

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองสิ้นสุด

1. ชื่อชุดโครงการ วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐานสากล
2. ชื่อโครงการ วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์ ปุ๋ย พีช ดิน และน้ำ
3. ชื่อการทดลองภายใต้โครงการ/หัวหน้าการทดลอง

ชื่อกิจกรรมที่ 5 การพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่ายเพื่อใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปัจจัยการผลิต

ชื่อการทดลองที่ 5.1 วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจสอบอย่างง่าย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน
Development of Soil Test Kits to Determine Nitrogen Phosphorus and Potassium in Soils

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลองที่ 5.1	นางสาวสุภา โปธิจันทร์	สังกัด	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
ผู้ร่วมงาน	นางสาวญาณธิชา จิตต์สะอาด	สังกัด	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	นางสงกรานต์ มะลิสอน	สังกัด	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	นางสาวพจมาลย์ แก้ววิมล	สังกัด	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	นางสาวจิตติรัตน์ ชูชาติ	สังกัด	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.
	นางสาวจรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์	สังกัด	กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

5. บทคัดย่อ

Organic matter, available phosphorus and exchangeable potassium soil test kits were conducted to farmer can be easily reached to soil nutrient analysis, rapidly received analytical results and simply used by themselves. Soil test kits were distinctly developed not only to less complicated steps but also no hazard chemicals were released to environment. Organic matter soil test kit was principally created by oxidizing carbon KMnO_4 . In addition, single extractant (Mehlich I) was applied to extract available phosphorus and exchangeable potassium. Molybdenum blue method and turbidimetric method were adapted to analyze available phosphorus and exchangeable potassium, respectively. Single extractant using in soil test kits were highly significant extractant using standard laboratory ($r=0.959^{**}$ and 0.945^{**} for available phosphorus and exchangeable potassium, respectively). Linear regressions were statistically calculated between single extractant and standard laboratory extractant ($y=0.9581x-12.973$ for available phosphorus and $y=0.5372x+15.283$ for exchangeable potassium, respectively). These equations were applied to be consistency with fertilizer recommendation of Department of Agriculture. To validate quality, Soil test kits were distributed to farmer and others. Satisfaction questionnaires and improved the soil test kits from the suggestions of users. Resulting

procedures that are easy to use, with accuracy of 93.3, 80.0 and 69.6 percent, and Kappa weighted coefficients 0.97, 0.83 and 0.80 for organic matter, phosphorus and potassium soil test kits respectively.

Key words: Soil test kits, Extractant, Organic matter, Available phosphorus, Exchangeable potassium

การพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่ายอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ นักวิชาการและผู้ที่มีสนใจในการเข้าถึงการวิเคราะห์ดินทางการเกษตรได้ง่ายขึ้น ทำให้สามารถทราบผลวิเคราะห์ได้ อย่างรวดเร็ว ใช้งานง่ายสามารถวิเคราะห์เองได้ด้วยตนเอง ชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีแนวคิดให้มีขั้นตอนน้อย ใช้งานง่าย ทราบผลเร็วและไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม โดยการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ ใช้หลักการการออกซิไดซ์คาร์บอนด้วย KMnO_4 และการสกัดหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยใช้น้ำยาสกัดเดี่ยว (Mehlich I) หลังจากนั้น นำไปหาปริมาณโดยดัดแปลงจาก Molybdenum blue method และ Turbidimetric method ตามลำดับ โดยน้ำยาที่ใช้ในชุดตรวจสอบอย่าง ง่ายให้ผลวิเคราะห์ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.959** และ 0.945** สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ หาตัวแปรระหว่างน้ำยาสกัดเดี่ยวและน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สมการ Linear regression ระหว่างค่าวิเคราะห์ที่ได้จากน้ำยาสกัดเดี่ยวและน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ $y=0.9581x-12.973$ สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ $y=0.5372x+15.283$ สำหรับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เพื่อให้ สอดคล้องกับการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยและการปรับปรุงดินของกรมวิชาการเกษตร ทดสอบการใช้งานชุด ตรวจสอบอย่างง่ายโดยเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดพิจิตร ร้อยเอ็ดและนครนายก จำนวน 36 ราย สำนวจความพึง พอใจของผู้ใช้งานและปรับปรุงชุดตรวจสอบจากข้อเสนอแนะของผู้ใช้งาน ทำให้ได้ชุดตรวจสอบที่มีขั้นตอนน้อยใช้ งานง่าย มีความแม่นยำ 93.3, 80.0 และ 69.6 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าแบบถ่วงน้ำหนัก 0.97, 0.83 และ 0.80 สำหรับชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ

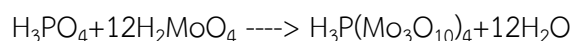
คำสำคัญ: ชุดตรวจสอบ น้ำยาสกัด อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

6. คำนำ

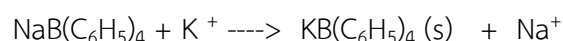
การวิเคราะห์ดิน เป็นวิธีที่ทำให้ทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ดิน เพื่อลดการใช้ปัจจัยการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งลดการใช้ปุ๋ยเคมี หรือการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพตามความอุดมสมบูรณ์ ลดการปนเปื้อนของปุ๋ยสู่ สิ่งแวดล้อม โดยทั่วไป เกษตรกรต้องส่งตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความอุดมสมบูรณ์ดินในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในบาง พื้นที่อาจไม่มีห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ดินทำให้เกษตรกรต้องเดินทาง และต้องรอรายงานผลการวิเคราะห์ซึ่ง อาจไม่ทันต่อช่วงการปลูก หรือการใส่ปุ๋ย ดังนั้น กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการให้บริการตรวจ วิเคราะห์ดินเพื่อตรวจสอบธาตุอาหาร และความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อการเพาะปลูก จึงได้พัฒนานวัตกรรมชุด ตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน อย่างง่ายเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพดินเบื้องต้น หรือใช้ สำหรับตรวจสอบในพื้นที่ที่ไม่สามารถส่งตัวอย่างมาทดสอบด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการได้ นอกจากนี้ การใช้

ชุดตรวจสอบอย่างง่ายจะช่วยให้เกษตรกร นักวิชาการและผู้สนใจในการเข้าถึงการวิเคราะห์ดินทางการเกษตรได้ง่ายขึ้น ได้ผลวิเคราะห์ที่รวดเร็ว

ปัจจุบัน มีการพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เช่น ชุดตรวจสอบปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดิน (Attanadana *et al.*, 2001) ชุดตรวจสอบปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ (จิตติมา และคณะ, 2552) ชุดตรวจสอบปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (มณีทิพย์, 2556) ชุดตรวจวิเคราะห์ดิน (ชูชาติ, 2560) แต่อย่างไรก็ตาม ชุดตรวจสอบต่างๆ ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ทำให้ต้องระมัดระวังในการใช้งาน และมีขั้นตอนการใช้งานหลายขั้นตอน ค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนี้การให้คำแนะนำปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร ใช้การประเมินการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจากปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนในดินไม่คงที่สามารถเปลี่ยนรูป หรือสูญเสียออกจากดินได้ตลอดเวลาตามวัฏจักร จึงทำให้ชุดตรวจสอบที่มีอยู่ไม่สอดคล้องกับคำแนะนำการใส่ปุ๋ยที่กรมวิชาการเกษตรให้คำแนะนำ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร โดยกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ได้พัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่ายโดยเลือกใช้สารเคมีที่ไม่เป็นอันตราย หรือมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง โดยการทดสอบหาปริมาณอินทรีย์วัตถุเลือกใช้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่ละลายได้ (Labile carbon) โดยวัดปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4 ; Culman *et al.*, 2012) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง KMnO_4 กับคาร์บอนในดินนั้นจะทำให้คุณสมบัติของ KMnO_4 เปลี่ยนไปคือสีม่วงเข้มเปลี่ยนเป็นสารละลายใสไม่มีสี (KMnO_4 1 โมลลาร์จะออกซิไดส์ คาร์บอนได้ 9,000 มิลลิกรัม) และมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (ศุภธิตา, 2553; Culman *et al.*, 2012; Lucus and Weil, 2012) เพื่อทดแทนการใช้ กรดซัลฟิวริก และ โพแทสเซียมไดโครเมต และเลือกใช้น้ำยาสกัดเดี่ยว (Single extractant) เพื่อลดขั้นตอนการปฏิบัติงาน เลือกวิธีที่ทำให้เกิดสีอย่างชัดเจน โดยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available phosphorus: Avail. P) ประยุกต์ใช้วิธี คือ Molybdenum blue method เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถเห็นความแตกต่างของสีน้ำเงินชัดเจน โดยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดิน โดยสีน้ำเงินเกิดจาก Phosphate ion จากสารละลายดิน ทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate ascorbic acid ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ดังสมการ



การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable potassium: Exch. K) ประยุกต์ใช้วิธี Turbidimetric method (Engelbrecht and MaCoy, 1956) โดยตกตะกอนโพแทสเซียมกับ Sodium tetraphenylboron ดังสมการ



และนำผลการทดสอบที่ได้ชุดตรวจสอบอย่างง่ายไปปรับให้สอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ เพื่อให้สอดคล้องกับคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบความอุดมสมบูรณ์เบื้องต้นได้ด้วยตนเอง เพื่อให้การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพตามความอุดมสมบูรณ์ดิน

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือและวัสดุวิทยาศาสตร์
2. เครื่อง UV/Visible Spectrophotometer
3. เครื่อง Flame Photometer
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
5. สารเคมี ได้แก่ Potassium permanganate (KMnO_4), Sodium hydroxide (NaOH), Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA), Ammonium acetate (NH_4OAc), Sodium cobaltinitrile, Calcium chloride (CaCl_2)
6. เครื่องแก้วและวัสดุวิทยาศาสตร์ ได้แก่ Automatic zero burette ขนาด 25 มล., Volumetric ขนาด 50 และ 100 มล., Volumetric pipet ขนาด 2, 3, 5 และ 10 มล.

วิธีการ

1. การศึกษาน้ำยาสกัด

1.1 อินทรีย์วัตถุ

ศึกษาวิธีวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ ดังนี้

1.1.1 Na_2EDTA method โดยการสกัดดินด้วย 0.05 M Na_2EDTA (NaOH 10 กรัม + EDTA 18.6 กรัม ในน้ำ 2 ลิตร) สารละลายดินที่สกัดได้จะมีสีน้ำตาลและสีเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุในดิน (Bowman *et al.*, 1997)

1.1.2 KMnO_4 oxidize carbon method โดยการสกัดดินด้วย KMnO_4 เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง KMnO_4 กับคาร์บอนในดิน ซึ่งสีของ KMnO_4 เปลี่ยนไปคือสีม่วงเข้มและจางลงตามความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุในดิน (เจนจิรา และคณะ, 2558; Ray *et al.*, 2003)

1.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

1.2.1 คัดเลือกน้ำยาสกัดเดี่ยวที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ศึกษาน้ำยาสกัดเดี่ยวที่สามารถสกัดฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้ในครั้งเดียว ได้แก่ Mehlich I และ AB-DTPA (Table 1) โดยทดสอบตัวอย่างดินที่มีสมบัติแตกต่างกันโดยใช้น้ำยาสกัดเดี่ยวและน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ น้ำยาสกัด Bray II และ 1 N NH_4OAc สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ และเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้ โดยหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์จากการใช้น้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและน้ำยาสกัดเดี่ยว

Table 1 Reagents used for extraction of available phosphorus and exchangeable potassium

Extractant	Reagent	Ratio	time	element
		(Soil: Extractant)		
Bray II	0.03M NH_4F + 0.1M HCl	1 : 10	5 min	P
Ammonium acetate	1N NH_4OAc	1 : 10	5 min	K

Mehlich I	0.05M HCl, 0.0125M H ₂ SO ₄	1 : 5	5 min	NPK
AB-DTPA	1M NH ₄ HCO ₃ , 0.005M DTPA	1 : 2	15 min	PK

1.2.2 หาตัวแปรระหว่างน้ำยาสกัดฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและน้ำยาสกัดเดี่ยว เพื่อให้สอดคล้องกับการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร ที่ประเมินปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากน้ำยาสกัด Bray II และ NH₄OAc ตามลำดับ จึงต้องหาตัวแปรระหว่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากน้ำยาสกัดเดี่ยว และน้ำยา Bray II และ NH₄OAc ที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ โดยคัดเลือกตัวอย่างดินที่มีสมบัติแตกต่างกัน 3 กลุ่ม ตามกลุ่มเนื้อดิน คือ กลุ่มดินเนื้อละเอียด (Fine-textured soils) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (Medium-textured soils) กลุ่มดินเนื้อหยาบ (Coarse-textured soil) แล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และชุดตรวจสอบ คือ โดยใช้ช้อนตวงตักดินขนาด 5 กรัมแทนการชั่งดิน ใช้น้ำยาสกัดเดี่ยวที่คัดเลือกได้ แล้วเขย่าดินด้วยมือแทนการเขย่าด้วยเครื่อง จากนั้น เปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ กับชุดตรวจสอบอย่างง่าย แล้วหาตัวแปรระหว่างผลวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และค่าวิเคราะห์ที่ได้จากน้ำยาสกัดเดี่ยวจากสมการเส้นตรง (Linear regression)

1.2.3 ทดสอบความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมโดยใช้ตัวอย่างดินบดและไม่บดเพื่อให้สะดวกลดขั้นตอนและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างดิน จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ระหว่างตัวอย่างดินบดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 มม. และตัวอย่างดินที่ไม่บดผ่านตะแกรงแต่มีการทุบหรือบดตัวอย่างก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยคัดเลือกตัวอย่างดินจำนวน 20 ตัวอย่าง ที่ผ่านการผึ่งจนแห้งในที่ร่ม แล้ววิเคราะห์ ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยใช้ตัวอย่างดินบดแล้วผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2.0 มม. ตัวอย่างดินที่ไม่บดและไม่ผ่านตะแกรงร่อน โดยวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับชุดตรวจสอบอย่างง่าย ตามรายละเอียดข้อ 1.2.2 จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่ได้จากวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการกับชุดตรวจสอบอย่างง่าย

2. การพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่าย

2.1 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดตรวจสอบดิน เช่น หลอดทดลอง ชั้นวางหลอดทดลอง ขวดเขย่าและรองรับสารละลายดิน และหลอดฉีดยา เป็นต้น

2.2 ปรับอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ให้เหมาะสำหรับการใช้งานในรูปแบบของชุดตรวจสอบ โดยการทดสอบหาปริมาณอินทรีย์วัตถุเลือกใช้วิธี KMnO₄ oxidize carbon method ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เลือกใช้วิธี Molybdenum blue method และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เลือกใช้วิธี Turbidimetric method โดยใช้ Sodium cobaltinitrile เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำให้เกิดสี หรือเห็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นชัดเจน

2.3 ทดสอบความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์อินทรีย์โดยใช้ตัวอย่างดินบดขนาด 2.0 มม. และตัวอย่างดินขนาด 0.5 มม. โดยคัดเลือกตัวอย่างดินจำนวน 20 ตัวอย่าง ที่ผ่านการผึ่งจนแห้งในที่ร่ม แล้ววิเคราะห์หา

ปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับชุดตรวจสอบอย่างง่าย จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุจากวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการกับชุดตรวจสอบอย่างง่าย

2.4 จัดทำแผ่นเทียบสีให้สอดคล้อง และครอบคลุมช่วงปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่พบในประเทศไทย

2.5 จัดทำคู่มือการใช้งานชุดตรวจสอบอย่างง่าย

3. การทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบอย่างง่าย

3.1 นำชุดตรวจสอบอย่างง่ายที่ได้ไปให้เกษตรกรทดสอบดินในพื้นที่ และเก็บตัวอย่างที่ทดสอบมาวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำมาทดสอบหาความถูกต้อง แม่นยำของชุดตรวจสอบอย่างง่าย จัดทำแบบสำรวจ

4. การปรับปรุงชุดตรวจสอบ ตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ และนำผลการทดสอบจากชุดตรวจสอบที่ปรับปรุงใหม่ มาแจกแจงความถี่แบบ 2 ทาง โดยใช้ตาราง three by three ตามระดับความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง สูง เพื่อประเมินประสิทธิภาพชุดตรวจสอบโดยวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ โดยหาความแม่นยำ (relative accuracy) และค่าสถิติ Kappa coefficient (k) เพื่อประเมินการยอมรับและความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบ (Harold *et al.*, 2003) โดยเกณฑ์การประเมินที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ระยะเวลาที่ดำเนินงาน เริ่มต้น ตุลาคม 2558 สิ้นสุด กันยายน 2561

สถานที่ดำเนินงาน กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาน้ำยาสกัด

1.1 อินทรีย์วัตถุ

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดินโดยการสกัดทั้ง 2 วิธี คือ Na_2EDTA method และ KMnO_4 oxidize carbon method พบว่า Na_2EDTA method ใช้เวลากรองนานประมาณ 3 ชั่วโมงและยังพบว่ามีความขุ่นของดินปนออกมา สีของสารละลายดินไม่มีแนวโน้มไปตามลำดับความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุในดิน วิธีนี้จึงไม่เหมาะต่อการนำมาพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในดิน ส่วนวิธี KMnO_4 oxidize carbon method (เจนจิรา และคณะ, 2558) พบว่า ในชนิดดินที่มีสีค่อนข้างเข้มจะมีสีดินเข้ามารบกวนทำให้สีของ KMnO_4 ผิดไปจากความเป็นจริง และต้องตั้งทิ้งไว้นานขึ้นประมาณ 40 นาที ทำให้ปฏิกิริยาระหว่างอินทรีย์คาร์บอนในดินกับ KMnO_4 อาจเกิดมากเกินไปจนเกินความเป็นจริง แต่เมื่อเติม 0.1 M CaCl_2 (Ray *et al.*, 2003) พบว่า ตะกอนดินตกตะกอนได้เร็วขึ้นทำให้ลดระยะเวลาในการทดสอบลงได้และไม่มีสีของตะกอนดินเข้ามารบกวน จึงได้คัดเลือกวิธีนี้มาพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในดิน ต่อไป

1.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

1.2.1 คัดเลือกน้ำยาสกัดเดี่ยวที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

จากผลการศึกษาหน้ายาสกัดเดี่ยว Mehlich I และ AB-DTPA พบว่า หน้ายาสกัดเดี่ยวทั้งสองชนิดให้ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าหน้ายาสกัดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และเมื่อหาความสัมพันธ์ของทั้งสองวิธี พบว่า Mehlich I ให้ค่าวิเคราะห์ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกัหน้ายาสกัดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ($r=0.959^{**}$ และ $r=0.945^{**}$ สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ) ส่วน AB-DTPA ให้ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ไม่มีความสัมพันธ์กัหน้ายาสกัดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ($r=0.661$; Table 2) จึงเลือก Mehlich I เป็นหน้ายาสกัดเดี่ยวสำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน

Table 2 Correlation coefficients between single extractant and standard laboratory extractant for analyzing available phosphorus and exchangeable potassium

Extractant	Available Phosphorus (Bray II)	Exchangeable Potassium (NH ₄ OAc)
Mehlich I	0.959**	0.945**
AB-DTPA	0.661	0.997**
Number of sample	73	73

Note: ** significant at $p \leq 0.01$

1.2.2 หาตัวแปรระหว่างหน้ายาสกัดฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและหน้ายาสกัดเดี่ยว

จากการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ที่ได้จากวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและชุดตรวจสอบอย่างง่ายในแต่ละกลุ่มเนื้อดิน พบว่า ทุกกลุ่มเนื้อดินมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกัวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ($r=0.979^{**}$ และ $r=0.971^{**}$ สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตามลำดับ; Table 3) สรุปได้ว่า การพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่าย ด้วยการใช้ช้อนตักดินแทนการชั่งดินและการเขย่าด้วยมือแทนการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสามารถใช้ได้กัเนื้อดินทุกประเภท จึงสามารถนำมาพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบได้ ดังนั้นจึงเลือกสมการเส้นตรงของค่าวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้งหมด คือ $y=0.9581x-12.973$ ($r=0.979^{**}$) สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ $y=0.5372x+15.283$ ($r=0.971^{**}$) สำหรับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (figure 1) ในการหาตัวแปรระหว่างหน้ายาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและหน้ายาสกัดเดี่ยว

Table 3 Correlation coefficients between soil test kits and standard laboratory analysis of available phosphorus and exchangeable potassium variable in soil texture

Soil texture	Correlation coefficient: r		Number of Sample
	P (Bray II & Mehlich I)	K (NH ₄ OAc & Mehlich I)	
Fine-textured soils	0.985**	0.987**	40
Medium-textured soils	0.973**	0.977**	27
Coarse-textured soil	0.986**	0.988**	30
Total	0.979**	0.971**	97

Note: ** significant at $p \leq 0.01$

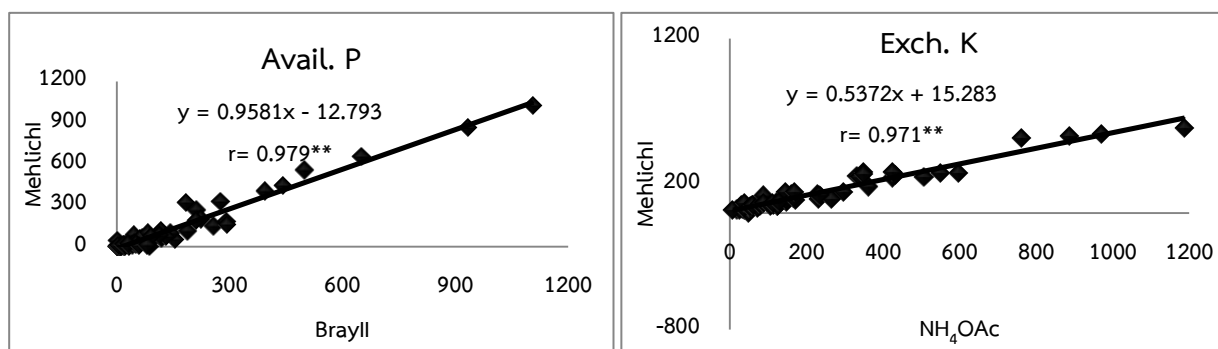


Figure 1 Correlation coefficients between single extractant and standard laboratory extractant for analyzing available phosphorus and exchangeable potassium

1.2.3 ทดสอบผลของการใช้ตัวอย่างดินบดและไม่บดต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ผลการศึกษา พบว่า การใช้ซ็อนตวงขนาด 5 กรัม ตักตัวอย่างดินที่ไม่ได้บดจะได้น้ำหนักดินใกล้เคียง 5 กรัม โดยเฉลี่ย 5.668 กรัม มากกว่าดินบด น้ำหนักโดยเฉลี่ย 5.212 กรัม ทำให้ค่าวิเคราะห์ใกล้เคียงกับการคำนวณโดยใช้น้ำหนักที่ชั่งได้จริงมากกว่าดินบด สรุปได้ว่า การใช้ซ็อนตวงตักดินเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบอย่างง่าย และจากการศึกษา พบว่า วิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการให้ผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าที่ได้จากการใช้น้ำยาสกัดเดี่ยว (Mehlich I) เกือบสองเท่า อย่างไรก็ตาม พบว่า ทั้งสองวิธีที่ใช้มีความสัมพันธ์กันสูงมาก ($r=0.951$ และ $r=0.971$ สำหรับฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ) แสดงว่า Mehlich I สามารถนำมาพัฒนาเป็นน้ำยาสกัดสำหรับชุดตรวจสอบได้ สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ การบดและไม่บดตัวอย่างให้ค่าวิเคราะห์ใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่ไม่บดมีความสัมพันธ์กับวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ต่ำกว่าตัวอย่างดินบดเล็กน้อย ($r=0.951$ และ $r=0.890$ สำหรับดินบด และ ไม่บดตามลำดับ) สำหรับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตัวอย่างดินบดให้ค่าวิเคราะห์สูงกว่าดินที่ไม่ได้บดเล็กน้อย (เฉลี่ย 77.509 ก./กก. และ 71.202 ก./กก. สำหรับดินบด และดินที่ไม่ได้บดตามลำดับ) แต่ให้ค่าวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กับวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการไม่แตกต่าง

กัน ($r=0.971$ และ $r=0.967$ สำหรับดินดินบด และ ไม่บดตามลำดับ) (Table 4) ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ดินบด และดินที่ไม่บดให้ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่แตกต่างกัน จึงนำไปพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่าย โดยไม่ต้องบดตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

Table 4 Correlation coefficients between soil test kits and standard laboratory analysis of available phosphorus and exchangeable potassium variable in soil preparation

Method	Grinding soil		No grinding soil			
	Weight	Assume Weight 5 g	Weight	Assume Weight 5 g	Weight 5 g	
P	Bray II	0.951	0.902	0.890	0.845	0.844
	Grinding soil					
	Weight		0.988	0.953	0.937	0.943
	Assume Weight 5 g			0.960	0.965	0.975
No grinding soil	Weight				0.984	0.960
	Assume Weight 5 g					0.983
	NH ₄ OAc	0.971	0.973	0.958	0.950	0.967
K	Grinding soil					
	Weight		0.994	0.968	0.984	0.977
No grinding soil	Assume Weight 5 g			0.978	0.994	0.978
	Weight				0.982	0.992
	Assume Weight 5 g					0.972

2. การพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่าย

2.1 การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ

2.1.1 ดัดแปลงสัดส่วนของสารเคมีและขั้นตอนการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ KMnO₄ oxidize carbon method (Ray *et al.*, 2003) ดังนี้

1) ชั่งดินใส่ centrifuge tube แล้วเติมน้ำ 3 มล. ให้ดินเปียกเพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น เติม 0.2M KMnO₄ ใน 0.1M CaCl₂ 2 มล. เติมน้ำให้ได้ 25 มล. เขย่า 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้ดินตกตะกอน จากนั้น ปิเปตสารละลายดินส่วนใสมา 0.1 มล. ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็ก เติมน้ำกลั่น 10 มล. ปิดฝา เขย่าให้เข้ากันแล้วเทียบสี พบว่า สีที่เกิดขึ้นค่อนข้างจางการดูสีไม่ชัดเจน จึงปิเปตสารละลายดินส่วนใสมา 0.3 มล. ผลปรากฏว่า สีที่ได้เข้มขึ้นแต่มีสีของตะกอนดินมารบกวน จึงได้พัฒนาต่อไป

2) ตัดขั้นตอนการเติมน้ำออกแล้วเติม 0.2M KMnO₄ 2 มล. และ 0.1M CaCl₂ 2 มล. ก่อนแล้วค่อยเติมน้ำเติมน้ำเขย่าและตั้งให้ดินตกตะกอน และดำเนินการต่อเหมือนข้อ 1) พบว่า ไม่มีสีของตะกอนดินมารบกวน แต่สีที่เกิดขึ้นจางมากและไม่เป็นไปตามแนวโน้มของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเนื่องจาก 0.2 M KMnO₄ สัมผัสกับดินโดยตรง จึงได้พัฒนาวิธีต่อไป

3) ทำเหมือนข้อ 2) แต่เติม 0.1M CaCl₂ ก่อน 0.2M KMnO₄ พบว่า ไม่มีสีของตะกอนดินมา
 รบกวน และสีที่เกิดขึ้นเป็นไปตามแนวโน้มของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน จึงได้ใช้วิธีนี้ในการพัฒนาเป็นแผ่นเทียบสี
 โดยใช้สีของปฏิกิริยาที่ได้จากตัวอย่างตัวอย่างดินที่มีอินทรีย์วัตถุ ต่ำ ปานกลาง สูงและสูงมาก จากนั้นได้ทดสอบ
 แผ่นเทียบสีโดยคัดเลือกตัวอย่างดินจำนวน 10 ตัวอย่างมาทดสอบ และอ่านผลจากแผ่นเทียบสี พบว่า การสังเกตสี
 ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของสารละลายในชุดปฏิกิริยา เทียบกับแผ่นเทียบสียังอ่านค่อนข้างยาก จึงได้พัฒนาวิธี
 ต่อไป

4) ทำตามข้อ 3) จนถึงขั้นตอนเขย่าและตั้งทิ้งไว้ให้ดินตกตะกอน จากนั้นนำกระดาษกรองมา
 จุ่มสารละลายแล้วเทียบสี พบว่า สามารถแยกสีได้ชัดเจนยิ่งขึ้นและเทียบสีได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงได้พัฒนาเป็นแผ่นเทียบ
 สีที่สามารถอ่านค่าเป็นช่วงความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุในดินได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์

2.1.2 ทดสอบหาปริมาณอินทรีย์โดยใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่ายโดยคัดเลือกดินโดยแบ่งตามกลุ่มเนื้อดิน
 คือ กลุ่มดินเนื้อละเอียด ปานกลางและหยาบ โดยแต่ละกลุ่มเนื้อดินจะทำการทดสอบดินขนาด 0.5 มม. แล้วทำการ
 วิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุตามวิธีมาตรฐานภายในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับตัวอย่างดินขนาด 2 มม. โดย
 ใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่าย พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุได้จากการอ่านผลจากแผ่นเทียบสีที่
 พัฒนาขึ้นและห้องปฏิบัติการของดินขนาด 2.0 มม. สูงกว่า 0.5 มม. ทุกกลุ่มเนื้อดิน (Table 5) สามารถสรุปได้ว่า
 ใช้ดินขนาด 2.0 มม. ในการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่ายได้ ดังนั้น จึงสามารถใช้ดินขนาด
 2.0 มม. ได้โดยไม่ต้องบดตัวอย่างดินและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มม. ก่อนการวิเคราะห์

Table 5 Correlation coefficients between soil test kits and standard laboratory analysis of
 organic matter variable in soil texture.

Soil texture	Correlation coefficient: r		Number of Sample
	0.5 mm	2.0 mm	
Fine-textured soils	0.627	0.784	40
Medium-textured soils	0.867	0.893	27
Coarse-textured soil	0.583	0.846	30
Total	0.747	0.780	97

2.1.3 จัดเตรียมน้ำยาสกัดที่ใช้ ปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชุดตรวจสอบ และพัฒนาเป็นชุด
 ตรวจสอบอย่างง่ายสำหรับหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พร้อมคู่มือการใช้งาน

2.2 การพัฒนาชุดตรวจสอบฟอสฟอรัส

ดัดแปลงวิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วย Molybdenum blue method ด้วยการใช้น้ำ
 ยาสกัดเดี่ยว คือ Mehlich I และใช้ phosphorus test strip และเพื่อให้ง่ายต่อการแปรผล จึงได้ทำการ
 ปรับตัวแปรจากชุดตรวจสอบอย่างง่าย ให้สอดคล้องกับค่าที่อ่านได้ กับค่าวิเคราะห์โดยใช้น้ำยาสกัด Brayll และ
 พัฒนาแผ่นเทียบสีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ซึ่งแผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถอ่านผลวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ 0-900
 มล./กก. จากนั้น ทำการปรับปรุงอุปกรณ์และพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบฟอสฟอรัสอย่างง่ายในดิน

2.3 การพัฒนาชุดตรวจสอบโพแทสเซียม

ทดสอบหาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยวิธีทำให้เกิดความชุ่มด้วย Sodium cobaltinitrile พบว่า สารดังกล่าวสามารถตกตะกอนโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ที่ความเข้มข้นสูงมากกว่า 1000 มล./กก. จึงทดลองใช้วิธีทำให้เกิดความชุ่มด้วย sodium tetraphenylboron โดยตัดขั้นตอนการใช้ formaldehyde ออกไป เนื่องจากเป็นสารอันตราย ซึ่งสามารถตกตะกอนโพแทสเซียมได้ตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้จึงได้นำวิธีนี้มาพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบอย่างง่าย โดยพัฒนาชุดเทียบความชุ่มของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่เกิดขึ้น และเพื่อให้ง่ายต่อการแปรผล จึงได้ปรับตัวแปรให้ค่าที่อ่านได้เป็น เทียบเท่ากับผลวิเคราะห์ที่ได้จากน้ำยาสกัด NH_4OAc ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งชุดเทียบความชุ่มที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถอ่านผลวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ 0-1500 มล./กก. จากนั้น ทำการปรับปรุงอุปกรณ์พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบโพแทสเซียมในดิน

3. การทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบ

นำชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุอย่างง่ายไปให้เกษตรกร และผู้สนใจในพื้นที่จังหวัดพิจิตร ร้อยเอ็ด และ นครนายก จำนวน 36 ราย ทดสอบใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่ายโดยเก็บอย่างดินจากแปลงที่ไม่มีน้ำท่วมขัง คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำมาทดสอบโดยไม่ผึ่งดินให้แห้ง ความชื้นดินประมาณ 3 – 20 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

3.1 ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ได้ผลที่เป็นแนวโน้มเดียวกับผลวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ($r = 0.761^{**}$) และเมื่อนำมาปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ได้ มาแบ่งตามเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า มีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 71.0

3.2 ชุดตรวจสอบฟอสฟอรัส ให้ผลวิเคราะห์ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งผลวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ($r = 0.994^{**}$) และเมื่อนำมาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มาแบ่งตามเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า มีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 63.9

3.3 ชุดตรวจสอบโพแทสเซียม ได้ผลวิเคราะห์ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งผลวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ($r = 0.751^{**}$) และเมื่อนำมาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มาแบ่งตามเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า มีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 65.5

3.5 การสำรวจความพึงพอใจของผู้ทดสอบใช้งาน พบว่า

1) ร้อยละ 80 ของผู้ใช้งานชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุทั้งหมด เห็นว่ามีความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัยในการใช้งาน การอ่านผลการทดสอบง่ายมีความชัดเจนมาก และผู้ใช้งานทั้งหมดเห็นว่าระยะเวลาในการทดสอบมีความเหมาะสมมาก

2) ผู้ใช้งานชุดตรวจสอบฟอสฟอรัสทั้งหมด เห็นว่ามีความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัยในการใช้งานมาก และร้อยละ 80 ของผู้ใช้งานทั้งหมด เห็นว่าชุดตรวจสอบมีการอ่านผลการทดสอบง่ายมีความชัดเจน และระยะเวลาในการทดสอบมีความเหมาะสมมาก

3) ผู้ใช้งานชุดตรวจสอบโพแทสเซียมทั้งหมด เห็นว่ามีความสะดวกในการใช้งานปานกลาง ร้อยละ 80 ของผู้ใช้งานทั้งหมด เห็นว่ามีความปลอดภัยในการใช้งานและระยะเวลาในการทดสอบมีความเหมาะสมปานกลาง และร้อยละ 60 ของผู้ใช้งานทั้งหมด เห็นว่ามีการอ่านผลการทดสอบง่ายมีความชัดเจนปานกลาง

4) ภาพรวมของชุดตรวจสอบอย่างง่ายอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน พบว่าผู้ใช้งานทั้งหมดเห็นว่า ขนาดของชุดตรวจสอบมีความเหมาะสมสามารถพกพาได้สะดวก ประหยัด ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และทราบผลการทดสอบรวดเร็ว และร้อยละ 80 ของผู้ใช้งานทั้งหมดเห็นว่า วิธีการใช้งานง่ายและสามารถปฏิบัติตามได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง และมีความพึงพอใจในภาพรวมของชุดตรวจสอบอย่างง่ายอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินมาก

5) ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ มีดังนี้

- แผ่นเทียบสีควรแบ่งเป็นช่วงความอุดมสมบูรณ์ด้วย เพื่อให้สามารถแปลผลได้เองอย่างคร่าวๆ
- ชุดเทียบสีโพแทสเซียม เทียบสีค่อนข้างยาก จึงควรพัฒนาให้เทียบสีได้ง่ายขึ้นอีก
- ควรทำการทดสอบลดระยะเวลาการเขย่าลงอีก
- ควรลดขั้นตอนให้น้อยลงอีก

4. การปรับปรุงชุดตรวจสอบ จากข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ ดังนี้

4.1 ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ปรับปรุงโดยปรับแผ่นเทียบสี OM โดยระบุเกณฑ์ทั่วไป ต่ำ ปานกลาง สูง ลงไป และ เปลี่ยนจากการอ่านเป็นช่วงเป็นค่าเดียว รวมน้ำยา OM1 OM2 เป็นตัวเดียวกัน และลดเวลาในการเขย่าจาก 2 นาที และ 1 นาที ทำให้สามารถลดอุปกรณ์ลงได้ 2 ชิ้น

4.2 ชุดตรวจสอบฟอสฟอรัส ปรับปรุงโดยปรับแผ่นเทียบสีโดยเพิ่มช่วงความเข้มข้นให้ละเอียดมากขึ้น และระบุเกณฑ์ทั่วไป ต่ำ ปานกลาง สูง ลงไป และลดเวลาในการเขย่าจาก 5 นาที เป็น 1 นาที

4.3 ชุดตรวจสอบโพแทสเซียม ปรับปรุงโดยปรับชุดเทียบสีโดย เป็นกระดาษวัดความขุ่นของสารละลาย และระบุเกณฑ์ทั่วไป ต่ำ ปานกลาง สูง ลงไป และลดเวลาในการเขย่าจาก 5 นาที เป็น 1 นาที ทำให้สามารถลดอุปกรณ์ในการทำชุดเทียบสีเดิมลงได้ 9 ชิ้น

4.4 คัดเลือกตัวอย่างดินที่มี อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต่ำถึงสูง นำมาวิเคราะห์โดยใช้ชุดตรวจสอบชุดเก่า และชุดตรวจสอบที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

4.4.1 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้จากชุดตรวจสอบชุดเก่า และชุดตรวจสอบที่ปรับปรุงขึ้นใหม่โดยใช้ t-test พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.4.2 นำผลการทดสอบจากชุดตรวจสอบที่ปรับปรุงใหม่ มาแจกแจงความถี่แบบ 2 ทาง โดยใช้ตาราง three by three ตามระดับความเข้มข้น ต่ำ ปานกลาง สูง (Table 6) เพื่อประเมินประสิทธิภาพชุดตรวจสอบโดยวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

1) หาความแม่นยำ (relative accuracy) จากสูตร

$$\text{ความแม่นยำ (relative accuracy)} = \frac{\text{ผลรวมของตัวอย่างที่อยู่ในช่วงเดียวกัน} \times 100}{\text{ผลรวมของตัวอย่างทั้งหมด}}$$

ค่าความแม่นยำที่ได้ คือ 93.3, 80.0 และ 69.6 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าแบบถ่วงน้ำหนัก 0.97, 0.83 และ 0.80 สำหรับชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ

2) หาค่าสถิติ Kappa coefficient (k) แบบถ่วงน้ำหนัก เพื่อประเมินการยอมรับและความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบ (Harold *et al.*, 2003) โดยเกณฑ์การประเมินที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- หาสัดส่วนของผลวิเคราะห์ที่อ่านได้ในแต่ละช่วงความเข้มข้นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ และชุดตรวจสอบ คือ ค่าที่ได้หารด้วยจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ได้ผลดัง Table 7
- หาสัดส่วนของการถ่วงน้ำหนักของค่าสังเกตและค่าที่คาดหวัง โดยสัดส่วนของการถ่วงน้ำหนักของค่าสังเกต ได้จาก ผลคูณของสัดส่วนของผลวิเคราะห์ (Table 7) และค่าจากสมการกำลังสองของตารางแบบ 3x3 (Table 8) และสัดส่วนของการถ่วงน้ำหนักของค่าที่คาดหวัง ได้จากผลคูณของสัดส่วนของผลวิเคราะห์ ผลรวมของสัดส่วนของผลวิเคราะห์ในแต่ละช่วงความเข้มข้น (Table 7) และค่าจากสมการกำลังสองของตารางแบบ 3x3 (Table 8) ได้ผลดัง Table 9
- หาค่าสถิติ Kappa coefficient (k) แบบถ่วงน้ำหนัก โดยใช้สมการ

$$kw = \frac{Po(w) - Pe(w)}{1 - Pe(w)}$$

เมื่อ $Po(w)$ คือ ผลรวมของสัดส่วนของการถ่วงน้ำหนักของค่าสังเกต

$Pe(w)$ คือ ผลรวมของสัดส่วนของการถ่วงน้ำหนักของค่าที่คาดหวัง

ค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้ คือ 0.97, 0.83 และ 0.80 สำหรับชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ แสดงว่าชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นนี้มีควมน่าเชื่อถือมาก (Harold *et al.*, 2003)

Table 6 Frequency of results of laboratory and organic matter phosphorus and potassium soil test kits who rate as low medium or high

Lab	OM kit				P Kit				K Kit			
	Low	Medium	High	Total	Low	Medium	High	Total	Low	Medium	High	Total
Low	4	0	0	4	1	0	1	2	5	2	1	8
Medium	1	2	0	3	1	2	1	4	0	3	3	6
High	0	0	8	8	0	0	9	9	1	0	8	9
Total	5	2	8	15	2	2	11	15	6	5	12	23

Table 7 Proportion of results of laboratory and organic matter phosphorus and potassium soil test kits who rate as low medium or high

Lab	OM kit				P Kit				K Kit			
	Low	Medium	High	Total	Low	Medium	High	Total	Low	Medium	High	Total
Low	0.27	0.00	0.00	0.27	0.07	0.00	0.07	0.13	0.22	0.09	0.04	0.35
Medium	0.07	0.13	0.00	0.20	0.07	0.13	0.07	0.27	0.00	0.13	0.13	0.26
High	0.00	0.00	0.53	0.53	0.00	0.00	0.60	0.60	0.04	0.00	0.35	0.39
Total	0.33	0.13	0.53	1.00	0.13	0.13	0.73	1.00	0.26	0.22	0.52	1.00

Table 8 Quadratic for 3x3 table

	Low	Medium	High
Low	1.00	0.75	0.00
Medium	0.75	1.00	0.75
High	0.00	0.75	1.00

Table 9 Weighted proportion of observed and expected result

Soil fertility level	Observed weighted proportions for soil fertility level			Expected weighted proportions for soil fertility level			
	Low	Medium	High	Low	Medium	High	
OM	Low	0.27	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
	Medium	0.05	0.13	0.00	0.01	0.03	0.00
	High	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00	0.28
		Sum ($Po(w)$)		0.98	Sum ($Pe(w)$)		0.39
P	Low	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	Medium	0.05	0.13	0.05	0.01	0.04	0.01
	High	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.36

		Sum ($Po(w)$)			0.90	Sum ($Pe(w)$)		0.43
K	Low	0.22	0.07	0.00	0.08	0.02	0.00	
	Medium	0.00	0.13	0.10	0.00	0.03	0.03	
	High	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.14	
		Sum ($Po(w)$)			0.86	Sum ($Pe(w)$)		0.29

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. ได้น้ำยาสกัดเดี่ยว (Mehlich I) ที่สามารถสกัดหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในครั้งเดียว ที่ให้ค่าวิเคราะห์ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.959** และ 0.945** สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ

2. ได้ตัวแปรระหว่างน้ำยาสกัดเดี่ยวและน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สมการ Linear regression ระหว่างค่าวิเคราะห์ที่ได้จากน้ำยาสกัดเดี่ยวและน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ $y=0.9581x-12.973$ สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ $y=0.5372x+15.283$ สำหรับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

3. เพื่อความสะดวกในการใช้งานชุดตรวจสอบอย่างง่าย สามารถใช้ตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงที่ไม่มีน้ำท่วมขังความชื้นดินไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ หรือดินที่ฝังให้แห้งในที่ร่มแล้วบดโดยไม่ต้องใช้ตะแกรงร่อน

4. ได้ชุดตรวจสอบอย่างง่าย โดยหาปริมาณอินทรีย์วัตถุใช้หลักการการออกซิโดซ์คาร์บอนด้วย $KMnO_4$ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ดัดแปลงจาก Molybdenum blue method และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ดัดแปลงจาก Turbidimetric method โดยการตกตะกอนโพแทสเซียมด้วย Sodium tetraphenylborate โดยเลือกใช้สารเคมีที่ปลอดภัย ลดขั้นตอนการปฏิบัติงาน วัสดุที่ใช้ และเวลาในการทดสอบลง

5. จากการทดสอบชุดตรวจสอบอย่างง่ายได้ผลที่เป็นแนวโน้มเดียวกับผลวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งตามเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า มีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 71.0 63.9 และ 65.5 สำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ

6. จากการทดลองให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์เบื้องต้นในพื้นที่จังหวัดพิจิตรร้อยเอ็ดและนครนายก และผู้ที่สนใจ พบว่า ผู้ใช้งานทั้งหมดเห็นว่า ขนาดของชุดตรวจสอบมีความเหมาะสมสามารถพกพาได้สะดวก ประหยัดปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และทราบผลการทดสอบรวดเร็ว และร้อยละ 80 ของผู้ใช้งานทั้งหมดเห็นว่า วิธีการใช้งานง่ายและสามารถปฏิบัติตามได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง และมีความพึงพอใจในภาพรวมของชุดตรวจสอบอย่างง่ายอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินมาก

7. จากการปรับปรุงชุดตรวจสอบตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ ทำให้ได้ชุดตรวจสอบที่มีความแม่นยำร้อยละ 93.3, 80.0 และ 69.6 ซึ่งเพิ่มขึ้น ร้อยละ 22.3, 16.1 และ 4.4 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าแบบถ่วงน้ำหนัก 0.97, 0.83 และ 0.80 สำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ ซึ่งมีความน่าเชื่อถือมาก

8. ชุดตรวจสอบขนาด 50 ตัวอย่างราคาต้นทุน 2931 บาท คิดเป็น 58.6 บาทต่อตัวอย่าง ซึ่งราคาถูกกว่าชุดตรวจสอบทั่วไปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. นำชุดตรวจสอบอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นไปจัดแสดง
 - ในงาน SIMA ASEAN Thailand 2017 “นวัตกรรมเกษตรไทยสู่ Thailand 4.0”
 - ในงานเปิดบ้านกรมวิชาการเกษตรประจำปี 2561
 - ในงาน Year end ประจำปี 2561
2. นำชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นไปให้เกษตรกรจังหวัดพิจิตร ร้อยเอ็ด และนครนายกทดสอบใช้งาน
3. ให้ความอนุเคราะห์ชุดตรวจสอบกับหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตรใช้เพื่อสนับสนุนงานวิจัย ได้แก่
 - 4.5.1 สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ดินและให้คำแนะนำกับกลุ่มเกษตรกรปลูกผักอินทรีย์ จำนวน 1 ชุด ขนาด 20 ตัวอย่าง
 - 4.5.2 กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดินเบื้องต้นสำหรับให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยในแปลงปลูกมันสำปะหลังอัจฉริยะ จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 1 ชุด ขนาด 200 ตัวอย่าง
 - 4.5.3 ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น เพื่อใช้ในโครงการ การจัดการดิน ปุ๋ย น้ำ และวัตถุอันตรายทางการเกษตร เพื่อลดต้นทุนเพิ่มปริมาณคุณภาพและความปลอดภัยของผลผลิตพืช ณ อำเภอยางตลาด จังหวัดขอนแก่น จำนวน 3 ชุด ขนาดชุดละ 50 ตัวอย่าง
 - 4.5.4 กรมการข้าว จำนวน 3 ชุด ชุดละ 10 ตัวอย่าง
 - 4.5.5 สำนักผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 2 ชุด ขนาด 10 ตัวอย่าง
 - 4.5.6 สวพ. 8 จำนวน 1 ชุด ชุดละ 50 ตัวอย่าง
 - 4.5.7 สวพ. อุทัยธานี จำนวน 1 ชุด ชุดละ 50 ตัวอย่าง

11. คำขอบคุณ

-

12. เอกสารอ้างอิง

- จิตติมา ยถาภูชานนท์ วรณรัตน์ ชุตติบุตร และสงกรานต์ มะลิสอน. 2552. การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์. หน้า 199-223 ใน: ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2552 เล่มที่ 2. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- เจนจิรา เทเวศร์วรกุล จิตติรัตน์ ชูชาติ สงกรานต์ มะลิสอน ญาณธิดา จิตต์สะอาด สุภา โพธิจันทร์ และพจมาลย์ แก้ววิมล. วิจัยและพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุของดิน. หน้า 1-7 ใน: ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2558. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- ชูชาติ สันทรทรัพย์. 2560. การใช้ชุดตรวจวิเคราะห์ดิน. แหล่งที่มา:
www.agri.cmu.ac.th/upload/download/50040002.ppt. เข้าถึงวันที่ 10 ธันวาคม 2560
- มณีทิพย์ ขุนทอง. 2556. การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุเพื่อประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภธิดา อ่ำทอง. 2553. การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ Permanganate Oxidizable Carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน. รายงานผลการวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้. ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม. คณะผลิตกรรมการเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 37 หน้า.

Attanandana, T., C. Suwannarat, T. Vearasilp, S. Kongton, R. Meesawat, P. Boonampol, K. Soitong, C. Tipanuka and R.S. Yost. 2001. NPK fertilizer recommendation systems for corn: Decision aids and test kits. Paper Presented at the International Conference on Nutrient Balances for Sustainable Agriculture Production and Natural Resource Management in Southeast Asia. 20-22 February, 2001. IBSRAM and DOA-URRC, Bangkok, Thailand.

Bowman, R.A., USDA-ARS, Akron C.O. 1997. Field method to estimate soil organic matter. Conservation tillage fact sheet#5-97 published by USDA-ARS, and USDA-NRCS.

Culman, S.W., S.S. Snap and M.A. Freeman. 2012. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that Sensitive to Management. Soil Sci. Am.J. 76(2): 494-504

Engelbrecht R.M. and F.A. McCoy. 1956. Determination of Potassium by Tetraphenylborate Method. Anal. Chem., 1956, 28 (11), p 1772-1773

Harold L., MD Marcia Polandsky, ScD. 2003. Measurement of observer agreement. Radiology. 228(2), 303-308

Ray R. Weil, Kandikar R. Islam, Melissa A. Stine, Joel B. Gruver and Susan E. Samson-Liebig. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture. Volume 18, Number 1.

13. ภาคผนวก

ตารางผนวก 1 เปรียบเทียบขั้นตอนการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ด้วยชุดตรวจสอบต่างๆ

ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ				
ขั้นตอน	กรมวิชาการเกษตร	มก.	มช.	Rapitest
1	ตักดินใส่หลอดเขย่า	ตักดินใส่ขวดปฏิกิริยา	ตักดิน 2 ชั้น ลงในขวดพลาสติก	เป็นไนโตรเจน
2	เติม OM1 4 ml	เติม K_2CrO_4 5 ml เขย่าให้เข้ากัน	เติมน้ำยา OM 10 ml	ตักดิน 1 ฝาใส่หลอดเขย่า
3	เติม OM2 ให้ได้ 25 ml เขย่า 1 นาที	เติม conc. H_2SO_4 10 ml เขย่าให้เข้ากัน	เขย่า 30 วินาที	เติมผงแคปซูลไนโตรเจน
4	ตั้งทิ้งไว้ให้ดินตกตะกอน	ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที	กรอง	เติมน้ำให้พอดีขีด
5	ใช้กระดาษ OM จุ่มส่วนใสของสารละลาย	เติมน้ำกรอง 10 ml เขย่าให้เข้ากัน	สกัดตัวอย่างดินมาตรฐาน 3 ตัวอย่าง	เขย่าให้เข้ากัน
6	เทียบสีกับแผ่นเทียบสี	ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที หรือจนกว่าสารละลายจะเย็น	เทียบสีของสารละลายดินตัวอย่างกับสารละลายดินมาตรฐาน	เสียบหลอดเขย่าลงในเครื่องวัด
7		ใช้หลอดดูดสารละลายลงในภาดหลุม		กดอ่านค่า N จะอ่านได้เป็นช่วง
8		เทียบสีกับแผ่นเทียบสี		
ชุดตรวจสอบฟอสฟอรัส				
1	ตักดินใส่หลอดเขย่า	ตักดินลงในขวดพลาสติก	ตักดิน 1 ชั้น ลงในขวดพลาสติก	ตักดิน 1 ฝาใส่หลอดเขย่า
2	เติมน้ำยา P K ให้ได้ 25 ml	เติมน้ำยาสกัดเบอร์ 1 25 ml	เติมน้ำยา P1 10 ml	เติมผงแคปซูลฟอสฟอรัส
3	เขย่า 1 นาที	เขย่า 5 นาที	เขย่า 1 นาที	เติมน้ำให้พอดีขีด
4	ตั้งทิ้งไว้ให้ดินตกตะกอน	กรอง	กรอง	เขย่าให้เข้ากัน
5	ใช้กระดาษ P จุ่มส่วนใสของสารละลาย	ดูดน้ำที่กรองได้ 2.5 ml ลงในหลอดแก้ว	เตรียมน้ำยาพัฒนาสี (น้ำยา P2 10 ml+ผงพัฒนาสี)	เสียบหลอดเขย่าลงในเครื่องวัด
6	หยดน้ำยาทำสี P ลงบนกระดาษ P 1 หยดแล้วค้ำไว้ประมาณ 15 วินาที แล้วสลัดน้ำยาทำสีออกจากกระดาษ	เติมน้ำยาเบอร์ 6 0.5 ml	เตรียมหลอดแก้วจำนวน 4 หลอด	กดอ่านค่า P จะอ่านได้เป็นช่วง
7	เทียบสีกับแผ่นเทียบสี	เติมผงเบอร์ 7 ครึ่งช้อนเล็ก	ดูดน้ำยามาตรฐาน P1, P2, P3 และน้ำที่กรองได้จากตัวอย่างดิน 1 ml ลงในแต่ละหลอด	

8	เขย่าให้เข้ากัน	เติมน้ำยาพัฒนาสี 1 ml
9	ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที	เติมน้ำยา P3 3 ml
10	เทียบสีกับแผ่นเทียบสี	เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
11		เทียบสีของตัวอย่างดินกับ น้ำยามาตรฐาน

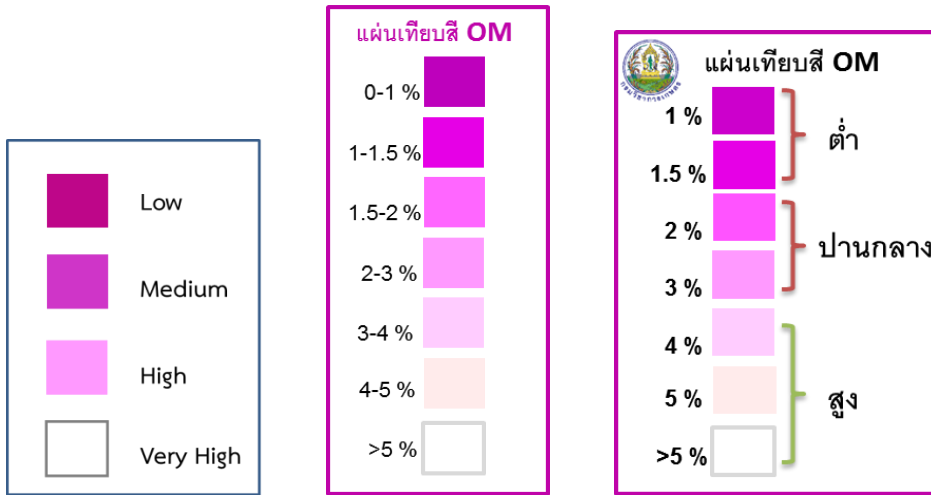
ชุดตรวจสอบโพแทสเซียม

1	ดูดสารละลายดินที่สกัดจาก การทดสอบฟอสฟอรัส 5 ml ลงในขวดปฏิกิริยา K	เตรียมน้ำยาเบอร์ 9 (ดูหน้า กรอง 3 ml ลงในขวดเบอร์ 9 ที่มีผงเคมีบรรจุอยู่)	ตักดิน 3 ช้อน ลงในขวด พลาสติก	ตักดิน 1 ฝาใส่หลอด เขย่า
2	เติมน้ำยา K1 0.4 ml	ดูดสารละลายดินที่สกัดจาก การทดสอบฟอสฟอรัส 0.8 ml	เติมน้ำยา K1 12 ml	เติมผงแคปซูล โพแทสเซียม
3	เติมน้ำยา K2 1 ml	เติมน้ำยาเบอร์ 8 2 ml (ห้าม เขย่า)	เขย่า 15 นาที	เติมน้ำให้พอดีขีด
4	เขย่าให้เข้ากัน	เติมน้ำยาเบอร์ 9A 1 หยด (ห้ามเขย่า)	กรอง	เขย่าให้เข้ากัน
5	เทียบปริมาณตะกอนกับแผ่น เทียบสี K	เติมน้ำยาเบอร์ 9 2 หยด	เตรียมหลอดแก้วจำนวน 4 หลอด	เสียบหลอดเขย่าลงใน เครื่องวัด
6		เขย่าให้เข้ากัน	ดูดสารละลายมาตรฐาน K1, K2, K3 และน้ำที่ กรองได้จากตัวอย่างดิน 1 ml ลงในแต่ละหลอด	กดอ่านค่า K จะอ่านได้ เป็นช่วง
7		อ่านค่าโดย ถ้ามีตะกอน อ่านว่า สูง ถ้ามีฝ้าขาว อ่านว่า ปานกลาง ถ้าใส อ่านว่า ต่ำ	เติมน้ำยา K2 0.5 ml	
8			เติมน้ำยา K3 1 ml	
9			เขย่าให้เข้ากัน	
10			เทียบความขุ่นของ ตัวอย่างดินกับสารละลาย มาตรฐาน	

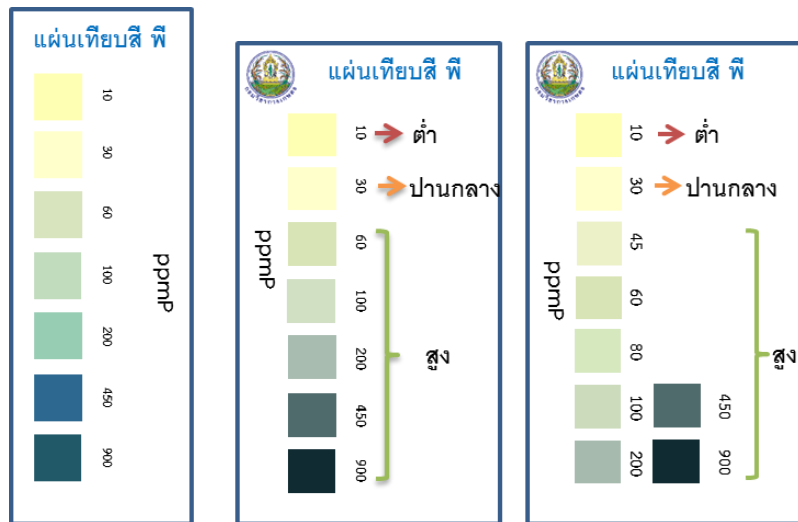
ตารางผนวก 2 อุปกรณ์และสารเคมีพร้อมราคาต้นทุนสำหรับจัดชุดตรวจสอบ

ลำดับที่	อุปกรณ์และสารเคมี	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ขนาด 10 ตัวอย่าง		ขนาด 50 ตัวอย่าง			
			ปริมาตร/ ขนาด	จำนวน	ราคา รวม (บาท)	ปริมาตร/ ขนาด	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	กล่องชุดตรวจสอบ		-	1 กล่อง	100	-	1 กล่อง	230
2	ซ็อนต์กดิน	5	5 ml	1 อัน	5	5 ml	1 อัน	5
3	ที่ปาดดิน	5	-	1 อัน	5	-	1 อัน	5
4	คู่มือการใช้งาน	10	-	1 แผ่น	10	-	1 แผ่น	10
ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ								
5	หลอดเขย่า OM	7	50 ml	2 อัน	14	50 ml	3 อัน	21
6	หลอดฉีดยา	5	5 ml	1 อัน	5	5 ml	1 อัน	5
7	กระดาษ OM							
	- กระดาษ OM	0.5	-	12 ชิ้น	6	-	55 ชิ้น	27.5
	- ขวดใส่กระดาษ OM	9	-	1 ขวด	9	-	1 ขวด	9
	พร้อมติดกระดาษ							
	เทียบสี OM บนขวด							
8	น้ำยา OM1							
	- น้ำยา OM1	0.1815 บ./ml	50 ml	-	9	200 ml	-	36.3
	- ขวดน้ำยา OM1	10	100 ml	1 ขวด	10	100 ml	2 ขวด	20
9	น้ำยา OM2							
	- น้ำยา OM2	0.001 บ./ml	250 ml	-	0.25	1250 ml	-	1.25
	- ขวดน้ำยา OM2	120 ml 2.5 บ. 250 ml 5 บ.	120 ml	3 ขวด	7.5	250 ml	6 ขวด	30
ชุดตรวจสอบฟอสฟอรัส								
10	หลอดเขย่า พี เค	7	50 ml	2 อัน	14	50 ml	3 อัน	21
11	น้ำยา พี เค							
	- น้ำยา พี เค	0.0007 บ./ml	250 ml	-	0.21	1250 ml	-	1.05
	- ขวดน้ำยา พี เค	120 ml 2.5 บ. 250 ml 5 บ.	120 ml	3 ขวด	7.5	250 ml	6 ขวด	30
12	น้ำยาทำสีพี							
	- น้ำยาทำสีพี	8 บาท/ตย.	0.5 ml	-	96	2.5 ml	-	440
	- ขวดน้ำยาทำสีพี	4 บาท	5 ml	1 ขวด	4	5 ml	1 ขวด	4
13	กระดาษ พี							
	- กระดาษ พี	30 บาท/ชิ้น	-	12 ชิ้น	360	-	55 ชิ้น	1650
	- ขวดใส่กระดาษ พี	9 บาท	-	1 ขวด	9	-	1 ขวด	9
	พร้อมติดกระดาษเทียบสี							

ลำดับที่	อุปกรณ์และสารเคมี	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ขนาด 10 ตัวอย่าง		ขนาด 50 ตัวอย่าง			
			ปริมาตร/ ขนาด	จำนวน	ราคา รวม (บาท)	ปริมาตร/ ขนาด	จำนวน	ราคารวม (บาท)
พี บนวอด								
ชุดตรวจสอบโพแทสเซียม								
14	น้ำยา เค1							
	- น้ำยา เค1	1.64 บ./ml	5 ml	-	8.2	25 ml	-	40.25
	- ขวดน้ำยา เค1	5	15 ml	1 ขวด	5	25 ml	5	5
15	น้ำยา เค2							
	- น้ำยา เค2	5.36 บ./ml	12 ml	-	64.32	55 ml	-	294.8
	- ขวดน้ำยา เค2	15 ml 5 บ. 100 ml 10 บ.	15 ml	1 ขวด	5	100 ml	1 ขวด	10
16	หลอดฉีดยา	5	5 ml	1 อัน	5	5 ml	1 อัน	5
17	หลอดฉีดยา	3	1 ml	2 อัน	6	1 ml	2 อัน	6
18	ขวดทำปฏิกิริยา เค	5	5 ml	2 ขวด	10	5 ml	2 ขวด	10
19	กระดาษเทียบสี เค	5	-	1 แผ่น	5	-	1 แผ่น	5
ราคารวม					780บาท	2931		
						บาท		
ราคาต่อตัวอย่าง					78 บาท	58.6		
						บาท		



ภาพผนวก 1 พัฒนาการของแผ่นเทียบสีอินทรีย์วัตถุ



ภาพผนวก 2 พัฒนาการของแผ่นเทียบสีฟอสฟอรัส



ภาพผนวก 3 พัฒนาการจากชุดเทียบสีโพแทสเซียมเป็นแผ่นเทียบสีโพแทสเซียม



ภาพผนวก 3 พัฒนาการของชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน



ภาพผนวก 4 การแจกจ่าย จัดนิทรรศการ และการทดสอบใช้งานชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และ โปแทสเซียมในดิน