การพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารรอง และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน เพื่อจัดการดินและปุ๋ย

จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ สงกรานต์ มะลิสอน ญาณธิชา จิตต์สะอาด สุภา โพธิจันทร์
พจมาลย์ ภู่สาร จิตติรัตน์ ชูชาติ กัญฐณา คล้ายแก้ว วรรณรัตน์ ชุติบุตร

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันจัดเป็นธาตุอาหารรอง (Secondary Essentail Elements) และเหล็กจัดเป็นจุลธาตุ (Micronutrient) ที่พืชมีความต้องการในปริมาณน้อยรองจากธาตุอาหารหลัก แต่ถึงแม้ว่าพืชมีความต้องการน้อย แต่หากพืชได้รับธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอ หรือในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงกระบวนต่างๆ ภายในพืช และนำไปสู่อาการผิดปกติต่าง ๆ ของพืช เช่น พืชตระกลูถั่ว ถ้าได้รับแคลเซียม กำมะถันในปริมาณที่ไม่เพียงพอ จะทำให้การสร้างปมที่รากถั่วได้น้อยกว่า 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 ทำให้การวิเคราะห์ธาตุอาหารรองและเหล็กในดินอยู่ในวงจำกัดเฉพาะนักวิชาการ หรืองานวิจัยเท่านั้น 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) โดยการประยุกต์ใช้น้ำยาสกัดเดี่ยว 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 โดยใช้สาร 1, 10 - Phenanthroline ในการทำปฏิกิริยากับเหล็กที่เป็นประโยชน์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีส้มแดง สำหรับการสกัดกำมะถันในดินใช้น้ำยาสกัด Ca_2HPO_4 ทำให้กำมะถันที่เป็นประโยชน์ในดินออกมาอยู่ในรูปของซัลเฟต และนำไปทดสอบหาปริมาณโดย Turbidimetric method โดยการเกิดปฏิกิริยาของซัลเฟตกับ Barium chloride เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน Barium sulfate มองเห็นสารละลายมีสีขาวขุ่น (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 วิธีวิเคราะห์และปฏิกิริยาที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการจัดทำชุดตรวจสอบ

รายการทดสอบ	วิธีวิเคราะห์	การทำปฏิกิริยาของชุดตรวจสอบ
แคลเซียม	EDTA Titration	**Colorimetric :** Ca and EDTA react with murexide indicator and form pink to wine - red colored complex. $Ca_x(EDTA)_y + x$ Murexide ---> xCa^{2+}.Murexide + $yEDTA^{4-}$
แมกนีเซียม	EDTA Titration	**Colorimetric :** Mg and EDTA react with Eriochrome black T (EBT) indicator and form blue-green to – wine-red colored complex. $Mg_x(EDTA)_y + x$ EBT ---> xMg^{2+}.EBT + $yEDTA^{4-}$
กำมะถัน	Turbidimetric method	**Turbidimetric :** Sulfate react with barium chloride and form an insoluble barium sulfate salt then utilizing the turbidity estimation. $Ba^{2+} + SO_4^{2-}$ ---> $BaSO_4$
เหล็ก	Phenanthroline method	**Colorimetric :** Iron react with 1, 10 - phenanthroline and form orange-red colored complex. $Fe^{2+} + 3C_{12}H_8N_2$ ---> $C_{36}H_{24}Fe_2N_6^{2+}$

พัฒนาชุดตรวจสอบโดยเตรียมอุปกรณ์ ประกอบด้วย ขวดที่ใช้ทำปฏิกิริยา น้ำยาสกัด และผงสารเคมีที่ให้เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อน 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)

a) แคลเซียม

b) แมกนีเซียม

c) กำมะถัน

d) เหล็ก

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

หลังจากนั้น ทำการทดสอบตัวอย่างดินด้วยชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น (ภาพที่ 2) โดยใช้สถิติการถดถอยและสหสัมพันธ์ (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* (n = 83)	0.884* (n = 82)	0.893* (n = 83)	0.830* (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 (มล./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) ทั้งนี้การกำหนดระดับแสดงปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ และชนิดของพืชที่ปลูก หากดินมีปริมาณธาตุอาหารพืชชนิดใดชนิดหนึ่งสูงเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อธาตุอาหารอื่น เช่น ปาล์มน้ำมัน หากดินมีปริมาณแมกนีเซียมในปริมาณสูงเกินไป จะทำให้พืชดึงดูดโพแทสเซียมไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างผลผลิตได้น้อยลง แต่หากปาล์มน้ำมันได้รับแมกนีเซียมในปริมาณที่ไม่เพียงพอ จะทำให้สร้างน้ำมันได้น้อยลง โดยปริมาณแมกนีเซียมที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 75 - 100 มก./กก. (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2563) โดยเกษตรกรสามารถใช้ชุดตรวจสอบเพื่อปรับปริมาณการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับพื้นที่ และชนิดพืชที่ปลูกได้ด้วยตนเอง ทันต่อระยะการเจริญเติบโตของพืช 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 $CaCO_3$ แต่หากพบว่า ดินมีปริมาณแมกนีเซียมที่ไม่เพียงพอ ควรเลือกใส่โดโลไมท์ในการปรับปรุงดิน เพื่อเพิ่มแมกนีเซียมให้อยู่ในปริมาณที่พืชต้องการ แต่หากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพความเป็นกรด ควรเลือกใส่ยิปซั่มเพื่อเพิ่มธาตุแคลเซียมให้กับพืช

3. การเฝ้าระวัง และควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ในกรณีที่ได้รับในปริมาณที่มากเกินไป เช่น ข้าวจะแสดงการตอบสนองเชิงบวกต่อเหล็ก ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดข้าวและจำนวนรวงของข้าวเพิ่มขึ้น รวมทั้งโภชนาการของข้าวกล้องให้มีปริมาณเหล็กและสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่การใส่เหล็กในอัตรา 4 มก./กก. จะส่งผลให้การเจริญเติบโตข้าวโดยลดลง และยังทำให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้ลดลง ซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว (ณัฐวดี และคณะ, 2564) ดังนั้น เกษตรกรควรตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารรอง และเหล็กที่มีอยู่ในดิน ก่อนการใส่ปุ๋ย และหมั่นตรวจสอบ และเฝ้าระวังปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้ เพื่อไม่ให้ใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น จนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

การถ่ายทอดเทคโนโลยีชุดตรวจสอบ

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

1. การบรรยายและสาธิตการเก็บตัวอย่างดิน และการวิเคราะห์ดินด้วยชุดตรวจสอบอย่างง่าย พร้อมทั้งให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการฝึกอบรมโครงการขับเคลื่อนผลงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์ หลักสูตร “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 และเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน เป็นการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนโดยการประยุกต์ใช้น้ำยาสกัด Mehlich III ในการสกัดหาปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กในดิน และนำไปหาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยใช้วิธี EDTA Titration และไปหาปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดิน โดย Phenanthroline method สำหรับการสกัดกำมะถันในดินใช้น้ำยาสกัด Ca_2HPO_4 แล้วนำไปทดสอบหาปริมาณโดย Turbidimetric method จากการศึกษา 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 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการธาตุอาหารพืชให้ดินให้สมดุลและเหมาะสมกับพืชที่ต้องการปลูก การเลือกใช้ปูนเพื่อปรับปรุงดิน และการเฝ้าระวัง และควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ.

ณัฐวดี อยู่เจริญกิจ ศุภิฌา ธนะจิตต์ และสมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม. 2564. ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิด. แก่นเกษตร 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.