

**การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดิน
โดยใช้เซนเซอร์กระดาษทดสอบและเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน**
**Development of Organic matter, Phosphorus and Potassium, Soil Test Kit
using Reactive Paper/Active Sensor Paper-Strip
and a Smartphone Web Application**

สุภา โพธิจันทร์^{1*} กัญธนา คล้ายแก้ว^{1/} สงกรานต์ มะลิสอน^{1/} จิตติรัตน์ ชูชาติ^{1/} อัจจิมา ควรสงวน^{1/} ญาณธิชา จิตต์สะอาด^{1/}
พจมาลย์ ภูสาร^{1/} กอริอะ บิลลี่^{1/} วิชฌณีย์ ออมทรัพย์สิน^{2/} จีรรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์^{1/}
Supha Photichan^{1*} Kanthana Klaigaew^{1/} Songkrant Malisom^{1/} Jittirat Choochart^{1/} Autjima Kumsa-Ngwan^{1/}
Yanthicha Jittsa-aad^{1/} Pojjamarn Poosam^{1/} Koreeah Binlee^{1/} Vichanee Ormzubsin^{2/} Charirat Kusonwiriawong^{1/}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน โดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์กระดาษทดสอบและแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน เพื่อให้สามารถอ่านและแปลผลได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ พร้อมเชื่อมโยงกับระบบให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยผ่านเว็บแอปพลิเคชันแบบอัตโนมัติ การพัฒนาดังกล่าวเป็นการต่อยอดจากชุดตรวจสอบดินของกรมวิชาการเกษตร โดยดัดแปลงวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน ได้แก่ KMnO_4 oxidizable carbon, Molybdenum blue และ Cobaltinitrite สำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ ปฏิบัติการเคมีแสดงผลด้วยการเปลี่ยนสีบนกระดาษทดสอบ เก็บข้อมูลรูปภาพกระดาษทดสอบด้วยสมาร์ตโฟนหลายรุ่นภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปพัฒนาแบบจำลองทำนายปริมาณธาตุอาหารในดินด้วยเทคนิค Deep Learning โดยเปรียบเทียบแบบจำลอง AlexNet, ResNet-50 และ MobileNet V3-large ผลการศึกษา พบว่า AlexNet มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีความแม่นยำมากกว่าร้อยละ 85 และมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับดีมาก ชุดตรวจสอบสามารถให้ผลภายใน 2–3 นาที มีต้นทุนเฉลี่ย 72 บาทต่อตัวอย่าง อายุการใช้งาน 1 ปี สามารถแสดงผลเป็นค่าตัวเลข ระดับความเข้มข้น และคำแนะนำการใช้ปุ๋ยได้โดยอัตโนมัติ ช่วยลดความผิดพลาดจากการอ่านด้วยสายตา ผลการใช้ประโยชน์จากแปลงต้นแบบเครือข่ายศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) จำนวน 218 แปลง พบว่า สามารถลดต้นทุนการใส่ปุ๋ยได้ร้อยละ 18 จากการสนับสนุนชุดตรวจสอบภายใต้โครงการขับเคลื่อนของกรมวิชาการเกษตรประจำปี 2568 ทั้งสิ้น จำนวน 732 ชุด 36,600 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 50 จังหวัด พื้นที่ทางการเกษตรกว่า 732,000 ไร่ ลดต้นทุนจากการผลิตชุดตรวจสอบลงได้ 878,400 บาท ลดงบประมาณในการสื่อสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ถึง 41.3 ล้านบาท และสามารถลดงบประมาณในการซื้อปุ๋ยทั้งสิ้น 334.5 ล้านบาท ทำให้ประเทศประหยัดงบประมาณรวมมูลค่ากว่า 376.7 ล้านบาท แสดงถึงศักยภาพในการใช้ชุดตรวจสอบดินทดแทนการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ และสนับสนุนการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสมและยั่งยืน

คำสำคัญ: ชุดตรวจสอบดิน กระดาษทดสอบ เว็บแอปพลิเคชัน คำแนะนำการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน

^{1/} กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

^{1/} Agricultural Production Sciences Research and Development Division Department of Agriculture Bangkok 10900

^{2/} ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84340

^{2/} Surat Thani Palm Oil Research Center Surat Thani 84340

* supha.doa@gmail.com

ABSTRACT

This research aimed to develop a soil test kit for organic matter, phosphorus, and potassium by using reactive paper/active sensor paper-strip and a smartphone application for rapid, convenient, and accurate result interpretation. The system is linked to web application that automatically generates fertilizer recommendations. This soil test kit was improved from previously Department of Agriculture soil test kit by adapting standard analytical methods, namely KMnO_4 oxidizable carbon, molybdenum blue, and cobaltinitrite, for organic matter, phosphorus and potassium, respectively, based on colorimetric reactions on paper test strips. Images of the test strips were captured using various smartphone models under different lighting conditions and used to develop deep learning models for predicting soil nutrient contents. Three models AlexNet, ResNet-50, and MobileNet V3-large were evaluated, and AlexNet showed the best performance, achieving an accuracy greater than 85% with a very good reliability level. The developed kit provides results within 2–3 minutes, with an average cost of 72 THB per sample and a shelf life of one year. It automatically reports numerical values, nutrient concentration levels, and fertilizer recommendations, reducing errors associated with visual interpretation. Field implementation in 218 pilot plots under the Agricultural Productivity Enhancement Learning Center network demonstrated a reduction in fertilizer costs by 18%. In 2025 through the provision of soil test kit under the Department of Agriculture's driving project total of 732 testing kits, covering 36,600 samples, were distributed across more than 50 provinces, encompassing more than 732,000 rai of agricultural land. The project resulted in a reduction of 878,400 baht in the production cost of testing kits and a decrease in expenditures for laboratory chemical reagents by as much as 41.3 million baht. In addition, fertilizer procurement costs were reduced by 334.5 million baht, leading to total national cost savings of approximately 376.7 million baht. The results demonstrate the potential of the developed soil test kit as an effective alternative to laboratory soil analysis, supporting appropriate and sustainable soil nutrient management.

Key word: Soil test kit, Paper strip, Web application, Fertilizer recommendation, Reduce costs

บทนำ

การเปลี่ยนผ่านภาคเกษตรของประเทศไทย สู่ "เกษตรอัจฉริยะ" (Smart Farming) เพื่อยกระดับเกษตรกร เน้นคุณภาพและความยั่งยืน ลดการพึ่งพาสารเคมี และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้มีรายได้สูงขึ้น มั่นคง และพึ่งพาตนเองได้ โดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายการผลิต สนับสนุนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรม การจัดการดินและปุ๋ยอย่างเหมาะสม ซึ่งช่วยลดการใช้จ่ายการผลิตที่เกินความจำเป็น เพิ่มรายได้สุทธิของเกษตรกร การวิเคราะห์ดินเป็นวิธีที่ทำให้ทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ดิน เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการปนเปื้อนของปุ๋ยเคมีสู่สิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีชุดตรวจสอบดินเพื่อส่งเสริมการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจากหลายหน่วยงาน รวมทั้ง ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ (จรรีตัน และ คณะ, 2569) ฟอสฟอรัส (จรรีตัน และ สุภา, 2568) และโพแทสเซียม (จรรีตัน และ สุภา, 2568) ในดิน ของกรมวิชาการเกษตร (DOA-OM, P, K soil test kits) แต่ชุดตรวจสอบดังกล่าวยังมีการใช้สารเคมีในปริมาณมาก วัสดุและสารเคมีบางอย่างมีราคา

แพ่งและมีอายุการใช้งานที่สั้น และในบางขั้นตอนยังต้องใช้ความชำนาญในการทดสอบ เช่น การอ่านผลการทดสอบกับแผ่นเทียบสี เป็นต้น กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร จึงได้พัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดิน โดยใช้เซนเซอร์กระดาษทดสอบและแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน (DOA-OM, P, K soil test kits with web application) ประกอบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้มีการใช้วัสดุและสารเคมีราคาถูกลง ลดขั้นตอน ลดการตัดสินใจในการอ่านผลวิเคราะห์ ร่วมกับการแปลผลการวิเคราะห์ด้วยเว็บแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพ ความแม่นยำมากขึ้น โดยดัดแปลงวิธีและใช้เซนเซอร์กระดาษทดสอบ (Reactive paper/Active sensor paper-strip) ทดสอบสีของปฏิกิริยาแปลผลโดยใช้หลักการเรียนรู้เชิงลึกของคอมพิวเตอร์ (Deep learning) ใช้สมการแปลงค่าสีเป็นตัวเลขปริมาณธาตุอาหาร แสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันแบบอัตโนมัติ เชื่อมต่อกับแบบจำลองทำนายธาตุอาหารในดินและระบบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้เกษตรกรสามารถใช้เองได้ โดยอ่านผลและแปลผลสู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้ทันทีผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ไม่ต้องอาศัยความชำนาญหรือผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบและแปลผล ลดความผิดพลาดจากการอ่านผลโดยแผ่นเทียบสีได้ โดยดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุที่ใช้สารเคมีที่ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อนในการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่ง่ายต่อการสลายตัว (Labile carbon) หาปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ทำให้คุณสมบัติของ KMnO_4 เปลี่ยนไป คือสีม่วงเข้มเปลี่ยนเป็นสารละลายใสไม่มีสี (KMnO_4 1 โมลาร์ จะออกซิไดซ์คาร์บอนได้ 9,000 มิลลิกรัม) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนประจุของ Mn^{+7} เป็น Mn^{+2} (Loginow *et al.*, 1987) ทดแทนวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ Wet acid dichromate oxidation (Walkley and Black, 1934) ที่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ทดสอบ ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และยากต่อการกำจัด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และ โพแทสเซียมไดโครเมต (Weil *et al.*, 2003, Culman *et al.*, 2012) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินประยุกต์ใช้ Molybdenum blue method (Koralage *et al.*, 2015) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถเห็นความแตกต่างของสีน้ำเงินชัดเจนและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดิน โดย Phosphate ion ในสารละลายดิน ทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate ascorbic acid ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน และการวิเคราะห์โพแทสเซียมในดิน ประยุกต์ใช้ Sodium Cobaltinitrite Method (Vendilo *et al.*, 2011) โดยตกตะกอนโพแทสเซียมกับ Sodium cobaltinitrite เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงอิฐ

ตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ เพื่อให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ น่าเชื่อถือ โดยทดสอบความแม่นยำ (Accuracy) ความจำเพาะ (Specificity) หรือ ความสามารถของชุดตรวจสอบในตรวจสอบธาตุนั้นๆ โดยไม่ถูกรบกวนจากธาตุอื่น หาก Specificity ต่ำ จะเกิดบวกเท็จ (False positive) คือ ธาตุอาหารในดินน้อยแต่ตรวจได้สูง ความไว (Sensitivity) หรือ ความสามารถในการตรวจวัดของชุดตรวจสอบ หาก Sensitivity ต่ำ จะเกิดผลลบเท็จ (False negative) คือ ดินมีปริมาณธาตุอาหารในระดับหนึ่งแต่ตรวจไม่พบหรือดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงแต่ตรวจได้ต่ำ และค่าสถิติ Kappa coefficient (K) เพื่อประเมินระดับของการยอมรับ หรือความน่าเชื่อถือ (Degree of agreement) ของชุดตรวจสอบ ชุดตรวจสอบที่พัฒนาเพื่อให้ใช้งานง่าย ใช้เวลาเพียง 2-3 นาที ราคาถูก สามารถนำไปใช้งานได้จริงในภาคสนาม รวมทั้งสนับสนุนการแก้ไขปัญหาการใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรในพืชผลทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อม ตอบสนองต่อผู้ใช้งานทั้งบุคลากรภาครัฐ ผู้ประกอบการ ประชาชน นักเรียน นักศึกษา รวมทั้งเกษตรกร ให้ผลการตรวจสอบที่น่าเชื่อถือ สามารถใช้ทดแทนการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับการแปลผลเพื่อให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ลดต้นทุนค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และสามารถต้นทุนการใช้ปุ๋ยลงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พัฒนาชุดตรวจสอบโดยใช้เซนเซอร์กระดาษทดสอบ เพื่อเป็นแผ่นดูดซับสารเคมี (adsorption pad) ทดสอบเซนเซอร์กระดาษทดสอบกับสีของปฏิกิริยา อินทรียวัตถุ ทดสอบด้วย KMnO_4 oxidize carbon method ฟอสฟอรัส ทดสอบด้วย Molybdenum blue method และโพแทสเซียม ทดสอบด้วย Sodium cobaltinitrite method
2. พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอ่านผลการทดสอบและแปลผลการทดสอบ

2.1 พัฒนาระบบการอ่านผลวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบ

คัดเลือกตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบกับเซนเซอร์กระดาษทดสอบ จำนวน 610 ตัวอย่าง เป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียด (Fine-textured soils) จำนวน 200 ตัวอย่าง กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (Medium-textured soils) จำนวน 200 ตัวอย่าง และกลุ่มดินเนื้อหยาบ (Coarse-textured soil) จำนวน 210 ตัวอย่าง ถ่ายภาพสีของปฏิกิริยาที่ทดสอบตัวอย่างดินกับเซนเซอร์กระดาษทดสอบ ในสถานะที่มีแสงสว่างแตกต่างกัน 2 สถานะ คือ ภายในอาคาร และภายนอกอาคาร โดยใช้สมาร์ตโฟน 6 รุ่น ได้แก่ Iphone11, Iphone14 pro max, Redmi note 8, Sumsung A04s, Sumsung A54 และ Sumsung S21 Fe นำเข้าภาพสู่โปรแกรมประมวลผลและฝึกฝนแบบจำลองเพื่อทำนายค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินโดยใช้แบบจำลอง AlexNet, RestNet50 และ MobileNet V3-large โดยพิจารณาจากค่า (Mean squared error (MSE)) หรือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ (Regression model) (สมการที่ 1) หากค่า MSE ต่ำ แสดงว่า แบบจำลองมีความแม่นยำสูงและใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด

$$\text{MSE} = 1/n \times \sum (\text{prediction} - \text{actual})^2 \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ	n	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด
	prediction	คือ	ค่าที่ทำนายได้
	actual	คือ	ค่าจริง

เลือกใช้โมเดลที่ดีที่สุดสำหรับพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินอัตโนมัติ รวบรวมคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร สำหรับสร้างระบบคำนวณปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548; 2553; 2566)

2.2 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web application) เพื่อการใช้งานและแสดงผลข้อมูล

เชื่อมต่อระบบการอ่านค่าวิเคราะห์จากสีของกระดาษทดสอบและระบบคำนวณปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้สามารถอ่านค่าวิเคราะห์เป็นตัวเลข แปลผลเป็นระดับความอุดมสมบูรณ์สำหรับพืชแต่ละชนิด และให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

3. ทดสอบประสิทธิภาพชุดตรวจสอบ

โดยทดสอบความแม่นยำ (accuracy), ความจำเพาะ (Specificity) ความไว (Sensitivity) และความน่าเชื่อถือ (Test kit method validation) โดยใช้สัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient (K)) โดยเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่อ่านได้จากชุดตรวจสอบกับผลวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ แบ่งช่วงความเข้มข้นของจำนวนผลวิเคราะห์ที่ได้เป็นระดับ ต่ำ ปานกลาง และสูง (Table 1) คำนวณ % accuracy, %Specificity, % Sensitivity และ Kappa coefficient (K) ตามสมการ 2 - 8 (AOAC, 2010)

Table 1 3-class confusion matrix of test kits and laboratory results categorized by concentration level for calculating accuracy, specificity, sensitivity and Kappa coefficient (K)

Test kit Laboratory		Concentration level			Sum	FN	TN
		Low	medium	high			
Concentration level	Low	ll	lm	lh	Lab(l)	lm+lh	mm+hh
	medium	ml	mm	mh	Lab(m)	ml+mh	ll+hh
	high	hl	hm	hh	Lab(h)	hl+hm	ll+mm
Sum		Kit(l)	Kit(m)	Kit(h)	Total	Sum(FN)	Sum(TN)
FP		ml+hl	lm+hm	lh+mh	Sum(FP)		
TP		ll	mm	hh	Sum(TP)		

$$\% \text{ Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\% \text{ specificity} = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\% \text{ sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Kappa coefficient (K)} = \frac{\text{accuracy} - \text{random accuracy}}{1 - \text{random accuracy}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

โดยที่

$$\text{random accuracy} = p_1 p_2 + (1-p_1)(1-p_2) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$p_1 = \frac{TN + TP}{TP + FP + TN + FN} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$p_2 = \frac{TP + FP}{TP + FP + TN + FN} \quad \dots\dots\dots(8)$$

4. การศึกษาอายุการใช้งานของชุดตรวจสอบ

ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความเสถียรในระยะสั้น (Short-term stability) ของน้ำยาทดสอบและสารเคมีที่การจัดเก็บที่อุณหภูมิ 5, 30, 45 และ 60 องศา ตามเวลาที่กำหนด คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 สัปดาห์ และศึกษาสภาวะการจัดเก็บของน้ำยาทดสอบ ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ภายใต้สภาวะควบคุมในระยะยาว (Long-term stability) โดยการเก็บที่อุณหภูมิห้องและเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อกำหนดอายุของชุดตรวจสอบ ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน นำมาวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Uv-vis spectrophotometer ตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นประเมินความเสถียรด้วยสถิติ Regression analysis พิจารณา $t_{cal} \leq t_{crit}$ แสดงว่า มีความเสถียร (ISO, 2024)

5. การขับเคลื่อนผลงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์ จัดฝึกอบรมให้กับนักวิชาการ เกษตรกร ขยายผล สนับสนุนโครงการตามนโยบายของกรมวิชาการเกษตร ประเมินต้นทุนการใช้จ่ายระหว่างวิธีการปฏิบัติของเกษตรกรและคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยชุดตรวจสอบ
6. ยื่นจดอนุสิทธิบัตรเพื่อเตรียมถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์

ผลการทดลองและวิจารณ์

- พัฒนาชุดตรวจสอบโดยคัดเลือกเซนเซอร์กระดาษทดสอบชนิด Cellulose membrane เพื่อเป็นแผ่นดูดซับสารเคมี (Adsorption pad) นำมาทดสอบกับสีของปฏิกิริยา แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางของสีได้อย่างชัดเจน พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบซึ่งสามารถทดสอบได้ทั้งหมด 7 ชั้น (Figure 1A) ลดขั้นตอนการทดสอบได้ 1 ขั้นตอน ลดระยะเวลาในการทดสอบเหลือ 2-3 นาที เมื่อเทียบกับชุดตรวจสอบเดิม (Figure 1B) ของกรมวิชาการเกษตร ต้นทุนการผลิตชุดตรวจสอบ ลดลงจากชุดละ 4,800 บาท เป็นชุดละ 3,600 บาท ต่อ 50 ตัวอย่าง ลดลง 1200 บาท ต่อชุด คิดเป็นร้อยละ 25 คิดเป็นต้นทุนการวิเคราะห์ 72 บาท ต่อตัวอย่าง หรือ 24 บาทต่อรายการทดสอบ เมื่อเทียบกับต้นทุนการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการกรมวิชาการเกษตร รายการทดสอบละ 400 บาท จะทำให้สามารถลดงบประมาณในการจัดซื้อสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการได้ถึง 376 บาทรายการทดสอบ หรือ 1,128 บาทต่อตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 94



(A)



(B)

Figure 1 DOA soil test kits A) DOA-OM, P, K soil test kits with web application B) DOA-OM, P, K soil test kits

- พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอ่านผลการทดสอบและแปลผลการทดสอบ

2.1 พัฒนาระบบการอ่านผลวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบ

จากการฝึกฝนแบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง แบบจำลอง AlexNet มีค่า MSE ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.066, 0.063 และ 0.304 (Table 2) ผลที่ทำนายได้มีความสัมพันธ์กับผลวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการสำหรับอินทรีย์วัตถุ (Figure 2A) ฟอสฟอรัส (Figure 2B) และโพแทสเซียม (Figure 2C) ตามลำดับ ดังนั้นแบบจำลอง AlexNet จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาระบบการอ่านผลวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบ ต่อไป

Table 2 Mean Squared Error (MSE) of model predicts the amounts of organic matter, phosphorus, and potassium in soil

Model	MSE		
	OM	P	K
AlexNet	0.066	0.063	0.304
ResNet-50	0.134	0.211	0.441
MobileNet V3-large	0.114	0.285	0.481

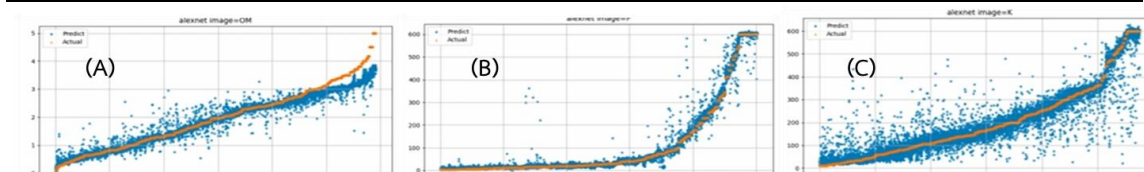


Figure 2 The predicted and actual values used the AlexNet model for predicting A) Organic matter B) Available phosphorus and C) Exchangeable potassium

2.2 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อการใช้งานและแสดงผลข้อมูล

ระบบจะถูกจัดทำอยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน สามารถเข้าถึงได้ออนไลน์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) ต่างๆ และข้อมูลจะถูกจัดเก็บอยู่บน Server สามารถทำงานและเข้าถึงได้ 24 ชั่วโมงผ่านอินเทอร์เน็ต โดยโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแสดงผลสำหรับผู้ใช้งานหรือหน้าเว็บแอปพลิเคชัน (Client) ส่วนประมวลผลข้อมูล และส่วนจัดการเว็บแอปพลิเคชัน (Web server) การใช้งานเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าถึงฟังก์ชันการใช้งานได้ผ่านหน้าเว็บไซต์ โดยการอัปโหลดรูปภาพ เพื่ออ่านวิเคราะห์ดิน ระบบจะแสดงผลเป็นตัวเลขปริมาณธาตุอาหาร ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับพืชแต่ละชนิด ให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับ พืชไร่เศรษฐกิจ ไม้ผลที่สำคัญ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา พืชผัก และข้าว จำนวนกว่า 25 ชนิดพืช (Figure 3) ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มคำแนะนำของพืชได้ในกรณีที่มีข้อมูลเพิ่มเติมได้ และผลวิเคราะห์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ต่อไป

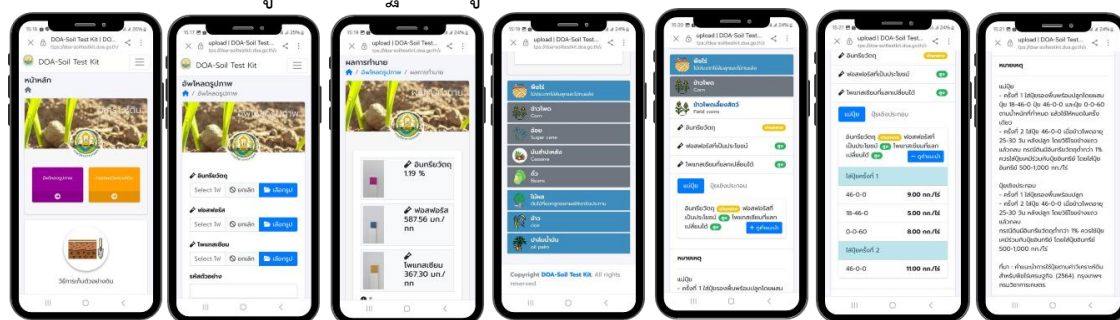


Figure 3 Web application for fertilizer recommendation of DOA soil test kits

3. ทดสอบความถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) Specificity, Sensitivity และความน่าเชื่อถือ (Test kit method validation)

จากการทำนายผลการทดสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของภาพถ่ายกระดาษเซนเซอร์ทดสอบโดยใช้เว็บแอปพลิเคชัน โดยใช้จำนวนภาพถ่ายของเซนเซอร์กระดาษทดสอบ ทั้งหมด 11,827, 10,038 และ 11,516 ภาพ สำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ พบว่าผลการทำนายอยู่ในช่วงเดียวกับห้องปฏิบัติการ (True positive) จำนวน 10,913, 8,535 และ 10,232 ภาพ (Table 3) คิดเป็นความแม่นยำร้อยละ 94.7, 89.5 และ 92.3 สำหรับ อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก (WHO, 2006) ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.88, 0.77 และ 0.83 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีถึงดีมาก จากผลการทดสอบ พบว่าค่า Specificity, Sensitivity อยู่ในระดับมากกว่าร้อยละ 85 ขึ้นไป หมายถึง ผลการทดสอบของชุดตรวจสอบสามารถประเมินระดับความเข้มข้นของปริมาณธาตุอาหารในดินได้ผิดพลาดน้อยกว่าร้อยละ 15 (WHO, 2006) เมื่อเทียบกับชุดตรวจสอบเดิมของกรมวิชาการเกษตร พบว่า ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะชุดตรวจสอบโพแทสเซียม มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.3 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา เพิ่มขึ้นร้อยละ 59.6 มีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นจากระดับปานกลางเป็นระดับดีมาก (Table 4) แสดงว่า ชุดตรวจสอบและเว็บแอปพลิเคชันสามารถอ่านผลวิเคราะห์ดินได้อย่างถูกต้อง น่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ทดแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้

Table 3 Number of soil sample results from laboratory and DOA soil test kits with web application according with fertility rating major nutrient

Laboratory	Test kit											
	Organic Matter				Available Phosphorus				Exchangeable Potassium			
	Low	Medium	High	Sum	Low	Medium	High	Sum	Low	Medium	High	Sum
Low	6062	143	0	6205	2331	861	16	3208	1623	246	97	1966
Medium	103	3355	4	3462	307	2569	214	3090	268	1041	347	1656
High	2	662	1496	2160	9	96	3635	3740	28	298	7568	7894
Sum	6167	4160	1500	11827	2647	3526	3865	10038	1919	1585	8012	11516

Table 4 Comparison of accuracy, specificity, sensitivity and Kappa coefficient between DOA-OM, P, K soil test kits with web application and DOA-OM, P, K soil test kits

Parameter	DOA-OM, P, K soil test kits with web application			DOA-OM, P, K soil test kits		
	OM	P	K	OM	P	K
% Accuracy	94.7	89.5	92.3	95.5	85.7	77.4
% Specificity	96.0	91.9	94.1	96.6	88.9	82.1
% Sensitivity	92.3	85.0	88.9	93.3	80.0	69.6
kappa	0.88	0.77	0.83	0.90	0.69	0.52

นำชุดตรวจสอบให้เกษตรกรใช้งานจริงในภาคสนาม จังหวัด สุราษฎร์ธานี กระบี่ สงขลา ปราจีนบุรี เพชรบูรณ์ นครราชสีมา ในกลุ่มเกษตรกรปลูก ปาล์มน้ำมัน ข้าว อ้อย ข้าวโพด ถั่ว ไม้ผล (มะม่วง ทุเรียน ส้มโอ ลำไย) โดยเกษตรกรจำนวน 120 ราย ตัวอย่างดินจำนวน 143 ตัวอย่าง จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบด้วยชุดตรวจสอบและห้องปฏิบัติการ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกรายการทดสอบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.899, 0.992 และ 0.937 สำหรับชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ (Figure 4A) ฟอสฟอรัส (Figure 4B) และโพแทสเซียม (Figure 4C) ตามลำดับ แสดงว่า ชุดตรวจสอบและเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ทดสอบตัวอย่างดินสำหรับการแปลผลประกอบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

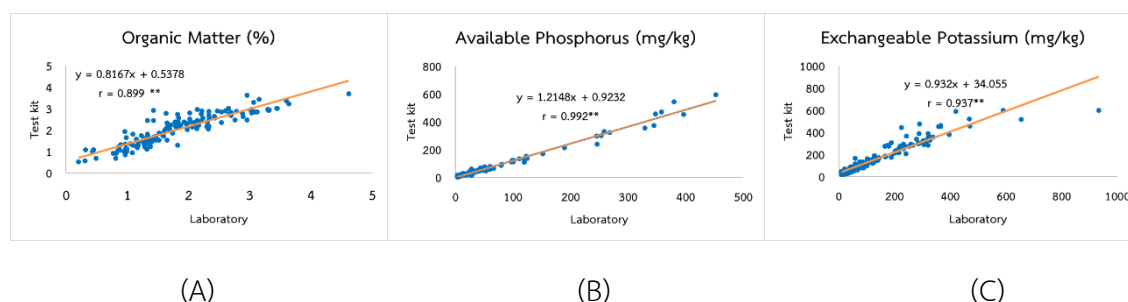


Figure 4 Correlation between laboratory analysis results and DOA-OM, P, K soil test kits with web application A) Organic matter B) Available phosphorus and C) Exchangeable potassium

4. การศึกษาอายุการใช้งานของชุดตรวจสอบ

จากการศึกษาความเสถียรในระยะสั้น พบว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อการจับกับน้ำยาสกัดฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และ Sodium cobaltinitrite ส่วนสารละลาย KMnO_4 , Ascorbic acid และ น้ำยาทำสี ฟอสฟอรัสควรเก็บที่อุณหภูมิห้อง หรือ 30 ± 5 องศาเซลเซียส หรือเก็บในตู้เย็น และการศึกษาความเสถียร ระยะยาว พบว่า การเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง สารเคมีและน้ำยาตรวจสอบมีความเสถียรที่ระยะเวลาการจัดเก็บ 1 ปี (Figure 5) แสดงว่า สามารถจัดเก็บสารเคมีและน้ำยา ตรวจสอบที่อุณหภูมิห้องได้ ไม่จำเป็นต้องเก็บรักษาในตู้เย็น ชุดตรวจสอบมีอายุการใช้งานได้ภายใน 1 ปี

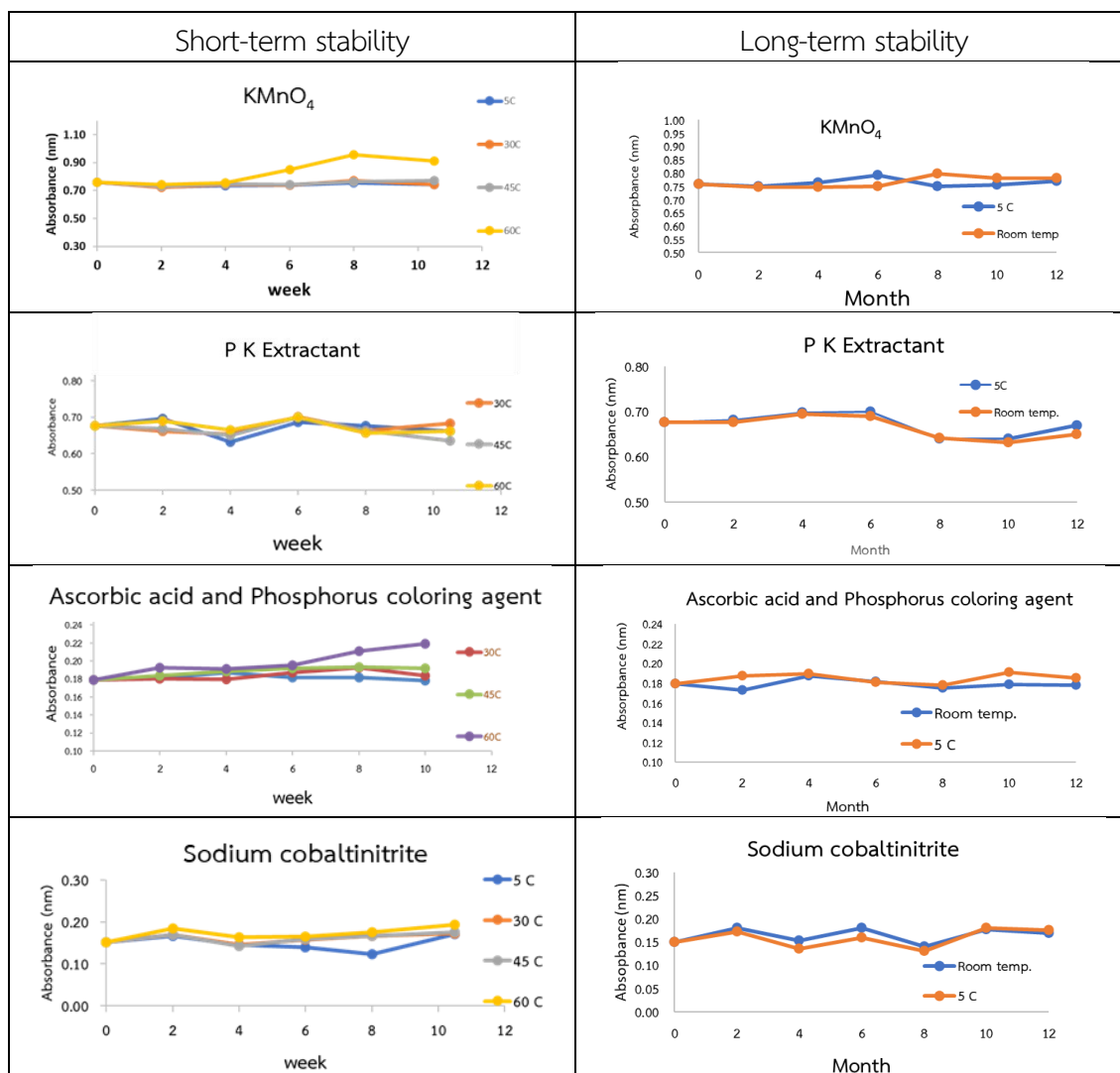


Figure 5 Short-term and Long-term stability results

5. การขับเคลื่อนผลงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์

5.1 ฝึกอบรมให้ความรู้แก่นักวิชาการ เกษตรกร บริษัทเอกชน ถ่ายทอดองค์ความรู้ ประชาสัมพันธ์ เพื่อให้เทคโนโลยีของกรมวิชาการเกษตรเข้าถึงระดับชุมชนสู่เกษตรกรได้อย่างทั่วถึง ในปีงบประมาณ 2568 -2569 (Figure 6) ดังนี้

- อบรมเชิงปฏิบัติการการใช้งานระบบและจัดทำแนวทางปฏิบัติที่เป็นเลิศสำหรับผู้ดูแลระบบ ให้กับนักวิชาการกรมวิชาการเกษตร จำนวน 15 ราย

- อบรมเชิงปฏิบัติการการใช้ชุดตรวจสอบ และแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน แก่เกษตรกร นักวิชาการและผู้สนใจ ณ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่ สถาบันวิจัยพืชไร่สงขลา ผู้เข้ารับการฝึกอบรม 135 ราย
- อบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้ DOA-soil test kits และ Web application ภายใต้ โครงการ ส่งเสริมและพัฒนาสินค้าเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่นให้แก่เจ้าหน้าที่ของกรมวิชาการ เกษตร จำนวน 5 หน่วยงาน คือ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสงขลา ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 และ ให้ความรู้ความเข้าใจการตรวจวิเคราะห์ดินด้วย DOA-soil test kits และ Web application และสามารถนำไปขยายผลสู่เกษตรกรให้เข้าถึงการวิเคราะห์ดินได้ง่ายขึ้น สามารถใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และลดต้นทุนการผลิตจากการใช้ปุ๋ยอย่างเหมาะสม ผู้เข้ารับการฝึกอบรม 240 ราย
- อบรมการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และ การใช้ DOA- soil test kits และ Web application” โครงการศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพสินค้าเกษตร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบูรณ์ ผู้เข้ารับการฝึกอบรม 30 ราย
- ประชุมเชิงปฏิบัติการการตรวจวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตด้วยชุดตรวจสอบและการนำไปใช้ประโยชน์ กับนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ของกรมวิชาการเกษตรที่มีความสนใจ และเจ้าหน้าที่ของบริษัทเอกชนที่พร้อมรับถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์ รวมจำนวน 50 คน
- อบรมหลักการและการวิเคราะห์ดินโดยใช้ชุดตรวจสอบดิน DOA – soil test kits และ Web application โครงการพัฒนาผู้รับผิดชอบศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชน กรมส่งเสริมการเกษตร ระบบออนไลน์ จำนวน 500 ราย



Figure 6 DOA soil test kits workshop

5.2 คัดเลือกศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพสินค้าเกษตร (ศพก.) ที่มีความพร้อมพัฒนาฐานเรียนรู้/แปลงเรียนรู้เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช และสามารถนำเทคโนโลยีไปขยายผล/ถ่ายทอดให้แก่เกษตรกรสมาชิก ศพก. และ ศพก. เครือข่าย คัดเลือกแปลงต้นแบบการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยใช้ชุดตรวจสอบ เปรียบเทียบต้นทุนการใส่ปุ๋ยกับวิธีของเกษตรกร ในกลุ่มเกษตรกรต้นแบบที่ปลูกมะขาม จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 13 ราย อ้อย จังหวัดอุดรธานี จำนวน 10 ราย พืชผัก จังหวัดมุกดาหาร จำนวน 20 ราย ข้าวโพด จังหวัดยโสธร จำนวน 10 ราย ข้าวโพดลูกผสม จังหวัดอุดรธานี จำนวน 9 ราย และทุเรียน จังหวัดสตูล ตรัง นราธิวาส ปัตตานีและยะลา จำนวน 156 ราย รวมทั้งสิ้น 218 แปลงต้นแบบ พบว่า เกษตรกรปลูกอ้อยใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และ 16-16-8 เฉลี่ยสูตรละ 50 กก./ไร่ กลุ่มพืชผักใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 และ 46-0-0 เฉลี่ยสูตรละ 25 กิโลกรัมต่อไร่ กลุ่มทุเรียนใช้ปุ๋ยสูตร 16-16-16, 15-0-0, 8-24-24 และ 13-13-21 สูตรละ 25-100 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อคำนวณต้นทุนการใส่ปุ๋ย พบว่า เกษตรกรที่ปลูกทุเรียนมีการใส่ปุ๋ยมีค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยต่อไร่สูงที่สุด เมื่อใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจะสามารถลดต้นทุนการซื้อปุ๋ยได้ถึงร้อยละ 33.85 ในขณะเดียวกันเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดในจังหวัดยโสธรดินอาจมีความอุดมสมบูรณ์ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงต้องมีการใส่ปุ๋ยเพิ่มจากวิธีการปฏิบัติของเกษตรกรเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช และจากแปลงต้นแบบทั้งหมด 218 แปลง เกษตรกรมีต้นทุนการซื้อปุ๋ยเฉลี่ย 1,964 บาทต่อไร่ หากเกษตรกรใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจะมีต้นทุนการซื้อปุ๋ยเฉลี่ย 1,506 บาทต่อไร่ ลดลงเฉลี่ย 457 บาทต่อไร่ คิดเป็นเฉลี่ยร้อยละ 18 (Figure 7, Table 5)

จากการติดตามการใช้ต้นทุนการผลิตและการเก็บเกี่ยวผลผลิตของแปลงต้นแบบกลุ่มเกษตรกรปลูกผัก จำนวน 5 ราย และเกษตรกรปลูกทุเรียนจำนวน 10 ราย เปรียบเทียบวิธีปฏิบัติของเกษตรกรกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยใช้ชุดตรวจสอบ และใช้เทคโนโลยีของกรมวิชาการเกษตร ในปี 2568 พบว่า เดิมเกษตรกรปลูกผักจะประสบภาวะขาดทุนเฉลี่ยไร่ละ 1,300 บาท แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้เกษตรกรมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดผลกำไร มีรายได้เพิ่มขึ้นถึงไร่ละ 3,913 บาท เช่นเดียวกับเกษตรกรที่ปลูกทุเรียนและใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินมีรายได้เพิ่มขึ้นถึงไร่ละ 23,973 บาท (Table 6) แสดงว่า ใช้เทคโนโลยีของกรมวิชาการเกษตรการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยชุดตรวจสอบ ช่วยให้เกษตรกรสามารถใส่ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและคุณภาพดี ทำให้ลดต้นทุนการผลิตและมีผลกำไรที่เพิ่มขึ้นที่ชัดเจน

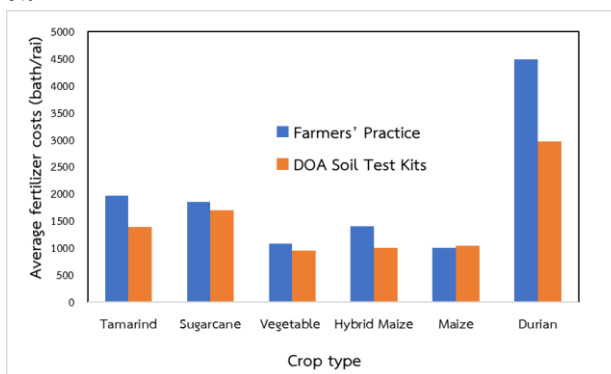


Figure 7 Comparison of fertilizer costs average under farmers' practices and DOA soil test kits with web application recommendations

Table 5 Comparison of fertilizer costs under farmers' practices and DOA soil test kits with web application recommendations

Crop Type	Number of farmer	Fertilizer costs (Bath/rai)									Difference (%)
		Farmers' Practice			DOA Soil Test Kit			Difference (Bath/rai)			
		max	min	average	max	min	average	max	min	average	
Tamarind	13	2600	1300	1969	1607	1145	1389	307	-1070	-581	-29.51
Sugarcane	10	1850	1850	1850	1982	1031	1695	132	-819	-155	-8.38
Vegetable Crops	20	1080	1080	1080	1286	649	947	206	-431	-133	-12.31
Hybrid Maize	9	1944	920	1403	1301	863	1006	381	-819	-397	-28.30
Maize	10	1150	940	997	1120	980	1037	160	-80	40	4.01
Durian	156	7650	1330	4484	4490	470	2966	2660	-4796	-1518	-33.85
average		2712	1237	1964	1964	856	1507	641	-1336	-457	-18.06

Table 6 Comparison of production costs, yield and profit under farmers' practices and DOA soil test kits with web application recommendations

Crop Type	Number of farmer	Farmers' Practice				DOA Soil Test Kit				Difference			
		Cost (Bath/rai)	Yield (Kg/rai)	Income (Bath/rai)	Profit (Bath/rai)	Cost (Bath/rai)	Yield (Kg/rai)	Income (Bath/rai)	Profit (Bath/rai)	Cost (Bath/rai)	Yield (Kg/rai)	Income (Bath/rai)	Profit (Bath/rai)
Vegetable	5	5650	2000	4350	-1300	5400	2683	8013	2613	250	683	3663	3913
Durian	10	31623	744	36305	4683	24853	1031	53509	28656	6769	287	17203	23973

- 5.3 สนับสนุนชุดตรวจสอบตามโครงการขับเคลื่อนของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ โครงการพัฒนาศักยภาพกระบวนการผลิตสินค้าเกษตร โครงการศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร โครงการส่งเสริมและพัฒนาสินค้าเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น โครงการเกษตรแปลงใหญ่ และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง นำชุดตรวจสอบไปขยายผลในพื้นที่ ประจำปี 2568 จำนวน 732 ชุด 36,600 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 50 จังหวัด พื้นที่ทางการเกษตรกว่า 732,000 ไร่ จากต้นทุนการผลิตชุดตรวจสอบตัวอย่างละ 72 บาท เมื่อเทียบกับต้นทุนค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สามารถลดงบประมาณในการสื่อสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ถึง 41.3 ล้านบาท หากเกษตรกรใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจะสามารถลดงบประมาณในการซื้อปุ๋ยทั้งสิ้น 334.5 ล้านบาท
6. ยื่นจดอนุสิทธิบัตร 3 ฉบับ คือ ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุโดยใช้กระดาษทดสอบ ชุดตรวจสอบฟอสฟอรัสโดยใช้กระดาษทดสอบ และชุดตรวจสอบโพแทสเซียมโดยใช้กระดาษทดสอบ เลขที่คำขอ 2503004873, 2503004874 และ 2503004875 ตามลำดับ ยื่นคำขอวันที่ 11 ธันวาคม 2568 พร้อมสำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์ ต่อไป

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดินในรูปแบบเซนเซอร์กระดาษทดสอบ มีความแม่นยำร้อยละ 94.7, 89.5 และ 92.3 สำหรับ อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.88, 0.77 และ 0.83 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีถึงดีมาก ใช้เวลาในการทดสอบ 2-3 นาที ต้นทุนเฉลี่ยตัวอย่างละ 72 บาท มีอายุการใช้งาน 1 ปี ใช้งานร่วมกับเว็บแอปพลิเคชัน ที่สามารถเข้าถึงได้ออนไลน์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ต่างๆ การอ่านผลการทดสอบของเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงเป็นเป็นตัวเลข ทศนิยม 2 ตำแหน่ง จัดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามชนิดพืช คำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับ พืชไร่เศรษฐกิจ ไม้ผลที่สำคัญ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา พืชผักเศรษฐกิจ และข้าว กว่า 25 ชนิดพืช โดยข้อมูลผลวิเคราะห์ทั้งหมดจะถูกจัดเก็บและสามารถจัดทำฐานข้อมูลความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทยต่อไป การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยใช้ชุดตรวจสอบ DOA soil test kits ช่วยให้เกษตรกรสามารถใช้งานได้ โดยอ่านผลและแปลผลสู่คำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้ทันทีผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ลดค่าใช้จ่ายในการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ลดต้นทุนการใส่ปุ๋ยได้ถึงร้อยละ 18 และสามารถลดงบประมาณการสื่อสารเคมีได้ ร้อยละ 94 แสดงว่า ชุดตรวจสอบสามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการเพื่อประกอบการให้คำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การนำไปใช้ประโยชน์

1. สนับสนุนชุดตรวจสอบภายใต้โครงการขับเคลื่อนของกรมวิชาการเกษตรประจำปี 2568 ทั้งสิ้น จำนวน 732 ชุด 36,600 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 50 จังหวัด พื้นที่ทางการเกษตรกว่า 732,000 ไร่ สามารถลดต้นทุนจากการผลิตชุดตรวจสอบลงได้ 878,400 บาท ลดงบประมาณในการสื่อสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ถึง 41.3 ล้านบาท หากเกษตรกรใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจะสามารถลดงบประมาณในการซื้อปุ๋ยทั้งสิ้น 334.5 ล้านบาท ทำให้ประเทศประหยัดงบประมาณรวมมูลค่ากว่า 376.7 ล้านบาท

โดยโครงการขับเคลื่อนต่างๆ ได้แก่

- โครงการ สร้างเครือข่ายห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์รับรองปัจจัยการผลิตเพื่อจัดทำคู่มือการตรวจวิเคราะห์และขยายผลสู่เกษตรกร กิจกรรมการผลิตและแจกจ่ายผลิตภัณฑ์ตรวจวิเคราะห์ดิน เพื่อรองรับความต้องการของเกษตรกร นักวิชาการ และบริษัทเอกชนนำไปใช้ประโยชน์ จำนวน 128 ชุด 6,400 ตัวอย่าง
- โครงการ พัฒนาศักยภาพกระบวนการผลิตสินค้าเกษตรกิจกรรม การพัฒนาศักยภาพกระบวนการผลิตสินค้าเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2568 การใช้ประโยชน์สู่เกษตรกร กลุ่มเกษตรกร สหกรณ์ ภาคเอกชน และภาครัฐ ประกอบด้วย จำหน่าย 31 ชุด เป็นเงิน 148,800 บาท แจกจ่ายให้กับเกษตรกร 3 ชุด และสนับสนุนงานวิจัยของนักวิชาการของกรมวิชาการเกษตร 17 ชุด รวมทั้งสิ้น 51 ชุด 2,550 ตัวอย่าง
- โครงการ ส่งเสริมและพัฒนาสินค้าเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่น กิจกรรม การสร้างอัตลักษณ์สินค้าเกษตรพื้นถิ่น สนับสนุนการพัฒนาสินค้าเกษตรอัตลักษณ์พื้นถิ่นเสริมสร้างองค์ความรู้และพัฒนาทักษะด้านวิชาการ การผลิตพืชให้แก่เจ้าหน้าที่ของรัฐ : DOA-soil test kits ประจำปีงบประมาณ 2568 จำนวน 15 ชุด 750 ตัวอย่าง
- หน่วยงานส่วนภูมิภาคของกรมวิชาการเกษตรนำไปใช้ในการขยายผล/ถ่ายทอดเทคโนโลยี DOA-soil test kits ในกลุ่ม ศพก. /ศพก. เครือข่าย ที่รับผิดชอบ จำนวน 37 ชุด 1,850 ตัวอย่าง
- โครงการสกัดการระบาดของโรคแมลงศัตรูพืช เชื้อรา และการสนับสนุนพันธุ์พืชและปัจจัยการผลิต เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรที่ประสบภัยพิบัติ ปี 2567/2568 กิจกรรม สนับสนุนปัจจัยการผลิตพืช (ชุดตรวจคุณภาพดิน) จำนวน 501 ชุด 25,050 ตัวอย่าง

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2566 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิและบุคลากรของสำนักงานฯ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และติดตามงานวิจัยอย่างใกล้ชิด ตลอดจนศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนด้านระบบประมวลผลและเว็บแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ ขอขอบคุณ กลุ่มวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย กองแผนงานและวิชาการ ที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการขับเคลื่อนขยายผลให้เกิดการใช้ประโยชน์ผลงานวิจัยนี้อย่างเป็นรูปธรรม รวมถึงนักวิชาการ เจ้าหน้าที่ เครือข่าย ศพก. ที่รับถ่ายทอดและขยายผลสู่เกษตรกร

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการลำดับที่ 8/2548.

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 121 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 122 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2566. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับไม้ผล. เอกสารวิชาการ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 100 หน้า.

- จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ และ สุภา โพธิจันทร์. 2568. ชุดตรวจสอบฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus soil test kit) คำขออนุสิทธิบัตรเลขที่ 2503002039. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ และ สุภา โพธิจันทร์. 2568. ชุดตรวจสอบโพแทสเซียมในดิน (Potassium soil test kit) คำขออนุสิทธิบัตรเลขที่ 2503002040. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ สุภา โพธิจันทร์ และ เจนจิรา เทเวศร์วรกุล. 2569. ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter soil test kit) อนุสิทธิบัตรเลขที่ 27302. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2010. Protocol describes validation of proprietary chemical methods (test kits). NordVal Protocol No. 2. Washington, DC.
- Culman, S. W., S. S. Snapp 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.
- International Organization for Standardization (ISO). 2024. Reference materials — Approaches for characterization and assessment of homogeneity and stability. ISO, 33405: 2024. Geneva, Switzerland.
- Koralage, I. S. A., P. Weerasinghe, N. R. N. Silva and C. S. De Silva. 2015. The determination of available phosphorus in soil: A quick and simple method. *OUSL Journal*. 8: 1-17.
- Loginow, W., W. Wisniewski, S. S. Gonet and B. Ciessinska. 1987. Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation. *Pol J Soil Sci.* 20: 47-52.
- Lucas, S. T. and R. R. Weil. 2012. Can a labile carbon test be used to predict crop responses to improve soil organic matter management. *Agronomy Journal*. 104(4): 1160-1170.
- Vendilo, A. G., N. E. Kovaleva, V. I. Chistov, and V. M. Retivov. 2011. Potassium cobaltinitrite. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 56(4): 501–505.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.
- Weil, R. R, K. R Islam, M. A Stine, J. B Gruver and S. E Samson-Liebig. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18:3–17.
- World Health Organization (WHO). 2006. QC Qualitative and semi-quantitative procedures. World Health Organization, Geneva. 564 p.