

ผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักติดต่อกัน 17 ปี ต่อสมบัติของดินและความสามารถในการให้ผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ

สายหยุด เพ็ชรสุข

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองฯ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 12 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดสงขลา

บทคัดย่อ

การศึกษาผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักติดต่อกัน 17 ปี ต่อสมบัติของดินและความสามารถในการให้ผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ ดำเนินการภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองฯ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการธาตุอาหารพืชในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดให้มีประสิทธิภาพและใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างยั่งยืน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ประโยชน์พื้นที่ดินเปรี้ยวจัดโดยไม่ใส่ปูนและปุ๋ยติดต่อกันในระยะยาว ทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใส่ปูนเพื่อทำให้ค่า pH และปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น ในส่วนของผลผลิต พบว่า ในตำรับที่ไม่มีการใส่ปูนไม่ใส่ปุ๋ยหมัก และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ข้าวโพดมีอัตราการงอกต่ำและตายเมื่อเจริญเติบโตได้ 30 วัน

คำสำคัญ : ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก ดินเปรี้ยวจัด ชุดดินมูโนะ

หลักการและเหตุผล

ชุดดินมูโนะเป็นดินเปรี้ยวจัดที่พบมากชุดดินหนึ่งในจังหวัดนราธิวาสและจังหวัดในภาคใต้ เป็นดินที่มีการระบายน้ำเลว (Poorly drained) ดินชั้น A เป็นดินร่วน (loam) หรือดินร่วนที่มีชั้นอินทรีย์วัตถุสูง (mucky loam) มีความหนาประมาณ 10-20 เซนติเมตร ส่วนดินล่างหรือดินชั้น B ตอนบนเป็นสีเทา เนื้อดินเป็นดินเหนียว (clay) หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) มีจุดประสีน้ำตาลปน ในระดับความลึกประมาณ 70-90 เซนติเมตร มีจุดประสีเหลืองฟางข้าว (jarosite mottle) มีค่า pH น้อยกว่า 4.5 ดินชั้นถัดลงไปเป็นดินเลนสีเทาปนน้ำเงิน ซึ่งมีสารประกอบไพไรต์ (pyrite : FeS_2) สูง ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีศักยภาพในการผลิตต่ำเมื่อเทียบกับดินทั่วไป เป็นดินที่มีปัญหาทั้งทางเคมีและทางกายภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ในปี พ.ศ. 2527 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ พระราชทานพระราชดำริให้ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองฯ ดำเนินการศึกษาทดลองเพื่อปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดให้สามารถใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรมได้ ทรงเรียกว่า “โครงการแก่งดิน” ดำเนินการในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ ภายในโครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองฯ เมือง จ.นราธิวาส ได้ศึกษาการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้ น้ำล้างความเป็นกรด การใช้วัสดุปูน การใช้ น้ำล้างความเป็นกรดควบคู่กับการใช้วัสดุปูน และการควบคุมระดับน้ำใต้ดิน เพื่อปลูกข้าว ปลูกไม้ผล ปลูกพืชไร่ และปลูกพืชผัก โดยแปลงที่ 5 หนึ่งในจำนวน 6 แปลงของโครงการแก่งดิน ได้ศึกษาการปรับปรุงดินโดยใช้วัสดุปูน ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก เพื่อปลูกผักชนิดต่างๆ สลับกับการปลูกพืชไร่ ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักในทุกฤดูปลูก และดำเนินการอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2533 จนถึงปี 2549 การใส่ปุ๋ยติดต่อกันในระยะยาวหรือใส่ในปริมาณที่มากเกินไปจนเกินความต้องการของพืชย่อมจะมีส่วน

หลงเหลือตกค้างอยู่ในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยฟอสฟอรัสจะถูกตรึงอย่างรวดเร็วโดยธาตุอลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีส ซึ่งมีอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูงทำให้มีผลตกค้างสะสมอยู่ในดินในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างอยู่ในดินยังขึ้นอยู่กับ ชนิดของปุ๋ย สมบัติของดิน และปัจจัยทางด้านอุทกนิยมนิเวศวิทยา จึงได้ดำเนินการศึกษาผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักที่ใส่ติดต่อกันระยะยาวต่อสมบัติและความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการธาตุอาหารพืชในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดให้มีประสิทธิภาพและใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

- 1.1 เมล็ดพันธุ์ข้าวโพด Super sweet
- 1.2 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี
 - 1) pH meter
 - 2) Electrical conductivity meter
 - 3) UV-spectrophotometer
 - 4) Atomic Absorption spectrophotometer
 - 5) Distillation apparatus และ Digestion apparatus
 - 6) เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- 1.3 อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

2. วิธีการ

2.1 ศึกษาประวัติการใช้พื้นที่ที่ใช้เป็นแปลงศึกษา

พื้นที่ที่ใช้เป็นแปลงศึกษาตั้งอยู่ ณ โครงการศูนย์ศึกษาพัฒนาพิภพทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ต.กะลุวอเหนือ อ.เมือง จ.นราธิวาส เป็นแปลงที่ 5 หนึ่งในจำนวน 6 แปลงของโครงการแก้มดิน ซึ่งเป็นโครงการที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ พระราชทานพระราชดำริ ตั้งแต่ปี 2527 เป็นต้นมา ให้ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิภพทองดำเนินการศึกษาทดลองเพื่อปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดให้สามารถกลับมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรมได้ ชุดดินที่ทำการศึกษาเป็นดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ (Fine, Mixed, Semi active, Acid, isohypertermic Sulfic Endoaquepts) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง โดยแปลงที่ 5 ในช่วงที่ 1 ตั้งแต่เดือน มกราคม 2529-กันยายน 2530 ปล่อยไว้ตามธรรมชาติ ไม่มีการสูบน้ำเข้าออกจากพื้นที่ ช่วงที่ 2 ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2530-ธันวาคม 2532 แบ่งแปลงออกเป็น 2 ส่วน ให้น้ำท่วมแปลง 5 เดือนและแห้ง 5 เดือน สลับกันในแต่ละส่วน โดยสูบน้ำหมุนเวียนในแปลงทั้ง 2 ในเดือนสิงหาคม 2532 ทำการปลูกข้าวโพด ผักบุ้ง ถั่วลิสง และคะน้าเป็นทดสอบ โดยใช้ปุ๋ยโดแอมโมเนียมฟอสเฟตและหินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยทดสอบอัตราต่างๆกัน ช่วงที่ 3 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2533 ถึงปี 2549 ทดสอบการปรับปรุงดิน ซึ่งมี 5 ตำรับการทดลอง คือ 1) ตำราควบคุม 2) ตำรับใส่หินปูนบดอย่างเดียว 3) ตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียว 4) ตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และ 5) ตำรับที่ใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ปลูกผักชนิดต่างๆ ได้แก่ ผักคะน้า บวบ ถั่วฝักยาว สลัดกับการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน ข้าวโพดหวาน และเสาวรส เป็นพืชทดสอบ มีการปลูกพืชปีละ 2 ครั้ง ขนาดร่อง 1×5 เมตร ระหว่างร่อง ห่าง 50 เซนติเมตร ยกร่องสูงประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อไม่ให้น้ำแช่ขังในช่วงฝนตก ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยสูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัม/

ไร่ ใส่ทุกดูปลูก ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยหมักใสในอัตรา 2 ตัน/ไร่ (ยกเว้นปี 2545 และ 2546 ใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 1 ตัน/ไร่) ใส่ทุกดูปลูกเช่นเดียวกับปุ๋ยเคมี ส่วนดำรับที่ใส่หินปูนบดใส่ครั้งเดียวในปี 2533 ในอัตรา 2.8 ตัน/ไร่ หลังจากนั้นไม่มีการใส่เพิ่มอีก

2.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของดิน จากการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักติดต่อกัน 17 ปี โดยการรวบรวมข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินเป็นช่วงๆ คือ ผลวิเคราะห์ดิน ปี 2533, 2537, 2541 และ 2549

2.3 การวางแผนการทดลอง การวางแผนการทดลองแบบ Randomize complete block design มี 5 ดำรับๆละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ดำรับที่ 1 (T1) = แปลงควบคุม ($L_0C_0F_0$)

ดำรับที่ 2 (T2) = แปลงที่เคยใส่หินปูนบดในอัตรา 2.8 ตัน/ไร่ ($L_1C_0F_0$) (ใส่ครั้งเดียวปี 2533)

ดำรับที่ 3 (T3) = แปลงที่เคยใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่ 2 ตัน/ไร่ ($L_0C_1F_0$)

ดำรับที่ 4 (T4) = แปลงที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 30 กก./ไร่ + ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กก./ไร่ ($L_0C_0F_1$)

ดำรับที่ 5 (T5) = แปลงที่เคยใส่หินปูนบดในอัตรา 2.8 ตัน/ไร่ (ใส่ครั้งเดียวปี 2533) + ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 ในอัตรา 30 กก./ไร่ + ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กก./ไร่ ($L_1C_1F_1$)

หมายเหตุ L_0 = ไม่ใส่ปูน

L_1 = ใส่หินปูนบดในอัตรา 2.8 ตัน/ไร่ (ใส่ครั้งเดียวปี 2533)

C_0 = ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก

C_1 = ใส่ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ (ใส่ทุกดูปลูก)

F_0 = ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 30 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กก./ไร่ (ใส่ทุกดูปลูก)

2.4 การปฏิบัติงานในภาคสนาม

2.4.1 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

เก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ดำรับละ 3 ซ้ำ โดยการขุดดินมากองบนผ้าฝ้ายที่สะอาด คลุกเคล้าตัวอย่างดินให้เข้ากันดี แบ่งดินเป็น 4 ส่วน เลือกมา 1 ส่วน ประมาณ 2 กิโลกรัม

2.4.2 ศึกษาความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน

ปลูกข้าวโพด super sweet เป็นพืชทดลอง ทำการปลูกข้าวโพดโดยไม่มีการใส่ปุ๋ย ในแปลงที่ 5 หนึ่งในจำนวน 6 แปลงของโครงการแก่งดินที่เคยใส่หินปูนบด ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก ติดต่อกันนาน 17 ปี โดยปลูกวันที่ 10 มิถุนายน 2549 เก็บเกี่ยวผลผลิตในวันที่ 23 สิงหาคม 2549 เก็บข้อมูลความสูงของข้าวโพดอายุ 30 วัน และ 60 วัน น้ำหนักผลผลิต น้ำหนักตอซัง เก็บตัวอย่างเมล็ดและตอซังเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สำคัญบางธาตุ ในเมล็ดและตอซังในแต่ละดำรับการทดลอง

2.5 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.5.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดโดย pH meter โดยวิธีของ Peech (1965)

2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter ; OM) โดยวิธี Walkley and Black titration ของ Walkley and Black (1947)

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen ; N) ด้วยวิธี Kjeldahl method ของ Bremner (1965)

4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus ; Avail. P) .ใช้น้ำยา Bray II โดยวิธีของ Bray และ Kurtz (1945) และพัฒนาโดย Watanabe และ Olsen (1965)

5) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extractable Potassium Calcium and Magnesium ; Extr.K, Ca, Mg) โดยใช้ 1 N NH_4OAc pH 7.0 เป็นสารสกัด ตามวิธีของ Jackson (1958)

6) ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Iron, Manganese, Copper and Zinc : Avail. Fe, Mn, Cu, และ Zn) โดยใช้ DPTA เป็นสารสกัดจากตามวิธีของ Lindsay and Norvell (1978) และ Chen and Barak (1982)

7) ปริมาณความเป็นกรดและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้ (Exchangeable Acidity ; EA and Exchangeable Aluminum ; Exch.AL) โดยใช้น้ำยาสกัด 1 N KCl ตามวิธีของ McLean (1965)

2.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

1) การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธี Kjeldahl method ของ Jackson (1967)

2) การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก โดยวิธีการย่อย (Digestion) ด้วยกรดผสม HNO_3 และ HClO_4 วิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสโดยวิธี Vanadomolybdate method อ่านความเข้มข้นของสีเหลืองที่เกิดจากปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมสามารถวัดได้โดยตรงจากเครื่อง Flame photometer ส่วนปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก วัดปริมาณโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐานตามวิธีของ Hesse (1971)

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.7 สรุปผลการดำเนินงานและจัดทำรายงาน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ผลตกค้างของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักที่ใช้ติดต่อกันนาน 17 ปี ต่อสมบัติทางเคมีบางประการของดิน

1.1 ปฏิกิริยาดิน (Soil Reaction ; pH)

จากข้อมูลผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าตำรับควบคุม ($\text{L}_0\text{C}_0\text{F}_0$) ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.63-4.00 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($\text{L}_1\text{C}_0\text{F}_0$) พบว่า ในปี 2533-2537 ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.57-4.80 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยพบว่าดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.27-4.70 ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($\text{L}_0\text{C}_1\text{F}_0$) ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมากถึงกรดแก่ มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.47-5.33 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($\text{L}_0\text{C}_0\text{F}_1$) ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.78-3.83 มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนที่ตำรับที่เคยใส่หินปูนบด

ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) ปฏิกริยาดินเป็นกรดแก่ถึงปานกลาง มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.33-5.67 และมีแนวโน้มลดลงแต่ยังคงสูงกว่าทุกตำรับ

1.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter ; OM)

จากข้อมูลผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) มีค่าอยู่ในช่วง 5.49-5.78 และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.91-6.55 มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) มีค่าอยู่ในช่วง 6.95-7.25 ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าอยู่ในช่วง 5.73-6.00 และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าอยู่ในช่วง 6.83-7.20 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งทุกตำรับการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับที่สูงมาก

1.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen ; N)

เนื่องจากการไม่มีการบันทึกข้อมูลปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินตั้งแต่ ปี 2533 ถึงปี 2548 จึงใช้ข้อมูลในปี 2549 ก่อนการทดลองปลูกข้าวโพดโดยไม่ใส่ปุ๋ยอะไรเลยในแปลงศึกษาที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักติดต่อกันนาน 17 ปี เป็นข้อมูลปริมาณไนโตรเจนที่ตกค้างจากการใส่หินปูนบด ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก ซึ่งพบว่าการทดลองปริมาณไนโตรเจนในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 เปอร์เซ็นต์ และตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด (< 0.2 เปอร์เซ็นต์) และมีค่าต่ำกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยหมักร่วมด้วย ($L_0C_1F_0$ และ $L_1C_1F_1$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.27 และ 0.31 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากทดลองปลูกพบว่าปริมาณไนโตรเจนในทุกตำรับต่ำกว่าระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ยกเว้นในตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.21 เปอร์เซ็นต์

1.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus ; Avail. P)

จากข้อมูลผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) และในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24-43 และ 26-38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 47-169, 100-176 และ 153-319 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงถึงสูงมาก

1.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable Potassium ; Extr. K)

จากผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณโพแทสเซียมในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 36-71 และ 38-69 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) มีค่าอยู่ในช่วงระดับปานกลาง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 72-91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 86-102 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก โดยมีค่าอยู่ 97-124 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน ยกเว้นในปี

2545 ได้ใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 1 ตัน/ไร่ แทนปุ๋ยหมัก ทำให้ได้รับเคยใส่ปุ๋ยหมักร่วมด้วย ($L_0C_1F_0$ และ $L_1C_1F_1$) มีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น

1.6 ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (Extractable Calcium ; Extr. Ca)

จากข้อมูลผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณแคลเซียมในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากอยู่ในช่วง 109-308 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีแนวโน้มลดลง ตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลางอยู่ในช่วง 361-1,350 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) หลังการใส่ปุ๋ยหมักในปีแรกมีค่าต่ำมาก 367 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หลังจากนั้นแนวโน้มสูงขึ้นอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง 436-1,629 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากอยู่ในช่วง 143-371 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงอยู่ในช่วง 1,319-2,355 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

1.7 ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extractable Magnesium ; Extr. Mg)

จากผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณแมกนีเซียมในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) มีค่าอยู่ในระดับต่ำ 46-72 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ในปี 2533 ถึง 2541 มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง 106-157 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยมีค่าอยู่ในระดับต่ำ 59-113 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง 83-201 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมีแนวโน้มสูงขึ้น ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าอยู่ในระดับต่ำ 42-83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลง ส่วนตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าอยู่ระดับปานกลาง 190-280 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมีแนวโน้มสูงขึ้น

1.8 ปริมาณแมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Manganese, Copper and Zinc ; Avail. Mn, Cu and Zn)

เนื่องจากไม่มีการบันทึกข้อมูลปริมาณแมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2548 จึงใช้ข้อมูลในปี 2549 ก่อนการทดลองปลูกข้าวโพดโดยไม่ใส่ปุ๋ยอะไรเลยในแปลงศึกษาที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักติดต่อกันนาน 17 ปี เป็นข้อมูลปริมาณแมงกานีส ทองแดง และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่ตกค้างจากการใส่ปูนบด ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก ซึ่งพบว่าการทดลองปริมาณแมงกานีสในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) ตำรับที่ใส่หินปูนเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าต่ำมาก 0.54, 0.87 และ 0.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (< 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และมีค่าต่ำกว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.20 และ 1.33 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (> 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) หลักการทดลองพบว่าปริมาณแมงกานีสในทุกตำรับการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

1.9 ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Iron ; Avail. Fe)

จากผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณเหล็กในทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงมากอยู่ในช่วง 296-389 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยพบว่าตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีแนวโน้มลดลง ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) ปริมาณเหล็กมีแนวโน้มลดลง แต่ยังมีปริมาณมากเกินพอ ส่วนตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

1.10 ปริมาณความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้ (Exchangeable Acidity ; EA)

จากผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้ ทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าค่อนข้างสูง 3.36-5.10 และ 3.09-5.03 เซนติโมล/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) มีค่าค่อนข้างต่ำ 0.65-1.53 และ 0.00-1.22 เซนติโมล/กิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลง ส่วนตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าต่ำกว่า 0.00-0.44 เซนติโมล/กิโลกรัม โดยมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน

1.11 ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้ (Exchangeable Aluminum ; Exch. Al)

จากผลวิเคราะห์ดินตั้งแต่ปี 2533 ถึงปี 2549 พบว่าปริมาณอลูมิเนียมในทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) มีค่าค่อนข้างสูง 3.36-5.10 และ 3.09-5.03 เซนติโมล/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน แต่ยังคงอยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่ตำรับที่เคยใส่หินปูนบดอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าต่ำมาก 0.65-1.53, 0.00-1.22 และ 0.00-0.44 เซนติโมล/กิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลงในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

2. ผลการตกค้างของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักที่ใช้ติดต่อกันนาน 17 ปี ต่อความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน

2.1 ผลตกค้างของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

จากการทดลองปลูกข้าวโพดในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ โดยไม่ใส่ปุ๋ยอะไรเลยในแปลงศึกษาที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักติดต่อกันนาน 17 ปี พบว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) และตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) ข้าวโพดมีอัตราการงอกต่ำและตายเมื่อเจริญเติบโตได้ 30 วัน ตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้แต่ค่อนข้างแคระแกรนสามารถออกดอกติดฝักแต่ไม่มีเมล็ด ส่วนตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้แต่ค่อนข้างแคระแกรนสามารถออกดอกติดฝักมีเมล็ดแต่ไม่สมบูรณ์ จากการศึกษาการเจริญเติบโตด้านความสูงเมื่ออายุ 30 วัน และ 60 วัน พบว่าตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด 52.83 และ 153.17 เซนติเมตร สูงกว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.83 และ 128.77 เซนติเมตร และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.50 และ 104.67 เซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

2.2 ผลตกค้างของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักต่อผลผลิตของข้าวโพด

เนื่องจากการเจริญเติบโตของข้าวโพดในทุกตำรับการทดลองค่อนข้างต่ำ ทำให้ไม่สามารถเก็บผลผลิตได้ จึงทำการเก็บตัวอย่างข้าวโพดทั้งต้น (เฉพาะส่วนเหนือผิวดิน) และตำรับที่เคยใส่หินปูนเพียงอย่าง

เดียว ($L_1C_0F_0$) ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) เพื่อศึกษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวโพด พบว่าตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1,227 และ 256 กิโลกรัม/ไร่ สูงกว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 562 และ 138 กิโลกรัม/ไร่ และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 407 และ 105 กิโลกรัม/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุในข้าวโพด โดยการเก็บตัวอย่างข้าวโพดทั้งต้น (เฉพาะส่วนเหนือผิวดิน) เฉพาะตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) ผลเป็นดังนี้

1) ไนโตรเจน ความเข้มข้นของไนโตรเจนในข้าวโพดในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.74 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.66 เปอร์เซ็นต์ และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.61 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในข้าวโพดทุกตำรับการทดลองมีค่าต่ำกว่าระดับความเข้มข้นวิกฤตของธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ

2) ฟอสฟอรัส ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวโพดในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.41 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าตำรับที่เคยใส่หินปูนเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.23 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวโพดในตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีค่าต่ำกว่าระดับความเข้มข้นวิกฤตของธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ (<2.8 เปอร์เซ็นต์) ส่วนตำรับการทดลองอื่นๆ อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด

3) โพแทสเซียม ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในข้าวโพดในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.79 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าตำรับเคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาพบความเข้มข้นของโพแทสเซียมในข้าวโพดทุกตำรับการทดลองมีค่าต่ำกว่าระดับความเข้มข้นวิกฤตของธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ (< 1.8 เปอร์เซ็นต์)

4) แคลเซียม ความเข้มข้นของแคลเซียมในข้าวโพดในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.34 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.23 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในข้าวโพดทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด

5) แมกนีเซียม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในข้าวโพดในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด (0.25 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย

ต่ำสุดเท่ากับ 0.11 เปอร์เซ็นต์ และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6) เหล็ก ความเข้มข้นของเหล็กในข้าวโพดในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 280 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สูงกว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 190 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 180 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของเหล็กในข้าวโพดทุกตำรับการทดลองอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด (< 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

7) แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ในข้าวโพด มีค่าไปในทิศทางเดียวกันคือ ในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 35.83, 1.36 และ 28.11 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สูงกว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.45, 1.96 และ 38.86 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 43.56, 2.20 และ 40.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแมงกานีสและสังกะสีในข้าวโพดทุกตำรับการทดลองมีค่าอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด (>16 และ >15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ส่วนความเข้มข้นของทองแดงในข้าวโพดพบว่าทุกตำรับการทดลองมีค่าต่ำกว่าระดับความเข้มข้นวิกฤตของธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ (< 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

2.4 ปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวโพดดูดดึง (Total uptake) จากดิน

จากการศึกษาปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารทั้งหมด (Total uptake) ในดินของข้าวโพดพบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี มีค่าไปในทิศทางเดียวกันคือ ในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก ($L_1C_1F_1$) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ($L_0C_1F_0$) และตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) อย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกโดยอาศัยผลค้างของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักที่ใส่ในฤดูปลูกที่ผ่านมานานติดต่อกัน 17 ปี รวมปริมาณธาตุอาหารในดิน ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพด และปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารจากดินของข้าวโพด จะเห็นได้ว่าในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) ข้าวโพดมีอัตราการงอกต่ำและตายเมื่อเจริญเติบโตได้ 30 วัน เนื่องจากปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก ($pH < 4.0$) ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมในดินสูงมาก โดยในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีค่าต่ำมากไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ส่วนในตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีค่าต่ำมากไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมในดินที่สูงนี้จะถูกดูดไปสะสมในเนื้อเยื่อของรากพืชส่งผลให้ไปยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผนังเซลล์ ทำให้ระบบรากของพืชไม่พัฒนา (ยงยุทธ, 2546) ซึ่งน่าจะเป็นปัจจัย

หลักที่ทำให้ข้าวโพดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก ($pH=4.37$) ปริมาณไนโตรเจนต่ำ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในดินอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช แต่พบปริมาณเหล็กสารละลายดินสูงมาก ซึ่งส่งผลต่อระบบรากของพืช ทำให้พืชดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลงสังเกตได้ชัดเจนจากความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และทองแดง ในข้าวโพดมีค่าต่ำกว่าระดับความเข้มข้นวิกฤตของธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตช้า แคระแกรน ลำต้นอ่อนแอ การออกดอกช้า ความเข้มข้นของทองแดงที่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีผลต่อการผสมเกสร และการติดฝักของข้าวโพด (DeLl, 1981) ในขณะที่ย่อยปุ๋ยหมักร่วมด้วย ($L_0C_1F_0$ และ $L_1C_1F_1$) ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ ค่า pH ของดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด ($pH < 5.6$) ปริมาณเหล็กในสารละลายดินมีค่าสูงมาก ทำให้พืชดูดดึงธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง สังเกตได้จากความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม และทองแดงในข้าวโพดที่อยู่ในระดับต่ำกว่าความเข้มข้นวิกฤตของธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ ส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้แต่ค่อนข้างช้าและแสดงอาการแคระแกรนปรากฏให้เห็น ข้าวโพดสามารถออกดอกติดฝักได้แต่ไม่มีเมล็ดหรือมีเมล็ดแต่ไม่สมบูรณ์

สรุป

จากการศึกษาผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักนานติดต่อกัน 17 ปี ต่อสมบัติของดินและความสามารถในการให้ผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ สรุปได้ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์พื้นที่ดินเปรี้ยวจัดโดยไม่ใส่ปูนและปุ๋ยติดต่อกันระยะยาว ทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรงมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลง แต่ยังคงมีค่าสูงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีแนวโน้มลดลง ต่ำกว่าระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่ปริมาณแมงกานีส ทองแดง สังกะสี มีปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนปริมาณธาตุเหล็ก ความเป็นกรดและอลูมินัมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้น และมีค่าสูงมากจนเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

2. การใส่ปูนในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการใช้ประโยชน์ที่ดินติดต่อกันระยะยาวโดยไม่มีการใส่ปูนเพิ่มทำให้ค่า pH ของดินมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีแนวโน้มลดลงและมีค่าต่ำกว่าระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนปริมาณเหล็ก ความเป็นกรดและอลูมินัมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะปริมาณความเป็นกรดและอลูมินัม มีค่าต่ำจนไม่เป็นพิษต่อพืช ส่วนปริมาณเหล็กยังคงมีค่าค่อนข้างสูง ในขณะที่ปริมาณแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี มีปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโต

3. การใส่ปุ๋ยหมักในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดติดต่อกันในระยะยาว ทำให้ pH ของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่ปริมาณเหล็ก ความเป็นกรดและอลูมินัมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะปริมาณความเป็นกรดและอลูมินัม มีค่าต่ำมากจนไม่เป็นพิษต่อพืช ส่วนปริมาณเหล็กยังคงมีค่าค่อนข้างสูง

4. การใส่ปุ๋ยเคมีในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดติดต่อกันระยะยาว ทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรงมาก และค่า pH ของดินมีแนวโน้มลดลง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียม มีแนวโน้มลดลงและมีค่าต่ำกว่าระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันและยังคงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับปริมาณเหล็ก ความเป็นกรดและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและยังคงมีค่าค่าข้างสูงจนเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

5. การใส่ปุ๋ยร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลาง เมื่อมีการใช้ประโยชน์ที่ดินติดต่อกันในระยะยาวโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยเพิ่ม ทำให้ค่า pH ของดินมีแนวโน้มลดลงมีปฏิกิริยาดินเป็นกรด ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และสังกะสี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่ปริมาณเหล็ก ความเป็นกรดและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้ มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะปริมาณความเป็นกรดและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนแทนที่ได้ มีค่าต่ำมากจนไม่เป็นพิษต่อพืชส่วนปริมาณเหล็ก ยังคงมีค่อนข้างสูง

6. การปลูกข้าวโพดโดยอาศัยผลตกค้างของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักที่ใส่ในฤดูปลูกที่ผ่านมาติดต่อกันนาน 17 ปี ในตำรับควบคุม ($L_0C_0F_0$) และตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ($L_0C_0F_1$) ข้าวโพดมีอัตราการงอกต่ำ และตายเมื่อเจริญเติบโตได้ 30 วัน สาเหตุสำคัญมาจากสภาพดินเป็นกรดรุนแรงมาก ส่งผลให้ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมละลายออกมาในปริมาณสูง เมื่อรากดูดไปสะสมในเนื้อเยื่อของรากพืช ทำให้ระบบรากพืชพัฒนาทำให้ข้าวโพดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนในตำรับที่เคยใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว ($L_1C_0F_0$) ดินมีสภาพเป็นกรดจัดรุนแรงมาก จึงมีปริมาณเหล็กในสารละลายดินสูง ซึ่งเป็นปัจจัยยับยั้งการเจริญเติบโตของรากพืชเช่นเดียวกัน ทำให้พืชดูดตั้งธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง สังเกตได้ชัดเจนจากปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และทองแดง ในข้าวโพดมีค่าต่ำกว่าระดับความเข้มข้นวิกฤตของธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตช้าและแคระแกรน ลำต้นอ่อนแอ ออกดอกช้าและความเข้มข้นของธาตุทองแดงในข้าวโพดซึ่งมีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทำให้การผสมเกสรต่ำและข้าวโพดไม่ติดฝัก สำหรับในตำรับที่เคยใส่ปุ๋ยหมักร่วมด้วย ($L_0C_1F_0$ และ $L_1C_1F_1$) ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด มีปริมาณเหล็กในสารละลายดินค่อนข้างสูง ทำให้พืชดูดตั้งธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง สังเกตได้จากปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และทองแดงในข้าวโพดอยู่ในระดับต่ำกว่าความเข้มข้นวิกฤตธาตุอาหารที่ข้าวโพดต้องการ ส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ค่อนข้างช้าและแสดงอาการแคระแกรนปรากฏให้เห็น ข้าวโพดสามารถออกดอกติดฝักได้แต่ไม่มีเมล็ดหรือมีเมล็ดแต่ไม่สมบูรณ์

อ้างอิง

- ยงยุทธ โอสดสภา. 2546. ธาตุอาหาร. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 น.
- Bremner, J.M. 1965. Nitrogen, pp. 699-799. In C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis Part II Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin. USA.

- Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35 : 217-240
- Dell, B. 1981. Male sterility and outer wall structure in copper-deficient plants. *Ann. Bot. (London)* 48 : 599-608
- Hesse, P.R. 1971. Total elemental analysis and some trace elements. A text book of soil chemical analysis. 519 p.
- Jackson, M.L. 1958. Soil Chemical analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. pp : 219-221
- Jackson, M.L. 1967. Nitrogen determinations for soils and plants tissue. In soil Chemical Analysis. pp. 183-203. Prentice-Hall of India Private Limited. New Delhi.
- Linsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc manganese and copper. *Soil. Sci Amer. J.* 42 : 421-428
- McLean, E.O. 1965. Exchangeable aluminum by colorimetric measurement using aluminum , pp. 988-989 In. C.A. Black (ed.). *Methods of soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Amer. Soc. Of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Peech, M. 1965. Soil pH glass electrode pH meter. *Method of Soil Analysis.* Amer. Soc. Agro. No.9. Part 2. 60 : 914-925.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Sci. Amer. Pro.* 63 : 257