

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานผลการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2541

เรื่อง การใช้ซีโอไลท์และอีโซไลท์เป็นสารปรับปรุงดินทราย
Utilization of Zeolite and Isolite as Soil Conditioner on Sandy Soil



สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

S

592.353

พฤษภาคม 2553

ว 722 ก

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....120258

วัน, เดือน, ปี.....13.0.2555

b. 12030978
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ดินทรายเป็นดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากดินมีสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพ ที่ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช ในการทดลองในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้ ซีโอไลท์ (Zeolite) และอีโซไลท์ (Isolite) เป็นสารปรับปรุงสมบัติของดิน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด และยังศึกษาถึงผลต่อการการชะละลายธาตุอาหารไปกับน้ำ ซึ่งทำการทดลองกับดินทรายชุดดินน้ำพอง (Ng) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ประกอบด้วย 8 ดำรับการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้ Zeolite, Isolite และ Isolite cake ในอัตรา 5% และ 10% โดยมีดำรับปุ๋ยหมัก (2 ตัน/ไร่) เป็นดำรับเปรียบเทียบ และมีดำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวเป็นดำรับควบคุม เก็บดินที่ 3 ระดับความลึก (0-15, 15-50 และ 50-100 cm) บรรจุใส่ Lysimeter (ท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 24.5 cm สูง 100 cm) ตามระดับความลึกของดิน วิเคราะห์สมบัติของสารปรับปรุงดินทุกชนิด แล้วคลุกเคล้าให้ติดกับดินบน (0-15 cm) ตามอัตราที่กำหนด ทุกดำรับการทดลองได้รับปุ๋ย N, P₂O₅ และ K₂O อัตรา 18, 18 และ 9 กก./ไร่ ตามลำดับ ปลูกข้าวโพด 1 ต้นต่อ Lysimeter วัดการเจริญเติบโตและเก็บเกี่ยวผลผลิต (ฝักและต้น) พร้อมวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหาร เก็บ leachate ทุกอาทิตย์ เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารที่ถูกชะละลายไปกับน้ำ นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างดินในแต่ละ Lysimeter ทั้งก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี จากการวิเคราะห์สารปรับปรุงดินพบว่า Zeolite มี CEC สูงมาก (102 meq/100g) ส่วน Isolite และ Isolite cake มี CEC ในระดับต่ำ (4.17-4.78 meq/100g) ปุ๋ยหมักและ Isolite cake มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงมาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมัก และ Isolite cake จึงสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชในดินให้สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการใส่ Zeolite สามารถเพิ่ม CEC ได้เช่นกัน โดยเฉพาะ Zeolite 10% สามารถเพิ่ม CEC ได้สูงที่สุด (18.2 meq/100g) ส่วนผลของสารปรับปรุงดินต่อผลผลิตของข้าวโพด พบว่า Zeolite 10% ให้น้ำหนักฝักสดสูงที่สุด (137 g) รองลงมาคือ Zeolite 5% และ ปุ๋ยหมักที่ให้น้ำหนักฝักสด 126 และ 90.9 g ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยหมัก และ Zeolite ทั้ง 2 ระดับ มีการสะสมธาตุอาหารในข้าวโพดสูงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารหลัก โดยทั้ง 3 ดำรับมีการสะสมธาตุ N, P และ K ในช่วง 1.78-1.87 g/ต้น, 0.25-0.30 g/ต้น และ 0.112-0.154 g/ต้น ตามลำดับ ในการศึกษาผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะละลายไปกับน้ำ พบเพียงแนวโน้มว่าการใส่ Zeolite ทั้ง 2 ระดับ สามารถลดการสูญเสียไนเตรด และแอมโมเนียม (NO₃⁻, NH₄⁺) ได้สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของดินระหว่างก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดพบว่า หลังการปลูกข้าวโพดในดำรับที่ใส่ Isolite cake 5 และ 10% ทำให้ pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.51 และ 7.57 และในทำนองเดียวกัน ยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชอย่างชัดเจน โดยเพิ่มเป็น 57.1 และ 65.0 mg/kg ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีการลดลงในทุกดำรับการทดลอง ในกรณีของ CEC พบว่ามีการลดลงค่อนข้างมากในการใส่ Zeolite 10% โดยลดลงเหลือ 11.8 meq/100g ส่วนการใส่ Zeolite 5% และ ปุ๋ยหมัก มีการลดลงเล็กน้อย โดยลดลงเหลือ 6.10 และ 2.10 meq/100g ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilization of Zeolite and Isolite as Soil Conditioner on Sandy Soil

Abstract

Utilization of Zeolite and Isolite as soil conditioner was carried out in order to investigate the potential of Zeolite and Isolite to improve sandy soil (Ng Series). The experiment was laid out in CRD (Completely Randomized Design) consist of 8 treatments with 4 replications i.e. Zeolite, Isolite and Isolite cake at 5% and 10% (w/w), compost (2 ton/rai) as compared treatment and chemical fertilizer as control. The soils were collected in 3 layers (0-15, 15-50 and 50-100 cm) and packed into lysimeter (PVC column with 24.5 cm diameter and 100 cm long) in each soil layers. Soil conditioners and topsoil (0-15 cm) were mixed and packed on the top layer of lysimeter. All treatments were received N, P₂O₅ and K₂O 18, 18 and 9 kg/rai respectively and sweet corn was planted in each lysimeter. Plant growth and yield were recorded. Plant samples were analyzed for nutrients concentration. Leachate were collected and analyzed for nutrients leaching. Soils properties in each lysimeter were compared between before and after cropping. The results of this study indicated that CEC of Zeolite was very high (102 meq/100g) where as it was low (4.17-4.78 meq/100g) for Isolite and Isolite cake. Compost and Isolite cake were very clear to increase soil organic matter (SOM) and available phosphorus due to their contained very high of OM and available phosphorus. Similar was found in Zeolite 10% that can increase soil CEC to 18.2 meq/100 g. The applications of soil conditioner were effected to growth and yield of corn. The highest of fresh yield was found in Zeolite 10% (137 g) followed by 126 and 90.9 g of Zeolite 5% and Compost (2 ton/rai) respectively. The highest of nutrients uptake (especially macronutrients) were also found on these 3 treatments (Zeolite 10%, Zeolite 5% and Compost) which nutrients uptake were range in 1.78-1.87 g/plant for nitrogen, 0.25-0.30 g/plant for phosphorus and 0.122-0.154 g/plant for potassium. It was found only the trend that Zeolite application could decrease nitrate and ammonium leaching as compared to control. The application of soil conditioners were also affected soil properties. After cropping, Isolite cake 5% and 10% were increased soil pH to 7.51 and 7.57 similar was found to increase of available phosphorus to 57.1 and 65.0 mg/kg. Whereas SOM was decreased in all treatments. The decreasing CEC of Zeolite 10% to 11.8 meq/100g was quite severe as compared to those Zeolite 5% and compost treatments.

สารบัญ

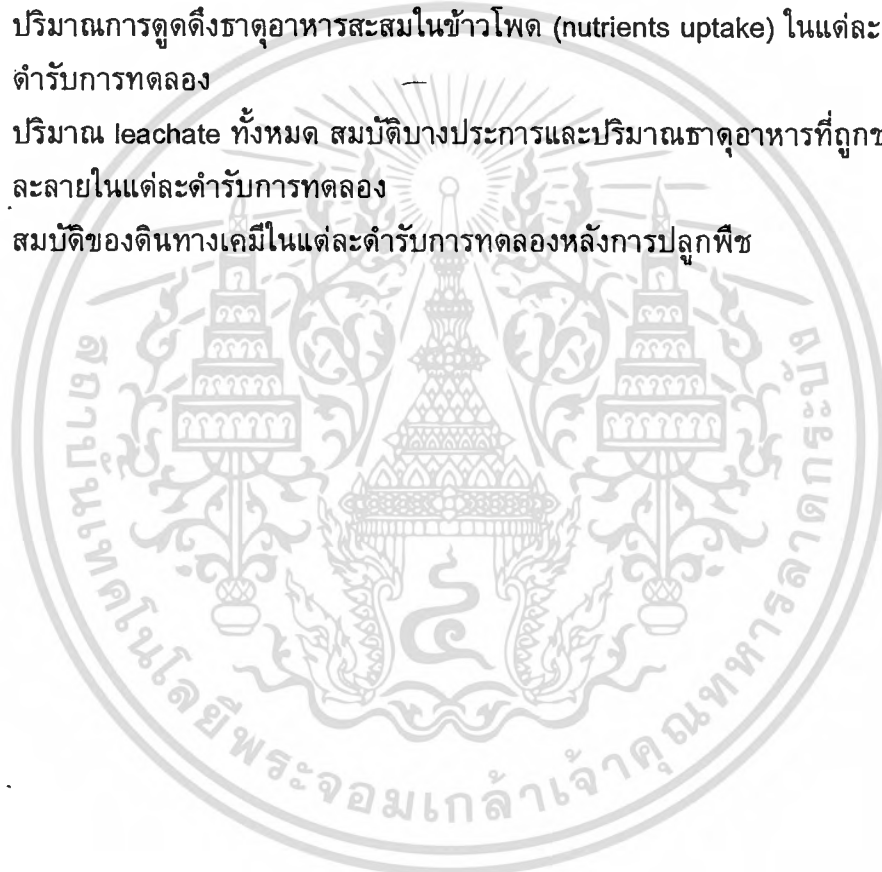
	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
สารบัญ	iii
สารบัญตาราง	iv
สารบัญรูป	v
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	6
ผลการทดลองและวิจารณ์	9
สรุปผลการทดลอง	22
เอกสารอ้างอิง	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ iii ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติของดินทางเคมีและทางกายภาพของดินชุดน้ำพองก่อนการทดลอง	9
2	สมบัติทางเคมีของสารปรับปรุงดิน	10
3	สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละดำรับการทดลองก่อนการปลูกพืช	12
4	ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพด วัดโดย Chlorophyll Meter ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตในแต่ละดำรับการทดลอง	14
5	ผลผลิตของข้าวโพดในแต่ละดำรับการทดลอง	16
6	ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพดในแต่ละดำรับการทดลอง	17
7	ปริมาณการดูดตั้งธาตุอาหารสะสมในข้าวโพด (nutrients uptake) ในแต่ละดำรับการทดลอง	18
8	ปริมาณ leachate ทั้งหมด สมบัติบางประการและปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะละลายในแต่ละดำรับการทดลอง	19
9	สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละดำรับการทดลองหลังการปลูกพืช	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ iv ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละตำรับการทดลองก่อนการปลูกพืช	13
2	ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพดในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตในแต่ละตำรับ การทดลอง	14
3	สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละตำรับการทดลองหลังการปลูกพืช	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ดินทรายเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ สาเหตุที่สำคัญเนื่องมาจาก คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินทรายนั่นเอง คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญที่มีปัญหาคือ การที่ดินทรายมี ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) ก่อนข้างต่ำ ทำให้การตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเคมีไม่ดีเท่าที่ควร และปัญหาทางกายภาพที่ทำให้ดินทรายไม่ค่อยเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีน้อย (พิชัย, 2530) สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ดินทรายมี ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ไม่ดีคือ การที่ดินทรายมีอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุอยู่ในปริมาณที่ต่ำ (Mitsuchi et al., 1986) โดยเฉลี่ยแล้วในดินทรายมีอนุภาคดินเหนียวประมาณ 6% และมีอินทรีย์คาร์บอนประมาณ 0.4% เท่านั้น (Prateep, 1986)

ในการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน และปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพนั้นสามารถทำได้โดย การเพิ่มอินทรีย์วัตถุและอนุภาคดินเหนียวให้แก่ดิน แต่ในดินทราย อินทรีย์วัตถุจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ เพราะอินทรีย์วัตถุไม่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูป Organo-mineral coeplex จึงทำให้มีการสูญเสียอย่างรวดเร็วไปกับการชะล้างพังทลายของดิน (Mitsuchi et al., 1986; Pongsiri et al., 1993) นอกจากนี้ แร่ดินเหนียวที่พบในดินทรายจะเป็นแร่ดินเหนียวชนิด Kaolinitic (Mitsuchi et al., 1986) ซึ่งมีค่า CEC ต่ำ อยู่ระหว่าง 5-15 meq/100g เท่านั้น (ไพบุลย์, 2528) ดังนั้นจึงได้มีการพยายามนำเอาสารปรับปรุงดิน (Soil conditioner) มาใช้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ขณะเดียวกันสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้อีกด้วย ซึ่งทั้ง ซีโอไลท์ (Zeolite) และอีโวไลท์ (Isolite) ก็ได้รับความสนใจ ในการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดิน (ทัศนีย์, 2537)

ซีโอไลท์ เป็นแร่อะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงมาก อยู่ระหว่าง 100-300 meq/100g และค่าดังกล่าวอาจเพิ่มขึ้นสูงถึง 600 meq/100g ในซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ (ปรีดา และคณะ, 2535) นอกจากนี้ตัวแร่ซีโอไลท์มีพื้นที่ผิวสูงมาก จึงสามารถดูดซับธาตุต่างๆ ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นธาตุอาหารพืช เช่น โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, โซเดียม, แบเรียม หรือพวกโลหะหนัก ตลอดจนธาตุกัมมันตรังสี (radioactive elements) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับโมเลกุลของก๊าซ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลายชนิด ทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ ซีโอไลท์เป็นแร่ที่โปร่ง มีค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) เฉลี่ยประมาณ 2-2.3 g/cm³ (Deer et al., 1973 อ้างโดย ปรีดา และคณะ, 2535) สามารถอุ้มน้ำและปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชในยามแห้งแล้งได้ดี โดยไม่ทำให้โครงสร้างของมันเองเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมีและทางกายภาพ สำหรับอีโวไลท์ เป็น Diatomaceous earth มีลักษณะเป็นรูพรุนมีช่องว่างสูงถึง 74 % และมีพื้นที่ผิวสูงมาก (4.6 m²g⁻¹) มีองค์ประกอบเป็น Silicon dioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถตีพิมพ์หรือคัดลอกได้ หากต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) มีเนื้อละเอียดเกิดจากการทับถมของไดอะตอม (Diatom) ซึ่งสามารถเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดิน (ทัศนีย์, 2537) นอกจากนี้ ในอุตสาหกรรมการผลิตผงชูรสได้มีการนำเอาสารอิโซไลท์ (Isolite) มาใช้ในขบวนการกรองน้ำตาล ซึ่งจะเหลือกากอิโซไลท์ (Isolite Cake) ที่ใช้แล้วในปริมาณวันละ 5 ตัน จากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่เด่นชัด ไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพหรือทางเคมีของสารดังกล่าวนี้ ถ้าหากนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินทรายชุดน้ำพอง ซึ่งมีพื้นที่รวมกันถึง $5,274 \text{ Km}^2$ หรือประมาณ 3.10 % ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Mitsuchi et al., 1986) น่าจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) ลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง หรือเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมี ช่วยดูดซับน้ำ เป็นการเก็บรักษาความชื้นไว้ให้พืชในยามแห้งแล้ง ส่งเสริมให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดี อีกทั้งเมื่อสารปรับปรุงดินดังกล่าวสลายตัวจะปลดปล่อยธาตุที่พืชใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย และการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินช่วยลดปัญหาการนำเข้าสู่สารปรับปรุงดินโดยตรง ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตทางการเกษตร และที่สำคัญคือช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาแนวทางในการใช้ ซีโอไลท์ (Zeolite) และอีโซไลท์ (Isolite) เป็นสารปรับปรุงดินทราย (Soil conditioner) และผลของสารปรับปรุงดินดังกล่าวในการปรับปรุงดินทั้งคุณสมบัติทางเคมีทางกายภาพของดิน เพื่อให้เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช ในอันที่จะเพิ่มผลผลิตของพืชให้สูงขึ้น และลดผลกระทบต้อสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

การใช้สารปรับปรุงดิน (Soil conditioner) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ดินมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งสภาพทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน ซึ่งอาจจะมีธาตุอาหารพืชปนอยู่ในสารนั้นหรือไม่ก็ได้ (ทัศนีย์, 2537) สารปรับปรุงดิน (Soil conditioner) มีหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มหลักๆ หลายชนิด เช่น สารปรับปรุงดินทางกายภาพ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยอินทรีย์) สารปรับปรุงดินทางเคมี (ปูนขาว ปูนมาร์ล โดโลมท์) สารปรับปรุงดินในการรักษาความชื้นช่วยในการอุ้มน้ำ (สารในกลุ่มพอลิเมอร์) นอกจากนี้ยังมีสารที่สามารถปรับปรุงดินได้ทั้งสภาพทางกายภาพ เคมี และรักษาสภาพความชื้นในดิน ได้แก่กลุ่มของแร่และหินต่างๆ เช่น ซีโอไลต์ พูไมต์ ทริติไมต์ เป็นต้น ซึ่งมีการใช้กระจายทั่วไปทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ซีโอไลต์ เป็นแร่ อะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงมาก อยู่ระหว่าง 100-300 meq/100g และค่าดังกล่าวอาจเพิ่มขึ้นสูงถึง 600 meq/100g ในซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ (ปริดา และคณะ, 2535) นอกจากนี้ตัวแร่ซีโอไลต์มีพื้นที่ผิวสูงมาก จึงสามารถดูดซับธาตุต่างๆ ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นธาตุอาหารพืช เช่น โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, โซเดียม, แบริียม หรือพวกโลหะหนัก ตลอดจนธาตุกัมมันตรังสี (radioactive elements) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับโมเลกุลของก๊าซ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลายชนิด ทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ ซีโอไลต์เป็นแร่ที่โปร่ง มีค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) เฉลี่ยประมาณ 2-2.3 g/cm³ (Deer et al., 1973 อ้างโดย ปริดา และคณะ, 2535) สามารถอุ้มน้ำและปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชในยามแห้งแล้งได้ดี โดยไม่ทำให้โครงสร้างของมันเองเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมีและทางกายภาพ สำหรับอิวาไลต์ เป็น Diatomaceous earth มีลักษณะเป็นรูพรุนมีช่องว่างสูงถึง 74 % และมีพื้นที่ผิวสูงมาก (4.6 m²g⁻¹) มีองค์ประกอบเป็น Silicon dioxide (SiO₂·nH₂O) มีเนื้อละเอียดเกิดจากการทับถมของไดอะตอม (Diatom) ซึ่งสามารถเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดิน (ทัศนีย์, 2537) นอกจากนี้ ในอุตสาหกรรมการผลิตผงชูรสได้มีการนำเอาสารอิวาไลต์ (Isolite) มาใช้ในขบวนการกรองน้ำตาล ซึ่งจะเหลือกากอิวาไลต์ (Isolite Cake) ที่ใช้แล้วในปริมาณวันละ 5 ตัน

การศึกษานำเอาสารปรับปรุงดินมาใช้ เพิ่งจะมีอย่างจริงจังเมื่อประมาณยี่สิบปีที่แล้วมานี้เอง (De Boodt, 1972 อ้างโดย สมศรี และคณะ, 2533) และในปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษาได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง ประสพ และคณะ (2536) ศึกษาผลของสารดูดน้ำต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินทราย พบว่า High-Water Absorbing Polymers (HWAP) ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลง เป็นปฏิภาคกลับกับค่าซาบซึมน้ำของดิน (Permeability) และเมื่อเติม HWAP ในอัตรา 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ระดับปฏิกิริยาความเป็นกรดต่างของดินเพิ่มขึ้น 1.20 หน่วย และค่าแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น 1.14 meq/100g Pongsiri et al. (1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า การเติม Polyvinyl Alcohol (PVA) 0.02% (W/W) สามารถเพิ่มความเสถียรของเม็ดดิน (stabilizing aggregates) ของดินทรายได้ สมศรีและคณะ (2532) ทดลองใช้ดินเหนียว Na-2:1 (พิมาย) เป็นสารปรับปรุงโครงสร้างของดินนาเค็มเนื้อหยาบพบว่า การใส่ 2% Na-clay จะช่วยลดการซึมน้ำของดิน โดยมีอัตราการซึมน้ำ 0.27 cm/hr. และผลผลิตของข้าวสูงขึ้นถึง 2.23 ตัน/เฮกตาร์.

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ ซีโอไลต์และอีซีโอไลต์ เป็นสารปรับปรุงดิน มีรายงานว่าได้มีการคิดค้นนำเอา ซีโอไลต์มาใช้ผลิตปุ๋ยที่ปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชอย่างช้าๆ (slow release fertilizer) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยไนโตรเจน ที่เมื่อใส่ลงในดินแล้ว ปกติจะถูกชะล้างสูญหายไปจากดินได้ง่าย (Ming, 1989 อ้างโดย ปรีดาและคณะ, 2535) Ando et al. (1996) พบว่าการเติมซีโอไลต์เพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินในนาข้าว ในอัตรา 0.01 และ 0.1 kg kg⁻¹ ทำให้ดินสามารถดูดซับ (absorb) ปุ๋ยไนโตรเจน (¹⁵N ammonium sulfate) ที่ใส่ลงในดิน โดยปริมาณของแอมโมเนียมจะสูงขึ้นตามปริมาณของซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้น และซีโอไลต์ที่เติมให้ดินนี้จะไม่ส่งผลต่อขบวนการ immobilization ของไนโตรเจน และปริมาณของแอมโมเนียมซัลเฟต (¹⁵N ammonium sulfate) ที่ข้าวดูดไปใช้แต่อย่างใด ในการศึกษาผลของซีโอไลต์ที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารถูกชะล้าง โดยการเติมซีโอไลต์ให้กับดินทรายชุดสติก 50% โดยน้ำหนัก จะช่วยลดปริมาณการชะล้างปุ๋ยไนโตรเจน ประมาณ 25 เท่า คือสูญเสียไนโตรเจนเพียง 5% และสูญเสียโพแทสเซียม 8% เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การเติมซีโอไลต์มากเกินไป อาจจะทำให้ปริมาณเกลือโซเดียมในดินเพิ่มขึ้น เพราะซีโอไลต์ มีโซเดียมเป็นส่วนประกอบอยู่มาก (นงลักษณ์ และพวงเล็ก, 2538) Forguson et al. (1986) พบว่าคุณภาพของ Bentgrass จะเพิ่มขึ้น ถ้าเติม Clinoptilolite Zeolite 5% แต่ถ้าเติม 10% คุณภาพของ Bentgrass จะไม่ดีขึ้น ทั้งนี้เพราะว่ามีปริมาณโซเดียมเพิ่มขึ้นนั่นเอง สำหรับอีซีโอไลต์นั้น มีรายงานว่าได้นำมาใช้ในทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านพืชสวน อัตราที่ใช้กับสนามหญ้าประมาณ 7.5-15 กก.ต่อตารางเมตร (ทัศนีย์, 2537)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างดิน

ดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือดินชุดน้ำพอง ซึ่งเก็บตัวอย่างดินในบริเวณสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ที่ 3 ระดับความลึก 0-15, 15-50 และ 50-100 cm บรรจุใส่กระสอบแล้วนำดินแต่ละระดับมาตากให้แห้งแล้ว คลุกเคล้ากันให้ดี แบ่งตัวอย่างดินในแต่ละระดับมาประมาณ 1 Kg มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และทางกายภาพบางประการ

สมบัติทั่วไปของดินที่ใช้ในการศึกษา

ชุดดินน้ำพอง (Nam Phong series: Ng) จำแนกเป็น isohyperthermic Ustoxic Quartzipsamments วัตถุต้นกำเนิด เกิดจากตะกอนน้ำพามาที่บดมอยู่บนตะพักลำน้ำเก่า ระดับกลางหรืออาจเป็นดินลมหอบ (loess) สภาพพื้นที่ ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 3-10 เปอร์เซ็นต์ สัณฐานดินเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีถึงค่อนข้างมาก น้ำซึมผ่านได้เร็ว การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินเร็ว ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินทรายปนดินร่วน สีชมพู สีน้ำตาล สีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลปนแดงและจะพบชั้น 2C หรือ 2B ที่ความลึกต่ำกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวดิน มีสีจาง มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายหรือดินเหนียว อาจพบจุดประสีน้ำตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดงในดินชั้นล่างนี้ด้วย พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าเต็งรัง มันท่าปะหลัง อ้อยและทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ ดินเป็นทรายจัด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พืชมักแสดงอาการขาดน้ำอย่างเห็นได้ชัดเจน ในช่วงฝนแล้งและเสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างพังทลาย

2 การเตรียม Lysimeter

1) Lysimeter ทำจากท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 24.5 cm สูง 100 cm ปลายด้านล่างปิดด้วยแผ่นพลาสติก ที่เจาะรูเพื่อเก็บสารละลาย ที่ถูกชะละลายออกจากดิน

2) รองพื้น Lysimeter ด้วยแผ่นตะแกรงพลาสติกถี่ๆ และหินกรวดที่ล้างสะอาดแล้ว จำนวน 4 kg

3) บรรจุดินตามระดับความลึกลงใน Lysimeter โดยบรรจุดินให้ได้ความหนาแน่นใกล้เคียงกับสภาพสนาม โดยที่ระดับความลึก 50-100 cm บรรจุดิน 36.9 kg และระดับความลึก 15-50 cm บรรจุดิน 30.5 kg

4) นำดินที่ระดับความลึก 0-15 cm จำนวน 8.2 kg มาผสมคลุกเคล้ากับสารปรับปรุงดินตามอัตราที่กำหนดให้ดี แล้วบรรจุใน Lysimeter ชั้นบนสุด (0-15 cm)

3 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) มีทั้งหมด 8 ดำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย ดำรับต่างๆ ดังนี้

ดำรับการทดลองที่ 1	ดิน + ปุ๋ยเคมี (control)
ดำรับการทดลองที่ 2	ดิน + ปุ๋ยเคมี + ปุ๋ยหมัก (อัตรา 2 ตัน/ไร่ = 6.8 g / Lysimeter)
ดำรับการทดลองที่ 3	ดิน + ปุ๋ยเคมี + ซีโอไลท์ 5% (w/w) (455 g / Lysimeter)
ดำรับการทดลองที่ 4	ดิน + ปุ๋ยเคมี + ซีโอไลท์ 10% (w/w) (890 g / Lysimeter)
ดำรับการทดลองที่ 5	ดิน + ปุ๋ยเคมี + อีโอไลท์ 5% (w/w) (455 g / Lysimeter)
ดำรับการทดลองที่ 6	ดิน + ปุ๋ยเคมี + อีโอไลท์ 10% (w/w) (890 g / Lysimeter)
ดำรับการทดลองที่ 7	ดิน + ปุ๋ยเคมี + อีโอไลท์เค้ก 5% (w/w) (455 g / Lysimeter)
ดำรับการทดลองที่ 8	ดิน + ปุ๋ยเคมี + อีโอไลท์เค้ก 10% (w/w) (890 g / Lysimeter)

หมายเหตุ

- อีโอไลท์เค้ก (Isolite Cake) คือ อีโซไลท์ (Isolite) ที่ผ่านการใช้ในขบวนการกรองน้ำตาล ในอุตสาหกรรมการผลิตผงชูรส

- ทุกดำรับการทดลองจะได้รับปุ๋ย ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) โพแทสเซียม (K_2O) อัตรา 18, 18 และ 9 กก./ไร่ ตามลำดับ โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง

- ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 150 กก/ไร่ ใส่ตอนปลูกพืช

- ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (Urea) อัตรา 150 กก/ไร่ ใส่หลังปลูกพืช 25 วัน

- ครั้งที่ 3 ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (Urea) อัตรา 75 กก/ไร่ ใส่หลังปลูกพืช 45 วัน

4 สถานที่ทำการทดลอง

ตาดฟ้าชั้น 5 (ไม่มีหลังคา) ของอาคารบุญนาต (ตึก L) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5 การเก็บข้อมูล

1) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบของ Zeolite, Isolite และ Isolite Cake เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC), ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn)

2) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินทั้งก่อนและหลังการทดลอง เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC), อินทรีย์วัตถุ (OM), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์, ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC), แคลเซียม (Ca),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียม (Mg), โซเดียม (Na), เนื้อดิน (Soil Texture),

3) ปลูกข้าวโพด จำนวน 1 ต้น ในแต่ละ Lysimeter บันทึกการเจริญเติบโต และผลผลิต แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร แล้วคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดขึ้นมาสะสมในต้นข้าวโพด ทั้งธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ธาตุอาหารรอง (Ca, Mg) และจุลธาตุ (Fe, Mn, Cu, Zn)

4) เก็บตัวอย่างน้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดิน ทุกๆ สัปดาห์และภายหลังฝนตกหนักในช่วงฤดูปลูก มาวิเคราะห์ คุณสมบัติ และหาปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะล้างลงกับน้ำเช่น pH EC ไนเตรต (NO_3), แอมโมเนียม (NH_4), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), โซเดียม (Na) และ โพแทสเซียม (K)

6 การการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน เก็บข้อมูล

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดังนี้

รายการที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
pH	1:2.5 Soil:H ₂ O
Electrical conductivity (EC _e)	Saturation extract
Organic matter	Wet oxidation (Walkley and Black, 1934)
+Available phosphorus	Bray II
Cation Exchange Capacity	1 N NH ₄ OAc pH 7 (Chapman, 1969)
Exchangeable base (Ca, Mg, Na, K) and Base saturation	1 N NH ₄ OAc pH 7 (Chapman, 1969)
Available micro nutrients (Cu, Fe, Mn, Zn)	DTPA (Lindsay and Norvell, 1979)

7 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการทดลองและวิจารณ์

1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินมีเนื้อดินเป็นดินทราย (sand) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดทรายสูงถึง 85-87% โดยมีอนุภาค clay ประมาณ 1% เท่านั้น (ตารางที่ 1) ดินที่ทำการศึกษาคือเป็นดินกรด โดยมีฤทธิ์ความเป็นกรดรุนแรงมากในทุกระดับความลึก ซึ่งมีค่า pH ตั้งแต่ 4.77 ถึง 4.98 ในการวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน โดยการสกัดดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) พบว่า ดินทั้งหมดมีค่าการนำไฟฟ้าในระดับที่ต่ำในทุกระดับความลึก โดยมีค่าตั้งแต่ 0.36-1.77 mS/cm ซึ่งจัดได้ว่าดินไม่มีปัญหาเรื่องความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีในปริมาณที่ต่ำมาก โดยมีปริมาณเพียง 0.37% ในดินบน และพบในดินชั้นล่างเพียง 0.11-0.21% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชมีปริมาณค่อนข้างสูงในดินบน (19.2 mg/Kg) และพบในระดับปานกลางในดินล่าง (7.75-11.6 mg/kg) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) พบในระดับต่ำ (1.10-1.45 meq/100g) และมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันในดินทุกความลึก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าดินเป็นดินเหนียวมีความเป็นกรดสูง สำหรับปริมาณที่แลกเปลี่ยนได้ (โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม) พบในปริมาณที่ต่ำ และไม่แตกต่างกันในทุกความลึก อัตราร้อยละของการอิ่มตัวประจุบวกที่เป็นเบส (BS) ที่ได้จากการคำนวณ ปริมาณโพแทสเซียมแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่ามีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก (มากกว่า 60%) ในดินชั้นบน (0-15 และ 15-50 cm) แสดงว่าปริมาณประจุบวกที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินชั้นบนมีในระดับสูง อย่างไรก็ตามค่านี้ขึ้นกับปริมาณ CEC ของดินด้วย เนื่องจากดินมี CEC ต่ำ ดังนั้นปริมาณประจุบวกที่เป็นประโยชน์ต่อพืชก็จะต่ำไปด้วย แม้จะมี %BS สูงก็ตาม

ตารางที่ 1 สมบัติของดินทางเคมีและทางกายภาพของดินชุดน้ำพองก่อนการทดลอง

Depth (cm)	pH (1:1) ดิน:น้ำ	ECe mS/cm	OM %	P (Bray II) mg/kg	Exchangeable base (meq/100g)				CEC (meq/100g)	BS %
					K	Ca	Mg	Na		
0-15	4.98	1.77	0.37	19.2	0.14	0.66	0.07	0.14	1.14	88.6
15-50	4.89	0.72	0.21	11.6	0.05	0.54	0.05	0.10	1.10	67.3
50-100	4.77	0.36	0.11	7.75	0.05	0.22	0.05	0.09	1.45	28.3

Depth (cm)	Particle size distribution (%)			Texture
	Sand	Silt	Clay	
0-15	87	12	1.0	Sand
15-50	88	11	1.0	Sand
50-100	85	9.0	6.0	Loamy sand

2 สมบัติของของสารปรับปรุงดิน

จากผลการวิเคราะห์สารปรับปรุงดินทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ซีโอไลท์ (Zeolite) มีฤทธิ์เป็นกลาง (pH 7.29) มีค่าการนำไฟฟ้าในระดับที่ต่ำ (ECe 0.44 mS/cm) ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก (0.07%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชมีปริมาณสูง (44.38 mg/kg) สำหรับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีระดับสูงมาก (102 meq/100g) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของซีโอไลท์ในการนำมาปรับปรุงดิน ปริมาณต่างที่แลกเปลี่ยนได้ พบในปริมาณที่สูง (โพแทสเซียม แคลเซียม และโซเดียม) ยกเว้นแมกนีเซียม ที่พบมีปริมาณต่ำมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ อัตราร้อยละของการอึดตัวประจุบวกที่เป็นเบส (BS) พบว่าในระดับปานกลาง (40-60%) แสดงว่ามีสมบัติที่จะดูดซับธาตุอาหารที่มีประจุบวกได้มาก สำหรับอีโซไลท์ (Isolite) และอีโซไลท์เค้ก (Isolite cake) พบว่ามีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ระดับต่ำ (4.17-4.78 meq/100g) ปริมาณต่างที่แลกเปลี่ยนได้ของอีโซไลท์เค้ก สูงกว่าอีโซไลท์ ส่งผลให้มี อัตราร้อยละของการอึดตัวประจุบวกที่เป็นเบส (BS) สูงตามไปด้วย (89%) อีโซไลท์มีฤทธิ์เป็นด่างจัดมาก (pH 10.03) ในขณะที่ อีโซไลท์เค้กมีฤทธิ์เป็นกรดจัดมาก (pH 3.86) การที่อีโซไลท์เค้ก (Isolite Cake) ที่ผ่านการใช้ในขบวนการกรองน้ำศาล ในอุตสาหกรรมการผลิตผงชูรส ทำให้พบมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (30.1%) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (97.5 mg/kg) มีปริมาณสูงมาก ในขณะที่อีโซไลท์มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชเพียง 0.36% และ 14.4 mg/kg ตามลำดับ สำหรับปุ๋ยหมักพบว่า มีมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ระดับสูง (27.6 meq/100g) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณที่สูง โดยพบ 10.4% 780 mg/kg และ 4.08 meq/100g ตามลำดับ

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของสารปรับปรุงดิน

สารปรับ ปรุงดิน	pH (1:1) ดิน:น้ำ	ECe mS/cm	OM %	P (Bray II) mg/kg	Exchangeable base (meq/100g)				CEC (meq/100g)	BS %
					K	Ca	Mg	Na		
Zeolite	7.29	0.44	0.07	44.38	5.8	35.3	0	11.20	102	51.1
Isolite	10.03	0.54	0.36	14.41	0	0.21	0.07	3.13	4.78	71.3
Isolite cake	3.86	0.66	30.1	97.5	0.34	1.56	0.30	1.51	4.17	89.0
ปุ๋ยหมัก	6.53	4.06	10.4	780	4.08	21.0	0.09	0.52	27.6	93.1

3 สมบัติของดินหลังจากเติมสารปรับปรุงดินก่อนการปลูกข้าวโพด

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของดินหลังจากเติมสารปรับปรุงดินก่อนการปลูกข้าวโพด ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 1 พบว่าสารปรับปรุงดินในตำรับต่างๆ มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของดิน โดย Isolite สามารถลดความเป็นกรดของดินได้มากที่สุด โดย Isolite 10% (ตำรับที่ 6) เพิ่ม pH เป็น 6.18

รองลงมาคือ Isolite 5% (ดำรับที่ 5) ที่เพิ่ม pH เป็น 5.69 ส่วน Zeolite ทั้ง 2 ระดับ (ดำรับที่ 3 และ 4) ก็สามารถลดความเป็นกรดของดินได้เช่นกัน โดยเพิ่ม pH ในช่วง 5.37-5.54 การใส่ปุ๋ยหมัก (ดำรับที่ 2) สามารถเพิ่ม pH ได้เล็กน้อยเมื่อเทียบกับดำรับควบคุม (ดำรับที่ 1) ในกรณีของ Isolite cake ที่เป็นกรดรุนแรง (pH 3.86) ทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้นเมื่อเทียบกับดำรับควบคุม โดยดินในดำรับ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ (ดำรับที่ 7 และ 8) มี pH ในช่วง 4.75-4.92

สารปรับปรุงดินในทุกดำรับการทดลอง มีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดำรับควบคุม อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าของดิน ยังอยู่ในระดับที่ต่ำ (0.34-0.59 mS/cm) ซึ่งจัดได้ว่าดินไม่มีความเค็ม หรือไม่มีเกลือสะสมดิน

การใส่ปุ๋ยหมัก (ดำรับที่ 2) และ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ (ดำรับที่ 7 และ 8) สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับดำรับควบคุม (0.37%) โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มเป็น 1.27% สำหรับปุ๋ยหมัก (ดำรับที่ 2) และ 1.69 กับ 3.94% สำหรับ Isolite cake 5 และ 10% ตามลำดับ ส่วน Zeolite และ Isolite ทั้ง 2 ระดับ ไม่มีผลต่อการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินเมื่อเทียบกับดำรับควบคุม

ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช จะคล้ายกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน คือการใส่ปุ๋ยหมัก (ดำรับที่ 2) และ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ (ดำรับที่ 7 และ 8) สามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงขึ้นเมื่อเทียบกับดำรับควบคุม (20.8 mg/kg) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปุ๋ยหมัก (ดำรับที่ 2) สามารถเพิ่มได้ถึง 66.4 mg/kg ขณะที่การใส่ Isolite cake 5 และ 10% สามารถเพิ่มได้ 29.7 และ 27.9 mg/kg ตามลำดับส่วน Zeolite และ Isolite ทั้ง 2 ระดับ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชใกล้เคียงกับดำรับควบคุม

การปรับปรุงดินด้วย Zeolite สามารถเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) ได้อย่างชัดเจน โดยการเติม Zeolite 10% (ดำรับที่ 4) สามารถเพิ่มระดับ CEC ให้อยู่ในระดับสูงได้ (18.2 meq/100g) ส่วนการเติม Zeolite 5% (ดำรับที่ 3) สามารถเพิ่มระดับ CEC ได้เช่นกัน แต่อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (7.38 meq/100g) เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยหมัก (ดำรับที่ 2) ถึงแม้จะเพิ่มระดับ CEC ได้แต่อยู่ในระดับต่ำ (3.10 meq/100g) ส่วน Isolite และ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ มีค่า CEC ในระดับต่ำและใกล้เคียงกับดำรับควบคุม (1.53 meq/100g)

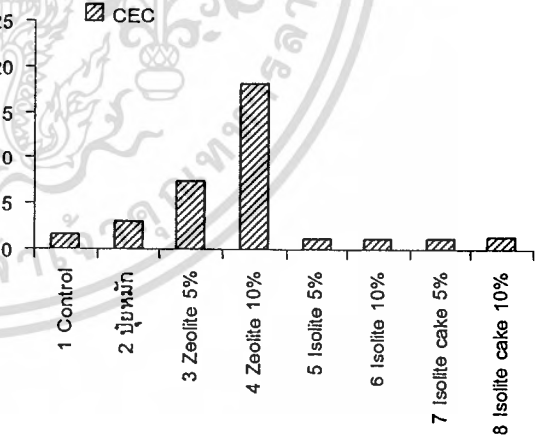
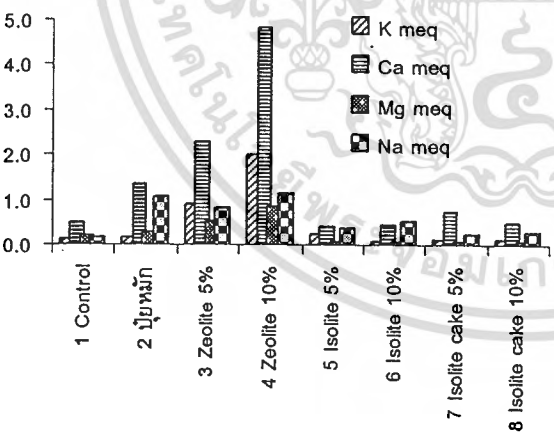
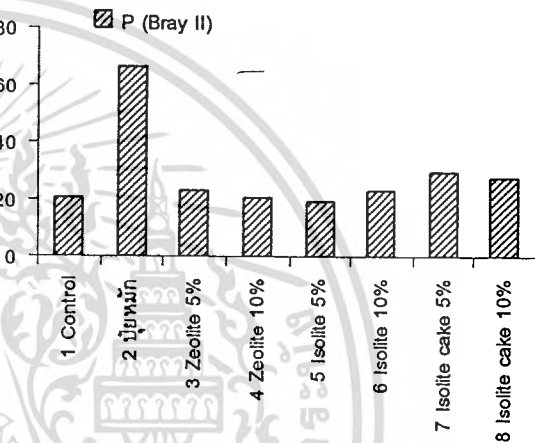
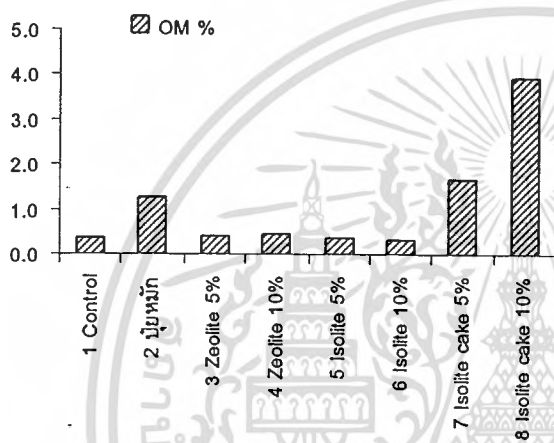
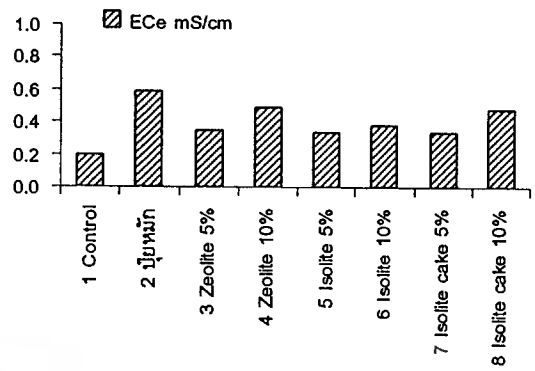
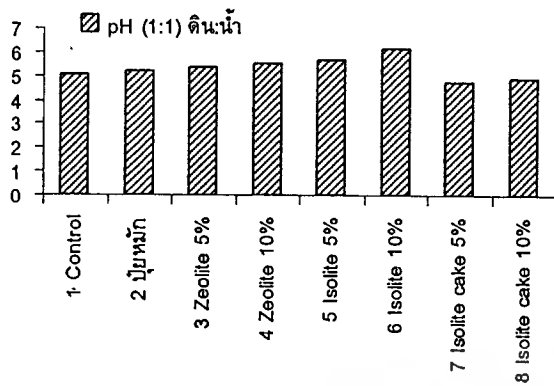
ปริมาณต่างที่แลกเปลี่ยนได้ (โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม) มีการเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันกับ การเพิ่มของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) กล่าวคือการใส่ Zeolite และ ปุ๋ยหมัก สามารถเพิ่มปริมาณต่างที่แลกเปลี่ยนได้ ส่วน Isolite และ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ มีปริมาณต่างที่แลกเปลี่ยนได้ ในระดับต่ำและใกล้เคียงกับดำรับควบคุม

ตารางที่ 3 สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละตำรับการทดลองก่อนการปลูกพืช

Treatments	pH (1:1)	ECe	OM	P (Bray II)	Exchangeable base (meq/100g)				CEC	BS
	ดิน:น้ำ	mS/cm	%	mg/kg	K	Ca	Mg	Na	(meq/100g)	%
1 Control	5.06	0.20	0.37	20.8	0.12	0.49	0.20	0.15	1.53	62.7
2 ปุ๋ยหมัก	5.25	0.59	1.27	66.4	0.15	1.36	0.30	1.07	3.10	92.9
3 Zeolite 5%	5.37	0.35	0.40	23.1	0.89	2.29	0.53	0.80	7.38	61.1
4 Zeolite 10%	5.54	0.49	0.45	20.6	1.99	4.84	0.85	1.16	18.2	48.6
5 Isolite 5%	5.69	0.34	0.36	19.5	0.24	0.42	0.08	0.35	1.27	85.8
6 Isolite 10%	6.18	0.38	0.32	23.0	0.07	0.44	0.08	0.55	1.30	87.7
7 Isolite cake 5%	4.75	0.34	1.69	29.7	0.11	0.73	0.10	0.23	1.20	97.5
8 Isolite cake 10%	4.92	0.48	3.94	27.9	0.13	0.50	0.09	0.28	1.40	71.4

n = 4





รูปที่ 1 สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละคำรับการทดลองก่อนการปลูกพืช

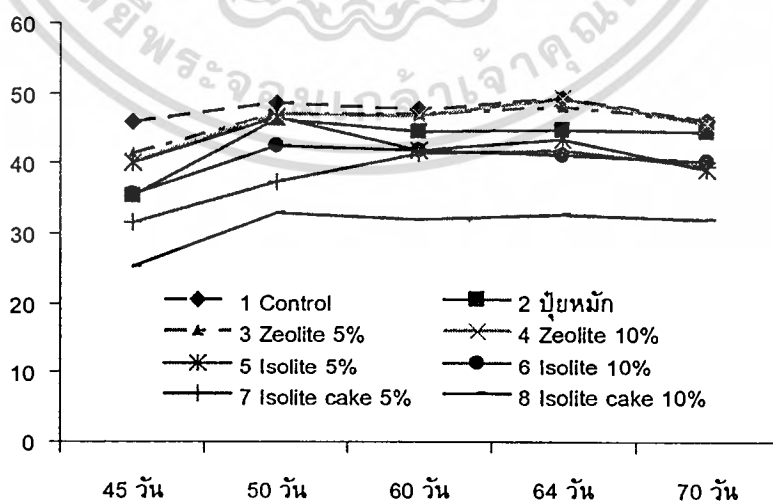
4 การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด

4.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพด

จากการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพดในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต โดยใช้ Chlorophyll Meter ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 2 พบว่า ตำรับที่ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดคือ ตำรับควบคุม ซึ่งใกล้เคียงกับตำรับที่ใส่ Zeolite 5 และ 10% (ตำรับที่ 3 และ 4) ส่วนตำรับที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุดคือ ตำรับที่ใส่ Isolite cake 10% โดยเฉพาะเมื่อข้าวโพดมีอายุ 45 วัน ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่าตำรับควบคุม ประมาณ 2 เท่า จากการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกๆ อาทิตย์ของการเจริญเติบโต พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพดสูงที่สุด เมื่อมีอายุประมาณ 64 วัน หลังจากนั้นจะลดลงเล็กน้อย ยกเว้น ในตำรับที่ใส่ Isolite cake 10% นอกจากนี้ยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพด ที่วัดโดยใช้ Chlorophyll Meter กับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าวโพดแต่อย่างใด

ตารางที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพด วัดโดย Chlorophyll Meter ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตในแต่ละตำรับการทดลอง

Treatments	อายุของต้นข้าวโพด (วัน)				
	45	50	60	64	70
1 Control	45.8	48.5	47.6	49.4	46.0
2 ปุ๋ยหมัก	35.5	46.3	44.6	44.8	44.5
3 Zeolite 5%	41.4	46.9	46.9	48.2	46.2
4 Zeolite 10%	40.3	47.0	46.9	49.3	45.8
5 Isolite 5%	40.0	46.6	41.9	43.4	39.3
6 Isolite 10%	35.5	42.6	41.8	41.2	40.4
7 Isolite cake 5%	31.5	37.5	41.5	41.8	39.7
8 Isolite cake 10%	25.3	32.8	32.1	32.7	32.1



รูปที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวโพดในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตในแต่ละตำรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความสูงของต้นข้าวโพด

สารปรับปรุงดินมีผลต่อความสูงของข้าวโพด ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยดำรับที่ให้ข้าวโพดสูงที่สุดคือ ใส่ปุ๋ยหมัก (191 cm) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับดำรับอื่นที่ใส่สารปรับปรุงดิน ที่ให้ข้าวโพดสูง 169-185 cm ยกเว้นในดำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) กับที่ให้ข้าวโพดสูง 157 cm ซึ่งไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม (144 cm)

4.3 น้ำหนักสด (ฝักสดและต้นสด)

สารปรับปรุงดินมีผลต่อน้ำหนักสด (ฝักสดและต้นสด) ของข้าวโพด ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยดำรับที่ให้น้ำหนักฝักสดสูงที่สุดคือ ดำรับที่ 4 (Zeolite 10%) ที่ได้ 137 g รองลงมาคือ ดำรับที่ 3 (Zeolite 5%) ดำรับควบคุม และดำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) ที่ให้น้ำหนักฝักสด 126, 106 และ 90.9 g ตามลำดับ ในขณะที่ดำรับที่ 5 และ 6 (Isolite 5% และ 10%) ให้น้ำหนักฝักสด 77.3-81.8 g ซึ่งต่ำกว่าดำรับควบคุม ส่วนดำรับที่ให้น้ำหนักฝักสดต่ำที่สุดคือ ดำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) ที่ให้น้ำหนักฝักสดเพียง 17.4 g เมื่อพิจารณาน้ำหนักต้นสด และน้ำหนักสดทั้งหมด (ฝักและต้น) พบว่าดำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) ให้น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักสดทั้งหมดสูงที่สุด คือ 499 และ 590 g ตามลำดับ รองลงมาคือดำรับที่ 4 (Zeolite 10%) และดำรับที่ 3 (Zeolite 5%) โดยดำรับที่ 4 (Zeolite 10%) ให้น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักสดทั้งหมด 388 และ 525 g ตามลำดับ ขณะที่ดำรับที่ 3 (Zeolite 5%) ให้น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักสดทั้งหมด 374 และ 500 g ตามลำดับ สำหรับดำรับที่ใส่ Isolite และ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ มีแนวโน้มให้น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักสดทั้งหมด คล้ายกับน้ำหนักฝักสด โดยดำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) ให้น้ำหนักต้นสดและน้ำหนักสดทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 291 และ 308 g ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักสดทั้งหมดต่ำกว่าดำรับควบคุม (339 g)

4.4 น้ำหนักแห้ง (ฝักแห้งและต้นแห้ง)

สำหรับน้ำหนักแห้ง (ฝักและต้น) พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับน้ำหนักสด ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยดำรับที่ให้น้ำหนักฝักแห้งสูงที่สุดคือ ดำรับที่ 4 (Zeolite 10%) โดยให้น้ำหนักฝักแห้ง 40.3 g และดำรับที่ให้น้ำหนักต้นแห้ง และน้ำหนักแห้งทั้งหมดสูงที่สุด คือดำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) เช่นเดียวกัน โดยให้น้ำหนักต้นแห้ง และน้ำหนักแห้งทั้งหมด 118 และ 137 g ตามลำดับ สำหรับดำรับที่ใส่ Isolite และ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับน้ำหนักสด ยกเว้นในดำรับที่ 6 (Isolite 10%) ให้น้ำหนักต้นแห้ง และน้ำหนักแห้งทั้งหมด สูงกว่าดำรับที่ 5 (Isolite 5%) และดำรับที่ใส่ Isolite cake ทั้ง 2 ระดับ (ดำรับที่ 7 และ 8)

ตารางที่ 5 ผลผลิตของข้าวโพดในแต่ละดำรับการทดลอง

Treatments	ความสูง cm	นน.ฝักสด g	นน.ต้นสด g	นน.สดทั้งหมด g	นน.ฝักแห้ง g	นน.ต้นแห้ง g	นน.แห้งทั้งหมด g
1 Control	144 c	106 abc	233 d	339 cd	26.2 b	64.3 cd	90.4 bcd
2 ปุ๋ยหมัก	191 a	90.9 abc	499 a	590 a	18.9 b	118 a	137 a
3 Zeolite 5%	165 ab	126 ab	374 abc	500 ab	27.8 b	98.7 ab	126 ab
4 Zeolite 10%	169 ab	137 a	388 ab	525 ab	38.3 a	99.7 ab	138 a
5 Isolite 5%	164 ab	77.3 bc	245 cd	322 d	17.3 b	61.5 cd	78.9 cd
6 Isolite 10%	185 ab	81.4 bc	335 bcd	416 bcd	18.4 b	91.5 abc	110 abc
7 Isolite cake 5%	182 ab	66.2 cd	392 ab	458 bcd	13.4 bc	85.6 bcd	99.0 bcd
8 Isolite cake 10%	157 bc	17.4 d	291 bcd	308 d	3.08 c	58.6 d	61.7 d
CV (%)	11.3	39.1	24.7	25.2	41.4	22.5	22.9

หมายเหตุ – ตัวอักษรที่ต่างกันในสัณฐานเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

5 ความเข้มข้นของธาตุอาหารและการดูดซับธาตุอาหารสะสมในข้าวโพด

5.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพด

สารปรับปรุงดินส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพด ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยเมื่อพิจารณาเฉพาะธาตุอาหารหลักพบว่า ดำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) ให้ความเข้มข้นของ ไนโตรเจน (1.47%) และฟอสฟอรัส (0.268%) สูงที่สุด ในขณะที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียม ก็มีปริมาณค่อนข้างสูงเช่นกัน (1.08%) ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก dilution effect ในกรณีความเข้มข้นของไนโตรเจนนอกจากจะพบว่ามีสูงในดำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) แล้วยังพบในปริมาณใกล้เคียงกัน ในดำรับที่ 5 (Isolite 5%) (1.48%) ส่วนดำรับอื่นๆ มีความเข้มข้นรองลงมา ซึ่งมีความเข้มข้นในช่วง 1.24-1.42% ส่วนดำรับที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดคือ ดำรับที่ 6 (Isolite 10%) ที่มีความเข้มข้น 1.19% ในกรณีของฟอสฟอรัส ดำรับที่พบในปริมาณรองลงมาจาก ดำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) คือดำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) (0.22%) ส่วนดำรับอื่นๆ มีระดับที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.173-0.198% ส่วนความเข้มข้นของโพแทสเซียมพบว่า ดำรับที่ระดับความเข้มข้นที่ไม่แตกต่างจากดำรับที่ 8 คือ ดำรับที่ 3 (Zeolite 5%) ดำรับที่ 4 (Zeolite 10%) และดำรับที่ 5 (Isolite 5%) ที่มีความเข้มข้น 1.03, 1.20 และ 0.98% ตามลำดับ ส่วนดำรับที่พบในปริมาณที่รองลงมาที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0.81-0.86% คือ ดำรับที่ 1 ดำรับที่ 2 และดำรับที่ 6 ส่วนดำรับที่ให้ความเข้มข้นโพแทสเซียมต่ำที่สุด (0.70%) คือ ดำรับที่ 7 (Isolite cake 5%)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารรองในข้าวโพด มีความแตกต่างกันจากการใส่สารปรับปรุงดินเช่นกัน โดยพบว่าดำรับที่ให้ความเข้มข้นของแคลเซียมสูงที่สุดคือ ดำรับที่ 7 (Isolite cake 5%) และ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) ที่ให้ความเข้มข้น 1.53 และ 1.52% ตามลำดับ ส่วนตำรับอื่นๆ พบแคลเซียมในปริมาณที่รองลงมา ซึ่งมีความเข้มข้น อยู่ในช่วง 0.66-1.01% คือ ตำรับที่ 1, 2, 4, 5 และ 6 ส่วนตำรับที่ให้ความเข้มข้นแคลเซียมต่ำที่สุด (0.42%) คือ ตำรับที่ 3 (Zeolite 5%) ในกรณีของแมกนีเซียมพบว่าตำรับที่ให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงที่สุด (0.28%) คือ ตำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) ส่วนตำรับอื่นๆ มีระดับรองลงมาและมีในระดับที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.18-0.22%

ความเข้มข้นของจุลธาตุในข้าวโพด พบในระดับที่ค่อนข้างแปรปรวน โดยพบเหล็ก (Fe) ในปริมาณสูงที่สุด ในตำรับที่ 7 (Isolite cake 5%) และตำรับที่ 1 (ควบคุม) ที่ความเข้มข้น 272 และ 250 mg/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ตำรับควบคุม ยังให้ความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) และ สังกะสี (Zn) สูงที่สุดด้วย โดยมีความเข้มข้น 325 และ 33.1 mg/kg สำหรับ Mn และ Fe ตามลำดับ ส่วนตำรับที่ให้ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) สูงที่สุด (1.98 mg/kg) คือ ตำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก)

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพดในแต่ละตำรับการทดลอง

Treatments	ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและรอง (%)					ความเข้มข้นของจุลธาตุ (mg/kg)			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
1 Control	1.40 ab	0.17 b	0.81 bc	0.86 b	0.20 b	250 abc	325 a	33.1 a	1.23 bc
2 ปุ๋ยหมัก	1.29 abc	0.22 ab	0.82 bc	1.01 b	0.28 a	213 bcd	82.1 cd	19.3 cd	1.98 a
3 Zeolite 5%	1.35 abc	0.18 b	1.03 ab	0.42 c	0.19 b	199 cd	122 c	26.4 b	1.72 ab
4 Zeolite 10%	1.42 ab	0.20 b	1.20 ab	0.70 b	0.21 b	174 d	104 c	26.6 b	1.48 abc
5 Isolite 5%	1.48 a	0.19 b	0.98 abc	0.66 b	0.18 b	200 d	225 b	24.9 b	1.24 bc
6 Isolite 10%	1.19 c	0.16 b	0.86 bc	0.96 b	0.22 b	227 bc	181 b	25.5 bc	1.24 bc
7 Isolite cake 5%	1.24 bc	0.19 b	0.70 c	1.53 a	0.18 b	272 a	69.9 cd	20.0 bcd	1.24 bc
8 Isolite cake 10%	1.47 a	0.27 a	1.08 ab	1.52 a	0.21 b	223 bc	48.7 d	16.8 d	0.99 c
CV (%)	9.24	19.8	19.6	24.3	18.9	13.1	30.3	17.4	31.6

หมายเหตุ – ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

5.2 ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารสะสมในข้าวโพด

การใส่สารปรับปรุงดินส่งผลให้ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารสะสมในข้าวโพด (nutrients uptake) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 7 โดยตำรับที่มีการสะสมธาตุอาหารสูงที่สุด และมีระดับใกล้เคียงกัน ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ คือตำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) ตำรับที่ 3 (Zeolite 5%) และตำรับที่ 4 (Zeolite 10%) โดยทั้ง 3 ตำรับมีการสะสมไนโตรเจนในช่วง 1.78-1.87 g/ตัน มีการสะสมฟอสฟอรัสในช่วง 0.25-0.30 g/ตัน และมีการสะสมโพแทสเซียมในช่วง 0.112-0.154 g/ตัน ในขณะที่ตำรับอื่นๆ มีการสะสมธาตุอาหารหลักในระดับรองลงมาและมีการสะสมในระดับที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการสะสมธาตุอาหารรองพบว่า นอกจากจะมีการ

สะสมแคลเซียมในระดับที่สูงในตำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) และตำรับที่ 4 (Zeolite 10%) แล้วยังพบการสะสมในระดับที่ใกล้เคียงกันในตำรับที่ 7 (Isolite cake 5%) และตำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) ส่วนการสะสมแมกนีเซียมพบว่า มีการสะสมในลักษณะที่คล้ายกับการสะสมธาตุอาหารหลัก คือมีการสะสมสูงที่สุดในตำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) ตำรับที่ 3 (Zeolite 5%) และตำรับที่ 4 (Zeolite 10%) นอกจากนี้ยังพบว่า ทั้ง 3 ตำรับการทดลองยังมีการสะสมจุลธาตุ (Fe Zn Cu) ในระดับที่สูง ยกเว้นในกรณีของ Mn ที่พบว่ามีการสะสมสูงที่สุดในตำรับควบคุม (29.2 mg/ตัน)

ตารางที่ 7 ปริมาณการดูดตั้งธาตุอาหารสะสมในข้าวโพด (nutrients uptake) ในแต่ละตำรับการทดลอง

Treatments	ปริมาณ Uptake ธาตุอาหารหลักและรอง (g/ตัน)					ปริมาณ Uptake จุลธาตุ (mg/ตัน)			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
1 Control	1.26 b	0.16 b	0.072 d	0.78 abc	0.18 bc	22.3 abc	29.2 a	2.99 ab	0.113 cd
2 ปุ๋ยหมัก	1.78 a	0.30 a	0.112 bc	1.11 ab	0.38 a	29.6 a	11.5 bc	2.70 abc	0.272 a
3 Zeolite 5%	1.70 a	0.25 a	0.131 ab	0.52 c	0.24 ab	25.0 ab	15.5 b	3.31 a	0.216 ab
4 Zeolite 10%	1.87 a	0.27 a	0.154 ab	0.91 abc	0.27 b	23.0 abc	13.7 bc	3.52 a	0.201 abc
5 Isolite 5%	1.14 b	0.16 b	0.069 d	0.53 bc	0.15 bc	26.5 ab	18.4 b	1.97 bcd	0.114 cd
6 Isolite 10%	1.30 b	0.16 b	0.086 cd	1.09 abc	0.24 ab	25.0 ab	20.0 b	2.92 ab	0.132 bcd
7 Isolite cake 5%	1.07 b	0.17 b	0.061 d	1.13 a	0.15 bc	24.1 ab	6.64 cd	1.71 cd	0.106 cd
8 Isolite cake 10%	0.91 b	0.17 b	0.066 d	0.93 abc	0.13 c	13.8 c	3.03 d	1.03 d	0.061 d
CV (%)	9.75	19.9	20.3	40.3	26.7	27.8	36.5	30.5	40.1

หมายเหตุ – ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

6 ปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะละลายไปกับน้ำ

การใส่สารปรับปรุงดินไม่มีผลต่อ ปริมาณ leachate ทั้งหมด และปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะละลายไปกับน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 8 และผลการทดลองค่อนข้างแปรปรวน เนื่องจากทำการทดลองในที่เปิดมีหลังคา ทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำฝนได้ โดยพบปริมาณ leachate ทั้งหมด ตั้งแต่ 26.2 ลิตร ถึง 65.5 ลิตร มีฤทธิ์เป็นกรดค่อนข้างแรง โดยเฉพาะในตำรับที่ 8 (Isolite cake 10%) ส่วนค่าการนำไฟฟ้าพบว่ายังอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากที่จะทำให้เกิดปัญหาความเค็ม ยกเว้นในตำรับควบคุม (3.26 mS/cm) นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มว่า ในตำรับที่มีการใส่ Zeolite ทั้ง 5 และ 10% (ตำรับที่ 3 และ 4) จะสามารถลดการสูญเสียไนเตรด และแอมโมเนียม (NO_3^- , NH_4^+) ได้มากที่สุด ในขณะที่ในตำรับควบคุมมีการสูญเสียมากที่สุด

ตารางที่ 8 ปริมาณ leachate ทั้งหมด สมบัติบางประการและปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะละลายในแต่ละดำรับการทดลอง

Treatments	Total leachate mL	pH	EC mS/cm	ปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะละลาย (mg/Lysimeter)						
				NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg	Na
1 Control	5510 a	5.26	3.26	298 a	6.01 a	0.10 a	89.1 a	541 a	75 a	262 a
2 ปุ๋ยหมัก	6550 a	5.00	2.82	288 a	5.93 a	0.05 a	109 a	455 a	52.4 a	196 a
3 Zeolite 5%	3401 a	5.77	1.62	121 a	2.58 a	0.04 a	67.1 a	158 a	21.8 a	92.7 a
4 Zeolite 10%	2621 a	4.73	1.93	97.4 a	3.42 a	0.03 a	37.8 a	145 a	16.8 a	64.7 a
5 Isolite 5%	4430 a	6.41	1.72	162 a	3.53 a	0.08 a	83.8 a	384 a	59.5 a	220 a
6 Isolite 10%	2734 a	6.28	3.00	104 a	3.33 a	0.06 a	54.0 a	144 a	20.4 a	112 a
7 Isolite cake 5%	5796 a	6.27	1.83	195 a	4.03 a	0.06 a	75.6 a	242 a	32.4 a	113 a
8 Isolite cake 10%	6339 a	4.92	2.58	210 a	9.12 a	0.08 a	96.1 a	232 a	39.9 a	187 a
CV (%)	58.5	-	-	72.2	81.9	90.5	86.9	111	117	90.7

หมายเหตุ – ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

7 สมบัติของดินหลังการปลูกข้าวโพด

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของดินหลังจากเติมสารปรับปรุงดินหลังการปลูกข้าวโพด ดังแสดงในตารางที่ 9 และรูปที่ 3 โดยพบว่าความเป็นกรด-ด่างของดิน มีระดับใกล้เคียงกับดินก่อนการปลูกพืช ยกเว้นในดำรับที่ 7 และ 8 (Isolite cake 5 และ 10%) มี pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.51 และ 7.57 ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของดินมีระดับใกล้เคียงกับดินก่อนปลูก ซึ่งจัดได้ว่าดินไม่มีความเค็ม หรือมีเกลือสะสมดินมีปัญหาเรื่องความเค็ม

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในทุกดำรับการทดลองมีระดับที่ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) (0.33%) อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับดำรับควบคุม (0.26%) ส่วนดำรับที่มีการลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด คือ ดำรับที่ 7 และ 8 (Isolite cake 5 และ 10%) โดยลดลงจาก 1.69 และ 3.94% เป็น 0.43 และ 0.75% ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากการที่สารอินทรีย์ถูกชะละลายไปกับน้ำ

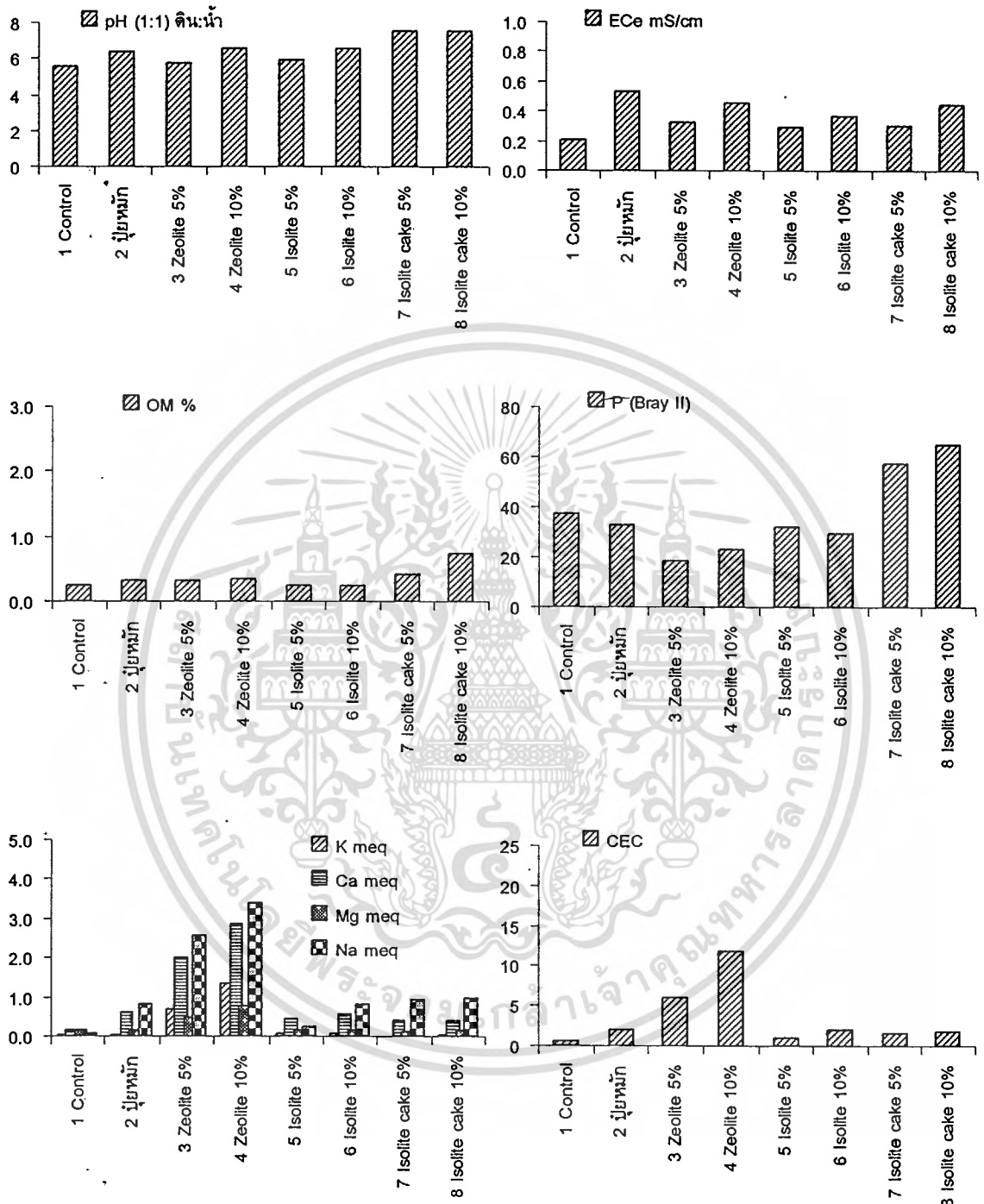
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช มีระดับสูงขึ้นอย่างชัดเจนในคือ ดำรับที่ 7 และ 8 (Isolite cake 5 และ 10%) โดยเพิ่มเป็น 57.1 และ 65.0 mg/kg ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชมากขึ้น ซึ่งน่าจะส่งผลดีในฤดูปลูกถัดไป ส่วนในดำรับอื่นๆ มีระดับปริมาณฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับดินก่อนปลูกพืช ยกเว้นในดำรับดำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) ที่ปริมาณฟอสฟอรัสลดลงจาก 66.4 เป็น 32.9 mg/kg

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) มีค่าลดลงค่อนข้างมากในดำรับที่ 4 (Zeolite 10%) โดยลดลงเหลือ 11.8 meq/100g ส่วนดำรับที่ 3 (Zeolite 5%) และดำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก) มีการลดลงเล็กน้อย โดยลดลงเหลือ 6.10 และ 2.10 meq/100g ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการ

สลายตัวของสารปรับปรุงดินเหล่านี้ ซึ่งผลให้มีปริมาณต่างที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงด้วย ยกเว้นโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นในตำรับที่ในตำรับที่ 3 (Zeolite 5%) และตำรับที่ 4 (Zeolite 10%) ส่วน %BS มีการเพิ่มขึ้นมากในตำรับที่ 3 (Zeolite 5%) และตำรับที่ 4 (Zeolite 10%) อาจเป็นมาจากการลดลงของ CEC ในขณะที่มีการเพิ่มเล็กน้อยในตำรับอื่นๆ ยกเว้นมีการลดลงในตำรับที่ 2 (ปุ๋ยหมัก)

ตารางที่ 9 สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละตำรับการทดลองหลังการปลูกพืช

Treatments	pH (1:1)	ECe	OM	P (Bray II)	Exchangeable base (meq/100g)				CEC	BS
	ดิน:น้ำ	mS/cm	%	mg/kg	K	Ca	Mg	Na	(meq/100g)	%
1 Control	5.59	0.21	0.26	37.7	0.05	0.17	0.15	0.10	0.67	70.1
2 ปุ๋ยหมัก	6.34	0.53	0.33	32.9	0.05	0.62	0.17	0.81	2.10	78.6
3 Zeolite 5%	5.74	0.33	0.31	18.8	0.68	2.00	0.49	2.59	6.10	94.4
4 Zeolite 10%	6.55	0.46	0.34	23.2	1.34	2.85	0.79	3.40	11.8	71.0
5 Isolite 5%	5.93	0.29	0.25	32.3	0.07	0.45	0.15	0.25	0.97	94.8
6 Isolite 10%	6.55	0.37	0.25	29.7	0.07	0.59	0.16	0.82	2.00	82.0
7 Isolite cake 5%	7.51	0.30	0.43	57.1	0.02	0.40	0.12	0.96	1.52	98.7
8 Isolite cake 10%	7.57	0.45	0.75	65.0	0.03	0.40	0.15	1.00	1.74	90.8



รูปที่ 3 สมบัติของดินทางเคมีในแต่ละตำรับการทดลองหลังการปลูกพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

1. ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินซุดน้ำพอง มีเนื้อดินเป็นดินทราย (sand) ดินมีฤทธิ์เป็นกรด และมีมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) พบในระดับต่ำมาก (1.10-1.45 meq/100g)

2. สารปรับปรุงดินที่ใช้ในการศึกษาทดลอง มี 4 ชนิดคือ ปุ๋ยหมัก Zeolite, Isolite และ Isolite cake โดยปุ๋ยหมักมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ระดับสูง (27.6 meq/100g) และมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงมาก (780 mg/kg) ส่วน Zeolite มีฤทธิ์เป็นกลาง (pH 7.29) และมีปริมาณ CEC สูงมาก (102 meq/100g) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของ Zeolite ในการนำมาปรับปรุงดิน สำหรับ Isolite และ Isolite cake มีค่า CEC ระดับต่ำ (4.17-4.78 meq/100g) Isolite cake มีฤทธิ์เป็นกรดจัดมาก (pH 3.86) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (30.1%) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (97.5 mg/kg) มีปริมาณสูงมาก ในขณะที่ Isolite มีฤทธิ์เป็นด่างจัดมาก (pH 10.03) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชเพียง 0.36% และ 14.4 mg/kg เท่านั้น

3. การปรับปรุงดินโดยใช้สารปรับปรุงดินทั้ง 4 ชนิด พบว่า Isolite สามารถลดความเป็นกรดของดินได้มากที่สุด โดย Isolite 10% เพิ่ม pH เป็น 6.18 การใส่ปุ๋ยหมัก และ Isolite cake สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับค่ารับควบคุม (0.37%) โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มเป็น 1.27% สำหรับปุ๋ยหมัก และ 1.69 กับ 3.94% สำหรับ Isolite cake 5 และ 10% ตามลำดับ การปรับปรุงดินด้วย Zeolite สามารถเพิ่มค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) ได้อย่างชัดเจน โดย Zeolite 10% สามารถเพิ่มระดับ CEC ให้อยู่ในระดับสูงที่สุด (18.2 meq/100g) ส่วน Zeolite 5% สามารถเพิ่มระดับ CEC ได้ แต่อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (7.38 meq/100g) เช่นเดียวกับปุ๋ยหมักที่เพิ่มระดับ CEC ได้ในระดับต่ำ (3.10 meq/100g)

4. ผลของสารปรับปรุงดินต่อผลผลิตของข้าวโพด พบว่า Zeolite 10% ให้น้ำหนักฝักสดสูงที่สุด ได้ 137 g รองลงมาคือ Zeolite 5% และ ปุ๋ยหมักที่ได้ 126 และ 90.9 g ตามลำดับ แต่ถ้าพิจารณา น้ำหนักสดทั้งหมด (ฝักสดและต้นสด) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมัก ให้น้ำหนักสดทั้งหมดสูงที่สุด คือ 590 g รองลงมาคือ Zeolite 10% (525 g) และ Zeolite 5% (500 g) ตามลำดับ ในขณะที่การใส่ Isolite cake 10% ให้น้ำหนักสดต่ำที่สุด ซึ่งผลของน้ำหนักแห้งก็เป็นไปทำนองเดียวกัน

5. ผลของสารปรับปรุงดินต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารและการดูดดึงธาตุอาหารสะสมในข้าวโพด พบว่าการใส่ Isolite cake 10% ที่ให้น้ำหนักสดของข้าวโพดต่ำที่สุดนั้น แต่กลับให้ความเข้มข้นของ ไนโตรเจน (1.47%) และฟอสฟอรัส (0.268%) สูงที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจาก dilution effect อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึง ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารสะสมในข้าวโพด (nutrients uptake)

พบว่า การใส่ ปุ๋ยหมัก Zeolite 5% และ Zeolite 10% มีการสะสมธาตุอาหารสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารหลัก โดยทั้ง 3 ตำรับมีการสะสมธาตุ N, P และ K ในช่วง 1.78-1.87 g/ตัน, 0.25-0.30 g/ตัน และ 0.112-0.154 g/ตัน ตามลำดับ

6. ผลของสารปรับปรุงดินต่อปริมาณธาตุอาหารที่ถูกชะละลายไปกับน้ำ พบเพียงแนวโน้มว่า ในตำรับที่มีการใส่ Zeolite ทั้ง 5 และ 10% (ตำรับที่ 3 และ 4) จะสามารถลดการสูญเสียไนเตรต และ แอมโมเนียม (NO_3^- , NH_4^+) ได้มากที่สุด ในขณะที่ในตำรับควบคุมมีการสูญเสียมากที่สุด

7. จากผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน หลังจากเติมสารปรับปรุงดินหลังการปลูกข้าวโพด พบว่า การใส่ Isolite cake 5 และ 10% ทำให้ pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.51 และ 7.57 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในทุกตำรับการทดลองมีระดับที่ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปุ๋ยหมัก ส่วน Isolite cake 5 และ 10% มีการลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด ในขณะที่เดียวกันกลับพบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยเพิ่มเป็น 57.1 และ 65.0 mg/kg สำหรับ Isolite cake 5% และ 10% ตามลำดับ ในกรณีของ CEC พบว่ามีการลดลงค่อนข้างมากในการใส่ Zeolite 10% โดยลดลงเหลือ 11.8 meq/100g ส่วนการใส่ Zeolite 5% และ ปุ๋ยหมัก มีการลดลงเล็กน้อย โดยลดลงเหลือ 6.10 และ 2.10 meq/100g ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2537. บทบาทของสารปรับปรุงบำรุงดิน. น. 1-10 ใน เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง สารปรับปรุงบำรุงดินทางการเกษตร, 23 มีนาคม 2537, สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- นงลักษณ์ วิบูลสุข และพวงเล็ก โมรากุล. 2538. การใช้ซีโอไลท์ปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร 1. ผลที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารถูกชะล้าง. วารสารดินและปุ๋ย 17(3) : 180-183.
- ประสพ วีระกรพานิช, ธวัชชัย ณ นคร และวิศิษฐ์ ไชติกุล. 2536. ผลของสารดูดน้ำต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินทราย น. 115-128 ใน การสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืนของการเกษตรและสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 13-15 มกราคม 2536 ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ขอนแก่น
- ปรีดา พากเพียร, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, ไพโรจน์ โสมนัส และพิชิต พงษ์สกุล. 2535. แนวทางการใช้สารซีโอไลท์เพื่อลดปัญหามลพิษและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร. วารสารดินและปุ๋ย 14(4) : 337-341
- ไพบุลย์ ประพฤติธรรม, 2528. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 166
- พิชัย วิชัยดิษฐ์. 2530. การใช้แผนที่ดินเพื่อการวิจัยและพัฒนาสภาพแวดล้อม และทรัพยากร - ธรรมชาติทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. น. 27-33 ใน รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่องปัญหาและแนวทางการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการปลูกพืชในดินเลวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 1-5 กันยายน 2530. ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ขอนแก่น
- สมศรี อรุณินท์, อรุณี ยุวะนิยม, ชัยนาม ดิสถาพร, ยุทธิชัย อนุรักษดิพันธ์ และไพรัช พงษ์-วิเชียร. 2532. การใช้ดินเหนียว Na-2:1 (พิมาย) เป็นสารปรับปรุงโครงสร้างดินนาเค็ม เนื้อหยาบ. น. 215-228 ใน รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2533 ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ขอนแก่น.
- ANDO, H., C. MIHARA, K. KAKUDA and G WADA, 1996. The fate of ammonium nitrogen applied to flooded rice as affected by Zeolite addition. Soil Sci. Plant Nutr., 42(3), 531-538
- FERGNSON, G.A., I.L..PEPER and W.R. KNEEBONE. 1986. Growth of creeping bentgrass on a new medium for turfgrass growth : Clinoptilolite zeolite-amended sand. Agronomy. Journal 78 : 1095-1098.
- MITSUCHI, M., P. WICHADIT and S. JEUNGNIJNIRUND. 1986. Outline of Soils of the Northeast Plateau Thailand, Their characteristics and constraints. Technical Paper

- No.1. Agricultural Development Research Center in Northeast Thailand, Khon Kaen, Thailand. pp. 5-23.
- PONGSIRI, P, T. DUANGSAMOON, D. KETSUDA and H. WADA. 1993. Effect of Polyvinyl Alcohol (PVA) on Aggregate of Sandy Soil. Workshop on Research Activities of Agricultural Development Research Center (ADRC) Contributed to Agricultural Development in Northeast Thailand. September 1-3, 1993. pp. 60-78.
- PRATEEF VERAPATTANANIRUND. 1986. Upland soils of Thailand, Their characterization and capability evaluation. Unpublished Ph.D. thesis, Kyoto Univ., Japan. p. 140

