

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางเคมีและฟิสิกส์

การวิเคราะห์ไนโตรเจนรวม(Total Nitrogen)ในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง

ในงานทดลองทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนรวม(Total Nitrogen)ในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง เพื่อดูปริมาณของไนโตรเจนรวม ที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งปริมาณของไนโตรเจนรวมดังกล่าว เป็นผลมาจากสารประกอบที่อยู่ภายในเซลล์ของจุลชีพที่ถูกแยกออกมาจากลานตากตะกอนก่อนทำการเก็บมาศึกษา

วิธีที่ใช้วิเคราะห์ไนโตรเจนรวมในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียใช้วิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนรวมในดิน ซึ่งปกติวิธีการวิเคราะห์จะมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีเจล์ดาล์ (Kjeldahl method) เป็นวิธีการออกซิเจนแบบเปียก (Wet Oxidation proceduce) และวิธีดุมัส (Dumas method) ซึ่งเป็นวิธีการออกซิเดชันแบบแห้ง (Dry Oxidation) เช่นการเผา (Combustion) แต่ในการทดลองนี้ใช้วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวมในดิน มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวมในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง

หลักการ

ในออกซิเดชันแบบเปียก ในวิธีการของเจล์ดาล์ไนโตรเจนรวมในตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนียม (Ammonium ;NH_4^+) โดยการย่อยสลาย (Digestion) ด้วยกรดกำมะถัน (Sulfuric acid conc)ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาต่างๆ จากนั้นทำการกลั่น NH_4^+ ด้วยด่างจะได้แอมโมเนีย (NH_3)แล้วหาปริมาณแอมโมเนียที่ได้ด้วยการไทเทรต (Titrate) กับกรด ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่น่าพอใจสำหรับการหาปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในตัวอย่างการเตรียมตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย

ตะกอนน้ำเสียที่ถูกเก็บรวบรวมมาจากลานตากตะกอน+ของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลชุมชนต่างๆ ในอำเภอในจังหวัดขอนแก่น ก่อนนำมาผึ่งให้แห้งโดยเกลี่ยตากไว้บนฝ้ายางในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาตำในครกหินจนละเอียดจากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.5 มม. ซึ่งเป็นตะแกรงวิเคราะห์ นำตัวอย่างที่ร่อนได้มาใส่ไว้ในขวดพลาสติกปิดฝาให้แน่น เพื่อเตรียมวิเคราะห์ต่อไป

อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณของไนโตรเจนรวมในดิน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนที่ใช้เตรียมสารเคมี ส่วนที่ใช้ในการย่อยสลาย (Digestion Unit)และส่วนที่ใช้ในการกลั่น (Distillation Unit) ประกอบด้วย

ส่วนที่ใช้ในการเตรียมสารเคมี

1. ชุดเครื่องแก้วต่างๆเช่น ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) บีกเกอร์ (Beaker) หลอดดูดสารละลาย (pipet) ขนาดต่างๆ กรวยแก้ว ขวดตวงสารละลาย (Volumetric flask)
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งสำหรับชั่งสารเคมี

ส่วนที่ใช้ย่อยสลาย

1. เครื่องเขย่า
2. ชุดกลั่นของไนโตรเจน (Distillation Apparatus) พร้อมหลอดกลั่น

ส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. บิวเรตแบบละเอียด (Thicroburette 6 0.001 มิลลิลิตร)
2. ขวดรูปชมพู่
3. ขวดพลาสติก
4. กระดาษกรองเบอร์ 5
5. หลอดดูดสารละลายชนิดวัดปริมาตรได้ (Volumetric pipet)

สารเคมีและสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

Boric acid Indication

โดยการละลาย H_3BO_3 (Boric acid) ชนิด AR grade ในน้ำร้อนประมาณ $80^{\circ}C$ ประมาณ 600 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้จนเย็นและละลาย Brom cresol green จำนวน 0.495 กรัม กับ Methyl red จำนวน 0.330 กรัม ใน 95 % Ethanol Absolute จำนวน 500 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลาย Boric acid ลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร แล้วเติมสารละลาย Bromcresol green กับ Methyl red ลงไป 40 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปจนปริมาตรเป็น 1800 มิลลิลิตร คนสารละลายทั้งสองให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคนสารและต่อจากนั้นค่อยๆเติมสารละลาย 0.01 N NaOH ลงไปจนกระทั่งสารละลายมีค่า pH เป็น 5.0 จึงเทลงขวดปริมาตร 2 ลิตร อย่างระมัดระวัง ก่อนปรับให้ปริมาตรเป็น 2000 มิลลิลิตรและเก็บสารละลายไว้ในที่ปลอดภัย

40 % Sodium Hydroxide Solution

โดยการละลาย NaOH จำนวน 400 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มแล้วปล่อยให้เย็นจำนวน 1 ลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 2 – 3 วัน ให้สารละลายตกตะกอนเฉพาะส่วนที่ใสของสารละลายลงในขวดพลาสติกที่สะอาดหรือขวดแก้วที่มีฝาเป็นสารจำพวก Polyethelene.

1. Standard 0.005 N H_2SO_4
2. Catalyst Mixture

โดยเตรียมจาก K_2SO_4 (Potassium Sulfate) $CuSO_4$ (Copper Sulfate) และ Se

(Selenium Metal)

ซึ่งใช้สัดส่วนการผสมดังนี้คือ

- | | | | |
|-------------|-------|-----|------|
| - K_2SO_4 | จำนวน | 100 | ส่วน |
| - $CuSO_4$ | จำนวน | 10 | ส่วน |
| - Se | จำนวน | 1 | ส่วน |

บดผสมกันโดยโกร่ง เมื่อแห้งและผสมกันดีแล้วให้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เก็บใส่ขวดสะอาดปิดให้มิดชิด

1. Standard 100 ppm – $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

โดยการละลาย Ammonium sulfate $[(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4]$ ที่อบแห้งแล้วในน้ำกลั่น ปริมาณเป็น 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 การย่อยตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งที่เตรียมไว้จำนวน 1 กรัม ใส่ลงใน Kjeldahl flask 100 มิลลิลิตร ที่ใช้ในการบรรจุตะกอนน้ำเสียตัวอย่าง จากนั้นเติม Catalyst mixture จำนวน 1 กรัม และเติม K_2SO_4 เข้มข้นลงไปจำนวน 10 มิลลิลิตรนำไปย่อยสลายบนเตาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูง ในขณะที่ทำการย่อยสลายนี้ต้องทำการหมุน Flask ทุก 20 นาที เพื่อให้มีการคลุกเคล้าอย่างดี เมื่อสีของ ของเหลวเริ่มใสให้ย่อยสลายต่อไปอีกประมาณ 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปกลั่นต่อไปและจะต้องทำ blank ร่วมมากับตัวอย่างด้วย

ขั้นตอนที่ 2 การกลั่นหาแอมโมเนีย

ดูดสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายตะกอนน้ำเสียจำนวน 5 มิลลิลิตร ด้วยหลอดดูดสารละลายชนิดวัดปริมาตรได้ ลงในขวดกลั่น (Distillation flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม 40 % NaOH Solution ลงไป 5 มิลลิลิตร ล้างรอบคอขวดด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย จากนั้นนำมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่นทำการกลั่น โดยใช้ Boric acid Indicator ที่เตรียมไว้ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 5 มิลลิลิตร สำหรับเป็นตัวจับแอมโมเนีย (NH_3) ที่เกิดขึ้นจากการกลั่น (โดยนำขวดรูปชมพู่ต่อเข้ากับก้านของ Condensor และพยายามให้ใกล้กับปลายก้านมากที่สุดเท่าที่จะทำได้กลั่นไปเรื่อยๆจนกว่าสารละลายที่กลั่นได้มีปริมาตร 35 มิลลิลิตร (ประมาณ 5 นาที) สิ่งที่กลั่นได้จะมีอุณหภูมิประมาณ 35°C จากนั้นนำมาไทเตรต (Titrate) กับ Standard 0.005 N H_2SO_4 Solution จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมแดงหรือสีเดิมนของสารละลาย H_3BO_3 ก่อนทำการกลั่น จดปริมาตร 0.005 N H_2SO_4 ที่ใช้ไป เพื่อคำนวณหาปริมาตรไนโตรเจนต่อไป

ในระหว่างทำการกลั่นจะต้องทำการกลั่น Standard 10 ppm NH_4^+ เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ recovery ของเครื่องกลั่นซึ่งเครื่องที่ใช้กลั่นนี้มีเปอร์เซ็นต์ recovery ระหว่าง 98.00 – 99.5 %

วิธีการคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนตัวอย่าง

กรณีของตัวอย่างตะกอนน้ำเสียจากโรงพยาบาลชุมชนพระยีนใช้ตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย จำนวน 1 กรัม ย่อยสลายเป็น 100 มิลลิลิตร(ml) ทำในสารละลายที่ย่อยได้ไปกลั่นจำนวน

2 ml ใช้กรดมาตรฐาน 0.005 N H₂SO₄ สารละลายที่กลั่นได้จากตัวอย่างเท่ากับ 12.340 มิลลิเมตรและใช้กรดมาตรฐาน 0.005 N H₂SO₄ ในการไตเตรด blank เท่ากับ 0.315 ml

$$\begin{aligned} \therefore \text{ใช้ } 0.005 \text{ N H}_2\text{SO}_4 \text{ กับตัวอย่าง} &= 12.340 - 0.315 \\ &= 12.025 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือใช้ H}_2\text{SO}_4 &= 12.025 \times 0.005 \text{ me} \\ &= 0.060 \text{ me} \end{aligned}$$

$$\text{แสดงว่า 2 ml ของตัวอย่างใช้ H}_2\text{SO}_4 = 0.060 \text{ me}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้า 100 ml ของตัวอย่างใช้ H}_2\text{SO}_4 &= 0.060 \times 100 / 2 \\ &= 3 \text{ me} \end{aligned}$$

$$\text{หมายความว่าตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย 1 gm มี Total - N} = 3 \text{ me}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย 100 gm มี Total - N} &= 3 \times 100 \\ &= 300 \text{ me} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ } 300 \text{ me} \times 14 / 1000 = 4.2 \%$$

$$\therefore \text{ ในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห่งนี้ไนโตรเจนทั้งหมด} = 4.2 \%$$

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (ไนเตรด ; NO_3) และแอมโมเนีย ; NH_4)

การศึกษาความเป็นประโยชน์ของตะกอนน้ำเสียแห่งจากโรงพยาบาล โดยการศึกษาปริมาณของไนโตรเจนรวม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สลับซับซ้อน อีกทั้งมักจะไม่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปเป็นวัสดุบำรุงดินและปุ๋ยเพราะความเป็นประโยชน์ต่อพืชมีค่าต่ำมาก แต่ถ้าในกระบวนการหมักเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งได้แก่ แอมโมเนียมและไนเตรดโดยกระบวนการ mineralization ความเป็นประโยชน์ของตะกอนน้ำเสียก็จะเกิดขึ้นเพราะพืชจะสามารถนำไนโตรเจนในรูปดังกล่าวมาใช้ได้

ไนเตรดเป็นผลผลิตสุดท้าย (end point) ของกระบวนการ mineralization โดยปกติไนเตรดจะเกิดอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียมในดิน การหาไนเตรดในดินที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งก็เพื่อนำไปเกี่ยวข้องกับ การตอบสนองของพืช ในดินที่อุดมสมบูรณ์มีอินทรีย์วัตถุพอประมาณไม่มากจนเกินไป และมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic matter) จะเปลี่ยนมาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนประมาณ 1 – 4 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดหรือเทียบเท่ากับการเกิดไนเตรดประมาณ 1 – 2 ส่วน ในล้านส่วนแต่ปริมาณไนเตรดในดินจะมีค่าไม่ค่อยคงที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล

การหาปริมาณไนเตรดในดินมีอยู่หลายวิธี เช่น การเทียบสีโดยเทคนิคของ phenoldisulfomic acid และวิธีของ distillation แต่ในการทดลองนี้เลือกใช้วิธีการของ distillation เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งวิเคราะห์ละเอียด 3 ตำแหน่ง
2. เครื่องเขย่า
3. ชุดกลั่นหาไนโตรเจน (distillation Apparatus) พร้อมหลอดกลั่น
4. Microburette K 0.001 ml
5. Erlenmeyer Flask ขนาด 125 ml พร้อมจุกยางสะอาด
6. Volumetric pipette 10 ml
7. Volumetric pipette 5 ml
8. ขวดพลาสติกสะอาดสำหรับเก็บสารละลาย
9. กรวยกรองพร้อมกระดาษกรองเบอร์ 5

สารเคมีและสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. 2M Potassium Chloride Solution
โดยการละลาย KCl (Potassium Chloride) ชนิด AR grade จำนวน

149.12 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 600 มิลลิลิตร เมื่อสารนั้นละลายหมดให้ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

2. Mixed Indicator

โดยการละลาย Bromocresol Green จำนวน 0.495 กรัมและ Methyl Red จำนวน 0.33 กรัมใน Ethanol Absolute จำนวน 500 มิลลิลิตร

3. 2 % Boric Acid Indicator

โดยการละลาย H_3BO_3 (Boric Acid) ชนิด AR grade จำนวน 40 กรัม ในน้ำร้อนประมาณ $80\text{ }^{\circ}C$ ปริมาณ 600 มิลลิลิตร คนให้สารละลายหมดแล้วเติมน้ำให้ได้ ปริมาตร 1800 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายเย็นเท่าอุณหภูมิห้องให้เติม Mix Indicator ลงไป 40 มิลลิลิตร จากนั้นปรับสีของสารละลายให้เป็นสีม่วงอมแดงโดยใช้ 1 N. NaOH (สารละลายมีค่า $pH = 5.0$) แล้วจึงปรับปริมาตรทั้งหมดให้เป็น 2000 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันเก็บในภาชนะที่ สะอาด

4. Devada alloy

5. Magnesium Oxide ที่เผาที่อุณหภูมิ $550\text{ }^{\circ}C$ ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง

6. Standard 100 ppm – NH_4^+

โดยการละลาย $(NH_4)_2SO_4$ Ammonium Sulfate จำนวน 0.4719 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ $60\text{ }^{\circ}C$ จำนวน 1 ลิตร

7. Standard 0.005 N H_2SO_4

วิธีวิเคราะห์

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสกัดและขั้นตอนการวิเคราะห์หาแอมโมเนียม ตะกอนน้ำเสียโดยการกลั่น

ขั้นตอนการสกัด (Extracting) โดยการชั่งตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งจำนวน 5 gm ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมน้ำยาสกัด 2 M Kel (Potassium Chloride) จำนวน 50 ml ด้วย Volumetric pipet ปิดจุกแล้วเขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 เก็บสารละลาย (aliquot) ลงในขวดพลาสติก เพื่อรอการวิเคราะห์หาแอมโมเนียมและไนเตรดต่อไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์หา แอมโมเนียมและไนเตรด เป็นขั้นตอนการกลั่น aliquot เพื่อดูปริมาณของสารดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้

1. การกลั่นหาแอมโมเนีย

ดูด aliquot ด้วย Volumetric pipet ขนาด 10 ml ลงในขวดกลั่น (Distillation flask) ขนาด 100 ml เติมน้ำ Magnesium Oxide ลงไป 0.2 gm นำไปต่อกับชุดกลั่น ไนโตรเจนนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นใช้ Boric acid Indicator ที่บรรจุอยู่ในขวดชมพู่ขนาด 125 ml เป็นตัวจับแอมโมเนียที่เกิดจากการกลั่น (Distilled) จนกระทั่งได้สารละลายมีปริมาตร 50

ml ซึ่งสารละลายที่กลั่นได้นี้มีอุณหภูมิประมาณ 40 °C จากนั้นนำสารละลายไป Titrate กับ 0.005 N H₂SO₄ จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ไป เพื่อคำนวณหาปริมาณแอมโมเนีย

2. การกลั่นหาไนเตรด

นำขวดรูปชมพู่ที่ 5 ml ของ Boric acid Indicator ไปใหม่รองรับแทนใบเก่าซึ่งกลั่นหาแอมโมเนีย จากนั้นเติม Devada Alloy จำนวน 0.2 gm กับ Magnesium Oxide จำนวน 0.2 gm ลงไปในขวดกลั่นที่กลั่นหาแอมโมเนียแล้ว (ควรให้ขวดกลั่นเย็นก่อน) กลั่นต่อไป เพื่อเก็บไนเตรดที่เกิดขึ้นจนได้สารละลายที่กลั่นได้ประมาณ 50 ml นำสารละลายนั้นมา Titrate กับ 0.005 N H₂SO₄ จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ไป เพื่อคำนวณหาไนเตรด

การคำนวณหาแอมโมเนียและไนเตรด

แอมโมเนีย

ตัวอย่าง ตะกอนน้ำเสีย 5 gm สกัดด้วยสารสกัดเป็น 50 ml นำไปกลั่น 2 ml ใช้กรด H₂SO₄ 0.005 N Titrate ตัวอย่างเท่ากับ 3.100 ml ใช้กรด H₂SO₄ 0.005 N Titrate blank เท่ากับ 0.250 ml

$$\text{ดังนั้นใช้กรด H}_2\text{SO}_4 \text{ 0.005 N ไปเท่ากับ } 3.100 - 0.250 \text{ ml}$$

$$= 2.850 \text{ ml}$$

$$\text{หรือ ใช้ H}_2\text{SO}_4$$

$$= 2.850 \text{ ml H 0.005 N}$$

$$= 0.01425 \text{ me}$$

แสดงว่า 2 ml ของ aliquot ใช้ H₂SO₄

$$= 0.01425 \text{ me}$$

ถ้า 50 ml ของ aliquot ใช้ H₂SO₄

$$= 0.01425 \text{ H } 50 / 2$$

$$= 0.3565 \text{ me}$$

หมายความว่าตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง 5 gm มี NH₄

$$= 0.3565 \text{ me}$$

ถ้าตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง 100 gm มี NH₄

$$= 0.3565 \text{ H } 100 / 5$$

$$= 7.125$$

หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$$= 7.125 \text{ H } 14 / 1000$$

แสดงว่าตัวอย่างสลัดจ์แห้งมีแอมโมเนีย

$$= 0.09 \%$$

$$= 900 \text{ ppm}$$

ตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง 5 gm สกัดด้วยสารสกัดเป็น 50 ml นำไปกลั่น 2 ml ใช้กรด H₂SO₄ 0.005 N ในการ Titrate ตัวอย่างเท่ากับ 4.900 ml และใช้กรด H₂SO₄ 0.005 N ในการ Titrate blank เท่ากับ 0.282 ml

$$\text{ดังนั้นใช้กรด H}_2\text{SO}_4 \text{ 0.005 N ไปเท่ากับ}$$

$$= 4.900 - 0.282 \text{ ml}$$

$$= 4.618 \text{ ml}$$

หรือใช้ H_2SO_4	= 4.618 ml H 0.005 N
	= 0.023 me
แสดงว่า 2 ml ของ aliquot ใช้ H_2SO_4	= 0.023 me
ถ้า 50 ml ของ aliquot ใช้ H_2SO_4	= 0.023H 50 / 2
	= 0.577 me
หมายความว่าตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง 5 gm มี NO_3^-	= 0.577 me
ถ้าตัวอย่างสลัดจ์แห้ง 100 gm มี NO_3^-	= 0.577 H 100 / 5
	= 11.54 me
หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	= 11.54 H 14 / 1000
	= 0.162 %
แสดงว่าตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งมีไนเตรด	= 0.162 %
	= 1620 ppm

การหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง

หลักการ

ในการหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) มีอยู่หลายวิธี แต่ในการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เลือกใช้วิธีการเทียบสี ซึ่งเหมาะสมกับอุปกรณ์และแรงงานที่มีอยู่

ฟอสฟอรัสในดินมีหลายรูปถ้าจะแยกเป็นพวกจะสามารถแยกได้เป็น 2 พวกคือพวกที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์พวกหนึ่งและพวกที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์อีกรูปหนึ่ง แต่พืชจะสามารถนำฟอสฟอรัสมาใช้ได้ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ได้เท่านั้น ดังนั้นถ้าฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ก็จำเป็นที่จะต้องมีการบวนการใด ๆ มาเปลี่ยนฟอสฟอรัสในรูปดังกล่าวให้มาอยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ เสียก่อน ฟอสฟอรัสที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของแร่ต่าง ๆ เช่น Apatite Viviantite Wavellite ซึ่งเป็นแร่ปฐมภูมิ หรือบางทีก็อยู่ในรูปของแร่ทุติยภูมิและบางทีก็อยู่ในรูปสารประกอบอิสระ (free compound) หรืออยู่ในรูปของ Ferrous Oxide หรือ Aluminum Oxide ซึ่งฟอสฟอรัสในรูปของสารประกอบอนินทรีย์เหล่านี้อยู่ในสภาพสมดุลกับฟอสเฟตไอออนที่อยู่ในสารละลายดินสารประกอบอนินทรีย์ ฟอสฟอรัสส่วนมากจะละลายน้ำได้น้อยมาก และปริมาณสารละลายจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารและความเป็นกรดเป็นด่างของระบบ เช่น Ferrous phosphate หรือ Aluminium phosphate พบมีมากถ้าดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด แต่รูปแบบดังกล่าวจะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นต่างตรงข้ามกับ Calcium Phosphate ที่พบในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลางหรือเป็นด่าง แต่จะละลายได้ดีในดินที่เป็นกรด

ปกติการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในดินทำได้ยาก เพราะไม่ทราบชนิดของสารประกอบในดินนั้นว่าเป็นชนิดใด อีกทั้งฟอสฟอรัสเป็นสารที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยามากถ้าหากสภาพแวดล้อมหรือ pH ผิดไปเล็กน้อย สารประกอบนั้นจะเปลี่ยนไปเป็นอีกสารประกอบหนึ่งทันที

ในการศึกษาปริมาณของฟอสฟอรัสที่อยู่ตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งนั้น ส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสมาจากองค์ประกอบของของเหลวภายในเซลล์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส เมื่อทำการหมักด้วยกระบวนการทางชีวภาพอันเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ จะเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้มาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสอิสระในสารละลายดินได้ ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งจึงเลือกวิธีทำให้เกิดสีแล้วเปรียบเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งวิเคราะห์ละเอียด 3 ตำแหน่ง
2. เครื่องเขย่า

3. เครื่อง spectrophotometer
4. Erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร (ml)
5. Volumetric pipet 25 มิลลิลิตร(ml)
6. Volumetric pipet 10 มิลลิลิตร (ml)
7. Volumetric pipet 5 มิลลิลิตร (ml)
8. Volumetric pipet 2 มิลลิลิตร (ml)
9. Volumetric pipet 1 มิลลิลิตร (ml)
10. กรวยแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร(mm)
11. กระจกกรองเบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 cm
12. ขวดพลาสติกเก็บสารละลาย

สารเคมีและสารละลาย

สารเคมีและสารละลายสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มี 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นส่วนที่เป็นน้ำยาสกัด (Extraction) และส่วนที่ใช้ในการทำให้เกิดสี (Develop Color)

สารละลายสำหรับเตรียมน้ำยาสกัดชนิด Bray II

1. Stock 1 N Ammonium Fluoride Solution โดยการละลาย NH_4F (Ammonium Fluoride) ชนิด AR grade จำนวน 37 กรัม ในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายหมดแล้ว ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเก็บไว้ในขวดพลาสติกแช่เย็น
2. Stock 0.5 N Hydro chloric acid Solution โดยการเจือจาง HCL conc จำนวน 42.8 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
3. Extracting Solution Bray II ตวง 1 N Ammonium Fluoride Solution จำนวน 30 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.5 N Hydrochloric acid จำนวน 200 มิลลิลิตร ผสมเข้าด้วยกันแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรประมาณ 600 มิลลิลิตร จากนั้นเทลงในขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดเก็บในขวดพลาสติกที่สะอาด

สารละลายสำหรับวิเคราะห์โดยการทำให้เกิดสี

1. Murphy Reagent

โดยการละลาย Ammonium Molybdate จำนวน 12 gm ในน้ำร้อน 600 ml จนกระทั่งสารละลายหมด จากนั้นค่อยๆเติม Potassium Antimony Tartrate ($\text{KSbOC}_6\text{H}_4\text{O}_6$) จำนวน 0.291 กรัม ลงไปแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเติม Conc.Sulfuric acid ลงไป 150 มิลลิลิตร ค่อยๆ แก่งให้สารละลายเข้าด้วยกันทั้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 2000 มิลลิลิตร

2. 2 % Boric acid Solution

โดยการละลาย H_3BO_4 (Boric acid) จำนวน 40 กรัม ในน้ำร้อน 800 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายหมดเติมน้ำกลั่นลงไปให้มีปริมาตรเป็น 1800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนปรับปริมาตรเป็น 2000 มิลลิลิตร

3. 2.5 % Ascorbic acid Solution

โดยการละลาย Ascorbic acid ($C_6H_{12}O_6$) จำนวน 5 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร (สารละลายมีอายุ 7 วัน ในตู้เย็น)

วิธีการวิเคราะห์

1. โดยการชั่งตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งจำนวน 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสกัด(BrayII) ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำยาเท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยใช้ Volumetric pipet เป็นตัวดูดน้ำยาสกัดแล้วเขย่าบนเครื่องเขย่า (Shaker)เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำมากรองบนกระดาษกรองเบอร์ 5 เก็บสารละลายที่กรองได้(aliquot) ลงในขวดพลาสติกที่สะอาด

2. ดูด aliquot จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ใน flask แล้วเติมสารละลาย 2 % Baric acid ลงไป 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Murphy reagent ลงไปอีก 5 มิลลิลิตร นำ 2.5 % Ascorbic acid เติมน้ำลงไปอีก 1 มิลลิลิตร เขย่าเล็กน้อย เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดสีขึ้น

3. นำไปวัดค่าที่ช่วงคลื่น 820 nm โดยเทียบกับ Standard Curve แล้วอ่านค่าออกมาเป็น ppm

การคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ถ้าใช้ตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง 5 กรัม น้ำยาสกัด 50 มิลลิลิตร ดูด aliquot มา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Flask ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร เทียบสีกับ Standard Set ได้ 10 ppm

แสดงว่าในทุก ๆ 1 ml มี Available Phosphorus	= 10 ppm
ถ้า 25 ml จะมี Available Phosphorus	= 10×25
	= 250 ppm
หมายถึงใน aliquot 5 ml จะมี Available Phosphorus	= 250 ppm
ถ้า aliquot 50 ml จะมี Available Phosphorus	= $250 \times 50 / 5$
	= 2500 ppm
หมายความว่าตะกอนน้ำเสีย 5 gm มี Available Phosphorus	= 2500 ppm
ถ้าตะกอนน้ำเสีย 1 gm จะมี Available Phosphorus	= $2500 / 5$
	= 500 ppm
	= 0.05%

การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่ได้ในตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง

หลักการ

โพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่มาจากแร่โดยอยู่ในรูปของแร่ปฐมภูมิ (Primary mineral) และแร่ธาตุทุติยภูมิ (secondary mineral) เช่น แร่ไมก้า (micas, feldspass) ส่วนน้อยที่พบในรูปของ Exchangeable ions และในรูปของ Soluble Salt ปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมดในดินมีประมาณ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์และเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตั้งแต่ต่ำกว่า 100 ppm จนถึงหลายพัน ppm ส่วนโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้มีน้อยมาก

ปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Total K) จะเป็นเครื่องชี้ให้หมายถึงความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่มีต่อพืชหรือเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณของโพแทสเซียมที่เกิดมาจากการใส่ปุ๋ย สำหรับโพแทสเซียมในดินที่ง่ายต่อพืชนำไปใช้ประโยชน์นั้นอยู่ในรูปของ exchangeable K และ K ใน Soil Solution

Exchangeable K ในการศึกษาหมายถึงโพแทสเซียมไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนที่ใส่ลงไปในดินปริมาณของโพแทสเซียมที่ถูกไล่ที่ออกมาจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารละลายที่ใช้ในการไล่ที่หรือขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนและความเข้มข้นของสารละลายหรือ Exchangeable K หมายถึง K ที่สกัดด้วยน้ำยาที่เป็นกลาง 10 N NH_4OAc โดยที่ได้หักเอาปริมาณของ K ที่ละลายน้ำออกแล้ว

การสกัดด้วยน้ำยาเพื่อไล่ที่ Exchangeable K จะต้องใช้น้ำยาสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ Extractable K ที่ออกมาให้ได้ใกล้เคียงกับ Total Exchangeable K มาก สำหรับในการทดลองนี้ได้นำน้ำยาเป็น NH_4OAc เพื่อสกัดเอา Exchangeable K ออกมาจากตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งแล้วตรวจสอบปริมาณโดย Flame Photometer

สารเคมีและสารละลาย

1. น้ำยาสกัด 1 N NH_4OAc pH 7.0

เติม glacial acetic acid 57 ml ในน้ำกลั่นจำนวน 500 ml เติม NH_4OH เข้มข้นจำนวน 68 ml แล้วปรับปริมาตรเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเกือบเป็น 800 ml แล้วปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 7 ด้วยการเติม glacial acetic acid หรือ NH_4OH แล้วจึงปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1000 ml ด้วยน้ำกลั่น

2. Standard 1000 ppmk Stock Solution

โดยการละลาย KCL (Potassium Chloride) จำนวน 1.907 gm ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 ml ด้วยน้ำกลั่น เตรียม Standard Curve 0,2,4,6,8,10 ppmk

วิธีวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้งจำนวน 5 gm ใส่ใน flask ขนาด 125 ml จากนั้นใส่ด้วย 1 N. NH_4OAc pH 7.0 ลงใน flask จำนวน 50 ml ทำการเขย่าเครื่องเป็นเวลา 30 นาที

กรองเอาสารละลาย (aliquot) จากการสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ใส่ขวดพลาสติกเพื่อนำไปวัดค่าจาก flame photo meter ทำการ Standard ให้ใช้ 1000 ppmk ทำ Standard ให้มีความเข้มข้น 0,2,4,6,8,10 ppmk เพื่อทำ Curve Standard

วิธีการคำนวณ

ใช้ตัวอย่างตะกอนน้ำเสียแห้ง 10 gm สกัดด้วยน้ำยาสกัด NH_4OAc pH7 จำนวน 75 ml ทำการเจือจาง 5 เท่าและดูดไป 1 ml ทำการตรวจปริมาณ K พบมีปริมาณ K เท่ากับ 22.593 ppm

$$\text{ดังนั้นสารละลาย 1 ml มี K} = 22.593 \text{ ppm}$$

$$\text{ถ้าสารละลาย 75 ml มี K} = 22.593 \times 75$$

$$= 1694.475 \text{ ppm}$$

หมายความว่าสารละลายตัวอย่าง 75 ml ที่เจือจางแล้ว 5 เท่ามี K = 1694.475 ppm

$$\text{ถ้าสารละลายทั้งสิ้น 75} \times 5 \text{ ml มี K เท่ากับ} = 1694.475 \times 5$$

$$= 8472.34 \text{ ppm}$$

แสดงว่าตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย 10 gm มี K เท่ากับ = 8472.34 ppm

$$\text{ถ้า ตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย 1 gm มี K เท่ากับ} = 847.22 \text{ ppmk}$$

การวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity; EC)

หลักการ

ในดินแห่งที่นำมาวิเคราะห์มักจะมีเกลือละลายอยู่หลายชนิด บางชนิดละลายได้ดี เช่น NaCl , CaCl_2 , NaHCO_3 หรือ Na_2SO_4 เช่นกัน แต่บางชนิดละลายได้เพียงบางส่วน เช่น CaSO_4 การวัดค่า Ec จึงเป็นการประเมินปริมาณเกลือที่ละลายได้ของดินและค่าที่ได้ ยังใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเค็มของตัวอย่างที่จะศึกษาด้วย การวัดค่าความนำไฟฟ้าของดินใช้วิธีวัดในสารละลายของดินในสัดส่วนต่างกันแต่ในการศึกษานี้ใช้สัดส่วนของดินต่อสารละลาย 1 : 5 ; ดิน : น้ำ

ในการใช้สัดส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 1: 5 เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับห้องปฏิบัติการ เนื่องจากวิเคราะห์ไม่ต้องใช้เครื่องกรองแรงดัน แต่กรองด้วยขวดกรอง (filtering flask) ธรรมดาได้

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Flask 125 ml
2. เครื่องเขย่า
3. กระดาษกรองเบอร์ 42
4. เครื่องวัด Ec (Electrical Conductivity)

วิธีการ

การสกัดดินด้วยน้ำสัดส่วน 1 : 5

ชั่งดินจำนวน 10 gm ลงใน flask แล้วเติมน้ำจำนวน 50 ml นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัด Ec

การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{Ec ในตัวอย่าง} &= 1.2 \times 10 \mu\text{S} / \text{cm} \\
 \text{เพราะฉะนั้นในตัวอย่างมีค่า Ec} &= 1.2 \times 10 \mu\text{S} / \text{cm} \\
 \text{หรือ} &= 11.5 \times 1000 \text{ mS} / \text{cm} \\
 &= 0.011 \text{ mS} / \text{cm}
 \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ปฏิกิริยาในตัวอย่างสลัดจ์ (Soil Reaction ; pH)

หลักการ

ปฏิกิริยาในตัวอย่างสลัดจ์ (Soil Reaction ; pH) หมายถึงความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (alkalinity) ของดิน การที่ตัวอย่างดังกล่าวมีสภาพเป็นกรดหรือเป็นด่างเป็นเพราะ hydrogen ion (H^+) ในสารละลายของตัวอย่างสลัดจ์แห่งที่ละลายน้ำแล้ว ถ้าในสารละลายนั้นมี hydrogen ion น้อยกว่า hydroxyl ion ($H^+ < OH^-$) ตัวอย่างสลัดจ์นั้นจะมีปฏิกิริยาเป็นด่าง และถ้า $H^+ = OH^-$ ตัวอย่างสลัดจ์นั้นจะมีปฏิกิริยาเป็นกลาง

ในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสลัดจ์แห่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้การวัดค่าจาก pH meter โดย pH scale ที่บ่งบอกด้วยตัวเลขซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ H^+ โดย

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

เมื่อ pH = ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

$$\log = \text{logarithm ฐาน 10}$$

$$[H^+] = \text{ความเข้มข้นของ } H^+ \text{ ที่อยู่ในสารละลายมีหน่วยเป็น molar (M)}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายนั้น ผลคูณของความเข้มข้นของ H^+ และ OH^- จะมีค่าคงที่เท่ากับ 10^{-14} M ดังนั้นในการวัด pH หรือการวัดความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายจึงวัดความเข้มข้นของ H^+ ที่อยู่ในสารละลายของตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ของ pH กับความเข้มข้นของ H^+ และ OH^- ในสารละลายดังนี้

pH	$[H^+]$	$[OH^-]$
4	10^{-4}	10^{-10}
5	10^{-5}	10^{-9}
6	10^{-6}	10^{-8}
7	10^{-7}	10^{-7}
8	10^{-8}	10^{-6}
9	10^{-9}	10^{-5}

ดังนั้นเมื่อ pH ของตัวอย่างสลัดจ์แห่งต่างกัน 1 หน่วย ความเข้มข้นของ H^+ หรือ OH^- จะต่างกัน 10 เท่าและเมื่อ pH ต่างกัน 2 หน่วย ความเข้มข้นของไอออน ทั้ง 2 ชนิด จะต่างกัน 100 เท่า และถ้าวัดค่า pH ของสารละลายจากการละลายแล้วพบว่า

pH ของสารละลายตัวอย่าง < 7 มี $H^+ > OH^-$ สารละลายมีปฏิกิริยาเป็นกรด pH ของสารละลายตัวอย่าง = 7 มี $H^+ = OH^-$ สารละลายมีปฏิกิริยาเป็นกลาง pH ของสารละลายตัวอย่าง > 7 มี $H^+ < OH^-$ สารละลายมีปฏิกิริยาเป็นด่าง

วิธีที่นิยมใช้ในการวัด pH ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธี Electrometric หรือ Potentionmetric โดยใช้ pH meter จากหลักการความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้า (glass electroode) สองอันที่จุ่มอยู่ในสารละลาย ซึ่งแปรผันโดยกลับกับความเข้มข้นของ H^+ อิสระที่อยู่ในสารละลาย ความสัมพันธ์นี้ถูกดัดแปลงให้อ่านออกมาเป็นค่า pH บนหน้าปัดของ pH meter

ซึ่งในการวัดในการศึกษาครั้งนี้ใช้สัดส่วนของดินต่อสารละลายสกัดเท่ากับ 1 : 5 และทำการวัดในขณะการละลายขุ่นอยู่

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งวิเคราะห์ 3 ตำแหน่ง
2. บีกเกอร์ 100 ml
3. บีกเกอร์ 50 ml
4. แท่งแก้วคนสาร
5. นาฬิกาจับเวลา
6. pH meter
7. กระจกทรง
8. กระจกตวง 50 ml
9. กระจกตวง 20 ml

สารเคมีและสารละลาย

1 NKCL (Potassium chloride 1 N) โดยการละลาย KCL ชนิด AR grade จำนวน 74.56 gm ในน้ำกลั่น 600 ml จนกระทั่งสารละลายหมด แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการ

วัด pH ในสภาวะ 1: 5 (ดิน : KCL)

1. ชั่งตัวอย่างสลัดจ์แห้งจำนวน 20 gm ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml เติม KCL Solution ลงใน 100 ml ด้วยการตวงโดยใช้ Cylinder คนให้เข้ากันประมาณ 15 วินาที จับเวลาตั้งทิ้งไว้ 30 นาที โดยการคนทุก 10 นาที เมื่อครบเวลาคน แล้ววัดด้วย pH meter โดยการจุ่ม Electrode ลงไป บันทึกค่าไว้

การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) โดยวิธี Core method

หลักการ

ความหนาแน่นรวมของดิน หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของดินและปริมาตรรวมซึ่งมวลดินแห้งหมายถึง มวลของดินตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 105 °C – 110 °C จนน้ำหนักคงที่และปริมาตรรวมหมายถึง ผลรวมระหว่างปริมาตรของแข็งและปริมาตรช่องว่าง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปริมาตรรวมจะมีค่ามากกว่าปริมาตรของแข็งของดินเดียวกันเสมอ

ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดินมีอยู่หลายวิธีเช่น Clod method core method ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธี Core method

วิธีการของ Core method

อุปกรณ์การวิเคราะห์

1. กระบอกลโลหะพร้อมฝาปิดทั้งสองข้างเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7 cm สูงประมาณ 4 cm
2. ตู้อบ (hot air Oven)
3. เครื่องชั่งละเอียด
4. ค้อนสำหรับตอกกระบอกลโลหะลงไปในดิน

วิธีการวิเคราะห์

1. นำกระบอกลโลหะวางบนตำแหน่งดินที่จะทำการเก็บตัวอย่าง
2. นำฝาปิดโลหะปิดกระบอกลโลหะทั้งสองด้านแล้วนำมายังห้องปฏิบัติการ
3. ปิดฝาโลหะทั้งสองข้างของกระบอกลออกพร้อมวางกระบอกลที่มีดินตัวอย่างบรรจุอยู่ภายใน ในกระบอกลเก็บความชื้นในตู้อบตั้งอุณหภูมิการอบที่ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้ตัวอย่างเย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ชั่งน้ำหนักกระบอกลที่มีดินตัวอย่างบรรจุอยู่ภายในที่อยู่ในกระบอกลเก็บความชื้น
4. เอาดินออกจากกระบอกลให้หมด
5. ชั่งน้ำหนักกระบอกลและน้ำหนักกระบอกลเก็บความชื้นพร้อมเก็บข้อมูลไว้
6. คำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม

การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{ปริมาตรของกระบอกลโลหะด้านใน}}$$

ภาคผนวก ข
น้ำหนักและผลผลิตข้าวโพด

ตารางภาคผนวกที่ 1 น้ำหนักของข้าวโพด(กรัม/ต้น)ที่ปลูกในกระถางเมื่ออายุ 15 วัน

ทรีทเมนต์	น้ำหนักสดทั้งต้น	น้ำหนักแห้งทั้งต้น
Control	7.89bc	0.91bc
Chem.fer	9.55ab	1.14a
100 kg/rai	6.96c	0.72c
200 kg/rai	8.07bc	0.87bc
500 kg/rai	7.73bc	0.99ab
1000 kg/rai	10.41a	1.07ab
	LSD = 0.01	LSD = 0.01
	C.V. = 12.66	C.V. = 11.22
	$\bar{x} = 8.44$	$\bar{x} = 0.95$

ตารางภาคผนวกที่ 2 น้ำหนักสดของข้าวโพด(กรัม/ต้น)ที่ปลูกในกระถางเมื่ออายุ 30 วัน

ทรีทเมนต์	น้ำหนักสด(กรัม/ต้น)		
	ทั้งต้น	ลำต้นและใบ	ราก
Control	26.15e	22.40d	3.65e
Chem.fer	65.58ab	52.31ab	13.27a
100 kg/rai	36.42d	30.93d	5.42de
200 kg/rai	50.29c	42.47c	7.77cd
500 kg/rai	56.64bc	47.31bc	9.39bc
1000 kg/rai	70.79a	58.07a	12.81ab
	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
	C.V. = 9.73	C.V. = 11.15	C.V. = 19.28
	$\bar{x} = 50.98$	$\bar{x} = 42.25$	$\bar{x} = 8.72$

ตารางภาคผนวกที่ 3 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด(กรัม/ต้น)ที่ปลูกในกระถางเมื่ออายุ 30 วัน

ทรีทเมนต์	น้ำหนักแห้ง(กรัม/ต้น)		
	ทั้งต้น	ลำต้นและใบ	ราก
Control	3.09d	2.64e	0.46ns
Chem.fer	6.89b	5.27b	1.63ns
100 kg/rai	3.76d	3.08de	1.43ns
200 kg/rai	5.04c	4.08cd	0.69ns
500 kg/rai	5.91bc	4.83bc	1.08ns
1000 kg/rai	8.02a	6.68a	1.36ns
	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.05
	C.V. = 10.13	C.V. = 11.85	C.V. = 64.12
	$\bar{x} = 5.45$	$\bar{x} = 4.43$	$\bar{x} = 1.11$

ตารางภาคผนวกที่ 4 น้ำหนักสดของข้าวโพด(กรัม/ต้น)ที่ปลูกในกระถางเมื่ออายุ 45 วัน

ทรีทเมนต์	น้ำหนักแห้ง(กรัม/ต้น)		
	ทั้งต้น	ลำต้นและใบ	ราก
Control	32.32e	27.12e	5.19c
Chem.fer	106.39a	91.34a	15.05ab
100 kg/rai	58.93d	47.85d	11.07b
200 kg/rai	73.79c	58.30c	15.49ab
500 kg/rai	82.59bc	65.18c	17.42a
1000 kg/rai	95.48ab	77.80b	17.68a
	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
	C.V. = 8.46	C.V. = 8.34	C.V. = 19.00
	$\bar{x} = 74.92$	$\bar{x} = 61.27$	$\bar{x} = 13.65$

ตารางภาคผนวกที่ 5 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด(กรัม/ต้น)ที่ปลูกในกระถางเมื่ออายุ 45 วัน

ทรีทเมนต์	น้ำหนักแห้ง(กรัม/ต้น)		
	ทั้งต้น	ลำต้นและใบ	ราก
Control	3.72e	2.93d	0.78d
Chem.fer	12.89a	10.22a	2.68a
100 kg/rai	7.06d	5.46c	1.60c
200 kg/rai	8.98c	6.87bc	2.11bc
500 kg/rai	9.80bc	7.41b	1.89c
1000 kg/rai	10.75b	8.19b	2.56ab
	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
	C.V. = 8.78	C.V. = 10.64	C.V. = 13.58
	$\bar{x} = 18.87$	$\bar{x} = 7.51$	$\bar{x} = 1.94$

ตารางภาคผนวกที่ 6 น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)และส่วนสูงของข้าวโพดสดในสภาพไร่เมื่ออายุ 50 วัน

ทรีทเมนต์	ส่วนสูง	น้ำหนักทั้งต้น	น้ำหนักราก	น้ำหนักลำต้น
Control	89.01c	27.35b	5.13ns	22.22b
Chem.fer	131.63ab	79.91a	6.28ns	67.63a
1000 kg/rai	145.18a	71.37a	5.75ns	65.61a
500 kg/rai	110.22bc	54.97a	4.78ns	50.19a
	LSD = 0.05	LSD = 0.01	LSD = 0.05	LSD = 0.01
	C.V. = 17.19	C.V. = 22.41	C.V. = 13.75	C.V. = 24.54
	$\bar{x} = 119.01$	$\bar{x} = 58.40$	$\bar{x} = 5.48$	$\bar{x} = 51.41$

- หมายเหตุ** 1.ตัวเลขที่แสดงไว้ในคอลัมน์เดียวกันและตามด้วยอักษรต่างชนิดกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและส่วนสูงข้าวโพดสดในแต่ละทรีทเมนต์ แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01, 0.05$
- 2.ตัวเลขที่แสดงไว้ในคอลัมน์เดียวกันและตามด้วยอักษรร่วมกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและ ส่วนสูงข้าวโพดสดในแต่ละทรีทเมนต์ แต่ละชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 7 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด (กรัม/ต้น)ในสภาพไร่เมื่ออายุ 50 วัน (รอบแรก)

ทรีทเมนต์	น้ำหนักทั้งต้น	น้ำหนักราก	น้ำหนักลำต้น
Control	2.58c	0.69b	1.83b
Chem.fer	7.64a	2.24a	5.48a
500 kg/rai	5.57b	1.71a	3.86a
1000 kg/rai	7.03ab	2.17a	4.86a
	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
	C.V. = 16.41	C.V. = 16.96	C.V. = 19.38
	$\bar{x} = 5.70$	$\bar{x} = 1.70$	$\bar{x} = 4.00$

ตารางภาคผนวกที่ 8 น้ำหนักสด(กรัม/ต้น)และส่วนสูงของข้าวโพดสด ในสภาพไร่เมื่ออายุ 100 วัน (เก็บเกี่ยว)

ทรีทเมนต์	ส่วนสูง	น้ำหนักทั้งต้น	น้ำหนักราก	น้ำหนักลำต้น
Control	174.44c	174.44c	8.07b	120.00c
Chem.fer	225.81a	225.81a	21.50a	476.29a
500 kg/rai	198.25b	198.25b	17.43a	291.16b
1000 kg/rai	225.81a	225.81a	23.73a	475.17a
	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
	C.V. = 4.05	C.V. = 4.05	C.V. = 23.26	C.V. = 15.98
	$\bar{x} = 206.08$	$\bar{x} = 206.08$	$\bar{x} = 17.68$	$\bar{x} = 340.66$

ตารางภาคผนวกที่ 9 น้ำหนักแห้ง(กรัม/ต้น)ของข้าวโพดแห้ง ในสภาพไร่เมื่ออายุ 100 วัน (เก็บเกี่ยว)

ทรีทเมนต์	น้ำหนักทั้งต้น	น้ำหนักราก	น้ำหนักลำต้น
Control	41.23ns	2.37ns	38.69b
Chem.fer	65.51ns	4.30ns	75.62a
500 kg/rai	58.12ns	3.82ns	58.08ab
1000 kg/rai	84.12ns	4.73ns	82.32a
	LSD = 0.05	LSD = 0.05	LSD = 0.01
	C.V. = 31.51	C.V. = 29.48	C.V. = 25.71
	$\bar{x} = 62.24$	$\bar{x} = 3.80$	$\bar{x} = 63.68$

ตารางที่ 4.3.10 ผลผลิตของข้าวโพดในสภาพไร่

ทรีทเมนต์	น้ำหนักสดทั้งฝัก (g/ฝัก)	น้ำหนักสดเปลือก (g/ฝัก)	ความยาวฝัก (ซม.)	น้ำหนักสดเมล็ด (g/ฝัก)	น้ำหนักสดชัง (g/ฝัก)
Control	92.14c	26.33b	21.90c	39.54c	27.38c
Chem.fer	301.65b	82.37a	28.04b	115.98b	55.14b
500 kg/rai	314.76ab	83.89a	32.43ab	161.11ab	65.33a
1000 kg/rai	352.45a	94.22a	33.98a	179.36a	77.00a
	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01	LSD = 0.01
	C.V. = 9.90	C.V. = 23.84	C.V. = 9.48	C.V. = 20.28	C.V. = 14.73
	$\bar{x} = 265.25$	$\bar{x} = 71.70$	$\bar{x} = 29.09$	$\bar{x} = 123.99$	$\bar{x} = 56.21$

- หมายเหตุ** 1.ตัวเลขที่แสดงไว้ในคอลัมน์เดียวกันและตามด้วยอักษรต่างชนิดกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยผลผลิตในรอบที่ 1 ของข้าวโพด ในแต่ละทรีทเมนต์ แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$
- 2.ตัวเลขที่แสดงไว้ในคอลัมน์เดียวกันและตามด้วยอักษรร่วมกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยผลผลิตในรอบที่ 1 ของข้าวโพดในแต่ละทรีทเมนต์ แต่ละชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ