



คู่มือการปฏิบัติงาน

กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี

กลุ่มวิเคราะห์ดิน

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 4 กรมพัฒนาที่ดิน



ปรับปรุงจากคู่มือการปฏิบัติงาน
กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมีแก้ไขครั้งที่ 01 วันที่บังคับใช้
กันยายน 2553 และคู่มือการปฏิบัติงานเครื่องย้ายห้องปฏิบัติการ
วิเคราะห์ดินประเทศไทย (TSLAN - SOP) ประกาศใช้ 26 ธันวาคม 2568

สารบัญ

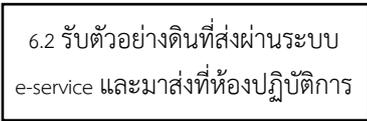
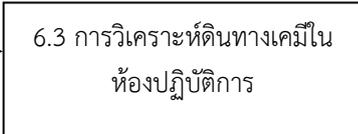
หัวข้อ	หน้า
1. วัตถุประสงค์	1
2. ผังกระบวนการทำงานและระยะเวลาการทำงาน	2
3. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	6
4. กฎหมาย มาตรฐาน และเอกสารที่เกี่ยวข้อง	7
5. ขั้นตอนและวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	8 - 41
6. ภาคผนวก (กฎกระทรวง พ.ศ.2555)	43

1. วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นคู่มือสำหรับนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ของกลุ่มวิเคราะห์สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 4 รวมทั้งหน่วยงานต่างๆ ได้ใช้ในการวิเคราะห์ดินทางเคมี ทำให้การปฏิบัติงานด้านวิเคราะห์ดินมี ประสิทธิภาพ เป็นมาตรฐานเดียวกัน และสามารถตรวจสอบได้

2. ผังกระบวนการทำงาน (Work flow)

2.1 แผนผังกระบวนการทำงานของกลุ่มวิเคราะห์ดิน

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา (หน่วย)	รายละเอียดงาน	ผู้รับผิดชอบ
1	 <p>6.1 การยืนยันใบส่งตัวอย่างในระบบ e-service</p>	1 วัน	ตรวจเช็ครายละเอียดและกดรับการยืนยันใบรับตัวอย่างในระบบ e-service	เจ้าหน้าที่
2	 <p>6.2 รับตัวอย่างดินที่ส่งผ่านระบบ e-service และมาส่งที่ห้องปฏิบัติการ</p>	1-15 วัน	<ol style="list-style-type: none"> กดยืนยันรับตัวอย่างที่ลงระบบเมื่อได้รับตัวอย่างดิน เรียงดินบนชั้นวางดินพร้อมเขียนแผ่นป้าย (วันที่ดินขึ้น รหัสเลขที่ เลขปฏิบัติการ จำนวน ตัวอย่างดิน ติดที่ชั้นดิน) ส่งวิเคราะห์ดินตามรายการที่ผู้รับบริการ ต้องการบนบอร์ดส่งงาน 	เจ้าหน้าที่ เจ้าหน้าที่ ผอ.กลุ่มฯ
3	 <p>6.3 การวิเคราะห์ดินทางเคมีในห้องปฏิบัติการ</p>	25 วัน/ 80 ตัวอย่าง	<ol style="list-style-type: none"> เตรียมน้ำเคมีและอุปกรณ์ การสกัดดิน การวิเคราะห์ดินตามรายการที่รับผิดชอบในใบสั่งวิเคราะห์ดินที่ติดบอร์ดไว้ การคำนวณผลวิเคราะห์ การตรวจสอบ ลงผลวิเคราะห์ดินที่ได้คำนวณเสร็จแล้วในระบบ e-service 	นักวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ นักวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่
4	 <p>6.4 บันทึกผลวิเคราะห์ดิน</p>	1 วัน/ 80 ตัวอย่าง	1.บันทึกข้อมูลผลวิเคราะห์ดินลงในระบบ e-service	เจ้าหน้าที่
5	 <p>6.5 ตรวจสอบผลวิเคราะห์</p>	2 วัน/ 80 ตัวอย่าง	<ol style="list-style-type: none"> ตรวจสอบ หากมีข้อสงสัย วิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง 	ผอ.กลุ่มฯ นักวิทยาศาสตร์
6	 <p>6.6 ส่งออกรายงานผลวิเคราะห์ดิน</p>	1 วัน/ 80 ตัวอย่าง	<ol style="list-style-type: none"> ส่งออกรายงานผลวิเคราะห์ดินทางระบบ e-service ทิ้งดินที่เหลือ หลังส่งออกผลแล้ว 2 เดือน 	ผอ.กลุ่มฯ เจ้าหน้าที่

2.2 แผนผังกระบวนการวิเคราะห์ดินทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา (หน่วย)	รายละเอียดงาน	ผู้รับผิดชอบ
1		2 วัน	1.เตรียมน้ำยาเคมี 2.เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือ ต่างๆในการวิเคราะห์	นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่กลุ่ม
2		1-2 วัน/ 80 ตัวอย่าง	1. ชั่งดิน 2. เติมน้ำ/น้ำยาสกัด 3. กวน หรือ เขย่า 4. กรอง หรือ กรองด้วยแรงดึง ระบบสุญญากาศ เช่น การ paste ดินและ การสกัดทำ CEC เป็นต้น	นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่กลุ่ม
3		1-5 วัน/ 80 ตัวอย่าง/ รายการ	สารละลายสกัดที่ได้นำไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องมือ วิทยาศาสตร์ต่างๆ คือ 1. pH meter 2. Flame photometer 3. UV-Spectrophotometer 4. Atomic Absorption Spectrophotometer 5. Electrical conductivity meter 6. เครื่องกลั่น CEC 7. Titrator	นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่กลุ่ม
4		1 วัน	คำนวณผลวิเคราะห์	นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่กลุ่ม
5		2 วัน	ตรวจสอบความถูกต้องหาก มีข้อสงสัย วิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง	นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่กลุ่ม
6		1 วัน	ลงผลวิเคราะห์จากการคำนวณใน ระบบ e-service	นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่กลุ่ม

3. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3.1 การรับใบบันทึกรายละเอียดการส่งตัวอย่างดิน

3.1.1 เจ้าหน้าที่ของกลุ่มฯ รับใบบันทึกรายละเอียดการส่งตัวอย่าง จากผู้ขอรับบริการ ซึ่งผู้ขอรับบริการได้กรอรายละเอียดในระบบ e-service ว่าต้องการวิเคราะห์ตรวจสอบรายการใดบ้าง

3.1.2 ผู้อำนวยการกลุ่มฯ บันทึกรับตัวอย่างดินในระบบ e-service

3.2 การรับตัวอย่างดินที่บดเสร็จแล้ว

3.2.1 เจ้าหน้าที่ของกลุ่มฯ รับตัวอย่างดินจากระบบขนส่งและจากผู้ใช้บริการมาส่งด้วยตนเอง ลงเลขปฏิบัติการที่ได้จากระบบ e-service

3.2.2 เจ้าหน้าที่ของกลุ่มฯ เรียงดินบนชั้นวางดิน พร้อมเขียน แผ่นป้ายติดที่ชั้นดิน แสดง เลขรับ เลขปฏิบัติการ จำนวนตัวอย่าง และวันที่ดินขึ้น

3.2.3 ผู้อำนวยการกลุ่มฯ สั่งงานวิเคราะห์ที่ติดบอร์ดตามรายการที่ต้องวิเคราะห์ ในรูป ตารางเรียงลำดับตามเลขรับ และวันที่รับตัวอย่างดิน

3.2.4 เจ้าหน้าที่ของกลุ่มฯ ลงผลวิเคราะห์ดินในระบบ e-service เพื่อให้ผู้ใช้บริการเปิดดูผลวิเคราะห์ดินในระบบด้วยตนเอง

3.3 การวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ

เจ้าหน้าที่ของกลุ่มฯ รับผิดชอบวิเคราะห์ดินตามรายการใน “ใบสั่งวิเคราะห์ดิน” ที่ติด บอร์ดไว้ โดยผู้อำนวยการกลุ่มฯ จะแบ่งงานตามความสามารถ ความชำนาญงานของบุคลากร และความยุ่งยากของวิธีการวิเคราะห์ดิน มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 เตรียมน้ำยาเคมีและอุปกรณ์

(1) นักวิทยาศาสตร์ เตรียมน้ำยาเคมีต่างๆและตรวจสอบเครื่องมือวิทยาศาสตร์

(2) เจ้าหน้าที่ของกลุ่มฯ เตรียมวัสดุ อุปกรณ์เครื่องแก้ว กรวยกรอง กระดาษกรอง

เพื่อใช้ในการสกัดดิน และวิเคราะห์ดิน

3.3.2 การสกัดดิน

(1) ชั่งดินหรือตวงดิน

(2) เติมน้ำยาสกัดลงในขวดบรรจุดินที่ชั่งไว้แล้ว

(3) เขย่า หรือกวนดิน ทำให้เกิดปฏิกิริยา

(4) กรองดิน หรือกรองด้วยระบบสุญญากาศ จนได้สารละลายสกัด

3.3.3 การวิเคราะห์ นำสารละลายสกัดที่ได้ ไปวิเคราะห์รายการต่างๆ ตามวิธีวิเคราะห์ (ในคู่มือวิเคราะห์ดินทางเคมี/ภาคผนวก) ด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์เฉพาะชนิดต่างๆ ตามรายการ วิเคราะห์ดังต่อไปนี้

(1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH)

(2) ค่าความต้องการปูน (Lime Requirement : LR)

(3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter : OM)

(4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorous : avail. P)

(5) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available potassium : avail. K)

(6) ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available calcium : avail. Ca)

(7) ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available magnesium : avail. Mg)

(8) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก Cation Exchange capacity : CEC)

(9) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium : exch. K)

(10) ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable sodium : exch. Na)

(11) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity : EC)

3.3.4 การคำนวณ นำค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ไปคำนวณ จะได้ผลวิเคราะห์

3.3.5 การตรวจสอบ ถ้าผลวิเคราะห์ที่ได้ไม่ถูกต้อง ต้องนำไปวิเคราะห์ใหม่อีกครั้งหนึ่ง

3.4 การบันทึกผลวิเคราะห์

3.4.1 เจ้าหน้าที่ผู้บันทึกข้อมูล จะบันทึกข้อมูลผลวิเคราะห์ดินที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว ลงในระบบ e-service

3.5 การตรวจสอบ

3.5.1 ผู้อำนวยการกลุ่มฯ ตรวจสอบรายงานผลวิเคราะห์ดิน

3.5.2 หากสงสัย ทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

3.6 การส่งออกรายงานผลวิเคราะห์

3.6.1 ผู้อำนวยการกลุ่มฯ รับรองผลวิเคราะห์ดินที่ผ่านการตรวจสอบแล้วในระบบ e-service เพื่อให้ผู้ใช้บริการเปิดดูในระบบต่อไป

3.6.3 ตรวจสอบข้อมูลตัวอย่างดินที่ได้ส่งออกรายงานผลวิเคราะห์แล้ว และเก็บดินที่เหลือไว้รอตรวจสอบ เมื่อเวลาผ่านไปนานกว่า 2 เดือน จะทิ้งดินที่เหลือเหล่านั้น และบันทึกวันที่ทิ้ง ดินนี้ลงในสมุดคุม

4. กฎหมาย มาตรฐาน และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

4.1 ระเบียบกรมพัฒนาที่ดินว่าด้วยขั้นตอนระยะเวลาการวิเคราะห์ดินเพื่อประชาชน เป็นการเฉพาะ ราย พ.ศ. 2547 ใช้เพื่อการเร่งรัด กำหนดระยะเวลาดำเนินการ ตั้งแต่การให้บริการในการลงทะเบียนรับคำขอ การพิจารณาอนุมัติ รวมทั้งการดำเนินการตามคำขอ หมายเหตุ เกษตรกรเป็นผู้ยื่นคำขอไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

4.2 กฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไข และอัตราค่าใช้จ่าย ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบตัวอย่างดินเป็นการเฉพาะราย พ.ศ. ๒๕๕๕ ใช้ในการกำหนดอัตราค่าธรรมเนียม การวิเคราะห์ ตรวจสอบตัวอย่างดิน และสิ่งที่เกี่ยวข้องกับดิน

4.3 สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พีช วัสดุ ปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรม พัฒนาที่ดิน.

4.4 เอกสารการวิเคราะห์ดินในภาคผนวก

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน (Soil pH)

คำนำ

ความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (alkalinity) ของดิน เป็นสมบัติที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อ ขบวนการทางเคมีและชีวภาพในดิน ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช

ความเป็นกรดหรือความเป็นด่างของดินเกี่ยวข้องกับ hydrogen ion (H^+) และ hydroxyl ion (OH^-) ในสารละลายดิน (soil solution) โดยปกติในสารละลายดินจะมีไอออนทั้งสองชนิดนี้ และ

ถ้ามี $H^+ > OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด เรียกดินกรด

ถ้ามี $H^+ < OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่าง เรียกดินด่าง

ถ้ามี $H^+ = OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกลาง เรียกดินเป็นกลาง

แหล่งที่มาที่สำคัญของ H^+ ซึ่งก่อให้เกิดความเป็นกรดในดิน ได้แก่

1. H^+ จากกรดในดิน เช่น H_2CO_3 , HNO_3 , H_2SO_4 และกรดอินทรีย์ต่างๆ ดังเช่น



2. H^+ ที่เกิดจาก Al^{3+} และ Fe^{3+} ในสารละลายดิน เช่น



แหล่งที่มาที่สำคัญของ OH^- ซึ่งก่อให้เกิดความเป็นด่างนั้น ได้แก่ OH^- ที่เกิดจาก basic cations เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ และ Na^+ เมื่ออยู่ในสารละลายดิน

การวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดิน นิยมวัดออกมาเป็นค่าของ pH แทนการบอกเป็นค่า ความเข้มข้นของ H^+ หรือ OH^- ในสารละลาย ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย “ผลคูณของ ความเข้มข้นของ H^+ และ OH^- จะมีค่าคงที่เท่ากับ $10^{-14} M$ ” ดังนั้น การวัดความเป็นกรดเป็นด่าง ของสารละลาย จึงนิยมวัด เฉพาะความเข้มข้นของ H^+ (active acidity) เท่านั้น โดยที่

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

เมื่อ $[H^+]$ คือความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลาย มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร

การวัด pH ของดิน ในห้องปฏิบัติการทดลอง วัดด้วยเครื่อง pH meter หลักการเหมือนกับการวัด pH โดยทั่วไป แต่การวัด pH ของดิน สามารถวัดในสารละลายได้หลายชนิดเช่นวัดในน้ำ ในสารละลายโปแตสเซียมคลอไรด์ ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ หรือในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ การเลือกวัด pH ในแต่ละชนิดของสารละลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำข้อมูล ไปใช้ เพราะการใช้สารละลายต่างชนิดกัน จะเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติบางอย่างของดินนั้น โดยทั่ว ๆ ไป เมื่อ ต้องการทราบเพียงว่าดินมี pH เป็นกรดหรือ ด่าง การวัดใช้วัดในน้ำในอัตราส่วนของดินต่อน้ำต่างๆกัน ดินตั้งแต่อัตราส่วน 1:1 ;1:2 ;1:2.5 ;1:5 ผู้วัดจะ เลือกใช้อัตราส่วนใดก็ได้ แต่มีข้อสังเกตว่าปริมาณ สัดส่วนของน้ำที่ต่างกันจะมีผลต่อค่า pH ที่วัดได้ ใน ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินโดยทั่วไปมักใช้ สัดส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1:1 หรือ 1:2

อุปกรณ์

1. เครื่อง pH meter
2. เครื่องชั่ง
3. บีกเกอร์พลาสติก ขนาด 50 มล. หรือ ขนาด 100 มล.
4. แuantงแก้วสำหรับคน

5. กระจกชนิดน้ำ
6. ข้อนตวง
7. กระจกตวง 25 มล.

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน pH 7.0 (Standard buffer Solution)
2. สารละลายมาตรฐาน pH 4.0 (Standard buffer Solution)
3. สารละลายมาตรฐาน pH 10.0 (Standard buffer Solution)
4. สารละลาย 1 M KCl : ละลาย KCl (อบที่ 110 °C นาน 2 ชั่วโมง) 74.5 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
5. สารละลาย 0.01 M CaCl₂ : ละลาย CaCl₂ 2H₂O (อบที่ 110 °C นาน 2 ชั่วโมง) 1.47 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

วิธีการ

1. การวัด pH ในน้ำ อัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1 (w/w)
ชั่งดิน 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์พลาสติก. เติมน้ำกลั่น 20 มล. คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ ให้บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วน ที่เป็นน้ำใสด้วย pH meter หรือใช้ข้อนตวงตักดินและตวงน้ำแทนการชั่งดิน เพื่อวัด pH (1:1, v/v) ก็ได้
2. การวัด pH ใน 1 M KCl อัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1
ทำเช่นเดียวกับการวัดค่า pH ในน้ำ แต่ใช้ 1 M KCl แทนน้ำกลั่น
3. การวัด pH ใน 0.01 M CaCl₂ อัตราส่วน ดิน: น้ำ = 1:2
ชั่งดิน 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์พลาสติกเติมสารละลาย 0.01 M CaCl₂ 40 มล. คนให้เข้ากันด้วย แท่งแก้วเป็นระยะๆ ให้บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH meter

ข้อเสนอแนะ

1. การวัด pH ของสารละลายดินด้วย pH meter ต้องคำนึงถึง สัดส่วนของดินต่อน้ำ การมีเกลือต่างๆ ละลายอยู่ในสารละลายดิน
2. ค่า pH ของดิน เมื่อวัดในสารละลาย KCl และ CaCl₂ จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อวัดในน้ำในอัตราส่วน 1:1
3. CO₂ ในอากาศมีผลกระทบต่อ การวัด pH ของดินในน้ำได้ เพราะ CO₂ ในอากาศสามารถ ละลายในน้ำ กรณีที่เป็นงานที่ต้องการความถูกต้องมากเป็นพิเศษ ต้องป้องกันด้วยการปิด beaker ที่ ใช้ผสมตัวอย่างดินกับน้ำไว้ก่อนการวัด
4. ก่อนวัดค่า pH ของสารละลายดิน จะต้องเตรียมเครื่อง pH meter ให้พร้อมที่จะทำงาน เสียก่อน โดยการวัด Standard buffer solution 7.0 และ 4.0 ปรับเครื่องอ่านค่า pH เป็น 7.0 และ 4.0
5. ในกรณีที่ดินเป็นต่างสูงคือมี pH สูงกว่า 7.5 ให้ใช้ Standard buffer solution 7.0 และ 10.0
6. เครื่อง pH meter ที่ใช้งานเสร็จแล้ว ควร Stand by ไว้ ไม่ควรปิดเครื่องเลย และ electrode ควรแช่อยู่ในสารละลายตามคำแนะนำของวิธีการใช้ electrode แต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่น
7. สารละลายที่ใช้เติมใน electrode ควรซื้อตามคำแนะนำของบริษัทที่ขาย electrode เนื่องจากแต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่นใช้สารละลายที่เติมไม่เหมือนกัน

การแปลผล

การแปลความหมายค่า pH ของดินในน้ำ

ระดับ	ช่วง pH _{water} , 1:1
กรดรุนแรงมากที่สุด	< 3.5
กรดรุนแรงมาก	3.5 – 4.4
กรดจัดมาก	4.5 – 5.0
กรดจัด	5.1 – 5.5
กรดปานกลาง	5.6 – 6.0
กรดเล็กน้อย	6.1 – 6.5
เป็นกลาง	6.6 – 7.3
ด่างอ่อน	7.4 – 7.8
ด่างปานกลาง	7.9 – 8.4
ด่างจัด	8.5 – 9.0
ด่างจัดมาก	> 9.0

เอกสารอ้างอิง

กองวิเคราะห์ดิน. 2540. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินกับการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ.

กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ. 59 หน้า.

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. 2541. ปทานุกรมปฐพีวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2530. คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร,

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 119 หน้า.

Beck, R. 1999. Soil Analysis Handbook of Reference Methods. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press, USA. 247 p.

Blakemore, L.C. , P.L. Searle and B.K. Daly. 1987. Methods for Chemical Analysis of Soils. NZ Soil Bureau Scientific Report 80. Lower Hutt, New Zealand. 103 p.

Peech , M. 1965. Hydrogen-Ion Activity. pp. 914-926. In Methods of Soil Analysis Part 2. C.A. Black (ed.) American society of Agronomy, Inc., Publisher. USA

Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Austrain Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods. Inkata Press, Sydney, Australia. 330 p.

Soil Survey Laboratory Staff. 1992. Reaction (pH). pp 274-276. In Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigations report No. 42 , V.2.0.

ความต้องการปูนของดิน (Lime requirement, LR)

1. คำนำ

ดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดมักจะมีค่าความอิ่มตัวด้วยเบส (base saturation) น้อยกว่า 75% จึงมี ประจุบวกที่แลกเปลี่ยน เช่น Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} อยู่ น้อยและประจุบวกเหล่านี้ถูกชะล้างไปได้ง่ายยิ่งขึ้นถ้าดินเป็นกรด พืชที่ปลูกบนดินกรดอาจจะขาดธาตุอาหารพวกแคลเซียมและแมกนีเซียมนอกจากนี้จุลธาตุบางธาตุ เช่น เหล็ก มังกานีส สังกะสี ทองแดง และธาตุอื่นที่ไม่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น อะลูมิเนียม จะละลาย ออกมาอยู่ในสารละลายดินมากจนกลายเป็นสารที่เป็นพิษต่อพืชได้ ดังนั้น ดินที่เป็นกรดจัดจึงไม่เหมาะสมต่อ การเจริญเติบโตของพืช ช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมต่อพืช โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับธาตุ อาหารของพืชที่มีอยู่ในดินและ เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง pH 6.0 – 7.0 การแก้ไขดินกรด นิยมใช้ปูน (lime) โดยปกติหมายถึง สารประกอบ oxide, hydroxide และ carbonate ของแคลเซียมและ แมกนีเซียมเท่านั้น เช่น ปูนขาว หินปูน ซึ่งเป็นสารสามารถทำ ปฏิกิริยาสะเทินกับ active acidity (H^{+} ใน สารละลายดิน) ทำให้ H^{+} ในสารละลายดินลดลง และ pH เพิ่มขึ้น แต่ดินมีสมบัติในการต้านทานการ เปลี่ยนแปลงความเป็นกรดหรือด่าง (buffer) กล่าวคือ ดิน จะปลดปล่อย potential acidity ออกมาชดเชย active acidity ที่ถูกสะเทินไป ดังนั้น ถ้าต้องการ ยกกระดับ pH ของดินให้สูงถึงระดับที่ต้องการ จะต้องใส่ปูน ลงไปในปริมาณมากพอที่จะสะเทิน active acidity ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจาก potential acidity จนเมื่อ ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้ว เหลือ active acidity ในสารละลายดินในปริมาณที่พอๆ กับ OH^{-} หรือ pH เป็น กลาง จะเห็นว่าดิน 2 ชนิด มี pH (active acidity) เท่ากัน แต่มี potential acidity ต่างกัน จะต้องใส่ปูนใน ปริมาณที่ต่างกัน เพื่อที่จะยกกระดับ pH ของดินทั้งสองให้สูงขึ้นถึงระดับที่ต้องการความต้องการปูนของดิน หมายถึงปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ ที่เมื่อใส่ลงไป ใน ดินหนึ่งหน่วยพื้นที่แล้วทำให้ pH ของดิน เพิ่มขึ้นถึงระดับที่ต้องการ (โดยปกติถ้าไม่ระบุว่าเป็น ระดับ pH ไต จะหมายถึง pH 7) มีหน่วยเป็น กก./ไร่, ตัน/เฮกตาร์ เป็นต้น

วิธีหาความต้องการปูนของดินมีหลายวิธี จะขอกกล่าวถึงวิธีของ Woodruff และวิธีของ Dunn

วิธีของ Woodruff

1. อุปกรณ์

1. เครื่อง pH meter
2. เครื่องชั่ง
3. ปีกเกอร์พลาสติก ขนาด 50 มล. หรือ ขนาด 100 มล.
4. แท่งแก้วสำหรับคน

2. สารเคมี

1. การเตรียมน้ำยา Woodruff

ละลาย calcium acetate 40 กรัม, para – nitrophenol 8 กรัม และ sodium hydroxide 1.2 กรัม ในน้ำกลั่น ผสมสารละลายทั้งหมดเข้าด้วยกันในขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 ลิตร และ เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรประมาณ 980 มล. ผสมให้เข้ากัน ปรับน้ำยาที่เตรียมให้มี pH 7.0 ด้วย สารละลาย NaOH หรือ CH_3COOH แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) 0.1 N

ตวงกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 8.75 มิลลิลิตรค่อยๆเทลงในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1 ลิตร เทียบมาตรฐาน (Standardize) ดีเตรทกับสารละลายโซเดียมเตตราโบเรตมาตรฐาน (Standard sodium tetraborate ; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

3. วิธีการ

1. การทำกราฟมาตรฐานของน้ำยา Woodruff : โตะเตรทสารละลาย Woodruff 20 มล. ด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.2000 N HCl ครั้งละ 0.5 มล. คนให้เข้ากันแล้ววัดค่า pH ของสารละลาย buffer นี้ทุกครั้งที่เติมกรดลงไป จนกระทั่งใช้กรดไปประมาณ 13 - 15 มล. จึงนำค่า pH กับ ปริมาณ กรดที่เติมลงไป (me H^+) มาเขียนกราฟ คำนวณ pH unit ต่อ me H^+ ของ buffer จากส่วนที่เป็น เส้นตรงของกราฟนี้

2. การหาปริมาณความต้องการปูนของดิน

ชั่งดินที่ต้องการหาปริมาณปูน 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำและสารละลาย Woodruff อย่างละ 20 มล. คนให้เข้ากัน 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัด pH ค่า pH ที่วัดได้ นี้จะต้องไม่ต่ำกว่าจุดที่ต่ำสุดที่เป็นเส้นตรงของกราฟที่ทำไว้ ถ้าต่ำกว่าต้องลดน้ำหนักของดินลง เป็น 10 กรัม นำค่า pH ที่วัดได้คำนวณหาปริมาณความต้องการปูน

4. การคำนวณ

สมมติใช้ดิน A กรัม เติม Woodruff 20 มล. วัด pH ของน้ำยา Woodruff ลดลงจาก 7.0 ไป Δ pH จากกราฟ pH เปลี่ยนไป 1.00 pH unit = B me H^+

pH ของสารละลายดินเมื่อเติม Woodruff เปลี่ยนไปจาก 7.0 = Δ pH

ดังนั้น ดิน A กรัม ต้องลด H^+ เพื่อให้มี pH เป็น 7 = $B \times \Delta$ pH me H^+

หรือต้องการปูน = $B \times \Delta$ pH x 50 mg CaCO_3

ดิน 1 ไร่ ต้องการ CaCO_3 = $B \times \Delta$ pH x 50 x 384,000,000/A mg CaCO_3

= $B \times \Delta$ pH x 50 x 384 x 10^6 / (A x 10^6) kg CaCO_3

= $19.2 \times B \times \Delta$ pH/A ตัน CaCO_3

การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุของดิน

(Walkley Black modified acid-dichromate digestion, FeSO₄ titration method)

หลักการ

คาร์บอน (carbon) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรีย์วัตถุ ดังนั้นในการหาปริมาณ อินทรีย์วัตถุในดินจึงใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนโดยใช้สารเคมีทำให้เกิด oxidation กับ คาร์บอนในอินทรีย์วัตถุในดินแล้วคำนวณปริมาณคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุจากปริมาณของสารเคมี ที่ใช้ไปปฏิกิริยา และเมื่อทราบปริมาณคาร์บอนแล้วสามารถนำมาคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยประมาณ โดยคูณกับ “Van Bemmelen factor” ซึ่งเท่ากับ 1.724 จากหลักที่ว่า อินทรีย์วัตถุมี ปริมาณคาร์บอน 58% (Allison และ Moodie, 1965) ให้ใช้เป็นตัวคูณ (factor) ที่เปลี่ยนจากอินทรีย์ คาร์บอนเป็นอินทรีย์วัตถุ แตกต่างกันในดินบนและดินล่าง กล่าวคือ ดินบนคูณด้วย 1.9 โดยประมาณ (52% C) และดินล่างคูณด้วย 2.5 (40% C) แต่อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนต่อ อินทรีย์วัตถุในดินที่แตกต่างกัน และระหว่างชั้นดินในดินเดียวกันไม่แน่นอน ดังนั้นจึงนิยมใช้ตัว คูณ 1.724 ดังกล่าวมากกว่า

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินนิยมใช้วิธีของ Walkley และ Black ซึ่งมีหลักการ ดังนี้คือ

1. ใช้ oxidizing agent (K₂Cr₂O₇) ที่มากเกินไปทำปฏิกิริยากับ reducing agent ที่มีอยู่ใน ดินจนหมด ซึ่งในที่นี้หมายถึงอินทรีย์คาร์บอน

2. ใช้ reducing agent (FeSO₄·7H₂O หรือ Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O) ทำปฏิกิริยากับ K₂Cr₂O₇ ที่เหลือ

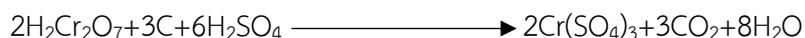
3. ทำ Blank อีกครั้งหนึ่งโดยไม่รวมดินตัวอย่าง

4. ปริมาณของ FeSO₄ ที่ทำปฏิกิริยากับ K₂Cr₂O₇ ใน back จะนำมาคำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงของ FeSO₄

5. เนื่องจากปริมาณของ easily oxidizable material ที่วิเคราะห์ได้นั้นเป็นเพียงการวัด reducing power ของดินเท่านั้นเอง ดังนั้นก่อนที่จะเปลี่ยนให้เป็นปริมาณของอินทรีย์วัตถุก็ต้องผ่าน สมมุติฐานหลายข้อคือ

1) ถือว่าไม่มี reducing agent อื่นที่เป็นอินทรีย์วัตถุในดินเลย จะมีแต่อินทรีย์คาร์บอน เท่านั้นที่ถูก oxidized ในการทำปฏิกิริยาครั้งนี้

2) ถือว่า equivalent weight ของ carbon ซึ่งถูก oxidized นั้นเท่ากับ 3



3) ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ recovery ของ carbon ในดินเท่ากับ 74 - 76 % ซึ่งค่านี้ได้มา จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี dry combustion ซึ่งเราสมมุติว่าเป็นวิธีที่ให้ 100% recovery

4) คำนวณเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุจากค่าที่สมมุติให้อินทรีย์วัตถุในดินมี carbon 58% (เป็นอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในรูปของ carbohydrate เช่น glucose เป็นต้น)

อุปกรณ์

1. ขวดชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล.
2. Dispenser ขนาด 10 และ 20 มล.
3. กระบอกตวง ขนาด 100 มล.
4. บิวเรตขนาด 50 มล.
5. เครื่องกวน (magnetic stirrer)

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4)
3. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate) 0.5 N
4. สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน อินดิเคเตอร์

วิธีเตรียมน้ำยาเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N
ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (A.R grade อบที่ $105\text{ }^{\circ}C$ 24 ชั่วโมง) 49.04 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำสารละลายให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.5 N
ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มล. ที่มีกรด H_2SO_4 เข้มข้นอยู่ 20 มล. แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่นเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาล
3. สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีนอินดิเคเตอร์
ละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.7 กรัม และออร์โทฟีแนนโทรลีน 1.48 กรัม ในน้ำกลั่น และทำให้มีปริมาตร 100 มล.

วิธีทำ

1. ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ขวดชมพู่ ขนาด 250 มล. (ปริมาณตัวอย่างดินอาจลดลงได้ตามความเหมาะสมถ้าดินนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง สังเกตได้จากสีของดิน ถ้าเป็นดินสีดำหรือ สีน้ำตาลเข้มต้องชั่งดินให้ลดลง แต่ถ้ากรณีเป็นดินทรายก็ต้องเพิ่มปริมาณดินให้มากขึ้นกว่าเดิม)
2. เติม สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N 10 มล. โดยใช้ Dispenser
3. เติม H_2SO_4 เข้มข้น 20 มล. โดยใช้ Dispenser พยายามให้กรดไหลลงข้าง ๆ ขวดให้ชะล้างตัวอย่างลงไปอยู่ในขวดให้หมด เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดดินเกาะติดอยู่ตามข้างขวด เขย่าเบาๆ ให้ตัวอย่างเข้ากันดีเป็นเวลาประมาณ 1 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
5. เติมน้ำกลั่น 50 มล. แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
6. หยดอินดิเคเตอร์ออร์โทฟีแนนโทรลีน 5 หยด
7. ไตเตรทด้วยสารละลาย FAS 0.5 N ที่จุด end point สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง
8. ทำ Blank โดยเริ่มทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึง ขั้นตอนี่ 6

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, O.C.)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 1000 \times W}$$

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, O.M.)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W}$$

$$\text{หรือ } \% \text{ OM} = \% \text{ O.C.} \times 1.724$$

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มล.)

S = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มล.)

W = น้ำหนักดินที่ใช้ (กรัม)

N = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ (ในกรณีที่มีความเข้มข้นไม่ใช่ 1.0 N)
(หน่วย normality)

การแปลผล

ระดับอินทรีย์วัตถุ

ระดับ (rating)	พิสัย (ร้อยละ)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5 – 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 – 1.5
ปานกลาง	1.5 – 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 – 3.5
สูง	3.5 – 4.5
สูงมาก	> 4.5

คำแนะนำ

เนื่องจากการเตรียมสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต $K_2Cr_2O_7$ 1.0 N จะเตรียม คราวละ มาก ๆ ดังนั้น normality ของสารละลาย จะไม่เท่ากับ 1.0 N จริง ในกรณีเช่นนี้ควรเตรียม สารละลาย มาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 1.0 N ที่แน่นอน 100 มล. เพื่อเอาไปหาความเข้มข้น ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เตรียมไว้มาก ๆ

เอกสารอ้างอิง

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1. กรมพัฒนาที่ดิน. 184 หน้า.

Allison, L.E. 1965.Organic Carbon. *In* Methods of soil analysis, part 2 no. 9 pp 1367-1378.

Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin

Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil. Sci. Amer. Proc.* 63:257.

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินโดยวิธี Bray II

1. บทนำ

ฟอสฟอรัส (P) ในดินมีทั้งที่อยู่ในรูปของอินทรีย์และอนินทรีย์ (P form) อนินทรีย์ฟอสฟอรัส คือ ส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่ารูปอื่น ๆ มักอยู่ในรูปที่ถูกตรึงกับอะลูมิเนียมฟอสเฟต (Al-P) เหล็กฟอสเฟต (Fe-P) และแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) เป็นหลัก สัดส่วนของสารประกอบทั้งสามตัวนี้ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (Soil pH) ซึ่งในดินที่เป็นกรดจะมีเปอร์เซ็นต์ของ Al-P และ Fe-P สูงกว่า แต่ในดินที่มีสภาพที่เป็นกลางหรือด่าง จะมี Ca-P อยู่ในเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่า (Jones, 2001) โดยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินมักอยู่ในรูปอนุโมลฟอสเฟต คือ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ซึ่งได้จากกระบวนการแปรสภาพของอินทรีย์วัตถุ และจากการละลายของสารประกอบฟอสเฟตต่าง ๆ ในดินออกมาอยู่ในสารละลายดิน (Soil solution) ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลกัน เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตในสารละลายดินไปใช้จะทำให้ปริมาณในส่วนนี้ลดลง ฟอสเฟตในส่วนของ Soil solid จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อชดเชย ซึ่งอัตราการสลายตัวของฟอสเฟตออกมาอยู่ในสารละลายดินจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟอสเฟตในดิน

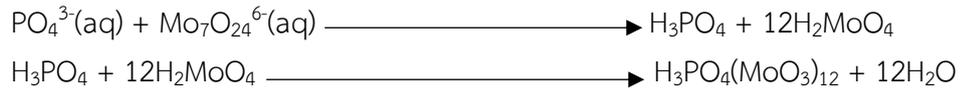
วิธีวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อต้องการทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน เป็นวิธีที่สกัดด้วย น้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) ซึ่งประกอบด้วย 0.03N NH_4F และ 0.1N HCl เป็นสารละลาย ที่มีฤทธิ์เป็นกรด สามารถที่จะสกัดฟอสฟอรัสที่ละลายง่ายในดินกรดออกมาได้ ซึ่งส่วนใหญ่ คือ แคลเซียม ฟอสเฟต และบางส่วนเป็นอะลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ส่วน NH_4F จะละลายอะลูมิเนียมฟอสเฟต และ เหล็กฟอสเฟตออกมา โดยฟลูออไรด์ไอออน (F^-) จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็กและอะลูมิเนียม ในสารละลายที่เป็นกรด ทำให้ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดยึดไว้โดยเหล็กและอะลูมิเนียม ถูกปลดปล่อยออกมา (Jones, 2001) วิธีนี้เหมาะกับดินที่เป็นกรดปานกลาง หรือกรดอ่อน

2. ขอบเขตและการนำไปใช้

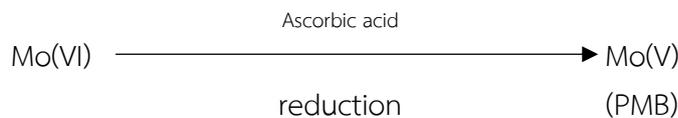
วิธี P-Bray II เหมาะสำหรับใช้กับดินกรดที่มีค่า pH ของดินต่ำกว่า 6.8 เหมาะที่สุดสำหรับดินกรด ที่มีหินฟอสเฟตเป็นแหล่งของแม่ปุ๋ยหลัก และ/หรือ ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ที่อยู่ในดินในรูปต่าง ๆ ของแคลเซียมฟอสเฟต ทั้งนี้ น้ำยาสกัดตามวิธี P-Bray II ไม่เหมาะกับดินที่มีสภาพเป็นด่าง (Alkaline soils) เนื่องจาก ความเป็นกรดมีแนวโน้มที่จะทำปฏิกิริยาให้กลายเป็นกลาง (Neutralized) และ/หรือ แคลเซียมฟอสเฟต อาจจะถูกสกัดออกมามากเกินไป ซึ่งจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับดิน มีค่าสูงเกินไป

3. หลักการ

วิธี P-Bray II จะใช้กรดที่เข้มข้นในสารละลายสกัด (0.03N NH₄F + 0.1N HCl) จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ไปทำให้เกิดสี เรียกว่า Colorimetric method เป็นการหาปริมาณฟอสฟอรัสโดยใช้วิธี Molybdenum blue ได้สารละลายสีน้ำเงิน ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของฟอสเฟตกับโมลิบเดต (Molybdate) ที่อยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยที่ฟอสเฟตรวมตัวกับโมลิบเดต ดังสมการ (Doku *et al.*, 2020)



จากนั้น ถูกรีดิวซ์ด้วยตัวรีดิวซ์ ได้แก่ Ascorbic acid กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ดังสมการ



นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ความเข้มของสีที่เกิดขึ้น จะบ่งบอกถึงปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่

4. วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

- 4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer) พร้อมคิวเวตต์ (Cuvette)
- 4.2 เครื่องชั่ง (Analytical balance) ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง และ 2 ตำแหน่ง
- 4.3 เครื่องเขย่าสารละลาย (Shaker)
- 4.4 เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer)
- 4.5 วัสดุดูดจ่ายสารละลาย (Dispenser) ขนาด 10 mL
- 4.6 ปิเปตต์ชนิดอัตโนมัติ (Auto pipette) ขนาด 1-10 mL และ 0.1-1 mL
- 4.7 ปิเปตต์แบบปริมาตร (Volumetric pipette) ขนาด 50 mL, 20 mL และ 10 mL
- 4.8 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 mL และ 125 mL
- 4.9 ขวดแก้ววัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1 L, 100 mL และ 25 mL
- 4.10 ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 2 L, 1 L และ 100 mL
- 4.11 กระจกตวง (Graduated cylinder) ขนาด 1 L, 500 mL และ 100 mL
- 4.12 กรวยกรอง (Funnel)
- 4.13 ขวด Polyethylene หรือ ขวด Pyrex สีขาว พร้อมฝา ขนาดความจุ 1 L
- 4.14 กระดาษกรอง Whatman No.5 หรือ No. 42

5. สารเคมี

สารเคมีและน้ำยาทุกตัวที่ใช้ ต้องเป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ (AR grade)

5.1 น้ำยาสกัด Bray II (0.03N NH₄F และ 0.1N HCl)

ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium fluoride, NH₄F) 1.11 g ในน้ำกลั่น 500 mL เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 36-38% (Hydrochloric acid, conc. HCl) ลงไป 8.1 mL แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 L เก็บไว้ในขวด polyethylene

5.2 น้ำยา develop สี (Reagent A)

5.2.1 ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 6 g ในบีกเกอร์ ขนาด 2 L ด้วยน้ำกลั่น 500 mL

5.2.2 ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เตรท (Antimony potassium tartrate, $\text{KSbO}\cdot\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) 0.1454 g ในบีกเกอร์ ขนาด 100 mL ด้วยน้ำกลั่น 50 mL (ถ้าไม่ละลายนำไปอุ่นแต่ต้องไม่เกิน 60°C) เมื่อละลายเข้ากันดีแล้ว เทใส่ในบีกเกอร์ที่ใส่แอมโมเนียมโมลิบเดต (ข้อ 5.2.1) คนให้เข้ากันอีกครั้ง

5.2.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% (Sulfuric acid, conc. H_2SO_4) 70 mL (ความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 2.5 N)

5.2.4 นำสารละลายที่เตรียมในข้อ 5.2.1, 5.2.2 และ 5.2.3 มาผสมให้เข้ากันแล้วปรับปริมาตร ให้ได้ 1000 mL สารละลายที่ได้จะต้องใสและไม่มีสี เก็บสารละลายที่ได้ในขวดสีชา

5.3 น้ำยาผสม (Reagent B)

ละลายกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) 0.528 g ด้วยน้ำยา develop สี (Reagent A) 100 mL (สารละลายนี้เก็บได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง)

5.4 สารละลายกรดบอริก เข้มข้น 1% (w/v)

ละลายกรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3) 1 g ด้วยน้ำกลั่น 100 mL

5.5 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 mg/L (Stock standard)

การเตรียมแบบที่ 1 ใช้สารละลาย Phosphorus standard solution 1,000 mg/L การเตรียมแบบที่ 2 ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4) (อบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) 4.3900 g ด้วยน้ำกลั่น ในขวดวัด ปริมาตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 L

5.6 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 mg/L (Intermediate standard)

ใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 mg/L ปริมาณ 5 mL ใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.7 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 5 mg/L (Intermediate standard)

ใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 mg/L ปริมาณ 10 mL ใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

หมายเหตุ

ปริมาณฟลูออไรด์ที่มากเกินไปทำให้เกิดการรบกวนในทางลบต่อปฏิกิริยาของ Molybdenic-blue ดังนั้น การเติมกรดบอริกลงไปในตัวอย่างก่อนที่จะเกิดสี จะช่วยกำจัดการรบกวนดังกล่าว เพราะกรดบอริก จะทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์และเกิดเป็น Fluoroborate จากปฏิกิริยาในสมการต่อไปนี้ (Bray & Kurtz, 1945)



6. การเตรียมตัวอย่างดิน

หลังจากเก็บตัวอย่างดินแล้ว เลือกรวิธีการเตรียมตัวอย่างดินวิธีใดวิธีหนึ่งตามข้อ 6.1 หรือ 6.2 (FAO, 2019) ดังนี้

6.1 นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (Air dried soil) แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm

6.2 นำตัวอย่างดินมาอบในตู้อบ (Oven dried soil) ที่อุณหภูมิ 35 ± 5 °C แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ตรวจสอบให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างมีความสะอาด จะไม่นำการปนเปื้อนมาสู่ ตัวอย่างทดสอบ

7. วิธีวิเคราะห์

7.1 การสร้างกราฟสารละลายมาตรฐาน (Calibration curve)

ใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 5 mg/L ปริมาณ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mL ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 mL จากนั้นเติมน้ำยาผสม (Reagent B) ปริมาณ 4 mL ลงใน แต่ละขวด เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 25 mL เขย่าอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็นสีน้ำเงินที่สมบูรณ์ (น้ำยาที่ได้ทั้งหมดจะเป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 mg/L)

7.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

7.2.1 ชั่งตัวอย่างดินแห้งน้ำหนัก $2.xx-3.xx$ g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 mL ทำแบลงค์ (Blank) และตัวอย่างดินควบคุมคุณภาพ (QCMs) หรือตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวทดสอบคุณภาพการวิเคราะห์ (Check samples)

7.2.2 เติมน้ำยาสกัด Bray II ในอัตราส่วน 1:10 (Ratio of sample : extracting solution) ลงในตัวอย่างแต่ละตัว เช่น ตัวอย่างดินน้ำหนัก 2 g เติมน้ำยาสกัด Bray II ปริมาณ 20 mL

7.2.3 เขย่าด้วยมือ 1 นาที หรืออาจใช้เครื่องเขย่า (Shaker) โดยใช้ความเร็วรอบที่ 150-180 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองสารละลายตัวอย่างทันที ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.5 หรือ No.42

7.2.4 กรองตัวอย่างสารละลายทั้งหมดลงในภาชนะรองรับ ในกรณีที่สารละลายตัวอย่างที่กรองได้ มีความขุ่น ให้กรองซ้ำอีกครั้ง

7.2.5 ใช้ปิเปตต์ดูดสารจากขวด Blank, QCMs และสารละลายตัวอย่างขวดละ 0.5 - 10 mL (ขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างนั้น ๆ) ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 mL จากนั้น เติมน้ำยาผสม (Reagent B) ปริมาณ 4 mL ลงในแต่ละขวด เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 25 mL เขย่าอีก ครั้ง (ในกรณีต้องการกำจัดสิ่งรบกวนที่เกิดจากฟลูออไรด์ที่เหลือจาก NH_4F ให้เติมกรดบอริก ความเข้มข้น 1% ปริมาณ 2 mL ก่อนทำการปรับปริมาตร)

7.2.6 ตั้งสารดังกล่าวทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็นสีน้ำเงินที่สมบูรณ์

7.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้น

อ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่เตรียม (Calibration curve) และ สารละลาย ตัวอย่างที่วิเคราะห์ ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 nm เมื่อค่า $R^2 > 0.995$ ให้ดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างต่อไป หากไม่ได้ตามเกณฑ์ให้ตรวจสอบ เพื่อยืนยันว่า ได้ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานและน้ำยาที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด รวมถึงมีการตั้งค่า เครื่องมือทำได้

อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ การดำเนินการทุกอย่างจะต้องดำเนินการแก้ไขอย่างเป็นระบบ และต้อง บันทึกรายละเอียดของการดำเนินการแก้ไขไว้ด้วย

8. การคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (mg/kg)} = \frac{(a-b) \times V_t \times V_{EX}}{V_s \times W_t}$$

โดยที่

a = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายตัวอย่าง หน่วยเป็น mg/L

b = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลาย Blank หน่วยเป็น mg/L

V_t = ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย หน่วยเป็น mL

V_{EX} = ปริมาตรของน้ำยาสกัด Bray II หน่วยเป็น mL

V_s = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง หน่วยเป็น mL

W_t = น้ำหนักของตัวอย่างดิน หน่วยเป็น g

9. เอกสารอ้างอิง

เครือข่ายห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินประเทศไทย (TSLAN). การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินวิธี Bray II. 2567. 21 หน้า

AOAC. 2016. Guidelines for Standard Method Performance Requirements. AOAC International.

Bray, R.H. & Kurtz, L.T. 1945. Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. Soil Sci. 59: 39-45.

Doku, G. N. , Agbozo, W. K. , Haswell, S. J. & Mccreedy, T. 2020. Phosphomolybdenum blue determination- A review of characteristics, achievements, challengers and future prospects. Ghana J. Sci. 61(1): 43-59.

FAO. 2019. Handling and Preparation of Soil Samples for Chemical and Physical Analyses. Global Soil Laboratory Network. 13 p.

FAO. 2021. Standard Operating Procedure for Soil Available Phosphorus, Bray I and Bray II method. Rome.

ISO. 2022. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. International Standard.

ISO 7870- 2: 2023. 2023. Control Charts. Part 2: Shewhart Control Charts. International Organization for Standardization.

Jones, J.B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press. Boca Raton, USA.

Van Reeuwijk, L. P. & Houba, V. J. G. 1998. Guidelines for Quality Management in Soil and Plant Laboratories. Chapter 8 Internal Quality Control of Data. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

<http://www.fao.org/3/w7295e/w7295e0a.htm#8> internal quality control of data.

การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้วิธี 1 M NH₄OAc pH 7

1. บทนำ

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช โดยเฉพาะในกิจกรรมการสร้างและเคลื่อนย้ายน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยที่โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อการเปิดปิดปากใบ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในพืช พืชทั่วไปมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 2 ถึง 5 ของน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2552) ปริมาณโพแทสเซียมที่พืชดูดไปใช้ (K uptake) จะสูงกว่าปริมาณฟอสฟอรัส แต่ใกล้เคียงหรือมากกว่าปริมาณไนโตรเจน โดยเฉพาะพืชที่ต้องการโพแทสเซียมสูง ได้แก่ ไม้ผลและปาล์ม น้ำมัน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างผลผลิตให้มีคุณภาพ โดยโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญที่เกี่ยวกับการสร้างและเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลไปสะสมที่ผล พืชดูดโพแทสเซียมจากดินในรูปของโพแทสเซียมไอออน (K⁺) โดยโพแทสเซียมในดินมาจากการผุพัง ของแร่ต่าง ๆ ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ เช่น กลุ่มแร่โพแทช เฟลด์สปาร์ (K-feldspar) และกลุ่มแร่ ไมกา (Mica) ในดินมีโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.5 ถึง 2.5 ในดินเนื้อหยาบที่เกิดจากหินทราย (Sandstone) และหินควอร์ตไซต์ (Quartzite) มีโพแทสเซียมต่ำ และมีมากในดินเนื้อละเอียดที่เกิดจากหินที่ประกอบด้วยแร่ ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ (Havlin *et al.*, 2021) โดยทั่วไปโพแทสเซียมในดินแบ่งออกเป็น 4 รูป (Weil & Brady, 2017; Havlin *et al.*, 2021) คือ

- 1) โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (Water soluble K)
- 2) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)
- 3) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Nonexchangeable K) หรือโพแทสเซียมที่ถูกรัง (Fixed K)
- 4) โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ (Mineral K) โพแทสเซียม รูปต่าง ๆ เหล่านี้ มีทั้งรูปที่พืชดูดไปใช้ได้หรือเรียกว่ารูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งมีน้อย แต่โพแทสเซียม ส่วนใหญ่ในดินจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียมที่พืชดูดไปใช้ได้ประกอบด้วยโพแทสเซียมที่ละลายน้ำที่อยู่ในรูปสารละลายดิน และรูปที่แลกเปลี่ยนได้ จึงเรียกโพแทสเซียมทั้ง 2 รูปนี้รวมกันว่า โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) (Weil & Brady, 2017; Havlin *et al.*, 2021) และส่วนที่เป็นประโยชน์นี้ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 90 เป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ในขณะที่โพแทสเซียมในสารละลายดินมีน้อยและถูกชะละลายได้ง่าย (Weil & Brady, 2017) ดังนั้น ค่าโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้โดยการสกัดด้วย 1 M NH₄OAc pH 7 หรือสารอื่น ๆ จึงอาจจะเรียกว่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ หรือโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินจะต่างกันไปตามเนื้อดิน ชนิดแร่ดินเหนียว การพัฒนาการของดิน และการชะละลาย โดยทั่วไปในดินเนื้อละเอียดมักมีโพแทสเซียมมากกว่าดินเนื้อหยาบ ดินที่มีแร่ดินเหนียว กลุ่มสเมคไทต์ (Smectite) มีโพแทสเซียมมากกว่าดินที่มีแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ดินต่างมักมีโพแทสเซียม มากกว่าดินกรวด และดินในเขตแห้งแล้งมักมีโพแทสเซียมมากกว่าในเขตร้อนชื้น (Weil & Brady, 2017; Havlin *et al.*, 2021) โดยส่วนใหญ่แล้วดินในประเทศไทยมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ จากการเก็บ ตัวอย่างดิน 73,306 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า ดินมีโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ระดับต่ำ (<60 mg/kg) ร้อยละ 61 ระดับปานกลาง (60-90 mg/kg) ร้อยละ 14 และระดับสูง (>90 mg/kg) ร้อยละ 25 ของตัวอย่างดินทั้งหมด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) โดยดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เกิดจากวัตถุดินกำเนิดดินที่เป็นหินทราย ดินในภาคใต้และภาคตะวันออกซึ่งเป็นพื้นที่ฝนตกชุก มีการชะละลายและการไหลบ่าสูง จึงทำให้โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในทั้ง 3 ภาค มีปริมาณต่ำ อย่างไรก็ตาม ดินในบริเวณที่ลุ่มภาคกลางและภาคเหนือตอนล่างซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อละเอียดและ ดินมีพัฒนาการไม่มากนัก ทำให้ดินมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง

และสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) โปแทสเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ ในขณะที่โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ถูกชะละลายได้ง่าย และสูญเสียออกไปจากดินโดยติดไปกับผลผลิตพืชเป็นปริมาณมาก พืชต้องการ โพแทสเซียมเป็นปริมาณมาก แต่ดินส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ ไม่เพียงพอ กับความต้องการของพืช จึงต้องเพิ่มให้กับดินในรูปของปุ๋ย เมื่อใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมลงไปบนดิน พืชจะสามารถ ดูดโพแทสเซียมส่วนหนึ่งไปใช้ได้ บางส่วนจะสูญเสียออกไปจากดิน บางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นโพแทสเซียมที่พืช ดูดไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ (ถูกตรึง) และบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากการชะละลายและการกร่อนดิน แต่ในดินเนื้อละเอียด ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียมได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ เมื่อใส่ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมสูงเพื่อบำรุงผล โดยเฉพาะในไม้ผล พบว่า มีการสะสมของโพแทสเซียมในดินมากจนไปยับยั้งการดูดแมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งมีอยู่ไม่น้อยจนอาจทำให้พืชขาดธาตุทั้งสองนี้ได้ กรณีที่พบว่าดินมีการสะสมโพแทสเซียมสูงมาก ควรปรับลด อัตราปุ๋ยโพแทสเซียม การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญที่นำไปใช้ ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) และการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (สมศักดิ์, 2556; กรมวิชาการเกษตร, 2564; กรมวิชาการเกษตร, 2566)

2. ขอบเขตและการนำไปใช้

การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินโดยใช้วิธีสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต ($1\text{ M NH}_4\text{OAc}$ pH 7) ใช้กันแพร่หลาย รวมทั้งในประเทศไทย วิธีนี้มีประสิทธิภาพที่ทำให้ดินเปียกและการแทนที่แคตไอออนที่ถูกดูดซับ และเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์โดยวัดพลังงานแสงที่ปลดปล่อยจากอะตอมในเปลวไฟ (Flame emission spectrophotometry) เหมาะกับดินที่เป็นกรดจนถึงดินด่างเล็กน้อย และใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1945 (Jones, 2001) นอกจากนั้น สารละลายที่สกัดได้ก็สามารถนำไปวิเคราะห์โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ อีกด้วย โพแทสเซียมในดินที่สกัดออกมาได้ส่วนใหญ่จะเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ดังนั้น จึงมักเรียกว่า **การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้** (ทัศนีย์ และ จงรัช, 2542; สมศักดิ์, 2537; กรมวิชาการเกษตร, 2553; จำเป็น, 2555) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ มีโพแทสเซียมในสารละลายดินรวมอยู่ด้วย ซึ่งโพแทสเซียมทั้ง 2 รูปนี้พืชสามารถดูดไปใช้ได้ จึงอาจเรียกว่า **การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์** (กรมวิชาการเกษตร, 2536; กรมพัฒนาที่ดิน, 2553; กรมวิชาการเกษตร, 2566; Estefan *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตาม เมื่อโพแทสเซียมทั้ง 2 รูปนี้ลดลง โพแทสเซียมที่ถูกตรึงก็ค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาให้พืชใช้ได้ แม้โพแทสเซียมที่ถูกตรึงจะค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาแต่ก็พบว่าระยะเวลาที่ใช้ อาจไม่ทันต่อความต้องการใช้ โพแทสเซียมของพืช (โดยเฉพาะพืชอายุสั้น) ดังนั้น พืชจึงอาจแสดงอาการขาดโพแทสเซียมได้ในดินต่าง ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ ดินเนื้อปูน ดินในเขตแห้งแล้ง รวมทั้งดินที่มีผลตกค้างของ ปุ๋ยโพแทสเซียม จะมีโพแทสเซียมในสารละลายดินสูง การเรียกว่า โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จึงไม่ถูกต้องนัก ถ้าจะวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ต้องได้จากผลต่างของโพแทสเซียมที่สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต และน้ำ (Helmke and Sparks, 1996; Estefan *et al.*, 2013; Poonpakdee *et al.*, 2018) ค่าวิเคราะห์ โพแทสเซียมโดยทั่วไปแสดงหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) เพื่อนำไปใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ ของดิน และ การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ในปัจจุบันเรียกโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้เมื่อสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ซึ่งอาจจะได้จาก สารที่สกัดได้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity: CEC) ว่า **โพแทสเซียมที่สกัดได้** (Extractable K) (Estefan *et al.*, 2013; Soil Survey Staff, 2022) ซึ่งทำให้ลด ข้อโต้แย้งเรื่องที่ว่าไม่ใช่ส่วนที่แลกเปลี่ยนได้หรือส่วนที่เป็นประโยชน์ที่แท้จริง โดยแสดงหน่วยเป็น เซนติโมล ของประจุบวกต่อดิน 1 กิโลกรัม (cmol (+)/kg หรือ cmolc /kg ซึ่งมีค่าเท่ากับ meq /100g) เพื่อนำไปใช้ คำนวณร้อยละการอิ่มตัวของเบส (Base saturation percentage) ร่วมกับโซเดียม

แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่สกัดได้ และคำนวณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนยังผล (Effective cation exchange capacity: ECEC) ซึ่งเป็นผลรวมของแคตไอออนชนิดกรดและแคตไอออนชนิดเบสที่สกัดได้ (Soil Survey Staff, 2022)

3. หลักการ

ในการวิเคราะห์โพแทสเซียมโดยการสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ควรเข้าใจธรรมชาติของโพแทสเซียมในดิน ซึ่งจะสัมพันธ์กับการสกัดได้ และการวิเคราะห์โพแทสเซียมธรรมชาติของโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมในดินมีทั้งรูปที่เป็นประโยชน์ได้ทันที รูปที่ค่อย ๆ เป็นประโยชน์ และรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ทันที โพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที (Readily available form) เป็นโพแทสเซียมในรูปไอออนที่พร้อมจะให้พืชดูดไปใช้ได้ โดยประกอบด้วยโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปสารละลายดิน และรูปที่แลกเปลี่ยนได้ จึงเรียกโพแทสเซียมทั้ง 2 รูปนี้รวมกันว่า โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) (Estefan *et al.*, 2013; Weil & Brady, 2017; Havlin *et al.*, 2021) ในดินทั่วไปมีโพแทสเซียมในรูปสารละลายดิน 1 ถึง 10 mg/kg และรูปที่แลกเปลี่ยนได้ 40 ถึง 600 mg/kg (Havlin *et al.*, 2021) โดยที่โพแทสเซียมทั้งสองรูปนี้รวมกันประมาณร้อยละ 1 ถึง 2 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน และส่วนที่เป็นประโยชน์นี้ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 90 เป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นโพแทสเซียมไอออนที่ถูกดูดซับโดยประจุไฟฟ้าลบของคอลลอยด์ดิน ส่วนโพแทสเซียมในสารละลายดินมีน้อยและถูกชะละลายได้ง่าย (Weil & Brady, 2017) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้า ๆ (Slowly available form) เป็นโพแทสเซียมที่ถูกตรึง อยู่ระหว่างชั้น (Interlayer) ในโครงสร้างของแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 เช่น อิลไลต์ (Illite) เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) และ มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) จัดเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ พืชไม่สามารถดูดใช้ได้ทันที ในดินทั่วไปมีโพแทสเซียมรูปนี้ 50 ถึง 700 mg/kg (Havlin *et al.*, 2021) หรือ ร้อยละ 1 ถึง 10 ของโพแทสเซียมทั้งหมด (Weil & Brady, 2017) โพแทสเซียมในรูปนี้เป็นแหล่งสำรองให้กับพืช เพราะเมื่อปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายดินและรูปที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงเนื่องจากการดูดใช้ของรากพืช และการชะละลาย โพแทสเซียมในส่วนนี้จะค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมา เพื่อรักษาสสมดุลของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดิน



โพแทสเซียมที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที (Relatively unavailable form) เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในองค์ประกอบของแร่ต่าง ๆ แร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบในส่วนของแร่ปฐมภูมิ ได้แก่ (1) กลุ่มแร่ โพแทสเซฟลด์สปาร์ (K-feldspar: KAlSi_3O_8) (2) กลุ่มแร่ไมกา (Mica) เช่น แรมส์โคไวต์ (Muscovite: $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), แร่ไบโอไทต์ (Biotite: $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) เป็นต้น

หลักการวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ขั้นตอนการวิเคราะห์จะประกอบด้วย การสกัดโพแทสเซียม การแยกสารที่สกัดได้จากดิน และการวัดโพแทสเซียมในสารที่สกัดได้

การสกัดโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (รวมทั้ง Na Ca Mg ที่แลกเปลี่ยนได้) เป็นส่วนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดินซึ่งสามารถจะถูกแทนที่ด้วยแคตไอออนชนิดอื่น ๆ ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน แบเรียมไอออน ไฮโดรเจนไอออน โซเดียมไอออน หรือแคลเซียมไอออน ดังนั้น น้ำยาที่ใช้สกัดเบสที่แลกเปลี่ยนได้จึงมีหลายชนิด เช่น NH_4OAc , BaCl_2 , CaCl_2 , Kelowna, Mehlich I,

Mehlich III, และ AB-DTPA (ไวชญาณี และคณะ, 2566; Jones, 2001) น้ำยาสกัดแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับดินที่มีสมบัติแตกต่างกัน โดยน้ำยา NH_4OAc เหมาะกับดินกรดถึงดินด่างเล็กน้อย วิธี AB-DTPA เหมาะกับดินที่เป็นกลาง ดินด่าง และดินเหนียว ในขณะวิธี Mehlich III เหมาะกับดินกรด วิธี CaCl_2 เหมาะกับ ดินทุกชนิด น้ำยา Kelowna เหมาะกับการนำสารสกัดไปวัดด้วยอเล็กโทรดที่เฉพาะเจาะจง (ไวชญาณี และคณะ, 2566) ในน้ำยาสกัดบางชนิดที่มีกรดไฮโดรคลอริกเป็นองค์ประกอบ (Mehlich I) จะทำให้สกัด บางส่วนของ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ออกมาด้วย (Jones, 2001) จากการศึกษาการสกัดโพแทสเซียม ในชุดดินชัยบาดาล ลพบุรี ลำานารายณ์ โชคชัย ปากช่อง กำแพงแสน ท่าใหม่ และบุรีรัมย์ โดยน้ำยาสกัด 3 ชนิด คือ Mehlich III, AB-DTPA และ NH_4OAc พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Mehlich III และ NH_4OAc ใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าที่สกัดโดยน้ำยาสกัด AB-DTPA โดยที่ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้โดย วิธีที่ใช้น้ำยาสกัด Mehlich III และ AB-DTPA มีสหสัมพันธ์กับ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดโดยน้ำยาสกัด NH_4OAc ซึ่งเป็นน้ำยาสกัดที่ใช้กันทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ $r = 0.969^{**}$ และ 0.894^{**} ตามลำดับ (สุรเชษฐ์, 2550) อย่างไรก็ตาม การสกัดโดยใช้แอมโมเนียมอะซิเตต เข้มข้น 1 โมลาร์ ที่มีสภาพเป็นกลาง (1 M NH_4OAc pH 7) เป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายเพราะใช้ได้กับดินกรด จนถึงดินด่างเล็กน้อย น้ำยามีประสิทธิภาพ ในการทำให้เกิดการแทนที่โพแทสเซียม และเหมาะสมที่จะวัดด้วย วิธีวัดการคายแสง ข อ ง อะ ต อ ม (Flame atomic emission spectrophotometry) (Jones, 2001) นอกจากนั้น สารสกัดที่ได้สามารถนำไป วิเคราะห์ได้ทั้งโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม อย่างไรก็ตามสารสกัดที่สกัดได้ด้วยน้ำยา แอมโมเนียมอะซิเตตในขั้นตอนวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออนของดิน สามารถนำไปวัดโพแทสเซียม รวมทั้ง แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ได้เช่นกัน (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542; สมศักดิ์, 2537; จำเป็น และ จักรกฤษณ์, 2565) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (1 M NH_4OAc pH 7) (Jackson, 1958; Jones, 2001; Soil Survey Staff, 2022; Estefan *et al.*, 2013; Helmke and Sparks, 1996) เป็นน้ำยาสกัด โพแทสเซียมที่ใช้กันทั่วไป และในประเทศไทยส่วนใหญ่ก็ใช้กันแพร่หลาย (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542; สมศักดิ์, 2537; กรมวิชาการเกษตร, 2536; กรมวิชาการเกษตร, 2553; กรมพัฒนาที่ดิน, 2553; นภารัตน์, 2561; จำเป็น และ จักรกฤษณ์, 2565; ไวชญาณี และคณะ, 2566) ในการสกัดส่วนใหญ่ใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำยา สกัด เท่ากับ 1:10 โดยใช้ดิน 5 g และน้ำยาสกัด 50 mL (ทัศนีย์ จงรักษ์, 2542; กรมวิชาการเกษตร, 2536; จำเป็น และ จักรกฤษณ์, 2565) หรือใช้ดิน 2.5 g และน้ำยาสกัด 25 mL (กรมวิชาการเกษตร, 2553; กรม พัฒนาที่ดิน, 2553; นภารัตน์, 2561) การลดตัวอย่างดินทำให้ประหยัดน้ำยาสกัดและสารที่สกัดได้เพียงพอที่จะนำไปวัดโพแทสเซียม รวมทั้ง แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม หลังจากเติมสารละลาย แอมโมเนียมอะซิเตตต้องนำไปเขย่าให้เม็ดดินแตก เพื่อให้แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในน้ำยาสกัดซึ่งมีขนาด ใกล้เคียงกับโพแทสเซียมไอออนไปแทนที่ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ซึ่งถูกดูดซับอยู่ บริเวณผิวคอลลอยด์ดินให้ออกมาอยู่ ในสารสกัดและรวมกับโพแทสเซียมที่มีอยู่ในสารละลายดิน

การแยกสารที่สกัดได้จากดิน โดยทั่วไปจะใช้กระดาษกรองเพื่อกรองแยกดินออกจากสารที่สกัดได้ กระดาษกรองที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นกระดาษกรอง Whatman มีทั้งเบอร์ 1 (กรมวิชาการเกษตร, 2536; กรม พัฒนาที่ดิน, 2553) เบอร์ 5 (นภารัตน์, 2561; จำเป็น และ จักรกฤษณ์, 2565) และเบอร์ 42 (กรมวิชาการ เกษตร, 2553) โดยที่กระดาษกรองเบอร์ 1 ใช้กรองตะกอนขนาดใหญ่กว่า 11 μm กรองได้เร็ว และราคาถูก ที่สุด ส่วนเบอร์ 5 ราคาสูงกว่าเบอร์ 1 และเบอร์ 42 ราคาสูงสุด โดยที่ทั้งเบอร์ 5 และเบอร์ 42 กรองตะกอน ขนาดใหญ่กว่า 5.2 μm แต่เบอร์ 42 หากนำไปเผามีเถ้าน้อยกว่า เนื่องจากกระดาษกรองมีราคาแพง จึงอาจจะ

สกัดในหลอดเหวี่ยงพลาสติก โดยหลังจากเติมน้ำยาสกัดและนำไปเขย่า จากนั้นก็นำไปเข้า เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) และปิเปตต์สารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์โพแทสเซียมได้เช่นกัน

การวัดโพแทสเซียมที่สกัดได้ โพแทสเซียมที่สกัดได้สามารถนำไปวัดโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic absorption) หรือหลักการคายแสงของอะตอม (Atomic emission) การวิเคราะห์โพแทสเซียมโดยวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic absorption spectrophotometry) เป็นการวัดด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) โดยสารละลายตัวอย่างถูกดูดเข้าไปในเปลวไฟ ตัวทำละลายจะ ระเหยไปหมด ส่วนธาตุโพแทสเซียมก็แตกตัวเป็นอะตอม ซึ่งอะตอมของโพแทสเซียมจะดูดกลืนแสงจากหลอด ฮาโลคาโทด (Hollow cathode lamp) โดยค่าการดูดกลืนแสงจะสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของ โพแทสเซียมในเปลวไฟ เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่เครื่องอ่านได้ไปหาความสัมพันธ์เทียบกับค่าการดูดกลืน จากสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ก็สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตัวอย่างที่วัดได้ การวัดโพแทสเซียมโดยเทคนิคนี้ อะตอมของโพแทสเซียมแตกตัวเป็นไอออนได้ง่าย จึงควรเติมสารยับยั้ง การเกิดไอออน (Ionization suppresser) เช่น ซีเซียม (Cs) ทั้งในสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างให้มี ความเข้มข้นประมาณ 1,000 mg/L (Agilent, 2021) การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมโดยวัดการคายแสงของอะตอม (Atomic emission spectrophotometry) โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เผาให้เป็นอะตอมได้ง่าย อะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited state) มีเสถียรภาพต่ำ และคายพลังงานในรูปคลื่นแสงออกมาเพื่อกลับสู่สถานะพื้น (Ground state) พลังงานแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับจำนวนอะตอมที่อยู่ในเปลวไฟ นำค่าที่อ่านได้ ไปเทียบกับค่าที่อ่านจากสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของธาตุในสารละลายที่วัด เครื่องมือที่ใช้วัดพลังงานแสงที่ปลดปล่อยจากอะตอมจะรวมอยู่ในเครื่อง AAS เพียงแต่เลือกใช้อิมิสชันโหมด (Emission mode) ซึ่งไม่ต้องใช้แหล่งให้พลังงานแสงจากหลอดฮาโลคาโทด นอกจากนั้น เครื่องมือที่วัด การคายแสงของอะตอมที่ใช้กันทั่วไป และราคาไม่แพงเหมือนเครื่อง AAS ในปัจจุบัน คือ เพลมโฟโตมิเตอร์ (Flame photometer) การวัดปริมาณโพแทสเซียมโดยวิธีนี้สามารถวัดความเข้มข้นที่กว้างกว่าการวัด การดูดกลืนแสงของอะตอม เทคนิคนี้ใช้ได้ผลดีกับการวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียมและโซเดียมในดินและพืชในการวัดทั้งเทคนิคการดูดกลืนแสงและการคายแสงจะต้องวัดค่าสารละลายมาตรฐานของ โพแทสเซียมที่ทราบความเข้มข้นอย่างน้อย 5 ค่า เพื่อนำมาสร้างสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของโพแทสเซียมกับค่าที่เครื่องมืออ่านได้ จากค่าที่เครื่องมืออ่านได้เมื่อวัดตัวอย่างจึงสามารถ คำนวณเป็นความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารสกัดได้ เครื่องมือในปัจจุบันส่วนใหญ่จะสร้างสมการและ คำนวณเป็นความเข้มข้นของโพแทสเซียม (mg/L) ซึ่งอาจเป็นสมการเส้นตรง ($Y = bX+c$) หรือสมการพหุนาม กำลังสอง (Second polynomial: $Y = aX^2+bX+c$) ซึ่งสะดวกโดยที่ไม่จำเป็นต้องเลือกช่วงความเข้มข้น ที่ทำให้เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ทำให้สามารถวัดในช่วงความเข้มข้นที่กว้างขึ้น อย่างไรก็ตาม ควรเลือก สมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination หรือ R-square) สูง ซึ่งจะทำนายได้ แม่นกว่า โดยทั่วไปควรมากกว่า 0.995 สิ่งสำคัญเรื่องการเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ใช้สร้างกราฟ คือ ต้องปรับปริมาตรด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต เพื่อให้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ (Matrix) เช่นเดียวกับ ในตัวอย่าง ส่วนความเข้มข้นที่ใช้ในประเทศไทยมีตั้งแต่ 0-8 mg/L (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) 0-10 mg/L (สมศักดิ์, 2537; จำเป็น และ จักรกฤษณ์, 2565) 0-20 mg/L (นภารัตน์, 2561) 0-30 mg/L (กรมวิชาการเกษตร, 2553; จำเป็น, 2555) และ 0-50 mg/L (กรมวิชาการเกษตร, 2536) ทั้งนี้ ควรปรับให้เหมาะสมกับความเข้มข้น ของตัวอย่างส่วนใหญ่ที่วัด ในกรณีที่บางตัวอย่างมีค่าที่อ่านได้เกินกว่าสารละลายมาตรฐานสูงสุด ให้เจือจาง ด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตที่ใช้สกัด โดยให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 5 mL ในหลอดทดลองก็เพียงพอ สำหรับการวัดโพแทสเซียมปัจจุบันมีการวัดโพแทสเซียม

ด้วยวิธีคายแสงของอะตอม โดยใช้วิธีพลาสมาอิมิสชันสเปกโทรเมทรี (Plasma emission spectrometry) หลักการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ คือ ทำให้สารละลายตัวอย่างเกิดเป็นอะตอม โดยใช้พลาสมาซึ่งเป็นแก๊สที่มีความเข้มข้นของอิเล็กตรอนสูงและมีประจุมาก ความร้อนจากพลาสมาสูง จะระเหยส่วนประกอบของสารตัวอย่าง และเปลี่ยนอะตอมไปเป็นสถานะกระตุ้นหรือเป็นไอออน ในการลด ระดับพลังงาน แต่ละธาตุจะปลดปล่อยพลังงานที่มีความยาวคลื่นที่เป็นเอกลักษณ์และมีความเข้มที่เป็นสัดส่วน แปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุนั้นในสารละลายของสารตัวอย่าง การคายพลังงานของอะตอมอิสระ ออกมาที่ความยาวคลื่นแสงของธาตุต่างกันตามชนิดของธาตุที่ทำการวิเคราะห์ (วิชัย, 2549; แม้นและคณะ, 2558) สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ผลอย่างถูกต้อง แม่นยำ และมีความละเอียดสูง การวัดโดยวิธีนี้สามารถวัดได้พร้อมกันหลายธาตุ และวัดได้ในช่วงความเข้มข้นที่กว้างมาก จึงวัดได้แม้มีความเข้มข้นต่ำ และหากมีความเข้มข้นสูงก็ไม่ต้องเจือจาง ข้อดีอย่างยิ่งของการวิเคราะห์นี้ คือ รวดเร็วมากและมีการปนเปื้อนระหว่าง หลายธาตุในการวิเคราะห์ต่ำ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเครื่อง Inductively coupled plasma-atomic emission spectrophotometer (ICP-AES) มีราคาแพงกว่าเครื่อง AAS และแก๊สอาร์กอนที่ใช้มีราคาแพง จึงยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร (จำเป็น, 2563)

นอกจากการวัดโพแทสเซียมด้วยวิธีวัดการดูดกลืนแสงและการคายแสงของอะตอมแล้ว ในปัจจุบันได้วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมโดยใช้อิเล็กโทรดเฉพาะ (Ion-selective electrode: K-ISE) เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยอิเล็กโทรดที่ศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของไอออน วิธีนี้ใช้หลักการเช่นเดียวกับเครื่องวัดพีเอช (pH meter) โดยใช้อิเล็กโทรดที่เฉพาะเจาะจงสำหรับโพแทสเซียมไอออน ข้อดีสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ คือ ใช้งานง่าย ราคาถูก และอาจจะพัฒนาให้เหมาะที่จะนำไปใช้ในภาคสนาม (จำเป็น, 2563) มีการศึกษาการวัด โพแทสเซียมโดยใช้อิเล็กโทรด (K-ISE) โดยใช้น้ำยาสกัด Kelowna (0.25 M CH_3COOH + 0.015 M NH_4F) ซึ่งมีแอมโมเนียมไอออนน้อยกว่าในน้ำยาแอมโมเนียมอะซิเตต (ทำให้ลดการรบกวน เนื่องจากแอมโมเนียม ไอออนมีขนาดใกล้เคียงกับโพแทสเซียม) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Kelowna และวัดด้วย K-ISE มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($R^2 = 0.87^{**}$) กับปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดด้วย น้ำยาสกัดแอมโมเนียมอะซิเตตและวัดด้วยเครื่อง AAS (ไวชัญญ์ และคณะ, 2566)

4. วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

- 4.1 เครื่อง Flame photometer หรือ Atomic absorption spectrophotometer (AAS)
- 4.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Analytical balance) ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง
- 4.3 เครื่องเขย่า (Orbital shaker)
- 4.4 ปิเปตต์ (Pipette) ขนาด 5 และ 10 mL
- 4.5 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 mL
- 4.6 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50-250 mL หรือขวดเขย่า ขนาด 50-250 mL
- 4.7 ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100 และ 2,000 mL
- 4.8 กระจกบอทวง (Cylinder) ขนาด 25 และ 250 mL
- 4.9 หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 18 x 150 mm
- 4.10 กรวยกรอง (Funnel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 cm
- 4.11 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Test tube rack)
- 4.12 แท่งแก้วสำหรับคนสารละลาย (Stirring rod)
- 4.13 กระดาษกรอง (Filter paper) Whatman เบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 cm ขนาดช่องว่าง 2.5 μm

5. สารเคมี

สารเคมีและน้ำยาทุกตัวที่ใช้ ต้องเป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ (AR grade)

5.1 สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (1 M NH₄OAc pH 7)

ดวงกรดแอสติก (Glacial acetic acid: CH₃COOH) 114 mL โดยใช้กระบอกตวงขนาด 250 mL เทในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL ที่มีน้ำกลั่นประมาณ 1,600 mL ใช้แท่งแก้วกวนให้เข้ากัน และตวงแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide: NH₄OH) 136 mL กวนให้ผสมกัน วางไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 7 โดยการใส่กรดแอสติก หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จากนั้น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 2 L ในบีกเกอร์ (หรือเตรียมจากแอมโมเนียมอะซิเตตโดยตรง ใช้ 77 g/L)

5.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1,000 mg/L

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (ที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 ± 5 °C) 1.907 g ในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ค่อย ๆ เติมน้ำกลั่นจนละลาย แล้วถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L จากนั้นจึงปรับปริมาตรด้วย น้ำกลั่นเป็น 1 L (หรือใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1,000 mg/L)

5.3 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1,000 mg/L จำนวน 10 mL ใส่ลงในขวด วัดปริมาตรขนาด 100 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 mL

5.4 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ใช้สร้างกราฟ (Working standard) ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg/L ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 mg/L (จากข้อ 5.3) จำนวน 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จำนวน 6 ขวด จากนั้นปรับปริมาตรในแต่ละขวดด้วย สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (จากข้อ 5.1) เป็น 100 mL

5.5 สารละลายซีเซียมคลอไรด์ (CsCl) 10,000 mg/L

ชั่งสาร CsCl 12.668 กรัม ละลายใน 1% (v/v) HNO₃ และปรับปริมาตรเป็น 1,000 mL โดย สารละลาย CsCl ใช้สำหรับการวัดโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS ทั้งในโหมด Absorption และโหมด Emission เพื่อเป็นสารยับยั้งการเกิดไอออน (Ionization suppresser) โดยเติมในตัวอย่างให้มีความเข้มข้น Cs สุดท้ายเท่ากับ 1,000 mg/L

6. การเตรียมตัวอย่างดิน

หลังจากเก็บตัวอย่างดินแล้ว เลือกรววิธีการเตรียมตัวอย่างดินวิธีใดวิธีหนึ่งตามข้อ 6.1 หรือ 6.2 (FAO, 2019) ดังนี้

6.1 นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (Air dried soil) แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm

6.2 นำตัวอย่างดินมาอบในตู้อบ (Oven dried soil) ที่อุณหภูมิ 35+5 °C แล้วนำมาบดและร่อนผ่าน ตะแกรงขนาด 2 mm ตรวจสอบให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างมีความสะอาด จะไม่นำการปนเปื้อนมาสู่ ตัวอย่างทดสอบ

7. วิธีวิเคราะห์

7.1 การสร้างกราฟสารละลายมาตรฐาน (Calibration curve)

ใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg/L ด้วยเครื่อง Flame photometer หรือใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) โดยเลือกใช้เทคนิค การคายแสงของอะตอม (Atomic emission) ที่ความยาวคลื่น 766.50 nm หรือใช้เครื่อง Inductively coupled plasma (ICP) อย่างไรก็ตาม สามารถใช้เทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงของอะตอม (Atomic absorption) ซึ่งต้องอาศัยหลอดให้พลังงานแสงของธาตุที่จะวิเคราะห์ (Hallow cathode lamp) หากใช้เทคนิคนี้ ต้องเติมสารที่ยับยั้งการเกิดไอออน (Ionization suppresser) กรณีใช้เครื่อง ICP ในการวิเคราะห์โพแทสเซียม สามารถปรับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมให้เหมาะสมกับเครื่องมือ

7.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

7.2.1 ชั่งตัวอย่างดิน 2.5 g (ความละเอียด 0.01 g) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

7.2.2 เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 25 mL ในตัวอย่าง โดยใช้กระบอกตวงขนาด 25 mL (อัตราส่วนดินต่อสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต คือ 1:10)

7.2.3 นำตัวอย่างไปเขย่า 30 นาที ด้วยเครื่องเขย่าแบบวงกลม (Orbital shaker) ด้วยความเร็ว 150-180 รอบต่อนาที (rpm)

7.2.4 กรองสารละลายที่สกัดได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 ลงในหลอดทดลองขนาด 18 x 150 mm (27 mL)

7.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้น

หลังจากวัดค่าสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมแล้ว นำสารละลายที่สกัดได้ที่ผ่านการกรอง ในข้อ 7.2.4 ไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Flame photometer หรือ AAS หรือ ICP สารละลายส่วนที่เหลือในหลอดเดิมให้ปิดปากหลอดด้วยพาราฟิล์มเอ็ม สำหรับเก็บไว้วิเคราะห์โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมหากสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงกว่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมสูงสุด ให้เจือจางสารละลายด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 5 mL (ในหลอดทดลอง 18 X 150 mm) ก็เพียงพอสำหรับวัดโพแทสเซียมในระหว่างวัดตัวอย่างแต่ละชุด ให้ใช้สารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นกลาง ๆ ของกราฟ มาตรฐาน ตรวจสอบการแกว่งของการอ่านค่า (Signal drift) โดยวัดก่อนการทำงาน และวัดระหว่างการทำงาน หลังจากอ่านค่าทุก ๆ 10-20 ตัวอย่าง ถ้าค่าที่อ่านได้แตกต่างจากเดิมจนไม่อาจรับได้ ให้ตรวจสอบและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงวัดสารละลายมาตรฐานทั้งหมดเพื่อสร้างสมการใหม่สำหรับใช้คำนวณ ความเข้มข้นในสารตัวอย่างที่จะวัดลำดับต่อไป

8. การคำนวณ

$$\text{โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)} = \frac{C \times df \times V}{W}$$

W = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

V = ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตที่ใช้สกัด (mL)

C = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน (mg/L)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor)

9. การรายงานผล

คำนวณความเข้มข้นของโพแทสเซียม โดยใช้วิธีการคำนวณตามหัวข้อที่ 8 แล้วรายงานผล เป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) ของน้ำหนักดินผึ่งแห้งในที่ร่ม (Air dried soil) โดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง เพื่อนำไปใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินหรือแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือรายงานผลเป็น เซนติโมลประจูดต่อดิน 1 kg (cmol_c/kg) ให้ใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง สำหรับนำไปใช้คำนวณร้อยละความอิ่มตัวเบสที่สกัดได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนแบบยังผล โดยโพแทสเซียม 391 mg/kg เท่ากับ 1 cmol_c/kg ถ้าจะรายงานค่าวิเคราะห์โดยน้ำหนักดินที่อบแห้ง (Oven dried soil: ODS) ให้คูณค่าที่ได้ด้วย 100/ODS เมื่อ ODS คือ ร้อยละของดินหลังอบ ซึ่งหาได้จากการชั่งดินที่ผึ่งแห้งแล้ว นำไปอบไล่ความชื้น และ ชั่งน้ำหนักดินหลังการอบ เพื่อคำนวณ

10 เอกสารอ้างอิง

เครือข่ายห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินประเทศไทย (TSLAN). การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้วิธี

1 M NH₄OAc pH 7. 2567. 27 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2536. วิธีวิเคราะห์ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คู่มือวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2564. ค่าแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2566. ค่าแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับไม้ผล. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

จำเริญ อ่อนทอง และ จักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2565. การวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

จำเริญ อ่อนทอง. 2555. การวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

จำเริญ อ่อนทอง. 2563. การวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ทะนง ประสานพานิช. 2555. แผนภูมิควบคุม (Control) กับงานประจำ. วารสารศูนย์การศึกษาแพทย์ศาสตร์คลินิก โรงพยาบาลพระปกเกล้า 29(3): 236-244.

ทัศนีย์ อุตตะนันท์ และ จงรัชต์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นภารัตน์ ขนนกชัย. 2561. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินทางสิ่งแวดล้อม. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

แมน อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม, ยุวดี เชี่ยววัฒนา, อทิตยา ศิริภิญญานนท์, ศรีวิไล โอมอภิญญา และ อุมภาพร สุขม่วง. 2558. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. บริษัทชวนพิมพ์ 50 จำกัด. กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วิชัย เรื่องศรีตระกูล. 2549. อะตอมมิกแอบซอร์บชันและอะตอมมิกอิมิซชันสเปกโตรเมตรี. ภาควิชาเภสัชเคมี

- คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- ไวชญานี๋ มนัสธรรมกุล, ณัฐพล จิตมาตย์, เสาวนุช ถาวรพุกษ์ และ สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์. 2566. สหสัมพันธ์ของปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินที่วิเคราะห์แบบรวดเร็วด้วย อิเล็กโตรดแบบเจาะจง ไอออนกับที่สกัดด้วยน้ำยาสกัดโพแทสเซียม. *แก่นเกษตร* 51 : 634-647.
- สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2537. การวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2556. การจัดการธาตุอาหารเพื่อผลิตส้มโอคุณภาพ. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. นครศรีธรรมราช.
- Agilent. 2021. Flame Atomic Absorption Spectroscopy. Method Development ePrimer. January 2021 Edition.
- AOAC, 2016. Guidelines for Standard Method Performance Requirements. AOAC International.
- Estfan, G. , Sommer, R. , & Ryan, J. 2013. Method of Soils, Plants, and Water Analysis : A manual for the West Asia and North Africa region. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICADA).
- FAO. 2019. Handling and Preparation of Soil Samples for Chemical and Physical Analyses. Global Soil Laboratory Network. 13 p.
- Havlin, J. L. , Beaton, J. D. , Tisdale, S. L. & Nelson, W. L. 2021. Soil Fertility and Fertilizer: An Introduction to Nutrient Management. 8th Edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Helmke, P.A., and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. *In* D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, SSSA Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI: pp, 551-574.
- ISO. 2022. ISO 13528: Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jackson, M.L. 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Jones, J.B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Poonpakdee, C., Tzeng, J.H., Weng, C.H. & Lin, Y.T. 2018. Assessment of potassium speciation in soil using traditional single leaching and modified sequential extraction processes. *J. Soils Sediments* 18 : 610–623.
- Soil Survey Staff. 2022. Key to Soil Taxonomy. 13th edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Van Reeuwijk, L. P. & Houba, V. J. G. 1998. Guidelines for Quality Management in Soil and Plant Laboratories. Chapter 8 Internal Quality Control of Data. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
<http://www.fao.org/3/w7295e/w7295e0a.htm#8> internal quality control of data.
- Weil, R.R. & Brady, N.C. 2017. The Nature and Properties of Soils. 15th edition. Pearson Education, Inc. New Jersey.

การวิเคราะห์แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน (Exchangeable cations)

หลักการ

Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ และ K^+ เป็นแคตไอออนเกาะอยู่ที่อนุภาคของดิน หรือ เรียกว่า แคตไอออนเหล่านี้สามารถแลกเปลี่ยนที่กันได้กับแคตไอออนอื่นๆที่อยู่รอบๆอนุภาคดิน ดังนั้นในการตรวจวัด ปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน จึงใช้หลักการของการแลกเปลี่ยนระหว่างแคตไอออน เช่น ใช้ประจุ NH_4^+ จากสารละลายที่เติมลงไปในตัวอย่างดินเป็นตัวแลกเปลี่ยนแทนที่แคตไอออนที่เกาะอยู่ที่อนุภาคดินเหล่านั้น และโดยที่ Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ และ K^+ เป็นแคตไอออนที่มีปริมาณมากที่สุด และแลกเปลี่ยนแทนที่ได้ง่ายที่สุดของดิน ในการตรวจวัดปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ของดินจึงมีความหมายเจาะจงถึงอนุมูลของธาตุทั้ง 4 ตัวนี้เป็นหลักการที่ใช้กันทั่วไป วิธีการตรวจวัดปริมาณธาตุแคตไอออนทั้ง 4 ธาตุนี้ วิธีที่แพร่หลายที่สุด คือ การเติม สารละลายของ NH_4OAc 1 M pH 7.0 ลงไปในดินให้มากเกินพอ เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนที่กัน ระหว่าง NH_4^+ จากสารละลาย NH_4OAc และแคตไอออนเหล่านี้ของดิน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ จากการแลกเปลี่ยนไปตรวจวัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer และ flame photometer ก็จะทราบปริมาณของ Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ และ K^+ ของตัวอย่างดินนั้น แต่ในดินที่มี ปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ (soluble salts) สูง เช่นในดินเค็ม เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนที่ แลกเปลี่ยนตามวิธีนี้แล้วต้องหักส่วนของแคตไอออนที่ละลายน้ำได้ออกเสียก่อน จึงจะได้ปริมาณ แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ที่ถูกต้อง

1. แคลเซียม และ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca^{++} , Mg^{++})

อุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
2. เครื่อง pH meter
3. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
4. เครื่องชั่ง (Balance)
5. ขวดخمพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 50 และ 125 มล.
6. ขวดกรอง (Filtering flask) ขนาด 500 มล.
7. ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มล.
8. Buchner funnel
9. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 หรือ เบอร์ 5
10. กระบอกตวง 1,000 มล.
11. ขวดพลาสติกทนกรด-ด่าง ขนาด 20 ลิตร
12. กระบอกฉีดยาน้ำยา ขนาด 500 มล.
13. ปิเปตขนาด 1, 2, 5 และ 10 มล.

สารเคมี

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรต (NH_4OAc) 1 M pH 7.0
2. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม $1,000 \text{ mg L}^{-1}$
3. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L^{-1}
4. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม $1,000 \text{ mg L}^{-1}$

5. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg L⁻¹

6. สารละลายสตรอนเซียมคลอไรด์ (SrCl₂) 1,500 mg L⁻¹

วิธีเตรียมสารเคมี

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (NH₄OAc) 1 M pH 7.0

ละลาย 1,140 มล. Glacial acetic acid (99.5%) ในน้ำกลั่นประมาณ 16 ลิตร เติม แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH₄OH) เข้มข้น 1,380 มล. แล้วเติมน้ำกลั่น จนสารละลายทั้งหมดมีปริมาตร ประมาณ 19 ลิตร ผสมให้เข้ากันดี แล้วปรับ pH ของสารละลายด้วย NH₄OH หรือ Glacial acetic acid ให้ได้ pH เท่ากับ 7.0 จึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 20 ลิตร

2. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1000 mg L⁻¹

ละลายแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃, อพที่ 1500 C) 2.498 กรัม ด้วยกรดเกลือเล็กน้อย เพียงพอที่ละลาย CaCO₃ หหมดแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L⁻¹

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1,000 mg L⁻¹ 10 มล. ใส่ในขวดปริมาตรและ ทำให้เป็น 100 มล. ด้วย สารละลาย SrCl₂ 1,500 mg L⁻¹ จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 100 mg L⁻¹ หลังจากนั้นปิเปตสารละลายนี้ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มล. ใส่ในขวดปริมาตรและทำให้เป็น 100 มล. ด้วย สารละลาย SrCl₂ 1,500 mg L⁻¹ จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L⁻¹ ตามลำดับ

4. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมเข้มข้น 1000 mg L⁻¹

ละลายแมกนีเซียม 1.000 กรัม ด้วยกรดเกลือเพียงพอที่ละลายหมด ทิ้งไว้ให้เย็น จึงปรับ ปริมาตร ด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg L⁻¹

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมเข้มข้น 1000 mg L⁻¹ 10 มล. ใส่ในขวดปริมาตร และทำให้เป็น 100 มล. ด้วย สารละลาย SrCl₂ 1,500 mg L⁻¹ จะได้สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม เข้มข้น 100 mg L⁻¹ หลังจากนั้นปิเปตสารละลายนี้ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ในขวดปริมาตรและ ทำให้เป็น 100 มล. ด้วย สารละลาย SrCl₂ 1,500 mg L⁻¹ จะได้สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม เข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg L⁻¹ ตามลำดับ

6. สารละลายสตรอนเซียมคลอไรด์ (SrCl₂) เข้มข้น 1,500 mg L⁻¹

ละลายสตรอนเซียมคลอไรด์ (SrCl₂ .6H₂O) 4.6 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำ กลั่นเป็น 1 ลิตร

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่างที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม.หนัก 5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มล.

2. เติม 1 M NH₄OAc pH 7.0 ประมาณ 50 มล.เขย่าให้เข้ากันดีตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

3. กรองดินโดยใช้ Buchner funnel ค่อย ๆ ล้างตัวอย่างดินบนกรวย อีก 3-4 ครั้ง ด้วยสารละลาย NH₄OAc ครั้งละประมาณ 10 มล.

4. นำสารละลายที่กรองได้ ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. เก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ exchangeable Ca⁺⁺ , Mg⁺⁺ , Na⁺ และ K⁺ ต่อไป

5. เจือจางสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายสตรอนเซียมคลอไรด์ 1,500 mg L⁻¹

6. วัดค่าความเข้มข้นของแคลเซียม และแมกนีเซียมของสารละลายตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยกำหนดความยาวคลื่นในการวัดแคลเซียมและแมกนีเซียม

เป็น 422.6 และ 285.2 นาโนเมตรตามลำดับโดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานมาตรฐาน แคลเซียมและแมกนีเซียม

7. คำนวณหาปริมาณ exchangeable Ca^{++} และ Mg^{++}

วิธีคำนวณ

$$\text{Ca}^{++} \text{ หรือ } \text{Mg}^{++} \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (mg L}^{-1}) \times 2 \times \text{df}}{\text{น.น. กรัมสมมูลย์ของ } \text{Ca}^{++} \text{ หรือ } \text{Mg}^{++}}$$

df = dilution factor

คำแนะนำ

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมและแมกนีเซียม เพื่อใช้ทำกราฟมาตรฐาน โปรดทำตามคำแนะนำของคู่มือเครื่อง AAS ของแต่ละยี่ห้อ
2. เนื่องจากการแทนที่แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ด้วย NH_4^+ จากสารละลาย NH_4OAc 1 M pH 7.0 นี้ มีวิธีการในการแทนที่อย่างเดียวกับการวิเคราะห์ค่า CEC ในขั้นตอนแรก ดังนั้น เพื่อประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายจึงสามารถทำไปพร้อมกันกับการวิเคราะห์ค่า CEC ได้ โดยการเก็บน้ำยาที่ได้จากการแทนที่ในขั้นตอนแรกไปวิเคราะห์หาปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ และนำตัวอย่าง ดินนำไปวิเคราะห์ค่า CEC ตามขั้นตอนต่อไป

2. โปแตสเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K⁺ และ Na⁺)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Flamephotometer
2. อุปกรณ์อื่นๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียม 1,000 mg L⁻¹
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียม 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L⁻¹
3. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียม 1,000 mg L⁻¹
4. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียม 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg L⁻¹
5. สารละลายอื่นๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

วิธีเตรียมสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 1,000 mg L⁻¹
ละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 2.541 กรัม (ที่อบแห้ง) ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1

ลิตร

2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 mg L⁻¹

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 1000 mg L⁻¹ 10 มล. ใส่ในขวดปริมาตรและทำให้เป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 100 mg L⁻¹ หลังจากนั้นปิเปตสารละลายนี้ 0, 2, 4, 6, และ 8 มล. ใส่ในขวดปริมาตรและทำให้เป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น จะได้ สารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 mg L⁻¹ ตามลำดับ

3. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมเข้มข้น 1,000 mg L⁻¹

ละลายโปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl) 1.9067 กรัม (ที่อบแห้ง) ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 mg L⁻¹

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมเข้มข้น 1000 mg L⁻¹ 10 มล. ใส่ในขวดปริมาตร และทำให้เป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมเข้มข้น 100 mg L⁻¹ หลังจากนั้นปิเปตสารละลายนี้ 0, 2, 4, 6, และ 8 มล. ใส่ในขวดปริมาตรและทำให้เป็น 100 มล. ด้วย น้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 mg L⁻¹ ตามลำดับ

วิธีทำ

1. ทำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
2. นำสารละลายตัวอย่างตามข้อ 1. มาวัดปริมาณ exchangeable Na⁺ และ K⁺ ด้วยเครื่อง Flamephotometer โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมและโปแตสเซียม

วิธีคำนวณ

$$\text{Na}^+ \text{ หรือ } \text{K}^+, \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (mg L}^{-1}) \times 2 \times \text{df}}{\text{น.น. กรัมสมมูลย์ของ Na}^+ \text{ หรือ } \text{K}^+}$$

df = dilution factor

คำแนะนำ

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมและโปแตสเซียม เพื่อใช้ทำกราฟมาตรฐาน โปรด ทำตามคำแนะนำของคู่มือเครื่อง ของแต่ละยี่ห้อ

การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน
(Cation Exchange Capacity, CEC)
(Ammonium saturation method)

หลักการ

อนุภาคขนาดดินเหนียว (clay size particle) ในดินมีอยู่ 2 ชนิด คืออนุภาคอนินทรีย์ (inorganic particles) ได้แก่ silicate clay และ hydrous oxides ของเหล็กและอะลูมิเนียม เป็นต้น อีกชนิดหนึ่งคืออนุภาคอินทรีย์ (organic particles) อนุภาคทั้งสองชนิดนี้มีประจุ (charge) 2 ประเภทคือ ประจุถาวร (permanent charge) และประจุผันแปร (variable charge) ปริมาณประจุ ถาวรในดินจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงไปตามค่า pH ของดิน แต่ปริมาณประจุผันแปรในดินแปร เปลี่ยนไปเมื่อ pH ของดินเปลี่ยนไป เนื่องจากค่า CEC สัมพันธ์กับผลรวมของปริมาณแคตไอออนที่เกิดจากประจุถาวร และประจุผันแปร การวิเคราะห์ปริมาณ CEC ในดินจึงเป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในภาพรวมทั้งหมด และศักยภาพในการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้สามารถใช้บ่งบอกชนิดของแร่ดินเหนียวในดินได้อย่างกว้างๆ วิธีการวิเคราะห์ CEC มีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีต้องกำหนดค่า pH การวิเคราะห์หาค่า CEC ในดินโดยการทำให้อิ่มตัวด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc 1 M pH 7) เป็นวิธีการอย่างหนึ่งวิธีนี้แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ คือ :

ขั้นตอนที่ 1 การทำให้อิ่มตัวและชะล้าง (Saturation and leaching step) เป็นการ ทำให้อิ่มตัวด้วย NH_4^+ ion โดยการแช่ดินด้วย neutral NH_4OAc เพื่อให้ NH_4^+ ion จากสารละลาย NH_4OAc เข้าไปแทนที่ ion ประจุบวกของดิน กรองและล้างตัวอย่างด้วยสารละลาย NH_4OAc และ ตามด้วย NH_4Cl เพื่อให้ NH_4^+ เข้าแทนที่ native cations ต่าง ๆ ในดินจนอิ่มตัว อย่างเต็มที่

ขั้นตอนที่ 2 การล้าง (Washing step) เป็นการล้างดินด้วยethyl alcohol 95 % เพื่อไล่ NH_4^+ ส่วนเกินที่ไม่ได้ถูกดูดซับไว้ออกจากดินให้หมด

ขั้นตอนที่ 3 การแทนที่ (Replacing step) ให้ Na^+ เข้าไปแทนที่ NH_4^+ ในดินโดยใช้ สารละลาย acidified NaCl

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ (Analyzing step) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณ NH_4^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาจากดิน โดยการกลั่นและไตเตรท

อุปกรณ์

1. ขวดชมพู (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มล.
2. ขวดกรอง (Filtering flask) ขนาด 500 มล.
3. ขวดกลั่น (Kjeldahl flask) ขนาด 800 มล.
4. ขวดพลาสติกทนกรดทนด่างขนาด 10 และ 20 ลิตร
5. กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel)
6. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5
7. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
8. เครื่องกลั่น (Distillation apparatus)

9. บิวเรต (Burette) ขนาด 50 มล.
10. เครื่องกวน (Magnetic stirrer)

สารเคมี

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรท (Ammonium acetate, NH_4OAc) 1M pH 7.0
2. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH_4Cl) 1 M pH 7.0
3. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 M
4. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) 10 % acidified
5. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) 95 %
6. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3 %
7. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)
8. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) 1 %
9. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 0.10 M
10. สารละลายกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 M
11. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M
12. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
13. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (Potassium hydrogen phthalate)

วิธีเตรียมน้ำยาเคมี

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรท (Ammonium acetate, NH_4OAc) 1M pH 7.0
เตรียมโดย ใส่น้ำกลั่นประมาณ 16 ลิตร ในขวดพลาสติกทนกรดทนด่างขนาด 20 ลิตร เติม กรดกลacialอะซิติก (glacial acetic acid, 99.5 %) 1,136 มล. และสารละลายแอมโมเนีย (NH_3 solution, NH_4OH , 25 %) 1,500 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปให้มีปริมาตรประมาณ 19 ลิตร ผสมน้ำยา ทั้งสองให้เข้ากัน ปรับ pH ของน้ำยาให้เป็น pH 7.0 โดยใช้สารละลายแอมโมเนีย หรือกรดกลacialอะซิติก แล้วจึงปรับปริมาตรให้เป็น 20 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH_4Cl) 1 M pH 7.0
ละลาย NH_4Cl 1 กิโลกรัมในน้ำกลั่น 18 ลิตร ปรับ pH เป็น 7.0 ด้วย NH_3 solution หรือกรด HCl แล้วจึงเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 19 ลิตร
3. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 M pH 7.0
ตวง 2.5 ลิตร NH_4Cl 1 M (สารละลายข้อ 2) ใส่น้ำกลั่น 7 ลิตร แล้วปรับ pH เป็น 7.0 แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) 10 % acidified
เตรียมโดยละลาย NaCl 2 กิโลกรัม ในน้ำกลั่น 18 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.35 มล. คนให้ละลายแล้วทำให้เป็น 20 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
5. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3 %
ค่อยๆ ละลายกรดบอริก 600 กรัม ในน้ำกลั่นอุณหภูมิประมาณ 50 – 60 °C จนกรดบอริกละลายหมด จึงปรับปริมาตรทั้งหมดเป็น 20 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

6. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)
ละลายโบรมอครีซอลกรีน (bromocresol green) 0.22 กรัม และเมทิลเรด (methyl red) 0.075 กรัม ใน 95 % เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 96 มล. ที่ใส่ 3.5 มล. ของ 0.1 M NaOH ไว้แล้ว
7. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) 1 %
ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 100 มล.
8. สารละลายกรดเกลือหรือกรดไฮโดรริก (HCl) 0.1 M
เจือจางกรดเกลือเข้มข้น 82.7 มล. ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตร
9. สารละลาย AgNO₃ 0.1 M
ละลายซิลเวอร์ไนเตรท 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มล. เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชา
10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M
ละลาย NaOH 40 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
11. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
ละลาย NaOH 4 กิโลกรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
12. การ Standardization NaOH ด้วยโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (potassium hydrogen phthalate)

ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (Potassium hydrogen phthalate, KHP, [C₆H₄COOK)COOH], น้ำหนักกรัมสมมูล 204.23 กรัม) ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C ด้วยเครื่องชั่ง ละเอียด 4 ตำแหน่ง ประมาณ 0.4 กรัม บันทึกน้ำหนัก KHP ใส่ในขวดชมพูขนาด 125 มล. เติมน้ำกลั่น ประมาณ 20 มล. เขย่าจนละลายหมดจึงไปไตเตรทกับสารละลาย 0.1 M NaOH ที่เตรียมไว้ในข้อ 8 โดยเติม 1 % phenolphthalein 2 - 3 หยด ไตเตรท จนสารละลายเปลี่ยนสีจากไม่มีสี เป็นสีชมพูซึ่งเป็น จุดยุติ (end point) คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH จากสูตร:

$$\text{Normality ของ NaOH} = \frac{\text{น.น. เป็นกรัมของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท} \times 1000}{\text{น้ำหนักกรัมสมมูลของกรด KHP} \times \text{ปริมาตรของ NaOH}}$$

วิธีทำ

1. ชั่งดิน 5 กรัมใส่ในขวดชมพู ขนาด 125 มล. เติม 1 M pH 7.0 NH₄OAc 50 มล. เขย่าให้เข้ากันดีทิ้งไว้ค้างคืน
2. นำมากรองโดยใช้กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel) ต่อเข้ากับขวดกรอง ใช้กระดาษกรอง Whatman No. 5 จำนวน 1 แผ่น (หรือใช้ No. 42 จำนวน 1 แผ่น หรือ No. 1 จำนวน 2 แผ่น แทนกันได้) ล้างตัวอย่างดินด้วย 1 M NH₄OAc pH 7.0 ทีละน้อย หลาย ๆ ครั้ง จนได้ปริมาตรเกือบ 100 มล. นำสารละลายที่กรองได้นี้ถ่ายใส่ Volumetric flask แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มล. เก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ exchangeable cations Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ และ K⁺ ต่อไป

3. ล้างตัวอย่างดินในกรวยบุชเนอร์ ในข้อ 2 ต่อด้วย 1 M NH₄OAc pH 7.0 อีก 5 ครั้งๆ ละ ประมาณ 20 มล.
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วย 1 M NH₄Cl pH 7.0 5 ครั้ง ๆ ละ ประมาณ 20 มล.
5. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วย 0.25 M NH₄Cl pH 7.0 ประมาณ 20 มล. 1 ครั้ง
6. ล้างด้วย ethyl alcohol 95 % อีก 5 - 6 ครั้ง ๆ ละ ประมาณ 20 มล. ทุกครั้งที่ล้างใช้กระบอกฉีด ฉีดล้างตัวอย่างดินที่อาจติดค้างอยู่ที่ปาก buchner funnel ให้ลงไปรวมอยู่ในกรวยให้หมด สารละลายที่ได้จาก ข้อ 3 - ข้อ 6 เททิ้งไป (การล้างด้วย alcohol เพื่อล้างแอมโมเนียมส่วนเกินที่ดินไม่ได้แลกเปลี่ยนออกให้หมด ซึ่งทดสอบได้จากปริมาณคลอไรด์ไม่มีหลงเหลืออยู่ในดินโดยหยดสารละลาย AgNO₃ 0.1 M 1 - 2 หยด ลงใน สารละลายที่รองรับมาจาก buchner funnel โดยตรง ยังไม่ได้หยดลงสู่ขวดกรอง ถ้ามีตะกอนสีขาวเกิดขึ้น แสดงว่ายังล้างแอมโมเนียมไม่หมด ต้องล้าง ตัวอย่างดินด้วย ethyl alcohol 95 % ต่อไปอีก แล้วทดสอบคลอไรด์ใหม่ดังที่กล่าวมาแล้ว จนไม่มีตะกอนสีขาวนั้นแสดงว่าล้างแอมโมเนียมหมดแล้ว)
7. เปลี่ยนขวดกรองใหม่สำหรับรองรับสารละลายใหม่ ล้างตัวอย่างดินที่ยังอยู่ในกรวยบุชเนอร์ ในข้อ 6 ด้วย acidified NaCl 10 % แต่ครั้งที่ล้างให้ใส่สารละลาย NaCl ให้ท่วมตัวอย่างดิน จนกระทั่งได้สารละลาย ที่กรองได้ (leachate) ประมาณ 300-350 มล.
8. ถ่ายได้สารละลายที่กรองได้ใส่ในขวดกลั่น ล้างขวดกรองด้วยน้ำกลั่นและเทน้ำที่ล้างรวมลงไปขวด กลั่น
9. นำขวดกลั่นไปกลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไปในขวดกลั่นให้มากเกินพอ (ประมาณ 30 มล.) โดยมีสารละลายกรดบอริก (H₃BO₃) 3% ประมาณ 30 มล. ใส่ในขวดชมพูขนาด 500 มล. คอยรองรับ สารละลายที่กลั่นออกมาได้ และในสารละลายกรดบอริกนี้ใส่อินดิเคเตอร์ผสมประมาณ 5 หยดใช้เวลากลั่น ประมาณ 40 - 45 นาทีหรือจนกลั่นได้สารละลายประมาณ 250-275 มล.
10. นำสารละลายที่กลั่นได้ในขวดชมพูที่รองรับไปไตเตรทกับสารละลายกรดเกลือ 0.1 N จุดยุติคือสี ของอินดิเคเตอร์ในสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง บันทึกปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไตเตรท แล้วนำมา คำนวณค่า CEC
11. นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % ที่ใช้ล้างดินมากลั่นเป็น Blank โดยทำเช่นเดียวกับตัวอย่าง ดิน

วิธีคำนวณ

$$CEC \text{ (cmol}_c\text{/kg)} = \frac{(T - B) \times N \times 100 \times AD / OD}{\text{Sample wt. (gm.)}}$$

T = ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่างดิน

B = ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับBlank

N = ความเข้มข้นของกรดเกลือมีหน่วยเป็นนอร์มัลลิตี (normality)

AD / OD = อัตราส่วนน้ำหนักดินกับดินอบแห้ง (airdried / oven - dried ratio)

คำแนะนำ

ในการล้างดินแต่ละครั้งให้ค่อย ๆ ล้างสิ่งเจือปนน้ำยาที่ผ่านกรวยอย่าให้ผ่านออกเร็ว มาก โดยการควบคุมเปิดระบบสุญญากาศให้น้ำยาค่อย ๆ หยด ก่อนจะล้างดินครั้งต่อไปต้องรอให้ น้ำยาในการล้างครั้งแรกไหลผ่านหมดไปก่อน และขณะล้างดินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์อย่าทิ้งให้ตัวอย่าง ดินแห้ง เพราะถ้าดินแห้งในการล้างครั้งต่อไป ตัวอย่างดินอาจจะร่วงลงไปอยู่ในขวดกรองที่รองรับได้

การแปลผล

ระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

CEC, cmol/kg	ระดับ
< 5	ต่ำมาก
5 – 15	ต่ำ
15 – 25	ปานกลาง
25 – 40	สูง
> 40	สูงมาก

เอกสารอ้างอิง

Chapman, H.D. 1965. Cation. Exchange Capacity. In Methods of soil analysis, part 2 No. 9 pp 891-913 Amer. Soc. Agron., Madison, Wis.

FAO. 1979 a. Soil Survey Investigation for Irrigation. Soil Bull. No. 42. FAO, Rome.

Landon, J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual. Addison Wesley Longman Limited. England.

กองวิเคราะห์ดิน. 2540. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินกับการวิเคราะห์ดินใน ห้องปฏิบัติการ.

กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.

การวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน Electrical Conductivity (EC)

หลักการ

ในดินมีเกลือที่ละลายได้อยู่หลายชนิด บางชนิดละลายได้ดี เช่น NaCl, CaCl₂, NaHCO₃, Na₂SO₄ เป็นต้น บางชนิดละลายได้เพียงบางส่วน เช่น CaSO₄ การวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน จึงเป็น การประเมิน ปริมาณเกลือที่ละลายได้ของดิน และค่าที่ได้ยังใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเค็มของดิน ด้วยการวัดค่าการนำ ไฟฟ้าของดินใช้วิธีวัดในสารละลายของดินกับน้ำ อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ อาจแตกต่างกันแล้วแต่ ห้องปฏิบัติการแต่ละแห่ง แต่ที่นิยมใช้มักเป็น 1:5 หรือ เรียกว่า EC1:5 หรือ ใช้วัดเมื่อทำให้ดินเป็น saturated paste แล้ววัดในสารละลายที่สกัดได้เรียกว่า ECextract (ECe) จะ ใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำเท่าใดก็ตาม จะต้อง ระบุสัดส่วนนั้นไว้ด้วยทุกครั้งที่ยรายงานผล ECe และ EC 1:5 ของตัวอย่างเดียวกันจะให้ค่าไม่เท่ากัน เนื่องจาก ปริมาณเกลือที่ละลาย ออกมาจากดินจะไม่เท่ากัน ในการวัด EC ในอัตราส่วน ดิน:น้ำ 1:5 ปริมาณน้ำที่มาก อาจละลาย เกลือออกมาได้เกือบหมด แต่ ECe จะใช้น้ำน้อยกว่าวิธี EC1:5 ทำให้มีเกลือละลายออกมได้น้อย ดังนั้น ค่า EC1:5 เมื่อเทียบกันเป็นความเข้มข้นของเกลือที่ละลายได้ในดินจะมากกว่าค่าที่ได้จาก ECe ค่า ECe เป็นค่าที่ได้เมื่อสถานะของดินต่อน้ำใกล้เคียงกับสภาพการอุ้มน้ำที่ความจุสนาม (field capacity) ซึ่ง ต่างกับค่า EC1:5 ซึ่งใช้น้ำมากกว่าหลายเท่า ทำให้เปรียบเทียบกับสภาพของดิน ตามธรรมชาติไม่ได้ ดังนั้น ค่า ECe จึงมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าค่า EC1:5

หน่วยของค่า EC ที่นิยมใช้มี

- $EC \times 10^3 - mS/cm$ หรือ dS/m

- $EC \times 10^6 - \mu S/m$

ค่า EC ของสารละลายเกลือจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้น ประมาณ 2 % เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ดังนั้นอุณหภูมิมาตรฐานเมื่อรายงานค่า EC คือ 25 °C

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. ปีกเกอร์ขนาด 600 หรือ 1,000 มล.
3. spatula
4. เครื่องอัดน้ำออกจากดิน (Baroid Press)
5. เครื่อง Electrical Conductivity meter
6. หลอดทดลองขนาด 40 มล.
7. กระจกตวง 25 มล.
8. แท่งแก้วคนสาร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน 0.01 M KCl : ละลาย KCl (ที่อบที่ 110 °C นานประมาณ 3 ชั่วโมง) 0.7456 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะเป็นสารละลาย มาตรฐานมีค่าการนำไฟฟ้าที่ 25 °C 1.412 dS/m

2. สารละลายมาตรฐาน 0.1 M KCl : ละลาย KCl (ที่อบที่ 110 °C นานประมาณ 3 ชั่วโมง) 7.456 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะเป็นสารละลาย มาตรฐานมีค่าการนำไฟฟ้าที่ 25 °C 12.88 dS/m

วิธีเตรียมตัวอย่าง

1. ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated paste) แล้วสกัดสารละลายออกโดยใช้เครื่องบีบสุญญากาศ
2. ทำให้อยู่ในรูปสารละลาย โดยใช้ดินในอัตราส่วน ดิน : น้ำ ตามที่ต้องการ เช่น 1:5

วิธีทำ

1. การสกัดดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำใส่ดินในบีกเกอร์ปริมาณ 400 – 500 กรัม ค่อย ๆ เทน้ำกลั่นลงไปบนดิน และกวนจนดิน อิ่มตัวด้วยน้ำ ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีผิวมัน สะท้อนแสง และเมื่อใช้ spatula ตักขึ้นมาแล้วเทกลับ ดินจะค่อย ๆ ไหลลง โดยไม่เหลือติด spatula (ในดินเหนียว) เมื่อทำการกวนจนดีแล้ว ทิ้งไว้ค้าง คืน ตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งก่อนนำไปอัดน้ำออกจากดิน ถ้าดินแห้งแข็งให้เติมน้ำลงไปอีกแล้วกวน ให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง ถ้ามีน้ำอยู่บนหน้าดิน ให้เติมดินเพิ่ม กวนจนแน่ใจว่าดินอิ่มตัวด้วยน้ำพอดี นำไปสกัดด้วยเครื่องอัดน้ำ ออกจากดิน แล้วจึงนำสารละลายที่ได้มาวัดหาค่า E_C ด้วยเครื่อง Electrical Conductivity meter โดยใช้ สารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M หรือ 0.1 M ปรับค่าคงที่ (cell constant) ของเครื่อง Electrical Conductivity meter ที่ 25 °C จะมีค่า = 1.412 dS m⁻¹ หรือ 12.88 dS m⁻¹

2. การสกัดในอัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1 : 5 ชั่งดิน 4 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 40 มล ใส่ น้ำ 20 มล คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว เป็นระยะ ๆ นาน ½ ชั่วโมง หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ ½ ชั่วโมง แล้วจึงนำไปอ่านค่า EC โดยเครื่อง Electrical Conductivity meter โดยใช้สารละลายมาตรฐาน KCl 0.01 M หรือ 0.1 M ปรับ ค่าคงที่ (cell constant) ของเครื่อง Electrical Conductivity meter ที่ 25 °C จะมีค่า = 1.412 dS m⁻¹ หรือ 12.88 dS m⁻¹

การคำนวณ

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายสูงขึ้นไปประมาณ 2% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C เครื่องมือวัดที่ไม่สามารถคำนวณแปลงค่าที่วัดได้เป็นค่าที่อุณหภูมิ ควรวัดอุณหภูมิสารละลายแล้วคำนวณเป็นค่า การนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 °C ตามสมการ

$$EC_{25} = EC_t / [1 + 0.02(t - 25)]$$

เมื่อ EC_{25} = ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 °C

$$EC_t = \text{ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ที่อุณหภูมิ } t \text{ °C } t = \text{อุณหภูมิ (°C)}$$

การแปลผล

ตารางที่ 1 การแปลผลค่า EC ดินอิมิตัวด้วยน้ำ ที่ 25 °C

dS m ⁻¹	ระดับความเค็ม	ความสัมพันธ์กับพืช
0 -2	ไม่เค็ม	ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช
2 - 4	เค็มน้อยมาก	อาจมีผลกระทบต่อผลผลิตของพืชที่ sensitive ต่อความเค็ม
4 - 8	เค็มปานกลาง	เป็นอุปสรรคต่อพืชหลายชนิด
8 - 16	เค็มจัด	เป็นอุปสรรคต่อพืชส่วนมาก เฉพาะพืชทนเค็มที่เติบโตได้
>16	เค็มจัดมาก	เป็นอันตรายต่อพืชทุกชนิด ยกเว้นพืชบางชนิด เช่นหญ้าทนเค็ม เป็นต้น

ที่มา: Beck, 1999; Bower และ และ Wilcox , 1965; Jackson, 1958

ตารางที่ 2 การแปลผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่ได้จากการวัดด้วยอัตราส่วน 1:5 ตาม ประเภทของเนื้อดิน ณ อุณหภูมิอ้างอิง 25 °C

ระดับความเค็ม	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm) ที่เนื้อดินต่างๆ				
	ทราย / ร่วนปนทราย	ร่วน	ร่วนปนเหนียว	ค่อนข้างเหนียว	เหนียวจัด
ไม่เค็ม	<0.15	<0.17	<0.25	<0.30	<0.40
เค็มน้อยมาก	0.16 – 0.30	0.18 – 0.35	0.26 – 0.45	0.31 – 0.60	0.41 – 0.80
เค็มปานกลาง	0.31 – 0.60	0.36 – 0.75	0.46 – 0.90	0.61 – 1.15	0.81 – 1.60
เค็มจัด	0.61 – 1.20	0.76 – 1.50	0.91 – 1.75	1.16 – 2.30	1.61 – 3.20
เค็มจัดมาก	>1.20	>1.50	>1.75	>2.30	>3.20

ที่มา : Patterson, 2001

ข้อสังเกต

ค่า EC ของสารละลายเกลือจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้น ประมาณ 2 % เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C ดังนั้น อุณหภูมิมาตรฐานเมื่อรายงานค่า EC คือ 25 °C

เอกสารอ้างอิง

กองวิเคราะห์ดิน. 2540. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินกับการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ.

กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ. 59 หน้า.

Beck, R. 1999. Soil Analysis Handbook of Reference Methods. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press, USA. 247 p.

Bower , C.A. and L.V.Wilcox. 1965. Soluble salts. pp 933-951. In Methods of Soil Analysis Part 2. C.A. Black (ed). American Society of Agronomy Inc., Publisher. USA.

Jackson , M.L. 1958. Soil chemical analysis. Prestige – Hall, Inc., New York. 498 p.

Soil Survey Laboratory Staff. 1992. Reaction (pH). pp 274-276. In Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigation report No. 42 , V.2.0.

ภาคผนวก



กฎกระทรวง

กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไข และอัตราค่าใช้จ่าย
ในการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินเป็นการเฉพาะราย
พ.ศ. ๒๕๕๕

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๒๐ วรรคสอง และมาตรา ๒๕ แห่งพระราชบัญญัติพัฒนาที่ดิน พ.ศ. ๒๕๕๑ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ออกกฎกระทรวงไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในกฎกระทรวงนี้

“การวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดิน” หมายความว่า การนำวิชาการทางวิทยาศาสตร์ มาใช้ในการปฏิบัติงาน ร่วมกับการใช้เครื่องมือ เครื่องใช้และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานการตรวจวิเคราะห์ที่ปรากฏเป็นตัวเลขและรายละเอียดข้อมูลของดิน ที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์

“เกษตรกร” หมายความว่า บุคคลธรรมดาซึ่งประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก

ข้อ ๒ ผู้ใดประสงค์จะให้กรมพัฒนาที่ดินวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินเป็นการเฉพาะราย ให้ยื่นคำขอตามแบบที่คณะกรรมการกำหนด ณ กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขตหรือสถานีพัฒนาที่ดินท้องที่ซึ่งที่ดินนั้นตั้งอยู่ พร้อมด้วยเอกสารและหลักฐานตามที่ระบุไว้ในแบบคำขอตามที่คณะกรรมการกำหนด รวมทั้งตัวอย่างดินที่จะให้ทำการวิเคราะห์ตรวจสอบด้วย

ข้อ ๓ เมื่อได้รับคำขอแล้ว ให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบคำขอ เอกสารและหลักฐาน รวมทั้งตัวอย่างดิน ว่ามีความถูกต้องครบถ้วนหรือไม่ ในกรณีที่ ไม่ถูกต้องครบถ้วน ให้เจ้าหน้าที่แจ้งให้ผู้ยื่นคำขอแก้ไขเพิ่มเติมคำขอหรือจัดส่งเอกสารหรือหลักฐานหรือตัวอย่างดินให้ถูกต้องครบถ้วนภายในระยะเวลาที่กำหนด

ในกรณีที่ผู้ยื่นคำขอไม่แก้ไขเพิ่มเติมคำขอ หรือไม่จัดส่งเอกสารและหลักฐาน หรือตัวอย่างดินให้ถูกต้องครบถ้วนภายในระยะเวลาตามวรรคหนึ่ง ให้ถือว่าผู้ยื่นคำขอทิ้งคำขอ และให้จำหน่ายเรื่องออกจากสารบบ

ในกรณีที่คำขอ เอกสารและหลักฐาน รวมทั้งตัวอย่างดินมีความถูกต้องครบถ้วนแล้ว ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(๑) กรณีเป็นคำขอที่ยื่น ณ กรมพัฒนาที่ดิน ให้เจ้าหน้าที่แจ้งเป็นหนังสือให้ผู้ยื่นคำขอทราบ ภายในสามวันทำการ ว่าจะสามารถดำเนินการตามคำขอได้หรือไม่ เว้นแต่เป็นคำขอที่มีการส่งตัวอย่างดิน ทางไปรษณีย์ ให้แจ้งเป็นหนังสือภายในสิบวันทำการ นับแต่วันที่ได้รับตัวอย่างดินและรับเรื่องลงทะเบียน

(๒) กรณีเป็นคำขอที่ยื่น ณ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขตหรือสถานีพัฒนาที่ดินท้องถิ่นซึ่งที่ดินนั้นตั้งอยู่ ให้เจ้าหน้าที่แจ้งเป็นหนังสือให้ผู้ยื่นคำขอทราบภายในสิบวันทำการ ว่าจะสามารถดำเนินการตามคำขอ ได้หรือไม่

ข้อ ๔ ให้ดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินให้แล้วเสร็จภายในหกสิบวันทำการ นับแต่วันที่ได้แจ้งให้ผู้ยื่นคำขอทราบตามข้อ ๓ วรรคสาม และผู้ยื่นคำขอได้ชำระค่าใช้จ่าย ถ้าหากมี ครบถ้วนแล้ว เว้นแต่เป็นการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินด้านแร่ และด้านจุลสัณฐานดิน ให้ดำเนินการให้แล้วเสร็จภายในหนึ่งร้อยยี่สิบวันทำการ

ข้อ ๕ ในระหว่างการดำเนินการตามคำขอ ถ้าปรากฏว่าการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดิน ไม่สามารถกระทำให้แล้วเสร็จได้ทั้งหมดหรือแต่บางส่วน ให้แจ้งเป็นหนังสือระบุเหตุขัดข้องให้ผู้ยื่นคำขอทราบ

ข้อ ๖ เมื่อการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินเสร็จสิ้น ให้แจ้งผลการวิเคราะห์ตรวจสอบ ตัวอย่างดินเป็นหนังสือให้ผู้ยื่นคำขอทราบ ดังนี้

(๑) กรณีเป็นคำขอตามข้อ ๓ วรรคสาม (๑) ให้แจ้งภายในสามวันทำการ นับแต่วันที่ การวิเคราะห์ตรวจสอบเสร็จสิ้น

(๒) กรณีเป็นคำขอตามข้อ ๓ วรรคสาม (๒) ให้แจ้งภายในสิบวันทำการ นับแต่วันที่ การวิเคราะห์ตรวจสอบเสร็จสิ้น

ข้อ ๗ อัตราค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดิน ให้เป็นไปตามบัญชี ๑ ท้ายกฎกระทรวงนี้

ข้อ ๘ ในกรณีที่เกษตรกรยื่นคำขอวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินตามรายการในบัญชี ๒ ท้ายกฎกระทรวงนี้ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

ข้อ ๙ ในกรณีส่วนราชการหรือหน่วยงานอื่นของรัฐยื่นคำขอวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดิน เพื่อประโยชน์แก่ทางราชการ ให้เสียค่าใช้จ่ายในอัตราร้อยละห้าสิบ ของอัตราค่าใช้จ่ายตามบัญชี ๑ ท้ายกฎกระทรวงนี้

การยื่นคำขอตามวรรคหนึ่ง หากเป็นไปเพื่อนำผลการวิเคราะห์ตรวจสอบไปใช้ประโยชน์ ในโครงการพิเศษตามนโยบายของรัฐบาล หรือในโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริหรือมีการจัดซื้อ สารเคมีหรือวัสดุวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินให้แก่กรมพัฒนาที่ดิน ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

ให้ไว้ ณ วันที่ ๑๓ มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๕

พงศ์ศักดิ์ เจริญประเสริฐ

รัฐมนตรีช่วยว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปฏิบัติราชการแทน

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

บัญชี ๑ อัตราค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินเป็นการเฉพาะราย

ลำดับที่	รายการ	อัตรา
	ก. อัตราค่าวิเคราะห์ตรวจสอบดิน	
๑	ความชื้นในดิน (moisture content)	๕๐ บาท
๒	ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH) แบ่งเป็น	
	๒.๑ water suspension (ดิน : น้ำ, pH _{H₂O})	๕๐ บาท
	๒.๒ KCl solution suspension (ดิน : KCl, pH _{KCl})	๑๐๐ บาท
	๒.๓ CaCl ₂ solution suspension (ดิน : CaCl ₂ , pH _{CaCl₂})	๑๐๐ บาท
๓	ความต้องการปูนเพื่อแก้ความเป็นกรด (lime requirement : LR)	๑๐๐ บาท
๔	การนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity)	
	๔.๑ การนำไฟฟ้าของดิน (EC) อัตราส่วน ๑ : ๕ (1 : 5 soluble extract)	๑๐๐ บาท
	๔.๒ การนำไฟฟ้าของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, E _{ce} (suspension saturated paste)	๒๐๐ บาท
๕	เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation percentage : % SP)	๑๐๐ บาท
๖	ความต้องการยิปซัม (gypsum requirement : GR)	๓๐๐ บาท
๗	ปริมาณสารละลายเกลือในดิน (soluble salts) โดยมีค่าวิเคราะห์แต่ละธาตุ ดังนี้	
	๗.๑ K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ ธาตุละ	๓๐๐ บาท
	๗.๒ Chloride, Carbonate, Bicarbonate รายการละ	๓๐๐ บาท
	๗.๓ ซัลเฟตที่ละลายน้ำ (soluble SO ₄ ²⁻)	๓๐๐ บาท
๘	อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter : OM)	๓๐๐ บาท
๙	แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (exchangeable cations) โดยมีค่าวิเคราะห์แต่ละธาตุ ดังนี้	
	K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ ธาตุละ	๓๐๐ บาท
๑๐	ความเป็นกรดที่สกัดได้ในดิน (extractable acidity : EA)	๓๐๐ บาท
๑๑	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน (cation exchange capacity : CEC)	๕๐๐ บาท
๑๒	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (available phosphorus)	๓๐๐ บาท
๑๓	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (available potassium)	๓๐๐ บาท
๑๔	โซเดียมที่สกัดได้ในดิน (extractable sodium)	๓๐๐ บาท
๑๕	แคลเซียมที่สกัดได้ในดิน (extractable calcium)	๓๐๐ บาท
๑๖	แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน (extractable magnesium)	๓๐๐ บาท
๑๗	ซัลเฟอร์ที่สกัดได้ในดิน (extractable sulphur)	๓๐๐ บาท
๑๘	ทองแดงที่สกัดได้ในดิน (extractable copper)	๓๐๐ บาท
๑๙	แมงกานีสที่สกัดได้ในดิน (extractable manganese)	๓๐๐ บาท
๒๐	สังกะสีที่สกัดได้ในดิน (extractable zinc)	๓๐๐ บาท

ลำดับที่	รายการ	อัตรา
๒๑	เหล็กที่สกัดได้ในดิน (extractable iron)	๓๐๐ บาท
๒๒	อะลูมิเนียมที่สกัดได้ในดิน (extractable aluminum)	๓๐๐ บาท
๒๓	แอกทีฟไอรอน (active iron)	๓๐๐ บาท
๒๔	เหล็กออกไซด์อิสระ (free iron oxide)	๔๐๐ บาท
๒๕	ปริมาณทั้งหมดของธาตุต่าง ๆ เชิงปริมาณ (total element) โดยใช้รังสีเอกซ์ (x-ray fluorescence spectrophotometer) ๑๔ ธาตุ คือ Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si, Ti, Zn และ Cl	
	๒๕.๑ ธาตุแรก	๑,๕๐๐ บาท
	๒๕.๒ ธาตุต่อไป ธาตุละ	๒๐๐ บาท
๒๖	ปริมาณไพไรต์ (pyrite)	๕๐๐ บาท
๒๗	เนื้อดิน แยกอนุภาคทราย (sand) อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay)	๒๐๐ บาท
๒๘	แยกอนุภาคขนาดทราย (sand fraction) เป็นอนุภาคทรายหยาบมาก (very coarse sand) อนุภาคทรายหยาบ (coarse sand) อนุภาคทรายปานกลาง (medium sand) อนุภาคทรายละเอียด (fine sand) อนุภาคทรายละเอียดมาก (very fine sand)	๑๕๐ บาท
๒๙	ความหนาแน่นอนุภาค (particle density)	๑๒๐ บาท
๓๐	ความหนาแน่นรวม (bulk density)	๑๐๐ บาท
๓๑	สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดิน (hydraulic conductivity)	๑๕๐ บาท
๓๒	เสถียรภาพของเม็ดดิน (aggregate stability)	๕๐๐ บาท
๓๓	ความชื้นที่แรงดึงน้ำ (water retention) ที่ระดับความดัน ๑/๓, ๑๕ บรรยากาศ (atmosphere) (ถ้าต้องการวิเคราะห์ความชื้นที่ระดับความดันอื่นคิดเพิ่มอีก ระดับละ ๑๐๐ บาท)	๒๐๐ บาท
๓๔	ชนิดและปริมาณแร่ดินเหนียวในดิน กลุ่มแร่ดินเหนียวเคโอลิไนต์ (kaolinite group) กลุ่มแร่ดินเหนียวอิลไลต์ (illite group) กลุ่มแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite group) คลอไรต์ (chlorite) เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) แร่ดินเหนียวสอดชั้น (interstratified clay minerals)	๑,๕๐๐ บาท
๓๕	ชนิดและปริมาณของแร่ธรรมชาติด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction : XRD)	๑,๐๐๐ บาท
๓๖	ทำแผ่นตัดบาง (thin section) ของดินทราย ตรวจสอบพร้อมให้รายงาน	๖๐๐ บาท
๓๗	ทำแผ่นตัดบาง (thin section) ของดินเหนียว ตรวจสอบพร้อมให้รายงาน	๘๐๐ บาท
๓๘	ทำแผ่นตัดบาง (thin section) ของหินผุ และวัตถุต้นกำเนิดดินพวก residual soil ตรวจสอบพร้อมให้รายงาน	๘๐๐ บาท
๓๙	ทำแผ่นตัดบาง (thin section) ของหิน ตรวจสอบพร้อมให้รายงาน	๖๐๐ บาท
๔๐	ชนิดและเปอร์เซ็นต์ของแร่ในดิน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์	๘๐๐ บาท
๔๑	โลหะหนักเพื่อประเมินความมั่นคง ความปลอดภัยด้านอาหาร และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกรรม	

ลำดับที่	รายการ	อัตรา
	๔๑.๑ As, Hg ในดิน ธาตุละ	๖๐๐ บาท
	๔๑.๒ Cd, Cr, Cu, Pb, Zn ในดิน ธาตุละ	๔๐๐ บาท
	ข. อัตราค่าวิเคราะห์ตรวจสอบพืช	
๑	ธาตุอาหารในพืช	
	๑.๑ ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ในพืช	๕๐๐ บาท
	๑.๒ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๓ โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๔ แคลเซียมทั้งหมด (total calcium) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๕ แมกนีเซียมทั้งหมด (total magnesium) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๖ โซเดียมทั้งหมด (total sodium) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๗ ซัลเฟอร์ทั้งหมด (total sulphur) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๘ เหล็กทั้งหมด (total iron) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๙ แมงกานีสทั้งหมด (total manganese) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๑๐ สังกะสีทั้งหมด (total zinc) ในพืช	๓๐๐ บาท
	๑.๑๑ ทองแดงทั้งหมด (total copper) ในพืช	๓๐๐ บาท
๒	โลหะหนักเพื่อประเมินความมั่นคง ความปลอดภัยด้านอาหาร และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกรรม	
	๒.๑ As, Hg ในพืช ธาตุละ	๖๐๐ บาท
	๒.๒ Cd, Cr, Pb ในพืช ธาตุละ	๔๐๐ บาท
๓	อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ในพืช	๓๐๐ บาท
	ค. อัตราค่าวิเคราะห์ตรวจสอบน้ำเพื่อการเกษตร	
๑	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำ	๕๐ บาท
๒	ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของน้ำ	๑๐๐ บาท
๓	ปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total dissolved solid : TDS) หรือ ปริมาณสารทั้งหมด (total residue : TR) ในน้ำ รายการละ	๒๐๐ บาท
๔	แคลเซียม (calcium) ในน้ำ	๔๐๐ บาท
๕	แมกนีเซียม (magnesium) ในน้ำ	๔๐๐ บาท
๖	โซเดียม (sodium) ในน้ำ	๔๐๐ บาท
๗	โพแทสเซียม (potassium) ในน้ำ	๔๐๐ บาท
๘	คาร์บอเนต (carbonate) ในน้ำ	๑๕๐ บาท
๙	ซัลเฟต (sulphate) ในน้ำ	๓๐๐ บาท
๑๐	คลอไรด์ (chloride) ในน้ำ	๒๐๐ บาท
๑๑	ฟอสเฟต (phosphate) ในน้ำ	๔๐๐ บาท

ลำดับที่	รายการ	อัตรา
๑๒	โลหะหนักในน้ำ	
	๑๒.๑ As, Hg ในน้ำ ชาติละ	๖๐๐ บาท
	๑๒.๒ Cd, Cr, Cu, Pb, Zn ในน้ำ ชาติละ	๔๐๐ บาท
	ง. อัตราค่าวิเคราะห์ตรวจสอบสิ่งปรับปรุงดิน	
๑	ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ / สิ่งปรับปรุงดิน	
	๑.๑ ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ในปุ๋ยอินทรีย์	๕๐๐ บาท
	๑.๒ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๓ โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๔ แคลเซียมทั้งหมด (total calcium) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๕ แมกนีเซียมทั้งหมด (total magnesium) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๖ โซเดียมทั้งหมด (total sodium) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๗ ซัลเฟอร์ทั้งหมด (total sulphur) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๘ เหล็กทั้งหมด (total iron) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๙ แมงกานีสทั้งหมด (total manganese) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๑๐ สังกะสีทั้งหมด (total zinc) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
	๑.๑๑ ทองแดงทั้งหมด (total copper) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
๒	โลหะหนักเพื่อประเมินความมั่นคง ความปลอดภัยด้านอาหาร และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกรรม	
	๒.๑ As, Hg ในสิ่งปรับปรุงดิน ชาติละ	๖๐๐ บาท
	๒.๒ Cd, Cr, Pb ในสิ่งปรับปรุงดิน ชาติละ	๔๐๐ บาท
๓	อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ในปุ๋ยอินทรีย์	๓๐๐ บาท
๔	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของปุ๋ยอินทรีย์ หรือวัสดุปุ๋ยเพื่อการเกษตร หรือน้ำหมักชีวภาพ	๑๐๐ บาท
๕	ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity : EC) ของปุ๋ยอินทรีย์ หรือน้ำหมักชีวภาพ	๑๐๐ บาท
๖	ความชื้น (moisture) ของปุ๋ยอินทรีย์ หรือวัสดุปุ๋ยเพื่อการเกษตร	๑๐๐ บาท
๗	ขนาดอนุภาค (particle size) ของปุ๋ยอินทรีย์ หรือวัสดุปุ๋ยเพื่อการเกษตร	๒๐๐ บาท
๘	ค่าการทำให้เป็นกลางของวัสดุปุ๋ยเพื่อการเกษตร (calcium carbonate equivalent : CCE)	๒๐๐ บาท
๙	ปริมาณหินกรวด (gravel)	๒๐๐ บาท
๑๐	การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์	๑๐๐ บาท
๑๑	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	๘๐๐ บาท

บัญชี ๒ การวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินของเกษตรกร

ลำดับที่	รายการ
	ก. การวิเคราะห์ตรวจสอบดิน
๑	ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH)
๒	ความต้องการปูนเพื่อแก้ความเป็นกรด (lime requirement : LR)
๓	การนำไฟฟ้าของดิน (EC) อัตราส่วน ๑ : ๕ (1 : 5 soluble extract)
๔	อินทรีย์วัตถุ (organic matter)
๕	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (available phosphorus)
๖	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (available potassium)
๗	แคลเซียมที่สกัดได้ในดิน (extractable calcium)
๘	แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน (extractable magnesium)
๙	เนื้อดิน แยกอนุภาคทราย (sand) อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay)
	ข. การวิเคราะห์ตรวจสอบน้ำเพื่อการเกษตร
๑	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำ
๒	ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของน้ำ
๓	โพแทสเซียม (potassium) ในน้ำ
๔	ฟอสเฟต (phosphate) ในน้ำ
	ค. การวิเคราะห์ตรวจสอบสิ่งปรับปรุงดิน
๑	ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ในปุ๋ยอินทรีย์
๒	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ในปุ๋ยอินทรีย์
๓	โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ในปุ๋ยอินทรีย์
๔	อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ในปุ๋ยอินทรีย์
๕	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของปุ๋ยอินทรีย์ หรือวัสดุปุ๋ยเพื่อการเกษตร หรือน้ำหมักชีวภาพ
๖	ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity : EC) ของปุ๋ยอินทรีย์ หรือน้ำหมักชีวภาพ
๗	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

หมายเหตุ :- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่มาตรา ๒๐ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติพัฒนาที่ดิน พ.ศ. ๒๕๕๑ บัญญัติให้ผู้ใดประสงค์จะให้กรมพัฒนาที่ดินดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินเป็นการเฉพาะราย เพื่อการเกษตรกรรมของเกษตรกร ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไข และอัตราค่าใช้จ่ายตามที่กำหนดในกฎกระทรวง จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้