

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

- ชุดโครงการวิจัย** : วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐานสากล
- โครงการวิจัย** : วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ ปุ๋ย พืช ดิน และน้ำ
กิจกรรม : การพัฒนาวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปัจจัยการผลิตโดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy; NIRS)
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
- ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : ศึกษาวิธีวิเคราะห์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ โดยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Study on Nitrogen Phosphorus and Potassium Analysis Method in Organic Fertilizers by Near Infrared Spectroscopy
- คณะผู้ดำเนินงาน**

หัวหน้าการทดลอง	: นางสาวชฎาพร คงนาม	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
ผู้ร่วมงาน	: นางสาววรรณรัตน์ ชูติบุตร	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	: นางสาวจรรยา วงศ์ตรี	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	: นางสาวกรรณต์ มะลิสอน	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	: นางสาวอาธิยา ปุ่นประโคน	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	: นางสาวศุภากร ดวนใหญ่	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	: นางรัตนารณณ์ คชวงศ์	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
- บทคัดย่อ**

ABSTRACT

Study on nitrogen, phosphorus and potassium analysis method in organic fertilizers by Near Infrared Spectroscopy (NIRS), is non-destructive technique to rapidly and accurately predictions. The organic fertilizers are determined the nitrogen content by kjeldahl method, phosphorus content by spectrophotometric molybdovanadophosphate method and potassium content by flame photometric method. The results of nitrogen, phosphorus and potassium, the range were 0.2 – 4.5%, 0.1 – 6.9% and 0.2 – 6.2% respectively. All samples were scanned by NIRS in the region 800 – 2500 nm. NIRS-PLS technique showed the calibration for predicting nitrogen, phosphorus and potassium in organic fertilizer, the correlation coefficient (R) were 0.90, 0.77 and 0.57 respectively. The standard error of calibration (SEC) were 0.28%, 1.03% and 0.74%; and standard error of prediction (SEP) were 0.28%, 0.71% and 0.65% respectively. Validation of the method, inspection of accurate by paired t-test showed that the t_{ext} is less than the t_{crit} at confidence level of 95% (accepted $t_{ext} < t_{crit}$). Inspection of precision by RSD, the range were 0.04 – 1.09%, 0.02 – 2.35%, 0.06 – 4.76% respectively. (AOAC accepted %RSD \leq 4) Therefore, calibration model can be used to predict of nitrogen and phosphorus contents in organic fertilizer. The calibration model of potassium isn't suitable to be used for predicting phosphorus contents in organic fertilizer.

บทคัดย่อ

การศึกษาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ โดยเทคนิค NIRS เป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ลดการใช้สารเคมี และมลภาวะที่เกิดจากห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ให้ครอบคลุมทุกระดับความเข้มข้น และวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดย Kjeldahl method ฟอสฟอรัสโดย Spectrophotometric molybdovanadophosphate method และโพแทสเซียมโดย Flame photometric method ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบ ตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย พบว่าค่าพิสัยอยู่ในช่วง 0.2 – 4.5, 0.1 – 6.9 และ 0.2 – 6.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นำไปสแกนด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRS) ที่ความยาวคลื่น 800 – 2500 นาโนเมตร สร้างสมการเพื่อใช้ทำนายค่าด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) regression พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) เท่ากับ 0.90, 0.77 และ 0.57 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Calibration (Standard error of Calibration, SEC) เท่ากับ 0.28, 1.03 และ 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Validation (Standard error of prediction, SEP) เท่ากับ 0.28, 0.71 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทวนสอบความใช้ได้ของวิธีด้วยตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ พิจารณาความแม่นยำโดยใช้ Paired t-test พบว่าค่า t_{ext} มีค่าน้อยกว่า t_{crit} ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผ่านเกณฑ์การยอมรับ และพิจารณาความเที่ยงโดยใช้ %RSD พบว่ามีค่า %RSD อยู่ในช่วง 0.04 – 1.09, 0.02 – 2.35 และ 0.06 – 4.76 ตามลำดับ (%RSD \leq 4) สามารถนำสมการมาใช้ประเมินค่าปริมาณ

ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปุ๋ยอินทรีย์ ได้อย่างแม่นยำ และรวดเร็ว สำหรับสมการที่ใช้ทำนายปริมาณโพแทสเซียม ยังไม่เหมาะสมที่จะนำวิธี NIRS มาใช้ในการทำนายค่า

6. คำนำ

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้มาจากอินทรีย์สารที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่างๆ และก่อนที่จะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อพืช จะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางชีวภาพเสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ตามความในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 นั้น เน้นความหมายหนักไปในลักษณะของปุ๋ยหมัก กล่าวคือ เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์วัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เรียกรวมกันว่า ธาตุอาหารหลัก (primary nutrient elements) หรือ ธาตุปุ๋ย (fertilizer elements) เนื่องจากพืชต้องการในปริมาณมาก แต่พืชได้รับจากดินไม่เพียงพอ จึงมีการใช้ปุ๋ยที่ประกอบด้วยธาตุทั้งสาม ธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน ธาตุฟอสฟอรัส ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืชเป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงาน ในกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ โพแทสเซียมช่วยสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรค บางชนิด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ ด้วยวิธีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย มีหลายขั้นตอน ต้องใช้สารเคมี และเวลาในการวิเคราะห์ ดังนั้นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประหยัด จึงเป็นที่ต้องการในการวิเคราะห์ ดังกล่าว

ปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy ; NIRS) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในตัวอย่าง เนื่องจากเป็นเทคนิคการวัดแบบไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำ มีการศึกษาเทคนิค NIR-PLS เพื่อพัฒนาการประเมินคุณภาพของไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยอินทรีย์ (Wang et al., 2014) พัฒนาระบบการวัดอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับดินและปุ๋ยหมัก (Ootake Y, 2009) ศึกษาการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในใบฝ้ายด้วยเทคนิค FT-NIR (Riley and Canaves, 2002) เทคนิค NIRS อาศัยหลักการวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนของตัวอย่าง เมื่อรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 800 – 2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น 4000 – 12500 ต่อเซนติเมตร เดินทางผ่านเข้าไปในตัวอย่าง ทำให้เกิดอันตรกิริยา (interaction) กับอะตอม และโมเลกุลของตัวอย่างนั้น โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไปจะมีผลต่อการสั่นของพันธะต่างๆ โมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะปรากฏในสเปกตรัม NIR การหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแต่ละความยาวคลื่นกับค่าทางเคมี โดยทั่วไปมักใช้การวิเคราะห์ถดถอย (regression analysis) ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression; MLR) การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least square (PLS) regression) การถดถอยองค์ประกอบหลัก (Principle Component Regression; PCR) เป็นต้น โดยวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

ในขณะนี้ คือ PLS และ PCR เนื่องจากโปรแกรมจะวิเคราะห์การถดถอย เพื่อสร้างสมการแคลิเบรชันอย่างอัตโนมัติ รวดเร็ว ทำให้ผู้ใช้สะดวก และเพื่อให้สมการแคลิเบรชันมีความเสถียร และมีปัจจัย (factors) ที่เหมาะสม ควรตรวจสอบช่วงความยาวคลื่นที่ดีที่สุดที่สอดคล้องกับการดูดกลืนขององค์ประกอบที่สนใจ ดังนั้น ระหว่างการสร้างสมการแคลิเบรชันควรลองปรับช่วงความยาวคลื่นที่ใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม และเงื่อนไขการปรับแต่งในแต่ละวิธี เพื่อให้ได้สร้างสมการแคลิเบรชันที่มีความแม่นยำที่สุด เพื่อใช้ทำนายค่าคุณสมบัติทางเคมีหรือคุณสมบัติอื่นๆ ของตัวอย่าง ที่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการใช้สารเคมี (เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม, 2555) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ โดยเทคนิค NIRS เพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ ที่มีความรวดเร็ว และปลอดภัย กับผู้วิเคราะห์ โดยอยู่บนพื้นฐานความแม่นยำ และความเที่ยง

7. วิธีดำเนินการ

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 เครื่องบดตัวอย่าง

7.1.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

7.1.3 เครื่องย่อยและกลั่นไนโตรเจน

7.1.4 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียม (Flame Photometer)

7.1.5 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

7.1.6 เครื่อง Near-Infrared (NIR)

7.1.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามคู่มือการ

วิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร

7.1.8 ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์

7.2 วิธีกร

7.2.1 การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์

คัดเลือก รวบรวมตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ระดับต่างๆ ให้ครอบคลุมทุกระดับความเข้มข้น พร้อมกับรวบรวมข้อมูลของตัวอย่าง

นำตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่คัดเลือก และรวบรวม มาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างให้มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 20 เมช เทตัวอย่างที่บดแล้วใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค ไล่อากาศออกให้หมด และปิดถุงให้สนิท เขียนป้ายบ่งชี้ตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ (คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์, 2551)

7.2.2 การวิเคราะห์ค่าทางเคมี

วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดย Kjeldahl method ฟอสฟอรัสโดย Spectrophotometric molybdovanadophosphate method และโพแทสเซียมโดย Flame photometric method ตามวิธีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย (คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์, 2551)

การคำนวณ

$$\% \text{ Nitrogen} = \frac{N(HCl) \times \{ml(HCl) - ml(Blank)\} \times 1.40067}{wt. of sample (g)}$$

$$\% \text{ Phosphorus} = \frac{ppm P \text{ froms tan dard curve} \times \text{dilution factor} \times 100}{wt of sample (g) \times 10^6}$$

$$\% P_2O_5 = \% P \times 2.2914$$

$$\% K_2O = \frac{1.2046 \times ppm K \times \text{dilution factor} \times 100}{wt of sample \times 10^6}$$

7.2.3 วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIRS

โดยนำตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์มาวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) แบบวิธีสะท้อน (Reflectance) โดยเทตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ใส่ลงใน Petri dish ให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง NIRS โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่น (wave length) 800-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ย่านนี้

7.2.4 สร้างและปรับปรุงสมการเพื่อใช้ประเมินผล

หาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (wave length) 800 – 2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-12500 ต่อเซนติเมตร และค่าทางเคมีของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler (version 10.2, CAMO, Oslo, Norway) และในงานวิจัยนี้เลือกใช้ PLS ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร (multivariate analysis) โดยการสร้างแฟกเตอร์แบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำแฟกเตอร์ที่ได้ไปใช้ในสมการถดถอย วัดดูประสงค์ของ PLS เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัมให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น การประเมินผลความสามารถของสมการแคลิเบรชันสามารถอธิบายได้จากค่าสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) ดังตารางที่ 1 (William, R) 2001)

ตารางที่ 1 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชันด้วยค่า R

ค่า R	ความสามารถของสมการแคลิเบรชัน
± 0.5	ไม่ควรใช้ในการทำนาย (Not usable)
± 0.51 – 0.70	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ (poor correlation)
± 0.71 – 0.80	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)
± 0.81 – 0.90	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณ หรือ ประมาณค่าเบื้องต้น (screening)
± 0.91 – 0.95	การทำนายเพื่องานวิจัย (research) และงานทั่วไป
± 0.96 – 0.98	การทำนายเพื่อการประกันคุณภาพ (quality assurance)
± 0.99 ขึ้นไป	ทุกงาน (any application)

7.2.5 ทวนสอบสมการ

ทวนสอบสมการ Calibration Curve โดยใช้ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ โดยพิจารณาความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) เพื่อให้ได้สมการทำนายผลที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ

7.2.5.1 พิจารณาความแม่นยำ (Accuracy) โดยใช้ Paired t-test เปรียบเทียบค่าที่ทำนายได้ด้วยวิธี NIRS กับค่าวิเคราะห์ทางเคมี

การคำนวณ

$$t_{\text{ext}} = \frac{\bar{d}}{sd / \sqrt{n}}$$

เมื่อ \bar{d} = ค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง

sd = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่าง

n = จำนวนตัวอย่าง

7.2.5.2 พิจารณาความเที่ยง (Precision) โดยใช้ %RSD (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ : Relative Standard Deviation)

การคำนวณ

$$\%RSD = \frac{sd}{\bar{x}} \times 100$$

เมื่อ sd = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{x} = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

7.3 เวลาและสถานที่

เริ่มต้น เดือนตุลาคม 2559 สิ้นสุด เดือนกันยายน 2561

ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

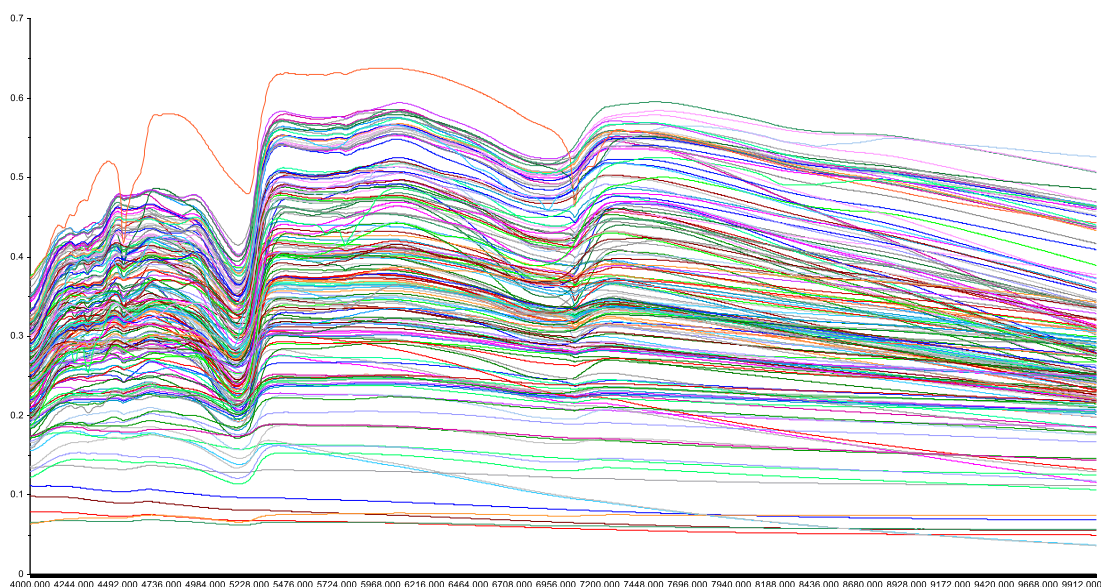
8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดย Kjeldahl method ฟอสฟอรัสโดย Spectrophotometric molybdovanadophosphate method และโพแทสเซียมโดย Flame photometric method ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้าง Calibration จำนวน 171, 160 และ 150 ตัวอย่าง ตามลำดับ พบว่ามีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 0.2 – 4.5, 0.1 – 6.9 และ 0.2 – 6.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

8.2 ผลการวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIRS

จากการวัดตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์เพื่อหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy-NIRS) แบบวิธีสะท้อน (Reflectance) พบว่าได้สเปกตรัมอยู่ในช่วงความยาวคลื่น (wave length) 1009-2500 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (wave number) 4000-9912 ต่อเซนติเมตร (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 Original spectra ของตัวอย่างปุยอินทรีในช่วงเลขคลื่น 4000-9912 ต่อเซนติเมตร

8.3 สมการ Calibration ของปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

นำค่าการดูดกลืนแสง และค่าทางเคมีของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในตัวอย่างปุยอินทรี มาสร้างสมการ Calibration โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler (version 10.2, CAMO, Oslo, Norway) ด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) regression พบว่า

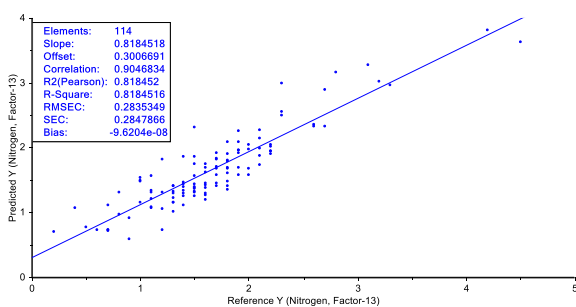
8.3.1 สมการ Calibration ของปริมาณไนโตรเจน ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยการทำ Standard Normal Variate (SNV) เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงแสงออกจากสเปกตรัม สาเหตุให้เกิดความแปรปรวนในข้อมูลที่วัด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) เท่ากับ 0.90 แสดงว่าสามารถทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณ หรือประมาณค่าเบื้องต้น (screening) ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Calibration (SEC) เท่ากับ 0.28 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Validation (SEP) เท่ากับ 0.28 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2)

8.3.2 สมการ Calibration ของปริมาณฟอสฟอรัส ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยการทำ Standard Normal Variate เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงแสงออกจากสเปกตรัม และ Savitzky-Golay ลดสัญญาณรบกวน ต้องการให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปร่างของสเปกตรัมเริ่มต้น มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) เท่ากับ 0.77 แสดงว่าสามารถทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening) ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Calibration (SEC) เท่ากับ 1.03 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Validation (SEP) เท่ากับ 0.71 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2)

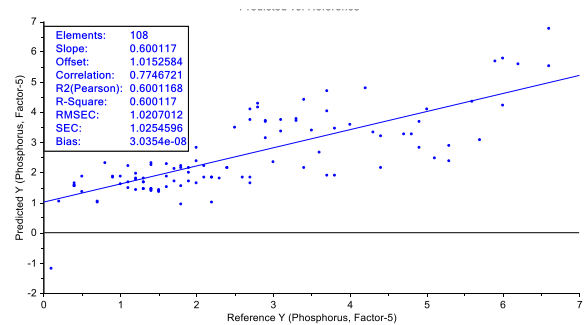
8.3.3 สมการ Calibration ของปริมาณโพแทสเซียม ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยการทำ Standard Normal Variate เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงแสงออกจากสเปกตรัม และ Savitzky-Golay ลดสัญญาณรบกวน ต้องการให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปร่างของสเปกตรัมเริ่มต้น มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) เท่ากับ 0.57 แสดงว่าสามารถทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณ หรือประมาณค่าเบื้องต้น (screening) ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Calibration (SEC) เท่ากับ 0.74 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง Validation (SEP) เท่ากับ 0.65 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติสมการ Calibration ของปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์

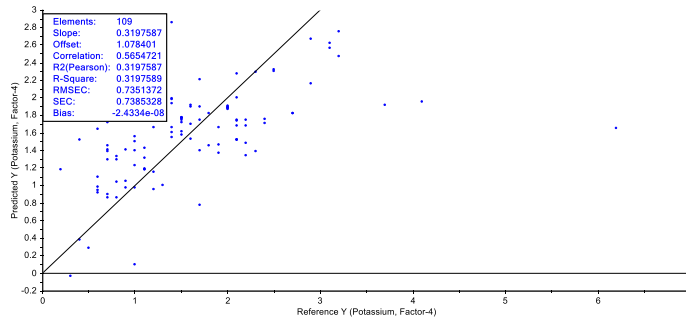
รายการวิเคราะห์	ปรับแต่งสเปกตรัม	R	SEC (%)	%SEP (%)	Bias
ไนโตรเจน	SNV	0.90	0.28	0.28	-9.62×10^{-8}
ฟอสฟอรัส	SNV	0.77	1.03	0.71	3.04×10^{-8}
	Savitzky-Golay				
โพแทสเซียม	SNV	0.57	0.74	0.65	-2.43×10^{-8}
	Savitzky-Golay				



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีทางเคมี และค่าที่ทำนายได้ด้วย NIRS ของปริมาณ ไนโตรเจน (ก) ฟอสฟอรัส (ข) และโพแทสเซียม (ค) ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์

8.4 ผลการทวนสอบสมการของวิธีหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยเทคนิค NIRS เมื่อนำตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มาตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ พิจารณาความแม่นยำโดยเปรียบเทียบค่าที่ทำนายได้ (เทคนิค NIRS) กับค่าวิเคราะห์ทางเคมี ด้วย Paired t-test และความเที่ยงด้วย %RSD

8.4.1 พิจารณาความแม่นยำ พบว่าวิธีหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่า t_{ext} เท่ากับ -2.05, -1.85 และ -0.53 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า ค่า t_{crit} แสดงว่าผลการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3)

8.4.2 พิจารณาความเที่ยง พบว่าวิธีหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่า %RSD อยู่ในช่วง 0.04 – 1.09, 0.02 – 2.35 และ 0.06 – 4.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเกณฑ์การยอมรับ %RSD ≤ 4 (ตารางที่ 3)

จากข้อมูลแสดงว่าสามารถนำสมการมาใช้ประเมินค่าปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปุ๋ยอินทรีย์ ได้อย่างแม่นยำ และรวดเร็ว สำหรับโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ยังไม่เหมาะสมที่จะนำวิธี NIRS มาใช้ในการทำนายค่า เพราะผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเดี่ยวหลายครั้งด้วย NIRS มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากมีช่วงระยะห่างของค่าทางเคมีที่ค่อนข้างกว้าง และค่าความสัมพันธ์ที่ไม่ดีพอระหว่างค่าทางเคมีของโพแทสเซียมและค่า NIRS ซึ่งทำให้มีผลต่อการนำสมการไปใช้

ตารางที่ 3 ประเมิน Accuracy และ Precision ของสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปุ๋ยอินทรีย์

รายการวิเคราะห์	Accuracy			Precision		
	t_{ext}	t_{crit}	Result	%RSD	เกณฑ์ %RSD	Result
ไนโตรเจน	-2.05	2.07	non significant	0.04 – 1.09	4	pass
ฟอสฟอรัส	-1.85	2.05	non significant	0.02 – 2.35	4	pass
โพแทสเซียม	-0.53	2.05	non significant	0.06 – 4.76	4	fail

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ โดยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy ; NIRS) วิธีการวัดแบบ Reflectance สามารถนำมาใช้ประเมินค่าปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปุ๋ยอินทรีย์ ได้อย่างมีความแม่นยำ และรวดเร็ว สำหรับสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ยังไม่เหมาะสมที่จะนำวิธี NIRS มาใช้ เนื่องจากยังไม่ให้ผลที่ดีในการทำนายค่า ต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาสมการที่ใช้ในการทำนาย โดยการเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างให้มีความหลากหลาย ค่าทางเคมีในตัวอย่างควรมีค่าที่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงของค่าทั้งหมด หรือมีความแปรปรวนครอบคลุมค่าของตัวอย่างในอนาคต เพื่อให้ได้สมการ Calibration ที่เหมาะสม มีความถูกต้อง และแม่นยำ ในการใช้งานต่อไป

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

10.1 ได้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นทางเลือกในการวิเคราะห์ ซึ่งประหยัด และรวดเร็ว โดยไม่ทำลายตัวอย่างปุ๋ย ลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายและปลอดภัยกับผู้วิเคราะห์

10.2 สามารถพัฒนาผลงานวิจัยในการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ ของปุ๋ย

11. คำขอขอบคุณ (ถ้ามี) : -

12. เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2551. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 547 หน้า

เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.2555. สถาบันวิจัยและค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

Ootake Y., K. Takeda, K. Suzuki, T. Okazaki, K. Maezuka, T. Okura, S. Park and K. Sashida.1980. Development of Near-Infrared-Measurement-System for Soil and Compost Based on SIMCA Classification and X-Leverage Method. In 3rd Asian Near-Infrared Symposium, Kasetsart University and Asian Near-Infrared Consortium.May 14-18, 2012. Bangkok: Amari Watergate Hotel, Thailand.

Riley, R. and C. Loreto. 2002. FT-NIR Spectroscopic Analysis of Nitrogen in Cotton Leaves. Applied Spectroscopy. 56:1484-1489

Wang, C., C. Huang, J. Qian, J. Xiao, H. Li, Y. Wen, X. He, W. Ran, Q. Shen and G. Yu. 2014. Rapid and Accurate Evaluation of the Quality of Commercial Organic Fertilizers Using Near Infrared Spectroscopy. Evaluation of Commercial Organic Fertilizers. 9(2) : 1-7.

Williams P.C., Implementation of Near-Infrared Technology, in Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries, 2nd edition, Ed by P.C. Williams and K.H. Norris. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA, p.163-165 (2001).

13. ภาคผนวก : -

