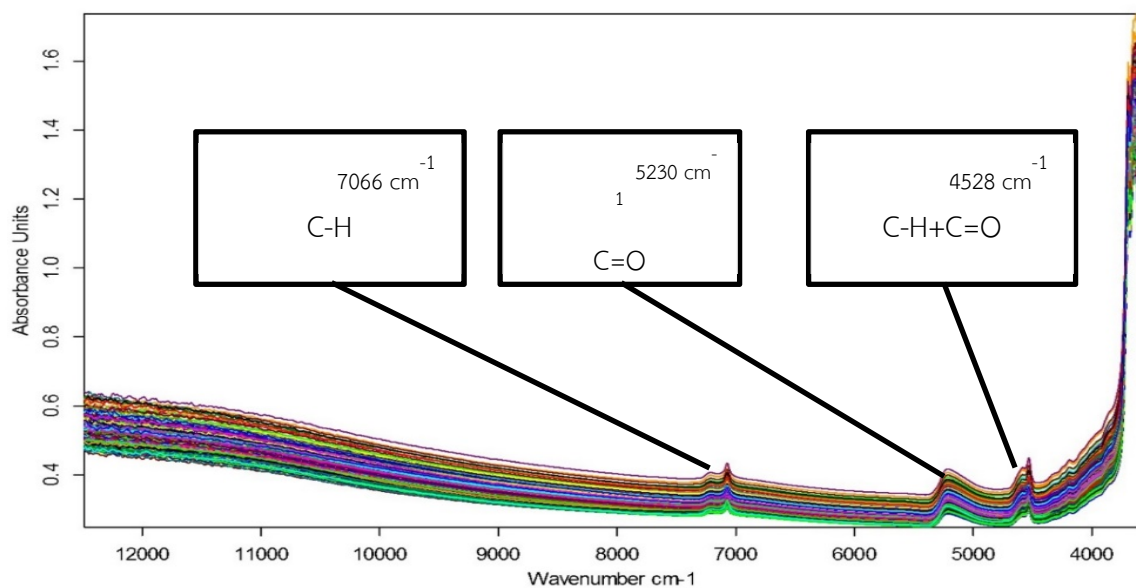


Fig 1 Raw NIR Spectra of Soil Sample.

ในการทำนายค่า Total Nitrogen ใช้สเปกตรัมที่ผ่านการ Prerreatment ด้วยวิธีการ Min-Max nomoalization โดยรูปที่ 4 และ 5 แสดง Loading vectors 3 ตัวแรก และ Regression coefficient ตามลำดับ ที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย พบว่า มีช่วงเลขคลื่นที่มีผลต่อการทำนายค่าอยู่ด้วยกัน 3 จุดหลักๆ คือ ที่เลขคลื่น 7066 cm⁻¹ (1414nm) ,5245 cm⁻¹ (1900nm) และ 4535 cm⁻¹ (2204nm) ซึ่งเกิดจากการดูดซับแสงในย่าน NIR ของพันธะ C-

H, O-H+C=O และ C-H+C=O ตามลำดับ ของอินทรีย์วัตถุในดิน จากที่กล่าวมาว่าการวัดค่า Nitrogen ในดินที่ได้เป็นการวัดโดยอ้อมจากสัดส่วนของอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ โดยได้ค่า R² ของการ calibration และ validation เท่ากับ 0.792 และ 0.735 ตามลำดับ

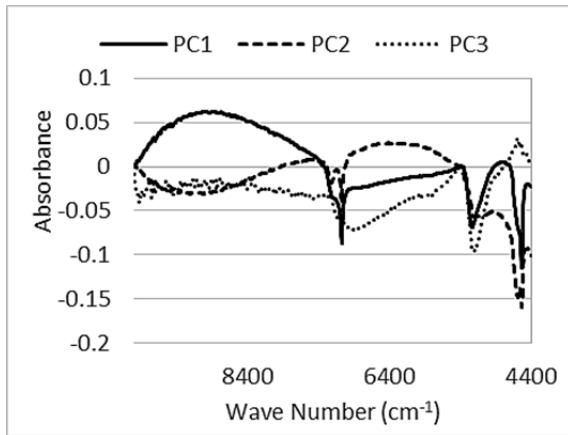


Fig. 2 Loading Vectors (first 3 PCs) for Total N model.

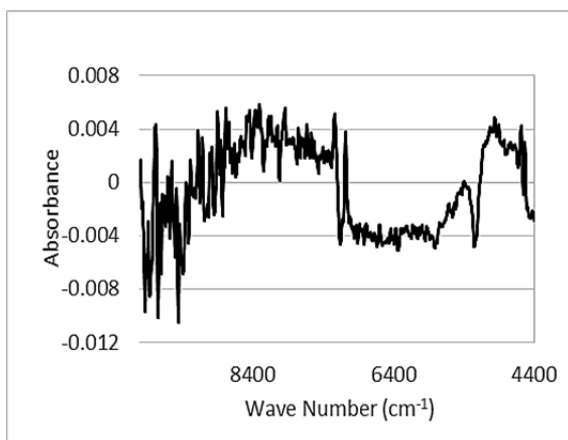


Fig. 3 Regression coefficient for Total N model.

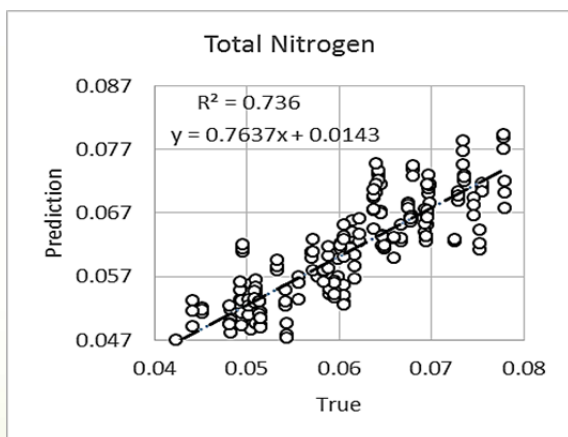


Fig. 4 Scatter plot between actual values and predicted values of Total N (%).

ในการสร้างสมการทำนาย Available phosphorus ใช้สเปกตรัมที่ผ่าน Pretreatment ด้วยวิธี First derivative และตามด้วย Multiplicative scatter correction (MSC) โดยเมื่อพิจารณา Loading vectors 3 ตัวแรก และ Regression (Fig. 5 และ 6) เลขคลื่นหลักที่มีอิทธิพลต่อการสร้างสมการทำนายได้แก่ 6996 cm^{-1} (1429 nm), 5353 cm^{-1} (1860 nm) และ 4536 cm^{-1} (2204 nm) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับอินทรีย์วัตถุในดิน อย่างไรก็ตามค่าอิทธิ

วัตถุดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า Phosphorus ในดิน จึงให้ผลในการทำนายที่ไม่ดี (Fig. 7) โดยได้ค่า R^2 ของการ calibration และ validation เท่ากับ 0.732 และ 0.425 ตามลำดับ

สุดท้าย ในส่วนของการวัดค่าของ Exchangeable Potassium ซึ่งมีความสามารถในการทำนายที่ดี (Table 2 และ Fig. 10) โดยค่า R^2 ของการ calibration และ validation เท่ากับ 0.825 และ 0.714 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการทำการทำนายปริมาณ Potassium ยังมีความคลาดเคลื่อนที่มีสูง (RMSCV เท่ากับ 5.64 mg/kg) สมการทำนายใช้ First derivative เป็น Pretreatment โดยเมื่อพิจารณา Loading vectors และ Regression coefficient (Fig. 8 และ 9) พบว่าเลขคลื่นที่มีผลต่อการสร้างสมการทำนายคล้ายคลึงกับของ Phosphorus เนื่องจากพันธะ Potassium ไม่สามารถที่จะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง NIR จึงเป็นการทำนายโดยอ้อม แต่ที่ได้ R^2 ที่ดีอาจเนื่องมาจาก Potassium สามารถจับตัวกับน้ำได้ดี ซึ่งอาจจะเป็นอิทธิพลจากน้ำ ในช่วงเลขคลื่นที่ 4545 ซึ่งเป็นช่วงของ Combination ของน้ำ

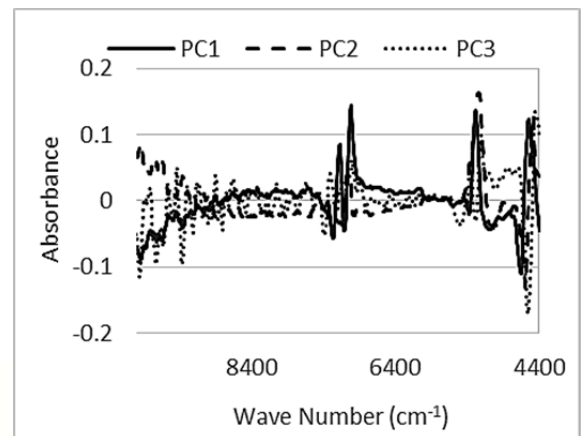


Fig. 5 Loading Vectors (first 3 PCs) for Available P model.

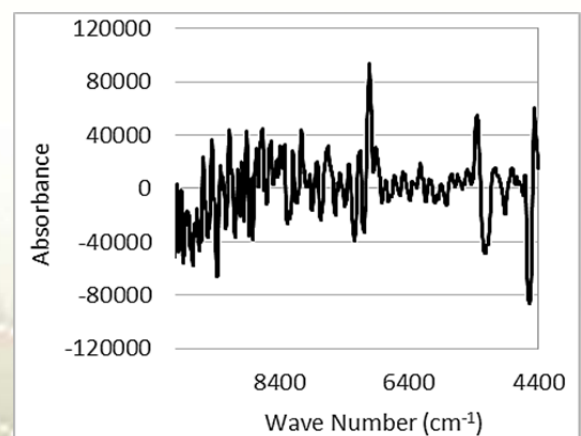


Fig. 6 Regression coefficient for Available P model.

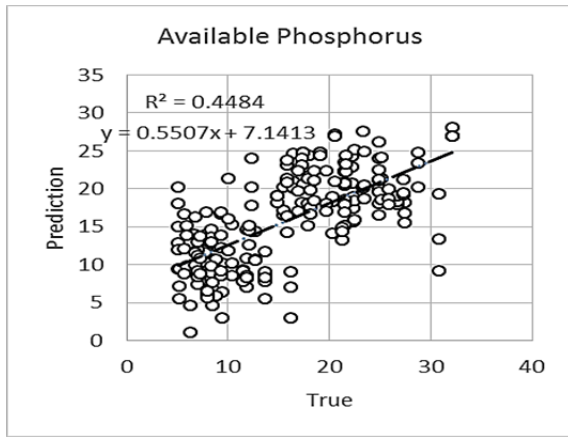


Fig. 7 Scatter plot between actual values and predicted values of Available P (mg/kg).

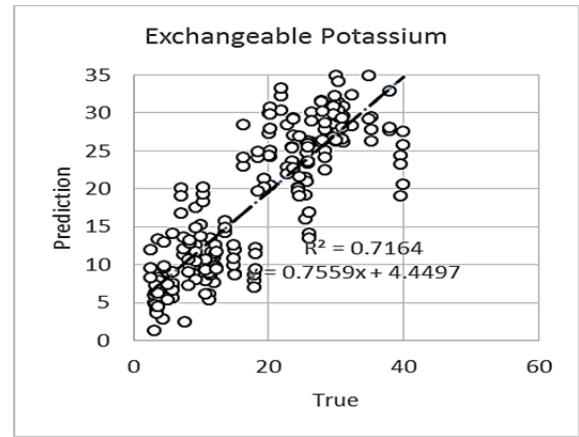


Fig. 10 Scatter plot between actual values and predicted values of Exchangeable K.

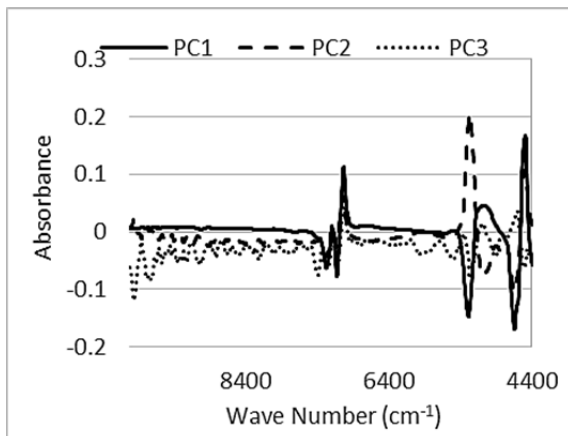


Fig. 8 Loading Vectors (first 3 PCs) for Exchangeable K model.

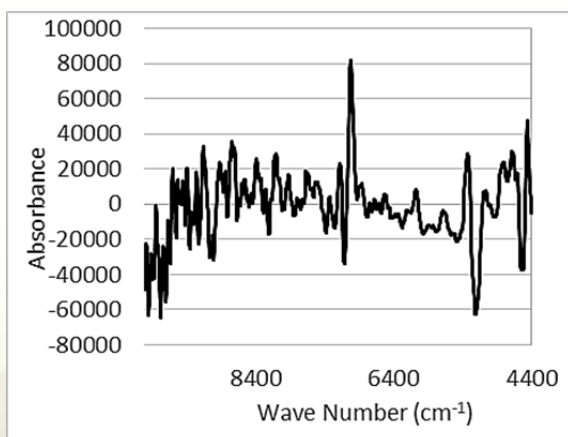


Fig. 9 Regression coefficient for Exchangeable K model.

เมื่อพิจารณาค่า RPD (Table 2) ของสมการทำนายธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด พบว่ายังมีค่าที่ต่ำ แสดงถึงช่วงของค่าปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ยังไม่กว้างเพียงพอ และค่าความผิดพลาดยังสูงอยู่ ในการเพิ่มความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยใช้ช่วงของข้อมูลที่กว้างขึ้นและใช้ตัวอย่างดินที่มีความหลากหลายขึ้นจากหลายแหล่ง รวมถึงครอบคลุมชนิดของดินให้มากขึ้น

4. สรุป

จากการศึกษาการวัดปริมาณธาตุอาหารหลักในดินทราย ชุดดินชุมพวง ด้วยเทคนิค NIRS พบว่าช่วงคลื่นเด่นเป็นช่วงคลื่นที่สัมพันธ์กับอินทรีย์วัตถุในดิน แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำนายปริมาณ Total Nitrogen ในตัวอย่างดิน โดยมีค่า R² เท่ากับ 0.735 ส่วนการทำนาย Available Phosphorus และ Exchangeable Potassium ซึ่งไม่สัมพันธ์กับอินทรีย์วัตถุ ได้สมการทำนายที่มีค่า R² เท่ากับ 0.425 และ 0.714 ตามลำดับ จำเป็นจะต้องมีการพัฒนาเทคนิคในการวัดที่เหมาะสมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่หลักสูตรปริญญาโทที่ให้การสนับสนุนตัวอย่างดิน และศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ

6. เอกสารอ้างอิง

Haiyan song., Yong He., Annia. 2005 A New Approach to Detect Soil Nutrient Content Base on NIR Spectroscopy Technique. Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference. 3149-3152.

นรินทร์ ต้นไพบูลย์. 2559 อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี. แหล่งข้อมูล: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/4a3dcb66293b4a2d-86d0-2af470295266/IO_Fertilizer_2016_TH.aspx. เข้าถึงเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2560



- ประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2552. การใช้ปุ๋ยสั่งตัดเพื่อลดต้นทุนการผลิตข้าว. แหล่งข้อมูล: http://www.ssnm.info/know/520-415_know. เข้าถึงเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2560
- พัชรี อีร์จินดาขจร. 2552. คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2558. เทคนิคทางวิศวกรรมแบบไม่ทำลายสำหรับผลผลิตทางการเกษตร. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์

