



คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี
เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน
Method of Soil Chemical Analysis
for Soil Fertility Evaluation



จัดทำโดย

นายรัตนชาติ ช่วยบุคดา

นางสาวบุศรินทร์ แสงวลาภ

เอกสารวิชาการ

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน



ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน
วันที่... 17 ต.ค. 2562
เลขหมู่... 53720
เลขทะเบียน... 610134

คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี
เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน
Method of Soil Chemical Analysis
for Soil Fertility Evaluation



จัดทำโดย

นายรัตนชาติ ช่วยבודהา

นางสาวบุศรินทร์ แสงลาภ

เอกสารวิชาการ

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

คำนำ

เอกสารวิชาการ “คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน” เป็นเอกสารที่ได้รวบรวมวิธีวิเคราะห์ดิน การแปลผลค่าวิเคราะห์ดิน และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยเคมีดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นเอกสารวิชาการที่นักวิทยาศาสตร์ นักสำรวจดิน นักวิชาการ เกษตรและผู้สนใจสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ วิธีการวิเคราะห์ดินในเอกสารนี้เป็นวิธีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับและใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการทั่วไปทั้งในและต่างประเทศ

เอกสารวิชาการเล่มนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นวิธีการวิเคราะห์ดินเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ประกอบด้วยค่าปฏิกิริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ส่วนที่สองเป็นการแปลผลค่าวิเคราะห์ดิน และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินนี้มีความสำคัญมากในการนำมาใช้เพื่อการจำแนกดินและการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะสามารถทราบได้ว่าในดินมีธาตุอาหารพืชอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาถึงชนิด อัตราปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดินที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สูงขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่านักวิทยาศาสตร์ นักสำรวจดิน นักวิชาการเกษตรและผู้สนใจ คงจะได้รับความรู้และสามารถที่จะนำวิธีการ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆในคู่มือนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

รัตนชาติ ช่วยบุตดา
บุศรินทร์ แสงลาก

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี	4
2.1 การเก็บตัวอย่างดิน	4
2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน	9
บทที่ 3 วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	11
3.1 การวิเคราะห์ปฏิกิริยาดิน	12
3.1.1 วิธีอัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 1	13
3.1.2 วิธีอัตราส่วนดินต่อ 1 N KCl เท่ากับ 1 : 1	14
3.1.3 วิธีอัตราส่วนดินต่อ 0.01 M CaCl ₂ เท่ากับ 1 : 2	14
3.1.4 วิธี LDD pH Test Kit	15
3.2 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	16
3.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	19
3.3.1 วิธีนํ้ายาสกัด Bray II	19
3.3.2 วิธีนํ้ายาสกัด Olsen	21
3.4 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	23
3.5 การวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน	25
3.5.1 วิธี 1 N NH ₄ OAc pH 7	26
3.5.2 วิธี CEC by Sum	28
3.5.3 วิธี Effective CEC	29
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้	30
3.6.1 วิธี 1 N NH ₄ OAc pH 7	30
3.6.2 วิธี Total exchangeable bases	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.3 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส	33
3.7 การวิเคราะห์ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้	34
3.7.1 วิธี BaCl ₂ – TEA pH 8.2	34
3.7.2 วิธี 1 N KCl	36
3.8 การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้	39
บทที่ 4 การแปลผลค่าวิเคราะห์ดิน	42
บทที่ 5 การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	74
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	87
ภาคผนวกที่ 1 แสดงการเปลี่ยนหน่วย non SI unit เป็น SI unit	88
ภาคผนวกที่ 2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและความเข้มข้นที่แน่นอน	89
ภาคผนวกที่ 3 แสดงวิธีการคำนวณในแต่ละพารามิเตอร์	92
ภาคผนวกที่ 4 น้ำหนักอะตอมของธาตุ	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) และอิทธิพลต่อพืช	42
2	ระดับพีเอชที่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชลดลง	46
3	ระดับพีเอชของดินที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย	47
4	ระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (% organic carbon \times 1.724)	52
5	ระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (mg kg^{-1})	56
6	ระดับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (mg kg^{-1})	59
7	ระดับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน (cmol kg^{-1})	62
8	สัดส่วนของค่า ECEC (%) ต่อปริมาณแคตไอออน	63
9	ระดับปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้	66
10	ระดับอัตราส่วน Ca/Mg	66
11	ระดับอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (%BS)	68
12	ระดับอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (%BS) ต่ออัตราการชะละลาย	68
13	ระดับความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol kg^{-1})	71
14	ระดับปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol kg^{-1})	73
15	การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	75
16	แสดงความสูงต่ำของการแบ่งระดับของพิกัดสมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	76
17	วิธีการคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ดิน	77
18	แสดงการคำนวณผลการวิเคราะห์ดินภายในหน้าตัดดินที่ระดับความลึกแตกต่างกัน	80
19	การจัดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	81
20	การจัดระดับการคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดิน	82

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน	5
2	การแบ่งแปลงเก็บตัวอย่างดินตามลักษณะความแตกต่างของพื้นที่	7
3	วิธีการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละจุด	8
4	จำนวนหลุมที่เจาะเก็บตัวอย่างดินในหนึ่งแปลง	8
5	แสดงการแบ่งดินออกเป็นสี่ส่วนและนำส่วนหนึ่งส่งวิเคราะห์	9
6	การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี	10
7	แสดงอุปกรณ์ชุดตรวจสอบภาคสนามความเป็นกรดเป็นด่างของดิน	15
8	ความสัมพันธ์ระหว่างเอช (pH) กับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน	47

บทที่ 1 บทนำ

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญในการดำรงชีพของมนุษย์ ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ต้องใช้ดินเป็นปัจจัยหลัก ดังนั้น ปัญหาที่เกิดขึ้นได้แก่ การนำพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตรมาใช้ในการเกษตรกรรม และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อเกษตรกร ชุมชน และประเทศชาติ กรมพัฒนาที่ดินมีภารกิจหลักเกี่ยวกับการกำหนดนโยบายและวางแผนการใช้ที่ดินในพื้นที่เกษตรกรรม การสำรวจและจำแนกดิน การอนุรักษ์ดินและน้ำ และการปรับปรุงบำรุงดิน โดยการให้บริการและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการพัฒนาที่ดิน ข้อมูลดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และให้มีการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน ทั้งนี้เพื่อให้การวางแผนการจัดการทรัพยากรดินเป็นไปด้วยความเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพ สิ่งแรกๆ ที่ควรให้ความสำคัญคือ **“สถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน”** เพื่อให้สามารถประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ที่นำไปสู่การพิจารณาหาแนวทางการจัดการดินให้มีศักยภาพทางการผลิตมากขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการและอนุรักษ์ดินในแต่ละพื้นที่ให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดอย่างยั่งยืน

ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นสิ่งบ่งชี้ผลผลิตภาพดิน (soil productivity) เป็นความสามารถของดินในการให้ผลผลิตพืชภายใต้การจัดการแบบหนึ่งหรือระบบหนึ่ง คณะจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ได้ให้นิยามความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ว่า ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility) หมายถึงความสามารถของดินในการให้ธาตุอาหารที่จำเป็นเพื่อการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือเมื่อธาตุอาหารในดินที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มีปริมาณที่พอเหมาะและสมดุล จะช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี การรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน จึงถือเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มประสิทธิภาพในพื้นที่ทำการเพาะปลูกทางการเกษตร

การใช้ประโยชน์ที่ดินจากในอดีตจนถึงปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงมากมาย ทั้งเกิดจากทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการเปลี่ยนพื้นที่ป่าไม้ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ซึ่งส่งผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ทั้งสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ เช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงส่งผลให้ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชในดินลดลง ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง ความหนาแน่นรวมของดินสูงขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ การปรับเปลี่ยนสภาพป่าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ส่งผลต่อระบบการหมุนเวียนธาตุอาหารซึ่งสะสมอยู่ในรูปมวลชีวภาพของพืช และเมื่อมีการนำผลผลิตออกไปจากพื้นที่ จึงทำให้สูญเสียธาตุอาหารไปด้วย ส่งผลให้ระบบสำรองธาตุอาหารพืชลดลง ในบางกรณีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่งผลให้ดินมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดการดิน ซึ่งอาจส่งผลให้ปฏิกิริยาของดินเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ หรือบางพื้นที่มีการสูญเสียหน้าดินจากการชะล้างพังทลาย การเกิดชั้นดานไทรพรวน นอกจากนี้การปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลายาวนานโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน ก็ล้วนแล้วแต่ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งทางบวกและทางลบ ดังนั้น การติดตามและประเมินการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดิน จึงเป็นกระบวนการหนึ่งเพื่อให้ทราบถึงสถานภาพทรัพยากรดินในปัจจุบัน ซึ่งนำไปสู่การวางแผนการ

จัดการดินอย่างยั่งยืนและมีทิศทางที่ชัดเจน รองรับการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

การวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นการวางแผนเพื่อเพิ่มศักยภาพของดิน และเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตพืชให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ลดต้นทุนการผลิต ทำให้มีการเลือกปลูกพืชที่เหมาะสมกับชนิดของดิน มีการใช้ปุ๋ย ใช้ปูน และวัสดุปรับปรุงดินต่างๆ อย่างถูกต้องและเหมาะสมตามความจำเป็นและความต้องการของพืช

การวิเคราะห์ดินทางเคมีนั้น แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะตามวัตถุประสงค์ คือ

1) การวิเคราะห์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณส่วนประกอบ (qualitative and quantitative) ชนิดต่างๆ ของดินทางเคมี เช่น โมเลกุล อะตอม อนุมูลบวก อนุมูลลบ สารเชิงประกอบ หรือ ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในดิน ทั้งนี้ เพื่ออธิบายหรือพิจารณาว่า สมบัติต่างๆ เหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็นส่วนที่มีอยู่เดิม (native form) ส่วนที่ใส่ลงดิน (applied form) มีอยู่เป็นปริมาณเท่าไร เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร (transformation) เพื่อที่จะได้อธิบายปฏิกิริยาทางเคมีที่เปลี่ยนไปในดิน เนื่องจากสภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป

2) การวิเคราะห์เพื่อประเมินถึงปริมาณธาตุอาหารพืชที่สำคัญ งานวิเคราะห์ด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความต้องการธาตุอาหารพืช เพื่อการเกษตรกรรม เพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน การใช้ปุ๋ย และการแก้ไขดินที่มีปัญหา

3) การวิเคราะห์ด้านสำรวจและจำแนกดิน ทั้งการวิเคราะห์ดินทางเคมี ทางกายภาพ และจุลสัณฐานดิน เพื่อใช้ในการจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน (soil taxonomy) ที่มีขั้นตอน (categories) โดยใช้ลักษณะกว้างๆ ของดินเป็นลำดับเริ่มแรกจากอันดับดิน (order) ไปจนถึงชุดดิน (series) ซึ่งใช้ลักษณะละเอียดมาจำแนกตามลำดับ

โดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์ดินของกรมพัฒนาที่ดินมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อการจำแนกดิน และเพื่อการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สำหรับการวิเคราะห์ดินเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้น เป็นแนวทางหนึ่งซึ่งจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์ที่ดินในการผลิตพืชอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิต รักษาสุขภาพสมดุลตามธรรมชาติเอาไว้ อย่างยั่งยืนตลอดไป ซึ่งสอดคล้องกับความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการในภาวะปัจจุบัน การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นการนำตัวอย่างดินที่จะปลูกพืชมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพบางประการของดิน ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาประกอบกันเพื่อใช้เป็นหลักในการพิจารณาการใส่ปุ๋ย ใส่ปูน ตลอดจนการปรับปรุงบำรุงดินอื่นๆ อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อไป

ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน กรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ผลการวิเคราะห์ดินจาก 5 รายการ คือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติม คือ ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable bases) ปริมาณความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC by sum) และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล (Effective CEC) ตามลำดับ เป็นค่าที่ต้องนำมาใช้ในการคำนวณอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกดิน ส่วน

ค่าปฏิกิริยาดินหรือความเป็นกรดเป็นด่างของดินเป็นค่าที่ทำการวิเคราะห์แทบทุกครั้งที่ทำ การวิเคราะห์ดิน เพื่อต้องการทราบสภาพความเป็นกรดหรือความเป็นด่างของดินในเบื้องต้น ซึ่งได้ รวบรวมวิธีดังกล่าวไว้ด้วยเพื่อความสะดวกในการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ดินเพื่อใช้ในการจำแนกดิน และประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

บทที่ 2

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์หรือการวิจัย เพื่อประเมินถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หรือสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่สำคัญบางอย่าง เป็นเรื่องที่สำคัญมากที่สุด ทั้งนี้เพราะผลวิเคราะห์ดินจะมีความถูกต้องเชื่อมั่นได้เพียงใด ขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินที่เก็บมา ถ้าเก็บตัวอย่างดินไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ กล่าวคือไม่เป็นตัวแทนที่แท้จริงของดินในพื้นที่นั้น ถึงแม้จะทำการวิเคราะห์ดินละเอียดเพียงใดก็ตาม ผลวิเคราะห์ดินที่ได้ออกมา ก็ไม่สามารถนำมาใช้ประเมินได้ถูกต้อง ทำให้เสียเวลา และสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ การเก็บตัวอย่างดินให้มีปริมาณ และสมบัติทุกประการเหมือนกับดินทั้งหมดในบริเวณนั้น เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะว่าดินมีสมบัติและปริมาณธาตุต่างๆไม่สม่ำเสมออยู่แล้ว ดังนั้น การเก็บตัวอย่างดินจึงต้องทำให้ถูกหลักเกณฑ์ เพื่อว่าตัวอย่างดินที่เก็บมาวิเคราะห์นั้นจะเป็นตัวแทนที่ดีของดินส่วนใหญ่ในพื้นที่นั้นๆให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

การเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืช เพื่อการวิจัย การแนะนำการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยนั้น ตัวเลขที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าถูกต้องเพื่อการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ควรคำนึงถึงความสำคัญต่างๆ ดังนี้

1. ตัวอย่างดินนั้นต้องเป็นตัวแทนที่แท้จริง ซึ่งมีปริมาณธาตุต่าง ๆ และสมบัติเหมือนกับดินบริเวณนั้น
2. จากระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างดินจนถึงขณะที่เตรียมตัวอย่างดิน ต้องไม่มีปฏิกิริยาอันใดเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้สมบัติดินเปลี่ยนไป เช่น ดินเปรี้ยวจัด หรือดินกรดจัด ถ้าดินที่เก็บมามีปริมาณสารไพไรต์ (FeS_2) อยู่ด้วย เมื่อสารไพไรต์ถูกอากาศจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น กลายเป็นสารจาโรไซต์และกรดกำมะถัน ดังนั้น ถ้าดินเป็นดินเปรี้ยวจัด และมีชั้นเลนลึก ซึ่งมีธาตุกำมะถันสูง ถ้าจะเก็บดินชั้นนี้มาวิเคราะห์จำเป็นต้องเก็บวิธีพิเศษ
3. การแบ่งตัวอย่างดินที่จะใช้วิเคราะห์นั้น ต้องแน่ใจว่าจะมีปริมาณและสมบัติเป็นตัวแทนของตัวอย่างเดิม

2.1 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินที่นิยมกระทำกันมีอยู่ 2 ประเภท ประเภทแรกเป็นการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อใช้ตรวจวิเคราะห์ สำหรับประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือเพื่อนำมาใช้แนะนำใช้ปุ๋ยสำหรับพืชที่ต้องการปลูก และประเภทที่สองเป็นการเก็บตัวอย่างดินเพื่อการจำแนกดิน

การเก็บตัวอย่างดินประเภทแรก เป็นการเก็บตัวอย่างดินเฉพาะหน้าดิน ซึ่งนิยมทำกันอยู่ทั่วไป เพื่อนำผลที่ได้ไปพิจารณาว่า ควรใช้วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปุ๋ย หรือปูนชนิดใด และใช้เป็นปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะกับพืชที่จะปลูก

สำหรับการเก็บตัวอย่างดินเพื่อใช้จำแนกดิน ตามปกติจะเก็บจากหลุมที่ขุดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และลึก 2 เมตร การเก็บตัวอย่างดินจะเก็บตามชั้นดิน (soil horizon) ซึ่งได้มาจากการทำคำบรรยายหน้าตัดดินตามระบบการมาตรฐานสากล ตัวอย่างดินที่เก็บแต่ละชั้นจะมี 3 ตัวอย่างเก็บใส่ถุงเพื่อส่งวิเคราะห์ทางเคมี เก็บใส่กล่องให้คงสภาพธรรมชาติเพื่อวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

และเก็บใส่กระบอกให้คงสภาพธรรมชาติเพื่อวิเคราะห์ทางกายภาพ การเก็บตัวอย่างดินประเภทนี้จะเก็บโดยนักสำรวจดิน

2.1.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน

1. สว่านเจาะ (soil auger) เหมาะสำหรับดินแข็ง และดินที่มีความชื้นพอเหมาะ
2. หลอดเจาะ (soil sampling tube) เหมาะสำหรับดินที่ไม่มีกรวดหินเจือปน ดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนมีความชื้นพอประมาณ จนถึงดินที่เปียก
3. กระจกเจาะ (core type auger) เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางฟิสิกส์
4. เครื่องมือสำหรับเจาะ ขุดตัวอย่างดิน อาจจะใช้เครื่องมือที่หาได้ทั่วไปตามบ้านเรือน เช่น พลั่ว จอบ เสียม
5. ภาชนะสำหรับเก็บรวบรวมตัวอย่างดินและบรรจุตัวอย่างดิน ได้แก่ ถังพลาสติก ผ้าพลาสติก ถุงพลาสติก ขวดพลาสติกหรือกล่องกระดาษ

หมายเหตุ เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างดินและบรรจุดินจะต้องสะอาด ไม่มีดิน ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช และวัชพืช หรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ติดอยู่ แม้จะเข้าไปปะปนเพียงเล็กน้อยก็ตาม ทำให้ผลการวิเคราะห์ดินไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน

2.1.2 หลักการเก็บตัวอย่างดินที่ถูกต้อง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ผลวิเคราะห์ดินจะมีความถูกต้องและแม่นยำเพียงใดขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บตัวอย่างดิน ถ้าเก็บตัวอย่างดินไม่ดีและไม่ถูกต้อง แม้ว่าจะทำการวิเคราะห์ละเอียดสักเพียงใดก็ตาม ผลวิเคราะห์ที่ได้ออกมาก็ไม่เป็นที่เชื่อถือได้ ทำให้เสียเวลาและสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์โดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างดินที่ถูกต้องควรคำนึงถึง

(1) เวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดิน เวลาที่จะเก็บตัวอย่างดินอาจทำได้ตลอดปี แต่เวลาที่เหมาะสมที่สุด คือ ในตอนปลายฤดูปลูกหรือภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ทั้งนี้เพราะในระยะนี้ถ้าหากดินขาดธาตุอาหารพืช ก็มักจะแสดงให้เห็นปรากฏ และความชื้นในระยะนี้ก็เหมาะแก่การเก็บตัวอย่างดิน

(2) ความชื้นในดินที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างดิน ไม่ควรเก็บตัวอย่างดินในขณะที่ดินยังเปียกมากหรือมีน้ำขังอยู่ เพราะจะยากแก่การคลุกเคล้าให้เข้ากันได้สนิท ความชื้นที่เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างอาจทำการทดสอบได้โดยเอาดินนั้นขึ้นมาบีบและกำให้แน่น และเมื่อแบมือออก ดินนั้นไม่ติดมือคงจับกันเป็นก้อนและเมื่อบิออกจะร่วน แสดงว่าความชื้นของดินในระยะนี้เหมาะแก่การเก็บตัวอย่างดิน

(3) บริเวณที่เก็บตัวอย่างดิน เป็นส่วนสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงโดยการสังเกต ไม่ควรเก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่เป็นคอกสัตว์เก่า จอมปลวก หรือบริเวณที่มีปุ๋ยตกค้างอยู่ จะทำให้ได้ตัวอย่างดินที่ไม่เป็นตัวแทนที่ดีของพื้นที่ดินแปลงนั้น

2.1.3 ขนาดของแปลงที่จะเก็บตัวอย่างดิน

การกำหนดขนาดของแปลงที่จะเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ ชนิดของดิน การชะล้างพังทลายของดิน ความลาดเทของพื้นที่ การระบายน้ำในดิน หรือการปรับปรุงบำรุงดินที่เคยปฏิบัติไปแล้ว โดยปกติถ้าพื้นที่บริเวณนั้นมีความลาดเทน้อยหรือลักษณะของสภาพพื้นที่มีความสม่ำเสมอ สามารถแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อยๆ แปลงละประมาณ 10-20 ไร่ ถ้าพื้นที่ดินมีความลาดเทมาก ก็จำเป็นต้องแบ่งแปลงให้เล็กลง เพื่อจะได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดีในพื้นที่บริเวณนั้นที่ต้องการวิเคราะห์

ในการที่จะเก็บตัวอย่างดินจากแปลงหนึ่งแปลงใดในขั้นต้นจะต้องตรวจดูความแตกต่างของพื้นที่ดินแปลงนั้นอย่างละเอียดถี่ถ้วนเสียก่อน บางครั้งจำเป็นต้องแบ่งที่ดินเป็นแปลงย่อยๆ ตามลักษณะแตกต่างของที่ดิน เช่น แบ่งเป็นแปลงย่อยที่มีสีดินต่างกัน เช่น ตอนหนึ่งสีอ่อน อีกตอนหนึ่งสีแก่ไปทางดำ หรือดินที่มีความลาดเทต่างกัน หรือการระบายน้ำในดินต่างกัน หรือการปรับปรุงบำรุงดินที่ปฏิบัติไปแล้วแตกต่างกัน เช่น ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ใส่ปุ๋ยหมัก หรือปลูกพืชต่างกันเมื่อแบ่งที่ดินออกเป็นแปลงย่อยๆตามลักษณะที่แตกต่างกันได้แล้ว จึงเก็บตัวอย่างดินแยกในแต่ละแปลง

2.1.4 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

วิธีเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างดินนั้นมีจุดประสงค์ที่จะได้ตัวแทนของดินทั้งหมดในแปลงนั้น ดังนั้น การขุดเจาะ ความลึก และจำนวนหลุมที่เจาะหรือขุดนั้น จะต้องมียุทธศาสตร์ที่แน่นอน เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดี ควรจะทำได้ดังนี้



ภาพที่ 2 การแบ่งแปลงเก็บตัวอย่างดินตามลักษณะความแตกต่างของพื้นที่

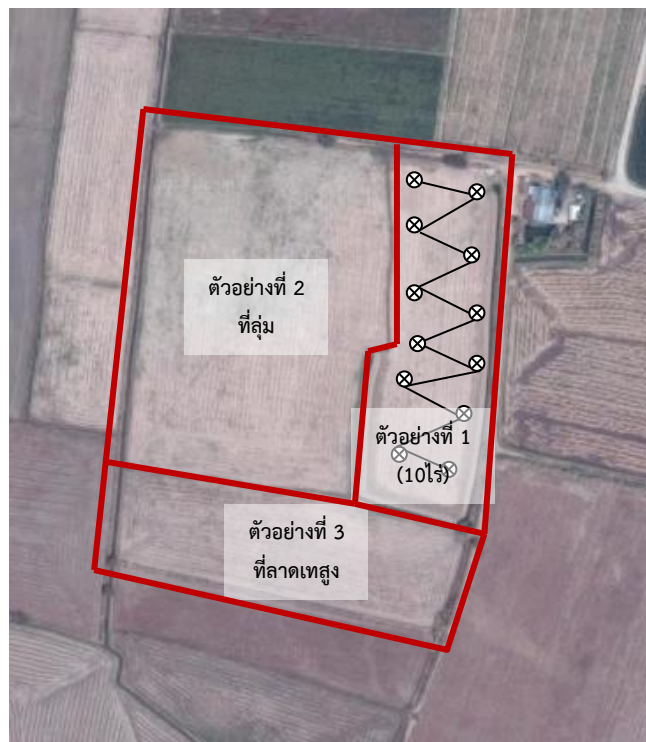
1. ต้องถางหญ้าหรือกวาดเศษพืชและใบไม้คลุมดินอยู่ออกทิ้งเสียก่อน แล้วใช้จอบ เสียม หรือพลั่ว ขุดหลุม เป็นรูปตัว V ลึกประมาณ 15 cm จากผิวดิน แล้วแฉะด้านข้างของหลุมหนา ประมาณ 1.3 - 2.5 cm จากปากหลุมขนานลงไปตามหน้าดินที่ขุดไว้ลึกถึงก้นหลุมแล้วงัดขึ้น หน้าดิน ก็จะติดมาบนพลั่ว จอบ เสียม จากนั้นใช้มีดตัดดินบนพลั่ว จอบ หรือเสียมออกเสีย เอาไว้แต่ดิน ตรงกลางกว้างประมาณ 2.5-5.0 cm ทำดังนี้ทุก ๆ หลุม จะได้ตัวอย่างดินที่ดี แล้วเก็บใส่ไว้ในถังพลาสติก ดังภาพที่ 3

2. ความลึก ความลึกที่จะเจาะเอาตัวอย่างดินในหลุมหนึ่ง ๆ ไม่จำกัดแน่นอน ขึ้นอยู่กับ ความต้องการที่จะศึกษาและชนิดของพืชที่จะปลูก ถ้าเป็นดินที่ใช้ทำไร่ หรือทำนาเจาะลึกประมาณ 15 cm หรือเก็บที่ระดับความลึกของชั้นไทรพรวน แต่ถ้าเก็บดินสำหรับปลูกพืชพวกหญ้าอาหารสัตว์ เก็บลึกเพียง 5 cm ก็พอเนื่องจากเป็นพืชที่ยังรากตื้น (บางสถานที่อาจจะเก็บลึกกว่า ถ้าต้องการ ทราบอิทธิพลของดินล่าง) ส่วนดินสำหรับปลูกไม้ผล หรือไม้ยืนต้นอาจจะเจาะลึกถึง 1 เมตร ทั้งนี้ เพราะไม้ผลและไม้ยืนต้นเป็นพืชที่ยังรากลึก สำหรับระดับความลึกภายใน 1 เมตร ที่จะเก็บอาจ แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 เซนติเมตร แต่ถ้าพบชั้นดินแข็งก็เอาเพียง ระดับชั้นดินแข็ง

3. จำนวนหลุมที่จะเจาะในหนึ่งแปลง ตัวอย่างดินที่จะเป็นตัวแทนที่ดีของดินแปลงที่เก็บ ตัวอย่างนั้น ควรได้จากดินมากหลุม โดยปกติในแปลงขนาดเนื้อที่ 10-20 ไร่ ควรเจาะประมาณ 10-2 หลุม ในที่ต่าง ๆ กัน กระจายทั่วแปลง ในแต่ละหลุมน้ำหนักดินที่เก็บนั้นควรมีน้ำหนักเท่าๆ กัน ดัง ภาพที่ 4



ภาพที่ 3 วิธีการเก็บตัวอย่างดินแต่ละจุด



ภาพที่ 4 จำนวนหลุมที่เจาะเก็บตัวอย่างดินในหนึ่งแปลง

4. เมื่อเก็บดินตามแบบ ข้อ 3. ได้ครบทุกหลุมใส่ถังพลาสติกหมดแล้ว คลุกให้เข้ากัน ถ้าเป็นก้อนโตก็บีให้เป็นก้อนเล็ก ๆ คลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอ กองดินนั้นลงบนผ้าพลาสติก คลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง โดยการยกมุมผ้าพลาสติกขึ้นที่ละมุมสลับกันทำหลาย ๆ ครั้ง แล้วทำกองดินให้เป็นรูปฟาซี แล้วทำเครื่องหมาย + บนยอดกองดินแบ่งดินออกเป็นสี่ส่วน (ภาพที่ 5) ซักออกส่วนหนึ่งเก็บไว้ในถุงพลาสติก หรือกล่อง เพื่อส่งห้องปฏิบัติการต่อไป



ภาพที่ 5 แสดงการแบ่งดินออกเป็นสี่ส่วนและนำหนึ่งส่วนส่งวิเคราะห์

5. บันทึกรายละเอียดเกี่ยวกับตัวอย่างดินของแต่ละตัวอย่างตามแบบฟอร์ม "บันทึกรายละเอียดตัวอย่างดิน" ให้มากที่สุดเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำการจัดการดินให้ถูกต้องที่สุด

รายละเอียดเกี่ยวกับตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์

ชื่อผู้นำส่งตัวอย่าง.....เลขที่บัตรประชาชน.....
 ชื่อผู้เก็บตัวอย่าง.....
 พื้นที่เก็บตัวอย่าง.....เลขที่.....หมู่.....
 ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....
 ชื่อเจ้าของตัวอย่าง.....
 จำนวนเนื้อที่.....พื้นที่ปลูก/ผลผลิตที่ได้.....
 ผลผลิตที่ได้รับหรือเคยได้รับ.....
 ปัญหา/อุปสรรค และอื่นๆ (ถ้ามี).....

2.2 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี

2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) เครื่องบดดิน หรือครกกระเบื้องเคลือบ ลูกกลิ้ง หรือขวด
- (2) ผ้าพลาสติก ขนาดประมาณ 1 เมตร
- (3) ตะแกรงร่อน (ทองเหลือง) ขนาด 2 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร
- (4) ถุงพลาสติกแบบปิดได้ กล่องกระดาษ หรือขวดพลาสติก

2.2.2 วิธีเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์

(1) ผึ่งตัวอย่างดิน โดยเกลี่ยตัวอย่างดินให้กระจายทั่วผืน โดยผึ่งในท้องที่สะอาดไม่มีฝุ่น คลุ้ง หรือปนเปื้อนด้วยปุ๋ย ยาฆ่าแมลง เป็นต้น และเป็นท้องที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก (ภาพที่ 6)

- (2) เลือกเศษพืช และเศษกรวด หิน ออกจากตัวอย่างดิน
- (3) เมื่อตัวอย่างดินแห้ง บดตัวอย่างดินด้วยเครื่องบดดิน หรือครกกระเบื้องเคลือบ หรือลูกกลิ้ง
- (4) ร่อนดินที่ผ่านการบดด้วยตะแกรงร่อน ขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงร่อนในถุงหรือขวดพลาสติก เขียนชื่อตัวอย่างดินเพื่อส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 6 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี

บทที่ 3

วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การวิเคราะห์ดินทางเคมี เพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้น ผลวิเคราะห์ดินจะมีความถูกต้อง เชื่อมั่นได้เพียงใด นอกจากวิธีและขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินที่ต้องปฏิบัติตามหลักวิชาการ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการวิเคราะห์ดินทางเคมี ที่เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่เป็นมาตรฐานสากล และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ได้มาตรฐาน มีความถูกต้อง และความแม่นยำสูง

การวิเคราะห์ดินหรือการตรวจสอบดิน หมายถึง การสกัดตัวอย่างดินทางเคมีเพื่อประเมินความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน โดยมีหลักว่าจะใช้น้ำยาสกัดใดก็ตามสำหรับธาตุหนึ่งๆ หรือหลายธาตุ โดยเชื่อว่าจะช่วยทำให้ธาตุอาหารในดินออกมากับสารละลายที่ใช้สกัดนั้นได้ใกล้เคียงที่สุดกับธาตุอาหารส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจริงในดิน ดังนั้น หากใช้น้ำยาสกัดที่เหมาะสม ปริมาณธาตุอาหารที่สกัดได้จะมี ความสัมพันธ์กันกับปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจริง (plant available nutrients)

ผลการวิเคราะห์ดินที่นำมาใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่วนใหญ่ จะใช้พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์หลัก ๆ ได้แก่

- (1) ปฏิกิริยาดิน (pH)
- (2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter)
- (3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)
- (4) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium)
- (5) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity)
- (6) ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable bases)
- (7) ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable acidity)
- (8) อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable aluminum)

สำหรับวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ จะนำผลวิเคราะห์ไปใช้สำหรับการคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC by sum) และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล (Effective CEC) ที่จะใช้ในการคำนวณค่าร้อยละความอิ่มตัวเบส (% base saturation) เพื่อการจำแนกดินและประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ในบทนี้ จะกล่าวถึงวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน อุปกรณ์และเครื่องมือ สารเคมีและการเตรียมสารละลาย และการคำนวณผลในแต่ละพารามิเตอร์ สำหรับวิธีการแปลผลค่าวิเคราะห์ดิน และวิธีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

3.1 การวิเคราะห์ปฏิกิริยาดิน

ปฏิกิริยาดิน หมายถึง ความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (alkalinity) ของดิน การที่ดินมีสภาพเป็นกรดหรือเป็นด่าง เป็นเพราะ hydrogen ion (H^+) ในสารละลายดิน

การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน นิยมวัดเป็นค่า pH เรียกว่า มาตรฐานพีเอช (pH Scale) ที่บ่งบอกเป็นตัวเลขซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ดังสูตร

$$pH = - \log [H^+]$$

เมื่อ pH = ปฏิกิริยาดิน

log = logarithm ฐาน 10

$[H^+]$ = ความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออน

ถ้าในสารละลายดิน มี $[H^+] > [OH^-]$ ดินจะมีปฏิกิริยาเป็นกรด เรียกดินกรด

$[H^+] = [OH^-]$ ดินจะมีปฏิกิริยาเป็นกลาง เรียกดินเป็นกลาง

$[H^+] < [OH^-]$ ดินจะมีปฏิกิริยาเป็นด่าง เรียกดินด่าง

ค่าพีเอชของดินเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพความเป็นกรดและความเป็นด่างของดิน ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางเคมีและชีวภาพในดิน ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช

วิธีที่นิยมใช้วัดพีเอช (pH) มี 2 วิธี

(1) วิธี Electrometric หรือ Potentiometric เป็นการวัดค่าพีเอช (pH) ของดินโดยใช้เครื่อง pH meter วิธีนี้ใช้หลักการ การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (potential) ที่ขั้ว glass electrode และ reference electrode ที่จุ่มอยู่ในสารละลายดิน โดยที่ศักย์ไฟฟ้าของ glass electrode จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในสารละลาย แต่ความเข้มข้นของ reference electrode จะคงที่ การวัดพีเอชโดยเครื่อง pH meter เหมาะที่จะใช้ในห้องปฏิบัติการ

(2) วิธี Colorimetric เป็นการวัดพีเอชของดินโดยใช้อินดิเคเตอร์ (indicator) วิธีนี้มีหลักการว่า สีของอินดิเคเตอร์ ซึ่งเป็น acid-base indicator จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) อินดิเคเตอร์ที่นิยมทั้งแบบผสมและแบบเดี่ยวๆ ปัจจุบันมีชุดตรวจสอบที่ได้รับความนิยม เช่น ชุดตรวจสอบความเป็นกรดเป็นด่างของภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และชุดตรวจสอบความเป็นกรดเป็นด่างของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีนี้เหมาะที่จะใช้ในภาคสนาม เนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว

ปัจจัยที่มีผลต่อการวัดค่าพีเอชของดินโดยใช้ pH meter

1. อัตราส่วนของดินต่อน้ำ ปริมาณน้ำที่จะต้องใส่ลงไปในดิน เพื่อทำให้เกิด suspension และวัดพีเอชนั้น ถ้าใส่ในปริมาณตั้งแต่ moisture equivalent ถึงอัตราส่วนของดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 พีเอชที่วัดได้จะสูงขึ้นตามปริมาณน้ำที่มากขึ้น และอาจจะสูงกว่า 1 หน่วยพีเอช ซึ่งอัตราส่วนของดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 เป็นที่นิยมใช้และได้รับการยอมรับในห้องปฏิบัติการหลาย ๆ แห่ง ดังนั้นในการวัดพีเอชของดินจะต้องกำหนดหรือระบุอัตราส่วนของดินต่อน้ำ ให้ชัดเจน

2. อิทธิพลของเกลือที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอชของ soil suspension จะลดลงถ้ามีปริมาณเกลือที่ละลายได้เพิ่มขึ้น โดยปกติแล้วพีเอชของดินจะต่ำในฤดูแล้งและมีค่าสูงในฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมเกลือที่ละลายได้ในฤดูแล้ง และเนื่องจากการชะล้างเกิดขึ้นในฤดูฝน ดังนั้น เพื่อที่จะแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงมีผู้ใช้ 1 N KCl วัดพีเอชแทนที่จะใช้น้ำ ต่อมา Schofield และ Taylor (1955) (อ้างโดยจงรักษ์, 2541) ได้แนะนำให้ใช้ 0.01 M CaCl_2 อัตราส่วนดินต่อน้ำยา CaCl_2 เท่ากับ 1:2 ซึ่งมีข้อดีหลายอย่าง คือแก้ปัญหาเกี่ยวกับอัตราส่วนของดินต่อน้ำและอิทธิพลของเกลือได้ นอกจากนี้ยังทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจาก liquid junction potential ลดลงได้ ค่าพีเอชที่วัดได้โดยใช้ 0.01 M CaCl_2 จะต่ำกว่าค่าที่วัดได้โดยใช้น้ำประมาณ 0.5 หน่วยพีเอช

3. อิทธิพลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีผลทำให้พีเอชของดินลดลง แต่อิทธิพลนี้จะมีน้อยมากในดินที่มีพีเอชต่ำกว่า 7.0 ในดินเนื้อปูน (calcareous soil) ค่าพีเอชจะเปลี่ยนไปตามปริมาณ CO_2 ดังนั้นในการวัดพีเอชของดินเนื้อปูน จึงนิยมทำกันหลังจาก equilibrate ดินกับ CO_2 ในบรรยากาศแล้ว

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง pH meter
2. ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50 mL
3. แท่งแก้ว (stirring rod)
4. กระจกบอกรวง (cylinder) ขนาด 10 mL
5. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 L

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4
2. สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7
3. สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 10
4. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เข้มข้น 1 N

ชั่งสารโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 74.56 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 L

5. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เข้มข้น 0.01 M

ชั่งสารแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 1.4703 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 L

3.1.1 วิธีอัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 1 (peeck, 1965)

เป็นการวัดเพื่อต้องการทราบว่าดินมีพีเอชเป็นกรดหรือเป็นด่าง สัดส่วนของดินต่อน้ำจะแตกต่างกัน ตั้งแต่อัตราส่วน 1:1 1:2 1:2.5 1:5 ผู้วัดจะเลือกใช้อัตราใดก็ได้ ซึ่งอัตราส่วนที่ต่างกันจะมีผลต่อค่าพีเอชที่วัดได้ โดยทั่วไปห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มักใช้อัตราส่วน 1:1 หรือ 1:2 สำหรับห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ใช้อัตราส่วน 1 : 1

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 g ใส่ลงในปีกเกอร์ ขนาด 50 mL

2. เติมน้ำกลั่นลงไป 10 mL คนตัวอย่างดินและน้ำให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที
3. ปรับเทียบความเที่ยงตรงของเครื่อง pH meter โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4, pH 7 และ pH 10
4. นำสารละลายดินไปตรวจวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (ควรวัดในขณะที่สารละลายขุ่น)

3.1.2 วิธีอัตราส่วนดินต่อ 1 N KCl เท่ากับ 1 : 1

การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดินในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) (อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1 : 1) จะวัดในกรณีที่ต้องการทราบว่าความเป็นกรดของดินเกิดจากอิทธิพลของอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ในดินหรือไฮโดรเจนไอออน (H^+)

วิธีการ

วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ หัวข้อ 3.1.1 แต่ใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เข้มข้น 1 N แทนน้ำกลั่น

3.1.3 วิธีอัตราส่วนดินต่อ 0.01 M $CaCl_2$ เท่ากับ 1 : 2

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในสารละลาย $CaCl_2$ ในอัตราส่วน 1:2 ใช้ในการจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) ในการแบ่งระดับค่าปฏิกิริยาของดิน (acid-nonacid reaction class) ของดินในอันดับเอ็นทิซอลส์ (Entisols) และอินเซปติซอลส์ (Inceptisols) ดังนี้

1. Acid class ได้แก่ ดินที่มีค่า pH ใน 0.01 M $CaCl_2$ (1:2) น้อยกว่า 5.0 หรือประมาณ 5.5 เมื่อมีค่า pH อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1
2. Non acid class ได้แก่ ดินที่มีค่า pH ใน 0.01 M $CaCl_2$ (1:2) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5.0

สำหรับการวิเคราะห์ค่าพีเอชในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) ใช้ในการจำแนกดินของดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) ในกลุ่มดินที่เป็น amorphous เพราะปฏิกิริยาของสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์กับดินประเภทนี้จะทำให้เกิดการปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออนที่สัมพันธ์กับปริมาณ amorphous ของดินนั้น สาร amorphous ในดินเป็นสารที่เกิดจากกระบวนการสลายตัวของสารพวก pyroclastic ในสภาพที่มีภูมิอากาศแบบชื้น ซึ่งสาร amorphous นี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิด spodic horizon ขึ้นในดินบางกลุ่มในเขตร้อนชื้น

วิธีการ

วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หัวข้อ 3.3.1 แต่ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) 0.01 M แทนน้ำกลั่น

3.1.4 วิธี LDD pH Test Kit

เป็นการวัดพีเอชของดินโดยใช้อินดิเคเตอร์ผสม ครอบคลุมช่วงพีเอชที่เป็นกรด กลาง และด่าง การอ่านค่าพีเอชจากแผ่นเทียบสีมาตรฐานที่มีความแตกต่างกัน 0.5 หน่วยพีเอช (pH 3.0-8.5) ค่าที่ได้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว เหมาะกับการทดสอบดินในภาคสนาม (รัตนชาติ และคณะ, 2557)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ขวดใส่น้ำยา (สวด.05)
- 2) ขวดบรรจุผงเพื่อทำให้เกิดสี (สวด.04)
- 3) ถาดหลุมสำหรับใส่ตัวอย่างดิน
- 4) แผ่นเทียบสีมาตรฐาน
- 5) ซ้อนคนดิน
- 6) กระเป๋าทรงกล่องบรรจุอุปกรณ์



น้ำยาทดสอบ (สวด.05)



ผงทำให้เกิดสี (สวด.04)



ซ้อนตักดินและถาดหลุม



แผ่นเทียบสีมาตรฐาน
และวิธีทดสอบ

ภาพที่ 7 แสดงอุปกรณ์ชุดตรวจสอบภาคสนามความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

วิธีการ

- 1) ใช้ซ้อนตักดินที่สะอาด ตักดินใส่ลงในถาดหลุมประมาณครึ่งหลุม
- 2) หยดน้ำยาทดสอบลงไปบนดินจนดินชุ่มหรืออิมตัวด้วยน้ำ ใช้ซ้อนคนตัวอย่างดินกับน้ำยาให้เข้ากัน (กรณีที่ดินยังไม่อิมตัว ให้หยดน้ำยาทดสอบเพิ่ม)
- 3) ตบผงทำให้เกิดสี (สวด. 04) ลงไปบนดินที่อิมตัวด้วยน้ำ ผงจะดูดซับสีให้เห็นชัดเจนขึ้น
- 4) เปรียบเทียบสีที่ปรากฏบนผงดูดซับสีเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน อ่านค่าพีเอช (pH) ภายใน 3 นาที จากค่าพีเอชที่กำกับไว้ในแผ่นเทียบสีมาตรฐานที่มีสีใกล้เคียงกันมากที่สุด

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุในดินมีธาตุคาร์บอน (carbon) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ธาตุหนึ่ง ดังนั้นการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน สามารถทำได้โดยการใช้สารเคมีทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นกับธาตุคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุนั้น แล้วคำนวณปริมาณคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุจากปริมาณสารเคมีที่ใช้ไป และเมื่อทราบปริมาณคาร์บอนแล้วสามารถนำมาคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยประมาณได้ โดยอาศัยหลักว่า อินทรีย์วัตถุในดินมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก ปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้คูณด้วยค่า 1.724 ก็จะได้ค่าอินทรีย์วัตถุที่ต้องการ

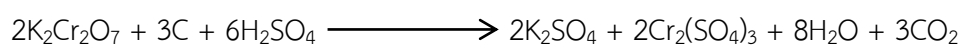
การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีของ Walkley และ Black (1946) เป็นวิธีที่เรียกว่า wet oxidation โดยการ oxidized คาร์บอนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย $K_2Cr_2O_7$ และ H_2SO_4 แล้ววัดปริมาณ $Cr_2O_7^{2-}$ ที่เหลือโดยการไทเทรตกับ reducing agent โดยมีหลักการดังนี้คือ

1. ใช้ oxidizing agent ($K_2Cr_2O_7$) ที่มากเกินไปทำปฏิกิริยากับ reducing agent ที่มีอยู่ในดินจนหมด ซึ่งในที่นี้หมายถึงอินทรีย์คาร์บอน
2. ใช้ reducing agent ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$ หรือ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) ทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือ
3. ทำ blank อีกครั้งโดยไม่รวมดินตัวอย่าง
4. ปริมาณของ $FeSO_4$ ที่ทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ใน blank จะนำมาคำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงของ $FeSO_4$

เนื่องจากปริมาณของ easily oxidizable material ที่วิเคราะห์ได้นั้นเป็นเพียงการวัด reducing power ของดินเท่านั้น ดังนั้นก่อนที่จะเปลี่ยนให้เป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุก็ต้องผ่านสมมติฐานหลายข้อ คือ

(1) ถือว่าไม่มี reducing agent อื่นที่เป็นอินทรีย์วัตถุในดินเลย จะมีแต่อินทรีย์คาร์บอนเท่านั้นที่ถูก oxidized ในการทำปฏิกิริยาดังนี้

(2) ถือว่า equivalent weight ของคาร์บอน ซึ่งถูก oxidized เท่ากับ 3



(3) ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ recovery ของคาร์บอนในดินเท่ากับ 77 % (Combs and Nathan, 1998 : Weil and Magdaff, 2004) ซึ่งค่านี้ได้มาจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี dry combustion ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ 100 % recovery

(4) อินทรีย์วัตถุในดินจะมีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 48-58 % โดยน้ำหนัก การคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน กำหนดให้มีคาร์บอน 58 % ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต เช่น กลูโคส เป็นต้น

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 mL
2. dispenser ขนาด 10 mL และ 50 mL
3. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 mL และ 2 L

4. บิวเรตต์ (digital burette) ขนาด 50 mL
5. เครื่องชั่ง (balance)

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท (potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) เข้มข้น 1 N

ชั่งสารโพแทสเซียมไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) (ที่ผ่านการอบให้น้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ $105^\circ C$) 98.0 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 2 L

2. สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) เข้มข้น 0.5 N สามารถเตรียมได้โดยใช้เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (ferrous ammonium sulphate, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) หรือเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) อย่างใดอย่างหนึ่ง

- 2.1 เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (ferrous ammonium sulphate, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)

ชั่งสารเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 400 g ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 1 L เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. sulfuric acid, H_2SO_4) 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask ขนาด 2 L

- 2.2 เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$)

ชั่งเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 280 g ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 1 L เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. sulfuric acid, H_2SO_4) 40 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask ขนาด 2 L

3. สารละลายออร์โทฟีแนนทโรลีน (O-phenanthroline, $C_{12}H_8N_2$) เข้มข้น 0.025 M ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการไทเทรต

ชั่งเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.7 g และออร์โทฟีแนนทโรลีน ($C_{12}H_8N_2$) 1.48 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask ขนาด 100 mL

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท เข้มข้น 1 N จำนวน 10 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 mL เขย่าเบาๆ ประมาณ 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์
4. เติมน้ำกลั่น ประมาณ 50 mL ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. หยดสารละลายออร์โทฟีแนนทโรลีน อินดิเคเตอร์ จำนวน 5 หยด
6. ไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 N เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จนกระทั่งถึงจุดยุติ สังเกต

จากสีของสารละลายที่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง บันทึกปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท

7. ทำ blank เช่นเดียวกันตามขั้นตอนที่ 2-7 (ไม่มีตัวอย่างดิน)
8. คำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุ

การคำนวณ

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (\%OC)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 1000 \times W}$$

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ (\%OM)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W}$$

$$\text{หรือ } \% \text{ OM} = \% \text{ OC} \times 1.724$$

เมื่อ

B = ปริมาณ FAS* ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (mL)

S = ปริมาณ FAS* ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (mL)

W = น้ำหนักตัวอย่างดินที่ใช้ (g)

N = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ (N)

หมายเหตุ : *กลุ่มวิจัยเคมีดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน ใช้เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$: FAS เป็น reducing agent

: รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชธาตุหนึ่งที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก และจะมีอยู่ในดินต่ำมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเพียงร้อยละ 0.06 เมื่อเทียบกับไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่มีร้อยละ 0.14 และ 0.83 ตามลำดับ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินอยู่ในรูปอนุกรมฟอสเฟต คือ H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} โดยที่รูป H_2PO_4^- จะพบมากในดินกรด ส่วน HPO_4^{2-} พบมากในดินที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 7.2 (Sims, 2000) ซึ่งได้จากการกระบวนการแปรสภาพของอินทรีย์วัตถุ และจากการละลายของสารประกอบฟอสเฟตต่างๆ ในดิน ออกมาอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลกัน เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตในสารละลายดินไปใช้จะทำให้ปริมาณในส่วนนี้ลดลง ฟอสเฟตในส่วนของ soil solid จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อชดเชย ซึ่งอัตราการสลายตัวของฟอสเฟตออกมาอยู่สารละลายดินจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟอสเฟตในดิน

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อต้องการทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน นิยมใช้สารละลายชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นต่างและเป็นกรด ทั้งนี้ขึ้นกับการศึกษาวิจัยกันมาแล้วว่า สารละลายชนิดใดเมื่อสกัดปริมาณฟอสฟอรัสในดินแล้วมีความสัมพันธ์มากที่สุดกับฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดึงดูดไปใช้หรือกับผลผลิตของพืช สารละลายที่ใช้สกัดตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการนี้ใช้วิธีของ Bray II (Bray and Krut, 1945) ซึ่งประกอบด้วย 0.1 N HCl และ 0.03 N NH_4F ซึ่งความเป็นกรดของสารละลายนี้ จะช่วยละลายฟอสเฟตบางส่วนของ soil solid ออกมา และ F^- ในสารละลายสกัดจะช่วยแทนที่ฟอสเฟตไอออนที่ถูกดูดยึดอยู่ที่ผิวของ soil colloid ให้ออกมาอยู่ในรูปที่ละลาย ซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช วิธีนี้สามารถใช้ได้กับดินส่วนใหญ่ของประเทศไทย (Attanandana *et al.*, 2002) แต่สำหรับดินต่างแล้วควรใช้วิธีของ Olsen และคณะ (1954)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer
2. เครื่องเจือจางสารละลายอัตโนมัติ (auto dilutor)
3. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 50 mL
5. หลอดทดลอง (test tube)
6. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 cm
7. ปิเปตต์ (pipette)
8. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 50 และ 1 L
9. ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 2 L
10. ขวด polyethylene หรือ ขวด pyrex สีน้ำตาล
11. คิวเวตต์ (Cuvette)
12. เครื่องเขย่า (shaker)

3.3.1 วิธีน้ำยาสกัด Bray II (0.1 N HCl + 0.03 N NH_4F)

สารละลาย Bray II ประกอบด้วย HCl และ NH_4F เป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด สามารถที่จะสกัดฟอสฟอรัสที่ละลายง่ายในดินกรดออกมาได้ ซึ่งส่วนใหญ่คือ แคลเซียมฟอสเฟต และบางส่วนเป็นอะลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ส่วน NH_4F จะละลายอะลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็ก

ฟอสเฟตออกมา โดยฟลูออไรด์ไอออน (F⁻) จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็กและอะลูมิเนียมในสารละลายที่เป็นกรด ทำให้ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับไว้โดยเหล็กและอะลูมิเนียม ถูกปลดปล่อยออกมา (Jones, 2001) วิธีนี้เหมาะกับดินที่เป็นกรดปานกลาง หรือกรดอ่อน

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายสกัด Bray II [แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride, NH₄F) เข้มข้น 0.03 N กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) เข้มข้น 0.1 M]

ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH₄F) 11.10 g ในน้ำกลั่น 8 L เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) ลงไป 86 mL ปรับปริมาตรให้ได้ 10 L และปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 1.5-1.6

2. Stock solution (Reagent A : สารละลายซัลฟิวริก-โมลิบเดต-ตาร์เตรท (sulfuric-molybdate-tartrate solution)

ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate, (NH₄)₆Mo₇O₂₄•4H₂O) 50 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 L เติมน้ำกลั่น 200 mL คนให้ละลาย ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมตาร์เตรท (antimony potassium tartrate, KSbO•C₄H₄O₆) 1.213 g ในน้ำกลั่น 50 mL (ถ้าไม่ละลายนำไปอุ่นแต่ต้องไม่เกิน 60°C) เมื่อละลายเข้ากันดีแล้ว เทใส่ในบีกเกอร์ที่ใส่แอมโมเนียมโมลิบเดต คนให้เข้ากันอีกครั้ง ค่อยๆเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. sulfuric acid, conc. H₂SO₄) 700 mL ทิ้งไว้ให้เย็น เทลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 L แล้วทำให้มีปริมาตร 1 L ด้วยน้ำกลั่น เทเก็บไว้ในขวด polyethylene หรือ ขวด pyrex สีน้ำตาลและเก็บไว้ในที่มืดและเย็น (สารละลายนี้มีอายุการใช้งานนาน 6 เดือน)

3. Working solution (reagent B : สารละลาย develop สี)

ละลายกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid, C₆H₈O₆) 1.76 g ในน้ำกลั่นประมาณ 1,600 mL เติมสารละลาย ข้อ (2) ลงไป 40 mL ปรับปริมาตรให้ได้ 2 L ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 2 ชั่วโมง จึงนำมาใช้ สารละลายนี้เก็บได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง

4. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (standard phosphorus) เข้มข้น 50 mg L⁻¹

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate, KH₂PO₄) ที่อบให้แห้งที่ 105 - 110°C นาน 2 ชั่วโมง 0.2195 g ในน้ำกลั่น ปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริก 1-2 หยด แล้วทำให้มีปริมาตร 1 L

5. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (working standard) ที่ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 mg L⁻¹

ปิเปตต์สารละลายฟอสฟอรัส เข้มข้น 50 mg L⁻¹ (จากข้อ 4) จำนวน 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 mL ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 50 mL จำนวน 7 ขวด ปรับปริมาตรในแต่ละขวดด้วยสารละลายสกัด

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1.0 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 mL
2. เติมสารละลายสกัด Bray II 10 mL เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง whatmanเบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.0 cm
3. ปิเปตต์สารละลายที่สกัดได้ อัตราส่วน 1 ส่วนต่อ working solution 16 ส่วน (เท่ากับ 17 เท่า โดยใช้เครื่อง auto-dilutor) ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ 30 นาที นำไปอ่านค่าความ

เข้มข้นด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 nm โดยการเทสารละลายตัวอย่างใส่ใน cuvette

4. ทำ blank และชุดของสารละลายมาตรฐาน (working standard) เช่นเดียวกับ

ข้อ 3

การคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{V \times C \times df}{w}$$

เมื่อ

w = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

V = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้สกัด (mL)

C = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน (mg L⁻¹)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

3.3.2 วิธีน้ำยาสกัด Olsen (0.5 M NaHCO₃, pH 8.5)

การสกัดแบบวิธี Olsen เป็นวิธีที่เชื่อว่าเหมาะสมกับดินมีพีเอชสูงที่เป็นส่วนใหญ่ หรือที่มีปริมาณแคลเซียมสูง สารละลายสกัดประกอบด้วย 0.5 M NaHCO₃ pH 8.5 โดยที่ในดิน เนื้อปูน (calcareous) หรือดินด่าง (alkaline) หรือดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลาง ฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในรูป Ca-phosphate สารละลายนี้จะไปลดความเข้มข้นของแคลเซียมในสารละลายดิน โดยทำให้แคลเซียมตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และฟอสเฟตจะถูกปลดปล่อยออกมา

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

(1) น้ำยาสกัด Olsen

ละลายโซเดียม ไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO₃) 42.0 g ในน้ำกลั่น 980 mL ปรับ pH เป็น 8.5 โดยค่อยๆเติม 10 M NaOH (เตรียมโดยละลาย NaOH 40 g ในน้ำกลั่น 100 mL) แล้วปรับให้มีปริมาตร 1 L ไม่ควรเตรียมทิ้งไว้นาน

(2) Stock solution (Reagent A : Sulfuric-molybdate-tartrate solution) (Reid และ Copeland, 1969; Hue และ Evans, 1978)

ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate, [(NH₄)₆Mo₇O₂₄• 4H₂O]) 50 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 L เติมน้ำกลั่น 200 mL คนให้ละลาย ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียม ตาร์เตรท (antimony potassium tartrate, KSbO₄•C₄H₄O₆) 1.213 g ในน้ำกลั่น 50 mL (ถ้าไม่ละลายนำไปอุ่นแต่ต้องไม่เกิน 60°C) เมื่อละลายเข้ากันดีแล้ว เทใส่ในบีกเกอร์ที่ใส่แอมโมเนียมโมลิบเดต คนให้เข้ากันอีกครั้ง ค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H₂SO₄) 700 mL ทิ้งไว้ให้เย็น เทลงในขวด Volumetric flask ขนาด 1 L แล้วทำให้มีปริมาตร 1 L ด้วยน้ำกลั่น เทเก็บไว้ในขวด polyethylene หรือขวด pyrex สีน้ำตาลและเก็บไว้ในที่มืดและเย็น (น้ำยานี้มีอายุการใช้งานนาน 6 เดือน)

(3) กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) 1 M

ละลาย H₂SO₄ 27.3 mL ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 1 L

(4) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 0.1 M

ละลาย 1 M H_2SO_4 100 mL ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 1 L

(5) น้ำยา develop สี (Working solution, Reagent B) (The Auburn University modified Murphy and Riley (1962) ; Watanabe and Olsen, 1965 และ Mehlich,1978)

ละลาย ascorbic acid 1.76 g ในน้ำกลั่นประมาณ 1,600 mL เติมสารละลาย Reagent A ข้อ (2) ลงไป 40 mL และสารละลายข้อ (4) ลงไป 200 mL ทำให้มีปริมาตร 2 L ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 2 ชั่วโมง สารละลายนี้เก็บได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง

(6) สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 $mg L^{-1}$

ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate ; KH_2PO_4 ที่อบให้แห้งที่ $40^\circ C$ นาน 2 ชั่วโมง) 0.2195 g ในน้ำกลั่น ปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟูริก 1-2 หยด แล้วทำให้มีปริมาตร 1 L

(7) นำสารละลายมาตรฐานข้อ (6) ทำ standard set ให้มีความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 $mg L^{-1}$ ด้วยน้ำยาสกัด

วิธีการ

(1) ชั่งตัวอย่างดิน 1.0 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 50 mL

(2) เติมน้ำยาสกัด Olsen 20 mL เขย่า 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง No.5 ขนาด 12.5 ซม

(3) ดูดสารละลายที่สกัดได้ในข้อ (2) อัตราส่วน 1 ส่วนต่อ working solution 16 ส่วน (เท่ากับ 17 เท่า โดยใช้ Auto-dilutor) ลงในหลอดแก้ว ตั้งทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง นำไปอ่านค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 882 นาโนเมตร

(4) ทำ blank และชุดของสารละลายมาตรฐาน (standard set) เช่นเดียวกับข้อ (3)

การคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ } (mg kg^{-1}) = \frac{V \times C \times df}{w}$$

เมื่อ w = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

V = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้สกัด (mL)

C = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน ($mg L^{-1}$)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

โพแทสเซียมในดินจะมาจากการสลายตัวผู้พังของหินและแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ แร่ที่สำคัญได้แก่ พวกโพแทสเซเฟลด์สปาร์ ที่มีแร่ไมโครไคลน์ (microcline) และออร์โทเคลส (orthoclase) กับพวกไมกา ซึ่งมีแร่มีสโคไวต์ (muscovite) และไบโอไทต์ (biotite) โพแทสเซียมในส่วนนี้มีอยู่ในปริมาณมากถึง 90-98 % โพแทสเซียมในดินมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปคือ fixed K, exchangeable K และ soluble K รูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้คือ exchangeable K และ soluble K สำหรับ soluble K นั้น พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายแต่ในดินมีปริมาณน้อยมาก จึงไม่นำมาใช้ในการประเมินปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมในดินในรูปต่างๆ จะอยู่ในสถานะที่สมดุลเสมอ กล่าวคือ เมื่อรากพืชดูด exchangeable K (readily available K) ไปใช้ประโยชน์อยู่เสมอจนมีระดับต่ำมาก โพแทสเซียมในดินที่ถูกตรึงไว้จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่พืชดูดกินได้ (readily available) ซึ่งการปลดปล่อยนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของอนุภาคคอลลอยด์ (soil colloid) และความชื้นของดิน เป็นต้น

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน คือการสกัดตัวอย่างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH₄OAc) 1 N pH 7 (Jackson,1958) โดยแอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺) จะเข้าไปแลกเปลี่ยนกับโพแทสเซียมให้ออกมาอยู่ในสารละลาย ซึ่งโพแทสเซียมในส่วนนี้จะเป็นตัวชี้ที่จะบอกถึงความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Flame photometer
2. เครื่อง pH meter
3. เครื่องเจือจางสารละลายอัตโนมัติ (auto dilutor)
4. เครื่องชั่ง (balance)
5. เครื่องเขย่า (shaker)
6. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 50 mL
7. กระดาษกรอง (filter paper) whatman เบอร์ 5 เส้นผ่าศูนย์กลาง 12.50 cm
8. ปิเปตต์ (pipette) ขนาด 5 , 10 และ 20 mL
9. กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 25 mL และ 100 mL
10. หลอดทดลอง (test tube)
11. ปีกเกอร์ ขนาด 250 mL
12. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 mL และ 1000 mL

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate, NH₄OAc) 1 N pH 7.0
ตวงกรดอะซิติก (glacial acetic acid, CH₃COOH) 57 mL และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide, NH₄OH) 68 mL ด้วยกระบอกตวงใส่ในปีกเกอร์ขนาด 250 mL ที่มีน้ำกลั่น เทสารละลายลงใน volumetric flask ปรับปริมาตรประมาณ 900 mL เขย่าให้ผสมกันนำสารละลายไปปรับพีเอชเท่ากับ 7 ด้วยการใส่กรดอะซิติกหรือต่างแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 L

2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1000 mg L^{-1}

3. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 mg L^{-1}

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (standard potassium) เข้มข้น $1,000 \text{ mg L}^{-1}$ จำนวน 10 mL ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 mL

4. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (working standard) ความเข้มข้น $0, 5, 10, 15$ และ 20 mg L^{-1}

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 mg L^{-1} (จากข้อ 2) จำนวน $0, 5, 10, 15$ และ 20 mL ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 mL จำนวน 5 ขวด ปรับปริมาตรในแต่ละขวดด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 mL

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 2.5 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 mL
2. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทเข้มข้น 1 N จำนวน 25 mL
3. เขย่า 30 นาที ด้วยเครื่องเขย่า
4. กรองสารละลายที่สกัดได้ลงในขวดชมพู่ขนาด 50 mL ด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.50 cm
5. สร้างกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม $0, 5, 10, 15$ และ 20 mg L^{-1} ด้วยเครื่อง Flame photometer
การปรับเทียบเครื่อง Flame photometer ที่ความยาวคลื่น $383 \text{ นาโนเมตร (nm)}$ ด้วยสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 10 mg L^{-1}
6. นำสารละลายที่สกัดได้ใส่หลอดแก้ว (test tube) นำมาวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม (K) ด้วยเครื่อง Flame photometer หากสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นของโพแทสเซียม (K) สูงกว่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมสูงสุด คือ 10 mg L^{-1} ต้องเจือจางสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท เข้มข้น 1 N

การคำนวณ

$$\text{โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{C \times df \times V}{W}$$

เมื่อ

W = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

V = ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทที่ใช้สกัด (mL)

C = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายตัวอย่าง (mg L^{-1})

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

3.5 การวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน หมายถึง ความสามารถในการดูดซับหรือแลกเปลี่ยนธาตุอาหารหรือสารประกอบในดินที่มีไอออนประจุบวก (cation) ซึ่งรากพืชและจุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ โดยจะแสดงในรูปแบบของจำนวนโมเลกุลของไอออนประจุบวกต่อน้ำหนักตัวอย่าง (moles of positive charge per unit mass) โดยมักใช้ในหน่วย cmol kg^{-1} soil (ไพบูลย์, 2546)

CEC มีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินที่มีค่า CEC สูง มักจะเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากดินนั้นมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชไว้ได้มาก และธาตุอาหารพืชเหล่านั้นจะสูญหายไปจากดินได้ยากเพราะว่าดินมีอำนาจในการดูดยึดธาตุอาหารเหล่านั้นไว้ได้สูง โดยทั่วไปดินที่ใช้ในการเกษตรส่วนใหญ่มีค่า CEC อยู่ในพิสัย $3-20 \text{ cmol kg}^{-1}$ (Eash *et al.*, 2008)

สำหรับการวิเคราะห์หาค่า CEC สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ได้อาศัยหลักการทำให้ดินอิ่มตัวด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท ($1 \text{ N NH}_4\text{OAc pH 7}$) (Chapman, 1965) วิธีนี้แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การทำให้ดินอิ่มตัวและชะล้าง (saturation and leaching step) เป็นการทำให้ดินอิ่มตัวด้วย NH_4^+ โดยการแช่ดินด้วย neutral NH_4OAc เพื่อให้ NH_4^+ จากสารละลาย NH_4OAc เข้าไปแทนที่ไอออนประจุบวกของดิน กรองและล้างตัวอย่างด้วยสารละลาย NH_4OAc และตามด้วย NH_4Cl เพื่อให้ NH_4^+ เข้าแทนที่ native cations ต่าง ๆ ในดินจนอิ่มตัวอย่างเต็มที่

ขั้นตอนที่ 2 การล้าง (washing step) เป็นการล้างดินด้วย ethyl alcohol 95 % เพื่อไล่ NH_4^+ ส่วนเกินที่ไม่ได้ถูกดูดยึดไว้ออกจากดินให้หมด

ขั้นตอนที่ 3 การแทนที่ (replacing step) ให้ Na^+ เข้าไปแทนที่ NH_4^+ ในดิน โดยใช้สารละลาย acidified NaCl

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ (analyzing step) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณ NH_4^+ ที่ถูกแทนที่ออกมาจากดิน โดยการกลั่นและไทเทรต

ข้อดีของการใช้น้ำยา $\text{NH}_4\text{OAc } 1 \text{ N pH } 7$

- (1) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินทั่วไป
- (2) น้ำยานี้มีคุณสมบัติที่เป็น buffer อย่างดี ทำให้ pH ของระบบไม่เปลี่ยนแปลง
- (3) การวิเคราะห์ ammonium (NH_4^+) ทำได้ง่าย

ข้อจำกัดของการใช้น้ำยา $\text{NH}_4\text{OAc } 1 \text{ N pH } 7$

(1) ammonium acetate ไล่ที่ adsorbed hydrogen และ aluminum ได้ไม่สมบูรณ์ในกรณีที่ดินมีพวกแร่ดินเหนียวชนิด 1 : 1 เป็นส่วนใหญ่หรือดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง ทำให้ค่า CEC ที่ได้ต่ำกว่าวิธี barium acetate หรือ barium chloride - TEA

(2) ดินที่มีแร่ดินเหนียวพวกเวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) ammonium สามารถที่จะไล่ที่พวก interlayer cation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ออกมาได้ แต่ตอนไล่เอา NH_4^+ ออกมานั้นไม่สามารถที่จะไล่ส่วนที่อยู่ใน interlayer ได้ ทำให้ค่า CEC ที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง แต่ถ้าใช้ sodium acetate Na^+ สามารถจะถูกไล่ที่ออกมาได้ทำให้ CEC ที่วิเคราะห์ได้โดย sodium acetate สูงกว่า ammonium acetate

(3) การใช้ ammonium acetate จะมีปัญหาต่อดินเนื้อปูน (calcareous soils) เพราะ CaCO_3 จะละลายใน ammonium acetate ทำให้การไล่ที่ของ NH_4^+ ไม่สมบูรณ์ วิธีแก้คือใช้ sodium acetate

เพราะ CaCO_3 ละลายได้น้อยมาก ซึ่ง Bower และคณะ (1952) พบว่า CaCO_3 จะไม่มีผลต่อการหาค่า CEC โดยการใช้น้ำ sodium acetate

3.5.1 วิธี 1 N NH_4OAc pH 7

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง pH meter
2. บิวเรตต์ (digital burette) ขนาด 50 mL
3. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 125 mL
5. ขวดกรอง (filtering flask) ขนาด 500 mL
6. ขวดกลั่น (kjeldahl flask) ขนาด 800 mL
7. ขวดพลาสติก ขนาด 10 L และ 20 L
8. กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel)
9. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 cm
10. เครื่องกลั่น (distillation apparatus)
11. เครื่องกวน (magnetic stirrer)

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate, NH_4OAc) 1 N pH 7.0
 ตวงกรดอะซิติก (glacial acetic acid, CH_3COOH) 57 mL และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide, NH_4OH) 68 mL ด้วยกระบอกตวง เทลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ที่มีน้ำกลั่น เทสารละลายลงใน volumetric flask ปรับปริมาตรประมาณ 900 mL เขย่าให้ผสมกันนำสารละลายไปปรับ pH เท่ากับ 7 ด้วยการใช้กรดอะซิติกหรือต่างแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 L

2. สารละลายแอมโมเนียมออกซาลาเลท $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 10 %
 ชั่งแอมโมเนียมออกซาลาเลท $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 10 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 L

3. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 50 %
 ตวงแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 50 mL ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 L

4. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride, NH_4Cl) 1 N pH 7.0
 ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1 Kg ในน้ำกลั่น 18 L ปรับ pH เป็น 7.0 ด้วยสารละลายแอมโมเนีย (NH_3 solution, NH_4OH , 25 %) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 19 L

5. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride, NH_4Cl) 0.25 N pH 7.0
 ตวงสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เข้มข้น 1 N (จากข้อ 2) จำนวน 2.5 L ใส่ในน้ำกลั่น 7 L แล้วปรับ pH เป็น 7.0 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 L

6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 0.1 N
 ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 16.9910 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 L

7. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) เข้มข้น 10 % acidified

ละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 2 kg ในน้ำกลั่น 18 L เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 8.35 mL คนให้ละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 20 L

8. เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol, EtOH) 95 %

9. สารละลายกรดบอริก (boric acid, H_3BO_3) เข้มข้น 3 %

ละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 600 g ในน้ำกลั่นอุณหภูมิประมาณ 50 - 60 °C จนกรดบอริก ละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 20 L

10. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator solution)

ละลายโบรมอครีซอลกรีน (bromocresol green) 0.22 g และเมทิลเรด (methyl red) 0.075 g ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % (EtOH) จำนวน 96 mL ที่ใส่ NaOH เข้มข้น 0.1 M จำนวน 3.5 mL ไว้แล้ว

11. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) เข้มข้น 1 %

ละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) 1 g ในเอทิลแอลกอฮอล์ 100 mL

12. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เข้มข้น 0.1 N

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) จำนวน 82.7 mL เติมน้ำกลั่นแล้วปรับ ปริมาตรเป็น 10 L

13. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) 0.1 N

ละลาย NaOH 4 g ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

14. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 40 %

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 4 kg ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำ กลั่นให้ได้ 10 L

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5-10 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 mL เติมสารละลาย 1 N NH_4OAc จำนวน 50 mL เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน

2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที นำไปกรองด้วยระบบสุญญากาศ

3. ชะละลายดินด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc ครั้งละ 20 mL ประมาณ 5 ครั้ง หรือ จนกระทั่งไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยนำสารละลายส่วนที่ล้างดินแล้วประมาณ 10 mL ใส่ ในหลอดทดลอง หยด 1 N NH_4Cl , 10 % $(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$ และ 50% NH_4OH จำนวนอย่างละ 2-3 หยด นำไปทำให้ร้อนจนเกือบเดือด ถ้ามีแคลเซียมเหลืออยู่จะเกิดตะกอนหรือสารละลายจะขุ่น) สารละลาย หรือ leachate ที่ได้ในขั้นตอนนี้ นำไปวิเคราะห์วิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} และ Mg^{2+}) ตามขั้นตอนและวิธีการที่ 3.6.1

4. ชะละลายดินต่อด้วยสารละลาย 1 N NH_4Cl 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลาย 0.25 N NH_4Cl อีก 1 ครั้ง หลังจากนั้นล้างด้วย 95 % EtOH ประมาณ 150-200 mL จนไม่มีคลอไรด์ เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้ 0.1 N $AgNO_3$ ถ้ามีคลอไรด์เหลืออยู่จะเกิดตะกอนขาวขุ่นของ $AgCl$) สารละลายที่ได้ในขั้นตอนนี้ให้ทิ้งไปที่ห้องปฏิบัติการจัดเตรียมไว้

5. ชะละลายดินต่อด้วยสารละลาย 10 % NaCl เพื่อให้ Na^+ ไล่ที่หรือแทนที่ NH_4^+ ควรทำ อย่างซ้ำๆ จนได้สารละลายประมาณ 225 mL

6. นำสารละลายที่กรองได้ใส่ในขวดกลั่น (Kjeldahl flask) และเติม Pumice stone ลงไปเล็กน้อย

7. นำสารละลายที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่ NH_4^+ ออกมา โดยเติม 40 % NaOH ลงไปในขวดกลั่นให้มากเกินพอ (ประมาณ 30 mL) เพื่อให้สารละลายเป็นด่าง โดยมีสารละลาย 3% H_3BO_3 ประมาณ 30 mL ใส่ในขวดชมพูขนาด 500 mL คอยรองรับสารละลายที่กลั่นออกมาได้ และในสารละลายกรดบอริกนี้ใส่อินดิเคเตอร์ผสมประมาณ 5 หยด ใช้เวลากลั่น ประมาณ 40 - 45 นาที หรือจนกลั่นได้สารละลายประมาณ 250-275 mL

8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในขวดชมพูที่รองรับไปไทเทรตกับสารละลาย 0.1 N HCl จุดยุติคือสีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตแล้วนำมาคำนวณค่า CEC

9. นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 10 % ที่ใช้ล้างดินมากลั่นเป็น Blank โดยทำเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$\text{CEC (cmol kg}^{-1}\text{)} = \frac{(V_T - V_B) \times N \times 100}{W}$$

เมื่อ

V_T = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

V_B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (mL)

W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

N = ความเข้มข้นของ HCl (N)

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

3.5.2 วิธี CEC by sum

ค่า CEC by Sum คือค่าที่ได้จากผลรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้เข้าด้วยกัน ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้เป็นค่าที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc pH 7.0 ตามวิธีการวิเคราะห์ที่ 3.6.1 ส่วนปริมาณกรดที่สกัดได้หรือกรดที่แลกเปลี่ยนได้ จะได้จากการสกัดด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน (BaCl_2 -TEA pH 8.2) ตามวิธีการวิเคราะห์ที่ 3.7 ดังนั้นค่า CEC by sum จึงเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งต้องทราบผลการวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{CEC by Sum} &= \text{ผลรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้} + \text{ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้} \\ &= \text{ผลรวม (Na + K + Ca + Mg) + Exch. acidity} \end{aligned}$$

3.5.3 วิธี Effective CEC (ECEC)

ในดินที่คอลลอยด์ดินส่วนใหญ่เป็นเหล็กออกไซด์และแอลโลเฟน (allophane) หรือดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง การวิเคราะห์ CEC ของดินโดยวิธี $1\text{ N NH}_4\text{OAc pH 7}$ จะได้ค่า CEC สูงเกินความจริง เนื่องจากดินมีประจุลบโดยส่วนใหญ่เป็นประเภท Variable charge หรือ pH dependent charge การวิเคราะห์ CEC โดยการชะดินด้วยเกลือที่เป็นกลาง เช่น KCl หรือ CaCl_2 เป็นสารละลายเกลือที่ไม่เป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชของดินหนึ่งหน่วยพีเอชหรือน้อยกว่า การสกัดดินด้วยวิธีนี้จะเป็นการวัดปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้โดยเฉพาะที่พีเอชของดินนั้น แต่ปัจจุบันยังคงนิยมใช้สารละลายที่เป็นกลาง คือ $1\text{ N NH}_4\text{OAc pH 7.0}$ เป็นน้ำยาสกัดแทนสารละลาย 1 N KCl เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนที่เป็นเบส Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ และ K^+ (USDA, 1995)

Effective CEC คือผลรวมของปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ และ K^+) กับปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งการวิเคราะห์อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้จะทำการสกัดดินด้วยสารละลาย 1 N KCl ซึ่งส่วนใหญ่จะทำการวิเคราะห์ในดินกรดที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 5.5 ถ้าค่าพีเอชมากกว่า 5.5 อะลูมิเนียมจะไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้จะตกตะกอนหมด ในดินที่เป็นกรดค่าพีเอชน้อยกว่า 7.0 ค่า ECEC จะมีค่าน้อยกว่าค่า CEC ที่ได้จากการสกัดจากสารละลาย $1\text{ N NH}_4\text{OAc pH 7.0}$ โดยทั่วไปค่า $\text{CEC by sum} > \text{CEC} > \text{ECEC}$

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ด้วยน้ำยาสกัด 1 N KCl ที่จะนำมาคำนวณค่า ECEC ได้จากวิธีการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.8

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{Effective CEC} &= \text{ผลรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้} + \text{อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้} \\ &= \text{ผลรวม (Na + K + Ca + Mg)} + \text{Exch. Al} \end{aligned}$$

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้

การแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่เป็นเบส หรือเรียกว่า เบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable bases) คือแคตไอออนที่มีสมบัติเป็นเบสที่คอลลอยด์ดินดูดซับไว้และสามารถแทนที่ได้ โดยทั่วไปจะหมายถึงพวก alkaline และ alkaline earth (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} และ Ca^{2+}) ที่เกาะอยู่กับอนุภาคดินเหนียวและส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุ ซึ่งแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนอื่นๆในสารละลายดินได้ ปกติแคตไอออนที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว มีอยู่ 2 ชนิด คือ basic cation และ acidic cation ค่าของแคตไอออนทั้งสองนี้เมื่อรวมกันจะมีค่าเท่ากับค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ส่วนใหญ่ดินที่ใช้ในการเกษตรโดยทั่วไปจะมีปริมาณ Ca^{2+} มากกว่าตัวอื่น ๆ รวมกัน ยกเว้นดินบางแห่งที่มาจากเซอร์เพนไทน์ (serpentine) อาจจะมี Mg^{2+} มากกว่า Ca^{2+} ซึ่งจะพบในดินชั้นล่างที่เป็นกรด การที่ Mg^{2+} มีปริมาณสูงเนื่องจากการละลายออกมาจากรังดินเหนียวภายใต้สภาพที่เป็นกรด โพแทสเซียมมีมากเป็นอันดับสาม ซึ่งจะผันแปรไปตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร ส่วนโซเดียมดินโดยทั่วไปจะมีปริมาณต่ำมาก ยกเว้นดินในบางแห่งที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ เช่น ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินเค็มชายทะเล เป็นต้น

3.6.1 วิธี 1 N NH_4OAc pH 7

วิธีนี้เป็นการสกัดดินด้วยสารละลาย (NH_4OAc) 1 N pH 7 ในอัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด เท่ากับ 1:10 แล้ววิเคราะห์หาปริมาณ Na, K, Ca และ Mg

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
2. เครื่อง Flame Photometer
3. เครื่องเจือจางสารละลาย (dilutor)
4. เครื่อง pH meter
5. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)
6. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 125 mL
7. ขวดกรอง (filtering flask) ขนาด 500 mL
8. ขวดพลาสติกขนาด 20 L
9. กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel)
10. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 cm
11. หลอดแก้ว (test tube)
12. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate, NH_4OAc) 1 N pH 7.0
เตรียมโดยใส่น้ำกลั่นประมาณ 16 L ในขวดพลาสติกขนาด 20 L เติมกรดอะซิติก (glacial acetic acid, 99.5 %) 1,136 mL และสารละลายแอมโมเนีย (NH_3 solution, NH_4OH , 25 %) 1,500 mL แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปให้มีปริมาตรประมาณ 19 L ผสมน้ำยาทั้งสองให้เข้ากัน ปรับ pH ของน้ำยาให้เป็น pH 7.0 โดยใช้สารละลายแอมโมเนียหรือกรดกรดอะซิติก แล้วจึงปรับปริมาตรให้เป็น 20 L ด้วยน้ำกลั่น

2. สารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ (strontium chloride, SrCl₂) 1,500 mg L⁻¹
ละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ (SrCl₂) 4.6 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดแก้ววัดปริมาตร ขนาด 1 L
3. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 1000 mg L⁻¹
4. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 1000 mg L⁻¹
5. สารละลายมาตรฐานโซเดียม 1000 mg L⁻¹
6. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1000 mg L⁻¹
7. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (working standard) เข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg L⁻¹
เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 100 mg L⁻¹ โดย ปิเปตต์สารละลายข้อ (3) มา 10 mL ปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ (SrCl₂) แล้วจึงนำมาเตรียม working standard เข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg L⁻¹ ปรับปริมาตร ด้วยสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ (SrCl₂) ทำกราฟมาตรฐานของแคลเซียมทุกครั้งทีวิเคราะห์
8. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (working standard) เข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5 mg L⁻¹
เตรียมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 100 mg L⁻¹ โดย ปิเปตต์สารละลายข้อ (4) มา 10 mL ปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ (SrCl₂) แล้วจึงนำมาเตรียม working standard เข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5 mg L⁻¹ ปรับปริมาตร ด้วยสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ (SrCl₂) ทำกราฟมาตรฐานของแมกนีเซียมทุกครั้งทีวิเคราะห์
9. สารละลายมาตรฐานโซเดียม (working standard) เข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg L⁻¹
เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียม 100 mg L⁻¹ โดย ปิเปตต์สารละลายข้อ (5) มา 10 mL ปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่น แล้วจึงนำมาเตรียม working standard เข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg L⁻¹ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทำกราฟมาตรฐานของโซเดียมทุกครั้งทีวิเคราะห์
10. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (working standard) เข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg L⁻¹
เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 mg L⁻¹ โดย ปิเปตต์สารละลายข้อ (6) มา 10 mL ปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่น แล้วจึงนำมาเตรียม working standard เข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg L⁻¹ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทำกราฟมาตรฐานของโซเดียมทุกครั้งทีวิเคราะห์

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 mL เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH₄OAc) 1 N pH 7.0 จำนวน 50 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
2. นำสารละลายดินมากรองโดยใช้กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel) ต่อเข้ากับขวดกรองใช้กระดาษกรอง whatman No. 5 ล้างตัวอย่างดินด้วย NH₄OAc 1 N pH 7.0 ทีละน้อย หลายๆ ครั้ง จนได้สารละลายปริมาตรประมาณ 100 mL นำสารละลายที่กรองได้นี้ใส่ volumetric flask แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ exchangeable bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ และ K⁺)
3. การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Ca²⁺ และ Mg²⁺)
นำสารละลายดินที่สกัดได้ วัดปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Ca²⁺ และ Mg²⁺) โดยใช้เครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 422 และ 285 นาโนเมตร (nm) ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้นำมาเทียบกับกราฟมาตรฐานของแคลเซียมและแมกนีเซียม

4. การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Na⁺ และ K⁺)
 นำสารละลายดินที่สกัดได้ด้วยปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exch. Na⁺ และ K⁺) ด้วยเครื่อง Flame photometer ที่ความยาวคลื่น 383 และ 295 นาโนเมตร (nm) ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้นำมาเทียบกับกราฟมาตรฐานของโซเดียมและโพแทสเซียม

การคำนวณ

1) การคำนวณปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้

$$\text{Exchangeable (Ca, Mg)} = \frac{C \times V \times df \times 2}{W \times 10 \times MW} \text{ (cmol kg}^{-1}\text{)}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)
 df = จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลาย
 V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (mL)
 C = ความเข้มข้นแคลเซียมและแมกนีเซียมที่อ่านได้จากเครื่อง AAS (mg L⁻¹)
 MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Ca หรือ Mg

2) การคำนวณปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้

$$\text{Exchangeable (Na, K)} = \frac{C \times V \times df}{W \times 10 \times MW} \text{ (cmol kg}^{-1}\text{)}$$

เมื่อ w = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)
 df = จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลาย (เท่า)
 V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (mL)
 C = ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมที่อ่านได้จากเครื่อง Flame photometer
 MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Na หรือ K

3. การคำนวณปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้

$$\text{Exchangeable bases} = \text{ผลรวม (Na + K + Ca + Mg)} \text{ (cmol kg}^{-1}\text{)}$$

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

3.6.2 วิธี Total exchangeable bases

Total exchangeable bases สามารถที่จะหาได้อย่างง่ายดาย โดยถือว่าปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่ในดินจะเป็น Na, K, Ca และ Mg ดังนั้นถ้าเราเอา leachate ที่ได้จากการชะละลายดินด้วย NH_4OAc เมื่อทำการวิเคราะห์หา CEC มาวิเคราะห์ปริมาณ Na, K, Ca และ Mg เมื่อนำค่าที่ได้มารวมกันก็จะเป็นปริมาณ Total exchangeable bases ได้ ซึ่งการวิเคราะห์ก็ทำเช่นเดียวกันกับวิธีการที่ 3.6.1 ข้อ 3 และ 4 ตามลำดับ

3.6.3 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (% Base Saturation)

อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสของดิน เป็นค่าที่ใช้ในการจำแนกดินและประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในดินที่เป็นกรดที่มีคุณสมบัติเฉพาะค่าความอิ่มตัวเบส (% BS) จะจำเพาะที่ระดับของค่าพีเอช (pH) ในดินนั้น ดินที่มีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำ จะเป็นดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิดเคลโอไลน์ (kaolinite) และพวก hydrous oxide ถ้าดินมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสสูง จะเป็นดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 เช่น มอนต์มอริลโลไนท์ (montmorillonite) เวอร์มิคิวไลท์ (Vermiculite) คลอไรท์ (chlorite) และ ไมกา (mica)

อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ต่อความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือผลรวมของปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณกรดที่สกัดได้ด้วยสารละลาย BaCl_2 ที่ pH 8.2 (เรียกว่า CEC by sum) มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส} = \frac{\text{ผลรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้}}{\text{CEC}} \times 100$$

(% base saturation)

หรือ

$$\text{อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส} = \frac{\text{ผลรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้}}{\text{CEC by sum}} \times 100$$

(% base saturation)

3.7 การวิเคราะห์ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้

ความเป็นกรดของดิน คือการที่ดินมีปริมาณประจุบวกแลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเจนไอออนซึ่งแตกตัวออกมาจากดิน เป็นอนุมูลอิสระในสารละลายดิน ซึ่งเมื่อวัดพีเอชของดินแล้วได้ต่ำกว่า 7 ถ้ามีปริมาณอนุมูลอิสระของไฮโดรเจนมาก ความเป็นกรดของดินจะสูงมากด้วย และค่าพีเอชของดินก็จะต่ำมาก การเกิดกรดในดินมีสาเหตุหลายอย่างด้วยกันคือ

- (1) เกิดจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง H^+ จากกรดคาร์บอนิกกับแคตไอออนที่เป็นเบส (basic cation) แลกเปลี่ยนได้ในกระบวนการพัฒนาที่ดิน
- (2) จากกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ
- (3) จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใส่ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยแอมโมเนียมอย่างไม่ถูกต้อง
- (4) เกิดจากการออกซิเดชันของไพไรต์ (FeS_2) ซึ่งสะสมอยู่ในดินที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเล

การวัดความเป็นกรดของดิน สามารถวัดได้หลายวิธีด้วยกัน และ ยังเรียกชื่อแตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้ง ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchange acidity) ความเป็นกรดที่สกัดได้ (Extractable acidity) และความเป็นกรดทั้งหมด (Total acidity) ซึ่งบางครั้งเป็นวิธีการเดียวกัน ก็ยังเรียกแตกต่างกัน Peech (1965) ได้ใช้คำว่าความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้เนื่องจากเป็นคำที่นิยมใช้กัน อย่างไรก็ตาม คำว่าความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ไม่น่าจะถูกต้องเพราะว่าเป็นการไทเทรตไฮโดรเจนและอลูมิเนียมไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ และความจริงแล้วบางส่วน ความเป็นกรดที่ไทเทรตได้ของดินนั้น เป็นกลุ่มของกรดในส่วนของแรดินเหนียวที่เกาะอย่างหลวมๆ และเป็นกรดที่เกิดจากอินทรีย์วัตถุดังกล่าวข้างต้น ซึ่งไฮโดรเจนไอออนในกลุ่มดังกล่าวไม่สามารถแลกเปลี่ยนกับประจุบวกต่างๆของสารละลายเกลือที่เป็นกลาง (พจนานุกรม และ ชูจิตต์, 2544 : Coleman *et. al.*, 1959 : Pratt, 1996)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- (1) Buchner funnel
- (2) บั้มสุญญากาศ (vacuum pump)
- (3) เครื่องชั่ง (Balance)
- (4) เครื่อง pH meter
- (5) ขวดกรอง (filtering flask)
- (6) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 125 และ 500 mL
- (7) กระจกกรอง เบอร์ 42
- (8) ขวดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 mL
- (9) ปิเปตขนาด 10 , 20 mL
- (10) dispenser ที่ตั้งปรับปริมาตร ตั้งแต่ 1-20 mL
- (11) บิวเรต ขนาด 50 mL

3.7.1 วิธี $BaCl_2$ -TEA pH 8.2 (EA_{BaCl_2})

การวัดความเป็นกรดของดิน คือวิธีวัดความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable) หรือ ความเป็นกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) โดยแบเรียมคลอไรด์ไทเรทานอลามีน ($BaCl_2$ -TEA) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการจำแนกดินของ Soil Survey, United State Department of Agriculture (USDA) เป็นการวัดความเป็นกรดที่ถูกปลดปล่อยจากการสกัดด้วย $BaCl_2$ -TEA สารละลายบัฟเฟอร์

ที่ pH 8.2 ซึ่งวัดความเป็นกรดทั้งหมดที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่ของไฮโดรเจนและ อะลูมินัมจาก permanent และ pH dependent exchange sites กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกาได้ปรับปรุงวิธีการและได้ใช้การวัดความเป็นกรดถาวรที่ pH 8.2 เนื่องจากเป็นพีเอชโดยประมาณที่ดินมี CaCO_3 อิสระสมดุลกับปริมาณของ CO_2 (0.03%) ของบรรยากาศ และที่พีเอชดังกล่าวยังใช้ได้ดีกับพีเอชของการสะเทินที่สมบูรณ์ของสารประกอบ hydroxy-Al ของดินอีกด้วย (USDA, 1995)

สารเคมีและวิธีเตรียมสารละลาย

- (1) สารละลายไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine; TEA) 0.2 N
ตวงไตรเอทานอลามีน 29.8 mL เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L
- (2) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 6 N
ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 mL ค่อยๆเทลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 mL
- (3) สารละลาย 0.5 N แบเรียมคลอไรด์ และ 0.055 N ไตรเอทานอลามีน pH 8.2
ละลายแบเรียมคลอไรด์ ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 1,100 g ในน้ำกลั่น แล้วเติมไตรเอทานอลามีน (triethanolamine) 0.2 N 500 mL และกรดไฮโดรคลอริก 6 N 72 mL เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 18 L เขย่าให้เข้ากัน ปรับ pH ให้ได้ 8.00 ± 0.02 ด้วยไตรเอทานอลามีนหรือกรดไฮโดรคลอริก
- (4) อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)
ละลายโบรมोग्लीซอลกรีน (Bromoglysol green) 0.22 g และเมทิลเรด (Methyl red) 0.075 g ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Ethyl alcohol) 96 mL เติมนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N ลงไป 3.5 mL
- (5) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.02 g ในน้ำให้ได้ปริมาตร 5 mL แล้วทำให้มีปริมาตร 100 mL ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์
- (6) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.2 N
ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 17.5 mL ค่อยๆเทลงในน้ำกลั่นและทำให้มีปริมาตร 1 L
หมายเหตุ : วิธีการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดและเบส แสดงในภาคผนวกที่ 2

วิธีการ

- (1) ชั่งดิน 5-10 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL
- (2) เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน 0.5 N ประมาณ 50 mL ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
- (3) ทำการกรองโดยใช้ Buchner funnel และขวดกรอง ขนาด 500 mL ด้วยระบบสูญญากาศ
- (4) ล้างดินด้วยแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน 2-3 ครั้ง
- (5) เทสารละลายที่กรองได้ใส่ขวดปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน
- (6) เทสารละลายดินใส่ลงในขวดแก้วกันแบนขนาด 500 mL ล้างข้างขวดแก้วข้างในด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย หยดอินดิเคเตอร์ผสมลงไป 4-5 หยด ได้สารละลายสีเขียว

(7) นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.2 N สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูม่วงที่จุดยุติ

(8) ทำ blank เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.2 N ที่ใช้ในการติเตรตกับสารละลายดินและ blank

(9) คำนวณความเป็นกรดของดิน

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นกรดของดิน (cmol kg}^{-1}\text{)} = \frac{(V_B - V_S) N \times 100}{W}$$

เมื่อ

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (N)

V_B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกับblank (mL)

V_S = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

W = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

3.7.2 วิธี 1 N KCl (EA_{KCl})

วิธีวัดความเป็นกรดของดินโดยการสกัดด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ วิธีนี้สามารถวัดได้ทั้งไฮโดรเจน และอะลูมิเนียมแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งค่าที่วัดได้นี้คืออะลูมิเนียมแทนที่ไอออนบวกที่เป็นต่างและมีอยู่ดั้งเดิมในดินซึ่งถูกชะล้างไปจากดิน ดังนั้นจึงทำให้ดินอึดตัวด้วยอะลูมิเนียมมากขึ้น และสามารถคำนวณอะลูมิเนียมที่อึดตัวจากค่าความสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออน คือ ร้อยละของอะลูมิเนียมแลกเปลี่ยนได้ต่อความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ซึ่งค่าความอึดตัวด้วยอะลูมิเนียม (Al-saturation) จะเป็นตัวชี้วัดความรุนแรงของอะลูมิเนียมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชโดยเฉพาะในดินกรดได้ดี ผลผลิตของพืชจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การอึดตัวด้วยอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น (เจริญ และคณะ, 2540)

สารเคมีและวิธีเตรียมสารละลาย

(1) สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 1 N

ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 74.56 g ในน้ำกลั่น แล้วทำให้มีปริมาตร 1 L

(2) สารละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ (KF) 1 N

ละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ 58.1 g ในน้ำกลั่น แล้วทำให้มีปริมาตร 1 L

(3) สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1%

ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 g ในเอธิลแอลกอฮอล์ 100 mL

(4) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2 g ในน้ำกลั่น 500 mL

(5) สารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 N

ตวงกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 8.75 mL ลงในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 1 L

หมายเหตุ : วิธีการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดและต่าง แสดงในภาคผนวกที่ 2

1. ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (EA_{KCl})

วิธีการ

- (1) ชั่งดิน 5-10 g ใส่ในขวด ขนาด 125 mL
- (2) เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 N ประมาณ 50 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้

ค้างคืน

- (3) กรองโดยใช้ Buchner funnel ด้วยระบบสูญญากาศ
- (4) ล้างดินด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 N 3-4 ครั้ง ทำให้มีปริมาตร 100 L ด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์

(5) เติมน้ำลงในขวดแก้วกันแบนขนาด 500 mL ล้างข้างขวดแก้วด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย หยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 4-5 หยด ได้สารละลายไม่มีสี ไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 N ที่จุดยุติได้สีชมพูถาวร

- (6) ทำ blank เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน
- (7) คำนวณความเป็นกรดของดิน ด้วยปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 N ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลายดิน และ blank

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol kg}^{-1}\text{)} = \frac{(V_S - V_B) \times N \times 100}{W}$$

- เมื่อ
- V_S = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ไทเทรตกับสารละลายดิน (mL)
 - V_B = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ไทเทรตกับ blank (mL)
 - N = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน (N)
 - W = น้ำหนักตัวอย่างของดิน (g)

2. ปริมาณอะลูมิเนียมและไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Al^{+3} และ Exch. H^+)

วิธีการ

(1) สารละลายสีชมพู ข้อ 1 (5) หลังจากไทเทรตหาปริมาณความเป็นกรดแลกเปลี่ยนได้ ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน 0.1 N แล้วนำมาหยดกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N 1 หยด ได้สารละลายไม่มีสี

(2) เติมสารละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ 1 N 10 mL ถ้าสารละลายไม่มีสีแสดงว่าไม่มีอะลูมิเนียม

(3) ถ้าสารละลายมีสีชมพู นำไปหาปริมาณอะลูมิเนียมแลกเปลี่ยนได้ โดยไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N ที่ใช้ นำไปคำนวณปริมาณอะลูมิเนียมแลกเปลี่ยนได้ (Exch. Al^{+3})

วิธีคำนวณ Exch. Al^{+3} และ Exch. H^+

$$\text{อะลูมิเนียมแลกเปลี่ยนได้ (cmol kg}^{-1}\text{)} = \frac{C \times N \times 100}{W}$$

ไฮโดรเจนแลกเปลี่ยนได้ (cmol kg^{-1})

$$= \text{ความเป็นกรดแลกที่เปลี่ยนได้ (EA}_{\text{KCl}}) - \text{อลูมิเนียมแลกที่เปลี่ยนได้ (Exch. Al}^{+3})$$

เมื่อ

C = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (mL)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (N)

W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

3.8 การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้

การวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้มีหลายวิธีด้วยกัน แตกต่างกันในสารละลายสกัด ทุกวิธีพยายามที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืชและความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินที่มีพีเอชต่ำ สารละลายสกัดบางชนิดมี ionic strength สูง เช่น สารละลาย 1 N KCl ซึ่งสกัดอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) ทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดจากพื้นผิวของดินเหนียว และอินทรีย์วัตถุโดยโพแทสเซียมเข้าแทนที่อะลูมิเนียมที่ exchange sites วิธีวิเคราะห์อื่นๆ เช่น สารละลายสกัด low ionic strength เช่น 0.01 M CaCl₂ เป็นสารละลายสกัดซึ่งจะสกัดได้เฉพาะบางส่วนของอะลูมิเนียมทั้งหมดที่ดูดซับไว้ที่ผิวของดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุเท่านั้น และเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับชี้บ่งอะลูมิเนียมส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Peever et al., 1999) ดังนั้นจึงเป็นข้อสงสัยว่าอะลูมิเนียม (Al) จะเป็นประโยชน์ต่อพืชหรือไม่ บางประเทศเช่น ประเทศออสเตรเลีย ใช้สารละลายสกัดหลายชนิดแตกต่างกันไปแต่ละพื้นที่ และแต่ละพืชด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตของพืชหรือไม่ (พจนีย์และชูจิตต์, 2544) อย่างไรก็ตามสำหรับวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนี้ใช้วิธีสกัดด้วยสารละลาย 1 N KCl เพื่อนำไปพิจารณาระดับอะลูมิเนียมที่เป็นพิษต่อพืชซึ่งเป็นที่น่าสนใจทั่วไป

วิธีวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้วิธีหนึ่งคือหลังจากสกัดด้วยสารละลายสกัดแล้วไทเทรตหาความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งมีทั้งไฮโดรเจนไอออนและอะลูมิเนียมไอออนด้วยต่างมาตรฐานหลังจากนั้น ไทเทรตอะลูมิเนียมไอออนแล้วหักออก จะได้ปริมาณไฮโดรเจนไอออน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในวิธีการที่ 3.7.2 (2) อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ คือการพัฒนาสีด้วย aluminon (aurintricarboxylic acid) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ Al ได้สารละลายสีแดงเข้ม พีเอชที่จะทำให้เกิดสีเห็นชัดเจนจะอยู่ระหว่าง 3.7-4.0 และควรใส่สารละลายบางชนิดคือ acetate buffer จะช่วยแก้หรือปรับ pH ที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่าง thioglycollic เพื่อแก้ไข สิ่งรบกวน (interference) ที่เกิดจากเหล็กและ gum acacia จะช่วยให้สารละลายอยู่ในสภาพแขวนลอยคงที่ สำหรับการกำจัดไอออนที่รบกวนอื่นๆที่เกิดจากฟอสเฟตและซิลิเกตนั้นต้องทำให้สารละลายซึ่งเป็นกรดนั้นร้อนโดยการต้ม การพัฒนาเป็นสีแดงของ aluminon จะเกิดขึ้นหลังจากทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง และจะคงที่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
3. เครื่องเขย่า (shaker)
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 50 mL
5. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 cm
6. หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 10 mL
7. ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 250 mL
8. ปิเปตต์ (pipette) ขนาด 2 mL และ 10 mL
9. กรวยกรอง (funnel)
10. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 50 mL, 100 mL, 500 mL และ 1 L

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride, KCl) เข้มข้น 1 N
ชั่งสารโพแทสเซียมคลอไรด์ 74.56 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 L
2. สารละลายบัฟเฟอร์ของอลูมินอล (aluminon buffer solution)
ชั่งสารแอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate) 200 g ละลายในน้ำกลั่น 200 mL เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. hydrochloride, HCl) 189 mL เติม ammonium aurin tricarboxylate 0.75 g ที่ละลายน้ำกลั่น 100 mL และเติมสารกัมอะคาเซีย (gum acacia) 15 g ในน้ำกลั่น 10 mL เขย่าให้เข้ากันแล้วกรองของผสมที่ได้ปรับให้ได้ pH 3.5 ด้วย NH₄OH หรือ acetic acid ปรับปริมาตรทั้งหมดให้ได้ 1,500 mL (สารละลาย aluminon buffer solution มีอายุการใช้งานนาน 6 เดือน)
3. สารละลายกรดไทโกลคอลลิก (thioglycollic acid) เข้มข้น 1%
ปิเปตต์ thioglycollic acid จำนวน 1 mL ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 mL
4. สารละลายมาตรฐานอะลูมินัม (standard aluminum solution) เข้มข้น 1000 mg L⁻¹
5. สารละลายมาตรฐานอะลูมินัม (working solution) เข้มข้น 10 mg L⁻¹
ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานอะลูมินัม 500 mg L⁻¹ (จากข้อ 4) จำนวน 10 mL ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 500 mL ปรับปริมาตรในแต่ละขวดด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 mL

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ลงในหลอดทดลอง (test tube) 10 mL
 2. ใส่สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 10 mL ลงไป เขย่า 1 นาที ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง กรองลงใน volumetric flask ขนาด 50 mL ปรับปริมาตรด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์
 3. ปิเปตต์สารละลายที่สกัดได้มา 2 mL ลงใน volumetric flask ขนาด 50 mL
 4. เติม thioglycollic acid 2 mL
 5. เติมสารละลาย aluminon buffer 10 mL
 6. เติมน้ำกลั่น 10 mL
 7. นำไปต้มในหม้อน้ำเดือดที่ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 15 นาที
 8. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL
 9. ปิเปตต์สารละลายมาตรฐาน เข้มข้น 10 mg L⁻¹ จำนวน 0, 1, 2, 3, 4, 5 mL ลงในขวดวัดปริมาตร 50 mL ปรับสีเหมือนวิธีวิเคราะห์ดินในข้อ 4-8 ทิ้งไว้สัก 1-2 ชั่วโมง นำไปวัดสีด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ 530 nm

การคำนวณ

$$\text{Exchangeable Al (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{C \times V_2 \times B}{V_1 \times W}$$

$$\text{Exchangeable Al (cmol kg}^{-1}\text{)} = \frac{C \times V_2 \times B}{10V_1 \times W} \times \frac{3}{MW}$$

เมื่อ

W = น้ำหนักของดิน (g)

B = ปริมาตรสารละลายสกัด (mL)

V₁ = ปริมาตรสารละลายที่ดูมาใช้ (mL)

V₂ = ปริมาตรสารละลายสุดท้ายที่ปรับสีแล้ว (mL)

C = ความเข้มข้นของ Al ที่อ่านได้จากเครื่อง (mg L⁻¹)

MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Al

หมายเหตุ : รายละเอียดวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ 3

บทที่ 4

การแปลผลค่าวิเคราะห์ดิน

โดยหลักการค่าวิเคราะห์ดินจะเป็นค่าที่มีความหมายต่อเมื่อได้มีการเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตพืชแล้ว ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับวิธีการวิเคราะห์ดิน ชนิดพืช ชนิดของน้ำยาสกัดดินและความเข้มข้นที่นำมาใช้ในแต่ละพารามิเตอร์ สิ่งเหล่านี้จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกวิธีการวิเคราะห์ดิน คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์นี้ ได้รวบรวมวิธีการวิเคราะห์ดินที่เป็นวิธีมาตรฐานและได้รับความนิยมน้อยกว่าหลายในห้องปฏิบัติการต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้นในแต่ละวิธีจึงผ่านขั้นตอนการศึกษาทดลองในลักษณะที่กล่าวมาเบื้องต้นแล้วทั้งนั้น มิฉะนั้นจะไม่สามารถประเมินได้ว่าค่าที่ได้เป็นค่าที่อยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง หรือสูง

ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินนั้นมีความสำคัญมากในการนำมาใช้เพื่อการจำแนกดินและการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะสามารถทราบได้ว่าในดินชนิดนั้นๆ มีธาตุอาหารพืชอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาถึงชนิดและอัตราปุ๋ยที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สูงขึ้น นอกจากนี้ผลวิเคราะห์ดินยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงความผิดปกติของดิน เช่น ดินเป็นกรดจัด หรือปัญหาเรื่องของเกลือ ดินขาดธาตุอาหารบางตัว หรือมีธาตุอาหารบางตัวสูงผิดปกติ ในบางกรณีบางดินอาจให้ค่าวิเคราะห์ดินที่แสดงว่ามีธาตุนั้นอยู่ในระดับสูง แต่พืชไม่สามารถที่จะดูดดึงมาใช้ประโยชน์ได้ เป็นต้น ดังนั้นผู้ใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินที่รายงานในรูปของตัวเลขจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้ในการวินิจฉัยตัวเลขในแต่ละค่า จะต้องทราบว่าผลวิเคราะห์ที่ได้มานั้นระดับไหนที่เรียกว่าอยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง หรือสูง ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วผลของการวิเคราะห์ดินจะไม่มีหมายอะไรเลย

ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชในดิน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ และการแปลผลค่าวิเคราะห์ดินว่าอยู่ในระดับความสูง ปานกลาง หรือต่ำ ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นพื้นฐานเพื่อนำไปประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อไป

4.1 ปฏิกริยาดิน (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม อิทธิพลทางตรงคือเมื่อดินเป็นกรดจัดหรือด่างจัดจะเกิดอันตรายต่อรากพืช ทำให้รากไม่สามารถดูดน้ำหรือแร่ธาตุอาหารได้ เป็นเหตุให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตหรือเหี่ยวเฉาตายได้ ส่วนอิทธิพลทางอ้อมคือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะมีผลต่อการการละลายได้ของแร่ธาตุอาหารในดิน หรือทำให้แร่ธาตุอาหารไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อดินเป็นกรดจัด ธาตุฟอสฟอรัสจะถูกตรึงอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดเอาใช้ได้ ในทางกลับกันจะทำให้ธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินจนเป็นพิษต่อพืช แต่ถ้าดินเป็นด่าง ธาตุบางธาตุ เช่น เหล็ก ไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส ก็จะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ยิ่งไปกว่านั้น ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างอินทรีย์วัตถุและการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินให้แก่พืชอีกด้วย

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินหรือพีเอชของดินจะวัดออกมาเป็นหน่วย คือมีค่าเท่ากับ 0 ถึง 14

- ถ้ามีค่าต่ำกว่า 7 แสดงว่าดินเป็นกรด ยิ่งมีค่าต่ำมากก็จะแสดงว่าเป็นกรดมากยิ่งขึ้น
- ถ้ามีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าดินเป็นกลาง
- ถ้ามีค่าสูงกว่า 7 แสดงว่าดินเป็นด่าง ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 14 มากเท่าใด แสดงว่าเป็นด่างมากยิ่งขึ้นเท่านั้น

ค่าพีเอชของดินที่ถือว่าเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงประมาณ 5.6 – 7.3 (ปิยะ, 2556) แต่ถึงกระนั้นก็ตามมีพืชบางชนิดที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีค่าพีเอชนอกเหนือไปจากช่วงดังกล่าวนี้ เช่น ยาสูบ มันเทศ หรือแตงโม สามารถขึ้นได้ดีในดินที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 5 เป็นต้น

การบอกระดับค่าพีเอชของดิน สามารถบอกได้อย่างคร่าวๆ ไม่จำเป็นต้องบอกค่าของพีเอชของดินที่แท้จริงเสมอไป ดังนั้น ค่าของพีเอชได้ที่เราวัดได้ถึงแม้จะผิดพลาดไปนิดหน่อยก็ยังมี ความหมาย ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินผลกระทบของสภาพความเป็นกรดและด่างของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกได้เพียงพอ ฉะนั้นระดับพีเอชของดินบางครั้งนิยมพูดกันเพียงแต่ ว่าเป็นกรดรุนแรง ปานกลาง หรือกรดอ่อน มากกว่าใช้ค่าพีเอชจริงๆ มาพูดกัน อีกประการหนึ่ง ชาวบ้านหรือเกษตรกรมักจะเข้าใจได้ดีกว่าถ้าเราบอกถึงระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินว่าอยู่ในระดับความรุนแรงสักแค่ไหน มากกว่าที่จะบอกเป็นตัวเลขโดดๆ ซึ่งถ้าใครไม่มีความรู้เกี่ยวกับความเป็นกรดเป็นด่างก็จะไม่ทราบเลยว่ามันมีความหมายว่าอย่างไร สำหรับเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้จัดระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน แสดงในตารางที่ 1

ความสำคัญของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ค่าพีเอชของดินเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะช่วยบ่งชี้ถึงคุณภาพของดินต่อการผลิตพืชได้เป็นอย่างดี และค่อนข้างชัดเจนในระดับหนึ่ง เพราะมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินที่มีสภาพเป็นกรดมากๆ พืชจะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินเกี่ยวข้องกับระดับธาตุอาหารในดินที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ความสัมพันธ์หรือผลกระทบทั้งโดยตรงและโดยอ้อมของความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่อสมบัติของ

ดินที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช พอสรุปได้ดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548 ; พจนีย์, 2544 ; ปิยะ, 2556)

ตารางที่ 1 ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินหรือพีเอช (pH) และอิทธิพลต่อพืช

ค่าพีเอช	ระดับ	อิทธิพลต่อพืช
<3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด	ช่วง pH <3.5-5.5 ของดินเป็นระดับ
3.5-4.5	กรดรุนแรงมาก	ความเป็นกรดของดินที่มีปัญหาต่อ
4.6-5.0	กรดจัดมาก	การปลูกพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งความ
5.1-5.5	กรดจัด	เป็นพิษต่อพืชและธาตุบางชนิดในดิน เช่น Fe Mn Al ฯลฯ และการเกิดการ ตรึงฟอสฟอรัสในดินเป็นจำนวนมาก
5.6-6.0	กรดปานกลาง	ช่วง pH 5.6-7.3 ของดิน เป็นระดับที่
6.1-6.5	กรดเล็กน้อย	มีปัญหาต่อพืชน้อยที่สุด หรือเป็นช่วง
6.6-7.3	เป็นกลาง	ที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโต ของพืช
7.4-7.8	ด่างเล็กน้อย	ดินที่มีสมบัติเป็นด่างปานกลางถึงเป็น
7.9-8.4	ด่างปานกลาง	ด่างจัดมาก (pH 7.9->9.0) พืชที่ปลูก
8.5-9.0	ด่างจัด	อาจมีปัญหาเกี่ยวกับการขาดธาตุ
>9.0	ด่างจัดมาก	อาหารพืชหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก แมงกานีส โบรอน ทองแดง และสังกะสี

ที่มา : ปิยะ (2556)

บทบาทของพีเอชต่อความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารพืช

(1) ธาตุอาหารหลัก

ไนโตรเจน ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีววิทยา (biological process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องมีเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ดินเข้ามาเกี่ยวข้องจึงจะเกิดขึ้นได้ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ทำให้ NH_3 หรือ NH_4^+ ถูกออกซิไดส์ไปเป็นไนไตรต์ และไนไตรต์จะถูกออกซิไดส์อีกครั้งหนึ่งให้เป็นไนเตรต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืช เพราะถ้าไนไตรต์สะสมในดินเป็นจำนวนมากก็จะเป็นพิษต่อพืชได้ สภาพความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการนี้อยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ปกติแล้วไม่ควรจะต่ำกว่า 4.5 ถ้าต่ำกว่านี้กระบวนการไนตริฟิเคชันจะหยุดทันที ทั้งนี้เพราะ nitrifying bacteria ค่อนข้างไวต่อสภาพความเป็นกรดเป็นด่างมาก และถ้าค่าพีเอชเกินกว่า 7.5 กระบวนการดังกล่าวก็จะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงหรือหยุดชงักในที่สุด

ฟอสฟอรัส ระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของดินเป็นอย่างมาก เมื่อดินมีค่าพีเอชต่ำมาก คือดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก เหล็กและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมามากจะตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมิเนียมฟอสเฟตที่ละลายยาก พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สภาพความเป็นกรดเป็นด่างหรือพีเอชที่เหมาะสมต่อการละลายของฟอสเฟตที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ อยู่ในช่วงระหว่าง 6-7 ซึ่งฟอสเฟตจะถูกตรึงน้อยที่สุด เมื่อดินมีค่าพีเอชสูงกว่า

นี้ ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะลดลง เนื่องจากฟอสเฟตจะถูกตรึงโดยทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียมและคาร์บอนเนตของธาตุทั้งสอง เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก

โพแทสเซียม ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมจะมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช เช่นเดียวกับธาตุอาหารอื่น ในดินที่เป็นกรดรุนแรงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมจะค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพดังกล่าวโพแทสเซียมจะถูกชะละลายออกจากดินได้ง่าย การใช้ปุ๋ยในดินกรดเพื่อยกระดับพีเอชของดินให้สูงขึ้นจะทำให้โพแทสเซียมถูกชะละลายได้น้อยลง เนื่องจากแคลเซียมไม่ปลดความเป็นกรดของดิน โดย K^+ ไล่ที่ Ca^{2+} ได้ง่ายกว่า H^+ หรือ Al^{3+} ทำให้ตัวมันเองถูกดูดซับอยู่ที่อนุภาคดิน ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกชะละลายไปโดยน้ำจึงน้อยลง อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยมากเกินไปจะทำให้เกิดการขาดโพแทสเซียมในดินได้ เพราะแคลเซียมจากปุ๋ยจะเข้าแทนที่โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้จนโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้เหลืออยู่น้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

(2) ธาตุอาหารรอง

แคลเซียมและแมกนีเซียม ดินที่มีความเป็นกรดอย่างรุนแรงจะมีปริมาณธาตุทั้งสองนี้ต่ำมาก เพราะจะถูกชะละลายออกจากดินได้ง่ายมาก โดยทั่วไปดินจะมีระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อดินมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5.5-8.5 ถ้าต่ำหรือสูงกว่านี้พืชก็อาจแสดงอาการขาดธาตุอาหารทั้งสองให้ปรากฏได้ สำหรับดินที่มีพีเอชสูงกว่า 8.5 มักจะมีระดับแคลเซียมต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากดินซึ่งมีพีเอชระดับนี้แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ ส่วนใหญ่ในดินจะเป็นโซเดียม ถ้าดินมีระดับโซเดียมแลกเปลี่ยนได้มากกว่า 40-50 เปอร์เซ็นต์ แล้วปัญหาที่เกิดขึ้นคือพืชขาดแคลเซียมและแมกนีเซียม แล้วยังเป็นพิษเนื่องจากโซเดียมมากเกินไปอีกด้วย

(3) จุลธาตุอาหาร

เหล็ก ในดินที่มีค่าพีเอชต่ำ ($pH < 5.0$) เหล็กจะละลายได้ง่ายมาก เมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้นปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ก็จะลดลง ดังนั้นในดินที่มีพีเอชสูง เช่น ชุดดินลพบุรี ซึ่งมีค่าพีเอชประมาณ 7.2 พืชที่ปลูกจะแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แต่ส่วนใหญ่ในดินจะมีเหล็กเพียงพอกับการเจริญเติบโตของพืช ถ้าไม่ใช่ดินทรายและดินเนื้อปน

แมงกานีส ละลายได้ง่ายเมื่อดินเป็นกรด ถ้าดินมีแมงกานีสมากอาจเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูกเช่นเดียวกับเหล็ก เมื่อพีเอชของดินสูงขึ้นความสามารถในการละลายได้จะลดลงและจะน้อยมากเมื่อพีเอชใกล้เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ในดินที่มีพีเอช 6.5 ขึ้นไปอาจเกิดปัญหาการขาดแมงกานีส แต่ปกติแล้วถ้าไม่ใช่ดินทรายซึ่งมีปริมาณแมงกานีสต่ำ ปริมาณแมงกานีสจะเพียงพอถึงแม้ว่าพีเอชของดินจะเป็นกลางก็ตาม

ทองแดง ละลายได้ง่ายเมื่อดินเป็นกรดและละลายยากขึ้นเมื่อดินพีเอชเป็นกลางหรือเป็นด่าง ถึงแม้ความเป็นประโยชน์ของทองแดงจะเกี่ยวข้องกักระดับพีเอช แต่ไม่มีผลรุนแรงถ้าดินนั้นมีทองแดงเพียงพอ แต่ถ้าดินมีทองแดงอยู่ในดินน้อย พืชอาจจะขาดทองแดงได้ สำหรับดินอินทรีย์ ข้าวจะแสดงอาการขาดทองแดงอย่างเห็นได้ชัด และมีเมล็ดลีบเป็นจำนวนมาก

สังกะสี ละลายได้ง่ายเมื่อดินเป็นกรดและมีพีเอชต่ำมาก แต่เมื่อพีเอชของดินสูงขึ้นสังกะสีในดินจะละลายน้ำได้น้อยลง พืชดูดกินสังกะสีได้ยากขึ้น แต่เมื่อพีเอชของดินสูงขึ้นมากกว่า 7.0

สังกะสีจะเปลี่ยนสภาพจากไอออนบวกเป็นไอออนลบได้ คือกลายเป็น zincate ion ในกรณีดังกล่าวนี้ ถ้าดินเป็นด่างมีแคลเซียมมาก สังกะสีจะอยู่ในรูปของ calcium zincate ซึ่งละลายน้ำได้ยากพืชเอาไปใช้ประโยชน์ได้ยาก แต่ถ้าดินเป็นด่างมีโซเดียมอยู่มาก สังกะสีจะอยู่ในรูปของ sodium zincate : ซึ่งละลายน้ำได้ง่ายและจะกลับเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายขึ้น

โบรอน เมื่อดินมีสภาพเป็นกลางหรือเป็นด่าง โบรอนจะละลายน้ำได้ยาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเพื่อแก้ไขสภาพความเป็นกรดของดิน จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของโบรอนลดลง และเมื่อมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น พืชดูดกินแคลเซียมแคลเซียมเข้าไปมากจะทำให้พืชมีความต้องการโบรอนมากตามไปด้วย ดังนั้น ในดินที่ใส่ปุ๋ยอาจจำเป็นต้องเพิ่มโบรอนด้วย จึงจะทำให้ธาตุอาหารเกิดความสมดุล

โมลิบดีนัม ละลายน้ำได้ดีเมื่อดินมีค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ดังนั้น เมื่อดินเป็นกรดมีพีเอชต่ำพืชมักจะแสดงอาการขาดโมลิบดีนัม โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว การที่จะให้โมลิบดีนัมเป็นประโยชน์มากที่สุดจำเป็นต้องเพิ่มปุ๋ยเพื่อปรับระดับพีเอชให้เป็นกลางเหมาะกับพืชที่ปลูกด้วย

โดยทั่วไปการละลายได้ของธาตุอาหารพืชจะขึ้นอยู่กับระดับพีเอชเป็นสำคัญ (Hazelton and Murphy, 2007) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ระดับของพีเอชที่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชลดลง

พีเอช (pH)	ธาตุ (elements)
< 5 และพีเอช 8.5 - 9.5	P
< 5.0 และ > 9.0	N
< 5.0	K และ S
< 5.0 และ > 9.0	Ca และ Mg
< 7.5	Fe
< 4.5 และ > 8.0	Mn, Cu และ Zn
< 4.5 และพีเอช 7.5 - 8.5	B
< 5.5	Mo
> 5.5	Al

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hazelton และ Murphy (2007)

นอกจากนี้ระดับของพีเอชของดินยังมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารพืชในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดิน ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อพืชมากหรือน้อยแตกต่างกันดังตารางที่ 3

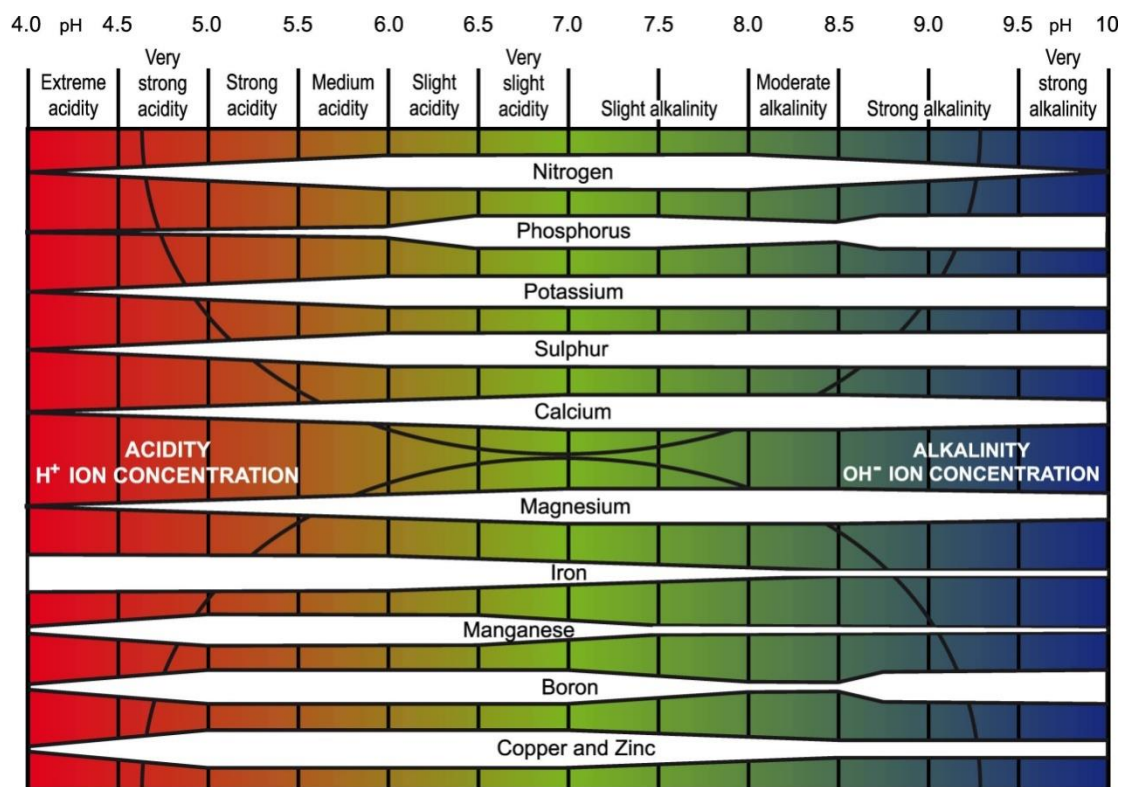
ตารางที่ 3 ระดับพีเอชของดินที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย

pH	ประสิทธิภาพของปุ๋ย (%)			
	N	P	K	เฉลี่ย
7.0	100	100	100	100
6.0	89	52	100	80
5.5	77	48	77	67
5.0	43	34	52	46
4.5	30	23	33	29

ที่มา : สุนทรื (2536)

ดังนั้น การที่จะให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาให้พืชใช้ประโยชน์มากที่สุด จำเป็นที่จะต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของดิน กับระดับของธาตุอาหารพืชในดินที่พืชจะใช้ประโยชน์ได้

ภาพที่ 8



redrawn by PDA from Troug, E. (1946)

ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช (pH) กับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน

(ความกว้างของแถบที่ระดับพีเอชใด แสดงปริมาณในเชิงเปรียบเทียบความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชแต่ละธาตุในดิน ซึ่งมีพีเอชระดับนั้น กล่าวได้ว่าดินที่มีพีเอชในช่วง 6.0-7.0 ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่างๆอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชโดยทั่วไปได้ดีกว่าถ้าพุดถึงปฏิกิริยาดินว่าอยู่ในระดับรุนแรงสักแค่ไหนแทนที่จะบอกเป็นตัวเลขโดดๆ ซึ่งถ้าใครไม่มีความรู้เกี่ยวกับพีเอชของดินก็จะไม่ทราบเลยว่ามันมีความหมายอย่างไร)

บทบาทของพีเอชต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน

จุลินทรีย์ในดินมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพของอินทรีย์วัตถุในดิน ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน การตรึงก๊าซไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่วและอื่นๆ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ในดินส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย (bacteria) และแอคติโนมัยซีสต์ (actinomycetes) จะเจริญได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในระดับเป็นกรดถึงเป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย (pH 6.0-8.0) และถ้าดินมีความเป็นกรดมากกว่านี้ (pH <6.0) จะทำให้กิจกรรมของแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีสต์ในดินลดลงและมีผลในทางลบต่อกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน เช่น กระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากการแปรสภาพของอินทรีย์สารในดิน (mineralization process) และกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว (symbiotic nitrogen fixation process) เป็นต้น

บทบาทของพีเอชของดินต่อการเจริญเติบโตของพืช

ระดับพีเอชของดินนั้น อาจระบุเป็นตัวเลขโดยประมาณไม่จำเป็นต้องบอกค่าพีเอชของดินที่แท้จริงเสมอไป ดังนั้นค่าพีเอชของดินที่วัดได้ถึงแม้ว่าจะผิดพลาดไปเล็กน้อยก็ยังมี ความหมายซึ่งนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการพิจารณาสภาพกรดและด่างของดินได้ ฉะนั้นการบอกปฏิบัติการดินแต่เพียงว่าเป็นกรดจัด ปานกลาง หรือกรดเล็กน้อยก็เพียงพอแล้ว อีกประการหนึ่งเกษตรกรมักจะเข้าใจ

พืชที่ปลูกในดินแต่และชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชที่แตกต่างกัน โดยปกติแล้วพืชส่วนใหญ่ชอบดินที่มีความเป็นกรดเล็กน้อยจนถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) และในดินชนิดเดียวกัน พืชชนิดหนึ่งอาจเจริญเติบโตได้ดี แต่พืชอีกชนิดหนึ่งอาจแสดงอาการขาดธาตุบางธาตุได้ หรือในดินชนิดเดียวกัน พืชต่างชนิดกันอาจแสดงอาการขาดธาตุแตกต่างกันได้ ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าค่าพีเอชของดินสามารถใช้ประเมินสถานะของธาตุอาหารในดินได้อย่างคร่าวๆ

แนวทางการแก้ไข กรณีถ้าดินเป็นกรดจัดและต้องการแก้ไขความเป็นกรดเป็นด่างของดิน วัสดุหรือสารเคมี ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ปูนขาว ปูนโดโลไมท์ ปูนมาร์ลหรือหินปูนฝุ่น ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อดิน และค่าพีเอช

ถ้าดินเป็นด่างหรือมีค่าพีเอชของดินมากกว่า 7 การแก้ไขจะมีอยู่ 2 วิธี คือ ดินเป็นด่างเพราะมีปูนปะปน หรือเป็นดินที่มีปริมาณเกลือมากจนเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก สำหรับดินด่างที่มีสาเหตุมาจากการมีปูนปะปน ส่วนมากจะพบในบริเวณที่มีภูเขาหินปูน ผลของการมีปูนมากเกินไป อาจทำให้พืชตระกูลถั่วขาดธาตุเหล็ก และทำให้ผลผลิตต่ำ โดยเฉพาะถั่วลิสงจะมีปัญหามาก วิธีแก้ไขก็คือ พยายามหลีกเลี่ยงการปลูกพืชตระกูลถั่ว แต่ถ้าต้องการปลูกจริงๆ อาจแก้ไขโดยการให้ธาตุเหล็กทางใบ โดยการใช้น้ำยาเหล็กคีเลทพ่น ส่วนดินด่างที่เป็นพวกดินเค็ม การแก้ไขปัญหามักทำได้ยาก และต้องการการลงทุนสูง ทางที่ดีควรเลือกชนิดของพืชทนเค็มหรือพันธุ์พืชที่ทนเค็มมาปลูก แต่ก็คงใช้ได้ในความเค็มระดับหนึ่ง ถ้าในฤดูแล้งบริเวณพื้นดังกล่าวจะมีคราบเกลือเกิดขึ้นบนผิวดิน การแก้ไข ปัญหาเรื่องความเค็มของดินทำได้ค่อนข้างยาก และอาจไม่คุ้มกับการลงทุน (พิสุทธิ์, 2540)

4.2 อินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter)

อินทรีย์วัตถุในดินประกอบด้วยซากพืช ซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตที่อยู่ระหว่างการสลายตัวระยะต่างๆ ในดิน และสารประกอบอินทรีย์ที่สิ่งมีชีวิตสังเคราะห์ขึ้น รวมทั้งสารประกอบที่มีคาร์บอนอื่นๆ เช่น ถ่านหิน และแกรไฟต์ เป็นต้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินประกอบไปด้วยอินทรีย์แทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ จากการวิเคราะห์สารประกอบส่วนที่เป็นคาร์บอนพบว่าโดยทั่วไปอินทรีย์วัตถุในดินประกอบด้วย (ยงยุทธ, 2546)

- 1) สารประกอบคาร์โบไฮเดรต ประมาณ 10-20 %
- 2) สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดอะมิโน และน้ำตาลอะมิโน (amino sugar) ประมาณ 20 %
- 3) สารประกอบ aliphatic fatty acid , alkane ฯลฯ ประมาณ 10-20 %
- 4) ที่เหลือเป็นสารประกอบพวก aromatic compound

โดยทั่วไป ดินที่มีอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูง ถือว่าเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงและมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช ทั้งนี้เนื่องมาจากอินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทที่สำคัญหลายประการที่พืชต้องการ เช่น การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน และเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้นๆ

บทบาทและความสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

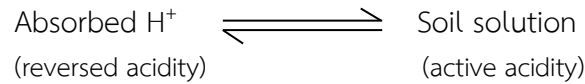
(1) สี อินทรีย์วัตถุในดินมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำ สีที่เข้มขึ้นอาจมีผลทำให้อุณหภูมิของดินโดยรวมสูงขึ้น เนื่องจากดินสีคล้ำดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าดินสีจาง

(2) การดูดซับน้ำและการละลายน้ำ อินทรีย์วัตถุในดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ได้ 6-20 เท่าของน้ำหนัก เนื่องจากมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ อนุภาคมีขนาดเล็ก อีกทั้งมีลักษณะโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำได้มากเป็นพิเศษ การใส่อินทรีย์วัตถุลงในดิน จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินทรายหรือดินเนื้อหยาบ โดยปกติแล้วอินทรีย์วัตถุในดินส่วนใหญ่เป็นพวกที่ไม่ละลายน้ำ มีส่วนที่ละลายน้ำอยู่น้อยมาก ปริมาณที่พบมักจะต่ำกว่าร้อยละ 1 โอกาสที่จะเกิดการสูญเสียโดยการชะละลายของน้ำจึงน้อย เมื่อเทียบกับการสูญเสียไปโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์

(3) สารเชื่อมอนุภาคดิน อินทรีย์วัตถุในดินเป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพสูงในการเกาะยึดหรือรวมตัวกับกับอนุภาคต่างๆในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคดินเหนียวหรือเซลล์ของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี การสร้างสารเชื่อมโดยจุลินทรีย์ทำให้ดินเหนียวเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน เมื่อรวมกลุ่มกันเป็นจำนวนมากทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น สามารถดูดซับน้ำได้มาก อีกทั้งทำให้ดินมีสภาพร่วนซุย ดินมีการซบซึมน้ำ และระบายอากาศได้ดี

(4) ความสามารถในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออน อินทรีย์วัตถุในดินมีความสามารถในการดูดซับไอออนสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ ตั้งแต่ 2-30 เท่า ปริมาณแคตไอออนหรือประจุบวกที่ดินดูดซับไว้ทั้งหมดนั้น เป็นการดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุถึงร้อยละ 30-90 การดูดซับนี้มาจากอินทรีย์วัตถุซึ่งมีประจุลบจำนวนมากที่ส่วนใหญ่เกิดจากการ dissociation ของสารประกอบบางกลุ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่ง carboxylic group และ phenolic group และนอกจากนี้โมเลกุลของอินทรีย์วัตถุในดินยังมีประจุบวกบางส่วน ทำให้สามารถดูดซับแอนไอออนได้ด้วย

(5) ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน อินทรีย์วัตถุในดินมีประจุลบเป็นจำนวนมากและมีความสามารถดูดซับแคตไอออนได้สูง จึงทำให้ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินได้ดี หรือมี buffering capacity สูงขึ้น ดังนี้

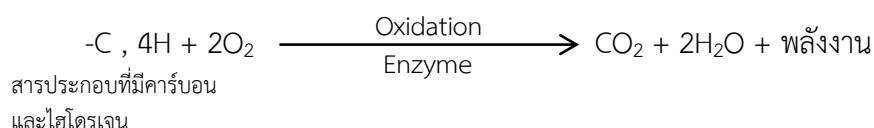


จากปฏิกิริยาสมดุล (equilibrium reaction) นี้ ถ้ามีการเพิ่มสารประกอบที่มีสมบัติเป็นกรดหรือเป็นด่างลงไปดิน ปฏิกิริยาจะเกิดทันทีเพื่อรักษาสมดุลไว้ โอกาสที่กรดหรือด่างจะสะสมอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) จึงมีน้อยมาก และเป็นเหตุให้พีเอชของดินเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าในดินมีอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม

(6) แหล่งอาหารของจุลินทรีย์และธาตุอาหารพืช อินทรีย์วัตถุในดินเป็นแหล่งอาหารหรือแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุด มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยตรง เช่น การตรึงไนโตรเจน กระบวนการ denitrification และการเกิดแก๊สมีเทน (CH₄) เป็นต้น การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์นี้ ทำให้ธาตุองค์ประกอบของสารอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ในการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุยังให้กรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ ที่ช่วยละลายสารประกอบของธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์ต่อพืช และเกิดสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารคีเลต (chelating agent) ซึ่งจะรวมตัวกับไอออนของจุลธาตุที่เป็นโลหะกลายเป็นคีเลตให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออินทรีย์วัตถุเข้าสู่ระบบดิน คือปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีเอนไซม์ (enzyme) เป็นตัวช่วยให้ได้น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานความร้อนออกมา สำหรับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและกำมะถัน จะถูกปลดปล่อยออกมาหรืออาจจะถูกตรึงไว้ โดยกระบวนการเฉพาะของแต่ละธาตุ นอกจากนี้แล้วสารประกอบต่างๆที่คงทนต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นใหม่โดยการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์หรือเกิดขึ้นใหม่จากสารประกอบเดิม ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชเหล่านั้น และปฏิกิริยาแต่ละอย่างจะมีความสำคัญในด้านอาหารพืชด้วย (เอิบ, 2548)

กระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับสารอินทรีย์ต่างๆไม่ว่าจะเป็นกลุ่มใด สามารถจะเขียนแทนได้ด้วยสมการปฏิกิริยารวม โดยสารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ผลที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน



ผลลัพธ์ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ เมื่อเกิดการสลายตัวขึ้นธาตุต่างๆจะเปลี่ยนรูปไปดังนี้

คาร์บอน (C) จะเปลี่ยนเป็น CO₂, CO₃²⁻, HCO₃⁻, CH₄, ธาตุคาร์บอน
ไนโตรเจน (N) จะเปลี่ยนเป็น NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, หรือเป็นก๊าซไนโตรเจน

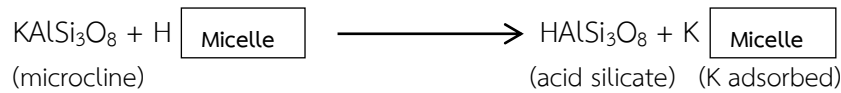
กำมะถัน (S) จะเปลี่ยนเป็น S , H_2S , SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , CS_2

ฟอสฟอรัส (P) จะเปลี่ยนเป็น $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}

ธาตุอื่นๆที่ปลดปล่อยออกมาได้แก่ H_2O , O_2 , H_2 , H^+ , OH^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} และ
 ฯลฯ

ฮิวมัส (humus) เป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เป็นของผสมที่ซับซ้อนและค่อนข้างทนทานต่อการสลายตัว สีนํ้าตาลหรือนํ้าตาลเข้มของสารออสัญฐาน และคอลลอยด์ ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นใหม่โดยจุลินทรีย์ในดิน แม้ว่าฮิวมัสจะเป็นสารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันได้มากในกลุ่มของตัวเอง แต่คุณสมบัติของฮิวมัสแตกต่างอย่างมากจากเนื้อเยื่อที่เป็นวัตถุตั้งเดิม และจากวัสดุที่ไม่ซับซ้อนซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการสังเคราะห์ตัวของฮิวมัสเอง

ฮิวมัสสามารถทำปฏิกิริยากับแร่ เพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช ดังสมการการเกิดปฏิกิริยากับแร่ไมโครไคลน์ ดังนี้



ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุหลายประการที่ทำให้อินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว คือ สภาพดินฟ้าอากาศ เพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนและมรสุม ปริมาณฝนตกชุกทำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ปริมาณอินทรีย์วัตถุจึงลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การทำการเกษตรกรรมที่ขาดการปรับปรุงบำรุงดินและการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างไม่ถูกวิธีเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุอาหารพืชและอินทรีย์วัตถุถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำลำคลอง อีกทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเวลานานโดยไม่มีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดิน การไถพรวนและการเตรียมดินแต่ละครั้งก็เป็นการเร่งให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวได้เร็วขึ้น อินทรีย์วัตถุในดินแม้จะมีอยู่เพียงเล็กน้อย แต่ก็มีอิทธิพลต่อสมบัติของดินอย่างมาก อย่างน้อยครั้งหนึ่งของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินขึ้นอยู่กับอินทรีย์วัตถุ นอกจากนั้นอินทรีย์วัตถุยังเป็นตัวช่วยให้ดินจับตัวเป็นก้อน และให้พลังงานตลอดจนให้ธาตุอาหารในดินแก่พืชอีกด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)

ในตารางรายงานผลวิเคราะห์ดินส่วนใหญ่จะรายงานไว้ในรูปของร้อยละอินทรีย์วัตถุในดิน ถ้ากรณีบางรายงานผลวิเคราะห์ดินยังรายงานในรูปของร้อยละอินทรีย์คาร์บอน (% organic carbon) สามารถคำนวณร้อยละอินทรีย์วัตถุได้โดยใช้ค่า 1.724 คูณร้อยละอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งค่า 1.724 นี้เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณ เพราะจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุจะพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ร้อยละ 58 ดังนั้นในหนึ่งหน่วยของอินทรีย์คาร์บอนจะได้จากปริมาณอินทรีย์วัตถุ $100 \div 58$ เท่ากับ 1.724 การแบ่งระดับสูงต่ำของอินทรีย์วัตถุในดิน แสดงในตารางที่ 4

ปัจจุบันการรายงานผลการวิเคราะห์นิยมเปลี่ยนหน่วยร้อยละให้อยู่ในรูปของหน่วยกรัมต่อกิโลกรัม ($g\ kg^{-1}$) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ SI unit สามารถคำนวณได้โดยการนำค่าร้อยละอินทรีย์วัตถุคูณด้วยสิบ ก็จะได้ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีหน่วยเป็นกรัมต่อกิโลกรัม

$$\text{ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (g kg}^{-1}\text{)} = \text{ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (\%)} \times 10$$

ตารางที่ 4 ระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (% organic carbon \times 1.724)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
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

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

แนวทางในการจัดการดินหลังจากทราบผลวิเคราะห์ดินว่าดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับใดนั้น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินเพื่อรักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดินนั้น ควรพิจารณาชนิดและอัตราของอินทรีย์วัตถุหรือปุ๋ยอินทรีย์ในพื้นที่นั้น ถ้ามีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในปริมาณต่ำ จำเป็นต้องใส่ในปริมาณมากถ้าไม่ใช้ปุ๋ยเคมีร่วม แต่ถ้าใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์หรือเศษวัสดุอินทรีย์สัดส่วนก็จะต้องลดลง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และเคมีให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น

4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากธาตุหนึ่ง ที่มีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโต ความแข็งแรงของพืชทั้งส่วนประกอบของต้นและการแพร่กระจายของราก การออกดอกผลและรวมถึงการสร้างเมล็ด ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณไม่เพียงพอในช่วงใดช่วงหนึ่งของอายุพืช พืชจะแสดงอาการ ซึ่งการแสดงอาการขาดแคลนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สำหรับฟอสฟอรัสในดินสามารถแบ่งออกได้ 2 รูป คือ

1) อินทรีย์ฟอสฟอรัส หมายถึง ฟอสฟอรัสที่อยู่ในส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสในรูปนี้จะเป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่ออินทรีย์วัตถุในดินถูกย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน

2) อนินทรีย์ฟอสฟอรัส หมายถึง ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารประกอบของแคลเซียม (Ca) อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และพวกออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ได้แก่ แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) อะลูมิเนียมฟอสเฟต (Al-P) เหล็กฟอสเฟต (Fe-P) และ occluded-P ซึ่งฟอสเฟตรูปต่างๆเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เพราะในการสกัดฟอสฟอรัสโดยน้ำยาชนิดต่าง ๆ นั้น ส่วนใหญ่จะสกัดอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปต่างๆดังกล่าวออกมา ซึ่งปริมาณที่สกัดได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนั้นๆ และปริมาณที่ละลายได้ของรูปเหล่านั้นในน้ำยาสกัดชนิดต่างๆ

รูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสดังกล่าวจะปรากฏในดินมากน้อยต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบกำเนิดดิน อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน ชนิดและปริมาณของแร่ในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) การจัดการดินและการใช้ปุ๋ยในดินนั้น โดยทั่วไปพบว่าดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดปานกลางหรือกรดอ่อนจะพบเหล็กและแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่ ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลางหรือเป็นด่าง ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ในดินที่เกิดจากถ้ำภูเขาไฟ (volcanic tuff) ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอะลูมิเนียมและเหล็กฟอสเฟต

ฟอสฟอรัสที่พบในพืชเกือบทั้งหมดมาจากดิน ในดินมีฟอสฟอรัสต่ำมาก เมื่อเทียบกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยเฉลี่ยแล้วในดินมีฟอสฟอรัสเพียงร้อยละ 0.05 ในขณะที่มีไนโตรเจนร้อยละ 0.14 และโพแทสเซียมร้อยละ 0.83 (ชัยฤกษ์, 2536) ปริมาณฟอสฟอรัสในดินแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบกำเนิดดิน ความมากน้อยของการชะล้างและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดินเนื้อละเอียดจะมีฟอสฟอรัสมากกว่าดินเนื้อหยาบ ดินที่ถูกใช้มานานหรือถูกชะล้างมากกว่า จะมีฟอสฟอรัสน้อยกว่าดินที่เปิดป่าใหม่ ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดอโทฟอสฟอริก (H_3PO_3) รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจึงมีได้สามแบบขึ้นอยู่กับพีเอช (pH) ของสารละลายดิน เมื่อพีเอชของดินต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มากคือ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชจะดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด ถ้าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.8-7.2 จะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มากซึ่งพืชดูดได้ช้ากว่ารูปแรกมาก และถ้าพีเอชสูงกว่า 8.2 จะอยู่ในรูป PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่พืชจะดูดใช้ได้ยากมาก (ยงยุทธ, 2546)

ปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

(1) ชนิดของสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

ชนิดของสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส มีความสามารถในการละลายหรือการปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตออกมาสู่สารละลายดินได้ต่างกัน แบ่งได้ 3 พวก คือ

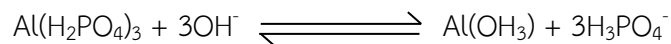
➤ พวกที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เข้ามา คือ ละลายได้น้อยมาก ได้แก่ พวกแร่ apatite ชนิดต่างๆ สารประกอบเชิงซ้อนที่มีอายุมากพวกเหล็กฟอสเฟต แมงกานีสฟอสเฟต และอะลูมิเนียมฟอสเฟต เป็นต้น

➤ พวกที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เข้า คือ ละลายได้น้อย ได้แก่ สารประกอบพวกที่เกิดใหม่พวกเหล็กฟอสเฟต แมงกานีสฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟต และ octa calcium phosphate

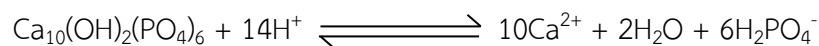
➤ พวกที่พร้อมจะเป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ละลายได้ดี ได้แก่ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ และ CaHPO_4^- เป็นต้น

(2) ปฏิกริยาดิน (pH)

การเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน มีผลต่อการละลายได้ของเหล็ก อะลูมิเนียม และแคลเซียมฟอสเฟต เมื่อดินมีความเป็นกรดหรือพีเอชต่ำ เหล็กและอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟตเกิดเป็นเหล็กฟอสเฟตหรืออะลูมิเนียมฟอสเฟตที่ละลายยาก แต่เมื่อดินมี pH สูง หรือมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น เหล็กฟอสเฟตหรืออะลูมิเนียมฟอสเฟตจะปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตออกสู่สารละลายดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนี้

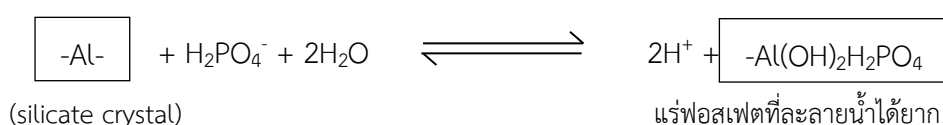


ในทางตรงกันข้าม แคลเซียมฟอสเฟตในดิน ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายยาก สามารถละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่อดินเป็นกรด



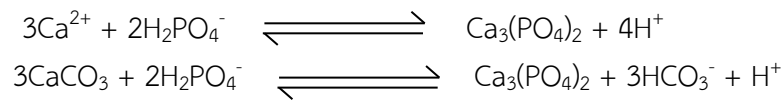
(3) ไอออนเหล็กและอะลูมิเนียมที่ละลายอยู่ในดิน ทั้ง Fe^{2+} , Fe^{3+} และ Al^{3+} สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟตได้ง่ายและรวดเร็วมาก เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดินลดลง เมื่อดินอยู่ในสภาพที่เป็นกรดสารประกอบต่างๆ ของเหล็กและอะลูมิเนียมจะละลายให้แคตไอออน Fe^{2+} , Fe^{3+} และ Al^{3+} มากขึ้น เมื่อดินเป็นกรดมากขึ้น และการละลายของแคตไอออนดังกล่าวจะลดลงเมื่อดินมีพีเอชสูงขึ้น เช่นเดียวกับ hydrous oxides ของเหล็กและอะลูมิเนียม สามารถจะดูดซับไอออนฟอสเฟตไว้ได้มากในสภาพที่ดินเป็นกรด ดังนั้น ดินยิ่งเป็นกรดมากเท่าไร การตรึงฟอสเฟตจะยิ่งมากขึ้นจึงทำให้ไอออนฟอสเฟตในสารละลายดินลดลง ความเป็นประโยชน์ต่อพืชก็ลดน้อยลงด้วย

(4) แร่ดินเหนียวซิลิเกต แร่ดินเหนียวพวกเคโอลิไนท์ มอนต์มอริลโลไนท์ และอิลไลท์ สามารถจะตรึงฟอสเฟตได้ โดยที่แร่ประเภทนี้จะทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟตโดยกระบวนการ surface reaction คือไอออนฟอสเฟตเข้าแทนที่ hydroxyl group ที่อยู่รอบๆผิวผลึกของแร่ดินเหนียวซิลิเกต จากนั้นไอออนฟอสเฟตนี้จะทำปฏิกิริยากับอะตอมของอะลูมิเนียมหรือเหล็กที่อยู่ในโครงสร้างของแร่ซิลิเกต ไอออนฟอสเฟตจึงกลายเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียว ดังสมการ

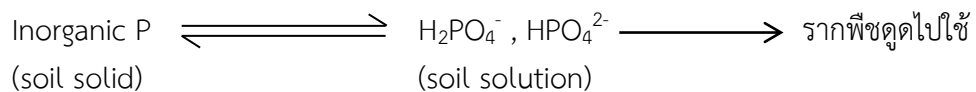


(5) แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต ในดินที่มีพีเอชสูง เช่น ดินเนื้อปูน (calcareous soil) จะมี CaCO_3 และ MgCO_3 สะสมอยู่ ไอออนฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยาได้ดีและรวดเร็วกับ Ca^{2+}

และ Mg^{2+} เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมหรือแมกนีเซียมฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยาก และพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังสมการ



ส่วนใหญ่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินจะอยู่ในรูปอนุกรมฟอสเฟต 2 รูป คือ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) เมื่อรากพืชดูดดึงเอาส่วนของฟอสเฟตไอออนในสารละลายดินไปใช้ ก็จะทำให้ปริมาณฟอสเฟตไอออนในสารละลายดินลดลงและทำให้เสียสภาพสมดุลไป ดังนั้น ส่วนของฟอสเฟตไอออนเดิมที่อยู่ในรูปของ soil solid ก็จะละลายออกมาแทนที่ เพื่อชดเชยส่วนที่รากพืชดูดใช้และเพื่อรักษาระดับความสมดุลเดิมให้คงอยู่ต่อไปการที่ฟอสเฟตจาก soil solid จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปไอออนเพื่อชดเชยได้เร็วหรือช้าแค่ไหน จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟอสเฟตในดิน ซึ่งจะมีอัตราการสลายตัวออกมาอยู่ในสารละลายดินได้ง่ายและยากแตกต่างกันออกไป สมดุลของฟอสฟอรัสในดินสามารถแสดงได้ดังนี้



การประเมินปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินว่าจะเพียงพอต่อพืชที่ปลูกหรือไม่ จะต้องประเมินส่วนที่ยังคงอยู่ในรูปของ soil solid ที่สามารถจะปลดปล่อยออกมาได้ง่าย การวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ มักใช้วิธีการสกัดดินด้วยน้ำยาชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นกรดและเป็นด่าง ขึ้นอยู่กับว่าได้ทำการศึกษาทดลองว่าน้ำยาชนิดใดจะสกัดฟอสฟอรัสในดินออกมาแล้วมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดกับส่วนที่เป็นประโยชน์จริงๆ ที่พืชดูดดึงขึ้นมาใช้ ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ นิยมใช้วิธีของ Bray II สำหรับดินกรด และวิธีของ Olsen สำหรับดินเนื้อปูน และดินที่เป็นด่าง

ในตารางผลการวิเคราะห์ดินจะรายงานเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ($mg\ kg^{-1}$) หมายความว่าในดินหนึ่งกิโลกรัมจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่กี่มิลลิกรัม ค่านี้จะทำให้ทราบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในสารละลายดินมีอยู่มากน้อยเพียงใด จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาใช้ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและพืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ดังกล่าวมาแล้วในข้างต้น การแบ่งระดับความสูงต่ำของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (mg kg^{-1})

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
ต่ำมาก	<3
ต่ำ	3-10
ปานกลาง	11-15
สูง	16-45
สูงมาก	>45

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ถ้าพบว่าอยู่ในระดับต่ำจนถึงต่ำมาก จำเป็นจะต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับพืชที่ปลูก ซึ่งจะใส่จำนวนมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์พืช เนื้อดิน และลักษณะสภาพแวดล้อมอื่นๆประกอบด้วย ในการจัดการธาตุฟอสฟอรัสในดิน เพื่อให้พืชใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดทั้งจากส่วนของฟอสฟอรัสที่มีอยู่เดิมในดินและที่ใส่ลงไปในรูปแบบของปุ๋ย ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษเนื่องจากดินโดยทั่วไปจะเกิดการตรึงฟอสฟอรัสได้เป็นปริมาณมาก ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมให้มีการตรึงฟอสฟอรัสดังกล่าวให้น้อยที่สุด เพื่อให้พืชใช้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งมีแนวทางพอสรุปได้ดังนี้

1. รักษาหรือปรับระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินให้อยู่ในพิสัย 6 - 7
2. รักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดินให้สูงอยู่เสมอโดยใช้ในรูปแบบปุ๋ยอินทรีย์ หรือไกลบเศษซากพืชคลุมลงในดิน
3. การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปแบบปุ๋ยเคมีลงไปให้ลดพื้นที่การสัมผัสระหว่างปุ๋ยกับดินให้มากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับรูปแบบการให้ปุ๋ย เช่น ใช้วิธีโรยเป็นแถวขนานกับแถวของพืชที่ปลูก เป็นต้น

เหนียวหรืออิฐมวล กลายเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งยังเป็นประโยชน์ต่อพืชและบางส่วนจะถูกตรึงอยู่ในซอก หลืบของแร่ดินเหนียวบางชนิด เช่น อิลไลต์และเวอร์มิวไลต์ ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอออนในสารละลายดินที่สูงมากหลังการใส่ปุ๋ยเคมีจะค่อยๆ ลดลง แต่โดยรวมการใส่ปุ๋ยเคมีจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินสูงขึ้น (ยงยุทธ, 2558)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตรึงโพแทสเซียมในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

(1) ชนิดของคอลลอยด์ต่างๆ ดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 type clay จะตรึงโพแทสเซียมได้น้อยกว่าดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 type clay

(2) การใช้ปูน ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมถูกชะละลายน้อยลง ทั้งนี้เพราะแคลเซียมจากปูนจะไปลดความเป็นกรดของดิน ดินจะอึดตัวด้วยแคลเซียม ซึ่งโพแทสเซียมไอออน (K^+) สามารถไล่ที่แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ได้ง่ายกว่าไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรืออะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) และตัวมันเองถูกดูดซับอยู่ที่อนุภาคดิน จึงทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกชะละลายโดยน้ำก็น้อยลง ทั้งนี้การใส่ปูนมากเกินไปจะทำให้เกิดการขาดโพแทสเซียมในดินได้

(3) อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นระดับของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) จะสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อการปลดปล่อยและการตรึงโพแทสเซียม

(4) การเปียกและแห้งของดิน การทำให้ดินเปียกและแห้งสลับกัน (alternate wetting and drying) จะช่วยเร่งให้มีการปลดปล่อยหรือตรึงโพแทสเซียมมากขึ้นกว่าการทำให้ดินแห้งเพียงครั้งเดียว ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมต่อพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าขณะทำให้ดินแห้งเปลี่ยนเป็นดินเปียกดินนั้นมีการตรึงหรือปลดปล่อยโพแทสเซียม ถ้าดินอยู่ในสภาพที่ปลดปล่อยโพแทสเซียม การทำให้ดินเปียกเปลี่ยนเป็นดินแห้งจะทำให้การปลดปล่อยโพแทสเซียมเกิดมากขึ้น

การประเมินระดับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินโดยการวิเคราะห์ดินทางเคมีนั้น อาศัยหลักการที่ว่า โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่ คือ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) การวิเคราะห์จึงเน้นหนักไปในการสกัดโดยอาศัยปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุ (cation exchange) ระหว่างประจুবวกในน้ำยาสกัด ซึ่งทำหน้าที่เป็น replacing cation กับ adsorbed K ที่พื้นผิวของคอลลอยด์ดิน น้ำยาสกัดที่ใช้กันมีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น NH_4OAc หรือ HCl ที่เจือจาง เป็นต้น การใช้กรดสกัดเป็นการสกัดอย่างรุนแรง อาจมีผลทำให้โพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์กับพืชอย่างช้าๆ (slowly available K) ถูกปลดปล่อยออกมาด้วย ซึ่งสำหรับบางดินอาจให้ผลที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น แต่ในบางดินอาจให้ผลมากกว่าความเป็นจริง ดังนั้นห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จึงนิยมสกัดด้วยสารละลาย NH_4OAc pH 7.0

ในตารางผลการวิเคราะห์ดินจะรายงานเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ($mg\ kg^{-1}$) หมายความว่าในดินหนึ่งกิโลกรัมจะมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ที่มิลลิกรัม ค่านี้จะทำให้ทราบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในสารละลายดินมีอยู่มากน้อยเพียงใด จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาใช้ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ดังกล่าวมาแล้วในข้างต้น การแบ่งระดับความสูงต่ำของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ระดับปริมาณโพแทสเซียมในดิน (mg kg⁻¹)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
ต่ำมาก	<30
ต่ำ	30-60
ปานกลาง	60-90
สูง	91-120
สูงมาก	>120

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส ถ้าผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน อยู่ในระดับต่ำมากจนถึงต่ำ จำเป็นจะต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้กับพืชที่ปลูก ซึ่งจะใส่จำนวนเล็กน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์พืช เนื้อดิน และลักษณะสภาพแวดล้อมอื่นๆ ประกอบด้วย โดยทั่วไปดินที่มีเนื้อดินละเอียด ค่อนข้างเป็นดินเหนียวมักจะมีปริมาณโพแทสเซียมเพียงพอต่อความต้องการของพืชที่ปลูก แต่การละลายไม่ป้องกันหรือมีการจัดการดินที่ดีแล้วก็อาจทำให้ดินนั้นขาดโพแทสเซียมได้ในอนาคต การปรับปรุงบำรุงดินอย่างถูกวิธี เช่น การไม่เคลื่อนย้ายหรือเผาตอซังที่เป็นเศษเหลือของพืชก็จะช่วยรักษาระดับของโพแทสเซียมในดินเอาไว้ได้ไม่ให้เกิดต่ำลงอย่างรวดเร็วเกินไป หรือกรณีที่ต้องใช้ปุ๋ยจะใช้ในปริมาณเล็กน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดพืช เพราะพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้การใช้ปุ๋ยมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.5 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity)

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity : CEC) หมายถึงผลรวมของแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งดินหรือดินเหนียวหรือวัสดุใดๆ ดูดซับไว้ได้ที่พีเอชที่เฉพาะเจาะจง โดยทั่วไปวิเคราะห์ที่พีเอช 7 หรือพีเอช 8 มีหน่วยเป็นเซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัมของดินหรือวัสดุใดๆ (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมบัญญัติวิทยาศาสตร์, 2551) ความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวกที่พื้นผิวคอลลอยด์ดิน เป็นสมบัติทางเคมีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของดินที่มีความสำคัญมาก ปกติคอลลอยด์ดินจะมีทั้งประจุบวกและประจุลบ แต่โดยทั่วไปจะมีประจุลบ ซึ่งประจุลบนี้จะดูดซับประจุบวกหรือแคตไอออน โดยแคตไอออนที่ถูกดูดซับจะสามารถแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนที่อยู่ใกล้เคียง เช่น ในสารละลายดินหรือที่ดูดซับที่ผิวของคอลลอยด์ดินที่ใกล้เคียงได้ แคตไอออนที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดินที่พบเสมอคือ Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ รวมทั้ง Al^{3+} และ Fe^{3+} ซึ่งมักพบในดินกรด

ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนของดิน ความจริงเกิดทั้งประจุบวกและประจุลบ เป็นปฏิกิริยาผันกลับ (reversible reaction) ที่เกิดขึ้นระหว่างไอออนจากส่วนที่เป็นของแข็ง (solid phase) ได้แก่ส่วนที่เป็นแร่ดินเหนียว ซึ่งหมายถึงไอออนของธาตุส่วนที่อยู่ที่อนุภาคดินเหนียวและบางส่วนของอินทรีย์วัตถุกับไอออนบางส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน นอกจากนั้นปฏิกิริยาดังกล่าวยังอาจเกิดขึ้นระหว่างไอออนของธาตุในส่วนที่อยู่ในอนุภาคดินเหนียวกับรากพืช ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนทั้งประจุบวกและประจุลบเป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญมากที่เกิดขึ้นในดิน เพราะผลจากการเกิดปฏิกิริยาทำให้มีการปลดปล่อยไอออนของธาตุที่สำคัญ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ เป็นต้น ทำให้พืชสามารถใช้ไอออนของธาตุเหล่านี้ในการสร้างการเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ปฏิกิริยานี้ยังมีบทบาทสำคัญในการทำให้ดินมีความเป็นกรดมากหรือน้อย จึงเป็นสมบัติทางเคมีของดินที่มีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยตรง แต่ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้รับความสนใจมากกว่าการแลกเปลี่ยนของประจุลบ เพราะเหตุที่ปริมาณของประจุบวกมีมากกว่าประจุลบและหลายชนิดเป็นชนิดที่พืชต้องการเป็นส่วนใหญ่ และบางชนิดมีผลต่อสมบัติทางเคมีอื่นๆของดิน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารคอลลอยด์ต่างๆในดิน เช่น ฮิวมัส และแร่ดินเหนียว (clay mineral) ชนิดต่างๆที่มีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้มากน้อยแตกต่างกัน รวมทั้งปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยทั่วไปดินที่มีเนื้อละเอียดกว่าหรือดินที่มีเนื้อดินและแร่ดินเหนียวเหมือนกัน ทั้งชนิดและปริมาณ แต่มีปริมาณฮิวมัสหรืออินทรีย์วัตถุในดินมากกว่า จะมีสมบัติในการดูดซับธาตุไอออนประจุบวกได้ดีกว่าดินที่มีเนื้อหยาบกว่าหรือมีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่า เช่น ดินทรายเนื้อหยาบ หรือดินเนื้อหยาบที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ สมบัติที่สำคัญเกี่ยวกับ CEC ของดิน ก็คือ ดินที่มี CEC สูง จะเป็นดินที่มีความสามารถในการดูดซับธาตุไอออนประจุบวกได้มากกว่าดินที่มีค่า CEC ต่ำ โอกาสที่จะเกิดการสูญเสียโดยการชะละลายน้อยกว่า และเป็นประโยชน์ต่อพืชได้นานกว่าดินที่มี CEC ต่ำกว่า

วิธีวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินมีหลายวิธี แต่ละวิธีก็จะให้ค่าแตกต่างกันไป ดังนั้นในการรายงานผลวิเคราะห์จึงจำเป็นที่จะต้องระบุวิธีวิเคราะห์ไว้ด้วยเสมอ เพื่อให้ทราบค่าที่นำมาใช้ในการประเมินหรือแปลผลการวิเคราะห์ดินว่ามาจากวิธีการวิเคราะห์ใด เพราะแต่ละวิธีจะให้ค่าไม่เท่ากัน วิธีที่นิยมใช้ ได้แก่

- (1) วิธีแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 1 N pH 7 คือใช้ NH_4^+ ไปแทนที่ประจุบวกต่างๆที่

ถูกดูดซับอยู่ที่ clay micelle ของดิน แล้วจึงหาปริมาณ NH_4^+ ทั้งหมดโดยการกลั่น หลังจากถูกแทนที่โดย Na^+ จาก NaCl วิธีนี้เป็นวิธีที่แทนที่โดยตรง และเป็นวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจำแนกดิน

(2) CEC by Sum เป็นค่าที่ได้จากการรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดกับปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable acidity) ที่สกัดด้วยสารละลาย 1 N BaCl_2 pH 8.2 วิธีนี้ใช้ในการจำแนกดิน

(3) Effective CEC เป็นค่าที่ได้จากการรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดกับปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) ที่สกัดด้วยสารละลาย 1 N KCl เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการหา CEC เพื่อการปรับปรุงดินอีกวิธีหนึ่ง

ค่าของ CEC ที่ได้จากทั้งสามวิธีนี้ ค่า CEC by Sum จะให้ค่าสูงกว่า CEC วิธี 1 N NH_4OAc pH 7 และสูงกว่า Effective CEC ทั้งนี้เนื่องจาก Ba^{2+} ใน BaCl_2 สามารถแทนที่ประจุบวกได้อย่างสมบูรณ์มากกว่า NH_4^+ และ K^+ ใน NH_4OAc และ KCl ตามลำดับ และ CEC ที่ได้จากน้ำยาสกัด 1 N NH_4OAc pH 7 ค่าจะสูงกว่า Effective CEC เนื่องจาก CEC นี้ได้จากประจุบวกถาวรที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถที่ดินจะดูดซับหรือยึดแคตไอออน และแลกเปลี่ยนไอออนเหล่านี้ได้ โดยปฏิกิริยาทางเคมี จะมีความสำคัญมากในการศึกษาทางด้านธาตุ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน และทางด้านการกำเนิดดิน ค่านี้จึงใช้ในการประเมินความสามารถของดินที่จะเก็บกักแคตไอออน หรืออัตราการความรุนแรงของการผูกอยู่กับที่และกิจกรรมทางเคมีอื่น ดังนั้นในด้านการสำรวจและจำแนกดินจึงใช้ค่า CEC ในการประเมินลักษณะดินดังนี้ (เอิบ, 2548)

1) ใช้เป็นเครื่องวินิจฉัยชนิดของแร่ดินเหนียวในดิน ถ้าวิเคราะห์ดินโดยใช้สารละลาย NH_4OAc ที่ pH 7.0 โดยประมาณความสัมพันธ์ของช่วงความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินกับชนิดของแร่ดินเหนียว

CEC (cmol kg^{-1})	แร่ดินเหนียว
3-15	เคโอลิไนต์
80-150	กลุ่มสเมกไทต์ รวมมอนต์มอริลโลไนต์
20-40	อิลไลต์
100-150	เวอร์มิคิวไลต์
10-40	คลอไรต์

2) ใช้ในการวินิจฉัยความรุนแรงสัมพันธ์ของการผูกอยู่กับที่ คือถ้าค่าของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ มักจะมีการผูกอยู่กับที่รุนแรง และจะไม่มีแร่ปฐมภูมิที่สลายตัวง่ายหลงเหลืออยู่

3) ใช้ในการวินิจฉัยความสำคัญของธาตุอาหารพืช ถ้าดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง แสดงว่ามีความจุในการที่จะกักเก็บธาตุอาหารพืชสูง

4) ใช้วินิจฉัยเกี่ยวกับความสามารถทางวิศวกรรมของดิน คือถ้าดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง มากกว่า 10-25 cmol kg^{-1} จะมีแรมอนต์มอริลโลไนต์มาก และจะมีการยึดและหดตัวสูง

5) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส ซึ่งใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

นอกจากนี้เมื่อต้องการทราบค่า CEC ของอนุภาคดินเหนียว หรือ CEC (clay) นิยมใช้การวิเคราะห์ค่า CEC ของดินทั้งหมด (whole soil) มากกว่าที่จะวิเคราะห์ CEC ของอนุภาคดินเหนียว (clay) โดยตรง เพราะความยุ่งยากและวิธีการที่ซับซ้อน เมื่อทราบค่า CEC ของดินทั้งหมดแล้ว หากต้องการทราบค่า CEC ต่อเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว ที่มีในดินนั้นๆ ก็ใช้วิธีการคำนวณเทียบจากเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว ซึ่งค่า CEC ต่อเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว จะนำมาใช้ในการจำแนกดิน ซึ่งถ้าค่า CEC (clay) ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 16 cmol kg^{-1} ดินเหนียวนั้นเป็นดินเหนียวชนิดที่มีกิจกรรมต่ำ (low activity clay soil) ถ้าเป็นค่า ECEC (clay) จะมีค่าน้อยกว่า 12 cmol kg^{-1} และเนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ ความแม่นยำของการคำนวณจะมีมากขึ้นถ้าดินมีเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียวสูงกว่าร้อยละ 35 (นวลศรี และคณะ, 2544) สูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\text{CEC (clay)} = \frac{\text{CEC}}{\% \text{ clay}} \times 100$$

และ

$$\text{ECEC (clay)} = \frac{\text{ECEC}}{\% \text{ clay}} \times 100$$

ปัจจุบันในตารางผลการวิเคราะห์ดินจะรายงานในรูปของเซนติโมลต่อกิโลกรัม (cmol kg^{-1}) หน่วยเดิมที่ใช้คือ มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม ($\text{me}/100 \text{ g}$) หมายความว่าในดินมีความจุที่สามารถดูดซับธาตุที่มีประจุบวกไว้ได้มากที่สุดเป็นจำนวนเท่าใด โดยวัดปริมาณเป็นเซนติโมลต่อน้ำหนักดินแห้งหนึ่งกิโลกรัม ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินนอกจากเกี่ยวข้องกับชนิดและปริมาณของอนุภาคดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความอุดมสมบูรณ์ดิน ดังที่กล่าวมาแล้ว ยังบอกให้ทราบถึงระดับความมากน้อยในการสลายตัวของหินและแร่ในดินด้วยเช่นกัน การแบ่งระดับความสูงต่ำของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระดับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน (cmol kg^{-1})

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
ต่ำมาก	<3.0
ต่ำ	3.0-5.0
ค่อนข้างต่ำ	5.0-10.0
ปานกลาง	10.0-15.0
ค่อนข้างสูง	15.0-20.0
สูง	20.0-30.0
สูงมาก	>30.0

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

สัดส่วนความผันแปรของปริมาณแคตไอออนของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล (effective CEC) มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าระดับที่แท้จริง (Hazelton and Murphy, 2007) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สัดส่วนของค่า ECEC (%) ต่อปริมาณแคตไอออน

แคตไอออน (cation)	ECEC (%)
แคลเซียม (Ca)	65-80
แมกนีเซียม (Mg)	10-15
โพแทสเซียม (K)	1-5
โซเดียม (Na)	0-1
อะลูมิเนียม (Al)	<5

ที่มา : Abbott (1989)

ในดินทรายและดินกรดที่มีอัตราการชะละลายสูงจะพบอยู่เสมอว่าปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะมีค่าต่ำ และเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก็เช่นกัน ถ้ามีระดับต่ำกว่า 0.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัม พืชจะมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม และในดินที่มีโซเดียมและแมกนีเซียมสูงจะเกิดการฟุ้งกระจายได้มากกว่าดินที่มีโซเดียมและแคลเซียมสูง (Abbott, 1989 ; Emerson and Bakker, 1973)

4.6 ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable bases)

แคตไอออนที่ดูดซับในดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แคตไอออนที่มีสมบัติเป็นกรด (acid cations) ได้แก่ H^+ และ Al^{3+} และแคตไอออนที่มีสมบัติเป็นเบส (basic cations) ได้แก่ Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ และ Na^+ แคตไอออนเหล่านี้จะดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุ

อนุภาคคอลลอยด์ที่เป็นอนุภาคดินเหนียว หรือ ฮิวมัสในดินตามธรรมชาติมีประจุเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับไอออนประจุบวกไว้บนผิว ไอออนประจุบวกที่ถูกดูดซับไว้บนผิว (adsorbed cation) ของอนุภาคคอลลอยด์นี้ สามารถถูกไล่ที่ หรือแลกเปลี่ยนกับไอออนประจุบวกอื่น ที่อยู่ในสารละลายดินได้ เช่น Ca^{2+} เข้าไล่ที่ Na^+ ออกมาได้ ในการแลกเปลี่ยนหรือการเข้าแทนที่ของไอออนประจุบวกบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ จะเป็นไปตามกฎสมมูลย์ทางเคมี (chemically equivalent) และปฏิกิริยาสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (Dynamically change) การที่ไอออนประจุบวกที่ถูกดูดซับ (adsorped cation) สามารถถูกไล่ที่หรือถูกแทนที่บนผิวของอนุภาคคอลลอยด์โดยไอออนประจุบวกตัวอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลาย เรียกว่ากระบวนการแลกเปลี่ยน (cation exchange) บางครั้งเราเรียก แอดซอร์พแคตไอออน (adsorbed cation) อีกชื่อหนึ่งว่า exchangeable cation และเรียกไอออนประจุบวกที่อยู่ในสารละลายดินว่า replacing cation

หลักการแลกเปลี่ยนประจุในดิน (ionic exchange or cation exchange) (ไพบูลย์, 2546)

การแลกเปลี่ยนระหว่างไอออนประจุบวกของอนุภาคดินเหนียว กับไอออนประจุบวกในสารละลายเกิดขึ้นง่ายหรือยากแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ปัจจัย 4 ประการ คือ

1. ชนิดของไอออนประจุบวกที่ดูดซับที่ผิวอนุภาคดินเหนียวและไอออนประจุบวกที่แทนที่ (adsorbed cation และ replacing cation)

1.1 ไอออนประจุบวกที่ดูดซับบนผิวอนุภาคคอลลอยด์นั้น

ไอออนประจุบวกจะดูดด้วยแรงที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดของไอออนประจุบวกที่ดูด (adsorbed cation) ในสภาพที่มีน้ำล้อมรอบ (hydrated size) ถ้ามีไอออนประจุบวกขนาดเล็ก ถูกดูดด้วยแรงมาก ไอออนประจุบวกที่ถูกดูดตั้งนั้นจะถูกไล่ที่ยาก ถ้ามีขนาดใหญ่ จะถูกดูดด้วยแรงมากหรือน้อย ง่ายต่อการถูกไล่ที่หรือไม่เป็นไปตามกฎของคูลอมบ์ (coulomb's law)

ไอออนประจุบวกที่เป็นไอออนประจุบวกหนึ่ง (monovalent) และไอออนประจุบวกสอง (divalent) ขณะที่น้ำล้อมรอบมีขนาดจากใหญ่ไปเล็ก เรียงลำดับได้ดังนี้

monovalent ion	ได้แก่	$Li^+ > Na^+ > K^+, NH_4^+ > Rb^+$
divalent ion	ได้แก่	$Mg^{+2} > Ca^{+2} > Sr^{+2} > Ba^{+2}$

Na^+ มีขนาดใหญ่กว่า K^+ ดังนั้น Na^+ จะถูกดูดยึดกับอนุภาคคอลลอยด์ดินด้วยแรงที่น้อยกว่า K^+ ทำให้ Na^+ สามารถถูกแทนที่ได้ง่ายกว่า K^+ หรือ NH_4^+

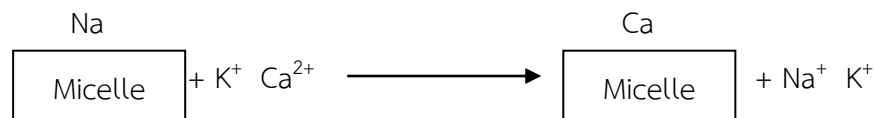
1.2 ไอออนประจุบวกที่แทนที่ (replacing cation)

ไอออนประจุบวกที่อยู่ในสารละลายดิน มีอำนาจการไล่ที่ (replacing power) แตกต่างกันไป ดังนี้ คือ $Al^{3+}, H^+ > NH_4^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Li^+$ นั่นคือ K^+ สามารถไล่ที่ Na^+ และ Li^+ ได้หรือ Al^{3+} และ H^+ มีอำนาจการไล่ที่เท่ากัน การจัดเรียงอำนาจการไล่ที่ของไอออนประจุบวกที่แทนที่โดยยึดหลัก 2 ประการ คือ

1.2.1 ขนาดของไอออนประจุบวก ขณะที่น้ำล้อมรอบ (hydrated size) ไอออนประจุบวกที่มีขนาดเล็กมีจำนวนการไล้ที่สูง เมื่อมีวาเลนซ์เท่ากัน

1.2.2 วาเลนซ์ของไอออนประจุบวก โดยทั่วไป ไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์ (valence) สูงมีอำนาจการไล้ที่สูง และยัง สามารถดูดยึดกับอนุภาคคอลลอยด์ด้วยแรงสูงกว่าไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ ไอออนประจุบวกสาม (trivalent) มีอำนาจการไล้ที่สูงกว่าไอออนประจุบวกสองและสูงกว่าไอออนประจุบวกหนึ่ง เช่น $Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^+$ เป็นต้น ลำดับการแทนที่ของไอออนประจุบวกที่เป็นไอออนประจุบวกหนึ่ง เช่น H^+ และ NH_4^+ มีขนาดเล็กมากในสภาพที่มีน้ำล้อมรอบจึงมีอำนาจการไล้ที่สูงกว่าไอออนประจุบวกสอง ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่แทนที่เป็นไปตามหลักของ ข้อ 1.1 เช่น Ca^{2+} ไล้ที่ Na^+ หรือ K^+ ดังสมการการแทนที่เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิก (dynamically change) คือ สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้

2. ถ้ามีการเปลี่ยนจากซ้ายไปขวา จะเป็นไปตามหลักข้อ 1 เรียกว่าแรงกระทำ (force action) ทำนองเดียวกัน สมการสามารถเปลี่ยนจากขวาไปซ้ายได้ ถ้าปริมาณความเข้มข้นของ Na^+ และ K^+ มาก คือ สามารถไล้ที่ Ca^{2+} ออกมาได้ซึ่งเป็นไปตามหลักแรงกระทำของมวล (mass action)



3. ปริมาณการอิ่มตัว (degree of saturation) ปริมาณการอิ่มตัวของไอออนประจุบวกบางชนิดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ดิน มีอิทธิพลต่อความยากง่ายที่ไอออนประจุบวกนั้นถูกไล้ที่ออกมา เช่น เมื่อ Ca^{2+} ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวน้อยเท่าไร ความยากที่จะไล้ Ca^{2+} ออกจากผิวของคอลลอยด์ให้หมด ยิ่งยากขึ้นเท่านั้น ซึ่งต่างจาก Na^+ ถ้า Na^+ บนผิวมีน้อยเท่าใด ยิ่งง่ายต่อการไล้ที่มากขึ้นเท่านั้น ไอออนประจุบวกบางชนิด เช่น K^+ , Mg^{2+} จะไม่ขึ้นกับปริมาณการอิ่มตัว

4. ไอออนประจุบวกอื่น ๆ ที่อยู่ร่วมกันบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ (complementary exchangeable cations) ไอออนประจุบวกที่อยู่บนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ร่วมกับไอออนประจุบวกที่ต้องการไล้ที่มีบทบาทสำคัญต่อการไล้ที่ไม่เหมือนกัน เช่น ถ้า K^+ อยู่ร่วมกับ Al^{3+} หรือ H^+ บนผิวอนุภาคคอลลอยด์ K^+ จะถูกไล้ที่ออกม่าง่าย แต่ถ้า K^+ อยู่ร่วมกับ Ca^{2+} K^+ จะถูกไล้ที่ยากขึ้น

ในตารางผลการวิเคราะห์ดินจะรายงานในรูปของเซนติโมลต่อกิโลกรัม ($cmol\ kg^{-1}$) หน่วยเดิมที่ใช้คือ มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม ($me/100\ g$) หมายความว่าในดินมีปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ และ Na^+) เป็นจำนวนเท่าใด โดยวัดปริมาณเป็นเซนติโมลต่อน้ำหนักดินแห้งหนึ่งกิโลกรัม ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ของดินนอกจากเกี่ยวข้องกับชนิดและปริมาณของอนุภาคดินเหนียว ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ดังที่กล่าวมาแล้ว ยังบอกให้ทราบถึงระดับความมากน้อยในการสลายตัวของหินและแร่ในดินด้วยเช่นกัน

สำหรับปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ คือ แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) และโซเดียม (Na^+) ซึ่งถูกดูดยึดไว้ที่พื้นผิวของคอลลอยด์ในดิน ได้แบ่งระดับสูง-ต่ำ ไว้ดังตารางที่

ตารางที่ 9 ระดับปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ระดับ	ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol kg ⁻¹)			
	Ca	Mg	K	Na
ต่ำมาก	<2.0	<0.3	<0.2	<0.1
ต่ำ	2.0-5.0	0.4-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3
ปานกลาง	5.0-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7
สูง	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0
สูงมาก	>20	>8.0	>1.2	>2.0

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ข้อมูลปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ สามารถใช้วินิจฉัยในลักษณะต่อไปนี้ คือ (เอิบ, 2548)

(1) ถ้าหากว่าอัตราส่วนของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่อเบสชนิดอื่นๆ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้น สมบัติทางเคมีจะเลวลง เป็นลักษณะที่บ่งชี้ถึงชั้นวินิจฉัยเนตริก ซึ่งปกติจะมีความอิ่มตัวด้วยโซเดียมของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมากกว่า 15

$$ESP = \frac{Na}{CEC} \times 100$$

ESP = Exchangeable Sodium Percentage

(2) อัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม เป็นเครื่องวินิจฉัยอัตราการพุงอยู่กับที่สัมพัทธ์และอัตราพัฒนาการของดินในเขตชื้นและกึ่งชื้น แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากแคลเซียมเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงว่าดินอายุเพิ่มขึ้น และมีวิวัฒนาการเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วย

ตารางที่ 10 ระดับอัตราส่วน Ca/Mg

ระดับ (rating)	Ca/Mg ratio
แคลเซียมไม่เพียงพอ	<1
แคลเซียมต่ำ	1-4
สมดุล	4-6
แมกนีเซียมต่ำ	6-10
แมกนีเซียมไม่เพียงพอ	>10

ที่มา ; Eckert (1987)

4.7 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (% Base saturation)

อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (%base saturation) หมายถึง สัดส่วนปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ต่อความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือผลรวมของเบสที่แลกเปลี่ยนได้กับกรดที่สกัดได้ โดยทั่วไปมักแสดงเป็นอัตราร้อยละ (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์วิทยา, 2551) ค่านี้ได้มาจากการคำนวณ มีหน่วยเป็นร้อยละ(เปอร์เซ็นต์) ซึ่งปริมาณแคตไอออนสภาพเบส (basic cation) จะปรากฏในดินตามลำดับความมากขึ้น คือ ธาตุแคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) และโซเดียม (Na^+)

การหาอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสใช้วิธีคำนวณจากผลรวมของปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้หารด้วยค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ของดิน ดังนี้

$$\text{อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส} = \frac{\text{ผลรวมปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้}}{\text{ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)}} \times 100$$

แต่การที่ค่า CEC มีได้หลายค่าขึ้นอยู่กับวิธีการหา ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อของวิธีการวิเคราะห์ CEC ดังนั้นอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสจึงสามารถคำนวณโดยการเทียบกับค่า CEC ที่ได้ คือ CEC by sum และ effective CEC โดยที่

$$\text{CEC by sum} = \text{ผลรวมของเบสที่แลกเปลี่ยนได้} + \text{ปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้} \\ (\text{EA ที่สกัดด้วย } \text{BaCl}_2 \text{ pH } 8.2)$$

$$\text{Effective CEC} = \text{ผลรวมของเบสที่แลกเปลี่ยนได้} + \text{อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ (1 N KCl)}$$

อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสจะมีความสัมพันธ์อยู่กับการกำเนิดดิน การพัฒนาของดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการชะละลายแร่ธาตุอาหารลงสู่ชั้นล่าง ดินที่มีการชะละลายสูงจะมีค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำ นอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์กับระดับพีเอชของดินด้วย กล่าวคือเมื่อค่าพีเอชของดินสูงขึ้นอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสจะสูงขึ้น อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสจะมีค่ามากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว วัตถุต้นกำเนิดดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินนั้น ถ้าดินมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสสูง แสดงว่าดินนั้นย่อมมีโอกาสที่จะให้แร่ธาตุอาหารแก่พืชสูง ดินที่มีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส เท่ากับ 80 % ก็หมายความว่าดินนี้มีปริมาณประจุบวกที่เป็นต่างอยู่สี่ส่วนในห้าส่วนของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินนั้น ดินที่มีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำเท่าใด ดินก็ยิ่งมีความเป็นกรดมากขึ้นเท่านั้น เมื่อดินมีค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส เท่ากับ 100 ดินนั้นจะมีปฏิกิริยาเป็นกลางหรือเป็นต่างอย่างอ่อน ดังนั้นค่านี้จึงมีความเกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ด้วยเหตุนี้

ในด้านการสำรวจและจำแนกดินค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาดินในลักษณะต่อไปนี้ (เอิบ, 2548)

(1) ใช้เป็นข้อมูลวินิจฉัยอัตราการชะละลายของดิน ค่านี้ของชั้นสะสม (ชั้น B) และตอนบนของชั้นวัตถุต้นกำเนิด (ชั้น C) จะใช้เป็นข้อมูลวินิจฉัยว่าประจุบวกที่เป็นต่างได้ถูกเคลื่อนย้ายและแทนที่ด้วยความเป็นกรดที่ถูกแทนที่ได้มากน้อยเพียงใด

(2) ชั้นดินจะต้องมีความอิ่มตัวเบสถึงร้อยละ 50 จึงจะเป็นชั้นดินบนวินิจฉัยมอลลิก เป็นลักษณะวินิจฉัยชั้นดินบนวินิจฉัยมอลลิก

(3) ใช้ในการวินิจฉัยอันดับของดิน โดยการแบ่งอันดับดินแอลฟิซอลส์ (Alfisol) และอัลทิซอลส์ (Ultisol) ซึ่งอัลทิซอลส์จะมีค่าความอิ่มตัวเบสต่ำกว่าร้อยละ 35 และดินแอลฟิซอลส์จะมีค่านี้มากกว่าร้อยละ 35

ในตารางผลการวิเคราะห์ดินจะรายงานในรูปของร้อยละ หมายความว่าในดินหนึ่งร้อยละส่วนจะมีค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ที่ส่วน ค่านี้จะทำให้ทราบว่าผลรวมปริมาณธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม มีอยู่เล็กน้อยเพียงใดต่อระดับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาใช้ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน การแบ่งระดับความสูงต่ำของเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นต่าง แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ระดับอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (%BS)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
ต่ำมาก	<20
ต่ำ	20-40
ปานกลาง	40-60
สูง	60-80
สูงมาก	>80

ที่มา : Metson (1961)

ตารางที่ 12 ระดับอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (%BS) ต่ออัตราการชะละลาย

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
ชะละลายน้อยที่สุด (very weakly leached)	70-100
ชะละลายน้อย (weakly leached)	50-70
ชะละลายปานกลาง (moderately leached)	30-50
ชะละลายมาก (strongly leached)	15-30
ชะละลายมากที่สุด (very strongly leached)	0-15

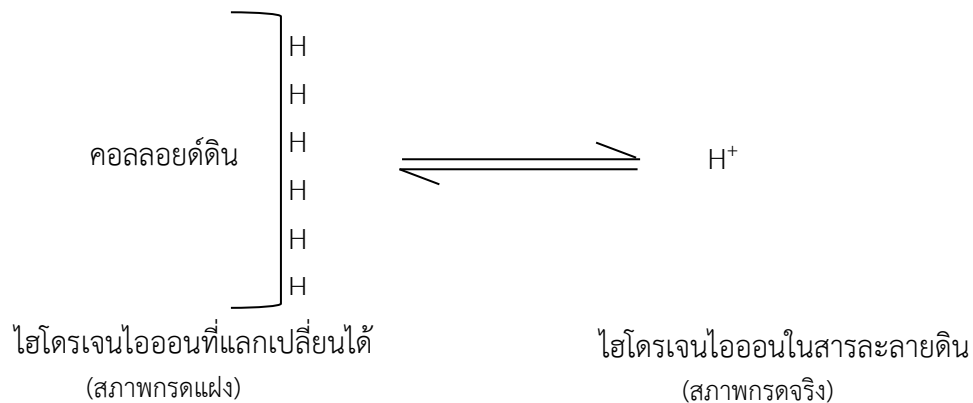
ที่มา ; Metson (1961)

4.8 ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable acidity)

การจำแนกสภาพความเป็นกรดในดิน สามารถพิจารณาจากลักษณะการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในดินกรด ซึ่งมีผู้แบ่งสภาพกรดในดินเป็น 2 แบบ คือ

(1) สภาพกรดจริง (active acidity) คือ ส่วนของ H^+ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสารละลายดิน ส่วนนี้เป็นตัวแสดงความเป็นกรดที่แท้จริง เนื่องจากความเป็นกรดเป็นต่างของดิน (pH) แสดงถึงความเข้มข้นของกรดส่วนนี้เท่านั้น

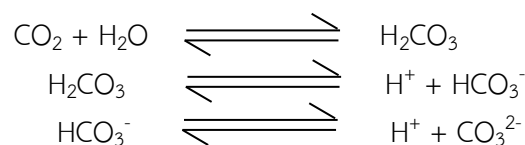
(2) สภาพกรดแฝง (potential acidity) คือ ส่วนของ H^+ ที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable H^+) ที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดิน และจะออกมาสู่สารละลายดินได้ก็ด้วยปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange reaction) เท่านั้น ดังสมการต่อไปนี้



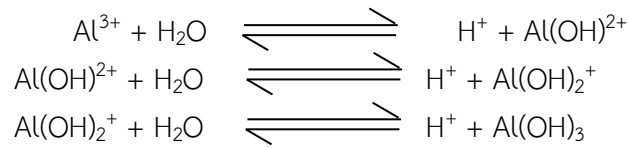
ความเป็นกรดจะรุนแรงสักแค่ไหนวัดได้จากสภาพกรดจริง แต่จะมีฤทธิ์ของความเป็นกรดอยู่ได้นานมากน้อยเพียงใดเมื่อถูกทำให้เป็นกลางหรือทำให้หมดสภาพความเป็นกรดนั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสภาพกรดแฝงที่มีอยู่ การวัดความเป็นกรดของดินที่นิยมวัดกันในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable acidity) หรือความเป็นกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) ซึ่งค่าที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประกอบในการคำนวณค่า CEC by sum เพื่อใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินและใช้ในการจำแนกดิน

สภาพความเป็นกรดของดิน มีสาเหตุมาจากการที่ดินนั้นดูดยึดไอออนบวกที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดไว้มาก ส่วนใหญ่ไอออนบวกที่พบมาก คือไฮโดรเจน (H^+) และอะลูมิเนียม (Al^{3+}) โดยแหล่งที่มาที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินโดยธรรมชาติ พอสรุปได้ดังนี้

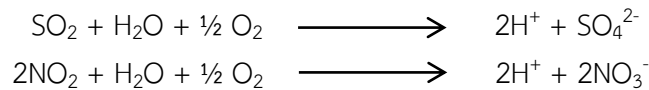
(1) เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบของอากาศในดินที่มีความชื้นสามารถที่จะละลายแล้วก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งสามารถแตกตัวแล้วให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาอยู่ในสารละลายดิน และไฮโดรเจนไอออนนี้จะเข้าไปแทนที่หรือไล่ที่ไอออนบวกชนิดต่างๆ ที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดินให้ออกมาอยู่ในสารละลายดิน เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ประกอบกับเมื่อเกิดการชะละลายขึ้นในดิน ไอออนบวกของธาตุชนิดต่างๆ ที่ละลายอยู่ในสารละลายดินจะถูกพัดพาไปกับน้ำ ทำให้ดินในบริเวณนั้นมีปฏิกิริยาเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ดังนี้



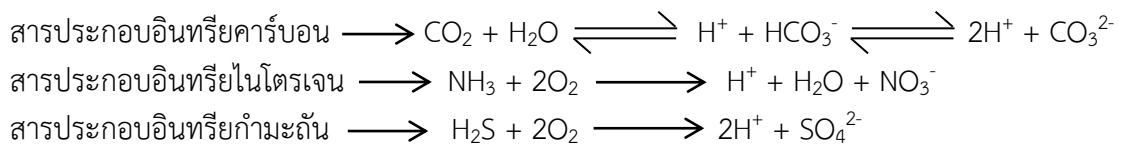
(2) การเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสของธาตุอะลูมิเนียมในดิน โดยที่อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) ที่ละลายอยู่ในสารละลายดินสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส ก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออนได้ ซึ่งมีผลทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ดังนี้



(3) เกิดการเปลี่ยนรูปของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในบรรยากาศที่ละลายมากับน้ำฝนตกลงสู่พื้นดิน แล้วเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดกรดขึ้นในดิน ดังนี้



(4) เกิดจากการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ แล้วทำให้เกิดกรดขึ้นในดิน เช่น



ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable acidity) ความเป็นกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) และสภาพกรดรวม (total acidity) เป็นชื่อที่เรียกรวมการวัดความเป็นกรดของดิน ซึ่งบางครั้งเป็นวิธีการเดียวกัน ก็ยังเรียกชื่อต่างกัน ในการสำรวจและจำแนกดินนิยมวัดความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์แบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน ที่ pH 8.2 ส่วนอีกวิธีคือการใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งไฮโดรเจนและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ดังวิธีการที่ได้กล่าวถึงแล้วในวิธีการวิเคราะห์ นอกจากนั้นสภาพกรดรวมยังสามารถหาได้จากผลต่างของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) กับปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ ดังนี้

$$\text{สภาพความเป็นกรดรวม (total acidity)} = \text{CEC} - \text{ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้}$$

สำหรับระดับความสูง-ต่ำของความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ระดับความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol kg^{-1})

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
ต่ำมาก	<1.0
ต่ำ	1.1-2.0
ปานกลาง	2.1-5.0
ค่อนข้างสูง	5.1-10.0
สูง	10.1-20.0
สูงมาก	>20.0

ที่มา : นงคราญ (2529)

ข้อมูลของความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ สามารถนำมาใช้วินิจฉัยลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ (เอิบ, 2548)

(1) เมื่อมีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น จะมีการชะละลายและการผุพังอยู่กับที่เพิ่มขึ้น ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น

(2) ถ้าหากว่ามีอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าร้อยละ 60 ของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน จะเกิดสภาพเป็นพิษเนื่องจากอะลูมิเนียม

(3) ถ้าหากมีไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้อยู่มากพืชจะต่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก

- มีกรดซัลฟูริกเกิดขึ้นจากออกซิเดชันของซัลไฟด์ เช่น บริเวณที่เป็นดินเหนียวเปรี้ยวจัด (catclay) หรือพบกรดที่ชะละลายจากการทำเหมือง (acid mine drainage)

- อาจมีอินทรีย์วัตถุที่เป็นกรดอยู่มาก เช่น สะสมอยู่ที่ชั้นดินล่างวินิจฉัยสโปก

- อาจเกิดจากการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมมากเกินไปในดินที่เป็นทราย

4.9 อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Aluminum)

อะลูมิเนียมในดินมีอยู่หลายรูปด้วยกัน (Jackson, 1961) และพบเสมอในรูปของกิบไซต์หรือตกตะกอนในรูปของ $Al(OH)_3$ ในสภาพความเป็นกรด อะลูมิเนียมเกิดขึ้นในรูปของสารประกอบ ซึ่งในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดจะมีอะลูมิเนียมที่ละลายอยู่ในรูป Al^{3+} ซึ่งเป็นอันตรายต่อพืชหลายชนิดทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต และถ้ามีปริมาณอะลูมิเนียมมากอาจทำให้พืชถึงตายได้ แต่ถ้าปรับ pH ของดินให้สูงขึ้น การละลายของอะลูมิเนียมจะลดลง จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายคนพบว่า เมื่อระดับ pH ของดินเพิ่มขึ้น การละลายของอะลูมิเนียมจะลดลงไม่ว่า pH ของดินจะสูงขึ้นเนื่องจากรีดักชันของดิน โดยการใส่ปูนหรือการชะล้างดิน และถ้า pH ของดินมากกว่า 5.5 อะลูมิเนียมจะตกตะกอนหมด

ดินกรดและดินกรดจัด ถ้าดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินต่ำ ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะมากเมื่อดินมีค่าพีเอชน้อยกว่า 5.0 แต่ปกติแล้วความเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะไม่เกิดขึ้นเมื่อดินมีค่าพีเอชมากกว่า 5.5 (kamprath และ Foy, 1971) แต่สำหรับดินที่มีแร่ดินเหนียวเป็นเคโอลิไนท์ (kaolinite) เป็นแร่หลักในดิน ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมอาจเกิดขึ้นได้เหมือนกันที่ พีเอชของดินที่ 5.5 ดังนั้นในกรณีนี้ในดินเปรี้ยวจัดภาคใต้จึงจำเป็นต้องปรับระดับพีเอชของดินให้สูงกว่า 5.5 เพื่อให้อะลูมิเนียมตกตะกอนให้หมด และไม่เป็นพิษต่อพืช เพราะว่าอะลูมิเนียมเพียง 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชมีผลผลิตลดลง (Sanchez, 1976)

สำหรับความสำคัญของอะลูมิเนียมในดิน สามารถพิจารณาจากค่าที่วิเคราะห์และคำนวณได้ 2 ค่า คือ

(1) อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้คือ การสกัดดินด้วยสารละลาย 1 N KCl แล้ววิเคราะห์ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์อะลูมินอล (Aluminon) ซึ่งใช้วิธีการพัฒนาสีตามความเข้มข้นของปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชแต่ละชนิดสามารถทนต่ออะลูมิเนียมได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์พืช ปกติเราสามารถประเมินปริมาณอะลูมิเนียมในสารละลายดินได้โดยดูจากค่าพีเอชโดยเฉพาะในดินกรดและดินเปรี้ยวจัดที่มีอะลูมิเนียมเป็นสารประกอบอยู่มาก แต่ถ้ามีน้อยมากก็ไม่สามารถที่จะประเมินได้ ทั้งนี้ให้ดูในเบื้องต้นถ้าค่าพีเอชมากกว่า 5.5 จะบ่งชี้ว่าในดินนั้นมีปริมาณอะลูมิเนียมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย เนื่องจากช่วงพีเอชดังกล่าวอะลูมิเนียมจะตกตะกอนดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นถ้าดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น (pH น้อยกว่า 5.5) และปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น เมื่อนั้นแม้พืชที่ทนต่ออะลูมิเนียมก็อาจจะแสดงอาการและได้รับผลกระทบ ซึ่งอาการเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะพบที่ปลายใบแก่ มีสีเหลืองทองส้มที่เส้นใบ ต่อมาจะมีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้น เป็นต้น

(2) ค่าความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียมในดิน (Al-saturation) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาพปัญหาของอะลูมิเนียมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชในดินกรดได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ ผลผลิตของพืชจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น ค่านี้สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\% \text{ Al-saturation} = \frac{\text{Exchangeable Al (1 N KCl)}}{\text{Effective CEC (ECEC)}} \times 100$$

ปกติค่าความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียมในดิน (Al saturation) ถ้ามีค่ามากกว่าร้อยละ 60 จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าความเป็นพิษที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากอะลูมิเนียม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและลักษณะของดินด้วย

สำหรับเกณฑ์แสดงระดับความสูง-ต่ำ ของปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ แสดงในตารางที่

14

ตารางที่ 14 ระดับปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (cmol kg⁻¹)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
ต่ำมาก	<1
ต่ำ	1-5
ปานกลาง	5-9
สูง	9-13
สูงมาก	>13

ที่มา : Osborne, 1985

บทที่ 5

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

โดยปกติแล้วการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินอาจทำได้หลายวิธี เช่น การสังเกตอาการผิดปกติของพืชที่แสดงออกเนื่องจากการขาดธาตุอาหารพืช พืชมักจะแสดงอาการผิดปกติต่างๆ เช่น แคระแกร็น ยอดหงิกงอ ใบเหลือง และใบไหม้ เป็นต้น การทดลองปุ๋ยกับดินชนิดต่างๆในสนาม หรือนำดินนั้นมาปลูกพืชในกระถางเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืช การวิเคราะห์พืชที่ปลูกในดินนั้นเพื่อดูปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นองค์ประกอบ และอีกอย่างหนึ่งที่นิยมใช้คือประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลการวิเคราะห์ดิน โดยดูระดับปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินชนิดต่างๆว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าไรก็พอจะคาดคะเนได้ แต่รายงานผลวิเคราะห์ดินที่ออกมาจะมีธาตุบางธาตุสูง ต่ำ และปานกลางแตกต่างกันไป ทำให้ผู้ใช้ผลวิเคราะห์ดินไม่สามารถตัดสินใจได้ว่า ดินนั้นมีความอุดมสมบูรณ์เป็นอย่างไร คืออยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง หรือสูง การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน จากผลการวิเคราะห์ดินจะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาปริมาณปุ๋ยเพื่อการผลิตพืชได้ หากมีความเข้าใจเกี่ยวกับพืชแต่ละชนิดว่าต้องการปุ๋ยระดับปกติในอัตราเท่าใดที่จะทำให้มีระดับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเป็นที่พึงพอใจหรือคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและปัจจัยการผลิตพืชในด้านอื่นๆร่วมด้วย

การนำข้อมูลผลวิเคราะห์ดินมาใช้ในการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน มีผู้คิดค้นและนำเสนอไว้หลายวิธีด้วยกัน ส่วนใหญ่จะใช้สมบัติทางเคมีบางประการร่วมกับปริมาณธาตุอาหารหลักบางธาตุรวมกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งแต่ละวิธีที่ใช้ในการประเมินสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการแปลผลการวิเคราะห์ดิน การให้คำแนะนำแก้ไขปรับปรุงบำรุงดินและการใส่ปุ๋ย โดยพิจารณาว่าวิธีการใดที่เหมาะสมสำหรับดินหรือพืชที่ปลูก ผลการวิเคราะห์ดินที่นำมาใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน จะมีความแตกต่างกันในแต่ละวิธี แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย 5 รายการ คือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) และอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (% base saturation) ในที่นี้จะนำเสนอแนวทางการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินที่นิยมใช้ในประเทศไทยเพียง 2 แนวทาง สำหรับแนวทางการประเมินความอุดมสมบูรณ์วิธีอื่นๆ อาจทำได้โดยการใช่วิธีการที่มีผู้รวบรวมไว้

- 1) การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กองสำรวจดิน, 2523)
- 2) การคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ดิน (บรรเจิด, 2523)

5.1 การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กองสำรวจดิน, 2523)

กรมพัฒนาที่ดินโดยกองสำรวจดิน (2523) ได้กำหนดหลักเกณฑ์วิธีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย โดยใช้ค่าวิเคราะห์ดิน 5 รายการ คือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) และอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (% base saturation) ซึ่งในแต่ละรายการผลวิเคราะห์ดินจะมีเกณฑ์ประเมินเป็นค่าสูง กลาง และต่ำ เพื่อใช้ในการกำหนดคะแนนโดยมีค่า 3 , 2 และ 1 คะแนนตามลำดับ เมื่อรวมผลคะแนนจากค่าวิเคราะห์ดินทั้ง 5 รายการแล้ว จึงประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระดับความอุดมสมบูรณ์	OM (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol kg ⁻¹)	BS (%)
ต่ำ	<1.5	<10	<60	<10	<35
ระดับคะแนน	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
ปานกลาง	1.5-3.5	10-25	60-90	10-20	35-75
ระดับคะแนน	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
สูง	>3.5	>25	>90	>20	>75
ระดับคะแนน	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)

ที่มา : กองสำรวจดิน (2523)

สำหรับวิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินใช้วิธีการให้คะแนน ดังนี้

- (1) ถ้าผลรวมคะแนนทั้งหมด ≤ 7 ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
- (2) ถ้าผลรวมคะแนนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง
- (3) ถ้าผลรวมคะแนนทั้งหมด ≥ 13 ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง

5.2 การคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ดิน (บรรเจิด, 2523)

จากหนังสือคู่มือการวินิจฉัยคุณภาพดินของประเทศไทยที่จัดทำขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญทางดิน จากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และจัดพิมพ์โดยกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน ได้แบ่งการคาดคะเนสำหรับการปลูกพืชไร่และปลูกข้าว และไม่ได้นำผลวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุไปใช้กับดินปลูกพืชไร่ ซึ่งบรรเจิด (2523) เห็นว่าควรจะใช้เป็นแบบเดียวกันไม่จำเป็นจะต้องแยกกัน และได้นำเอาผลวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุมาใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะเห็นว่าดินในประเทศไทยส่วนใหญ่ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน เพื่อเป็นการปรับปรุงดินทั้งสมบัติทางกายภาพและเคมี อย่างไรก็ตามการที่จะนำผลวิเคราะห์ดินทุกอย่างมาใช้ในการคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์คงเป็นไปได้ยาก จึงเลือกเฉพาะคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญๆเท่านั้น ได้แก่

- (1) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity)
- (2) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (% base saturation)
- (3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter)
- (4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

(5) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตรจะนำไปคิด เฉพาะในดินเปรี้ยวจัดเท่านั้น

ตารางที่ 16 แสดงความสูงต่ำของการแบ่งระดับของพิกัดสมบัติทางเคมีของดิน ที่ใช้ในการประเมิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระดับ	สมบัติทางเคมีของดิน				
	CEC (cmol kg^{-1})	OM (%)	BS (%)	P (mg kg^{-1})	pH
ต่ำมาก (VL)	<3	<0.5	-	<3	-
ต่ำ (L)	3-5	0.5-1.0	35	3-6	<4.2
ค่อนข้างต่ำ-ต่ำ (ML-L)	-	-	-	-	4.0-4.2
ค่อนข้างต่ำ (ML)	5-10	1.0-1.5	-	6-10	4.2-4.5
ปานกลาง (M)	10-15	1.5-2.5	35-75	10-15	-
ค่อนข้างสูง (MH)	15-20	2.5-3.5	-	15-25	-
สูง (H)	20-30	3.5-4.5	>75	25-45	-
สูงมาก (VH)	>30	>4.5	-	>45	-

ที่มา : ดัดแปลงจากเอิบ (2548) และบรรเจิด (2523)

หมายเหตุ : VL=very low, L=low, ML=moderately low

M=medium, MH=moderately high, H=high, VH=very high

ตารางที่ 17 วิธีการคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ดิน

ระดับความอุดมสมบูรณ์ ตามธรรมชาติ	CEC ¹ (cmol kg ⁻¹)	BS ¹ (%)	OM ¹ (%)	p ¹ (mg kg ⁻¹)
ต่ำ	H-MH	L	ML	M-L
ค่อนข้างต่ำ	H-MH	L	M	M
ปานกลาง	H-MH	M	M-ML	M-L
ปานกลาง	H-MH	H	ML	M-L
ค่อนข้างสูง	H-MH	M	M	H-M
ค่อนข้างสูง	H-MH	H	M-ML	M-ML
สูง	H-MH	H	H-M	H-M
ต่ำ	M	L	ML	H-L
ค่อนข้างต่ำ	M	L	M	H-M
ค่อนข้างต่ำ	M	M	ML	M-L
ปานกลาง	M	M	ML	H-M
ปานกลาง	M	M	H	M-L
ปานกลาง	M	H	ML	M-L
ค่อนข้างสูง	M	H	M	M
สูง	M	H	H-M	H
ต่ำ	ML	L	ML	M-L
ต่ำ	ML	M	L	M-L
ค่อนข้างต่ำ	ML	H	L	M-L
ค่อนข้างต่ำ	ML	M	ML	M-L
ปานกลาง	ML	M	M	H-M
ปานกลาง	ML	H	ML	M-L
ค่อนข้างสูง	ML	H	M	H-M
ต่ำ	L	M-L	L	L
ค่อนข้างต่ำ	L	H	ML	M

ที่มา : ดัดแปลงจากเอิบ (2548) บรรเจิด (2523) และ Land Classification and FAO Project Staff (1973)

หมายเหตุ : ¹ รายละเอียดค่าสูง-ต่ำของผลวิเคราะห์ทั้ง 4 รายการนี้ ใช้ข้อมูลในตารางที่ 16

5.3 การคำนวณเพื่อปรับค่าวิเคราะห์ดินตามระดับความลึก

การนำข้อมูลผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน มาใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปกติตัวอย่างดินที่ทำการวิเคราะห์จะทราบระดับความลึกที่แน่นอนอยู่แล้ว ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่เก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ว่าต้องการปลูกพืชอะไร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดิน กรณีนี้สามารถนำผลการวิเคราะห์มาใช้ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ได้โดยตามวิธีการทั้ง 2 แนวทางที่กล่าวมา แต่ในกรณีที่มีผลวิเคราะห์ดินในลักษณะที่เป็นหน้าตัดดิน (soil profile) และมีหลายระดับความลึกภายในหน้าตัดดิน ส่วนใหญ่จะเก็บตัวอย่างดินในระดับความลึก 0-200 เซนติเมตร สามารถที่จะนำมาคำนวณผลการวิเคราะห์ดินให้อยู่ในระดับความลึกที่ต้องการได้ เช่น ระดับความลึก 0-25 และ 25-50 เซนติเมตร หรือที่ระดับความลึก 0-50 และ 50-100 เซนติเมตร เป็นต้น โดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

ตัวอย่างระดับความลึกภายในหน้าตัดดิน

Profile ที่ 1		Profile ที่ 2	
Depth (cm)	Horizon	Depth (cm)	Horizon
0-23	Ap	0-18	Ap _{g1}
23-42	Bw	18-35	Ap _{g2}
42-70	B _{ss1}	35-60	B _{tg1}
70-90	B _{ss2}	60-88	B _{tg2}
90-110	B _{ss3}	88-110	2B _{tg3}
110-130	B _{ss4}	110-140	2B _{tg4}
130-155	B _{ck}	140-170	2B _{tg5}
155-182+	C _k	170-180+	2B _{tg6}

จากตัวอย่างระดับความลึกของดินทั้ง 2 โปรไฟล์ จะพบว่าระดับความลึกที่เก็บตัวอย่างดินในแต่ละโปรไฟล์จะแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน จะต้องปรับค่าผลวิเคราะห์ดินและระดับความลึกให้เป็นรูปแบบเดียวกัน เพื่อใช้ในการคำนวณโดยวิธีการถ่วงน้ำหนัก ค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ย ในที่นี้จะกำหนดที่ระดับความลึก 0-25 และ 25-50 เซนติเมตร

การคำนวณเพื่อถ่วงน้ำหนัก ที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อปรับค่าผลวิเคราะห์ดินให้เป็นค่าเฉลี่ย คือ

$$Y_{(0-25)} = \frac{\sum(D_i X_i) + (25-a) X_a}{25} \quad \text{----- (1)}$$

โดยกำหนดให้ ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร เป็นเส้นกำหนดขอบเขต

$Y_{(0-25)}$ = ค่าเฉลี่ยของผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตรของหน้าตัดดิน (profile) นั้น

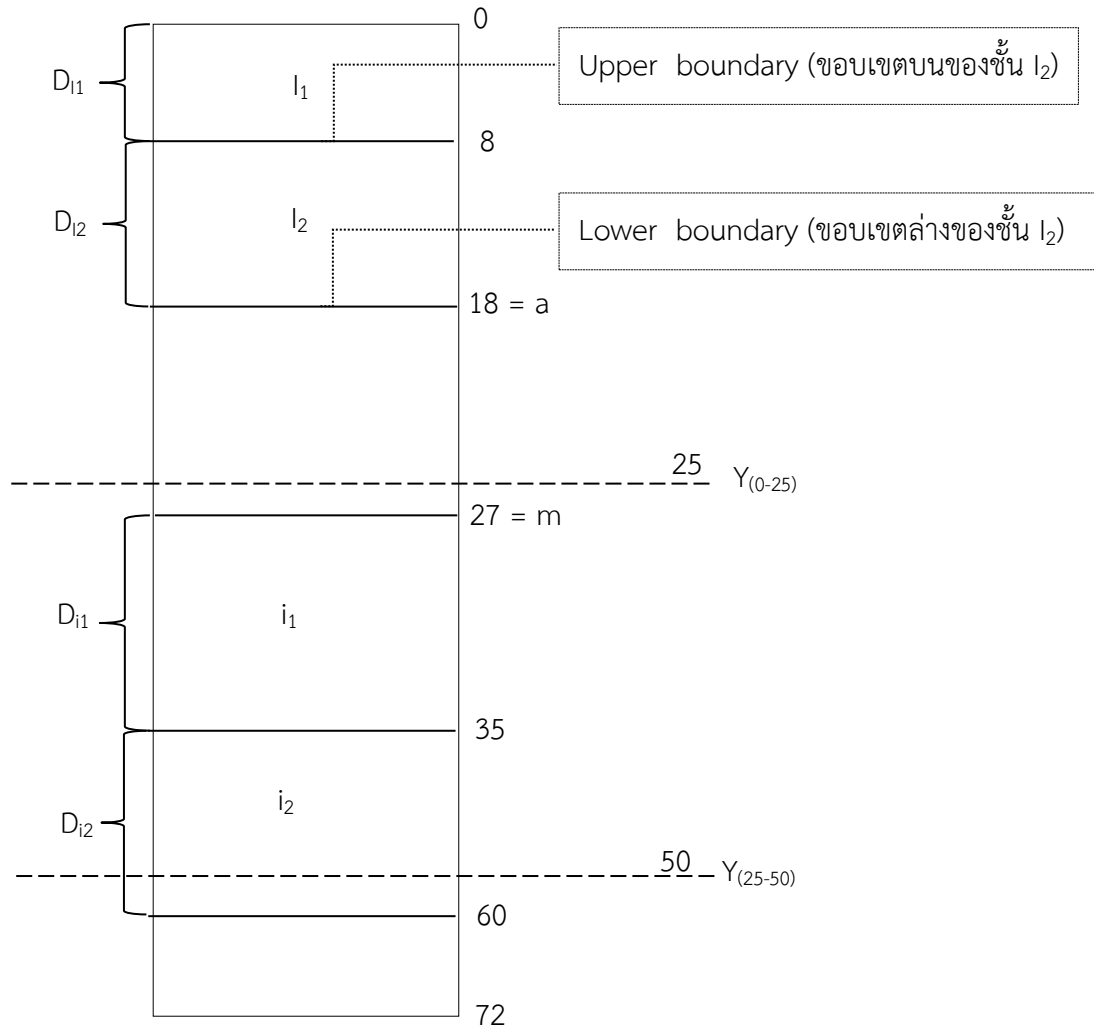
I = ตัวแทนชั้นดินต่างๆที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0 ถึงชั้นดินที่ครอบคลุมความลึก 25 เซนติเมตร

D_i = ระยะห่างระหว่างขอบเขตบน (upper boundary) และขอบเขตล่าง (lower boundary) ของแต่ละชั้น i

X_i = ค่าผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินแต่ละชั้น i

a = ขอบเขตบน (Upper boundary) ของชั้นที่ครอบคลุมความลึก 25 เซนติเมตร เช่น ชั้นดินที่ระดับความลึก 18-27 เซนติเมตร ค่า $a = 18$

X_a = ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของชั้นดินที่ครอบคลุมระดับความลึก 25 เซนติเมตร



ถ้าต้องการทราบระดับความอุดมสมบูรณ์ที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร ก็สามารถใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักอย่างเดียวกัน เพื่อปรับค่าผลวิเคราะห์ให้อยู่ที่ระดับความลึกที่ต้องการ โดยใช้สมการ

$$Y_{(25-50)} = \frac{(m-25) X_m + \sum(D_i X_i) + (50-n) X_n}{25} \quad \text{----- (2)}$$

โดยกำหนดให้ ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร เป็นเส้นกำหนดขอบเขต

$Y_{(25-50)}$ = ค่าเฉลี่ยของผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร ของหน้าตัดดิน (profile) นั้น

i = ตัวแทนชั้นดินต่างๆที่ระดับความลึกตั้งแต่ 25 ถึงชั้นดินที่ครอบคลุมความลึก 50 เซนติเมตร

D_i = ระยะห่างระหว่างขอบเขตบน (upper boundary) และขอบเขตล่าง (lower boundary) ของแต่ละชั้น i

X_i = ค่าผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินแต่ละชั้น i

m = ขอบเขตล่าง (lower boundary) ของชั้นที่ครอบคลุมความลึก 25 เซนติเมตร เช่น ชั้นดินที่ระดับความลึก 18-27 เซนติเมตร ค่า $m = 27$

X_m = ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของชั้นดินที่ครอบคลุมระดับความลึก 25 เซนติเมตร ($X_m = X_a$)

n = ขอบเขตบน (upper boundary) ของชั้นดินที่ครอบคลุมระดับความลึก 50 เซนติเมตร เช่น ชั้นดินที่ระดับความลึก 35-60 เซนติเมตร ค่า $n = 35$

X_n = ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของชั้นดินที่ครอบคลุมระดับความลึก 50 เซนติเมตร

ตัวอย่างการคำนวณ

ตารางที่ 18 แสดงการคำนวณผลการวิเคราะห์ดินภายในหน้าตัดดินที่ระดับความลึกแตกต่างกัน

ความลึก (cm)	Boundary ของชั้นดิน		ระยะห่าง D_i และ d_i	OM (%)	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	CEC (cmol kg^{-1})	BS (%)
	upper	lower						
0-8 (i_1)	0	8	8	2.4	25.3	350	29.6	44
8-18 (i_2)	8	18	10	1.0	36.9	150	35.4	53
18-27*	18	27	9	1.0	38.8	200	40.6	56
27-35 (i_1)	27	35	8	0.8	30.0	150	36.2	55
35-60 (i_2)	35	60	25	0.7	17.2	150	36.0	51

จากตารางที่ ชั้นที่ควบคุมระดับความลึกที่ 25 เซนติเมตร คือชั้นที่มีขอบเขตของชั้นที่ระดับความลึกตั้งแต่ 18-27 เซนติเมตร ถ้าต้องการคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร สามารถแทนค่าต่อไปนี้ ลงในสมการที่ (1) คือ

$$D_{i1} = 8 \qquad D_{i2} = 10$$

$$X_{i1} = 25.3 \qquad X_{i2} = 36.9$$

$$a = 18 \qquad X_a = 38.8$$

จะได้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y_{(0-25)} &= \frac{[(8 \times 25.3) + (10 \times 36.9)] + [(25-18) \times 38.8]}{25} \\
 &= \frac{202.4 + 369.0 + 271.6}{25} \\
 &= 33.7 \text{ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg kg}^{-1}\text{)}
 \end{aligned}$$

และค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน โดยชั้นที่ควบคุมระดับความลึก 50 เซนติเมตร คือ ชั้นที่ระดับความลึก 35- 60 เซนติเมตร เมื่อแทนค่าต่อไปนี้ ในสมการที่ (2)

$$\begin{aligned}d_{i1} &= 8 & m &= 27 \\X_{i1} &= 30 & X_m &= 38.8 \\n &= 35 \\X_n &= 17.2\end{aligned}$$

จะได้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร ดังนี้

$$\begin{aligned}Y_{(25-50)} &= \frac{[(27-25) \times 38.8] + (8 \times 30) + [(50-35) \times 17.2]}{25} \\&= \frac{77.6 + 240.0 + 258.0}{25} \\&= 23.0 \text{ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg kg}^{-1}\text{)}\end{aligned}$$

ใช้วิธีเดียวกันนี้ในการคำนวณเพื่อปรับค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ดินในแต่ละพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ให้อยู่ในระดับความลึก 0-25 , 25-50 เซนติเมตร จากตารางที่สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์และจัดระดับความอุดมสมบูรณ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 19 การจัดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความลึก (cm)	OM (%)	P (mg kg ⁻¹)	K	CEC (cmol kg ⁻¹)	BS (%)	คะแนน รวม	ความอุดมสมบูรณ์
0-25	1.5	33.7	228	35.0	51		
(คะแนน)	2	3	3	3	1	12	ปานกลาง
25-50	0.8	23.0	154	36.4	53		
(คะแนน)	1	2	3	3	1	10	ปานกลาง

จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามวิธีของกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน พบว่าในดินบนปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัส โปแทสเซียม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำ และในดินล่างปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าดินบน มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณโปแทสเซียมและความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง และอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำ โดยภาพรวมดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง สำหรับแนวทางในการปรับปรุงดินจะต้องคำนึงถึงชนิดและพันธุ์พืช อัตราและชนิดของปุ๋ย รวมทั้งลักษณะสภาพแวดล้อมประกอบด้วย จะทำให้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตได้

ตารางที่ 20 การจัดระดับการคาดคะเนความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความลึก (cm)	OM (%)	P (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol kg ⁻¹)	BS (%)	ความอุดมสมบูรณ์
0-25 (ระดับ)	1.5 M	33.7 H	35.0 H	51 M	ค่อนข้างสูง
25-50 (ระดับ)	0.8 L	23.0 M	36.4 H	53 M	ปานกลาง

จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามวิธีขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) พบว่าในดินบนปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสและความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับปานกลาง และในดินล่างปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับปานกลาง ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง และอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ของดินจัดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง สำหรับแนวทางในการปรับปรุงดินจะต้องคำนึงถึงชนิดและพันธุ์พืช อัตราและชนิดของปุ๋ย รวมทั้งลักษณะสภาพแวดล้อมประกอบด้วย จะทำให้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตได้

จะเห็นได้ว่าวิธีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ทั้ง 2 แนวทาง ให้ผลการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ซึ่งแนวทางทั้งสองวิธีสามารถนำไปประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ได้ไม่ว่าจะเลือกใช้วิธีการใด ทั้งนี้ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยที่ชี้บ่งถึงกำลังการผลิตของดินที่มีผลต่อการตัดสินใจ ในการเลือกชนิดของพันธุ์พืช อัตราและชนิดของปุ๋ยเคมี เพื่อให้การใช้ประโยชน์ที่ดินเหมาะสมกับศักยภาพของดินอย่างแท้จริงและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะในปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายในการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการซื้อสารเคมี และวัสดุปรับปรุงดินต่างๆ ซึ่งจะทำให้ลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตได้

การวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ข้อมูลผลวิเคราะห์ดินที่ได้สามารถนำไปใช้ในการจำแนกดินและประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นข้อมูลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์มาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการเพาะปลูกพืช การจัดการธาตุอาหารพืชว่าอยู่ในระดับสูงหรือต่ำเพียงใด ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลในการจัดการดินเพื่อเพิ่มศักยภาพของดินในการให้ผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามข้อมูลผลวิเคราะห์ดินเพื่อการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจะมีความถูกต้องและแม่นยำมากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บตัวอย่างดิน การเตรียมตัวอย่างดิน ที่เป็นตัวแทนที่ดีของดินในพื้นที่นั้นๆ ดังที่กล่าวมาในเบื้องต้นเป็นสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 303 น.
- กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28 กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 76 น.
- คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา. 2551. พจนานุกรมปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 206 น.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.
- จรงค์ จันท์เจริญสุข. 2541. การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 213 น.
- เจริญ เจริญจำรัสชีพ กำชัย กาญจนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์. 2540. การจัดการดินกรดในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 120 น.
- ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536 . ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 177 น.
- ชุติมา ศรีวิบูลย์ และ ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 486 น.
- นงคราญ กาญจนประเสริฐ. 2529. การศึกษาชั้นดินวินิจฉัยในพัฒนาการของดินและศักยภาพของดิน อันดับแอลพิซอลส์และอินเซปติซอลส์บริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- นวลศรี กาญจนกุล สุวรรณีย์ ภูธรธราช และชนิษฐศรี อุ้นตระกูล. 2544. ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย. เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 94 น.
- บรรเจิด พลางกูร. 2523. ทรัพยากรที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 223 น.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2556. สารปรับปรุงดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 256 น.
- พจน์ย์ มอญเจริญ. 2544. การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินเพื่อการปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย. เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน ฉบับที่ 2/2544. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 216 น.
- พจน์ย์ มอญเจริญ และชูจิตต์ สงวนทรัพย์ากร. 2544. วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมี. เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน ฉบับที่ 1/2544.กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 129 น.
- พิสุทธิ์ วิจารณ์สรณ์. 2540. คู่มือการตรวจสอบดินในสนาม. กองสำรวจและจำแนกดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 30 น.

- ไพบุลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. เคมีดิน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 273 น.
- ยงยุทธ โอสภสสกา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 น.
- _____. 2558. ความต้องการธาตุอาหารของข้าว : โปแตสเซียมของข้าว. ใน ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย. น. 276-292
- รัตนชาติ ช่วยบุตดา ประไพพิศ ศรีมาวงษ์ และชนิดา เกิดชนะ. 2557. การประเมินความเป็นกรดเป็นด่างในดินกรด ดินด่างและดินเค็ม ด้วยชุดตรวจสอบดินอย่างง่ายกรมพัฒนาที่ดิน. สำนักวิทยาเพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 94 น.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ. หน้า 116-121.
- สุนทรียังษ์ชวัลย์, 2536. บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน. 113 น.
- เอิบ เขียวรีนรมย์. 2548. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 733 น.
- Abbott, T.S. (ed.). 1985. Soil Testing Service – Methods and Interpretation. NSW Department of Agriculture, Rydamere, NSW.
- Attanandana, T., T. Vearasilp and K. Soitong. 2002. Diagnosis of soil nutrient constraints and recommendation for lime, nitrogen and phosphorus in Thailand. Proceeding of field testing of the integrated nutrient management system (NuMaSS) in southeast asia. PhilRice, Maligaya, Nueva Eeija, Philippines.
- Bray, R. H. and L. T. Krutz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59 : 39-45
- Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity by ammonium saturation method. Method of Soil Analysis, Part2. Chemical and Microbiological Properties Amer. Soc. Agro., No.9, 57 : 894-895
- Coleman, N.T., Weed, S.B., and McCracken, R. J. 1959. Cation-exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23:146-149.
- Combs, S. W. and M. V. Nathan. 1998. Soil organic matter. In J. R. Brown (ed.) Recommended chemical soil test procedures for the north central region. North central regional research publication No. 221. pp. 53-58
- Emerson, W. W. and A. C. Bakker. 1973. The Comparative effects of exchangeable

- calcium, magnesium and sodium on some physical properties of aggregates from subsoils of red-brown earths. II Spontaneous dispersion of aggregates. Australian Journal of Soil Research 11, p. 151-157
- Eckert, D. J. 1987. Soil test interpretation. Basic cation saturation ratio and sufficiency levels. In Soil testing : Sampling, correlation, calibration and interpretations. SSSA Special Publication No. 21. p. 53-64
- Hazelton, P. and B. Murphy. 2007. Interpreting soil test results : What do all the number mean?. 2nd (ed). Department of Natural Resources. NSW. 152 p.
- Hue, N. V. and C. E. Evans. 1978. Soil testing laboratory. Procedures used by the Auburn University. USA
- Jackson, M. L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice – Hall, Inc. Englewood Clift, N.J. 498 p.
- . 1961. Structure role of hydrogen in layer silicates during soil genesis. Trans. Intern. Congr. Soil Sci. 7th Madison. Vol. II : 445-455
- Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil test and plant analysis. CRC. Press. Boca Raton.
- Kamprath, E. J. and C. D. Foy. 1971. Lime-fertilizer-plant interaction in acid soils. In Fertilizer Technology and Use. 2nd ed. Soil Sci. Am., Madison, Wisc. pp. 105-151
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. Soil Interpretation Handbook of Thailand. Department of Land Development. Ministry of Agriculture Cooperatives. Bangkok.
- Mehlich, A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. Commun. In Soil Science and Plant Analysis 9 (6) : 477-492
- Metson, A. J. 1961. Method of chemical analysis for soil survey sampling. Soil Bureau Bulletin No. 12, New Zealand Department of Scientific and Industrial Research. p. 168-175
- Murphy, J. M. and J. P. Riley. 1962. A Modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. Anable Chemical Acta. 27 : 31-36
- Olsen, S. R. and L. E. Sommer. 1982. Phosphorus. In A. L. Page et al. (ed) Method of soil anlysis. Part 2. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisc. USA. p. 403-430
- Osborne. J. F. 1985. End of assignment report on technical assistance to the acid

- sulfate soils improvement project (ASSiP). Vol. 1 . Department of Land Development. Ministry of agriculture and co-operatives. Thailand. 247 p.
- Peech, M. 1965. Soil pH by glass electrode pH meter. *Methods of Soil Analysis*. Amer. Soc. Agro. No.9. Part 2. 60:914-925.
- Peverill, K. I., L. A. Sparrow, and D. J. Reuter. 1999. *Soil analysis and interpretation manual*. Australian Soil and Plant Analysis Council Inc. 639 p.
- Pratt, P. E. 1996. Effect of pH on the cation exchange capacity of surface soils. *Soil Sci. Am. Proc.* 25 : 96-98
- Sanchez, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropics in soil acidity and liming. John Willey and Sons, New York. pp. 233-253
- Sims, J. T. 2000. Soil fertility evaluation. *In* Summer (editor in chief) *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton. pp. 113-153
- USDA. 1995. Soil survey laboratory information manual. Soil survey investigations report No. 45, Version 1.0, National soil survey center. Soil survey laboratory, Lincoln, Nebraska
- Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Sci. Amer. Proc.* 63:257.
- Watanabe, F. S. and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extract from soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29 : 677-678
- Weil, R. R. and F. Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. *In* R. R. Weil and F. Magdoff (ed.) *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC. Press, Boca Raton. pp. 1-43

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

แสดงการเปลี่ยน non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m ⁻¹	1 mS/cm = 1 dS m ⁻¹
Cation exchange capacity	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100 g = 1 cmol (+) kg ⁻¹
Anion exchange capacity	cmol (-) kg ⁻¹	1 meq/100 g = 1 cmol (-) kg ⁻¹
Exchangeable cation	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100 g = 1 cmol (+) kg ⁻¹
Mass rating	g kg ⁻¹	1% = 10 g kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 ppm = 1 mg kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 mg/100g = 10 mg kg ⁻¹
	µg kg ⁻¹	1 ppb = 1 µg kg ⁻¹
	ng kg ⁻¹	1 ppt = 1 ng kg ⁻¹
	Mass concentration	g L ⁻¹
mg L ⁻¹		1 ppm = 1 mg L ⁻¹
µg L ⁻¹		1 ppb = 1 µg L ⁻¹
ng L ⁻¹		1 ppt = 1 ng L ⁻¹
Density	Mg m ⁻³	1 g/cm ³ = 1Mg m ⁻³
Specific surface	m ² kg ⁻¹	1 m ² /g = 1000 m ² kg ⁻¹
Pressure	kPa, MPa	1 bar = 0.1 kPa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7x10 ¹⁰ Bq
Rate, Yield	kg ha ⁻¹	1 kg/10a = 10 kg ha ⁻¹
	mg ha ⁻¹	1 t/10a = 10 mg ha ⁻¹

คำอุปสรรคในหน่วย SI

คำอุปสรรค	ตัวคูณ	คำอุปสรรค	ตัวคูณ
เดซี (deci)	10 ⁻¹	เดคา (deca)	10 ¹
เซนติ (centi)	10 ⁻²	เฮกโต (hecto)	10 ²
มิลลิ (milli)	10 ⁻³	กิโล (kilo)	10 ³
ไมโคร (micro)	10 ⁻⁶	เมกะ (mega)	10 ⁶
นาโน (nano)	10 ⁻⁹	จิกะ (giga)	10 ⁹
พิโก (pico)	10 ⁻¹²	เทระ (tera)	10 ¹²
เฟมโต (femto)	10 ⁻¹⁵	เพตะ (peta)	10 ¹⁵
อัตโต (atto)	10 ⁻¹⁸	เอกซะ (exa)	10 ¹⁸
เซปโต (zepto)	10 ⁻²¹	เซตตะ (zetta)	10 ²¹
ยอกโต (yocto)	10 ⁻²⁴	ยอตตะ (yotta)	10 ²⁴

ภาคผนวกที่ 2

การเตรียมสารละลายมาตรฐานและการหาความเข้มข้นที่แน่นอน

สารละลายมาตรฐานกรดและเบสที่ใช้ในการทดลอง คือ สารละลายมาตรฐานกรดเกลือและเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ หาได้จากการไทเทรตกับสารปฐมภูมิ (primary standard solution) ของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (potassium hydrogen phthalate, KHP) และความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานกรดเกลือสามารถหาได้จากการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์อีกทีหนึ่ง

สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ เตรียมได้จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นของแข็ง ควรชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความชื้นและคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ และเมื่อละลายน้ำ ควรละลายในน้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ (เตรียมได้โดยการต้มน้ำกลั่นให้เดือด เพื่อไล่คาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 10-15 นาที แล้วเก็บไว้ให้เย็นโดยปิดฝาไว้) เมื่อเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้แล้ว ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอน โดยการไทเทรตกับสารปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

สารละลายมาตรฐานกรดเกลือเตรียมได้จากการละลายกรดเกลือเข้มข้น (ประมาณ 12 M) ลงในน้ำตามปริมาณที่เหมาะสม แล้วหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้หาความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วจากการไทเทรตกับ KHP โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์เช่นเดียวกัน ความเข้มข้นของ HCl ที่หาได้จากการไทเทรตนี้ คือความเข้มข้นที่แน่นอน สามารถนำไปใช้เป็นสารมาตรฐานต่อไปได้ (ซูติมา และ ธวัชชัย, 2534)

อุปกรณ์

- (1) เครื่องชั่ง (balance)
- (2) ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50, 100 และ 1000 mL
- (3) แท่งแก้ว (stirring rod)
- (4) กระจกตวง (cylinder) ขนาด 10, 20 และ 50 mL
- (5) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 mL
- (6) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 L
- (7) โถดูดความชื้น (desiccator)
- (8) ตู้อบ (oven)
- (9) หลอดหยดสารเคมี (dropper)
- (10) เตาควบคุมอุณหภูมิ (Hot plate)
- (11) บิวเรตต์ (Burette)

สารเคมี

- (1) 0.1 N HCl

ใช้กระจกตวงอย่างละเอียด ตวงกรดเกลือเข้มข้นมา 9 mL เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L ที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้วประมาณ 500 mL จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1 L แล้วเขย่าสารละลายในขวดให้ผสมกันอย่างทั่วถึง

(2) 0.1 N NaOH

ชั่ง NaOH อย่างรวดเร็ว 4.0 g ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือดและทิ้งไว้ให้เย็น ในบีกเกอร์ขนาด 500 mL จากนั้นเทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว จนได้ปริมาตร 1 L แล้วเขย้าสารละลายในขวดให้ผสมกันอย่างทั่วถึง

(3) Potassium hydrogen phthalate (KHP)

(4) Ethyl alcohol 95 %

(5) 1 % Phenolphthalein indicator

ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 1 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ละลายด้วย ethyl alcohol 100 mL คนด้วยแท่งแก้วให้ละลาย เก็บไว้ในขวดสีชา

1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

วิธีการ

(1) อบ potassium hydrogen phthalate (KHP) ประมาณ 4 - 5 g ในขวดชั่งสาร (weighing bottle) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนชั่ง

(2) ชั่ง KHP 0.6 - 0.7 กรัม ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 mL 3 ใบ เติมน้ำกลั่นต้มที่เย็นแล้ว 75 mL เขย้าจน KHP ละลายหมด (เพื่อหาค่าเฉลี่ยของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต)

(3) หยด Phenolphthalein indicator ลงไป 2-3 หยด

(4) ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH จากไม่มีสีจนได้สีชมพูอ่อน ซึ่งไม่จางหายไปในเวลา 20 วินาที

(5) คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอน (normality) ของ NaOH (น้ำหนักโมเลกุลของ KHP = 204.23)

การคำนวณ

น้ำหนักของ KHP = A กรัม

ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไทเทรต = B มิลลิลิตร

จำนวนโมลของ KHP = $\frac{\text{น้ำหนัก (g) ของ KHP}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของ KHP}} = \frac{A}{204.23}$

จำนวนโมลของ NaOH = จำนวนโมลของ KHP

$$\frac{M_{\text{NaOH}} \times B}{1000} = \frac{A}{204.23}$$

$$M_{\text{NaOH}} = \frac{A \times 1000}{204.23 \times B}$$

$$\text{ดังนั้น ความเข้มข้นของ NaOH} = \frac{\text{น้ำหนักของ KHP (g)} \times 1000}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของ KHP} \times \text{ปริมาตรของ NaOH (mL)}}$$

2. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl

วิธีการ

- (1) ปิเปตสารละลาย HCl 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL
- (2) หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3-5 หยด
- (3) ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH (จากข้อ 1) จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อน
- (4) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ (1) ถึง (3) อีกสองครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของปริมาตร NaOH ที่ใช้
- (5) คำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน HCl

การคำนวณ

$$\text{จำนวนโมลของ HCl} = \text{จำนวนโมลของ NaOH}$$

$$\frac{M_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}}}{1000} = \frac{M_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}}{1000}$$

$$\frac{M_{\text{HCl}} \times 25}{1000} = \frac{M_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}}{1000}$$

$$M_{\text{HCl}} = \frac{M_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}}{25}$$

$$\text{ดังนั้น ความเข้มข้นของ HCl} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ NaOH (N)} \times \text{ปริมาตรของ NaOH (mL)}}{\text{ปริมาตรของ HCl (mL)}}$$

แสดงวิธีการคำนวณในแต่ละรายการวิเคราะห์ดิน

1. การคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM)

$$\text{จากสูตร } \% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (OC) } = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 3 \times 100 \times N_c}{B \times 77 \times 1000 \times W}$$

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ (\%OM) } = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N_c}{B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W}$$

$$\text{หรือ } \% \text{ OM } = \% \text{ OC } \times 1.724$$

เมื่อ

B = ปริมาณ FeSO₄ ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (mL)S = ปริมาณ FeSO₄ ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (mL)

W = น้ำหนักดินที่ใช้ (g)

N_c = ความเข้มข้นของ K₂Cr₂O₇ (N)

วิธีคำนวณ

(1) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ FeSO₄ โดยการไทเทรตกับ blank (ปริมาตรของ K₂Cr₂O₇ ที่ไม่ใส่ตัวอย่างดิน

$$\text{จากสูตร } N_F V_b = N_C V_C$$

เมื่อ N_F = ความเข้มข้นของ FeSO₄V_b = ปริมาตรของ FeSO₄ ที่ไทเทรตกับ blank = BN_C = ความเข้มข้นของ K₂Cr₂O₇V_C = ปริมาตรของ K₂Cr₂O₇

$$\text{จะได้ } N_F = \frac{N_C V_C}{V_b} \dots\dots\dots(1)$$

(2) คำนวณ OC ในตัวอย่างดินจากปริมาณ K₂Cr₂O₇ ที่มากเกินไปทำปฏิกิริยากับ OC แล้วหาปริมาณ K₂Cr₂O₇ ที่เหลือด้วยการไทเทรตกับ FeSO₄ โดย

- มิลลิกรัมสมมูลของ K₂Cr₂O₇ ทั้งหมดที่ใช้ทำปฏิกิริยา = N_CV_C
- มิลลิกรัมสมมูลของ K₂Cr₂O₇ ที่เหลือด้วยการไทเทรตกับ FeSO₄ = N_FV_S
(V_S = ปริมาตรของ FeSO₄ ที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน = S)

ดังนั้นมิลลิกรัมสมมูลของ K₂Cr₂O₇ ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับอินทรีย์คาร์บอน (OC)

$$\text{OC} = N_C V_C - N_F V_S \dots\dots\dots(2)$$

แทนค่า N_F = N_CV_C/V_b ในสมการ (1) ลงในสมการ (2)

$$\text{OC} = N_C V_C - (N_C V_C / V_b) V_S \text{ me}$$

เปลี่ยนหน่วย me เนื่องจาก น้ำหนักสมมูลของคาร์บอน (eq. wt) = 3 และ m = 10⁻³

$$\text{โดยจำนวนกรัมสมมูล} = \frac{\text{น้ำหนัก (g)}}{\text{eq. wt. C}}$$

$$OC = [N_c V_c - (N_c V_c / V_b) V_s] \times 3/10^3 \text{ g}$$

(3) ความสามารถในการย่อยคาร์บอนด้วย $K_2Cr_2O_7$ เท่ากับ 77% ต้องเทียบเป็น 100%

แสดงว่าใน 77 g มี $OC = [N_c V_c - (N_c V_c / V_b) V_s] \times 3/10^3 \text{ g}$

ถ้า 100 g มี $OC = [N_c V_c - (N_c V_c / V_b) V_s] \times 3/10^3 \times 100/77 \text{ g}$

เปลี่ยนดิน W g ให้เป็นเปอร์เซ็นต์

ดิน W g มี $OC = [N_c V_c - (N_c V_c / V_b) V_s] \times 3/10^3 \times 100/77 \text{ g}$

ถ้าดิน 100 g มี $OC = [N_c V_c - (N_c V_c / V_b) V_s] \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$

$$\% OC = [N_c V_c - (N_c V_c / V_b) V_s] \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$$

จัดรูปแบบสมการใหม่ได้

$$\% OC = [N_c V_c - (N_c V_c / V_b) V_s] \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$$

$$\% OC = N_c V_c (1 - V_s / V_b) \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$$

$$\% OC = N_c V_c (V_b - V_s) / V_b \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$$

แทนค่า V_c เท่ากับ 10 mL

$$\text{จะได้ } \% OC = N_c 10 (V_b - V_s) / V_b \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$$

$$\% OC = 10 (V_b - V_s) / V_b N_c \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$$

(4) ในอินทรีย์วัตถุ (OM) มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) = 58 %

แสดงว่าถ้ามีปริมาณ OC 58 g จะมีปริมาณ OM = 100 g

ถ้ามี $OC = 10 (V_b - V_s) / V_b N_c \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \text{ g}$ มีปริมาณ OM =

$$10 (V_b - V_s) / V_b N_c \times 3/10^3 \times 100/77 \times 100/W \times 100/58 \text{ g}$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } \% OM = \frac{10 (V_b - V_s) \times N_c \times 3 \times 100 \times 100 \times 100}{V_b \times 1000 \times 77 \times W \times 58}$$

แทนค่า $V_b = B$ และ $V_s = S$ จะได้

$$\text{ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (\%)} = \frac{10 (B - S) \times N_c \times 3 \times 100 \times 100 \times 100}{B \times 1000 \times 77 \times W \times 58}$$

2. การคำนวณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P)

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P)} = \frac{V \times C \times df}{W} \text{ mg kg}^{-1}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

V = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้สกัด (mL)

C = ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากเครื่อง (mg L^{-1})

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

วิธีคำนวณ

ในสารละลาย 1000 mL มีฟอสฟอรัส = $C \times df$ mg

ในสารละลาย 1 mL มีฟอสฟอรัส = $\frac{C \times df}{1000}$ mg

แสดงว่าในสารละลาย 1 mL มีฟอสฟอรัส = $\frac{C \times df}{1000}$ mg

ปริมาตรสารละลายสกัดที่ใช้ V mL มีฟอสฟอรัส = $\frac{C \times df \times V}{1000}$ mg

เนื่องจากสารละลาย V mL สกัดมาจากดิน W g

แสดงว่าในดิน W g มีฟอสฟอรัส = $\frac{C \times df \times V}{1000}$ mg

ถ้าดิน 1000 g มีฟอสฟอรัส = $\frac{C \times df \times V \times 1000}{1000 \times W}$ mg

จะได้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ = $\frac{C \times V \times df}{W} \text{ mg kg}^{-1}$

3. การคำนวณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (K)

$$\text{ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (K)} = \frac{V \times C \times df}{W} \text{ mg kg}^{-1}$$

เมื่อ W = น้ำหนักดิน (g)

V = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้สกัด (mL)

C = ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากเครื่อง (mg L^{-1})

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

วิธีคำนวณ

ในสารละลาย 1000 mL มีโพแทสเซียม = $C \times df$ mg

ในสารละลาย 1 mL มีโพแทสเซียม = $\frac{C \times df}{1000}$ mg

แสดงว่าในสารละลาย 1 mL มีโพแทสเซียม = $\frac{C \times df}{1000}$ mg

ปริมาตรสารละลายสกัดที่ใช้ V mL มีโพแทสเซียม = $\frac{C \times d.f. \times V}{1000}$ mg

เนื่องจากสารละลาย V mL สกัดมาจากดิน W g

แสดงว่าในดิน W g มีโพแทสเซียม = $\frac{C \times df \times V}{1000}$ mg

ถ้าในดิน 1000 g มีโพแทสเซียม = $\frac{C \times df \times V \times 1000}{1000 \times W}$ mg

จะได้ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ = $\frac{C \times V \times df}{W} \text{ mg kg}^{-1}$

4. การคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

จาก

$$\text{ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน} = \frac{(V_T - V_B) N \times 100 \text{ me}/100 \text{ g}}{W}$$

เมื่อ V_T = ปริมาตรของ HCl ที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

V_B = ปริมาตรของ HCl ที่ไทเทรตกับ blank (mL)

N = ความเข้มข้นของกรด HCl (N)

W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

วิธีคำนวณ

$$\text{จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ } \text{NH}_4^+ = (V_T - V_B) N \text{ me}$$

ในดิน W g มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน = $(V_T - V_B) N \text{ me}$

$$\text{ถ้าดิน } 100 \text{ g มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน} = \frac{(V_T - V_B) N \times 100 \text{ me}/100 \text{ g}}{W}$$

ดังนั้น

$$\text{ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน} = \frac{(V_T - V_B) N \times 100 \text{ me}/100 \text{ g}}{W}$$

หมายเหตุ : หน่วย $\text{me}/100 \text{ g} = \text{cmol kg}^{-1}$

5. การคำนวณปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. bases)

(1) ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

$$= \frac{C \times V \times df \times 2}{W \times 10 \times MW \text{ Ca หรือ Mg}} \text{ me/100 g}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g) C = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง (mg L^{-1}) V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลาย (mL) df = จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลาย

วิธีคำนวณ

สารละลาย 1000 mL มีปริมาณแคลเซียม = $C \times df$ mgปริมาตรสุดท้ายของสารละลาย V mL มีปริมาณแคลเซียม = $\frac{C \times V \times df}{1000}$ mgซึ่งดินมา W g มีปริมาณแคลเซียม = $\frac{C \times V \times df}{1000}$ mgถ้าดิน 100 g มีปริมาณแคลเซียม = $\frac{C \times V \times df \times 100}{1000 \times W}$ mg/100 g

การเปลี่ยนหน่วย mg/100 g เป็นหน่วย me/100 g

 MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Ca หรือ Mgน้ำหนักสมมูลของ Ca หรือ Mg = $MW/2$ จำนวนกรัมสมมูลของ Ca หรือ Mg = g (กรัม) / ($MW/2$)

$$\begin{aligned} \text{ในดิน 100 g มีปริมาณแคลเซียม} &= \frac{C \times V \times df}{10 W} \text{ mg} \\ &= \frac{C \times V \times df \times 1}{10W \times MW/2} \text{ me} \\ &= \frac{C \times V \times df \times 2}{10W \times MW} \text{ me} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ = $\frac{C \times V \times df \times 2}{W \times 10 \times MW}$ me/100gหมายเหตุ : การคำนวณปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก็คำนวณได้เช่นเดียวกัน
(หน่วย me/100 g = cmol kg^{-1})

(2) ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

$$= \frac{C \times V \times df}{W \times 10 \times MW \text{ Na หรือ K}} \text{ me/100 g}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)
 C = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง (mg L^{-1})
 V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลาย (mL)
 df = จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลาย

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{สารละลาย 1000 mL มีปริมาณโซเดียม} &= C \times d.f. \text{ mg} \\ \text{ถ้าสารละลาย V mL มีปริมาณโซเดียม} &= \frac{C \times V \times df}{1000} \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\text{ซึ่งดินมา W g มีปริมาณโซเดียม} = \frac{C \times V \times df}{1000} \text{ mg}$$

$$\text{ถ้าดิน 100 g มีปริมาณโซเดียม} = \frac{C \times V \times df \times 100}{1000 \times W} \text{ mg/100 g}$$

การเปลี่ยนหน่วย mg/100 g เป็นหน่วย me/100 g

MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Na หรือ K

น้ำหนักสมมูลของ Na หรือ K = MW

จำนวนกรัมสมมูลของ Na หรือ K = $\text{g (กรัม)} / MW$

$$\begin{aligned} \text{ในดิน 100 g มีปริมาณโซเดียม} &= \frac{C \times V \times df}{10W} \text{ mg} \\ &= \frac{C \times V \times df \times 1}{10 W \times MW} \text{ me} \\ &= \frac{C \times V \times df}{10 W \times MW} \text{ me} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้} = \frac{C \times V \times df}{W \times 10 \times MW} \text{ me/100 g}$$

หมายเหตุ : การคำนวณปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก็คำนวณได้เช่นเดียวกัน
 (หน่วย me/100 g = cmol kg^{-1})

6. การคำนวณความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (EA)

1. วิธี BaCl₂

$$\text{จาก ความเป็นกรดของดินที่แลกเปลี่ยนได้} = \frac{(V_B - V_S) N}{W} \times 100 \text{ me/100g}$$

เมื่อ V_B = ปริมาตรของ HCl ที่ไทเทรตกับ blank (mL)

V_S = ปริมาตรของ HCl ที่ไทเทรตกับตัวอย่าง (mL)

N = ความเข้มข้นของ HCl (N)

W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

วิธีคำนวณ

สารละลาย 100 mL มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ = $(V_B - V_S) N$ มิลลิกรัมสมมูล (me)

น้ำหนักดินที่ใช้ W g มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ = $(V_B - V_S) N$ มิลลิกรัมสมมูล (me)

ดังนั้น

ในดิน W g มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ = $(V_B - V_S) N$ me

$$\text{ถ้าดิน 100 g มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้} = \frac{(V_B - V_S) N}{W} \times 100 \text{ me}$$

$$\text{ดังนั้น ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (EA}_{BaCl_2}) = \frac{(V_B - V_S) N \times 100}{W} \text{ me/100 g}$$

2. วิธี 1 N KCl

2.1 EA_{KCl}

$$\text{จาก ความเป็นกรดของดินที่แลกเปลี่ยนได้} = \frac{(V_S - V_B) N}{W} \times 100 \text{ me/100g}$$

เมื่อ V_B = ปริมาตรของ NaOH ที่ไทเทรตกับ blank (mL)

V_S = ปริมาตรของ NaOH ที่ไทเทรตกับตัวอย่าง (mL)

N = ความเข้มข้นของ NaOH (N)

W = น้ำหนักตัวอย่างดิน (g)

วิธีคำนวณ

สารละลาย 100 mL มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ = $(V_S - V_B) N$ มิลลิกรัมสมมูล (me)

น้ำหนักดินที่ใช้ W g มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ = $(V_S - V_B) N$ มิลลิกรัมสมมูล (me)

ดังนั้น

ในดิน W g มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ = $(V_S - V_B) N$ me

$$\text{ถ้าดิน 100 g มีความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้} = \frac{(V_S - V_B) N}{W} \times 100 \text{ me}$$

$$\text{ดังนั้น ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (EA}_{KCl}) = \frac{(V_S - V_B) N \times 100}{W} \text{ me/100g}$$

2.2 exch. Al³⁺

$$\text{จากสูตรอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exch. Al}^{3+}) = \frac{C \times N \times 100}{W} \text{ me/100g}$$

เมื่อ C = ปริมาตรของ HCl (mL)

N = ความเข้มข้นของ HCl (N)

W = น้ำหนักดิน (g)

วิธีคำนวณ

$$\text{อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exch. Al}^{3+}) = C \times N \text{ me}$$

แสดงว่าในสารละลาย 100 mL มี exch. Al³⁺ = C × N me

ดังนั้น

$$\text{ในดิน } W \text{ g มี exch. Al}^{3+} = C \times N \text{ me}$$

$$\text{ถ้าดิน } 100 \text{ g มี exch. Al}^{3+} = \frac{C \times N}{W} \times 100 \text{ me}$$

$$\text{อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Al}^{3+}) = \frac{C \times N}{W} \times 100 \text{ me/100 g}$$

2.3 exch. H⁺

วิธีคำนวณ

ไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้ = ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ - อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้

$$\text{Exch. H}^+ = \text{EA}_{\text{KCl}} - \text{exch. Al}^{3+}$$

หมายเหตุ : หน่วย me/100 g = cmol kg⁻¹

7. การคำนวณปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Al)

จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้} &= \frac{C \times V_2 \times B}{V_1 \times W} \text{ mg/kg} \\ &= \frac{C \times V_2 \times B \times 3}{V_1 \times W \times 10MW} \text{ me/100 g} \end{aligned}$$

เมื่อ W = น้ำหนักดิน (g) B = ปริมาตรสารละลายสกัด (mL) V_1 = ปริมาตรสารละลายที่ดูดมาใช้ (mL) V_2 = ปริมาตรสารละลายสุดท้าย (mL) C = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง (mg L^{-1})

วิธีคำนวณ

สารละลาย 1000 mL มีปริมาณอะลูมิเนียม (Al) = C mgปริมาตรสารละลายสุดท้าย V_2 mL มีปริมาณอะลูมิเนียม (Al) = $\frac{C \times V_2}{1000}$ mgปิเปตต์สารละลายมา V_1 mL มีปริมาณอะลูมิเนียม (Al) = $\frac{C \times V_2}{1000}$ mgสารละลายสกัดที่ใช้ B mL มีปริมาณอะลูมิเนียม (Al) = $\frac{C \times V_2 \times B}{1000 \times V_1}$ mgซึ่งตัวอย่างดินมา W g มีปริมาณอะลูมิเนียม (Al) = $\frac{C \times V_2 \times B}{1000 \times V_1}$ mgถ้าดิน 100 g มีปริมาณอะลูมิเนียม (Al) = $\frac{C \times V_2 \times B \times 100}{1000 \times V_1 \times W}$ mg/100 g

การเปลี่ยนหน่วย mg/100 g เป็นหน่วย me/100 g

 MW = น้ำหนักโมเลกุลของอะลูมิเนียม (Al) = 26.982น้ำหนักสมมูลของ Al = $MW/3$ จำนวนกรัมสมมูลของ Al = g (กรัม) / ($MW/3$)

$$\begin{aligned} \text{ในดิน 100 g มีปริมาณอะลูมิเนียม (Al)} &= \frac{C \times V_2 \times B}{10V_1 \times W} \text{ mg} \\ &= \frac{C \times V_2 \times B \times 1}{10V_1 \times W \times (MW/3)} \text{ me} \\ &= \frac{C \times V_2 \times B \times 3}{10V_1 \times W \times MW} \text{ me} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ = $\frac{C \times V_2 \times B \times 3}{10V_1 \times W \times MW}$ me/100 gหมายเหตุ : หน่วย me/100 g = cmol kg^{-1}

ภาคผนวกที่ 4

น้ำหนักอะตอมของธาตุ

International Atomic Weights

Element	Symbol	Atomic number	Atomic weight	Element	Symbol	Atomic number	Atomic weight
Actinium	Ac	89	(227)	Mercury	Hg	80	200.59
Aluminum	Al	13	26.9815	Molybdenum	Mo	42	95.94
Americium	Am	95	(243)	Neodymium	Nd	60	144.24
Antimony	Sb	51	121.75	Neon	Ne	10	20.183
Argon	Ar	18	39.948	Neptunium	Np	93	(237)
Arsenic	As	33	74.9216	Nickle	Ni	28	58.70
Astatine	At	85	(210)	Niobium	Nb	41	92.906
Barium	Ba	56	137.34	Nitrogen	N	7	14.0067
Berkelium	Bk	97	(247)	Nobelium	No	102	(254)
Beryllium	Be	4	9.0122	Osmium	Os	76	190.2
Bismuth	Bi	83	208.980	Oxygen	O	8	15.9994
Boron	B	5	10.811	Palladium	Pd	46	106.4
Bromine	Br	35	79.909	Phosphorus	P	15	30.9738
Cadmium	Cd	48	112.40	Platinum	Pt	78	195.09
Calcium	Ca	20	40.08	Plutonium	Pu	94	(244)
Californium	Cf	98	(249)	Polonium	Po	84	(210)
Carbon	C	6	12.01115	Potassium	K	19	39.102
Cerium	Ce	58	140.12	Praseodymium	Pr	59	140.907
Cesium	Cs	55	132.905	Promethium	Pm	61	(145)
Chlorine	Cl	17	35.453	Protactinium	Pa	91	(231)
Chromium	Cr	24	51.996	Radium	Ra	88	(226)
Cobalt	Co	27	58.9332	Radon	Rn	86	(222)
Copper	Cu	29	63.54	Rhenium	Re	75	186.2
Curium	Cm	96	(245)	Rhodium	Rh	45	102.905
Dysprosium	Dy	66	162.50	Rubidium	Rb	37	85.47
Einsteinium	Es	99	(254)	Ruthenium	Ru	44	101.07
Erbium	Er	68	167.26	Samarium	Sm	62	150.35
Europium	Eu	63	151.96	Scandium	Sc	21	44.956
Fermium	Fm	100	(252)	Selenium	Se	34	78.96
Fluorine	F	9	18.9984	Silicon	Si	14	28.086
Francium	Fr	87	(223)	Silver	Ag	47	107.870
Gadolinium	Gd	64	157.25	Sodium	Na	11	22.9898
Gallium	Ga	31	69.72	Strontium	Sr	38	87.62
Germanium	Ge	32	72.59	Sulfur	S	16	32.064
Gold	Au	79	196.967	Tantalum	Ta	73	180.948
Hafnium	Hf	72	178.49	Technetium	Tc	43	(99)
Helium	He	2	4.0026	Tellurium	Te	52	127.60
Holmium	Ho	67	164.930	Terbium	Tb	65	158.924
Hydrogen	H	1	1.00797	Thallium	Tl	81	204.37
Indium	In	49	114.82	Thorium	Th	90	232.038
Iodine	I	53	126.9044	Thulium	Tm	69	168.934
Iridium	Ir	77	192.2	Tin	Sn	50	118.69
Iron	Fe	26	55.847	Titanium	Ti	22	47.90
Krypton	Kr	36	83.80	Tungsten	W	74	183.85
Lanthanum	La	57	138.91	Uranium	U	92	238.03
Lawrencium	Lw	103	(257)	Vanadium	V	23	50.942
Lead	Pb	82	207.19	Xenon	Xe	54	131.30
Lithium	Li	3	6.942	Ytterbium	Yb	70	173.04
Lutetium	Lu	71	174.97	Yttrium	Y	39	88.905
Magnesium	Mg	12	24.312	Zinc	Zn	30	65.37
Manganese	Mn	25	54.9380	Zirconium	Zr	40	91.22
Mendelevium	Mv	101	(256)				

