

## การพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน เพื่อจัดการดินและปุ๋ย

จรัสรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ สงกรานต์ มะลิสอน ญาณธิดา จิตต์สะอาด สุภา โพธิจันทร์  
พจมาลย์ ภูสาร จิตติรัตน์ ชูชาติ กัญฐณา คล้ายแก้ว วรรณรัตน์ ชุตติบุตร

### กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันจัดเป็นธาตุอาหารรอง (Secondary Essential Elements) และเหล็กจัดเป็นจุลธาตุ (Micronutrient) ที่พืชมีความต้องการในปริมาณน้อยรองจากธาตุอาหารหลัก แต่ถึงแม้ว่าพืชมีความต้องการน้อย แต่หากพืชได้รับธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอ หรือในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่างๆ ภายในพืช และนำไปสู่อาการผิดปกติต่าง ๆ ของพืช เช่น พืชตระกูลถั่ว ถ้าได้รับแคลเซียม กำมะถันในปริมาณที่ไม่เพียงพอ จะทำให้การสร้างปมที่รากทำได้น้อยกว่า ส่งผลให้เกิดการตรึงไนโตรเจนน้อยตามไปด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) และข้าวที่ได้รับเหล็กในปริมาณที่ไม่เพียงพอจะแสดงอาการใบอ่อนเป็นสีเหลือง ซึ่งพบในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโต แต่หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้ความสูงของข้าวลดลง และยังมีผลกระทบให้ข้าวดูดฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไปใช้ได้ลดลง (ณัฐวดี และคณะ, 2564) ปัจจุบัน จึงมีงานวิจัยส่งเสริมให้เกษตรกรปรับปรุงดิน และจัดการธาตุอาหารพืชในดินให้เหมาะสม เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอ และสมดุล การวิเคราะห์ดินจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณของธาตุอาหารพืชในดินก่อนการปลูกพืช และนำไปสู่การจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตพืช แต่ในปัจจุบันการวิเคราะห์แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กในดิน มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และยังเป็นเพียงการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ทำให้เกษตรกรต้องส่งตัวอย่างดินมายังห้องปฏิบัติการ และอาจทำให้ได้รับผลการวิเคราะห์ไม่ทันต่อฤดูกาลปลูก นอกจากนี้ ในประเทศไทยยังไม่มีการพัฒนาชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กในดิน มีเพียงการนำเข้ามาจากต่างประเทศ และทำให้มีราคาขายค่อนข้างแพง ทำให้เกษตรกรเข้าถึงได้ยาก ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้ ทำให้การวิเคราะห์ธาตุอาหารรอง และเหล็กในดินอยู่ในวงจำกัดเฉพาะนักวิชาการ หรือนักวิจัยเท่านั้น ดังนั้น กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร จึงพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ ลดขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก และสารเคมีที่เป็นอันตราย เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกร รวมทั้งผู้ที่ต้องการนำชุดตรวจสอบไปใช้ สามารถนำชุดทดสอบไปใช้ในภาคสนามได้ด้วยตนเอง เพื่อเป็นการเฝ้าระวัง และทำให้เกษตรกรสามารถปรับปรุงดิน และจัดการธาตุอาหารได้ทันต่อการเพาะปลูกอย่างมีประสิทธิภาพ

### เทคโนโลยีการพัฒนาชุดตรวจสอบ

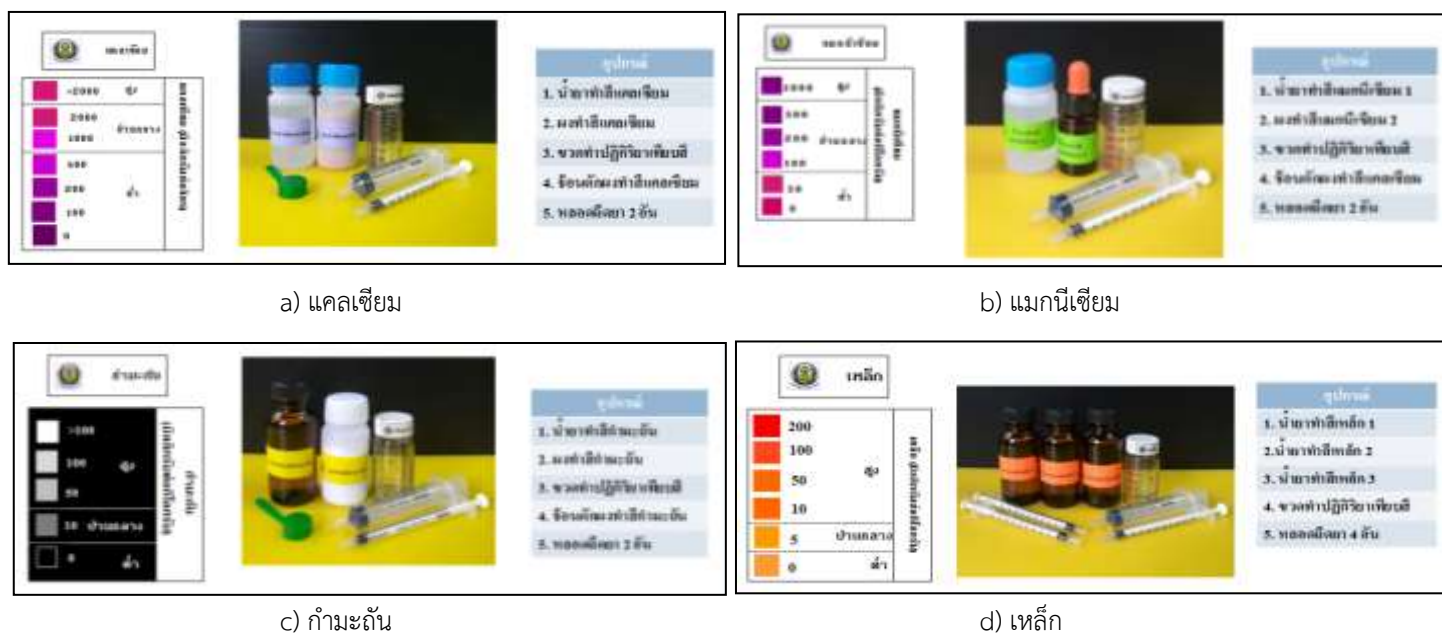
การพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน อาศัยหลักการการเกิดปฏิกิริยาเคมีของแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กที่ถูกสกัดออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช กับสารเคมีเป้าหมาย และทำให้เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (ศุภมาส, 2557) โดยการประยุกต์ใช้น้ำยาสกัดเดียว Mehlich III ในการสกัดหาปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กในดิน และนำสารละลายที่สกัดได้ไปหาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินโดยใช้วิธี EDTA Titration โดยแคลเซียมจะทำปฏิกิริยาเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ EDTA และ Murexide indicator ทำให้สารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพู - สีชมพูอมม่วง ในขณะที่แมกนีเซียมจะทำปฏิกิริยาเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ

EDTA และ Eriochrome black T (EBT) indicator ทำให้สารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีม่วง - ถึงสีชมพูอมม่วง และ นำสารละลายที่สกัดได้ ไปหาปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน โดย Phenanthroline method โดยใช้ สาร 1, 10 - Phenanthroline ในการทำปฏิกิริยากับเหล็กที่เป็นประโยชน์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีส้มแดง สำหรับการสกัดกำมะถันในดินใช้น้ำยาสกัด  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  ทำให้กำมะถันที่เป็นประโยชน์ในดินออกมาอยู่ในรูปของซัลเฟต และนำไปทดสอบหาปริมาณโดย Turbidimetric method โดยการเกิดปฏิกิริยาของซัลเฟตกับ Barium chloride เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน Barium sulfate มองเห็นสารละลายมีสีขาวขุ่น (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** วิธีวิเคราะห์และปฏิกิริยาที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการจัดทำชุดตรวจสอบ

รายการทดสอบ	วิธีวิเคราะห์	การทำปฏิกิริยาของชุดตรวจสอบ
แคลเซียม	EDTA Titration	<b>Colorimetric</b> : Ca and EDTA react with murexide indicator and form pink to wine - red colored complex. $\text{Ca}_x(\text{EDTA})_y + x \text{ Murexide} \rightarrow x\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Murexide} + y\text{EDTA}^{4-}$
แมกนีเซียม	EDTA Titration	<b>Colorimetric</b> : Mg and EDTA react with Eriochrome black T (EBT) indicator and form blue-green to – wine-red colored complex. $\text{Mg}_x(\text{EDTA})_y + x \text{ EBT} \rightarrow x\text{Mg}^{2+} \cdot \text{EBT} + y\text{EDTA}^{4-}$
กำมะถัน	Turbidimetric method	<b>Turbidimetric</b> : Sulfate react with barium chloride and form an insoluble barium sulfate salt then utilizing the turbidity estimation. $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4$
เหล็ก	Phenanthroline method	<b>Colorimetric</b> : Iron react with 1, 10 - phenanthroline and form orange-red colored complex. $\text{Fe}^{2+} + 3\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \rightarrow \text{C}_{36}\text{H}_{24}\text{Fe}_2\text{N}_6^{2+}$

พัฒนาชุดตรวจสอบโดยเตรียมอุปกรณ์ ประกอบด้วย ขวดที่ใช้ทำปฏิกิริยา น้ำยาสกัด และผงสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อน และแผ่นเทียบสีที่ใช้ตรวจวิเคราะห์แคลเซียม ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0 - 2,000 มล./กก. (ภาพที่ 1a) แมกนีเซียม ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0 - 1,000 มล./กก. (ภาพที่ 1b) กำมะถัน ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0 - 100 มล./กก. (ภาพที่ 1c) และเหล็ก ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0 -200 มล./กก. (ภาพที่ 1d)



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ และแผ่นเทียบสีของชุดตรวจสอบ a) แคลเซียม b) แมกนีเซียม c) กำมะถัน และ d) เหล็ก

หลังจากนั้น ทำการทดสอบตัวอย่างดินด้วยชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (ภาพที่ 2) โดยใช้สถิติการถดถอย และสหสัมพันธ์ (Regression and correlation analysis) เป็นหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากชุดตรวจสอบกับผลวิเคราะห์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ และประเมินประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ ประกอบด้วย ค่าความแม่นยำ (accuracy) ความไว (Sensitivity) ความจำเพาะ (Specificity) และค่า Kappa coefficient (K) เพื่อประเมินระดับของการยอมรับ หรือความน่าเชื่อถือ (Degree of agreement) ของชุดตรวจสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (AOAC, 2010; NATA, 2018)



ภาพที่ 2 ชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน

### จุดเด่นและประสิทธิภาพของเทคโนโลยี

จากการประเมินประสิทธิภาพ พบว่า ชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับห้องปฏิบัติการ (r) ตั้งแต่ 0.830 - 0.893\* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความแม่นยำเฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 82.7 - 91.0 ความไวเฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 61.8 - 95.9 ความจำเพาะเฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 62.1 - 90.0 ประเมินความน่าเชื่อถือของชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดตรวจสอบกำมะถัน มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดี (Good agreement; K = 0.64) ในขณะที่ชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กมีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Moderate agreement, K = 0.53, 0.53 และ 0.60 ตามลำดับ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สรุปประสิทธิภาพชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน

ประสิทธิภาพ	รายการทดสอบ			
	แคลเซียม	แมกนีเซียม	กำมะถัน	เหล็ก
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับห้องปฏิบัติการ (r)	0.847*	0.884*	0.893*	0.830*
	(n = 83)	(n = 82)	(n = 83)	(n = 92)
ความแม่นยำ	84.0%	85.2%	82.7%	91.0%
ความไว	75.0%	61.8%	69.2%	95.9%
ความจำเพาะ	62.1%	80.8%	90.0%	89.7%
Kappa coefficient (K)	0.53	0.53	0.64	0.60
ช่วงความเข้มข้น (มก./กก.)	0 - 2,000	0 - 1,000	0 - 100	0-200

หมายเหตุ: \* ทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### การนำชุดตรวจสอบไปใช้ประโยชน์ และการแปลผล

การพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กในดินที่เป็นประโยชน์กับพืช ที่มีขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาไปใช้ในภาคสนามได้อย่างสะดวก ทำให้เกษตรกร ผู้ประกอบการหรือผู้ที่เกี่ยวข้องตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารพืชในดินของตนเองได้อย่างรวดเร็ว ทราบผลภายในเวลา 5 - 10 นาที สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงดิน และจัดการธาตุอาหารพืชให้ดินให้สมดุล และเหมาะสมกับพืช ได้ดังนี้

1. การจัดการสมดุลของธาตุอาหารรอง และเหล็กในดินให้มีปริมาณที่เหมาะสม (ตารางที่ 3) ทั้งนี้ การกำหนดระดับแสดงปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ และชนิดของพืชที่ปลูก หากดินมีปริมาณธาตุอาหารพืชชนิดใดชนิดหนึ่งสูงเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อธาตุอาหารอื่น เช่น ปาล์มน้ำมัน หากดินมีปริมาณแมกนีเซียมในปริมาณสูงเกินไป จะทำให้พืชดึงคูดโพแทสเซียมไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างผลผลิตได้น้อยลง แต่หากปาล์มน้ำมันได้รับแมกนีเซียมในปริมาณที่ไม่เพียงพอ จะทำให้สร้างน้ำมันได้น้อยลง โดยปริมาณแมกนีเซียมที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 75 - 100 มก./กก. (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2563) โดยเกษตรกรสามารถใช้ชุดตรวจสอบเพื่อปรับปริมาณการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับพื้นที่ และชนิดพืชที่ปลูกได้ด้วยตนเอง ท้นต่อระยะการเจริญเติบโตของพืช เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน และทำให้เกษตรกรได้รับผลผลิตที่มีคุณภาพ

**ตารางที่ 3** ระดับแสดงปริมาณธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน

ระดับ	แคลเซียม	แมกนีเซียม	กำมะถัน	เหล็ก
ต่ำ	400 – 1,000	< 60	2 - 5	< 2.5
ปานกลาง	> 1,000 – 2,000	60 - 300	> 5 - 20	2.5 - 4.5
สูง	> 2,000	> 300	> 20	> 4.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Flynn, R. 2015; Horneck, D.A. et al., 2011; Norton, R., 2013.

2. การเลือกใช้ปูนให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยทั่วไปดินที่มีสภาพเป็นกรดจัด จะทำให้ดินขาดแคลเซียม เกษตรกรสามารถใช้ชุดตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารรอง เพื่อเลือกชนิดปูนในการปรับปรุงดินให้เหมาะสมกับปริมาณของธาตุอาหารที่มีอยู่ เช่น หากดินมีปริมาณแมกนีเซียมเพียงพอ อาจทำการปรับปรุงดินด้วยปูน  $\text{CaCO}_3$  แต่หากพบว่า ดินมีปริมาณแมกนีเซียมที่ไม่เพียงพอ ควรเลือกใส่โดโลไมท์ในการปรับปรุงดิน เพื่อเพิ่มแมกนีเซียมให้อยู่ในปริมาณที่พืชต้องการ แต่หากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพความเป็นกรด ควรเลือกใส่ยิปซัมเพื่อเพิ่มธาตุแคลเซียมให้กับพืช

3. การเฝ้าระวัง และควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ในกรณีที่ได้รับในปริมาณที่มากเกินไป เช่น ข้าวจะแสดงการตอบสนองเชิงบวกต่อเหล็ก ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดข้าวและจำนวนรวงของข้าวเพิ่มขึ้น รวมทั้งโภชนาการของข้าวกล้องให้มีปริมาณเหล็กและสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่การใส่เหล็กในอัตรา 4 กก./กก. จะส่งผลให้การเจริญเติบโตข้าวโดยลดลง และยังทำให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้ลดลง ซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว (ณัฐดี และคณะ, 2564) ดังนั้น เกษตรกรควรตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารรอง และเหล็กที่มีอยู่ในดิน ก่อนการใส่ปุ๋ย และหมั่นตรวจสอบ และเฝ้าระวังปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้เพื่อไม่ให้ใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไปจนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

#### การถ่ายทอดเทคโนโลยีชุดตรวจสอบ

ปัจจุบัน ได้ดำเนินการยื่นคำขอรับอนุสิทธิบัตร ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ คำขอรับอนุสิทธิบัตร “ชุดตรวจสอบเหล็กในดิน (DOA-Fe soil test kit)” เลขที่คำขอ 2103000245 วันที่ 25 มกราคม 2564 และอยู่ระหว่างการดำเนินการตรวจสอบ ได้นำชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินไปเผยแพร่และนำไปใช้ประโยชน์ ในพื้นที่ต่างๆ เช่น

1. การบรรยายและสาธิตการเก็บตัวอย่างดิน และการวิเคราะห์ดินด้วยชุดตรวจสอบอย่างง่าย พร้อมทั้งให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการฝึกอบรมโครงการขับเคลื่อนผลงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์หลักสูตร “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมันสำปะหลัง” ณ ศูนย์การเรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) เขาสวนกวาง อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การบรรยาย และสาธิตการใช้ชุดตรวจสอบธาตุอาหารในดิน ภายใต้โครงการขับเคลื่อนผลงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์ หลักสูตร “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมันสำปะหลัง” ณ ศูนย์การเรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) เขาสวนกวาง อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น

2. การนำชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินไปสาธิตการใช้งานให้กับเกษตรกร และให้บริการวิเคราะห์ดินพร้อมแนะนำการอ่านผลการตรวจสอบ และการปรับปรุงดินในเบื้องต้น ณ ที่ทำการอาสาสมัครเกษตรกรหมู่บ้าน นายมะรินทร์ พลเคน บ้านดงบัง ต.ดงเมืองแอม อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น



ภาพที่ 4 สาธิตการใช้งานชุดตรวจสอบ และการแปลผล ณ ที่ทำการอาสาสมัครเกษตรกรหมู่บ้าน นายมะรินทร์ พลเคน บ้านดงบัง ต.ดงเมืองแอม อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น

นอกจากนี้ ได้ให้การสนับสนุนชุดตรวจสอบให้นักวิชาการ และผู้สนใจไปใช้ในโครงการ เช่น โครงการส่งเสริมและพัฒนาอาชีพภายใต้คณะอนุกรรมการนโยบายที่ดิน จังหวัดน่าน งานวิจัย งานทดสอบเทคโนโลยีเกษตรแปลงใหญ่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปาล์มน้ำมัน และทุเรียน เป็นต้น เป็นจำนวนมากกว่า 50 ชุดตรวจสอบ

## สรุป

การพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุรอง และหลักที่เป็นประโยชน์ในดิน เป็นการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนโดยการประยุกต์ใช้น้ำยาสกัด Mehlich III ในการสกัดหาปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กในดิน และนำไปหาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินโดยใช้วิธี EDTA Titration และไปหาปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน โดย Phenanthroline method สำหรับการสกัดกำมะถันในดินใช้น้ำยาสกัด  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$  แล้วนำไปทดสอบหาปริมาณโดย Turbidimetric method จากการศึกษ พบว่า ชุดตรวจสอบมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับห้องปฏิบัติการ (r) ตั้งแต่ 0.830 - 0.893\* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความแม่นยำ เฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 82.7 - 91.0 และชุดตรวจสอบกำมะถัน มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดี (Good agreement; K = 0.64) ในขณะที่ชุดตรวจสอบแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กมีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Moderate agreement, K = 0.53, 0.53 และ 0.60 ตามลำดับ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การพัฒนาชุดตรวจสอบทำให้เกษตรกร ผู้ประกอบการหรือผู้ที่เกี่ยวข้องตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารพืชในดินของตนเองได้อย่างรวดเร็ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการธาตุอาหารพืชให้ดินให้สมดุล และเหมาะสมกับพืชที่ต้องการปลูก การเลือกใช้น้ำยาเพื่อปรับปรุงดิน และการเฝ้าระวัง และควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

## เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ.
- ณัฐวดี อยู่เจริญกิจ สุภิญญา ธนะจิตต์ และสมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม. 2564. ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิด. เกษตร 49(1): 12-24.
- ศุภมาส ด่านวิทยากุล. 2557. ชุดทดสอบ (ทางเคมี) อย่างง่ายทำงานอย่างไร. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ 74 (ก.ค - ก.ย. 2557): 17 - 20.
- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2563. การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบในการผลิตปาล์มน้ำมัน. 19 หน้า Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2010. Protocol describes validation of proprietary chemical methods (test kits). NordVal Protocol No. 2. Washington, DC.
- Flynn R. 2015. Interpreting soil tests: Unlock the secrets of your soil. Circular 676. Las Cruces, NM: Cooperative Extension Service, New Mexico State University.
- Horneck, D.A., Sullivan, D.M., Owen, J.S. and J.M. Hart. 2011. Soil test interpretation guide. EC 1478. Corvallis, OR: Oregon State University Extension Service.
- National Association of Testing Authorities (NATA). 2018. Validation and verification of quantitative and qualitative test methods. Australia. 31p.
- Norton, R. 2013. Focus on calcium: Its role in crop production. Grains Research and Development Corporation. Victoria, Australia.