

## รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนากระบวนการตรวจวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐานสากล
2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนากระบวนการตรวจวิเคราะห์ ปุ๋ย พืช ดิน และน้ำ  
กิจกรรมที่ 5 : การพัฒนาชุดทดสอบอย่างง่าย (Test Kit) เพื่อใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปัจจัยการผลิต
3. ชื่อการทดลองที่ 5.2 : การวิจัยและพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่าย แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็ก ในดิน  
: Research and Development of Soil Test kits to Determine Calcium Magnesium Sulfur and Iron in Soils
4. คณะผู้ดำเนินงาน  
ชื่อหัวหน้าโครงการ : นางสาววรรณรัตน์ ชูติบุตร สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
หัวหน้าการทดลอง : นางสาวจรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
ผู้ร่วมงาน : นางสาวเจนจิรา เทเวศร์วรกุล สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
นางสาวจิตติรัตน์ ชูชาติ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
นางสงกรานต์ มะลิสอน สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
นางสาวกัญฐณา คล้ายแก้ว สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

### 5. บทคัดย่อ

การพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่ายแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็ก ในดิน มีแนวคิดให้มีขั้นตอนน้อย ใช้งานง่าย ทราบผลเร็วและไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม โดยประยุกต์ใช้วิธีการสกัดดินสำหรับวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ด้วยน้ำยาสกัดเดี่ยว Mehlich III และหาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมโดยใช้วิธี EDTA Titration หาปริมาณเหล็กด้วยวิธี Phenanthroline method และการวิเคราะห์กำมะถันใช้วิธีสกัดดินด้วย  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  และหาปริมาณโดยวิธี Turbidimetric method ทดสอบประสิทธิภาพ และการใช้งานชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็ก โดยใช้ตรวจสอบตัวอย่างดินของเกษตรกร จำนวน 200 ตัวอย่าง ในพื้นที่จังหวัดพิจิตร ร้อยเอ็ด นครนายก สมุทรปราการ และนครปฐม ในการปลูกมะม่วง มะยงชิด พืชผัก ข้าวโพด และมันสำปะหลัง ประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ โดยใช้ผลการตรวจสอบตัวอย่างดินด้วยชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ คำนวณหาค่าความแม่นยำ และหาค่าสถิติ Kappa coefficient (K) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการประเมินการยอมรับหรือความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดตรวจสอบมีความแม่นยำ เฉลี่ยร้อยละ 81.0 มีค่าสถิติ Kappa coefficient (K) เฉลี่ยเท่ากับ 0.57 ถือว่าชุดตรวจสอบนี้อยู่ในเกณฑ์การยอมรับหรือมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับที่ดีที่ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดตรวจสอบอื่น พบว่า ชุดตรวจสอบอื่นมีความแม่นยำ เฉลี่ยร้อยละ 72.2 มีค่าสถิติ

Kappa coefficient (**K**) เฉลี่ยเท่ากับ 0.22 อยู่ในเกณฑ์การยอมรับหรือมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับปานกลาง ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดตรวจสอบมีขั้นตอนการใช้งานง่าย ใช้เวลาในการวิเคราะห์ เพียง 5 นาที เมื่อเทียบกับชุดตรวจสอบอื่นซึ่งใช้เวลานาน 10 นาที มีต้นทุนค่าวิเคราะห์ต่อตัวอย่างเฉลี่ย 58.84 บาท ในขณะที่ชุดตรวจสอบอื่นมีต้นทุนต่อตัวอย่างเฉลี่ยมากกว่า 85.00 บาท เมื่อเปรียบเทียบด้านราคา พบว่า ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมีราคาถูกกว่าชุดตรวจสอบอื่นในท้องตลาดเฉลี่ยถึงร้อยละ 44 ดังนั้นชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น เป็นชุดตรวจสอบที่ประหยัด มีประสิทธิภาพเหมาะสม สามารถพกพาได้สะดวกเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้พื้นที่

Development of Test Kits for determine Calcium, Magnesium, Sulfur and Iron in the soil is thought to have a small step, easy to use, know the results quickly and do not use chemicals that are harmful to users and the environment. By applying soil extraction methods for calcium, magnesium and iron extraction using Mehlich III single extraction and determination of calcium and magnesium content by using EDTA Titration, iron by using phenanthroline method and sulfur analysis using soil extraction method with  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  and determine sulfur with Turbidimetric method. Performance test And the use of calcium, sulfur and iron test kits using 200 soil samples in Phichit, Roi Et, Nakhon Nayok, Samut Prakan and Nakhon Pathom for growing mangoes, rhizomes, vegetables, corn and cassava. Evaluate the efficiency of the test kits By using the results of the soil sample examination with the developed test kits compare with the results of the laboratory standard method. Calculate the accuracy and find the statistical value of Kappa coefficient (**K**) which is the criterion for evaluating the acceptance or reliability of the test kit. It is found that the average accuracy of the test set is 81.0 percent with the Kappa coefficient (**K**), which is equal to 0.57. With the reliability at a good level ( $P < 0.05$ ) when compared with other test kits, it was found that the other test kits had an average accuracy of 72.2 percent, with the Kappa coefficient (**K**) statistically equal to 0.22 in the acceptance criteria at moderate level. Assessing the satisfaction from the users found that the test kits have easy to use procedures. The analysis time is only 5 minutes, compared to other test kits which take 10 minutes. The average cost of analysis per sample is 58.84 baht, while others has an average cost per sample of more than 85.00 baht. That the developed test kits are 44% cheaper than other test kits in the market. It was concluded that test kits can be carried easily, suitable for use in the field.

## 6. คำนำ

การพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารในดิน ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้น้ำยาสกัดธาตุอาหารต่างชนิดกันได้ครั้งเดียว หรือเป็นน้ำยาสกัดเดี่ยว จะทำให้วิเคราะห์ธาตุอาหารต่างชนิดกันได้ง่ายสะดวกรวดเร็วประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

เกษตรกรสามารถวิเคราะห์ได้เองในภาคสนาม และมีโอกาสทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่เป็นทุนเดิมในดิน และพืชก่อนปลูกหรือก่อนใส่ปุ๋ยของพื้นที่

แคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถัน จัดเป็นธาตุอาหารรอง (Secondary Essential Elements) เหล็ก จัดเป็นธาตุอาหารเสริม (Micronutrient) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อยมากและสะสมในเนื้อเยื่อพืชใน ความเข้มข้นต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารที่จำเป็นต่อการ ดำรงชีวิตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) แม้ว่าพืชมีความต้องการน้อย แต่หากขาดธาตุใดธาตุหนึ่ง ไปพืชไม่อาจเจริญเติบโตตามปกติได้ (ยงยุทธ, 2546) เนื่องจากพืชมีความต้องการน้อยและมักพบมากใน ดินรวมทั้งจากการใส่ปุ๋ยก็จะได้ธาตุอาหารดังกล่าวมาด้วย จึงไม่เกิดการขาดยกเว้นแต่ว่าเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาเช่น พื้นที่ที่เป็นดินกรดจัด ความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมจะน้อย ขณะที่พื้นที่ดินปูนมักจะพบปัญหาการขาดจุลธาตุ (Bashour and sayegh, 2007) เป็นต้น การทราบถึงปริมาณความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารดังกล่าว นำไปสู่ การจัดการธาตุอาหารได้อย่างแม่นยำและเหมาะสมในการวิเคราะห์ธาตุอาหารดังกล่าวในห้องปฏิบัติการสามารถ ทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการชั่งน้ำหนัก การไตเตรท รวมทั้งการวัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งเป็นวิธีปัจจุบันที่ นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2553) แต่ว่าการวิเคราะห์ต้องใช้เวลาาน ดังนั้น ทางกลุ่มงาน จึงได้จัดทำชุดตรวจสอบธาตุรองและธาตุเสริมดังกล่าวขึ้น โดยการประยุกต์ใช้วิธีในห้องปฏิบัติการที่เป็นที่ยอมรับ และน่าเชื่อถือ หรือวิธีที่มีความสัมพันธ์สูงกับวิธีในห้องปฏิบัติการดังกล่าวมาพัฒนาจัดทำเป็นชุดตรวจสอบขึ้น ทั้งนี้ เพื่อให้เกษตรกรรวมทั้งผู้ที่ต้องการนำชุดตรวจสอบไปใช้ สามารถนำชุดทดสอบไปใช้ในภาคสนาม พร้อมทั้งแปลผล วิเคราะห์จากชุดตรวจสอบ ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การจัดการธาตุอาหารต่อไปพร้อมทั้งทดสอบความพึงพอใจการใช้งาน ในภาคสนามต่อไป

## 7. วิธีดำเนินการ

### อุปกรณ์

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- Atomic Absorption Spectrophotometer
- UV-vis Spectrophotometer
- สารเคมีเครื่องแก้วและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์
- ตัวอย่างดินที่มีปริมาณ Ca Mg S Fe ต่ำ กลาง และสูง

### วิธีการ

1) การศึกษาวิธีสกัดเดี่ยวที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน) และธาตุเสริม (เหล็ก) ในดิน

- เลือกนํ้ายาสกัดเดี่ยวที่เหมาะสมมาทำการสกัดตัวอย่างดิน โดยเลือกตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุอาหาร รอง (แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน) และธาตุเสริม (เหล็ก) ในดินแตกต่างกัน
- ทดสอบนํ้ายาสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กในดิน โดยใช้นํ้ายา สกัด Mehlich III เปรียบเทียบกับนํ้ายาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ นํ้ายาสกัด  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , DTPA

และ  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  ซึ่งใช้ในการสกัดแคลเซียม และแมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กตามลำดับ พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำยาสกัดเดี่ยว และน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- คัดเลือกตัวอย่างดินที่มีสมบัติแตกต่างกัน 3 กลุ่ม ตามกลุ่มเนื้อดิน คือ กลุ่มดินเนื้อละเอียด (Fine-textured soils) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (Medium-textured soils) กลุ่มดินเนื้อหยาบ (Coarse-textured soil) ใช้น้ำยาสกัดเดี่ยวที่คัดเลือกได้ แล้วเขย่าดินด้วยมือแทนการเขย่าด้วยเครื่อง จากนั้น เปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ กับชุดตรวจสอบอย่างง่าย

2) พัฒนาวิธีของชุดตรวจสอบโดยดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีดังกล่าวที่ประยุกต์ใช้ในชุดตรวจสอบและในห้องปฏิบัติการ

- จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดตรวจสอบดิน เช่น หลอดทดลอง ขั้ววางหลอดทดลอง ขวดเขย่า และรองรับสารละลายดิน และหลอดฉีดยา เป็นต้น
- ปรับอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ให้เหมาะสำหรับการใช้งานในรูปแบบของชุดตรวจสอบ โดยการทดสอบหาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เลือกใช้วิธี EDTA Titration method ปริมาณกำมะถันที่เป็นประโยชน์เลือกใช้วิธี Turbidimetric method และปริมาณเหล็กที่สกัดได้ เลือกใช้วิธี Phenanthroline method เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำให้เกิดสี หรือเห็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นชัดเจน

3) ทดสอบประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ โดยใช้ชุดตรวจสอบทดสอบตัวอย่างดิน จำนวนกว่า 200 ตัวอย่าง ประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ โดยหาค่าความแม่นยำ (accuracy) ความไว (Sensitivity) ความจำเพาะ (Specificity) ของชุดตรวจสอบ จากข้อมูลผลการทดสอบจากชุดตรวจสอบ (Expected results) และผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (Obtained results) โดยใช้ผลบวกจริง (TP) คือ ผลการทดสอบโดยใช้ชุดตรวจสอบให้ผลความเข้มข้นของสารทดสอบในตัวอย่างสูงตรงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลบวกปลอม (FP) คือ ผลการทดสอบโดยชุดตรวจสอบให้ผลความเข้มข้นสูงในขณะที่ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการให้ผลความเข้มข้นต่ำ ผลลบปลอม (FN) คือ ผลการทดสอบโดยชุดตรวจสอบให้ผลความเข้มข้นต่ำในขณะที่ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการให้ผลความเข้มข้นสูง และผลลบจริง (TN) คือ ผลการทดสอบโดยใช้ชุดตรวจสอบให้ผลความเข้มข้นต่ำตรงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และประเมินค่าสถิติ Kappa coefficient ( $\kappa$ ) เพื่อประเมินระดับของการยอมรับ หรือความน่าเชื่อถือ (Degree of agreement) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามตารางที่ 1 พร้อมทั้งประเมินค่าความแม่นยำของชุดตรวจสอบตามตารางที่ 2 ตามวิธีของ National Association of Testing Authorities, Australia; NATA (2018) และ Validation of proprietary chemical methods (test kits) ตามวิธีของ Association of Official Analytical Chemists; AOAC (2010) โดยมีสูตรในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{ความแม่นยำ (\% accuracy)} = \frac{(\text{TP} + \text{TN})}{(\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN})} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{ความไว (\% sensitivity)} &= \frac{TP}{(TP + FN)} \times 100 \\ \text{ความจำเพาะ (\% specificity)} &= \frac{TN}{(TN + FP)} \times 100 \\ \text{Kappa coefficient (K)} &= \frac{2 ((TP \times TN) - (FN \times FP))}{(TP+FN) (FN+TN) + (TP+FP) (FP+TN)} \end{aligned}$$

**ตารางที่ 1** ค่าสถิติ Kappa coefficient (K) เพื่อประเมินระดับของการยอมรับ หรือความน่าเชื่อถือ (Degree of agreement) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (AOAC, 2010; NATA, 2018)

ค่าสถิติ kappa (K) value	ประเมินระดับของการยอมรับ หรือความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบ
0–0.20	Poor agreement
0.21–0.40	Fair agreement
0.41–0.60	Moderate agreement
0.61–0.80	Good agreement
0.81–1.00	Very good agreement

ตารางที่ 2 ประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบจากค่าความแม่นยำ (% Accuracy) (WHO, 2006)

% Accuracy	Ranking	Rating	การประเมินประสิทธิภาพชุดตรวจสอบ
>90 to ≤100	A1	Excellent	Kit is almost perfect
>80 to ≤90	A2	Very Good	Kit requires very little intervention for up gradation
>70 to ≤80	B1	Good	Kit needs little improvement
>60 to ≤70	B2	Moderate	Kit needs considerable improvement
>50 to ≤60	C1	Average	Major interventions required for up gradation
>40 to ≤50	C2	Below Average	Major interventions required for up gradation
>30 to ≤40	D1	Poor	Lots of R&D inputs required for compliance with quality standards
>20 to ≤30	D2	Very Poor	Lots of R&D inputs required for compliance with quality standards
>10 to ≤20	E1	Very Poor	Lots of R&D inputs required for compliance with quality standards
≤ 10	E2	Very Poor	Lots of R&D inputs required for compliance with quality standards

4) ประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ พร้อมทั้งประเมินการเก็บรักษาชุดตรวจสอบเพื่อกำหนดอายุการใช้งานของชุดตรวจสอบ วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ระยะเวลา (เริ่มต้น-สิ้นสุด) ตุลาคม 2558 – กันยายน 2561

สถานที่ดำเนินงาน

กลุ่มงานวิเคราะห์ระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาวิธีสกัดเดี่ยวที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน) และธาตุเสริม (เหล็ก) ในดิน

ทดสอบน้ำยาสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กในดิน พบว่าน้ำยาสกัด Mehlich III สามารถให้ค่าวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเหล็กที่สกัดได้ ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับน้ำยาสกัดมาตรฐาน  $\text{NH}_4\text{OAc}$  และ DTPA ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ในขณะที่การสกัดกำมะถันในดิน พบว่าการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Mehlich III มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกับวิธีการสกัดดินด้วย  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  ตามตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดินได้โดยใช้น้ำยาสกัด Mehlich III และน้ำยาสกัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

น้ำยาสกัด	Ca (NH <sub>4</sub> OAc)	Mg (NH <sub>4</sub> OAc)	Fe (DTPA)	S (Ca <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )
Ca (Mehlich III)	0.947**	-	-	-
Mg (Mehlich III)	-	0.934**	-	-
Fe (Mehlich III)	-	-	0.851**	-
S (Mehlich III)	-	-	-	0.471
จำนวนตัวอย่าง (N)	60	67	56	70

จากการคัดเลือกน้ำยาสกัดดินทำให้ได้น้ำยาสกัด Mehlich III สำหรับสกัดแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก และได้น้ำยาสกัด Ca<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> สำหรับสกัดกำมะถันในดิน ทดลองสกัดดินในแต่ละเนื้อดินและวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยวิธี EDTA -Titration method วิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ด้วยวิธี phenanthroline Method และวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในดินด้วยวิธี Turbidity method และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ และกำมะถันในดิน พบว่าทุกกลุ่มเนื้อดินมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกว่าวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดินโดยวิธีที่จะใช้จัดทำชุดตรวจสอบและวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการในแต่ละกลุ่มเนื้อดิน (correlation coefficient: r)

กลุ่มเนื้อดิน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: r)			
	Ca (Mehlich III)	Mg (Mehlich III)	Fe (Mehlich III)	S (Ca <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )
ดินเนื้อละเอียด	0.895**	0.947**	0.986**	0.878**
ดินเนื้อปานกลาง	0.963**	0.897**	0.935**	0.867**
ดินเนื้อหยาบ	0.886**	0.938**	0.944**	0.912**

**พัฒนาวิธีของชุดตรวจสอบ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีดังกล่าวที่ประยุกต์ใช้ในชุดตรวจสอบและวิธีในห้องปฏิบัติการ**

พัฒนาชุดตรวจสอบแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ กำมะถัน และเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยดัดแปลงจากวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ดิน Methods of soil analysis (Sparks *et al*, 1996) โดยจัดทำเป็นชุดตรวจสอบเชิงกึ่งปริมาณ (Semi-quantitative) พัฒนาการเทียบสีโดยใช้แผ่นเทียบสี (Paper Strip/Colorimetric Strip) โดยใช้สีของปฏิกิริยาเคมีที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดิน อ่านผลจากแผ่นเทียบสี นำผลการทดสอบที่ได้ชุดตรวจสอบไปปรับให้สอดคล้องกับผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ พัฒนาจนสามารถแยกสีได้ชัดเจนตามระดับความเข้มข้น และสอดคล้องกับคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 วิธีวิเคราะห์ และการทำปฏิกิริยาที่ใช้ในการจัดทำของชุดตรวจสอบ

ชุดตรวจสอบ	วิธีวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์ และการทำปฏิกิริยาของชุดตรวจสอบ
แคลเซียม	EDTA Titration	<b>Colour:</b> Reaction Ca and EDTA with Murexide Indicator form pink to wine-red complex at pH 12
แมกนีเซียม	EDTA Titration	<b>Colour:</b> Reaction Mg and EDTA with Eriochrome black T (EBT) Indicator form Blue-green to Wine-red at pH 10
กำมะถัน	Turbidimetric method	<b>Turbidity:</b> Sulfate reaction with barium chloride to form an insoluble barium sulfate salt which produces turbidity.
เหล็ก	Phenanthroline method	<b>Colour:</b> Iron reaction with O-phenanthroline to form an orange-red coloured complex.

จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดตรวจสอบ เช่น หลอดทดลอง ขั้ววางหลอดทดลอง ขวดเขย่าและรองรับสารละลายดิน และหลอดฉีดยา เป็นต้น ปรับอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ให้เหมาะสำหรับการใช้งานในรูปแบบของชุดตรวจสอบ จนได้สัดส่วนของตัวอย่างดิน และสารเคมี และขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับชุดตรวจสอบดังต่อไปนี้

1. ชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเหล็กที่สกัดได้ ใช้วิธีดัดแปลงปรับสัดส่วนของน้ำยาสกัด วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยวิธี EDTA -Titration วิเคราะห์ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ด้วยวิธี phenanthroline Method
  - ขั้นตอนการสกัด ดังนี้
    - 1) ตวงดินขนาด 2.5 g ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็ก
    - 2) น้ำยาสกัด Mehlich III ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
    - 3) เขย่าเป็นเวลา 5 นาที
    - 4) ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้ดินตกตะกอน
  - ขั้นตอนวัดปริมาณ ดังนี้
 

แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

    - 1) ดูดสารละลายดินส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็ก
    - 2) เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร
    - 3) เติมสารละลาย NaOH 0.5 มิลลิลิตร
    - 4) เติมผงอินดิเคเตอร์ Merexide 0.1 g
    - 5) เติมสาร EDTA 0.01 M ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
    - 6) เขย่าให้เข้ากันแล้วเทียบสีกับสารละลายมาตรฐาน สารละลายจะมีสีม่วงเข้มจากมากไปน้อยตามความเข้มข้นต่ำไปความเข้มข้นสูง

แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้



- 1) ดูดสารละลายดินส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็ก
- 2) เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร
- 3) เติมสารละลาย NaOH 0.5 มิลลิลิตร
- 4) เติมอินดิเคเตอร์ Eriochrom Black T จำนวน 1 หยด
- 5) เติมสาร EDTA 0.01 M ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- 6) เขย่าให้เข้ากันแล้วเทียบสีกับสารละลายมาตรฐาน สารละลายจะมีสีฟ้าเขียวเข้มจากมากไปน้อยตามความเข้มข้นต่ำไปความเข้มข้นสูง

#### เหล็กที่สกัดได้

- 1) ดูดสารละลายดินส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็ก
- 2) เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร
- 3) เติมสารละลาย Bromophenol Blue จำนวน 2 หยด
- 4) เติม Sodium citrate จำนวน 2 หยด
- 5) เติมสาร Hydroxylamine hydrochloride 0.5 มิลลิลิตร
- 6) เติมสาร O-phenantroline 0.5 มิลลิลิตร
- 7) เขย่าให้เข้ากันแล้วเทียบสีกับสารละลายมาตรฐาน สารละลายจะมีสีแดงส้มจากอ่อนไปเข้มตามความเข้มข้นจากต่ำไปสูง

## 2. ชุดตรวจสอบกำมะถันในดิน ใช้วิธีดัดแปลงปรับสัดส่วนของการสกัดดินด้วย $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$ และวิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธี Turbidity Method

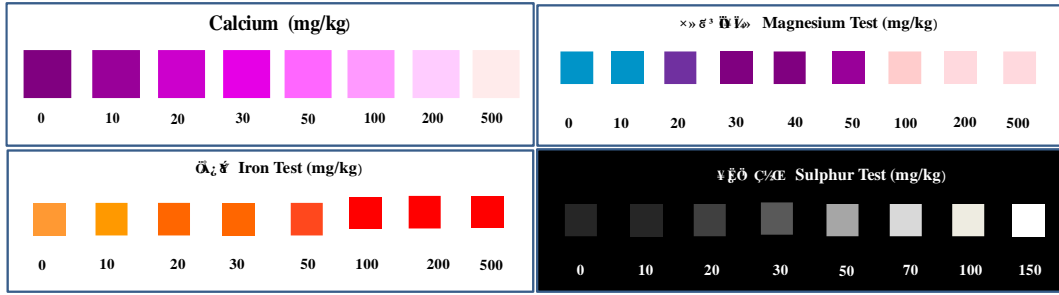
### - ขั้นตอนการสกัด ดังนี้

- 1) ตวงดินขนาด 5 g ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็ก
- 2) น้ำยาสกัด  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
- 3) เขย่าเป็นเวลา 5 นาที

### - ขั้นตอนวัดปริมาณ ดังนี้

- 1) ดูดสารละลายดินส่วนใสมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็ก
- 2) เติม  $\text{BaCl}_2$  0.5 g
- 3) เติม Gum Acacia 0.5 มิลลิลิตร
- 4) เขย่าให้เข้ากันแล้วสังเกตความขุ่นของสารละลาย เทียบกับสารละลายมาตรฐาน โดยมีความขุ่นจากน้อยไปหามากตามความเข้มข้นต่ำไปสูง

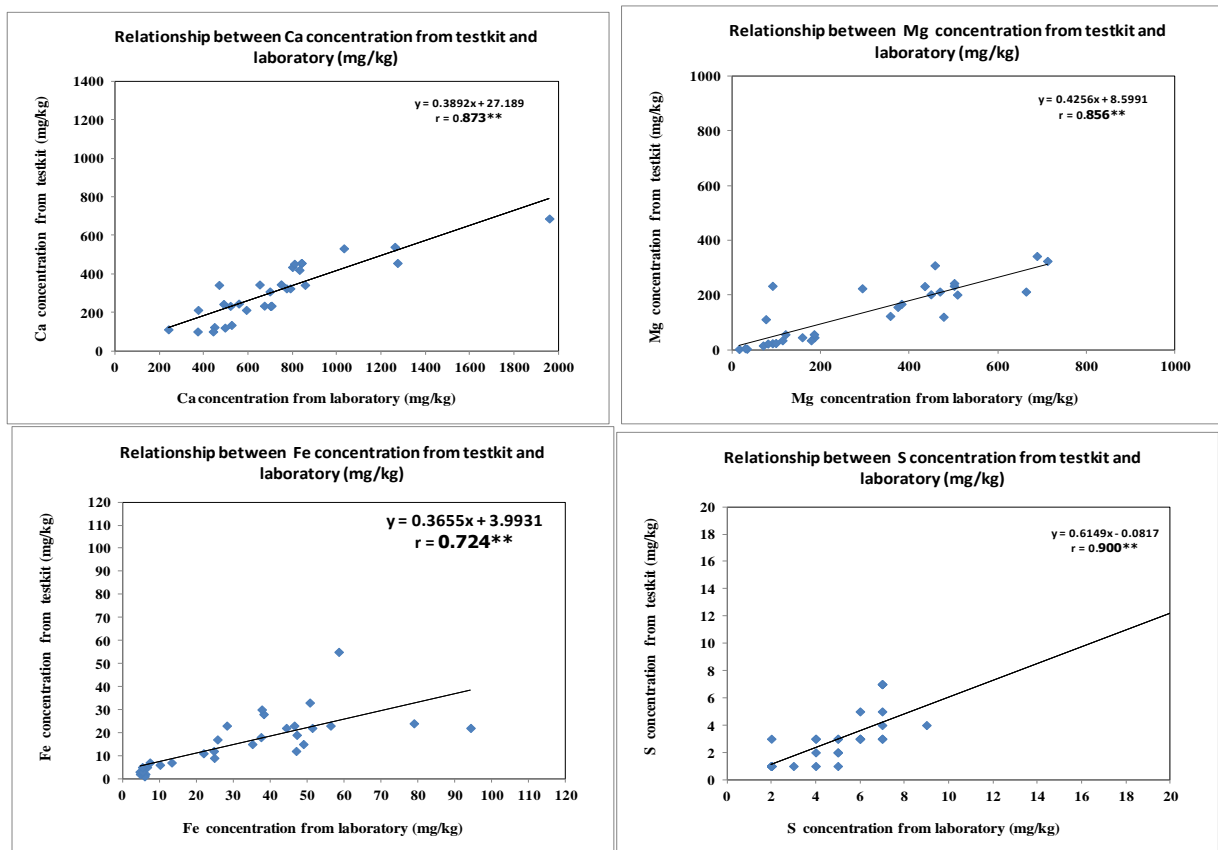
จากนั้นจัดทำแผ่นเทียบสี นำผลการทดสอบสีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างตัวอย่างดิน น้ำยาสกัด และสารเคมีสำหรับวัดปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก และกำมะถัน ไปปรับให้สอดคล้องกับผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ พัฒนาจนสามารถแยกสีได้ชัดเจนตามระดับความเข้มข้น และนำไปทดสอบการใช้งาน (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผ่นเทียบสี สำหรับวัดปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก และกำมะถัน

**ทดสอบการใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดินเบื้องต้น**

ทดสอบการใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่ายวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดิน หาสหสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดิน โดยใช้ชุดตรวจสอบและวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่าวิเคราะห์วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดินมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.873\*\* 0.856\*\* 0.724\*\* และ 0.900\*\* ตามลำดับ ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดิน โดยวิธีชุดตรวจสอบและวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 6 การทดสอบความถูกต้องของชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยผู้ใช้งานจำนวนมากกว่า 20 ราย

Ranges	Calcium test kit			no. of samples	Magnesium test kit			no. of samples
	False (-)	False (+)	True		False (-)	False (+)	True	
0 - 100 mg/kg	7 (35%)	3 (15%)	10 (50%)	20 (100%)	6 (30%)	3 (15%)	11 (55%)	20 (100%)
100 - 500 mg/kg	3 (15%)	3 (15%)	14 (70%)	20 (100%)	5 (25%)	5 (25%)	10 (50%)	20 (100%)
>500 mg/kg	6 (30%)	4 (20%)	10 (50%)	20 (100%)	5 (25%)	5 (25%)	10 (50%)	20 (100%)

Total	16 (27%)	10 (17%)	34 (56%)	60 (100%)	16 (27%)	13 (22%)	31 (52%)	60 (100%)
-------	----------	----------	----------	-----------	----------	----------	----------	-----------

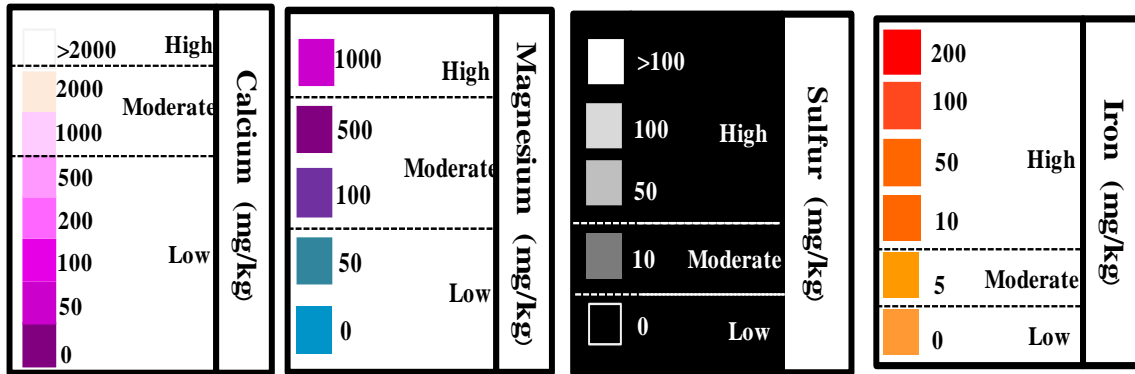
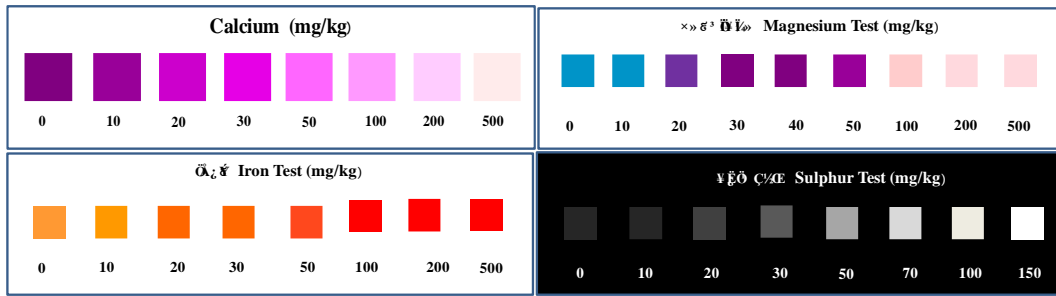
ทดสอบความถูกต้องของการใช้งานชุดตรวจสอบในการวิเคราะห์กำมะถัน และเหล็กในดิน โดยใช้ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นโดยผู้ใช้งานชุดตรวจสอบจำนวนมากว่า 30 ราย ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตามช่วงความเข้มข้น 0 – 25, 25 - 50 และมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อต่อกิโลกรัม พบว่า ผลการวิเคราะห์ชุดตรวจสอบวิเคราะห์กำมะถัน มีความถูกต้องร้อยละ 60, 75 และ 55 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์เหล็กด้วยชุดตรวจสอบมีความถูกต้องร้อยละ 70, 60 และ 75 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

**ตารางที่ 7** การทดสอบความถูกต้องของชุดตรวจสอบเหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดิน โดยผู้ใช้งานจำนวนมากว่า 20 ราย

Ranges	Sulphur test kit			no. of samples	Iron test kit			no. of samples
	False (-)	False (+)	True		False (-)	False (+)	True	
0 - 25 mg/kg	5 (25%)	3 (15%)	12 (60%)	20 (100%)	3 (15%)	3 (15%)	14 (70%)	20 (100%)
25 - 50 mg/kg	3 (15%)	2 (10%)	15 (75%)	20 (100%)	3 (15%)	5 (25%)	12 (60%)	20 (100%)
>50 mg/kg	3 (15%)	6 (30%)	11 (55%)	20 (100%)	2 (10%)	3 (15%)	15 (75%)	20 (100%)
Total	11 (18%)	11 (18%)	38 (64%)	60 (100%)	8 (13%)	11 (18%)	41 (69%)	60 (100%)

จากผลการใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียม เหล็ก และกำมะถันในดิน จากผู้ใช้งานจำนวนมากว่า 30 คน พบว่า ผลการวิเคราะห์ชุดตรวจสอบวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียม เหล็ก และกำมะถันในดิน มีความถูกต้องร้อยละ 56, 52, 64 และ 69 ตามลำดับ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงและพัฒนาให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยใช้ชุดตรวจสอบทดสอบตัวอย่างดินเพิ่มขึ้นและปรับปรุงแผ่นเทียบสีให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น (ตารางที่ 7)

ปรับปรุงแผ่นเทียบสีของชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน เหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และกำมะถันในดิน โดยระบุเกณฑ์ทั่วไป ต่ำ ปานกลาง สูง เพื่อให้สอดคล้องกับค่าวิเคราะห์ดินและการใส่ปุ๋ยของพืช ดังนี้



ภาพที่ 3 การปรับปรุงแผ่นเทียบสีของชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน เหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และกำมะถันในดิน ที่สอดคล้องกับคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

หลังจากปรับปรุงชุดตรวจสอบและแผ่นเทียบสี ทดสอบการใช้งาน โดยนำชุดตรวจสอบอย่างง่ายไปให้เกษตรกร และผู้สนใจ จำนวน 39 ราย ทดสอบใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่ายโดยเก็บอย่างดิน คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำมาทดสอบโดยไม่ฝังดินให้แห้ง ความชื้นดินประมาณ 3 – 15 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

1) ทดสอบความถูกต้องของการใช้งานชุดตรวจสอบในการวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียมในดิน โดยใช้ชุดตรวจสอบและแผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้นโดยผู้ใช้งานชุดตรวจสอบจำนวนมากกว่า 41 ราย จำนวนตัวอย่างดิน 100 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตามช่วงความเข้มข้น 0 – 100, 100 – 500, 500 – 1,000 และมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อต่อกิโลกรัม พบว่า ผลการใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์แคลเซียม มีความถูกต้องร้อยละ 55, 72, 59 และ 64 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์แมกนีเซียมด้วยชุดตรวจสอบมีความถูกต้องร้อยละ 56, 64, 69 และ 64 ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การทดสอบความถูกต้องของชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยผู้ใช้งานจำนวน 41 ราย ตัวอย่างดิน 100 ตัวอย่าง

Ranges	Calcium test kit			no. of samples	Magnesium test kit			no. of samples
	False (-)	False (+)	True		False (-)	False (+)	True	
0 - 100 mg/kg	6 (34%)	2 (11%)	10 (55%)	18 (100%)	4 (22%)	4 (22%)	10 (56%)	18 (100%)
>100 - 500 mg/kg	3 (14%)	3 (14%)	16 (72%)	22 (100%)	4 (18%)	4 (18%)	14 (64%)	22 (100%)

>500-1000 mg/kg	6 (19%)	7 (22%)	19 (59%)	32 (100%)	9 (28%)	1 (3%)	22 (69%)	32 (100%)
>1000 mg/kg	6 (21%)	4 (14%)	18 (64%)	28 (100%)	7 (25%)	3 (11%)	18 (64%)	28 (100%)
<b>Total</b>	<b>21 (21%)</b>	<b>16 (16%)</b>	<b>63 (63%)</b>	<b>100 (100%)</b>	<b>24 (24%)</b>	<b>12 (12%)</b>	<b>64 (64%)</b>	<b>100 (100%)</b>

2) ทดสอบความถูกต้องของการใช้งานชุดตรวจสอบในการวิเคราะห์กำมะถัน และเหล็กในดิน โดยใช้ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นโดยผู้ใช้งานชุดตรวจสอบโดยผู้ใช้งานจำนวน 41 ราย จำนวนตัวอย่างดิน 100 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตามช่วงความเข้มข้น 0 – 25, 25 – 50, 50-100 และมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ผลการวิเคราะห์ชุดตรวจสอบวิเคราะห์กำมะถัน มีความถูกต้องร้อยละ 55, 62, 53 และ 62 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์เหล็กด้วยชุดตรวจสอบมีความถูกต้องร้อยละ 57, 64, 84 และ 79 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

**ตารางที่ 9** การทดสอบความถูกต้องของชุดตรวจสอบเหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดิน โดยผู้ใช้งานจำนวน 41 ราย ตัวอย่างดิน 100 ตัวอย่าง

Ranges	Sulphur test kit			no. of samples	Iron test kit			no. of samples
	False (-)	False (+)	True		False (-)	False (+)	True	
0 - 25 mg/kg	4 (20%)	5 (25%)	11 (55%)	20 (100%)	2 (11%)	4 (22%)	10 (57%)	18 (100%)
>25 - 50 mg/kg	3 (14%)	5 (24%)	13 (62%)	21 (100%)	4 (18%)	5 (23%)	14 (64%)	22 (100%)
>50-100mg/kg	6 (19%)	9 (28%)	17 (53%)	32 (100%)	4 (13%)	1 (3%)	22 (84%)	32 (100%)
>100 mg/kg	5 (19%)	5 (19%)	17 (62%)	27 (100%)	4 (14%)	2 (7%)	22 (79%)	28 (100%)
<b>Total</b>	<b>18 (18%)</b>	<b>24 (24%)</b>	<b>58 (58%)</b>	<b>100 (100%)</b>	<b>14 (14%)</b>	<b>12 (12%)</b>	<b>74 (74%)</b>	<b>100 (100%)</b>

จากผลการใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียม เหล็ก และกำมะถันในดิน จากผู้ใช้งานจำนวนกว่า 41 คน พบว่า ผลการวิเคราะห์ชุดตรวจสอบวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียม เหล็ก และกำมะถันในดิน มีความถูกต้องร้อยละ 63, 64, 58 และ 74 ตามลำดับ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงและพัฒนาให้มีความถูกต้องมากขึ้น เพื่อเพิ่มจำนวนตัวอย่างและจำนวนผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ และทดสอบประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ

**ทดสอบประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กที่สกัดได้ และกำมะถันในดิน**

1) ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบโดยใช้ชุดตรวจสอบและผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) พบว่า ผลการทดสอบตัวอย่างดินด้วยชุดตรวจสอบมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มากกว่า 0.80 ทุกชุดตรวจสอบ และสามารถใช้งาน Linear regression ประเมินผลการทดสอบด้วยชุดตรวจสอบได้ใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการมากขึ้น (ตารางที่ 9)

**ตารางที่ 9** ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบโดยใช้ชุดตรวจสอบและผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการของการทดสอบตัวอย่างดินมากกว่า 80 ตัวอย่าง

DOA	Test kits	Regression equation	Correlation coefficients	Number of Sample
	Ca	$y = 0.9759x + 1.3812$	0.847*	83
	Mg	$y = 0.9816x + 1.3695$	0.884*	82
	S	$y = 0.9230x + 4.1926$	0.893*	83
	Fe	$y = 0.9406x + 3.5579$	0.830*	92

2) การใช้ชุดตรวจสอบทดสอบตัวอย่างดินของเกษตรกร จำนวนกว่า 80 ตัวอย่าง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ โดยหาค่าความแม่นยำ (accuracy) ความไว (Sensitivity) ความจำเพาะ (Specificity) และประเมินค่าสถิติ Kappa coefficient (K) เพื่อประเมินระดับของการยอมรับ หรือความน่าเชื่อถือ (Degree of agreement) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พร้อมทั้งประเมินค่าความแม่นยำของชุดตรวจสอบ ผลการทดสอบ พบว่า การใช้ชุดตรวจสอบทดสอบปริมาณแคลเซียมแมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก ในดิน 83, 82, 83 และ 92 ตัวอย่าง ตามลำดับ เปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยวิธีห้องปฏิบัติการ (ตารางที่ 10) ผลจากการวิเคราะห์ค่าสถิติของการตรวจด้วยชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดตรวจสอบมีความแม่นยำ เท่ากับ 79.5%, 78.0%, 82.1% และ 88.0% ตามลำดับ มีความไว เท่ากับ 75.0%, 61.8%, 69.2% และ 95.9% ตามลำดับ และมีความจำเพาะ เท่ากับ 62.1%, 80.8%, 90.0% และ 89.7% ตามลำดับ ทดสอบความน่าเชื่อถือโดยใช้สถิติ Kappa coefficient (κ) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.53, 0.53, 0.64 และ 0.60 ตามลำดับ ประเมินความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดตรวจสอบกำมะถัน มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดี (Good agreement) ในขณะที่ชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก มีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Moderate agreement) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยต่ำสุดที่ชุดตรวจสอบ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็ก สามารถตรวจวัดได้ เท่ากับ 80, 10, 1.0 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

**ตารางที่ 10** ค่าความแม่นยำ (accuracy) ความไว (Sensitivity) ความจำเพาะ (Specificity) และประเมินค่าสถิติ Kappa coefficient (K) เพื่อประเมินระดับของการยอมรับ หรือความน่าเชื่อถือ (Degree of agreement) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Test Kits	Test kit Expected results	Laboratory obtained results		LOD	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Kappa coefficient (κ)	Test kit agreement
		No. Positive	No. Negative						
		TP (a)	FN (b)						
Ca	No. Positive	TP (a) = 18	FP (c) = 11	80	79.5	75.0	62.1	0.53	Moderate agreement
	No. Negative	FN (b) = 6	TN (d) = 48						
Mg	No. Positive	TP (a) = 21	FP (c) = 5	10	78.0	61.8	80.8	0.53	Moderate agreement
	No. Negative	FN (b) = 13	TN (d) = 43						
S	No. Positive	TP (a) = 27	FP (c) = 3	1.0	82.1	69.2	90.0	0.64	Good agreement
	No. Negative	FN (b) = 12	TN (d) = 42						
Fe	No. Positive	TP (a) = 70	FP (c) = 8	0.5	88.0	95.9	89.7	0.60	Moderate agreement
	No. Negative	FN (b) = 3	TN (d) = 11						

หมายเหตุ : TP (a) = True positive    FN (b) = False negative    FP (c) = False positive    TN (d) = True negative

3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นกับชุดตรวจสอบอื่นทั้งที่ผลิตในประเทศไทยและต่างประเทศ ทดสอบตัวอย่างดิน ตามตารางที่ 11 พบว่าชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กที่พัฒนาขึ้น มีค่าสถิติ Kappa coefficient (κ) อยู่ระหว่าง 0.53 - 0.64 ประเมินความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบอยู่



ในระดับปานกลางถึงดี มีค่าความแม่นยำ อยู่ในช่วง 78.0% - 88.0% ประเมินความใช้ได้ของชุดตรวจสอบ อยู่ในระดับดีถึงดีมาก ในขณะที่ชุดตรวจสอบอื่นๆ มีค่าสถิติ Kappa coefficient (**K**) อยู่ระหว่าง 0.10 - 0.70 ประเมินความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบอยู่ในระดับพอใช้ถึงดี มีค่าความแม่นยำ อยู่ในช่วง 56.7% - 85.0% ประเมินความใช้ได้ของชุดตรวจสอบ พบว่า อยู่ในระดับปานกลางถึงดีมาก จะเห็นได้ว่าชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น มีความน่าเชื่อถือสูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดตรวจสอบอื่นๆ โดยเฉพาะชุดตรวจสอบเหล็กในดิน

**ตารางที่ 11** เปรียบเทียบประสิทธิภาพและต้นทุนการวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นกับชุดตรวจสอบอื่นๆ

Test kit	Statistical metric value				Usage value			
	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Kappa ( <b>K</b> )	n	No. of samples can be processed per kit	Test kit cost/sample (THB)	storage time (years)	Lab cost/sample (THB)
DOA	79.5	75.0	0.53	83	20	61.24	0.5	
Ca <sup>a</sup> Other 1	56.7	80.0	0.10	47	100	85.00	-	200
Ca <sup>a</sup> Other 2 (digital)	76.7	88.9	0.22	47	-	-	-	
Mg DOA	78.0	61.8	0.53	82	20	61.24	0.5	200
Mg Other	-	-	-	-	-	-	-	
S DOA	82.1	69.2	0.64	83	20	56.80	1	
S <sup>a</sup> Other 1	77.8	40.0	0.05	30	100	85.00	-	250
S <sup>a</sup> Other 2	77.3	80.0	0.51	30	50	80.00	-	
Fe DOA	88.0	95.9	0.60	92	20	50.78	1	200
Fe <sup>a</sup> Other	85.0	90.0	0.70	20	50	85.00	-	

หมายเหตุ : <sup>a</sup> = Japan, Germany or USA manufactured test kit    n = number of samples

4) เปรียบเทียบขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบ ตามตารางที่ 12 และ 13 พบว่าชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาขึ้น มีขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยาก 5 - 7 ขั้นตอน ใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาที โดยใช้อุปกรณ์ในการทดสอบ 4 - 8 ชิ้น ซึ่งทำให้การใช้ชุดตรวจสอบไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในขณะที่ชุดตรวจสอบอื่นใช้เวลาในการตรวจสอบนาน 10 นาที และจากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็ก ด้วยชุดตรวจสอบพบว่ามีความวิเคราะห์ ถูกกว่าส่งตัวอย่างวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าวิเคราะห์ต่อตัวอย่าง 200 - 250 บาท นอกจากนี้ชุดตรวจสอบธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริม ได้แก่ ชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็ก เป็นชุดตรวจสอบที่ยังไม่มีหน่วยงานใดในประเทศไทยผลิตขึ้นเพื่อใช้งาน ทั้งนี้ชุดตรวจสอบที่ผลิตขึ้นสามารถให้ผลการทดสอบที่เป็นเชิงปริมาณ โดยบอกทั้งปริมาณเป็นตัวเลข พร้อมทั้งมีแถบสีบอกปริมาณต่ำ กลาง สูง

**ตารางที่ 12** เปรียบเทียบขั้นตอน อุปกรณ์ และเวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นกับชุดตรวจสอบอื่น

Test kit	Method	procedure	reading	Material (piece)	Time (min)	Advantage of DOA Test kit	
Ca	DOA	EDTA Titration	5 steps	0-2,000 mg/kg	6	5	First manufacturer in Thailand
	Other	EDTA Titration	7 steps	0-500 mg/kg	7	10	-
Mg	DOA	EDTA Titration	7 steps	0-1,000 mg/kg	8	5	First manufacturer in Thailand
	Other	-	-	-	-	-	-
S	DOA	Turbidimetric method	5 steps	0-100 mg/kg	5	5	First manufacturer in Thailand
	Other	Turbidimetric method	7 steps	0-100 mg/kg	10	10	-
Fe	DOA	Phenanthroline method	5 steps	0-200 mg/kg	7	5	First manufacturer in Thailand
	Other	Phenanthroline method	5 steps	0-200 mg/kg	9	10	-

**ตารางที่ 13** เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบกับวิธีของห้องปฏิบัติการ

วิธีของ Test Kit	วิธีของห้องปฏิบัติการ
1. ใช้เวลาในการตรวจสอบประมาณ 5 นาที	1. ใช้เวลาในการวิเคราะห์ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง
2. วิธีการตรวจใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ง่าย สะดวก และราคาไม่แพง ได้แก่	2. วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้งานยาก และมีราคาแพง ได้แก่
2.1 ข้อนพลาสติกขนาดเล็ก	2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2.2 หลอดฉีดยา	2.2 Burette และ Pipette
2.3 ขวดทำปฏิกิริยาขนาดเล็ก	2.3 เครื่องวิเคราะห์ AAS, ICP
3. ผู้ใช้ไม่ต้องเป็นผู้มีความชำนาญมาก่อนเกษตรกรสามารถตรวจสอบได้เอง	3. ผู้ใช้ต้องเป็นผู้ที่มีความชำนาญ ละเอียด ในทุกขั้นตอนการวิเคราะห์
4. มีความถูกต้อง และแม่นยำ น้อยกว่าวิธีของห้องปฏิบัติการ	4. มีความถูกต้อง และแม่นยำ มากกว่าวิธีของชุดตรวจสอบ
5. ใช้ตรวจสอบตัวอย่างทดสอบต้องไม่สลับซับซ้อน	5. สามารถวิเคราะห์ได้ทุกตัวอย่าง

- |  |  |
|--|--|
| 6. ต้นทุนการผลิต มีราคา 58.84 บาท ต่อ 1 ตัวอย่าง กล่องบรรจุ มี 2 ขนาด คือกล่องเล็ก ตรวจสอบได้ 10 ตัวอย่าง กล่องใหญ่ ตรวจสอบได้ 20 ตัวอย่าง | 6. ค่าธรรมเนียมการให้บริการตรวจวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ ราคา 200-250 บาท ต่อ 1 ตัวอย่าง              |
| 7. ชุดตรวจสอบมีขนาดพกพา สามารถใช้ในภาคสนาม   | 7. ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรต้องเดินทางมาส่งตัวอย่างที่กลุ่มวิจัยเกษตรเคมีและรอยคยผลวิเคราะห์เป็นเวลานาน |

### ประเมินการเก็บรักษาชุดตรวจสอบ ต้นทุนการผลิต และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

1) ประเมินการเก็บรักษา และต้นทุนการผลิตชุดตรวจสอบ (ตารางที่ 11) จากการทดสอบอายุการเก็บรักษาของชุดตรวจสอบโดยนำมาทดสอบทุกเดือน พบว่าน้ำยาทดสอบที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน ถึง 12 เดือน หากมีการเก็บรักษาเกินระยะเวลาจะทำให้สีของน้ำยาทดสอบมีสีเข้มขึ้นบ้างเล็กน้อย ทำให้ยากต่อการมองการเปลี่ยนแปลงของสี ทั้งนี้อาจศึกษาการเก็บชุดตรวจสอบไว้ที่ตู้เย็นเพิ่มเติม ซึ่งอาจช่วยยืดระยะเวลาการเก็บน้ำยาทดสอบได้นานขึ้น การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดตรวจสอบของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร มีต้นทุนค่าวิเคราะห์ต่อตัวอย่าง 58.84 บาท ในขณะที่ชุดตรวจสอบอื่นๆ มีค่าวิเคราะห์ต่อหนึ่งตัวอย่าง 85.00 บาท ซึ่งประหยัดกว่าการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่มีราคาค่าวิเคราะห์ 150 - 250 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบด้านราคาพบว่า ชุดตรวจสอบของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรราคาถูกกว่าชุดตรวจสอบอื่นในห้องตลาดถึงร้อยละ 61

2) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ ภาพรวมของชุดตรวจสอบธาตุอาหารพืชในดิน และชุดตรวจสอบคุณภาพน้ำทางการเกษตร พบว่า ผู้ใช้งานทั้งหมดมีความพึงพอใจในภาพรวมเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80 โดยผลการประเมินความพึงพอใจด้านความปลอดภัยของชุดตรวจสอบมีผลความพึงพอใจน้อยเฉลี่ยร้อยละ 57 โดยเฉพาะชุดตรวจสอบแมกนีเซียมซึ่งใช้น้ำยาทดสอบหลายตัว และก้ามะถันใช้วิธีวิเคราะห์โดยทำให้สารละลายขุ่น ซึ่งอาจทำให้เกษตรกรผู้ใช้งานซึ่งไม่มีความรู้ความเข้าใจ หรือเคยใช้ชุดตรวจสอบมาก่อน เกิดความกังวลด้านความปลอดภัยได้ ถึงแม้ว่าสารเคมีที่ใช้จะปลอดภัยต่อผู้ใช้งานก็ตาม ทั้งนี้ในการจัดทำชุดตรวจสอบได้มีการจัดทำคู่มือการใช้งานชุดตรวจสอบให้แก่เกษตรกรเพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานมากขึ้น และผลการสำรวจความพึงพอใจ 4 ข้อ ผู้ทดสอบรายงาน ดังนี้

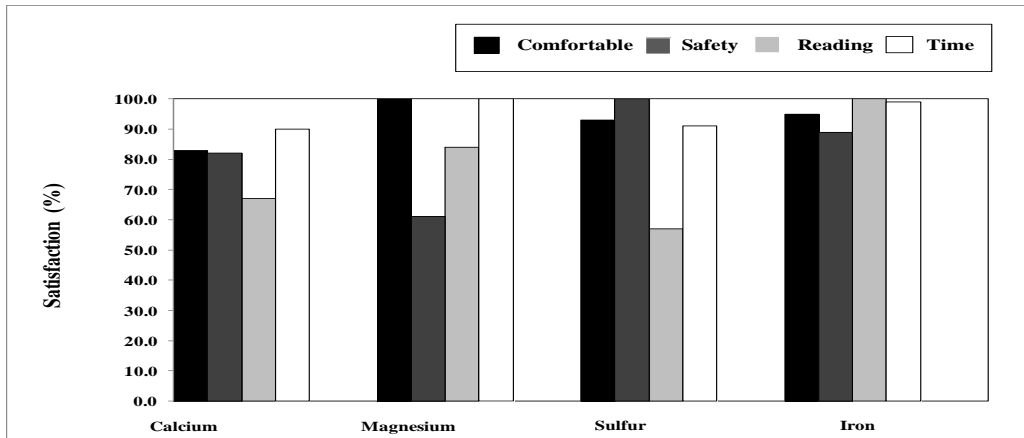
จากการใช้งานชุดตรวจสอบวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียม ก้ามะถัน และเหล็กในดิน พบว่า ผู้ใช้งานทั้งหมด เห็นว่า ชุดตรวจสอบมีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่มีความง่าย ร้อยละ 82, 100, 93 และ 95 ตามลำดับ

ในขณะที่ความพึงพอใจด้านความปลอดภัย พบว่าผู้ใช้งานชุดแคลเซียม และแมกนีเซียม ก้ามะถัน และเหล็กในดิน มีความพึงพอใจร้อยละ 81, 60, 100 และ 87 ตามลำดับ

ทดสอบความพึงพอใจด้านการอ่านผลการทดสอบ พบว่า ผู้ใช้งานทั้งหมดเห็นว่าชุดตรวจสอบสามารถอ่านผลวิเคราะห์ได้ง่าย โดยผู้ใช้งานชุดแคลเซียม และแมกนีเซียม ก้ามะถัน และเหล็กในดิน มีความพึงพอใจ ร้อยละ 68, 82, 58 และ 100 ตามลำดับ

ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการใช้เวลาวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดแคลเซียม และแมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กในดิน สามารถวิเคราะห์ได้อย่าง ร้อยละ 89, 100, 90 และ 100 ตามลำดับ

ภาพรวมของชุดตรวจสอบอย่างง่ายแคลเซียม และแมกนีเซียม เหล็ก และกำมะถันในดิน พบว่า ผู้ใช้งานทั้งหมดเห็นว่า ขนาดของชุดตรวจสอบมีความเหมาะสมสามารถพกพาได้สะดวก และทราบผลการทดสอบรวดเร็ว วิธีการใช้งานง่ายและสามารถปฏิบัติตามได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง



ภาพที่ 4 การสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานชุดตรวจสอบอย่างง่ายวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กในดิน





ภาพที่ 5 ชุดตรวจสอบอย่างง่ายวิเคราะห์แคลเซียม และแมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กในดิน

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารพืชในดิน เป็นชุดที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ที่จะสามารถนำมาใช้งานได้จริงในภาคสนาม เพื่อประกอบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยประเมินความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบจากค่าความแม่นยำ พบว่ามีความแม่นยำร้อยละ 72.9 - 88.0 อยู่ในระดับดีถึงดีมาก รวมทั้งประเมินความน่าเชื่อถือโดยใช้ค่าสถิติ Kappa coefficient (K) มีค่าอยู่ในช่วง 0.53 - 0.64 ซึ่งถือว่าชุดตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์การยอมรับระดับปานกลางถึงดี ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบพบว่า มีขั้นตอนใช้งานไม่ซับซ้อน ใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 5 นาที มีต้นทุนค่าวิเคราะห์ต่อตัวอย่างเฉลี่ย 58.84 บาท ในขณะที่ชุดตรวจสอบอื่นมีต้นทุนต่อตัวอย่างเฉลี่ย 85.00 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับด้านราคาพบว่า ชุดตรวจสอบของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรราคาถูกกว่าชุดตรวจสอบอื่นในท้องตลาดถึงร้อยละ 44 ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้

## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1) หน่วยงานของกรมวิชาการเกษตรใช้เพื่อสนับสนุนบริการประชาชน เช่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1-8 และกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและน้ำ

2) เกษตรกร หรือนักวิชาการสามารถนำชุดตรวจสอบไปใช้ เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินเบื้องต้น เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน และน้ำให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด เพื่อให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

## 11. เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. 2553. คู่มือวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. 79 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ

ยงยุทธ โอสภสกา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ.

Bashour, I.I. and A.H. Sayegh. 2007. Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-arid Region. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp. 128.

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2010. Protocol describes validation of proprietary chemical methods (test kits). NordVal Protocol No. 2. Washington, DC.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper 29 Rev 1. FAO Rome. 188 p.
- National Association of Testing Authorities (NATA). 2018. Validation and verification of quantitative and qualitative test methods. Australia. 31p.
- Sparks D. L., A. L. Page, P.A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, M. E. Sumnerane. 1996. Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods: Madison, WI, Soil Science Society of America, Soil Science Society of America Book Series Number 5, 494 p.
- World Health Organization (WHO). 2006. QC Qualitative and Semi-quantitative Procedures. World Health Organization, Geneva. 564 p.