การจัดการดินกรดที่ดอน โดยใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ร่วมกับปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี

Upland Acid Soil Management by Using Compost from Waste of Oil Palm Mill By-Products with Dolomite and Mineral Fertilizers

มนตรี ปานตู

Montree Pantu

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Soil Resources Management
Prince of Songkla University
2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจัดการดินกรดที่ดอน โดยใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี

ผู้เขียน นายมนตรี ปานตู

สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	**คณะกรรมการการสอบ**
.....	.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยรัตน์ นิลนนท์)	(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)
	.....กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยรัตน์ นิลนนท์)
.....	.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)	(รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)
	.....กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มณีพงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....

(ศาสตราจารย์ ดร. อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจัดการดินกรดที่ดอน โดยใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี

ผู้เขียน นายมนตรี ปานตู

สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ศึกษาการแก้ปัญหาดินกรดที่ดอน โดยใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช ดินที่ใช้เป็นดินชุดคอหงส์ (Coarse loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) จากแปลงปลูกยางพาราของเกษตรกร ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทำการทดลองในเรือนกระจกคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 21 ตำรับทดลอง คือไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (control) ใส่ปูนโดโลไมต์ปรับ pH ดินเป็น 6.0 (D) ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 3, 6 และ 9 % (v/v) (C3, C6 และ C9) ใส่ปุ๋ยเคมี (F) (สูตร 15-15-15 และ 46-0-0 อัตราสูตรละ 50 กิโลกรัม/ไร่) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (D+F) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมี (D+1/2F) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมี (D+1/3F) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 3, 6 และ 9 % (v/v) (D+C3, D+C6, D+C9) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตรา 3, 6 และ 9 % (v/v) (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตรา 3, 6 และ 9 % (v/v) (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9) และใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตรา 3, 6 และ 9 % (v/v) (D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ปลูกข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ (2 ต้น/ถุง) ดูแลจนข้าวโพดอายุได้ 40 วัน ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีทุกตำรับทดลองข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้ดี และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม โดยตำรับทดลอง D+F+C9 ข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด คือ 43.69 เซนติเมตร ขณะที่ตำรับทดลองควบคุมข้าวโพดมีความสูงต่ำสุด คือ 9.93 เซนติเมตร น้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดในตำรับทดลอง D+F+C9 มีค่าสูงสุด คือ 24.91 กรัม/ถุง และตำรับทดลองควบคุมให้น้ำหนักแห้งรวมต่ำสุด คือ 0.46 กรัม/ถุง และพบว่าทุกตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งรวมอยู่ระหว่าง 9.82 - 24.91 กรัม/ถุง ซึ่งสูงกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์

ใส่ปุ๋ยเคมี และใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี สำหรับความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพด (ต้น+ใบ) พบว่ามีปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น มีค่าระหว่าง 16.72 - 30.85, 1.33 - 2.51, 5.10 - 9.35, 5.13 - 11.93, 0.68 - 6.04 และ 0.12 - 0.35 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับสมบัติของดินหลังทดลอง พบว่า ทุกตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมัก ทำให้ pH ดินหลังทดลองมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช 5.7 - 6.9 และมีความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน เหลือเพียง 0.06 - 0.11 และ 0.04 - 0.10 เซนติโมล/กิโลกรัม จากเดิม 1.28 และ 0.97 เซนติโมล/กิโลกรัม ในตำรับทดลองควบคุม อินทรียวัตถุในดินก็เช่นกันเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ในช่วง 13.07 - 20.73 กรัม/กิโลกรัม จาก 10.35 กรัม/กิโลกรัม ในตำรับทดลองควบคุม และสำหรับไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ กำมะถันที่สกัดได้ในดินก็เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองควบคุม

Thesis Title Upland Acid Soil Management by Using Compost from Waste of Oil Palm Mill By-Products with Dolomite and Mineral Fertilizers

Author Mr. Montree Pantu

Major Program Soil Resources Management

Academic Year 2010

ABSTRACT

The experiment was conducted to study the effect of upland acid soil management by using compost from waste of oil palm mill by-products with dolomite and mineral fertilizers on soil properties and plant growth in Kho Hong soil series (Coarse loamy, kaolinitic, isohyperthermic, Typic Kandiudults) collected from a para rubber plantation in Nham Noiy Sub-district, Hat Yai District, Songkhla Province. The experiment was conducted in a greenhouse facility of Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University. The experiment was a completely randomized design with 4 replications and 21 treatments as follow : unamended (control); application of dolomite (D) to raise soil pH at 6.0; application of compost at the rate of 3, 6 and 9 % (v/v) (C3, C6 and C9); application of mineral fertilizers at recommended rate (50 kg rai^{-1} of 15-15-15 and 46-0-0) (F); application of dolomite with mineral fertilizers at recommended rate (D+F), half of recommended rate (D+1/2F), and one-third of recommended rate (D+1/3F); application of dolomite with compost at the rate of 3, 6 and 9 % (v/v) (D+C3, D+C6, D+C9); application of dolomite with mineral fertilizers at recommended rate and compost at the rate of 3, 6 and 9 % (v/v) (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9); application of dolomite with mineral fertilizers at half recommended rate and compost at the rate of 3, 6 and 9 % (v/v) (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9); and application of dolomite with mineral fertilizers at one-third of recommended rate and compost at the rate of 3, 6 and 9 % (v/v) (D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9). Corn was used as the test crop (2 plants bag^{-1}). Dry matter weights harvested after 40 days and growth of corn were recorded. The results showed that using soil materials enriched with dolomite in compost and mineral fertilizers have improved growth of corn, and was significantly ($P \leq 0.05$) higher than those of the unamended treatment. The

maximum height of 43.69 cm., shoot and root dry weight of 24.91 g bag^{-1} were obtained in D+F+C9 treatment while the height of 9.93 cm., shoot and root dry weight of 0.46 g bag^{-1} were obtained in the control treatment. Shoot and root dry weights of 9.82 - 24.91 g bag^{-1} were obtained in compost treatments and were higher than those of dolomite treatment, mineral fertilizers treatment and dolomite with mineral fertilizers treatments. Plant analysis (shoot) was conducted at the 40 days after planting and found that N, P, K, Ca, Mg and S contents of 16.72 - 30.85, 1.33 - 2.51, 5.10 - 9.35, 5.13 - 11.93, 0.68 - 6.04 and 0.12 - 0.35 g kg^{-1}, respectively were increased according to the increasing of compost rate. Soil properties at 40 days after planting showed that the soil pH of 5.7 - 6.9 was obtained in the compost treatments. Exchangeable acidity and aluminum were decreased from 1.28 and 0.97 cmol(+)kg^{-1} in the control treatment to 0.06 - 0.11 and 0.04 - 0.10 cmol(+)kg^{-1} in the compost treatments. Soil organic matter increased from 10.35 g kg^{-1} in the control treatment to 13.07 - 20.73 g kg^{-1} in the compost treatments. In addition, total N, available P, exchangeable K, Ca, Mg and extractable sulfate sulfur contents in soils were also increased according to the increasing of compost rate and were significantly ($P \leq 0.05$) higher than the control treatment.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
รายการรูปภาคผนวก	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	16
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	17
วัสดุ	17
อุปกรณ์	17
วิธีการทดลอง	18
3. ผลการทดลอง	25
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	48
5. บทสรุป	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	78
ประวัติผู้เขียน	84

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

1. พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน..... 19
2. พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารในวัสดุปูนโดโลไมต์..... 19
3. พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม... 20
4. แผนการทดลองศึกษาการเจริญเติบโตของพืช และสมบัติของดินเมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดิน.. 21
5. สมบัติบางประการของดินชุดคอหงส์..... 25
6. สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม..... 26
7. สมบัติทางเคมีของวัสดุปูนโดโลไมต์..... 27
8. ผลของปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี ต่อความสูงและน้ำหนักแห้งของข้าวโพด..... 29
9. pH ของดิน ความเข้มข้นของกรด และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน..... 35
10. อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน..... 36
11. โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน... 40
12. โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และกำมะถันที่สกัดได้ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน..... 42
13. ผลของปุ๋ยหมัก ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี ต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพืช..... 45
14. ผลของปุ๋ยหมัก ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี ต่อความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันในพืช..... 47
15. น้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม และ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยเคมี..... 67

รายการรูป

รูปที่ หน้า

1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม…. 51
2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม… 51
3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม. 52
4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม….. 52
5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม.... 53
6. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำมะถันส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม…… 53
7. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน…….. 57
8. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน…... 57
9. ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียวัตถุในดินกับความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้….... 58
10. ความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดในดินกับปริมาณไนโตรเจนในพืช……..... 59
11. ความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณโพแทสเซียมในพืช…….. 61
12. ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณแคลเซียมในพืช…… 62
13. ความสัมพันธ์ระหว่างแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณแมกนีเซียมในพืช…….. 63
14. ความสัมพันธ์ระหว่างกำมะถันที่สกัดได้ในดินกับปริมาณกำมะถันในพืช…… 64

รายการรูปภาคผนวก

รูปที่ หน้า

1. สภาพทั่วไป และลักษณะการวางตำรับการทดลองต่างๆ..... 79
2. สภาพทั่วไป และการเจริญเติบโตของข้าวโพดอายุ 40 วัน..... 79
3. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว, ใส่ปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v), ใส่ปุ๋ยเคมี..... 80
4. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v)..... 80
5. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v) 81
6. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปุ๋ยเคมี, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก 9 % (v/v)..... 81
7. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v) 82
8. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v)..... 82
9. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปุ๋ยหมัก 9 % (v/v), ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 9 % (v/v), ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 9 % (v/v) และปุ๋ยเคมี ครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมี หนึ่งในสามของปุ๋ยเคมี..... 83
10. ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 9 % (v/v), ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก 9 % (v/v)..... 83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

อาชีพเกษตรกรรม เป็นอาชีพหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งของประชากรในประเทศไทย ที่ดินจึงเป็นปัจจัยสำคัญและเป็นรากฐานเบื้องต้นของการผลิตทางเกษตรกรรม ปัจจุบันมีปัญหาหลักที่สำคัญประการหนึ่ง ในการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการปลูกพืช คือ ปัญหาดินกรดที่ดอนที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พื้นที่ดินกรดกระจายอยู่ทั่วประเทศมีประมาณ 143 ล้านไร่ (เจริญ และคณะ, 2540) และดินมี pH ต่ำกว่า 5.5 มีถึง 61.1 % ของตัวอย่างดินกรดทั้งประเทศ (อภิรดี, 2542) สาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินเป็นกรด เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีอุณหภูมิสูง และฝนตกชุก โดยน้ำฝนมีสภาพเป็นกรดอ่อน เมื่อไหลซึมลงไปในดินไฮโดรเจนในน้ำฝนจึงเข้าแทนที่ไอออนบวก ไอออนบวกจึงถูกชะล้างออกไปจากดินได้ง่าย รวมถึงพืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารประจุบวกในสารละลายดิน จึงมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาแลกเปลี่ยนเพื่อให้เกิดความสมดุลในสารละลายดิน และการใช้ปุ๋ยเคมีบางชนิดมีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรด เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเทรต ดินกรดยังมีผลทำให้ดินขาดธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาได้น้อยถึงแม้จะใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปก็ตาม (von Uexkull, 1986) ดินกรดยังเป็นสภาวะที่ส่งเสริมให้อะลูมินัมละลายออกมาในสารละลายดินได้มาก จนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของระบบรากพืช (จุมพล, 2531) ทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ดี และให้ผลผลิตต่ำ จึงทำให้การใช้ที่ดินของประเทศที่มีอยู่อย่างจำกัดเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

ปูนโดโลไมต์ ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) สามารถยกระดับ pH ดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินและจากการใส่ปุ๋ยละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ดี อีกทั้งยังลดปริมาณการละลายของธาตุที่เป็นพิษกับพืชบางชนิด เช่น อะลูมินัมได้ อีกอย่างหนึ่งการใส่ปูนโดโลไมต์ ยังเป็นการเพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดิน (สรัญญา, 2548) นอกจากปูนโดโลไมต์แล้วยังพบว่าการใส่อินทรียวัตถุลงไปในดินสามารถเพิ่ม pH ดินได้ และเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุปูน สามารถลดความเป็นพิษของอะลูมินัมได้ดี อีกทั้งยังทำให้แคลเซียมในดินล่างเพิ่มขึ้น (Liu and Hue, 2000)

อินทรียวัตถุยังช่วยทำให้ดินมีความร่วนซุย อุ้มน้ำและระบายอากาศดี ดูดซับธาตุอาหารพืชได้เพิ่มขึ้น และเมื่อย่อยสลายก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช โดยเฉพาะอินทรียวัตถุที่หาได้ง่ายจากวัสดุอินทรีย์ในท้องถิ่น เช่น วัสดุพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 3.197 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว 2.663 ล้านไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 2,900 kg rai^{-1} (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) และเมื่อนำทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการนี้ คือ ทะลายเปล่า 22 % เส้นใยเปลือก 8 % และ decanter cake 4 % (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน, 2548) และจากการรายงานของ Redshaw (2003) พบว่า เฉพาะทะลายปาล์มเปล่ามีธาตุอาหารสะสมอยู่ดังนี้ คือ N 0.8 %, P 0.096 %, K 2.41 %, Mg 0.18 % และ Ca 0.18 % ดังนั้นจึงควรนำวัสดุดังกล่าวนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการทำเป็นปุ๋ยหมัก และใช้ในอัตราที่เหมาะสมเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติดิน เพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่ดิน ซึ่งอาจลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้บ้าง หรือช่วยให้การใช้ปุ๋ยเคมีเกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การศึกษาแนวทางการใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงสมบัติของดินกรดที่ดอนให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช จึงมีความจำเป็นเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการจัดการดินกรดที่ดอนที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ให้มีการใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 กระบวนการเกิด การแจกกระจาย ปัญหาและข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ของดินกรด

ดินกรดเป็นดินที่มี pH ต่ำกว่า 7 มีประมาณ 25 - 30 % ของโลก โดยพื้นที่ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในเขตร้อน โดยอยู่บริเวณเส้นรุ้งที่ 40 °S - 40 °N และส่วนใหญ่จะพบในที่ดอนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบดินกรดประมาณ 54 % ของพื้นที่ทั้งหมด สำหรับประเทศไทยพบดินกรดแจกกระจายอยู่ทั่วประเทศมีเนื้อที่ประมาณ 143 ล้านไร่ คิดเป็น 44 % ของพื้นที่ทั้งประเทศ ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 65 ล้านไร่ ภาคใต้ประมาณ 27 ล้านไร่ ภาคกลาง 25 ล้านไร่ ภาคเหนือ และภาคตะวันตก ประมาณ 19 ล้านไร่ (จำเป็น, 2550) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินที่จัดอยู่ในอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) มีบางส่วนอยู่ในอันดับออกซิซอลส์ (Oxisols) และอัลฟิซอลส์ (Alfisols) ดินกรดชนิดนี้เป็นดินที่เกิดภายใต้สภาพที่มีการชะล้างรุนแรงและยาวนาน อยู่ในพื้นที่ที่ส่งเสริมให้กระบวนการผุพังสลายตัวของดินเกิดขึ้นได้ดี คือ มีอุณหภูมิสูง ฝนตกชุก ธาตุอาหารในดินถูกชะล้างได้ง่ายโดยเฉพาะธาตุประจุบวกที่เป็นด่าง ดินจึงมีสภาพเป็น

กรดส่งผลให้ปริมาณของเหล็กและอะลูมินัมละลายออกมามากจนเป็นพิษกับพืช และยังไปลดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอีกด้วย ความเป็นกรดของดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก จากการใช้ประโยชน์ที่ดินทำการเกษตรต่อเนื่องกันเป็นผลทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดเพิ่มขึ้น โดย pH ดินค่อยๆ ลดต่ำลง ส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต พืชส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้เป็นปกติในสภาพดินเป็นกรดอ่อนถึงกรดปานกลาง คือ pH 6.0 - 7.0 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งเป็นช่วงที่ธาตุอาหารในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ในดินที่มีสภาพเป็นกรดจะจำกัดการเจริญเติบโตของพืช โดยสภาพความเป็นกรดมีผลต่อการละลายของธาตุอาหารต่างๆ ในดิน และมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน (จำเป็น, 2550)

1.2.2 ความเป็นพิษของอะลูมินัม

ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูง มีผลต่อการเจริญเติบโตของราก โดยรากจะมีการบวมหงิกงอ ชะงักการเจริญเติบโต มีรากฝอยน้อยทำให้การดูดกินน้ำและธาตุอาหารไม่ปกติ ระดับของอะลูมินัมในพืชโดยทั่วไปมีประมาณ 200 mg kg^{-1} ของน้ำหนักแห้ง การเป็นพิษของอะลูมินัมในพืชเกิดจากการจับตัวของอะลูมินัมกับฟอสเฟตในกรดนิวคลีอิก ยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์และกระทบต่อเอนไซม์ phosphokinase และ ATPase activity ขัดขวางการดูดกินและเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสในพืช (เจริญ และคณะ, 2540) อภิรดี (2536) รายงานว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของข้าวบาร์เลย์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ที่มีระดับ pH ต่างกัน 2 ระดับ พบว่า pH 4.2 มีความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 1.08 mg kg^{-1} มีน้ำหนักแห้ง 139 มิลลิกรัม และที่ pH 5.8 มีความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 0.30 mg kg^{-1} มีน้ำหนักแห้งของพืช 353 มิลลิกรัม และรายงานของ Brady and Weil (2007) รายงานว่าที่ระดับ pH ต่ำกว่า 5.2 จะพบความเป็นพิษของอะลูมินัม และที่ pH 4.5 ความเป็นพิษของอะลูมินัมจะรุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้สูงยังมีผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตไอออนในดิน โดยการทำปฏิกิริยากันเกิดการตกตะกอนฟอสเฟตไอออนจะถูกดูดซับอย่างเหนียวแน่นบนแร่ดินเหนียว ทำให้พืชไม่สามารถดูดมาใช้ได้ และเกิดการขาดฟอสฟอรัส โดยเฉพาะอะลูมินัมที่ pH ต่ำกว่า 5 (von Uexkull, 1986) ในสภาพดินเป็นกรดอะลูมินัมจะละลายออกมาในรูปของโมโนเมอริกอะลูมินัม ซึ่งรูปของอะลูมินัมจะเปลี่ยนแปลงไปตาม pH ของสารละลายดิน (Wagatsuma and Ezoe, 1985; Sparks, 1995) โดยลักษณะอาการที่พืชแสดงออกเมื่อได้รับอะลูมินัมในปริมาณมากเกินไป จะแตกต่างกันตามชนิดของพืช แต่ลักษณะที่เหมือนกัน คือ อาการที่เกิดกับราก โดยรากจะกุด หยาบ และสั้น ไม่มีการพัฒนาของราก พืชไม่มีขนรากอ่อน

และรากเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม (สุมาลี, 2536; Pavan and Bingham, 1982) Brady and Weil (2007) รายงานว่าที่ระดับ pH ต่ำกว่า 5.5 อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความยาวของรากฝ้ายมีค่าลดลง

1.2.3 ความเป็นพิษของแมงกานีส

แมงกานีสเป็นธาตุอาหารจุลภาค ซึ่งพืชต้องการในปริมาณน้อย ความเข้มข้นที่เหมาะสมของแมงกานีสในดิน คือ 1 - 4 mg kg^{-1} ถ้าต่ำกว่านี้จะไม่เพียงพอ แต่หากมีปริมาณสูงก็จะเป็นพิษกับพืชได้ แมงกานีสเป็นธาตุที่ละลายได้ดีในดินที่มีระดับ pH ต่ำกว่า 5.5 และถ้าต่ำกว่า 5.0 จะละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้สูงมากขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัว (จำเป็น, 2550) แมงกานีสเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ปริมาณที่พบในพืชอยู่ในระดับ 20 – 500 mg kg^{-1} ขึ้นอยู่กับส่วนของพืชที่นำมาวิเคราะห์ แต่เมื่อพืชได้รับแมงกานีสเป็นปริมาณมากเกินความต้องการพืชแสดงอาการแมงกานีสเป็นพิษ ซึ่งมีลักษณะอาการที่เห็นได้ชัดเจนในทุกพืชและมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ใบล่างมีจุดสีน้ำตาลเล็กๆ เกิดขึ้นบริเวณท้องใบ โดยจุดสีน้ำตาลจะเกิดเป็นจำนวนมากที่บริเวณใกล้กับเส้นใบ ถ้าอาการเป็นพิษรุนแรงจะทำให้ใบพืชใบล่างไม่ขยายและใบหดคล้ายถ้วย (cupped leaves) เพราะพืชมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอ คือ เมื่อพืชได้รับแมงกานีสมากเกินพอมีผลทำให้พืชแสดงอาการขาด แคลเซียม สังกะสี และเหล็กได้ (สุมาลี, 2536)

1.2.4 ปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดินกรด

ดินกรดโดยทั่วไปมีปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดในระดับต่ำ ปกติน้อยกว่า 200 mg kg^{-1} ดินกรดในเขตร้อนชื้นซึ่งมีการสลายตัวที่รุนแรง มากกว่าร้อยละ 80 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินอยู่ในรูปอินทรียฟอสเฟต และสะสมในดินชั้นไถพรวน (Ap horizon) แม้ว่าระดับฟอสฟอรัสในอินทรียวัตถุในเขตร้อนชื้นจะค่อนข้างต่ำก็ตาม โดยสัดส่วน C:P ของอินทรียวัตถุในเขตร้อนชื้นอยู่ในระดับ 240:1 ซึ่งมีฟอสฟอรัสน้อยกว่า C:P ที่ 110:1 ในเขตอบอุ่นมาก เมื่อ pH ของดินลดลง เหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส ไอออนจะละลายออกมามากขึ้น และทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเป็นสารประกอบที่ละลายได้น้อย นอกจากนี้ในสภาพที่ดินเป็นกรด ฟอสเฟตไอออนยังสามารถรวมตัวกับ exchangeable Al ถูกดูดซับที่ผิวของแร่ดินเหนียวเป็นสารประกอบในรูป $Al(OH)_2.HPO_4$ ฉะนั้นฟอสเฟตมีส่วนในการลดปริมาณความเป็นพิษของอะลูมินัมในดินได้ หรือเรียกว่า การปรับความเป็นกรดด้วยฟอสเฟต (liming with phosphate) ซึ่งถ้ามีการใส่ฟอสเฟตในปริมาณไม่มากพอฟอสเฟตอาจจะใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมจนหมด และไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช Onthong และคณะ (1999) ได้ศึกษาสถานะของฟอสฟอรัสในดินที่มีการ

สลายตัวอย่างรุนแรงบางชนิดในภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า ชุดดินคอหงส์และชุดดินหาดใหญ่มีสถานะของฟอสฟอรัสต่ำ เพราะมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (2.0 - 3.5 mg kg^{-1}) ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัส 48 - 71 % คือ เหล็กฟอสเฟตและอลูมินัมฟอสเฟต สอดคล้องกับการทดลองของ Phimsirikun และ Matoh (2003) ได้เก็บตัวอย่างดินทั่วประเทศไทย เพื่อศึกษาสถานะฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ฟอสฟอรัสในดินกรดที่อยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสมีประมาณ 33 - 67 % ของฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดิน และมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แก่พืชน้อยมาก และงานทดลองของ ชัยรัตน์ และคณะ (2538) ได้ศึกษาสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูกมังคุดบางชนิดในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งดินส่วนใหญ่มีฟอสฟอรัสต่ำกว่า 10 mg kg^{-1} และเมื่อนำดินดังกล่าวมาทดสอบปลูกข้าวโพด พบว่า ดินขาดฟอสฟอรัส

1.2.5 ปัญหาการขาดโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินกรด

ดินกรดเขตร้อนมักมีระดับ CEC ต่ำ และการอิ่มตัวด้วยด่างที่ต่ำมาก ธาตุประจุบวกที่เป็นด่าง คือ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม จะถูกดูดซับอยู่ที่คอลลอยด์ดิน และจะถูกไล่ที่ได้ง่ายด้วยไฮโดรเจนไอออนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในการเกิดดินกรด ชัยรัตน์ และคณะ (2538) ได้ศึกษาดินกรดในที่ดอนซึ่งใช้ปลูกมังคุดในภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า นอกจากปัญหาการขาดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้ว ยังมีปัญหาการขาดโพแทสเซียมและแมกนีเซียมอีกด้วย และยังมีรายงานของ สรัญญา (2548) ที่กล่าวว่า เมื่อนำดินคอหงส์ซึ่งเป็นดินกรดในอันดับอัลทิซอลส์มาปลูกข้าวโพด พบว่า ข้าวโพดมีลักษณะอาการยอดอ่อนไม่คลี่ ขอบใบอ่อนไหม้ตาย และที่ปลายรากอ่อนมีเมือกเหนียวๆ ซึ่งเป็นอาการขาดธาตุแคลเซียม

1.3 การปรับปรุงดินกรดโดยใช้วัสดุปูน

ปูน จัดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (soil amendment) อย่างหนึ่ง ซึ่งปูนทางการเกษตรที่ใช้ในการแก้ไขดินกรดนั้น หมายถึงสารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่านั้น สารประกอบที่จัดว่าเป็นปูนทางการเกษตร แบ่งออกเป็น 3 ชนิด (สุมาลี, 2536) คือ สารประกอบคาร์บอเนต ได้แก่หินปูน (limestone) มีองค์ประกอบเป็นแร่แคลไซต์ ($CaCO_3$) มาจากภูเขาหินปูนซึ่งมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย ความบริสุทธิ์ของหินปูน โดยทั่วไปจะอยู่ประมาณ 75 - 79 % หินโดโลไมต์มีองค์ประกอบเป็น $CaMg(CO_3)_2$ โดยปกติหินโดโลไมต์มักจะเกิดปะปนกับหินปูนและมีปริมาณของแมกนีเซียมแตกต่างกันออกไป มีความบริสุทธิ์ 50 - 90 % ดินมาร์ลมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น $CaCO_3$ และดินเหนียว พบอยู่เป็นชั้นหนา 4 - 6 เมตร

ใต้ผิวดินชุดลพบุรี และชุดตาคลี นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่นๆ ที่มีสารประกอบพวกคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม เช่น เปลือกหอย ฝุ่นจากโรงงานผลิตซีเมนต์ เป็นต้น

สารประกอบออกไซด์ ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สารพวกนี้มักเรียกว่า ปูนสุก มีความบริสุทธิ์ 85 - 98 % ได้จากการเผาหินปูนแคลไซด์ และโดโลไมต์

สารประกอบไฮดรอกไซด์ได้แก่ ปูนขาว ($Ca(OH)_2$) หรือ ($Mg(OH)_2$) มีความบริสุทธ์ 95 - 96 % ได้จากการเผาหินปูนแคลไซด์และโดโลไมต์แล้วพรมน้ำ โดยสารประกอบพวกออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์

เมื่อใส่วัสดุปูนลงไปในดินในสภาพที่มีความชื้น จะแตกตัวให้ OH^- หรือ CO_3^{2-} แล้วแต่วัสดุปูนที่ใส่ ทำปฏิกิริยากับ H^+ ในสารละลายดินกรดเพื่อให้เกิดเป็นกลาง ส่วน Ca^{2+} จะเข้าไปแทนที่พวกกรดที่ถูกดูดซับที่คอลลอยด์ดิน (potential acidity) ทั้ง Al^{3+} และ H^+ เพื่อให้ออกมาทำปฏิกิริยากับ OH^- จนกระทั่งปริมาณของ Al^{3+} และ H^+ ลดลงตามปริมาณปูนที่ใช้ ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น (สุมาลี, 2536; เจริญ และคณะ, 2540) ดังสมการ

$$CaCO_3 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^-$$

$$H^+ \text{ (สารละลายดิน)} + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H_2O + CO_2$$

$$2Al\text{-soil} + 3CaCO_3 + 3H_2O \rightleftharpoons 3Ca\text{-soil} + 2\,Al(OH)_3 + 3CO_2$$

1.3.1 ผลของการใส่ปูนต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช

ผลของการใส่ปูนในการปรับปรุงดินกรดขึ้นกับหลายๆ ปัจจัย เช่น ชนิดของปูน ความสามารถในการสะเทินกรด (neutralize) อำนาจในการทำให้เป็นกลางของปูน (neutralizing value) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางเคมีที่ใช้กำหนดคุณภาพของปูนชนิดต่างๆ โดยพิจารณาว่าปูนชนิดนั้นๆ 100 หน่วยน้ำหนักจะมีจำนวนเท่ากับปูนแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์ 100 % เรียกว่า percent calcium carbonate equivalent (CCE) ปูนโดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$) มีค่าการทำให้เป็นกลางเท่ากับ 109 % ขณะที่ปูนขาว $Ca(OH)_2$ และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มีค่าการทำให้เป็นกลาง 136 % และ 179 % ตามลำดับ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนี้ประสิทธิภาพของปูนยังขึ้นกับขนาดอนุภาคปูน (particle size) partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ในดินอุณหภูมิและความชื้นของดิน ประโยชน์ของการใช้ปูนในดินกรด แบ่งออกเป็น 3 ด้าน (เจริญ และคณะ, 2540) คือ

1) ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น ดินเป็นกรดที่มีเนื้อหยาบเกินไป หรือเหนียวเกินไป เมื่อได้รับการปรับ pH ให้สูงขึ้นโครงสร้างของดินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเกาะตัวกันเป็นเม็ดดิน เป็นโครงสร้างของดินแบบก้อนกลมพรุน คือ ดินที่มีอนุภาคดินมาจับตัวกันเป็นก้อนกลมๆ มีความพรุนสูง ส่งผลให้สมบัติในการอุ้มน้ำของดินดีขึ้นด้วย

2) ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินให้ดีขึ้น ดินที่มีระดับ pH ต่ำกว่า 5.0 ถือว่ามีระดับความเป็นกรดอย่างมาก เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อใส่ปูนจนมีระดับ pH ที่เหมาะสม สมบัติทางเคมีของดินหลายประการจะเปลี่ยนแปลงด้วย เช่น ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนของดินลดลง ระดับของเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีสที่ละลายอยู่ในสารละลายดินลดลง ระดับของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงขึ้น รวมถึงระดับของฟอสฟอรัสและโมลิบดินัมในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากรายงานของ Maneepong และคณะ (1998) ได้ศึกษาผลของปูนขาว ยิปซัม และปูนขาวร่วมกับยิปซัม ในการปรับปรุงดินกรดที่ระดับความลึกต่างกัน พบว่าการใส่ปูนสามารถปรับ pH ของดินให้สูงขึ้น และลดอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) เพียงเล็กน้อยในดินบนและไม่แตกต่างในดินล่าง ส่วนการใส่ปูนขาวร่วมกับยิปซัมสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมและกำมะถันไปถึงระดับความลึก 60 เซนติเมตร จากผิวดิน และสามารถลดความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินล่างได้อีกด้วย แต่ส่งผลให้ปริมาณแมกนีเซียมในดินที่ระดับ 0 - 20 เซนติเมตร ลดลง เนื่องจากแมกนีเซียมถูกแทนที่โดยแคลเซียม และยังสอดคล้องกับของ สรัญญา และคณะ (2550) ได้ศึกษาผลของสารปรับปรุงดินบางชนิดต่อสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอนภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า การใช้วัสดุปูนในการปรับปรุงดินกรดชุดดินคอหงส์ซึ่งเป็นดินกรดที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ วัสดุปูนสามารถเพิ่ม pH ของดินให้สูงขึ้น เป็นผลให้ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ธาตุอาหารพืชละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดี

ชัยรัตน์ และ วิเชียร (2539) รายงานว่า การใส่ปูนขาวอัตรา 325 kg ha^{-1} ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นถั่วฮามาตาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่อัตรา 650 - 975 kg ha^{-1} และเมื่อใส่ปูนเพิ่มสูงขึ้นที่ 1,625 – 1,950 kg ha^{-1} ทำให้การเจริญเติบโตของถั่วลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในสภาพเกินปูนดินมี pH เป็นด่าง ทำให้ขาดจุลธาตุในดิน และการใส่ปูนในปริมาณที่เกินพอทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น สอดคล้องกับของ von Uexkull (1986) รายงานว่า การใส่ปูนในดินอันดับอัลทิซอลส์ อัตรา 4,000 kg ha^{-1} พบว่า เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของอ้อยลดลงอย่างชัดเจนแม้ว่า pH ของดินเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์ของความอิ่มตัวด้วยอะลูมินัมลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของปูนที่เพิ่มขึ้นทำให้แคลเซียมในดินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของโพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และโบรอนในดินลดลง และฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์

ต่อพืช เพราะเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตของแคลเซียมซึ่งละลายน้ำยากการเจริญเติบโตของพืชจึงลดลง เช่นเดียวกับที่ Nwachuku และ Loganathan (1991) รายงานว่าการใส่ปูนในอัตราสูงแม้จะยกระดับความเป็นกรดให้สูงขึ้นมากกว่า 5.5 หรือเกือบเป็นกลาง และความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงตามปริมาณปูนที่ใช้แต่ทำให้ผลผลิตข้าวโพดลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากขาดฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และจุลธาตุ

3) ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินให้ดีขึ้น ดินที่มีสภาพเป็นกรดมากๆ กิจกรรมของจุลินทรีย์จะถูกจำกัด pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในดิน คือ เป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลาง ดังนั้นเมื่อใส่ปูนลงไปในดินกรด จึงมีผลช่วยให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์นั้นดีขึ้นด้วย มีการเกิดการเน่าเปื่อยผุพังของอินทรียวัตถุในดิน เช่น กระบวนการย่อยสลายสารประกอบโปรตีนโดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ โดยจะปล่อยเอ็นไซม์ออกมาย่อยสลายโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน จนในที่สุดจะเปลี่ยนเป็นพวกอะมีนและกรดอะมิโน (aminization), กระบวนการทางชีวเคมีที่ก่อให้เกิดแอมโมเนียจากสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (ammonification) และกระบวนการออกซิเดชันของแอมโมเนียมเป็นไนไตรต์และไนเตรตโดยจุลินทรีย์บางชนิดที่ต้องการออกซิเจน (nitrification) ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชก็จะถูกปลดปล่อยออกมา จะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อระดับ pH ของดินเป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลาง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1.4 การปรับปรุงดินกรดโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์

อินทรียวัตถุ หมายถึง สิ่งที่ได้จากการย่อยสลายของซากพืช ซากสัตว์ สิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ ขยะต่างๆ รวมไปถึงเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว โดยสิ่งเหล่านี้เมื่อย่อยสลายไปจนถึงขั้นสุดท้ายจะได้สารฮิวมัส ซึ่งเป็นสารที่เสถียรมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้ดี (ปรัญญา และคณะ, 2540) อินทรียวัตถุในดินประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือสารฮิวมิก (humic substance) ซึ่งเป็นส่วนที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนและจุลินทรีย์ย่อยสลายยากมาก และพวกที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (non humic substance) มีโครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อน ย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิปิด กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) การจะได้มาซึ่งอินทรียวัตถุนั้น คือ การใส่อินทรียสารหรือปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดิน ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบและเป็นสารปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพดีขึ้น (มุกดา, 2547)

1.4.1 ผลของอินทรียวัตถุต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

1) อินทรียวัตถุช่วยลดการทำให้ดินแน่นโดยเม็ดฝน เนื่องจากอินทรียวัตถุที่ปกคลุมหรือคลุกเคล้าอยู่บริเวณผิวดิน ช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝนที่ตกลงมากระทบกับดินโดยตรง ดินจึงไม่แน่น และน้ำฝนสามารถซึมลงไปในดินชั้นล่าง เป็นการลดการพังทลายของหน้าดิน

2) อินทรียวัตถุช่วยเพิ่มช่องว่างและลดความหนาแน่นรวม โดยปุ๋ยอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย และสังเคราะห์สารบางชนิดขึ้นมา ซึ่งเป็นตัวเชื่อมอนุภาคของดินให้เกาะกันเป็นก้อน ทำให้ดินทรายมีช่องว่างขนาดเล็กเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถอุ้มน้ำได้มาก สำหรับดินเหนียวซึ่งเป็นดินที่ประกอบไปด้วยขนาดของดินมีอนุภาคละเอียด ทำให้เกิดช่องขนาดใหญ่ ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดีตลอดจนลดความเหนียว ทำให้การไถพรวนทำได้สะดวก

3) อินทรียวัตถุช่วยป้องกันการระเหยน้ำในดิน โดยปกคลุมบนผิวดินช่วยป้องกันไม่ให้แสงแดดส่องถึงผิวดินโดยตรง ตลอดจนช่องว่างในดินที่เพิ่มขึ้น น้ำใต้ดินที่จะซึมผ่านช่องดังกล่าวมาด้านบนผิวดินได้ยาก จึงเป็นการลดการระเหยน้ำในดินอีกทางหนึ่ง

4) อินทรียวัตถุช่วยทำให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้น โดยอินทรียวัตถุสามารถอุ้มน้ำได้ 7 เท่า ของน้ำหนักอินทรียวัตถุ (นิรันดร์, 2533) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเนื้อหยาบจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

1.4.2 ผลของอินทรียวัตถุต่อสมบัติทางเคมีของดิน

1) อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารของพืช เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายของอินทรียสารที่ได้จากปุ๋ยอินทรีย์ จะปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเศษซากอินทรีย์ ถึง 96 % ส่วนอีก 4 % เป็นมวลชีพ ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่สุดในการหมุนเวียน และการแปรรูปของไนโตรเจน (ศุภมาศ, 2529) นอกจากนั้นอินทรียวัตถุยังปลดปล่อยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ตลอดจนธาตุอาหารเสริมบางชนิดอีกด้วย แม้ว่าปริมาณธาตุอาหารพืชได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุจะมีน้อยก็ตาม แต่พืชสามารถนำไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยจะค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาว จากรายงานของ ฉวีรรรณ และ วรรณลดา (2540) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวและรายได้สุทธิที่แตกต่างกัน คือ การใส่ปุ๋ยหมักมีผลทำให้ผลผลิตข้าวและรายได้สุทธิเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการทดลองที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี โดยการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีจะให้ผลผลิตข้าวสูงสุด คิดเป็น 600 kg rai^{-1} และมีรายได้สุทธิจากการขายข้าวเปลือกสูงสุดคิดเป็น 2,852.40 บาท/ไร่ และยังมีการทดลองของ วรรณลดา และคณะ

(2534) อ้างโดย ฉวีวรรณ และ วรรณลดา (2540) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 0, 2,000, 4,000 และ 6,000 kg rai^{-1} มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นจาก 1,433.5 เป็น 1,817.5, 2,133.4 และ 2,312.4 kg rai^{-1} คิดเป็นผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเป็น 26.79, 48.82 และ 61.31 % ตามลำดับ

จำลอง และคณะ (2548) ได้ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยมูลไก่ และปุ๋ยเคมีของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 7 พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 800 kg rai^{-1} ให้ผลผลิตมันแห้ง 3,102 kg rai^{-1} ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตรา 50 kg rai^{-1} มีผลผลิตมันแห้ง 3,196 kg rai^{-1} และยังมีรายงานของ กอบเกียรติ และคณะ (2551) ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ PGPR1 กับการผลิตข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 2 ในชุดดินวังสะพุง พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,200 kg rai^{-1} ข้าวโพดให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้น้ำหนักฝักแห้งและน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 1,264 และ 972 kg rai^{-1} ตามลำดับ

2) อินทรียวัตถุช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก เป็นสารที่มีขนาดเล็กและพื้นที่ผิวเป็นจำนวนมาก โดยที่สมบัติทางเคมีของอินทรียวัตถุมี funtional group มาก เช่น carboxylic group, phenolic OH group และอื่นๆ เมื่อเกิดกระบวนการ dissociation ทำให้เกิดประจุลบขึ้นอย่างมากมายบริเวณพื้นที่ผิวอินทรียวัตถุ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ทำให้ธาตุอาหารพืชที่ใส่ลงไปในดินในรูปปุ๋ยเคมี หรือธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติที่มีไอออนบวก ถูกดูดซับไว้ไม่ให้สูญเสียไปโดยกระบวนการชะล้าง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชเป็นไปได้ดียิ่งขึ้น

3) อินทรียวัตถุช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมินัม การใส่อินทรียวัตถุลงในดินกรดสามารถลดความเป็นพิษของอะลูมินัมได้ เนื่องจากกรดอินทรีย์จากอินทรียวัตถุ เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดฟลูวิก (fulvic acid) ทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมเป็น Al-citrate และ Al-fulvate (Hue *et al*., 1986) และรายงานของ Tan (2003) กรดฮิวมิก กรดฟุลวิก และกรดอินทรีย์หลายชนิดเป็นสารคีเลต (chelating agent) ซึ่งทำปฏิกิริยาคีเลชันกับไอออนของจุลธาตุพวกโลหะ จุลธาตุเหล่านั้นจึงอยู่ในรูปคีเลตซึ่งพืชใช้ประโยชน์ได้

สรัญญา และคณะ (2548) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอน พบว่า การใส่ปุ๋ยคอกในดินจนทำให้ดินมีอินทรียวัตถุถึง 3 % มีส่วนช่วยทำให้ความเป็นกรดของดิน และความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน มีผลทำให้ธาตุอาหารในดินมีความเป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยคอกนั้นนอกจากเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินแล้ว ยังเพิ่มธาตุอาหารพืชที่ได้จากการย่อยสลาย เช่น

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ให้กับดิน โดยปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปุ๋ยคอกที่ใส่ จึงทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

4) อินทรียวัตถุช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของดิน คือ เมื่อปุ๋ยอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ดินย่อยสลาย ก็จะปลดปล่อยธาตุต่างๆ ในรูปอนินทรีย์ แล้วเหลือสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและลักษณะคงทนเรียกว่าฮิวมัส จึงเป็นการเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ซึ่งดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุมากขึ้นเนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงขึ้น เป็นเหตุให้เพิ่มความจุบัฟเฟอร์ (buffering capacity) ดินจึงต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH มากกว่าเดิม (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

1.4.3 ผลของอินทรียวัตถุต่อสมบัติทางชีวภาพของดิน

1) อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน การแปรสภาพของธาตุอาหารพืช ในดินส่วนใหญ่เป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการใช้พลังงานและธาตุอาหารจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงรูปของอนินทรียสารในดินจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกรณีของอินทรียวัตถุที่ผสมคลุกเคล้าอยู่ในดิน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งผลที่ได้จากการย่อยสลาย คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นเมื่อรวมกับน้ำในดินจะเกิดกรดคาร์บอนิก ทั้งกรดคาร์บอนิกและกรดอินทรีย์จะช่วยละลายธาตุอาหารพืชบางชนิดในดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น เมื่อจุลินทรีย์ในดินได้รับธาตุอาหารเพิ่มขึ้นก็จะดำเนินกิจกรรมต่างๆ เช่น การแปรสภาพของอินทรียสารโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดในดิน เช่น การเปลี่ยนรูปอนุมูลแอมโมเนียม ซึ่งเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ได้ยาก ให้อยู่ในรูปของไนไทรต์และไนเทรต ซึ่งพืชนำไปใช้ได้ง่าย หรือการแปรสภาพของสารอนินทรีย์ โดยจุลินทรีย์บางชนิดที่ผลิตกรดละลายธาตุอาหารในดินให้ออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (พิทยากร และคณะ, 2530)

2) อินทรียวัตถุช่วยควบคุมโรคพืชบางชนิดในดิน จากการรายงานของ พิทยากร และคณะ (2530); วรรณลดา และคณะ (2530) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก) ตั้งแต่อัตรา 4,000 kg rai^{-1} ขึ้นไปในดินชุดปากช่อง มีแนวโน้มว่าสามารถลดความรุนแรงของเชื้อ *Macrophomia phasiolina* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเน่าคอดินในถั่วเหลือง เนื่องจากปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ดินและเชื้อจุลินทรีย์ดินที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้จะมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมปริมาณ และกิจกรรมของเชื้อราโรคพืชที่อาศัยอยู่ในดิน

1.4.4 ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis Jecg*) เป็นพืชที่มีบทบาททางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยประเทศไทยผลิตปาล์มน้ำมันเป็นอันดับ 5 ของโลก ซึ่งประเทศผู้ผลิตปาล์มน้ำมันรายใหญ่ คือ มาเลเซียและอินโดนีเซีย ซึ่งคิดเป็น 82.56 % ของการผลิตทั้งหมด (กลุ่มวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำพื้นที่พืชไร่, 2549) ประเทศไทยผลิตปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจเป็นอันดับ 2 รองจากยางพารา โดยพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่ตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย (ศักดิ์ศิลป์ และคณะ, 2541) ในปี 2547 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 1.80 ล้านไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2.90 ตัน/ไร่/ปี และปี 2550 พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มเป็น 2.663 ล้านไร่ ซึ่งก็ยังไม่เพียงพอต่อกำลังการผลิตของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ในปัจจุบันมีความต้องการน้ำมันปาล์มประมาณ 10.81 ล้านตัน/ปี และในปี 2547 รัฐบาลมียุทธศาสตร์อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเคียงคู่ผู้นำในระดับโลกอย่างประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย โดยตั้งเป้าขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันให้ได้ 10 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2572 โดยจะปลูกเพิ่มปีละ 400,000 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 3.197 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว 2.663 ล้านไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 2.90 ตัน/ไร่/ปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) เมื่อนำผลผลิตทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการนี้ คือ ทะลายเปล่าประมาณ 22 % เส้นใยของเปลือก ประมาณ 8 % และ decanter cake ประมาณ 4 % ในแต่ละปีจึงมีวัสดุเหล่านี้เป็นจำนวนมาก และในปี 2547 ปริมาณวัสดุอินทรีย์จากปาล์มน้ำมันมีถึง 84.8 ล้านตัน (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ข) จึงควรนำวัสดุดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อใช้เป็นแหล่งของอินทรียวัตถุในดิน จากรายงานของ Redshaw (2003) พบว่า ปริมาณของธาตุอาหารต่างๆ ที่ประกอบอยู่ในทะลายเปล่ามีปริมาณธาตุโพแทสเซียมมากที่สุด ไนโตรเจนและแมกนีเซียมเพียงเล็กน้อย สำหรับฟอสฟอรัสมีน้อยมาก และยังมีธาตุอาหารจุลธาตุ (B, Cu, Zn และ Fe) อยู่อีกด้วย และรายงานของ อภิเชษฐ และคณะ (2552) ได้วิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้นของเส้นใยเปลือกผลปาล์มน้ำมัน พบว่า มีธาตุอาหารต่างๆ สะสมอยู่ดังนี้ N 10.1 g kg^{-1}, P 1.33 g kg^{-1}, K 5.08 g kg^{-1}, Mg 1.80 g kg^{-1}, Ca 4.17 g kg^{-1} , และ S 2.82 g kg^{-1} ซึ่งเมื่อย่อยสลายก็สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้ให้แก่พืช

ภิญโญ และคณะ (2539) ศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันคลุมดิน ตั้งแต่เริ่มปลูกปาล์มน้ำมันจนกระทั่งปาล์มน้ำมันอายุ 8 ปี ในดินร่วนปนทราย พบว่า การคลุมดินด้วยทะลายปาล์มเปล่า ทำให้ pH ของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในทุกระดับความลึกของชั้นดินเพิ่มขึ้น

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังมีรายงานของ ธีระพงศ์ และคณะ (2544) ได้ศึกษาผลของการคลุมโคนด้วยทะลายเปล่าต่อผลผลิต ความชื้นในดิน และปริมาณธาตุอาหารในใบของปาล์มน้ำมัน โดยทดลองในปาล์มน้ำมันอายุ 5 ปี พบว่า หลังจากคลุมโคนปาล์มน้ำมันในปีที่ 3 ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นถึง 36 % เมื่อเปรียบเทียบกับไม่คลุมโคน ซึ่งการเพิ่มผลผลิตดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากการคลุมโคนปาล์มน้ำมันด้วยทะลายเปล่า จึงมีส่วนช่วยในการรักษาระดับความชื้นในดิน และช่วยยกระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมัน จากทางใบที่ 17 ให้มีค่าสูงขึ้น

1.5 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 คือ ปุ๋ยที่เป็นสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบ และปุ๋ยอินทรีย์เคมี แต่ไม่รวมปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์ ยิปซัมและโดโลไมต์ หรือสารอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูง และส่วนมากเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่าย เมื่อใส่ลงไปในดินจึงแตกตัวและเป็นประโยชน์ต่อพืชทันที ปุ๋ยเคมีที่ใช้กันโดยทั่วไปมีทั้งชนิดที่ให้ธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียว ให้ธาตุอาหารหลักมากกว่าหนึ่งธาตุ หรือให้ทั้งธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม ซึ่งปุ๋ยแต่ละชนิดก็มีความเหมาะสมกับพืชและดินที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้ ปุ๋ยเคมีมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตพืช เนื่องจากเป็นการเพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่ดิน ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างถูกต้องจะช่วยให้ดินมีความสามารถในการให้ผลผลิตสูงขึ้น ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า

1.5.1 ความสำคัญและสถานการณ์ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตพืช เห็นได้จากสถิติการใช้ปุ๋ยเคมีในภาคการเกษตรของประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเกือบทุกปี ซึ่งอาจจะมีบางปีที่มีปริมาณการใช้ลดลงบ้าง อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมแห้งแล้ง ปริมาณการเพาะปลูกพืชจึงลดลง หรืออาจเกิดจากสภาพทางเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้ราคาผลผลิตพืชลดลง โดยพบว่า ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในภาคการเกษตรของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2543 - 2547 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2547 เพิ่มขึ้นมากสุด 3,727,791 ตัน อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2548 และ 2549 มีปริมาณรวมการนำเข้าลดลงเหลือเพียง 3,316,305 และ 3,532,729 ตัน ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นสูงสุดในปี 2550 เพิ่มขึ้นถึง 4,350,516 ตัน และในปี 2551 และ 2552 ลดลงเหลือ 3,797,749 และ

3,867,187 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) อาจเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีหรือลดการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพง

สถานการณ์ปุ๋ยเคมีของประเทศไทย ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศปีละประมาณ 3 - 4 ล้านตัน และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ส่วนใหญ่เมื่อมาถึงจะถูกขนถ่ายเข้าโรงงานปุ๋ยภายในประเทศ ซึ่งจะนำไปผลิต หรือนำมาบรรจุกระสอบของบริษัทนั้นๆ ตามสูตรปุ๋ยเคมีที่วางจำหน่าย โดยทั่วไปมีมากมายหลายสูตรส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารต่ำเพื่อที่จะสามารถจำหน่ายได้ในราคาถูก ซึ่งราคาจำหน่ายปุ๋ยเคมีในประเทศไทยจะขึ้นอยู่กับราคาปุ๋ยเคมีในตลาดโลกซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และขึ้นกับความต้องการปุ๋ยภายในประเทศในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก ถ้ามีความต้องการมาก ราคาปุ๋ยเคมีจะเพิ่มสูงขึ้นหรือถ้าปุ๋ยเคมีในตลาดโลกมีน้อยจะทำให้ราคาสูงขึ้นได้ (ราเชนทร์ และคณะ, 2551)

1.5.2 ผลของสารปรับปรุงดิน ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี ต่อสมบัติของดินและผลผลิตของพืช

การเพิ่มผลผลิตพืชที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำนั้น การใช้ปุ๋ยเคมีนับว่าเป็นวิธีการที่สำคัญยิ่งโดยเฉพาะการผลิตพืชเศรษฐกิจอายุสั้น เช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ ฉันทนา และคณะ (2552) ได้ศึกษาเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดหวานบางแหล่งปลูกในภาคใต้ มีแปลงทดลอง 3 แปลง แต่ละแปลงใช้ข้าวโพดหวานจำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์อินทรีย์ 2 และพันธุ์ฮาวายเอี้ยนซูการ์ซุปเปอร์สวีท พบว่า การปลูกโดยใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 kg rai^{-1} และเมื่อข้าวโพดอายุ 25 และ 40 วัน ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตราครั้งละ 25 kg rai^{-1} ให้ผลผลิตและกำไรสุทธิสูงสุด คือ พันธุ์อินทรีย์ 2 ให้ผลผลิต 1,385 kg rai^{-1} กำไรสุทธิ 7,905 บาท/ไร่ แต่ในดินกรดเขตร้อนนั้น การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้พืชให้ผลผลิตสูงสุดได้ จำเป็นต้องเติมสารปรับปรุงดินลงไปคือ วัสดุปูน เพื่อที่จะยกระดับ pH ดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จากนั้นต้องเน้นการสร้างอินทรียวัตถุในดิน โดยการเติมปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้ดินมีโครงสร้างที่ดี มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากขึ้น จากรายงานของ ประไพ และคณะ (2536) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของฝ้ายที่ปลูกในดินกรดดีขึ้น และทำให้ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นทั้งดินบนและดินล่างในระยะฝ้ายเริ่มมีสมอนั้นมีปริมาณสูงกว่าระยะเริ่มต้น 2-3 เท่า ในขณะที่การใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ pH ดินสูงขึ้น ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของฝ้ายดีขึ้น และยังสอดคล้องกับของ Juo และคณะ (1995) รายงานว่า การทดลองปลูกพืชในดิน Kaolinitic Alfisol ในประเทศไนจีเรีย พบว่า การปลูกพืชโดยใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ความเป็นกรด

ของดินเพิ่มขึ้น จากดินที่มี pH 6.0 จะลดลงเหลือ 4.5 และธาตุอาหารพืชแมกนีเซียมลดลงจาก 1.0 เป็น 0.2 mg kg^{-1} ภายใน 10 ปี และยังมีรายงานของ Bationo และคณะ (1989) ที่กล่าวว่า การทดลองปลูกข้าวฟ่างในดิน Alfisols ที่ประเทศไนจีเรีย พบว่า การปลูกพืชโดยใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 2 เท่า ส่วนการปลูกพืชโดยใช้ซากพืชคลุมดิน ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 1 เท่า แต่เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับซากพืชสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวฟ่างได้ถึง 3 เท่า และรายงานของ สุวพันธ์ และคณะ (2548) รายงานว่า การจัดการธาตุอาหารพืชแบบผสมผสานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตถั่วลิสง โดยการปลูกถั่วพร้าต้นฤดูฝนเป็นปุ๋ยพืชสดแล้วสับกลบก่อนปลูกถั่วลิสง ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และใช้ซากถั่วลิสงหลังจากเก็บฝักสดนำกลับมาบำรุงดิน และได้ศึกษาผลตกค้างของการจัดการธาตุอาหารพืชดังกล่าวต่อการผลิตถั่วลิสงในปีต่อมา โดยทดลองในดินร่วนทรายกรดจัดชุดหุบกะพง จังหวัดเพชรบุรี ในปี พ.ศ. 2543, 2544 และ 2545 พบว่า ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-9-6 (N-P_2O_5-K_2O) kg rai^{-1} เพิ่มผลผลิตได้ 46 - 52 % ในปีแรก และยังมีผลตกค้างต่อการเพิ่มผลผลิตในปีถัดไปได้อีก 2 ปี โดยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 27 และ 24 % ตามลำดับ

โสภา และคณะ (2546) ศึกษาอัตราของสารปรับปรุงดินและปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี เพื่อเพิ่มผลผลิตยางพาราในเขตแห้งแล้ง ทดลองกับยางพันธุ์ RRIM 600 ในสภาพดินร่วนปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ โดยใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ ครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 1 และ 2 กิโลกรัม/ต้น และสารปรับปรุงดินอัตรา 100 และ 200 กรัม/ต้น เปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 1 กิโลกรัม/ต้น และสารปรับปรุงดิน 200 กรัม ทำให้ได้ผลผลิตสูงสุดถึง 328 kg rai^{-1} สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 8 % สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว 31 % แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 1 กิโลกรัม/ต้น ซึ่งยังสอดคล้องกับรายงานของ สุรชัย (2548) รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ร่วมกับสารซีโอไลต์ต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน การเปลี่ยนแปลงสภาวะธาตุอาหารหลัก และสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของดิน โดยใช้ปุ๋ยเคมีต่อซีโอไลต์ในอัตรา 1:0, 1:1 และ 3:1 ร่วมกับปุ๋ยคอก คือ ไม่ใส่ปุ๋ยคอก และใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 1,000 kg rai^{-1} ผลการทดลองพบว่า ตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีต่อซีโอไลต์ อัตรา 1:1 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยคอกให้น้ำหนักฝักข้าวโพดสูงถึง 239.78 กรัม/ฝัก ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวให้น้ำหนัก 237.70 กรัม/ฝัก และผลการวิเคราะห์ดินหลังการทดลองยังพบว่าปริมาณของธาตุอาหารหลักเพิ่มสูงขึ้น ค่า pH ดิน อินทรียวัตถุ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน และยังทำให้สมบัติทางฟิสิกส์บางประการของดินดีขึ้นอีกด้วย

สรัญญา และคณะ (2548) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอน ผลการทดลองพบว่า ตำรับทดลองใส่ปุ๋ย

คอกให้มีอินทรียวัตถุ 3.0 % ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ให้น้ำหนักแห้งรวมสูงสุด คือ 7.96 g bag^{-1} ยังทำให้ pH ดิน อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น และยังสามารถลดความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ให้ลดลงอย่างชัดเจน สอดคล้องกับรายงานของ ถาวร (2550) ได้ศึกษาการจัดการดินเปรี้ยวจัดเพื่อปลูกข้าวโดยใช้วัสดุปูน ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ ผลการทดลองพบว่า การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยวิธีการใส่หินปูนฝุ่นอัตรา ½ LR (820 kg rai^{-1}) ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (ปุ๋ย 16-16-8 kg rai^{-1} และ 46-0-0 kg rai^{-1}) และมีการไถกลบปุ๋ยพืชสดเพื่อบำรุงดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด คือ 487 kg rai^{-1} สมบัติทางเคมีของดินมีการเปลี่ยนแปลง คือ pH เพิ่มขึ้น แคลเซียมเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง และยังสอดคล้องกับรายงานของ กอบเกียรติ และคณะ (2551) ที่ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพกับการผลิตข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 2 ในชุดดินวังสะพุง พบว่า การใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ มีผลทำให้ข้าวโพดดูดใช้ธาตุอาหารพืช ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มขึ้น คือ 17.3, 9.5 และ 14.6 kg rai^{-1} ตามลำดับ ข้าวโพดจึงเจริญเติบโตดี มีผลผลิตสูงถึง 1,061 kg rai^{-1}

1.6 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาลักษณะการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตมวลชีวภาพของพืชเมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ

2) เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินกรดที่ดอน เมื่อมีการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ร่วมกับปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการ และสถานที่ทำการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์การวิจัย

2.1.1 ดินชุดคอหงส์ (Coarse-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) จากแปลงปลูกยางพาราของเกษตรกร ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2.1.2 ปูนโดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$)

2.1.3 ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และ 46-0-0

2.1.4 ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2.1.5 เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน

2.1.6 ถุงดำพลาสติก

2.1.7 เครื่อง pH meter

2.1.8 เครื่อง Conductivity meter

2.1.9 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.1.10 เครื่อง Visible Spectrophotometer

2.1.11 เครื่อง Flame Photometer

2.1.12 ตู้อบตัวอย่างพืช (Hot air oven)

2.1.13 เครื่องเขย่า (Shaker)

2.1.14 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Gerhardt Vapodest 2)

2.1.15 เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม และ 0.1 มิลลิกรัม

2.1.16 เครื่องบดตัวอย่างพืช (Grinder)

2.2 สารเคมี

2.2.1 กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid: 98 % (w/w) H_2SO_4)

2.2.2 กรดไนทริก (Nitric acid: 65 % (w/w) HNO_3)

2.2.3 กรดบอริก (Boric acid: H_3BO_3)

2.2.4 กรดอะซิติก (Glacial acetic acid: 99.5 % (w/w) CH_3COOH)

2.2.5 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid: 37 % (w/w) HCL)

2.2.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH)

2.2.7 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green)

2.2.8 แมกนีเซียมออกไซด์ (Megnesium oxide: MgO)

2.2.9 แลนทานัมคลอไรด์ (Lanthanium chloride: 99.9 % (w/w) $LaCl_3 \cdot x\ H_2O$)

2.2.10 สทรอนเทียมคลอไรด์ (Strontium chloride: $SrCl_2 \cdot 6H_2O$)

2.2.11 แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium fluoride: NH_4F)

2.2.12 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide: 25 % (w/w) NH_4OH)

2.2.13 แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate: $(NH_4)6Mo_7O_2 \cdot 4H_2O$)

2.2.14 แอมโมเนียมเมทตาวานาเดท (Ammonium metavanadate: NH_4VO_3)

2.2.15 ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide: 30 % (w/w) H_2O_2)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน และการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกพืช

สุ่มเก็บตัวอย่างดินชุดดินคอหงส์ (Coarse loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) ซึ่งเป็นตัวแทนดินกรดที่ดอน ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จากแปลงปลูกยางพาราของเกษตรกร ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร นำดินมาผึ่งลมให้แห้ง และย่อยดินผ่านตะแกรงขนาด 0.5 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินส่วนหนึ่งมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ให้ได้ประมาณ 1 กิโลกรัม เก็บไว้สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกพืช โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ตามวิธีวิเคราะห์ ดังตารางที่ 1

2.3.2 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในวัสดุปูนโดโลไมต์

วัสดุปรับปรุงดินปูนโดโลไมต์ที่จำหน่ายในท้องตลาด นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยนำวัสดุปรับปรุงดินปูนโดโลไมต์ที่จำหน่ายในท้องตลาดมาสกัดธาตุอาหาร และวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์**
pH	pH meter ดิน:น้ำ = 1:5 (จำเป็น, 2547)
Lime requirement	Dun method (วรรณา, 2538)
Organic matter	Walkley and Black (จำเป็น, 2547)
Total N	Kjeldahl Method (จำเป็น, 2547)
Exchangeable Ca	1 M NH_4 OAc pH 7 Atomic Absorption Spectrophotometer (จำเป็น, 2547)
Exchangeable Mg	1 M NH_4 OAc pH 7 Atomic Absorption Spectrophotometer (จำเป็น, 2547)
Exchangeable K	1 M NH_4 OAc pH 7 Flame photometer (จำเป็น, 2547)
Exchangeable Na	1 M NH_4 OAc pH 7 Flame photometer (จำเป็น, 2547)
Extractable S	0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$ Turbidimetric method (จำเป็น, 2547)
Available P	Bray II, Molybdinum blue method (จำเป็น, 2547)
Exchangeable acidity	1 M KCl Titration (Mc Lean, 1965) (สมศักดิ์, 2537; จำเป็น, 2547)
Exchangeable Al	1 M KCl Titration (Mc Lean, 1965) (สมศักดิ์, 2537; จำเป็น, 2547)
Soil texture	Hydrometer (วรรณา, 2538)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารในวัสดุปูนโดโลไมต์

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์**
Ca (%)	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Atomic Absorption Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)
Mg (%)	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Atomic Absorption Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)
P (%)	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Visible Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)
S (%)	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Visible Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)
Fe (mg kg^{-1})	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Atomic Absorption Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)
Mn (mg kg^{-1})	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Atomic Absorption Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)
Cu (mg kg^{-1})	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Atomic Absorption Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)
Zn (mg kg^{-1})	HNO_3:$HClO_4$=3:1 Atomic Absorption Spectrophotometer (A.O.A.C, 1990)

2.3.3 การวิเคราะห์ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

สุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาประมาณ 2 กิโลกรัม สำหรับ 1 กิโลกรัมแรกนำมาบรรจุในกระป๋องพลาสติกปิดฝาให้สนิท เก็บไว้วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของปุ๋ยหมัก ที่เหลืออีก 1 กิโลกรัม ผึ่งลมในถาดพลาสติกจนแห้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ บดด้วยเครื่องบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh เก็บตัวอย่างที่บดได้ไว้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร โดยมีวิธีการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์**
ตรวจสอบวัสดุเจือปน	ตรวจพินิจ (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
ขนาดของปุ๋ยอินทรีย์	Dry Screen Analysis (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
ความชื้น	Gravimetric method (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
ปริมาณหินและกรวด	Wet Screen Analysis (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
pH	pH meter ปุ๋ยอินทรีย์:น้ำ = 1:10 (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
EC	Conductivity meter ปุ๋ยอินทรีย์:น้ำ = 1:10 (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
Organic matter	Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
Total N	Kjeldahl method (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
Total P_2O_5	$HClO_4$: HNO_3 = 1:1 Barton 's solution (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
Total K_2O	$HClO_4$: HNO_3 = 1:1 (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
Total Ca	$HClO_4$: HNO_3 = 1:1 (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
Total Mg	$HClO_4$: HNO_3 = 1:1 (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)
Total S	$HClO_4$: HNO_3 = 1:1 Turbidimetry (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)

2.3.4 การวางแผนการทดลอง

การทดลองประกอบด้วย 21 ตำรับทดลอง แต่ละตำรับทดลองทำ 4 ซ้ำ ทดลองในเรือนกระจก คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยนำดินกรดที่ดอนชุดดินคอหงส์ (Coarse-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) มาปรับ pH ของดินเป็น 6.0 ด้วยปูนโดโลไมต์ (D)

เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ในอัตรา 3 % (v/v) (C3), 6 % (v/v) (C6) และ 9 % (v/v) (C9) และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (F) ครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (1/2F) และหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (1/3F) โดยแต่ละตำรับทดลองสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนการทดลองศึกษาการเจริญเติบโตของพืช และสมบัติของดินเมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดิน

ตำรับทดลอง	ปริมาณสารปรับปรุงดินต่อดิน 5 กิโลกรัม			
	ปูนโดโลไมต์ (g)	ปุ๋ยหมัก (cm^3)	ปุ๋ยเคมี (15-15-15) (g)	ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) (g)
Control	-	-	-	-
D	2.88	-	-	-
C3	-	115	-	-
C6	-	230	-	-
C9	-	345	-	-
F	-	-	1.2	1.2
D+F	2.88	-	1.2	1.2
D+1/2F	2.88	-	0.6	0.6
D+1/3F	2.88	-	0.4	0.4
D+C3	2.88	115	-	-
D+C6	2.88	230	-	-
D+C9	2.88	345	-	-
D+F+C3	2.88	115	1.2	1.2
D+F+C6	2.88	230	1.2	1.2
D+F+C9	2.88	345	1.2	1.2
D+1/2F+C3	2.88	115	0.6	0.6
D+1/2F+C6	2.88	230	0.6	0.6
D+1/2F+C9	2.88	345	0.6	0.6
D+1/3F+C3	2.88	115	0.4	0.4
D+1/3F+C6	2.88	230	0.4	0.4
D+1/3F+C9	2.88	345	0.4	0.4

เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์ F = ปุ๋ยเคมี C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2.3.5 การดำเนินการทดลอง

1) ก่อนทดลองปลูกพืชต้องทราบปริมาณของปูนที่แท้จริง ที่สามารถยกระดับ pH ดินเป็น 6.0 โดยทำการวิเคราะห์หาค่า pH ของดินเบื้องต้น มาคำนวณหาความต้องการปูน และนำมาทดสอบกับดินโดยเติมปูนโดโลไมต์ลงไปในอัตรา 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2 เท่าของความต้องการปูน นำดินไปบ่มในสภาพเรือนกระจกโดยให้ความชื้นแก่ดินที่ระดับความชื้นสนาม (field capacity) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นนำดินมาผึ่งลมให้แห้งในจานพลาสติก หลังจากดินแห้งนำดินมาบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 2 มิลลิเมตร นำไปวัดค่า pH โดยเลือกตัวอย่างดินในอัตราที่ปูนโดโลไมต์สามารถยกระดับ pH ดินเป็น 6.0 หรือใกล้เคียงกับ 6.0 มากที่สุด

2) ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีวิธีการหมักดังนี้ วัตถุดิบที่ใช้ คือ decanter cake, ทะลายเปล่า และเส้นใยของเปลือก อัตรา 3:2:1 มาสับให้ละเอียด ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ให้ได้ประมาณ 280 ตัน เติมกากน้ำตาลลงไป 250 กิโลกรัม เชื้อ 10 กิโลกรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน ละลายปุ๋ยยูเรีย 25 กิโลกรัม ในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์ลิตร ฉีดพ่นให้ทั่วกองปุ๋ยหมัก คลุมกองปุ๋ยหมักด้วยผ้ายาง ตรวจวัดอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก เมื่อมีอุณหภูมิเกิน 80 องศาเซลเซียส ให้กลับกองปุ๋ยหมัก และปุ๋ยหมักจะย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ ประมาณ 45-60 วัน (บริษัทเกษตรสิทธิ, 2550) นำปุ๋ยที่รับมาจากบริษัทเกษตรสิทธิ จำนวน 5 กระสอบ ตวงปุ๋ยหมักของแต่ละกระสอบออกมาจำนวนเท่าๆ กัน ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน เก็บไว้สำหรับทดลองปลูกข้าวโพด คำนวณอัตราของปุ๋ยหมักที่ต้องใช้ คือ 3, 6 และ 9 % (v/v) ของดิน 5 กิโลกรัม คือ ปุ๋ยหมัก 3 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 115 cm^3, ปุ๋ยหมัก 6 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 230 cm^3, และปุ๋ยหมัก 9 % (v/v) ต้องใช้ปุ๋ยหมักจำนวน 345 cm^3

3) บรรจุดินคอหงส์ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องตา 0.5 เซนติเมตร ลงในถุงพลาสติก ถุงละ 5 กิโลกรัม จนครบ 84 ถุง ชั่งปูนโดโลไมต์ในอัตราที่ปรับ pH ดินเป็น 6.0 คือ 2.88 กรัม ใส่กระป๋องพลาสติก ผสมปูนโดโลไมต์กับดินที่เตรียมไว้ โดยเทดิน 1 ถุง ปูน 1 กระป๋อง และปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 2 ลงในถังพลาสติก คลุกเคล้าให้เข้ากัน และบรรจุในถุงพลาสติก ทำเช่นเดียวกันจนครบทุกถุง กระแทกถุงดินแต่ละถุงกับพื้นจำนวน 6 ครั้ง วางทิ้งไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ รดน้ำจนได้ความชื้นดินที่ระดับความชื้นสนาม

4) ก่อนปลูกข้าวโพด ใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้น สูตร 15-15-15 อัตรา 50 kg rai^{-1} ในตำรับทดลองที่ต้องใส่ปุ๋ยเคมี และปลูกข้าวโพด 4 เมล็ด/ถุง เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตได้ 7 วัน ถอนทิ้งให้เหลือถุงละ 2 ต้น ตลอดการทดลองรดน้ำข้าวโพดที่ระดับความชื้นสนาม และเมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 50 kg rai^{-1} (กรมวิชาการเกษตร, 2540)

5) ข้าวโพดอายุได้ 40 วัน เก็บเกี่ยวต้นข้าวโพดโดยตัดต้นข้าวโพดที่ระดับผิวดิน ใส่ในถุงกระดาษ รวมถึงส่วนที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก ล้างให้สะอาดใส่ในถุงกระดาษ นำไปอบให้แห้งในตู้อบตัวอย่างพืช โดยอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

2.3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังตัดต้นข้าวโพด

นำดินหลังตัดต้นข้าวโพดของแต่ละตำรับทดลอง มาผึ่งลมให้แห้ง บดและร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินเบื้องต้นและใช้วิธีเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ในตารางที่ 1

2.3.7 การเตรียมและการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

ตัวอย่างข้าวโพดที่ผ่านการอบของแต่ละตำรับทดลอง บดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารดังนี้ วิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน โดยวิธีการย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก (HNO_3:$HClO_4$ =3:1) สำหรับฟอสฟอรัสทำให้เกิดสีโดยวิธี Yellow molybdovanadophosphoric acid และวัดค่าด้วยด้วยเครื่อง UV–Visible Spectrophotometer โพแทสเซียมวัดค่าด้วยเครื่อง Flame Photometer สำหรับแคลเซียมและแมกนีเซียม นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer และกำมะถันวิเคราะห์โดยวิธี Turbidimetry และวัดค่าด้วยด้วยเครื่อง UV–Visible Spectrophotometer (จำเป็น, 2547)

2.3.8 การบันทึกข้อมูล

วัดความสูงของต้นข้าวโพด ชั่งและบันทึกน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ต้น+ใบ) น้ำหนักแห้งของราก และวิเคราะห์ต้นทุนในการจัดการดินเบื้องต้น

2.3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด น้ำหนักแห้ง สมบัติของดิน และปริมาณธาตุอาหารในพืช มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างทางสถิติ ของแต่ละตำรับทดลองด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT)

2.4. สถานที่ทำการวิจัย

2.4.1 เรือนกระจกคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2.4.2 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 สมบัติเบื้องต้นของดิน และวัสดุปรับปรุงดิน

ดินชุดคอหงส์ เป็นดินร่วนทรายที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด โดยดินมี pH 4.92 มีอินทรียวัตถุ 9.7 g kg^{-1} มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.65 g kg^{-1} ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 3.25 mg kg^{-1} โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.08, 0.07, 0.125 และ 0.02 cmol(+)kg^{-1} ตามลำดับ มีกำมะถันที่สกัดได้ 3.45 mg kg^{-1} และพบว่าดินมีกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้สูง คือ 1.41 และ 1.22 cmol(+)kg^{-1} ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมบัติบางประการของดินชุดคอหงส์

สมบัติดิน	วิธีการวิเคราะห์	ค่าวิเคราะห์
pH	ดิน : น้ำ = 1 : 5	4.92
Lime requirement	Dun method	289 kg rai^{-1} [$Ca(OH)_2$]
Organic matter	Walkley and Black	9.7 g kg^{-1}
Total N	Kjeldahl method	0.65 g kg^{-1}
Available P	Bray II, Molybdinum blue method	3.25 mg kg^{-1}
Exchangeable Ca	1 M NH_4 OAc pH 7	0.07 cmol(+)kg^{-1}
Exchangeable Mg	1 M NH_4 OAc pH 7	0.125 cmol(+)kg^{-1}
Exchangeable K	1 M NH_4 OAc pH 7	0.08 cmol(+)kg^{-1}
Exchangeable Na	1 M NH_4 OAc pH 7	0.02 cmol(+)kg^{-1}
Exchangeable acidity	1 M KCl Titration	1.41 cmol(+)kg^{-1}
Exchangeable Al	1 M KCl Titration	1.22 cmol(+)kg^{-1}
Extractable S	0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$ Turbidimetry	3.45 mg kg^{-1}
Soil texture	Hydrometer	Sandy loam

สำหรับปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่ามี pH 7.66 อินทรียวัตถุ 43.05 % มีไนโตรเจนทั้งหมด 18.84 g kg^{-1} ฟอสฟอรัสทั้งหมด 10.50 g kg^{-1} โพแทสเซียมทั้งหมด 22.65 g kg^{-1} แคลเซียมทั้งหมด 15.36 g kg^{-1} แมกนีเซียมทั้งหมด 13.21 g kg^{-1} กำมะถันทั้งหมด 2.92 g kg^{-1} ค่าการนำไฟฟ้า 3.95 dS m^{-1} และมีค่า C/N ratio 13.29 (ตารางที่ 6) สำหรับปูนโดโลไมต์ พบว่ามีแคลเซียม 28.00 % แมกนีเซียม 10.40 % เหล็ก 0.16 % และ กำมะถัน < 0.10 % (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

สมบัติปุ๋ยหมัก	**ค่ามาตรฐาน***	**ค่าวิเคราะห์**
ตรวจสอบวัสดุเจือปน	ต้องไม่มี	ไม่มีวัสดุเจือปน
ขนาดของปุ๋ยอินทรีย์	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 mm.	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 mm.
ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 mm. ไม่เกิน 5 %	ไม่พบหินและกรวด
ความชื้น	ไม่เกิน 35 %	33.85 %
pH	5.5 – 8.5	7.66
EC	ไม่เกิน 6 dS m^{-1}	3.95 dS m^{-1}
Organic Matter	ไม่น้อยกว่า 30 % (w/w)	43.05 %
Total N	ไม่น้อยกว่า 1.0 %	18.84 g kg^{-1}
Total P_2O_5	ไม่น้อยกว่า 0.5 %	10.50 g kg^{-1}
Total K_2O	ไม่น้อยกว่า 0.5 %	22.65 g kg^{-1}
Total Ca	-	15.36 g kg^{-1}
Total Mg	-	13.21 g kg^{-1}
Total S	-	2.92 g kg^{-1}
C/N ratio	ไม่เกิน 20:1	13.29

*ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548 ก)

ตารางที่ 7 สมบัติทางเคมีของวัสดุปูนโดโลไมต์

สมบัติปูนโดโลไมต์	วิธีการ	ค่าวิเคราะห์
Ca	$HClO_4 : HNO_3 = 3:1$	28.00 %
Mg	$HClO_4 : HNO_3 = 3:1$	10.40 %
Fe	$HClO_4 : HNO_3 = 3:1$	0.16 %
S	$HClO_4 : HNO_3 = 3:1$	< 0.10 %
Mn	$HClO_4 : HNO_3 = 3:1$	ไม่พบ
Cu	$HClO_4 : HNO_3 = 3:1$	ไม่พบ
Zn	$HClO_4 : HNO_3 = 3:1$	ไม่พบ

3.2 การเจริญเติบโตของข้าวโพด

3.2.1 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของข้าวโพด

การปรับปรุงดินกรดที่ดอน ชุดดินคอหงส์ โดยใช้วัสดุปรับปรุงดินแบบผสมผสานระหว่าง ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี พบว่า ทุกตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ข้าวโพดมีความสูงเพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม โดยตำรับทดลองที่ข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด คือ ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+1/2F+C9) ข้าวโพดมีความสูง 48.81 เซนติเมตร ขณะที่ตำรับทดลองควบคุมให้ความสูงของต้นข้าวโพดต่ำสุด คือ 9.93 เซนติเมตร สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ข้าวโพดมีความสูง 27.44 เซนติเมตร ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ข้าวโพดมีความสูง 16.63 เซนติเมตร ดังตารางที่ 8

ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) ความสูงของข้าวโพดมีค่าระหว่าง 30.56 - 41.75 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมี (F) ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทุกอัตรา (D+F, D+1/2F, D+1/3F) ข้าวโพดมีความสูงอยู่ระหว่าง 24.56 - 34.13 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปูนโดโลไมต์ และการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี ข้าวโพดมีความสูงเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างปุ๋ยหมักอัตราสูงกับปุ๋ยหมักอัตราต่ำ มีค่าระหว่าง 30.56 - 48.81 เซนติเมตร ดังตารางที่ 4 สำหรับตำรับทดลองที่ใช้วัสดุปรับปรุงดินร่วมกันระหว่างปูนโดโลไมต์ ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยเคมี ทำให้ข้าวโพดมีความสูงที่สูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ มีค่าระหว่าง 38.38 - 48.81 เซนติเมตร ดังตารางที่ 8

3.2.2 น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ต้น+ใบ) ของข้าวโพด

การปรับปรุงดินกรดที่ดอนด้วยวิธีผสมผสานระหว่างปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี ทุกตำรับทดลองที่ใส่สารปรับปรุงดินข้าวโพดมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง โดยน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ต้น+ใบ) มีค่าระหว่าง 12.59 - 21.08 g bag^{-1} และตำรับทดลองที่มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีค่า 21.08 g bag^{-1} ขณะที่ตำรับทดลองควบคุมให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินต่ำสุด คือ 0.29 g bag^{-1} ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน 6.25 g bag^{-1} ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ (D) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน 1.70 g bag^{-1} ดังตารางที่ 8

เมื่อเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมีค่าระหว่าง 8.35 - 20.29 g bag^{-1} และพบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลางและอัตราต่ำ สำหรับตำรับทดลอง C9, D+F+C9, D+1/2F+C9 และ D+1/3F+C9 ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าระหว่าง 19.97 - 21.08 g bag^{-1} โดยมีค่าที่สูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักทุกอัตรา (D+C3, D+C6, D+C9) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมีค่าระหว่าง 11.31 - 16.31 g bag^{-1} และมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่สูงกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทุกอัตรา (D+F, D+1/2F, D+1/3F) ที่น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมีค่าระหว่าง 4.52 - 8.00 g bag^{-1} ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลของปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมีต่อความสูงและน้ำหนักแห้งของข้าวโพด (Mean ± SE.)

ตำรับทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้ง (g bag^{-1})		
		ส่วนเหนือดิน	ราก	ส่วนเหนือดิน + ราก
Control	9.93 ± 0.28 n	0.29 ± 0.02 i	0.17 ± 0.01 k	0.46 ± 0.02 j
D	16.63 ± 0.32 m	1.70 ± 0.18 i	0.31 ± 0.03 k	2.01 ± 0.18 j
C3	30.56 ± 0.60 j	8.35 ± 0.25 f	1.47 ± 0.06 i	9.82 ± 0.29 g
C6	38.57 ± 0.57 g	16.91 ± 0.37 b	2.10 ± 0.03 ef	19.01 ± 0.40 cd
C9	41.75 ± 0.63 de	20.29 ± 0.41 a	3.57 ± 0.21 a	23.84 ± 0.52 ab
F	27.44 ± 0.42 k	6.25 ± 0.28 g	1.06 ± 0.06 j	7.30 ± 0.33 h
D+F	34.13 ± 0.46 i	8.00 ± 0.56 f	1.44 ± 0.06 i	9.38 ± 0.61 g
D+1/2F	33.06 ± 0.41 i	6.31 ± 0.51 g	1.38 ± 0.08 i	7.69 ± 0.57 h
D+1/3F	24.56 ± 0.90 l	4.52 ± 0.43 h	0.91 ± 0.06 j	5.43 ± 0.49 i
D+C3	36.38 ± 0.32 h	11.31 ± 0.39 e	1.60 ± 0.10 hi	12.92 ± 0.49 f
D+C6	38.69 ± 0.60 g	15.77 ± 0.54 bcd	2.34 ± 0.10 de	18.11 ± 0.61 cde
D+C9	39.80 ± 1.05 fg	16.31 ± 0.44 bc	3.14 ± 0.15 b	19.46 ± 0.59 e
D+F+C3	39.50 ± 0.41 fg	14.55 ± 0.39 d	2.40 ± 0.08 d	16.95 ± 0.46 e
D+F+C6	38.38 ± 0.63 g	14.95 ± 0.73 cd	2.71 ± 0.09 c	17.66 ± 0.82 de
D+F+C9	43.69 ± 0.57 c	21.08 ± 0.63 a	3.83 ± 0.12 a	24.91± 0.76 a
D+1/2F+C3	41.13 ± 0.36 ef	12.70 ± 0.71 e	1.76 ± 0.07 gh	14.46 ± 0.77 f
D+1/2F+C6	46.15 ± 0.36 b	16.24 ± 0.42 bc	2.06 ± 0.04 ef	18.31 ± 0.41 cde
D+1/2F+C9	48.81 ± 0.77 a	20.92 ± 0.95 a	3.16 ± 0.05 b	24.08 ± 0.96 ab
D+1/3F+C3	42.69 ± 0.70 cde	12.59 ± 0.35 e	1.94 ± 0.04 fg	14.53 ± 0.38 f
D+1/3F+C6	43.06 ± 0.46 cd	15.91 ± 0.57 bcd	2.70 ± 0.18 c	18.61 ± 0.70 cde
D+1/3F+C9	42.75 ± 0.75 cde	19.97 ± 0.48 a	3.07 ± 0.11 b	23.04 ± 0.47 b
F-Test	**	**	**	**
C.V. (%)	3.21	7.91	9.37	7.55

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์, F = ปุ๋ยเคมี, C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.2.3 น้ำหนักแห้งรากของข้าวโพด

การใส่วัสดุปรับปรุงดินแบบผสมผสานระหว่างปูนโดโลไมต์ ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยเคมี ทำให้น้ำหนักแห้งรากข้าวโพดสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม เช่นเดียวกับน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน โดยมีค่าระหว่าง 1.76 - 3.83 g bag^{-1} และตำรับทดลองที่ให้น้ำหนักแห้งรากสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีค่า 3.83 g bag^{-1} ขณะที่ตำรับควบคุมให้น้ำหนักแห้งรากต่ำสุด คือ 0.17 g bag^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งราก 1.06 g bag^{-1} ซึ่งสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งราก 0.31 g bag^{-1} ดังตารางที่ 8

การใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทุกอัตรา ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตและให้น้ำหนักแห้งรากสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) โดยตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) น้ำหนักแห้งรากมีค่าระหว่าง 1.47 - 3.57 g bag^{-1} และยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีน้ำหนักแห้งรากที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลางและอัตราต่ำ สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (D+F) มีน้ำหนักแห้งรากที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว มีค่า 1.44 g bag^{-1} แต่มีน้ำหนักแห้งรากต่ำกว่าการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก แม้จะใช้ในอัตราต่ำ โดยการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ น้ำหนักแห้งรากมีค่าระหว่าง 1.60 - 3.14 g bag^{-1} และยังพบว่าการใช้ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้น้ำหนักแห้งรากข้าวโพดสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ มีค่าระหว่าง 2.40 - 3.83 g bag^{-1} และเมื่อลดปุ๋ยเคมีลงก็ทำให้น้ำหนักแห้งรากลดลงเพียงเล็กน้อย มีค่าอยู่ระหว่าง 1.76 - 3.16 g bag^{-1} ดังตารางที่ 8

3.2.4 น้ำหนักแห้งรวมข้าวโพด

น้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพด (ส่วนเหนือดิน+ราก) เพิ่มสูงขึ้นทุกตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน โดยเฉพาะตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม และตำรับทดลองที่ให้น้ำหนักแห้งรวมสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีค่าเท่ากับ 24.91 g bag^{-1} ในขณะที่ตำรับควบคุมให้น้ำหนักแห้งรวมต่ำสุด คือ 0.46 g bag^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่

ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งรวม 7.30 g bag^{-1} มีค่าที่สูงกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์เพียงอย่างเดียว (D) ที่ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งรวม 2.01 g bag^{-1} ดังตารางที่ 8

การใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทุกอัตรา ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตและให้น้ำหนักแห้งที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) และใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) โดยตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรา (C3, C6, C9) น้ำหนักแห้งรวมมีค่าระหว่าง 9.82 - 23.84 g bag^{-1} และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักแต่ละอัตราก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน สำหรับการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักทุกอัตรา (D+C3, D+C6, D+C9) น้ำหนักแห้งรวมมีค่าระหว่าง 12.92 - 19.46 g bag^{-1} ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี น้ำหนักแห้งรวมมีค่าสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีค่าเท่ากับ 9.38 g bag^{-1} และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ น้ำหนักแห้งรวมมีค่าสูงกว่าทุกตำรับทดลอง มีค่าระหว่าง 16.95 - 24.91 g bag^{-1} และเมื่อลดปุ๋ยเคมีลงครึ่งหนึ่งกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ ทำให้น้ำหนักแห้งรวมของพืชลดลงเพียงเล็กน้อย มีค่าระหว่าง 14.46 - 24.08 g bag^{-1} ดังตารางที่ 8

3.3 สมบัติของดินหลังการปลูกพืช

3.3.1 ความเป็นกรด - เป็นด่างของดิน (pH)

การใส่ปูนโดโลไมต์ ปุ๋ยหมัก และการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก มีผลทำให้ pH ดินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะปุ๋ยหมักสามารถยกระดับ pH ดินให้สูงขึ้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ และใส่ปุ๋ยเคมี สำหรับตำรับทดลองที่มี pH ดินสูงสุด คือ การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราสูงและปุ๋ยเคมีหนึ่งในสามของอัตราแนะนำ (D+1/3F+C9) มีค่า 6.92 สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ดินมี pH 5.16 ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ดินมี pH 4.91 และตำรับทดลองควบคุมดินมี pH ต่ำสุด คือ 4.89 ดังตารางที่ 9

การใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรา (C3, C6, C9) ดินมี pH อยู่ระหว่าง 5.74 - 6.63 ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) เพียงเล็กน้อยที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.99 - 6.69 และยังพบว่าดินมี pH เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักทุกอัตรา (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) ดินมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.43 - 6.56 และเมื่อลดปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งทำให้ pH ดินเพิ่มขึ้น

เล็กน้อยในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9) ดินมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.52 - 6.85 และเมื่อลดปุ๋ยเคมีลงอีกในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ดินมีค่า pH เพิ่มสูงขึ้นอยู่ระหว่าง 6.66 - 6.92 ดังตารางที่ 9

3.3.2 ความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable acidity)

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถลดความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้ให้ลดลงอย่างชัดเจนและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และตำรับทดลองควบคุม โดยค่าความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าระหว่าง 0.61 - 0.06 cmol(+)kg^{-1} ขณะที่ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวและตำรับทดลองควบคุม มีความเข้มข้นกรดที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 1.02 และ 1.28 cmol(+)kg^{-1} ตามลำดับ ดังตารางที่ 9

ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว ความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 0.61 cmol(+)kg^{-1} ซึ่งสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F, D+1/2F, D+1/3F) ความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าระหว่าง 0.49 - 0.40 cmol(+)kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ทุกตำรับทดลองมีผลทำให้ความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงอย่างชัดเจนและไม่มีความแตกต่างทางสถิติซึ่งกันและกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13 - 0.06 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 9

3.3.3 ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Al)

ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ทุกตำรับทดลอง (C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) มีผลทำให้ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงอย่างชัดเจนและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) และตำรับทดลองควบคุม โดยความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าระหว่าง 0.11 - 0.04 cmol(+)kg^{-1}

และตำรับทดลองที่ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (C9) มีค่า 0.04 cmol(+)kg^{-1} ขณะที่ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) และตำรับทดลองควบคุม ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 0.46, 0.86 และ 0.97 cmol(+)kg^{-1} ตามลำดับ ดังตารางที่ 9

3.3.4 อินทรียวัตถุในดิน (Organic matter)

การปรับปรุงดินกรดชุดดินคอหงส์ ในตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับทดลอง (C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมี ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว และตำรับทดลองควบคุม โดยตำรับทดลองที่ให้อินทรียวัตถุในดินสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีค่าเท่ากับ 20.73 g kg^{-1} ในขณะที่ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) อินทรียวัตถุในดินมีค่าเท่ากับ 11.67 g kg^{-1} ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) มีค่าเท่ากับ 10.21 g kg^{-1} และตำรับทดลองควบคุม อินทรียวัตถุในดินมีค่าเท่ากับ 10.35 g kg^{-1} ดังตารางที่ 10

สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ (C3, C6, C9) อินทรียวัตถุในดินมีค่าระหว่าง 13.81 - 19.28 g kg^{-1} โดยมีอินทรียวัตถุที่สูงกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักทุกอัตรา (D+C3, D+C6, D+C9) ที่อินทรียวัตถุในดินมีค่าระหว่าง 13.07 - 17.59 g kg^{-1} และพบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีอินทรียวัตถุในดินที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลาง และปุ๋ยหมักอัตราต่ำ สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) อินทรียวัตถุในดินมีค่าระหว่าง 13.42 - 20.73 g kg^{-1} และมีอินทรียวัตถุสูงกว่าเพียงเล็กน้อยกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่ง และหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ที่มีค่าระหว่าง 14.30 - 20.37 g kg^{-1} ดังตารางที่ 10

3.3.5 ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N)

ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) มีค่าไนโตรเจนต่ำสุด คือ 0.65 g kg^{-1} ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองควบคุมและตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ คือ 0.70 และ 0.74 g kg^{-1} ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใส่วัสดุปรับปรุงดินแบบผสมผสานระหว่างปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีค่าไนโตรเจนสูงสุด คือ 1.26 g kg^{-1} ดังตารางที่ 10

สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) มีไนโตรเจนทั้งหมดใกล้เคียงกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) ที่มีค่าระหว่าง 0.82 - 1.22 g kg^{-1} แต่มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) ซึ่งมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.99 - 1.26 g kg^{-1} และเมื่อลดปริมาณปุ๋ยเคมีลงในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งและหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ปริมาณไนโตรเจนในดินลดลงเพียงเล็กน้อยมีค่าระหว่าง 0.76 - 1.04 g kg^{-1} ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 9 pH ของดิน ความเข้มข้นของกรด และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน (Mean ± SE.)

ตำรับทดลอง	pH หลังปลูก	กรดที่แลกเปลี่ยนได้	อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้
	1:5	cmol(+)kg^{-1}	cmol(+)kg^{-1}
Control	4.89 ± 0.05 l	1.28 ± 0.01 a	0.97 ± 0.06 a
D	5.16 ± 0.08 jk	0.61 ± 0.03 c	0.46 ± 0.03 c
C3	5.74 ± 0.09 i	0.11 ± 0.02 f	0.06 ± 0.01 f
C6	6.24 ± 0.02 g	0.11 ± 0.01 f	0.07 ± 0.01 f
C9	6.63 ± 0.02 cde	0.08 ± 0.01 f	0.04 ± 0.01 f
F	4.91 ± 0.09 l	1.02 ± 0.08 b	0.86 ± 0.06 b
D+F	5.19 ± 0.05 j	0.40 ± 0.02 e	0.29 ± 0.01 e
D+1/2F	5.25 ± 0.07 j	0.48 ± 0.03 d	0.38 ± 0.01 d
D+1/3F	5.03 ± 0.01 kl	0.49 ± 0.02 d	0.41 ± 0.02 d
D+C3	5.99 ± 0.04 h	0.13 ± 0.01 f	0.10 ± 0.03 f
D+C6	6.52 ± 0.09 def	0.11 ± 0.01 f	0.11 ± 0.01 f
D+C9	6.69 ± 0.06 c	0.06 ± 0.01 f	0.06 ± 0.01 f
D+F+C3	6.43 ± 0.05 f	0.09 ± 0.01 f	0.08 ± 0.01 f
D+F+C6	6.48 ± 0.06 ef	0.08 ± 0.01 f	0.07 ± 0.01 f
D+F+C9	6.56 ± 0.03 cdef	0.06 ± 0.01 f	0.06 ± 0.01 f
D+1/2F+C3	6.52 ± 0.06 def	0.10 ± 0.01 f	0.08 ± 0.01 f
D+1/2F+C6	6.66 ± 0.02 cd	0.08 ± 0.01 f	0.05 ± 0.01 f
D+1/2F+C9	6.85 ± 0.03 ab	0.07 ± 0.01 f	0.05 ± 0.01 f
D+1/3F+C3	6.66 ± 0.03 cd	0.08 ± 0.02 f	0.07 ± 0.01 f
D+1/3F+C6	6.72 ± 0.02 bc	0.08 ± 0.01 f	0.06 ± 0.01 f
D+1/3F+C9	6.92 ± 0.02 a	0.08 ± 0.01 f	0.06 ± 0.01 f
F-Test	**	**	**
C.V. (%)	1.79	17.06	22.06

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์, F = ปุ๋ยเคมี, C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 10 อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน (Mean ± SE.)

ตำรับทดลอง	อินทรียวัตถุ	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}
Control	10.35 ± 0.25 gh	0.70 ± 0.02 ghi	5.00 ± 0.18 f
D	10.21 ± 0.39 gh	0.65 ± 0.02 i	4.80 ± 0.01 f
C3	13.81 ± 0.04 f	0.82 ± 0.01 efgh	29.00 ± 1.66 e
C6	17.56 ± 0.37 c	1.08 ± 0.07 bc	125.05 ± 4.90 b
C9	19.28 ± 0.31 b	1.22 ± 0.03 ab	160.00 ± 3.43 a
F	11.67 ± 0.45 g	0.74 ± 0.03 fghi	12.00 ± 0.90 f
D+F	11.00 ± 0.52 gh	0.76 ± 0.02 efghi	12.00 ± 0.42 f
D+1/2F	11.06 ± 0.56 g	0.67 ± 0.02 hi	8.03 ± 0.28 f
D+1/3F	9.53 ± 0.20 h	0.69 ± 0.01 ghi	6.18 ± 0.33 f
D+C3	13.07 ± 0.49 f	0.83 ± 0.02 efg	32.00 ± 2.20 e
D+C6	16.27 ± 0.58 cd	1.06 ± 0.02 c	97.00 ± 4.27 cd
D+C9	17.59 ± 0.58 c	1.11 ± 0.09 bc	159.00 ± 2.59 a
D+F+C3	13.42 ± 0.39 f	0.99 ± 0.01 cd	41.00 ± 3.72 e
D+F+C6	16.20 ± 0.51 cd	1.06 ± 0.02 c	107.00 ± 3.20 c
D+F+C9	20.73 ± 0.49 a	1.26 ± 0.02 a	161.00 ± 10.16 a
D+1/2F+C3	14.47 ± 0.64 ef	0.89 ± 0.04 def	35.71 ± 2.17 e
D+1/2F+C6	15.52 ± 0.71 de	1.02 ± 0.07 cd	91.48 ± 2.96 d
D+1/2F+C9	20.37 ± 0.35 ab	1.03 ± 0.09 cd	160.46 ± 10.62 a
D+1/3F+C3	14.30 ± 0.63 ef	0.76 ± 0.06 efghi	35.10 ± 3.38 e
D+1/3F+C6	15.46 ± 0.47 de	0.90 + 0.03 de	95.85 ± 3.82 cd
D+1/3F+C9	19.10 ± 0.52 b	1.04 ± 0.07 cd	152.80 ± 7.61 a
F-Test	**	**	**
C.V. (%)	6.53	10.33	12.09

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์, F = ปุ๋ยเคมี, C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.3.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P)

การใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับทดลอง (C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมี ใส่ปูนโดโลไมต์ และตำรับทดลองควบคุม โดยตำรับทดลองที่ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราสูง และปุ๋ยเคมี (D+F+C9) มีค่า 161.00 mg kg^{-1} ขณะที่ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลม์อย่างเดียว (D) ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำสุด คือ 4.80 mg kg^{-1} และมีค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองควบคุมและตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 5.00 และ 12.00 mg kg^{-1} ตามลำดับ ดังตารางที่ 10

สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรา (C3, C6, C9) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าระหว่าง 29.00 - 160.00 mg kg^{-1} และการใช้ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีฟอสฟอรัสที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลางและปุ๋ยหมักอัตราต่ำ และพบว่าตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (C9, D+C9, D+F+C9, D+1/2F+C9, D+1/3F+C9) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงสุดและไม่แตกต่างทางสถิติระหว่างกัน มีค่าระหว่าง 152.80 - 161.00 mg kg^{-1} ดังตารางที่ 6 สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าระหว่าง 35.10 - 161.00 mg kg^{-1} ดังตารางที่ 10

3.3.7 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable K)

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) มีค่าต่ำสุด คือ 0.08 cmol(+)kg^{-1} ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองควบคุม ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวและตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่า 0.13, 0.16 และ 0.17 cmol(+)kg^{-1} ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใสปุ๋ยหมักทุกตำรับทดลอง (C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าระหว่าง 0.32 - 2.03 cmol(+)kg^{-1} โดยตำรับทดลองที่มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีค่า 2.03 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 11

เมื่อเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลางและใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่ำ สำหรับตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินแบบผสมผสานระหว่างปูนโดโลไมต์ ปุ๋ยหมักอัตราต่าง และปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ มีค่าระหว่าง 1.31 - .03 cmol(+)kg^{-1} และเมื่อลดปุ๋ยเคมีลง ในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งและหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ และปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน มีค่าระหว่าง 0.32 - 1.81 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 11

3.3.8 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Ca)

แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในตำรับทดลองควบคุมมีค่าต่ำสุด คือ 0.18 cmol(+)kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลองใส่วัสดุปรับปรุงดิน โดยตำรับทดลองที่ให้แคลเซียมสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีค่าเท่ากับ 5.54 cmol(+)kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่า 0.90 cmol(+)kg^{-1} สูงกว่าตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ที่มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.60 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 11

การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F, D+1/2F, D+1/3F) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.09 cmol(+)kg^{-1} แต่มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) หรือแม้แต่ปุ๋ยหมักอัตราต่ำ โดยแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าระหว่าง 1.98 - 5.22 cmol(+)kg^{-1} และเมื่อใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลงเล็กน้อยอยู่ระหว่าง 2.82 - 4.17 cmol(+)kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ และปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9, D+1/2F+C9, D+1/3F+C9) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิต มีค่าระหว่าง 5.11 - 5.54 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 11

3.3.9 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Mg)

ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุด คือ 2.74 cmol(+)kg^{-1} มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำสุดในตำรับทดลองควบคุม มีค่า 0.17 cmol(+)kg^{-1} และไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ที่มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.28 cmol(+)kg^{-1} แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ที่มีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเท่ากับ 1.03 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 11

การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F, D+1/2F, D+1/3F) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.07 cmol(+)kg^{-1} แต่มีค่าแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าระหว่าง 1.03 - 2.26 cmol(+)kg^{-1} และเมื่อใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ (D+C3, D+C6, D+C9) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก็มีค่าเพิ่มสูงขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 1.81 - 2.27 cmol(+)kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าที่สูงกว่าตำรับทดลองอื่น มีค่าระหว่าง 2.40 - 2.74 cmol(+)kg^{-1} และเมื่อลดปริมาณปุ๋ยเคมีลงในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งและหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ และปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลงตามอัตราปุ๋ยเคมีที่ลดลง มีค่าระหว่าง 1.84 - 2.40 cmol(+)kg^{-1} และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กับปุ๋ยหมักอัตรากลางและปุ๋ยหมักอัตราต่ำ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน (Mean ± SE.)

ตำรับทดลอง	โพแทสเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้	แคลเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้	แมกนีเซียม ที่แลกเปลี่ยนได้
	$cmol(+)kg^{-1}$	$cmol(+)kg^{-1}$	$cmol(+)kg^{-1}$
Control	0.13 ± 0.02 g	0.18 ± 0.02 g	0.17 ± 0.01 g
D	0.08 ± 0.01 g	0.90 ± 0.02 f	1.03 ± 0.01 f
C3	0.40 ± 0.07 efg	1.98 ± 0.01 e	1.03 ± 0.03 f
C6	1.17 ± 0.03 c	3.85 ± 0.26 bc	1.87 ± 0.06 de
C9	1.83 ± 0.05 ab	5.22 ± 0.19 a	2.26 ± 0.01 bc
F	0.16 ± 0.01 g	0.60 ± 0.08 fg	0.28 ± 0.02 g
D+F	0.17 ± 0.01 g	1.08 ± 0.03 f	1.00 ± 0.02 f
D+1/2F	0.15 ± 0.01 g	1.09 ± 0.07 f	1.00 ± 0.04 f
D+1/3F	0.14 ± 0.01 g	1.00 ± 0.02 f	1.07 ± 0.01 f
D+C3	0.37 ± 0.03 efg	2.82 ± 0.10 d	1.81 ± 0.02 e
D+C6	0.76 ± 0.01 d	4.31 ± 0.13 b	2.38 ± 0.01 b
D+C9	1.72 ± 0.19 b	4.17 ± 0.56 b	2.27 ± 0.13 bc
D+F+C3	1.36 ± 0.04 c	4.27 ± 0.60 b	2.44 ± 0.21 b
D+F+C6	1.31 ± 0.03 c	4.14 ± 0.09 b	2.40 ± 0.01 b
D+F+C9	2.03 ± 0.06 a	5.54 ± 0.19 a	2.74 ± 0.02 a
D+1/2F+C3	0.66 ± 0.12 de	3.45 ± 0.26 cd	2.04 ± 0.08 cde
D+1/2F+C6	0.50 ± 0.06 def	3.40 ± 0.39 cd	2.11 ± 0.16 cd
D+1/2F+C9	1.73 ± 0.10 b	5.11 ± 0.05 a	2.27 ± 0.11 bc
D+1/3F+C3	0.32 ± 0.01 fg	2.89 ± 0.01 d	1.84 ± 0.01 e
D+1/3F+C6	0.40 ± 0.01 efg	4.15 ± 0.05 b	1.94 ± 0.16 de
D+1/3F+C9	1.81 ± 0.04 ab	5.15 ± 0.05 a	2.40 ± 0.02 b
F-Test	**	**	**
C.V %	23.49	14.67	9.50

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์, F = ปุ๋ยเคมี, C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.3.10 โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Na)

ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ และปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงสุด คือ 0.55 cmol(+)kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียวมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำสุด คือ 0.11 cmol(+)kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองควบคุมที่โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่า 0.14 cmol(+)kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับควบคุม และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว มีค่า 0.23 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 12

สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น มีค่าระหว่าง 0.30 - 0.47 cmol(+)kg^{-1} และใกล้เคียงกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ และปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) โดยโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าระหว่าง 0.26 - 0.55 cmol(+)kg^{-1} ดังตารางที่ 12

3.3.11 กำมะถันที่สกัดได้ในดิน (Extractable SO_4^{2-} - S)

ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) มีกำมะถันที่สกัดได้สูงสุด คือ 10.22 mg kg^{-1} และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง ขณะที่ตำรับควบคุมมีกำมะถันที่สกัดได้ต่ำสุด คือ 3.04 mg kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) และใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) กำมะถันที่สกัดได้มีค่าสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม มีค่าเท่ากับ 4.07 และ 4.03 mg kg^{-1} ตามลำดับ ดังตารางที่ 12

การใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) กำมะถันที่สกัดได้มีค่าระหว่าง 5.11 - 8.14 mg kg^{-1} ซึ่งมีค่าสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น แต่มีกำมะถันที่สกัดได้มีค่าต่ำกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.07 - 10.22 mg kg^{-1} ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และกำมะถันที่สกัดได้ในดิน หลังปลูกข้าวโพด 40 วัน (Mean ± SE.)

ตำรับทดลอง	โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้	กำมะถันที่สกัดได้
	$cmol(+)kg^{-1}$	$cmol(+)kg^{-1}$
Control	0.14 ± 0.01 j	3.04 ± 0.20 i
D	0.11 ± 0.01 ij	4.03 ± 0.20 h
C3	0.30 ± 0.01 de	5.11 ± 0.37 g
C6	0.44 ± 0.01 b	6.12 ± 0.18 ef
C9	0.47 ± 0.02 b	8.14 ± 0.34 c
F	0.23 ± 0.02 fg	4.07 ± 0.29 h
D+F	0.16 ± 0.02 hij	5.08 ± 0.37 g
D+1/2F	0.15 ± 0.02 hij	5.70 ± 0.60 fg
D+1/3F	0.15 ± 0.01 hij	5.92 ± 0.28 efg
D+C3	0.19 ± 0.01 ghi	6.13 ± 0.18 ef
D+C6	0.29 ± 0.02 de	7.15 ± 0.34 cd
D+C9	0.41 ± 0.01 b	7.16 ± 0.36 cd
D+F+C3	0.32 ± 0.01 cd	6.07 ± 0.39 efg
D+F+C6	0.36 ± 0.02 c	8.15 ± 0.40 c
D+F+C9	0.55 ± 0.04 a	10.22 ± 0.43 a
D+1/2F+C3	0.25 ± 0.01 ef	6.85 ± 0.32 de
D+1/2F+C6	0.21 ± 0.02 fgh	7.71 ± 0.19 cd
D+1/2F+C9	0.43 ± 0.02 b	10.09 ± 0.19 ab
D+1/3F+C3	0.26 ± 0.04 def	6.82 ± 0.12 de
D+1/3F+C6	0.31 ± 0.04 cde	8.02 ± 0.35 c
D+1/3F+C9	0.43 ± 0.02 b	9.24 ± 0.12 b
F-Test	**	**
C.V. (%)	10.76	9.51

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์, F = ปุ๋ยเคมี, C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.4. ปริมาณธาตุอาหารในพืช

3.4.1 ไนโตรเจนในพืช

ตำรับทดลองควบคุมมีไนโตรเจนในพืชต่ำสุด คือ 16.72 g kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว มีไนโตรเจนในพืชเท่ากับ 17.25 g kg^{-1} แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และเมื่อใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำทำให้ไนโตรเจนในพืชเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีค่า 24.30 g kg^{-1} สำหรับการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงเพียงอย่างเดียว (C9) มีไนโตรเจนในพืชที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลาง อัตราต่ำ และการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ มีค่าเท่ากับ 30.27 g kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+F+C9) และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+1/2F+C9) ไนโตรเจนในพืชมีค่า 30.85 และ 30.59 g kg^{-1} ตามลำดับ ดังตารางที่ 13 สำหรับการใส่วัสดุปรับปรุงดินแบบผสมผสานระหว่างปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) ไนโตรเจนในพืชมีค่าระหว่าง 19.40 - 29.59 g kg^{-1} แต่มีค่าต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ และปุ๋ยเคมี (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) ซึ่งมีค่าระหว่าง 22.78 - 30.85 g kg^{-1} และเมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีลงในตำรับทดลองใส่ปูนโดไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่ง และหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ไนโตรเจนในพืชลดลงระดับหนึ่ง มีค่าระหว่าง 19.74 - 30.59 g kg^{-1} ดังตารางที่ 13

3.4.2 ฟอสฟอรัสในพืช

ตำรับทดลองควบคุมฟอสฟอรัสในพืชมีค่าต่ำสุด คือ 1.33 g kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับทดลอง โดยตำรับทดลองที่ให้ฟอสฟอรัสในพืชสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักอัตรากลาง (D+F+C6) มีค่าเท่ากับ 2.51 g kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมี (F) ฟอสฟอรัสในพืชมีค่า 2.05 g kg^{-1} แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ที่ฟอสฟอรัสในพืชมีค่า 1.92 g kg^{-1} ตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) ฟอสฟอรัสในพืชมีค่าระหว่าง 1.57 - 2.13 g kg^{-1} ซึ่งการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีค่าที่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลางและอัตราต่ำ แต่เมื่อใส่ปูน

โดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) ฟอสฟอรัสในพืชมีค่าสูงกว่าใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียวเล็กน้อย มีค่าระหว่าง 1.79 - 2.17 g kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ฟอสฟอรัสในพืชมีค่าที่สูงกว่าทุกตำรับทดลอง มีค่าระหว่าง 1.92 - 2.51 g kg^{-1} ดังตารางที่ 13

3.4.3 โพแทสเซียมในพืช

โพแทสเซียมในพืชมีค่าสูงสุดในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราสูงและปุ๋ยเคมี (D+F+C9) มีค่า 9.35 g kg^{-1} และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) และตำรับทดลองควบคุม ที่มีโพแทสเซียมในพืชเท่ากับ 5.34, 5.10 และ 5.63 g kg^{-1} ตามลำดับ ดังตารางที่ 13 การใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรา (C3, C6, C9) โพแทสเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 5.78 - 7.25 g kg^{-1} และมีค่าสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักทุกอัตรา (D+C3, D+C6, D+C9) โพแทสเซียมในพืชมีค่าลดลงเล็กน้อย มีค่าระหว่าง 5.18 - 7.15 g kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) โพแทสเซียมในพืชมีค่าที่สูงกว่าตำรับทดลองอื่น มีค่าระหว่าง 5.96 - 9.35 g kg^{-1} ดังตารางที่ 13

3.4.4 แคลเซียมในพืช

แคลเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 5.13 - 11.93 g kg^{-1} โดยแคลเซียมในพืชตำรับทดลองควบคุมมีปริมาณต่ำสุด คือ 5.13 g kg^{-1} และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน โดยพบว่า ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตรากลาง (D+1/3F+C6) มีแคลเซียมในพืชสูงสุด 11.93 g kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) ที่แคลเซียมในพืชมีค่า 11.15 g kg^{-1} แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) ที่แคลเซียมในพืชมีค่า 6.44 g kg^{-1} และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F, D+1/2F, D+1/3F) ที่แคลเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 8.85 - 10.68 g kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) แคลเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 7.51 - 8.56 g kg^{-1} ซึ่งมีค่าต่ำกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) ที่แคลเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 8.55 - 9.26 g kg^{-1} และการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี

ตารางที่ 13 ผลของปุ๋ยหมัก ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี ต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพืช (Mean ± SE.)

ตำรับทดลอง	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}
Control	16.72 ± 0.53 j	1.33 ± 0.02 k	5.63 ± 0.37 ef
D	17.25 ± 0.74 ij	1.92 ± 0.07 ghi	5.10 ± 0.28 f
C3	18.73 ± 0.75 hij	1.99 ± 0.04 fghi	5.78 ± 0.31 ef
C6	24.32 ± 1.04 de	1.57 ± 0.06 j	6.76 ± 0.46 de
C9	30.27 ± 0.73 a	2.13 ± 0.04 cdefg	7.25 ± 0.48 cd
F	20.32 ± 0.44 gh	2.05 ± 0.05 defgh	5.34 + 0.41 f
D+F	24.30 ± 0.54 de	1.92 ± 0.06 ghi	5.71 ± 0.45 ef
D+1/2F	18.81 ± 0.71 hij	1.79 ± 0.07 ij	5.61 ± 0.24 ef
D+1/3F	18.02 ± 0.82 hij	1.82 ± 0.10 hi	5.71 ± 0.21 ef
D+C3	19.40 ± 0.89 ghi	2.17 ± 0.52 cdef	7.15 ± 0.40 d
D+C6	24.70 ± 0.67 de	1.79 ± 0.10 ij	5.71 ± 0.42 ef
D+C9	29.59 ± 1.13 ab	2.02 ± 0.05 efghi	5.68 ± 0.15 ef
D+F+C3	22.78 ± 1.01 ef	2.25 ± 0.05 bcde	5.96 ± 0.19 ef
D+F+C6	27.84 ± 0.52 bc	2.51 ± 0.03 a	6.78 ± 0.41 de
D+F+C9	30.85 ± 0.55 a	2.34 ± 0.08 ab	9.35 ± 0.27 a
D+1/2F+C3	21.31 ± 0.69 fg	2.26 ± 0.12 bcde	7.10 ± 0.32 d
D+1/2F+C6	25.00 ± 0.61 de	1.92 ± 0.11 ghi	7.51 ± 0.22 cd
D+1/2F+C9	30.59 ± 0.82 a	2.32 ± 0.12 abc	8.68 ± 0.40 ab
D+1/3F+C3	19.74 ± 0.80 gh	2.18 ± 0.10 cdef	7.61 ± 0.56 bcd
D+1/3F+C6	21.45 ± 0.67 fg	2.24 ± 0.05 bcde	7.92 ± 0.42 bcd
D+1/3F+C9	25.83 ± 0.56 cd	2.29 ± 0.08 abcd	8.33 ± 0.37 abc
F-Test	**	**	**
C.V. (%)	6.44	7.27	10.92

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์, F = ปุ๋ยเคมี, C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

อัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) แคลเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 9.57 - 11.93 g kg^{-1} ดังตารางที่ 14

3.4.5 แมกนีเซียมในพืช

แมกนีเซียมในพืชมีค่าต่ำสุดในตำรับทดลองควบคุม คือ 0.68 g kg^{-1} และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน โดยตำรับทดลองที่ให้แมกนีเซียมในพืชสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (D) มีค่า 6.04 g kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) แมกนีเซียมในพืชมีค่า 1.38 g kg^{-1} แต่เมื่อใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F, D+1/2F, D+1/3F) แมกนีเซียมในพืชมีค่าเพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีค่าระหว่าง 4.37 - 6.01 g kg^{-1} ดังตารางที่ 10 สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรา (C3, C6, C9) แมกนีเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 1.57 - 1.69 g kg^{-1} มีค่าต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ (D+C3, D+C6, D+C9) ที่แมกนีเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 1.89 - 2.85 g kg^{-1} และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) ที่แมกนีเซียมในพืชมีค่าระหว่าง 1.79 - 2.94 g kg^{-1} ดังตารางที่ 14

3.4.6 กำมะถันในพืช

กำมะถันในพืชมีค่าระหว่าง 0.10 - 0.35 g kg^{-1} โดยตำรับทดลองที่ให้กำมะถันในพืชสูงสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราสูงและปุ๋ยเคมี (D+F+C9) มีค่า 0.35 g kg^{-1} และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับทุกตำรับทดลองที่ใส่สารปรับปรุงดินและตำรับทดลองที่ให้กำมะถันในพืชต่ำสุด คือ ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรากลาง (D+C6) มีค่า 0.10 g kg^{-1} และไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองควบคุม ที่กำมะถันในพืชมีค่าเท่ากับ 0.12 g kg^{-1} แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) กำมะถันในพืชมีค่า 0.23 g kg^{-1} และเมื่อใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (D+F, D+1/2F, D+1/3F) กำมะถันในพืชมีค่าลดลงตามอัตราปุ๋ยที่ลดลง และมีค่าระหว่าง 0.16 - 0.19 g kg^{-1} สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมัก ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก และใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ (C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9, D+1/2F+C3, D+1/2F+C6, D+1/2F+C9, D+1/3F+C3, D+1/3F+C6, D+1/3F+C9) กำมะถันในพืชมีค่าระหว่าง 0.10 - 0.35 g kg^{-1} ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลของปุ๋ยหมัก ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี ต่อความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันในพืช (Mean ± SE.)

ตำรับทดลอง	แคลเซียม	แมกนีเซียม	กำมะถัน
	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}
Control	5.13 ± 0.26 k	0.68 ± 0.06 i	0.12 ± 0.01 hi
D	11.15 ± 0.51 abc	6.04 ± 0.22 a	0.21 ± 0.03 cd
C3	7.51 ± 0.22 i	1.63 ± 0.07 gh	0.15 ± 0.02 efgh
C6	8.56 ± 0.46 ghi	1.69 ± 0.10 gh	0.13 ± 0.01 ghi
C9	7.87 ± 0.41 hi	1.57 ± 0.07 gh	0.13 ± 0.01 ghi
F	6.44 ± 0.44 j	1.38 ± 0.13 h	0.23 ± 0.01 c
D+F	8.85 ± 0.30 gh	4.37 ± 0.30 b	0.19 ± 0.02 de
D+1/2F	10.68 ± 0.43 bcd	6.01 ± 0.28 a	0.18 ± 0.01 def
D+1/3F	10.07 ± 0.40 cdef	5.73 ± 0.58 a	0.16 ± 0.01 efgh
D+C3	9.07 ± 0.30 fg	2.85 ± 0.25 c	0.12 ± 0.01 hi
D+C6	8.55 ± 0.55 ghi	2.14 ± 0.07 defg	0.10 ± 0.01 i
D+C9	9.26 ± 0.24 efg	1.89 ± 0.11 efgh	0.28 ± 0.01 b
D+F+C3	9.57 ± 0.25 defg	2.05 ± 0.09 efgh	0.14 ± 0.02 fghi
D+F+C6	10.22 ± 0.39 bcdef	2.41 ± 0.20 cdef	0.16 ± 0.01 efg
D+F+C9	10.76 ± 0.47 abcd	2.94 ± 0.35 c	0.35 ± 0.01 a
D+1/2F+C3	11.41 ± 0.31 ab	1.79 ± 0.11 fgh	0.14 ± 0.01 fghi
D+1/2F+C6	11.39 ± 0.47 ab	2.50 ± 0.14 cde	0.16 ± 0.02 efgh
D+1/2F+C9	10.10 ± 0.17 abc	2.81 ± 0.18 cd	0.23 ± 0.02 c
D+1/3F+C3	11.32 ± 0.31 ab	1.97 ± 0.09 efgh	0.15 ± 0.01 efgh
D+1/3F+C6	11.93 ± 0.27 a	2.46 ± 0.26 cdef	0.13 ± 0.01 ghi
D+1/3F+C9	10.42 ± 0.40 bcde	2.56 ± 0.07 cde	0.21 ± 0.02 cd
F-Test	**	**	**
C.V. (%)	7.81	15.93	18.39

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อ D = ปูนโดโลไมต์, F = ปุ๋ยเคมี, C = ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเจริญเติบโตของข้าวโพด

การปรับปรุงดินกรดที่ดอน โดยการใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียวสามารถลดความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินได้ระดับหนึ่ง และที่สำคัญ คือ เพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดิน (ตารางที่ 9) ข้าวโพดจึงสามารถดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมได้ดีขึ้น (ตารางที่ 14) ตรงกันข้ามกับโพแทสเซียมที่พืชดูดใช้ได้น้อยกว่าตำรับควบคุม (ตารางที่ 13) ซึ่งเป็นไปตามอัตรกิริยาปฏิปักษ์ระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมกับโพแทสเซียม ที่กล่าวว่าถ้าในดินมีแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงจะยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช (ยงยุทธ, 2546) และการใส่ปูนขาวเป็นการเพิ่มแคลเซียมให้กับดินส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมของต้นกล้าลองกองลดลง (จำเป็น และคณะ, 2550) และในสภาพที่ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงยังไปขัดขวางการดูดใช้โพแทสเซียมอีกด้วย (สุมาลี, 2536) พืชจึงเจริญเติบโตไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม แต่มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่า สอดคล้องกับรายงานของ สรัญญา และคณะ (2550) รายงานว่า ปูนโดโลไมต์สามารถลดความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และยังเพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดิน ข้าวโพดจึงมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่าตำรับควบคุม สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์หลังปลูกพืช พบว่า ดินมี pH ลดลงเหลือเพียง 5.1 จากเดิม 6.0 เป็นผลมาจากการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในสารละลายดิน โดยเมื่อรากพืชดูดใช้ธาตุอาหารในรูปของประจุบวกที่เป็นด่าง เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมจากสารละลายดิน รากพืชจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาแลกเปลี่ยนกับไอออนดังกล่าวในสารละลายดินสูงขึ้น (Marschner, 1999) จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ pH ของดินหลังปลูกพืชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ การทดลองของ อภิเชษฐ และคณะ (2552) รายงานว่า การปลูกพืชในดินกรด โดยยกระดับ pH ดินก่อนปลูกพืช เป็น 6.0 และหลังปลูกพืช พบว่า ดินมี pH ลดลง เนื่องจากรากพืชปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนในสารละลายดิน

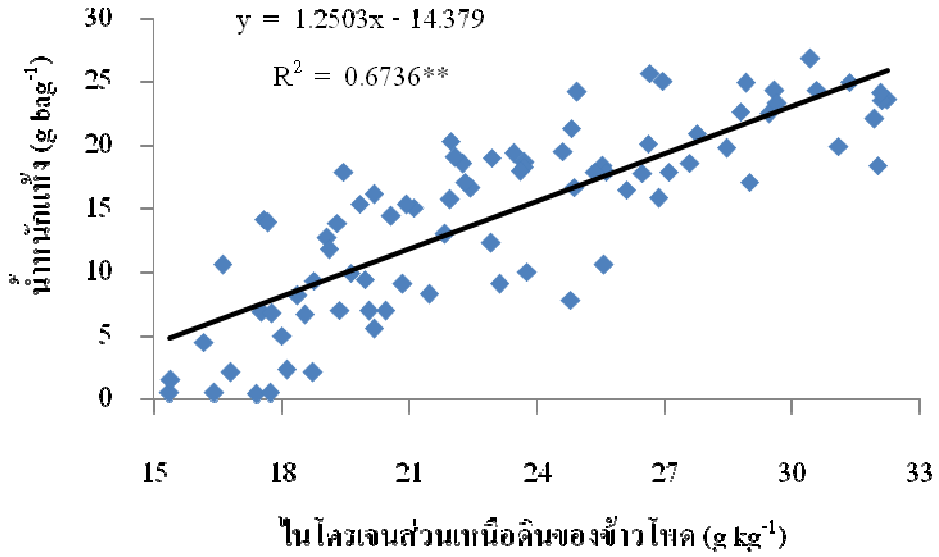
สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทุกอัตรา ทำให้ pH ของดินเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดการทดลอง อีกทั้งยังช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาดิน เนื่องจากในอินทรียวัตถุมีคอลลอยด์อยู่

มากเป็นตัวควบคุมสมดุลของอะลูมินัมในสารละลายดินทำปฏิกิริยากับน้ำ แล้วมีไฮโดรเจนไอออนเกิดขึ้น และถูกทำให้เป็นกลางโดยไฮดรอกไซด์ไอออน สังเกตได้จาก pH ของดินหลังการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 5.7 - 6.6 (ตารางที่ 9) และการใส่ปุ๋ยหมักยังทำให้ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน จาก 1.28 และ 0.97 cmol(+) kg^{-1} ในตำรับทดลองควบคุม เหลือเพียง 0.08 และ 0.04 cmol(+) kg^{-1} ในตำรับทดลอง C9 (ตารางที่ 9) เนื่องจากปุ๋ยหมักเมื่อย่อยสลายจะได้สารอินทรีย์ซึ่งไปลด activity ของอะลูมินัม ความเป็นพิษของอะลูมินัมจึงลดลง (Hue *et al*., 1986) สอดคล้องกับรายงานของ Takahashi และคณะ (1995) รายงานว่ากรดฮิวมิกที่ได้จากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ สามารถทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจึงทำให้ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง Chompoonukulrat และคณะ (1996) รายงานว่าการใส่มูลวัวอัตรา 2,000 kg rai^{-1} ให้กับมันสำปะหลังที่ปลูกในจังหวัดสกลนคร ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสดเพิ่มขึ้นเป็น 3,700 kg rai^{-1} หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.8 และ 32.9 เมื่อเปรียบเทียบกับมูลวัวอัตรา 1,000 kg rai^{-1} และไม่ใส่มูลวัว สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (F) และใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (D+F) ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ต่ำกว่าตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลางและอัตราสูง (C6 และ C9) เนื่องจากดินยังคงมี pH อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (ตารางที่ 9) จึงทำให้ธาตุอาหารพืชที่ใส่ลงไปละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้น้อย ประไพ และคณะ (2536) และ Juo และคณะ (1995) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวไม่ได้ทำให้พืชที่ปลูกในดินกรด มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นและการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นเวลานานยังทำให้ความเป็นกรดของดินเพิ่มสูงขึ้น แตกต่างจากตำรับทดลอง C3 ที่มี pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน (ตารางที่ 9) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ใส่มีอัตราสูงและเป็นปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารสูง คือ มีค่า C/N ratio เท่ากับ 13.29 และมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบดังนี้ Total N 18.84 g kg^{-1}, Total P_2O_5 10.50 g kg^{-1}, Total K_2O 22.65 g kg^{-1} , Total Ca 15.36 g kg^{-1}, Total Mg 13.21 g kg^{-1} และ Total S 2.92 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) ข้าวโพดจึงมีน้ำหนักแห้งที่สูงกว่าตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ และตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี สำหรับตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+C9) และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง (D+1/3F+C9) ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ต่ำกว่าตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (C9) เนื่องจากการใส่ปูนและปุ๋ยหมักร่วมกันทำให้ดินมี pH สูงถึง 6.7 - 6.9 (ตารางที่ 9) ซึ่งดินอาจจะอยู่ในสภาพเกินปูน คือ การใส่ปูนมากเกินไปจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัส โบรอน แมงกานีส เหล็ก และสังกะสี ลดลงจนเกิดการขาดแคลนธาตุหนึ่งธาตุใดหรือหลายธาตุกับพืชได้ Kamprath (1971) และ Sanchez (1976) รายงานว่าดินเขตร้อนที่เป็นดินเก่าผ่านการชะล้างมามาก

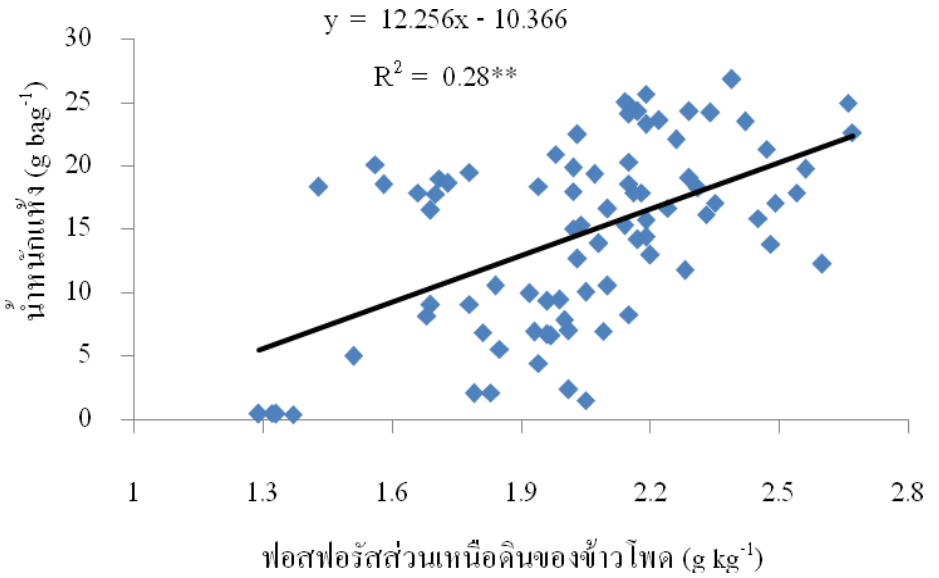
การเติมปูนจน pH เข้าใกล้ 7 นั้นทำให้เม็ดดินแตกแยกกลายเป็นเม็ดเล็กลงทำให้ดินแน่นทึบขึ้น อัตราการแทรกซึมน้ำลดลงซึ่งมีผลต่อเนื่องให้เกิดกษัยการได้ง่ายขึ้น Tiyawalee และคณะ (1978) รายงานว่า การเพิ่ม pH ดินจาก 5.4 เป็น 5.8 ทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองและถั่วลิสงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม pH ดินเป็น 6.5 ถั่วเหลืองและถั่วลิสงให้ผลผลิตลดลง และเมื่อเพิ่ม pH ดินจนถึง 7 ถั่วเหลืองและถั่วลิสงแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน แม้ว่าจะใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปก็ตาม

ข้าวโพดเจริญเติบโตดีที่สุดในตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี (D+F+C9) มีน้ำหนักแห้งรวมสูงถึง 24.91 g bag^{-1} (ตารางที่ 8) เนื่องจากการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปูนโดโลไมต์ ทำให้ดินมี pH เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช ทำให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และการใส่ปูนโดโลไมต์ยังเป็นการเพิ่ม Ca และ Mg ให้แก่ดิน ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของปูนโดโลไมต์ มี Ca และ Mg สูงถึง 28.00 และ 10.40 % ตามลำดับ (ตารางที่ 7) สำหรับปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารสูง คือ Total N 18.84 g kg^{-1}, Total P_2O_5 10.50 g kg^{-1}, Total K_2O 22.65 g kg^{-1} , Total Ca 15.36 g kg^{-1}, Total Mg 13.21 g kg^{-1} และ Total S 2.92 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) และเมื่อใส่ในอัตราสูงจึงทำให้ดินมีปริมาณของธาตุอาหารที่สูง ข้าวโพดจึงดูดใช้ธาตุอาหารดังกล่าวได้เพิ่มสูงขึ้นด้วย ข้าวโพดจึงเจริญเติบโตดีมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นสูงกว่าตำรับทดลองอื่น และตำรับทดลองดังกล่าวนี้ยังทำให้ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจนเหลือเพียง 0.06 และ 0.06 cmol(+) kg^{-1} (ตารางที่ 9) ซึ่งความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตทางรากของพืช ทำให้การเจริญเติบโตทางรากของพืชลดลง การใส่วัสดุปูนร่วมกับการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินสามารถเพิ่ม pH ดิน และลดความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Liu and Hue, 2000) สอดคล้องกับรายงานของ สรัญญา และคณะ (2548) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยคอกในดินจนทำให้ดินมีอินทรียวัตถุถึง 3 % (v/v) ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ทำให้ pH ดิน และความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน และข้าวโพดยังดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันได้สูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยคอกที่ใส่ และจากการรายงานของ โสภา และคณะ (2546); สุรชัย (2548) และถาวร (2550) รายงานว่า การปลูกพืชในดินกรด ดินเปรี้ยว หรือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ โดยการใช้สารปรับปรุงดินแบบผสมผสานระหว่างวัสดุปูน ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี ทำให้พืชที่ปลูกในดินดังกล่าวเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อดินมี pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในดินเพิ่มขึ้นข้าวโพดจึงดูดใช้ธาตุอาหารได้ดี ซึ่งการดูดใช้ธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันเพิ่มขึ้น และมี

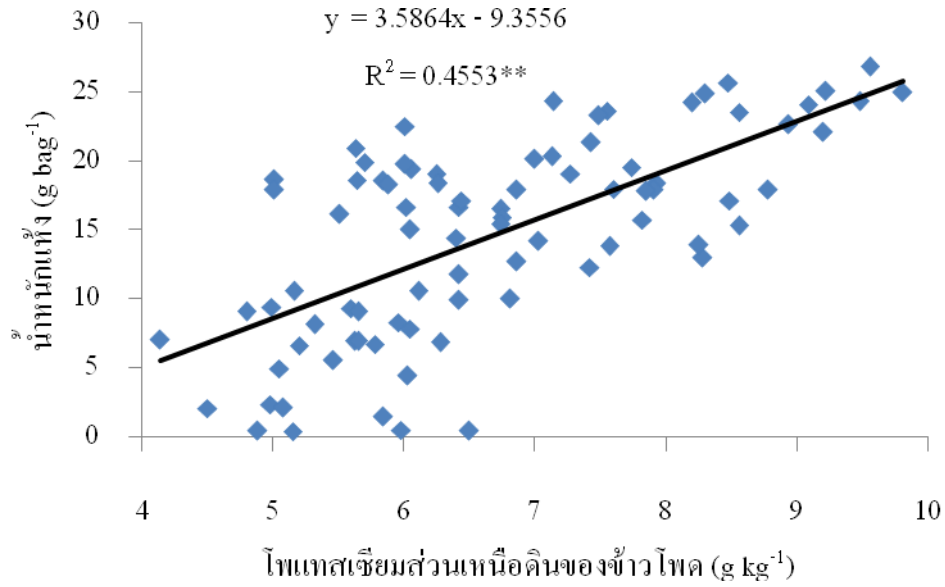
ความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด โดยมีค่า $R^2 = 0.6736^{**}$ (ไนโตรเจน) ดังรูปที่ 1 $R^2 = 0.28^{**}$ (ฟอสฟอรัส) ดังรูปที่ 2 $R^2 = 0.4553^{**}$ (โพแทสเซียม) ดังรูปที่ 3 $R^2 = 0.1119^{**}$ (แคลเซียม) ดังรูปที่ 4 $R^2 = 0.1118^{**}$ (แมกนีเซียม) ดังรูปที่ 5 $R^2 = 0.0536^{**}$ (กำมะถัน) ดังรูปที่ 6



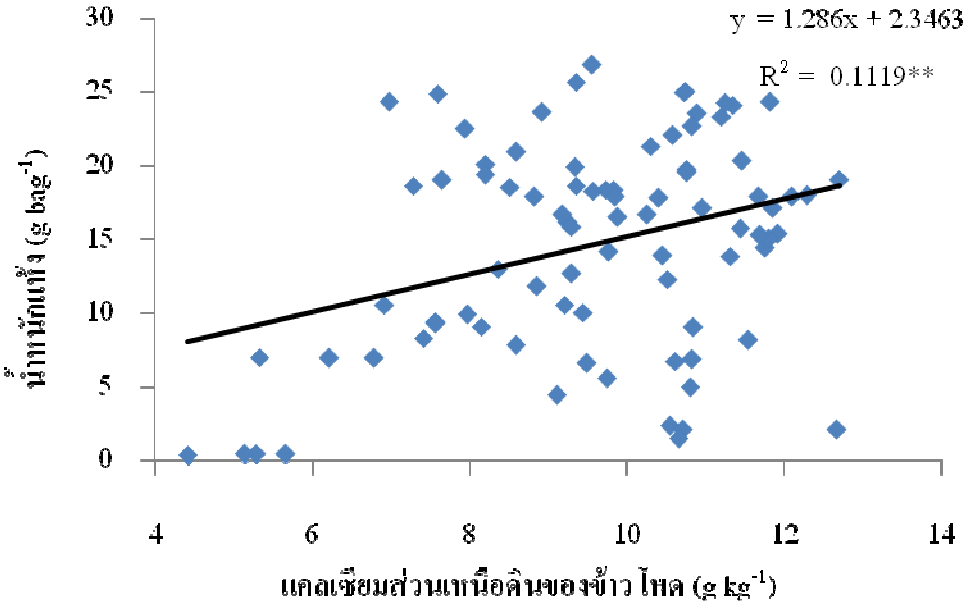
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม



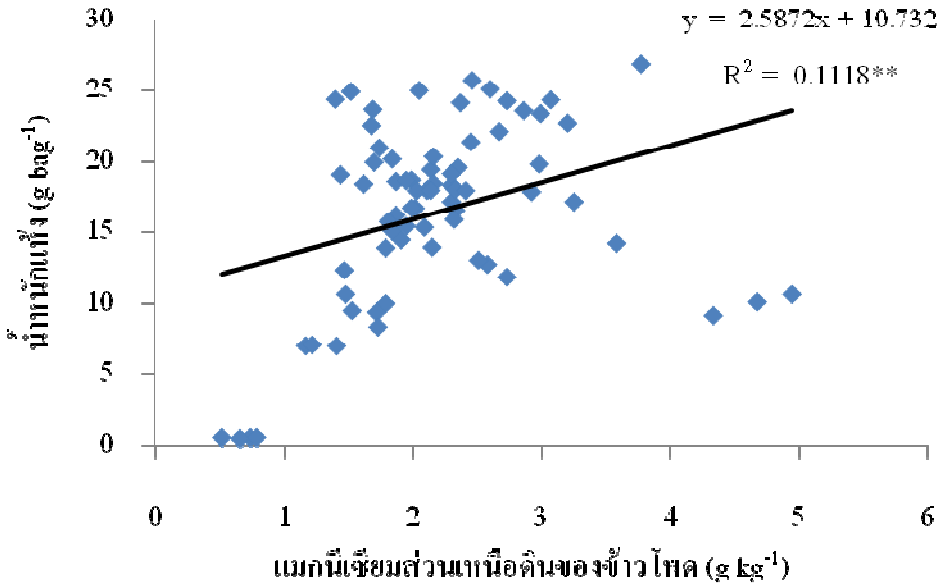
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม



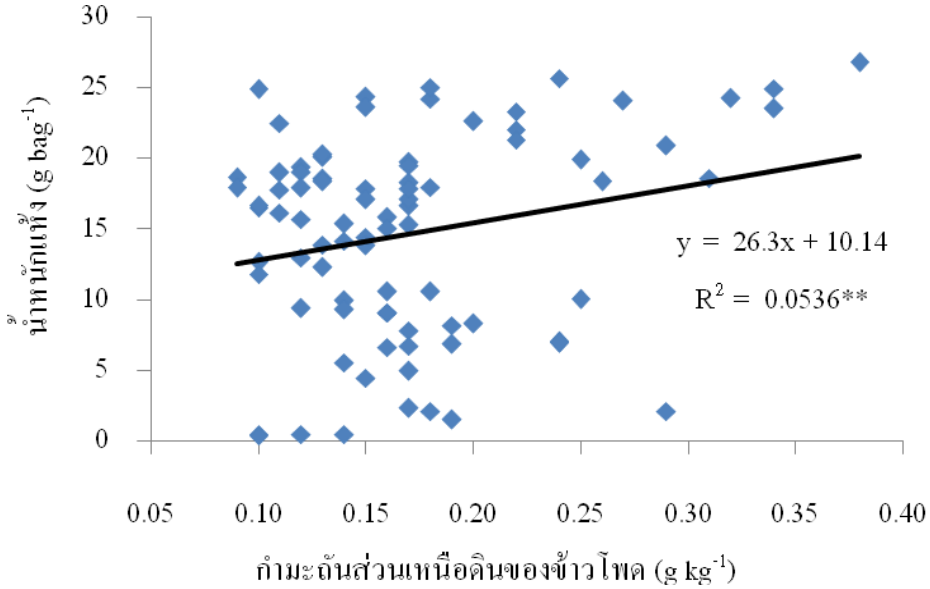
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำมะถันส่วนเหนือดินของข้าวโพดกับน้ำหนักแห้งรวม

4.2 สมบัติของดินและการดูดใช้ธาตุอาหารพืช

4.2.1 pH ดิน

ดินกรดที่ดอนชุดดินคอหงส์ เป็นดินที่มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด (pH 4.9) เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชตามธรรมชาติต่ำ เช่น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และกำมะถันที่สกัดได้ต่ำ (ตารางที่ 5) จึงเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้เป็นปกติในสภาพดินเป็นกรดอ่อนถึงกรดปานกลาง คือ pH 6.0 - 7.0 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งเป็นช่วงที่ธาตุอาหารในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี ส่วนค่า pH ที่ต่ำกว่า 5.5 ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิดลดลง เช่น ฟอสฟอรัส ถึงแม้จะใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงในดินกรดก็ตาม (von Uexkull, 1986) เพราะฟอสฟอรัสจะถูกตรึงด้วยออกไซด์ของเหล็ก และอะลูมินัม สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ จะมีปริมาณค่อนข้างต่ำเนื่องจากไฮโดรเจนไอออนเข้าไปไล่ที่ธาตุเหล่านี้ที่ถูกดูดซับที่ผิวคอลลอยด์ดิน ทำให้ถูกชะล้างออกไปจากดินได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว เพื่อปรับสภาพดินให้ดินมี pH 6.0 มีแนวโน้มทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดีขึ้น เพราะธาตุอาหารในดินสามารถละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และเมื่อใส่วัสดุปูนลงไปในดินในสภาพที่มีความชื้น จะแตกตัวให้ OH^- หรือ CO_3^{2-} แล้วแต่วัสดุปูนที่ใส่ ทำปฏิกิริยากับ H^+ ในสารละลายดินกรดเพื่อให้เกิดเป็นกลาง ส่วน Ca^{2+} จะเข้าไปแทนที่พวกกรดที่ถูกดูดซับที่คอลลอยด์ดิน (potential acidity) ทั้ง Al^{3+} และ H^+ เพื่อให้ออกมาทำปฏิกิริยากับ OH^- จนกระทั่งปริมาณของ Al^{3+} และ H^+ ลดลงตามปริมาณปูนที่ใช้ ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น (สุมาลี, 2536; เจริญ และคณะ, 2540) อีกอย่างหนึ่งการใส่ปูนโดโลไมต์ยังเป็นการเพิ่มแคลเซียมและแมกนีเซียมให้แก่ดิน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ชัยรัตน์ และ วิเชียร (2539); Maneepong และคณะ (1998) และสรัญญา และคณะ (2550) ซึ่งได้ทดลองในชุดดินคอหงส์เช่นเดียวกัน พบว่าเมื่อใส่วัสดุปูนทำให้ดินมี pH เพิ่มขึ้น พืชที่ปลูกมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น และหลังทดลองพบว่าดินในตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ มี pH ลดลงจาก 6.0 เหลือ 5.0 - 5.2 เป็นผลมาจากการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในสารละลายดิน โดยเมื่อรากพืชดูดใช้ธาตุอาหารในรูปของประจุบวกที่เป็นด่าง รากพืชจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาแลกเปลี่ยนกับไอออนดังกล่าวในสารละลายดิน (Marschner, 1999) pH ของดินหลังปลูกพืชจึงลดลง และการทดลองของจำเป็น และคณะ (2550) รายงานว่าการปรับ pH ดินชุดคอหงส์เป็น 5.5 และ 6.5 ก่อนปลูกพืช แต่หลังจากปลูกพืชเป็นเวลา 1 ปี พบว่า pH ของดิน

ลดลงเหลือเพียง 4.6 และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งอาจจะเกิดจากกรดที่ตกค้าง (residual acidity) ถูกปลดปล่อยออกมาจึงทำให้ดินมี pH ลดลง

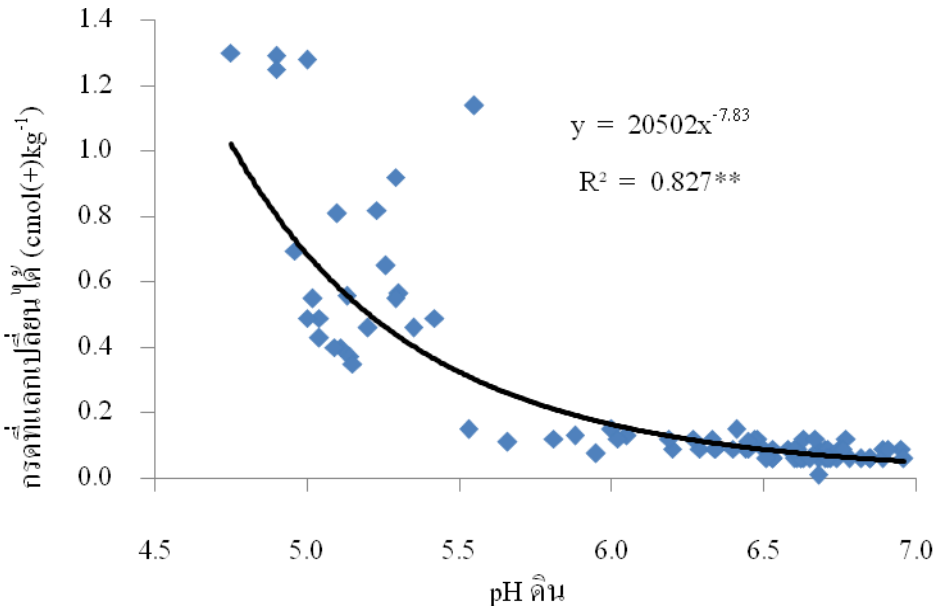
สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอัตราต่างๆ (C3, C6, C9) ทำให้ดินชุดคอหงส์ มี pH เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดฤดูปลูก (5.7 - 6.6) และเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้ดินมี pH เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุทำให้ได้สารประกอบพวกคาร์บอกซิล (carboxyl) และฟีโนลิกไฮดรอกซิล (phenolic hydroxyl) ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาช่วยให้ดินมี pH เพิ่มขึ้น (Whalen *et al*., 2000) และการเพิ่มขึ้นของ pH ดินยังมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยมีค่า R^2 = 0.827** (กรดที่แลกเปลี่ยนได้) ดังรูปที่ 7 และ R^2 = 0.792** (อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้) ดังรูปที่ 8 สรัญญา และคณะ (2548) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรียวัตถุ 3 % (v/v) ในชุดดินคอหงส์ ทำให้ดินมี pH เพิ่มสูงขึ้น ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงอย่างชัดเจน สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งและหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำและปุ๋ยหมักอัตราสูง pH ดินมีค่าระหว่าง 6.7 - 6.9 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช แต่พืชเจริญเติบโตได้น้อยกว่าตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (C9) ซึ่งดินอาจจะอยู่ในสภาพเกินปูน อุษา (2546) ได้ศึกษาการใส่ปูนเพื่อปรับ pH ดินกรดชุดดินวิสัยเพื่อปลูกถั่วหรั่ง พบว่า น้ำหนักแห้งของฝักเพิ่มขึ้นเมื่อปรับ pH ดินให้สูงขึ้น และที่ pH 5.8 น้ำหนักแห้งฝักมีค่า 27.20 g pot^{-1} แต่เมื่อเพิ่ม pH ถึง 6.6 น้ำหนักแห้งฝักกลับลดลงเหลือเพียง 4.15 g pot^{-1} เนื่องจากการใส่ปูนมากเกินไปทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัส โบรอน แมงกานีส เหล็ก และสังกะสี ลดลงจนเกิดการขาดแคลนธาตุหนึ่งธาตุใดหรือหลายธาตุกับพืชได้ และยังสอดคล้องกับรายงานของ Nwachuku และ Loganathan (1991) รายงานว่าการใส่ปูนในอัตราสูงจนยกระดับ pH ของดินให้เกือบเป็นกลางทำให้ผลผลิตข้าวโพดลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากขาดฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และจุลธาตุ

4.2.2 ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

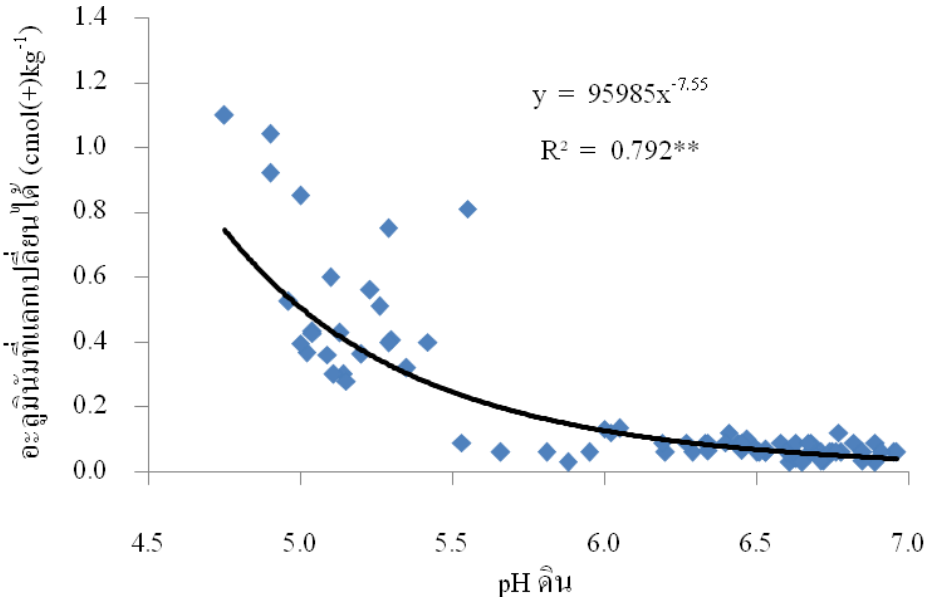
จากผลการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของดินชุดคอหงส์ จะเห็นได้ว่า ดินมีความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ คือ 1.41 และ 1.22 $cmol(+)kg^{-1}$ จัดว่าดินมีระดับความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (Landon, 1991) ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงมีผลต่อการเจริญเติบโตของราก รากชะงักการเจริญเติบโตและมีรากฝอยน้อยทำให้การดูดกินน้ำและธาตุอาหารไม่ปกติ ซึ่งเห็นได้จากตำรับทดลองควบคุม น้ำหนักแห้งของ

รากข้าวโพดมีค่าต่ำ 0.17 กรัม (ตารางที่ 8) ความเป็นพิษของอะลูมินัมในพืชเกิดจากการจับตัวของอะลูมินัมกับฟอสเฟตในกรดนิวคลีอิก ยับยั้งต่อการแบ่งตัวของเซลล์ และยังกระทบต่อเอ็นไซม์ phosphokinase และ ATPase activity ขัดขวางการดูดกินและเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสในพืช ในสภาพดินกรด Al จะละลายออกมาในรูปของโมโนเมอริกอะลูมินัม รูปของ Al จะเปลี่ยนแปลงไปตาม pH ของสารละลายดิน (Wagatsuma and Ezoe, 1985; Sparks, 1995) เมื่อใส่ปูนโดโลไมต์เพื่อปรับสภาพดิน ให้มี pH 6.0 นอกจากเพิ่มแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดินแล้ว ยังส่งผลให้กรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงได้ดีระดับหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของประไพ และคณะ (2536); สุนทร และ เวย์ (2536) และสรัญญา และคณะ (2550) รายงานว่าการลดกิจกรรมของอะลูมินัมในสารละลายดินเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ pH, แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

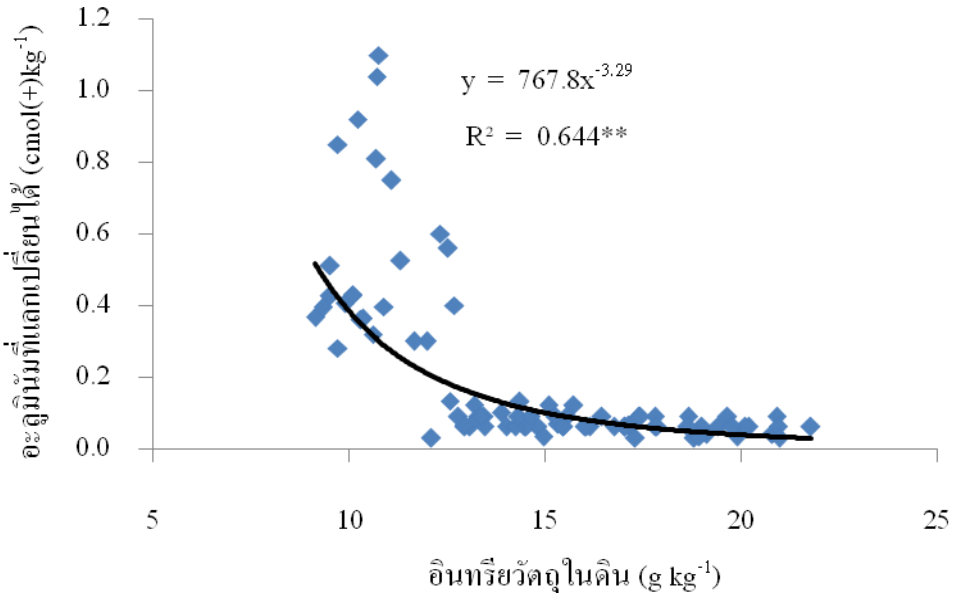
สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทุกตำรับทดลอง สามารถลดความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินให้ลดลงได้อย่างชัดเจน มีค่าระหว่าง 0.11 - 0.06 และ 0.11 - 0.04 cmol(+)kg^{-1} (ตารางที่ 9) ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ pH ดิน โดยมีค่า R^2 = 0.827** (กรดที่แลกเปลี่ยนได้) ดังรูปที่ 7 และ R^2 = 0.792** (อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้) ดังรูปที่ 8 และอีกอย่างหนึ่งการใส่ปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ซึ่งอินทรียวัถุที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยมีค่า R^2 = 0.644** ดังรูปที่ 9 ซึ่งดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมักจะมีความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินจะทำปฏิกิริยากับธาตุทีเป็นโลหะหนักเกิดเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อนแต่ละลายน้ำได้ และการใส่อินทรียวัตถุลงไปในดินก่อให้เกิดอะลูมินัมอินทรีย์จึงทำให้ความเป็นพิษของอะลูมินัมที่มีต่อพืชลดลง โดยจะจับตัวกันระหว่าง Al – Organic acid ต่างๆ เช่น Al – citrate หรือ Al - fulvate (Hue *et al*., 1986) และจากการทดลองของอภิเชษฐ และคณะ (2552) รายงานว่าการปรับปรุงดินกรดด้วยวัสดุอินทรีย์ (เส้นใยปาล์มน้ำมัน 35 % (v/v)) ร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี มีผลทำให้สมบัติของดินดีขึ้น โดยดินมีความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน เหลือเพียง 0.11 และ 0.07 cmol(+)kg^{-1} จากเดิม 0.69 และ 0.56 cmol(+)kg^{-1} ตามลำดับ ในตำรับทดลองควบคุม



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับความเข้มข้นของกรดที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

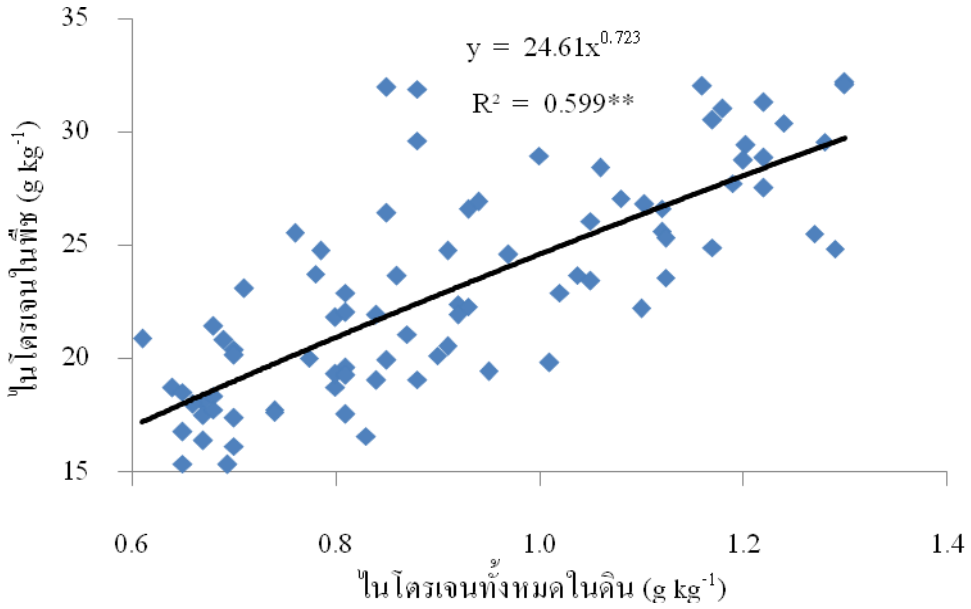


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียวัตถุในดินกับความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้

4.2.3 ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน และปริมาณไนโตรเจนในพืช

ดินกรดที่ดอน ชุดดินคอหงส์เป็นดินกรดที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ดินมี pH และอินทรียวัตถุในดินต่ำ จึงมีไนโตรเจนทั้งหมดในดินและปริมาณไนโตรเจนในพืชต่ำ คือ 0.70 และ 16.72 g kg^{-1} ตามลำดับ ในตำรับทดลองควบคุม (ตารางที่ 10 และ ตารางที่ 13) และการใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่างๆ ทำให้ไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มีค่า C/N ratio เท่ากับ 13.29 และเมื่อย่อยสลายจะมีธาตุไนโตรเจนถึง 18.84 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) และจากการรายงานของ Redshaw (2003) รายงานว่าทะลายปาล์มเปล่ามีไนโตรเจนสะสมอยู่ถึง 0.80 % และรายงายของ Pengnoo และคณะ (2002) รายงานว่าในเส้นใยของกากปาล์มมีไนโตรเจนสะสมอยู่ถึง 0.96 % ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยหมักดังกล่าวลงไปในดินและใส่ลงไปในปริมาณที่สูง จึงทำให้ธาตุอาหารพืช ไนโตรเจน เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และเมื่อใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี (D+F+C9) ไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าตำรับทดลองอื่น มีค่า 1.26 g kg^{-1} (ตารางที่ 10) และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดไปใช้ได้ โดยมีค่า R^2 = 0.599** ดังรูปที่ 10 เช่นเดียวกับรายงานของ สรัญญา และคณะ (2548) กล่าวว่า การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยคอกมีผลทำให้ไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น และข้าวโพดสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มสูงขึ้น

ตามอัตราของปุ๋ยคอกที่เพิ่มขึ้น และรายงานของ ถาวร (2550) ที่กล่าวว่าการใส่วัสดุปูน ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ทำให้ไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น และพืชสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดในดินกับปริมาณไนโตรเจนในพืช

4.2.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสในพืช

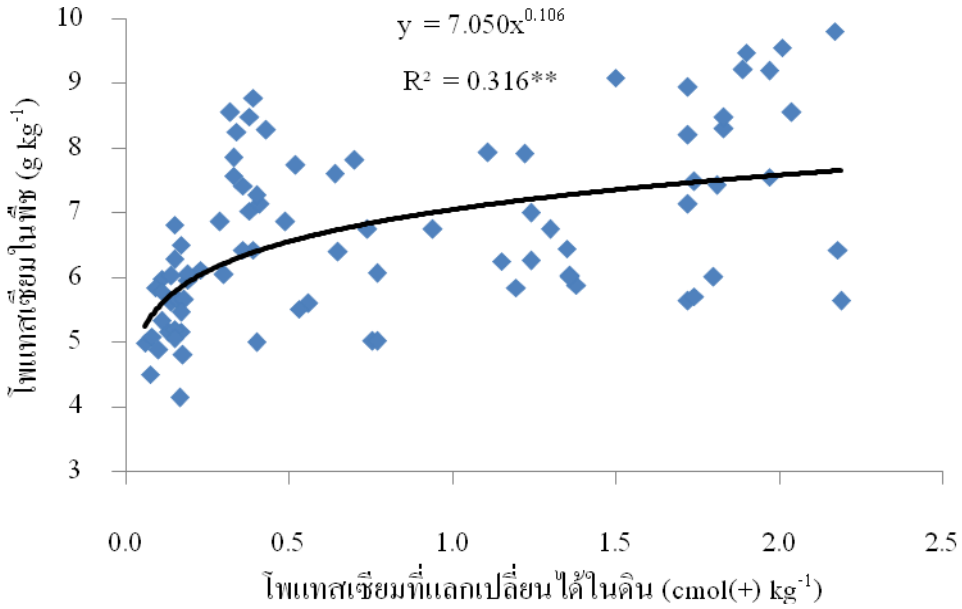
ดินกรดที่ดอนชุดดินคอหงส์ ในตำรับทดลองควบคุม ดินมี pH 4.9 มีอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูง คือ 0.97 cmol(+)kg^{-1} (ตารางที่ 9) ส่งผลให้ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ 5.00 mg kg^{-1} ตารางที่ (10) และในสภาพที่ดินมีความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงก็ยิ่งทำให้พืชขาดฟอสฟอรัส เนื่องจากอะลูมินัมจะรวมตัวกับฟอสฟอรัสเป็นอะลูมิเนียมฟอสเฟตตกตะกอนหรือถูกดูดยึดไว้ในดินอย่างแข็งแรง (von Uexkull, 1986) จากการทดลองปรับปรุงดินกรดด้วยปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทุกตำรับทดลอง มีความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงอย่างชัดเจนเหลือเพียง 0.11 - 0.04 cmol(+)kg^{-1} (ตารางที่ 9) จึงทำให้ฟอสฟอรัสละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดิน โดยสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตในปุ๋ยอินทรีย์ เช่น สารไฟเทตมีการสลายตัวในดินและเป็นประโยชน์ต่อพืช หรือกรดฮิวมิกที่ได้จากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสเฟตที่ตกตะกอน แล้วปลดปล่อยฟอสเฟตไอออนออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช (Loria and Sawyer, 2005) และที่สำคัญ คือ ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนี้มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบถึง 10.50 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) เมื่อใส่ปุ๋ย

หมักในปริมาณที่สูงจึงทำให้มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น

4.2.5 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และปริมาณโพแทสเซียมในพืช

การใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทุกอัตรา และทุกตำรับทดลองมีผลทำให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณโพแทสเซียมในพืช โดยมีค่า R^2= 0.316** ดังรูปที่ 11 และตำรับทดลองที่ให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณโพแทสเซียมในพืชสูงสุด คือ การใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงดินด้วยปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก มีผลทำให้ pH ของดิน เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดการทดลอง ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน ทำให้ปุ๋ยเคมีละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ดี พืชสามารถดูดไปใช้ได้ และที่สำคัญ คือ ปุ๋ยหมักดังกล่าวเป็นปุ๋ยหมักที่มีโพแทสเซียมสูงถึง 22.65 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยหมักในปริมาณที่สูงจึงทำให้ดินมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และจากการรายงานของ Redshaw (2003) รายงานว่า ทะลายปาล์มเปล่ามีธาตุอาหารโพแทสเซียมสะสมอยู่ถึง 2.41 % เช่นเดียวกับรายงานของ ภิญโญ และคณะ (2539) ได้ศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันคลุมดิน ตั้งแต่เริ่มปลูกปาล์มน้ำมันอายุ 8 ปี ในดินร่วนปนทราย พบว่า การคลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์ด้วยทะลายเปล่า ทำให้ pH ของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในทุกระดับความลึกของชั้นดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้การใช้ปุ๋ยเคมีเกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ข้าวโพดสามารถดูดใช้ปุ๋ยเคมีได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากอินทรียวัตถุช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เป็นสารที่มีขนาดเล็กและพื้นที่ผิวเป็นจำนวนมาก เมื่อเกิดกระบวนการ dissociation ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบขึ้นอย่างมากมายบริเวณพื้นที่ผิวอินทรียวัตถุ ทำให้ธาตุอาหารพืชที่ใส่ลงไปในดินในรูปปุ๋ยเคมี หรือธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติที่มีประจุบวกถูกดูดซับไว้ไม่ให้สูญเสีย และรายงานของกอบเกียรติ และคณะ (2551) ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพกับการผลิตข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 2 ในชุดดินวังสะพุง พบว่า การใช้ปุ๋ยผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพให้ผลผลิตสูงสุด 1,061 kg rai^{-1} และการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น สำหรับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ (D) ให้โพแทสเซียมในดินและพืชต่ำสุดและต่ำกว่าตำรับควบคุม เช่นเดียวกับตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักให้โพแทสเซียมในดินและพืชต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียว (ตารางที่ 13) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นไปตามอัตรกิริยาปฏิปักษ์

ระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมกับโพแทสเซียม ที่กล่าวว่าถ้าในดินมีแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงจะยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช (ยงยุทธ, 2546) และจากรายงานของจำเป็น และคณะ (2550) รายงานว่า การใส่ปูนขาวเป็นการเพิ่มแคลเซียมในดิน เมื่อแคลเซียมในดินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นกล้าลองกองดูดใช้โพแทสเซียมได้น้อยลง

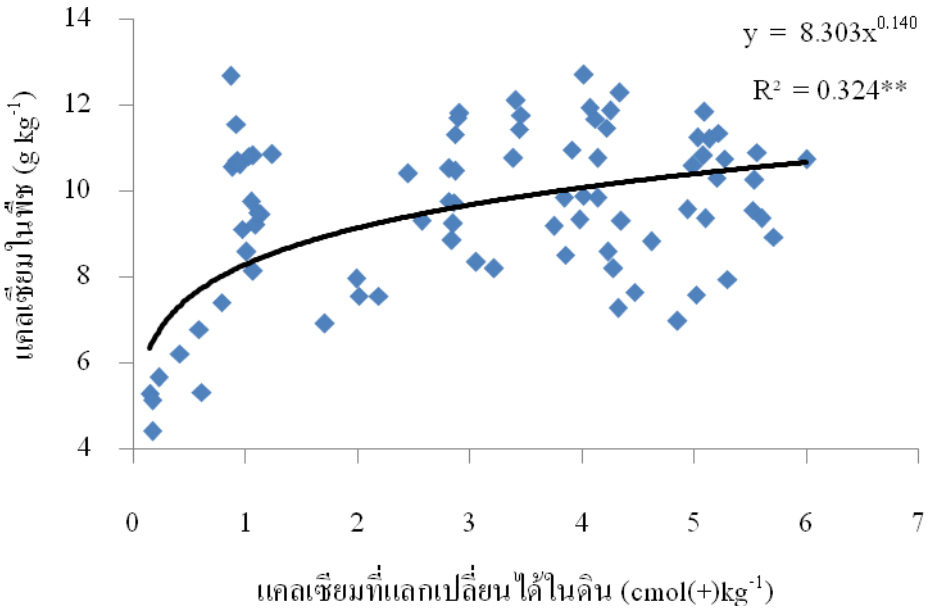


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณโพแทสเซียมในพืช

4.2.6 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และปริมาณแคลเซียมในพืช

การปรับปรุงดินกรดชุดดินคอหงส์ ด้วยปูนโดโลไมต์เพื่อปรับสภาพดินให้มี pH 6.0 นอกจากเพิ่ม pH ดินแล้ว ยังเพิ่มแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดินอีกด้วย จากเดิม 0.18 cmol(+)kg^{-1} ในตำรับทดลองควบคุม เป็น 0.90 cmol(+)kg^{-1} ในตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว (ตารางที่ 11) และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณแคลเซียมในพืช โดยมีค่า R^2 = 0.324** ดังรูปที่ 12 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ชัยรัตน์ และ วิเชียร (2539) Maneepong และคณะ (1998) และสรัญญา และคณะ (2550) ที่ได้ศึกษาในดินกรด ชุดดินคอหงส์ เช่นเดียวกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชมีการตอบสนองต่อการใส่ปูนในดินชุดคอหงส์ นอกจากทำให้ pH ดินสูงขึ้นแล้วยังลดความเข้มข้นของอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช เช่น ฟอสฟอรัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปูนโดโลไมต์ยังเป็นการเพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดิน สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมัก ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก และใส่ปูนโดโลไมต์

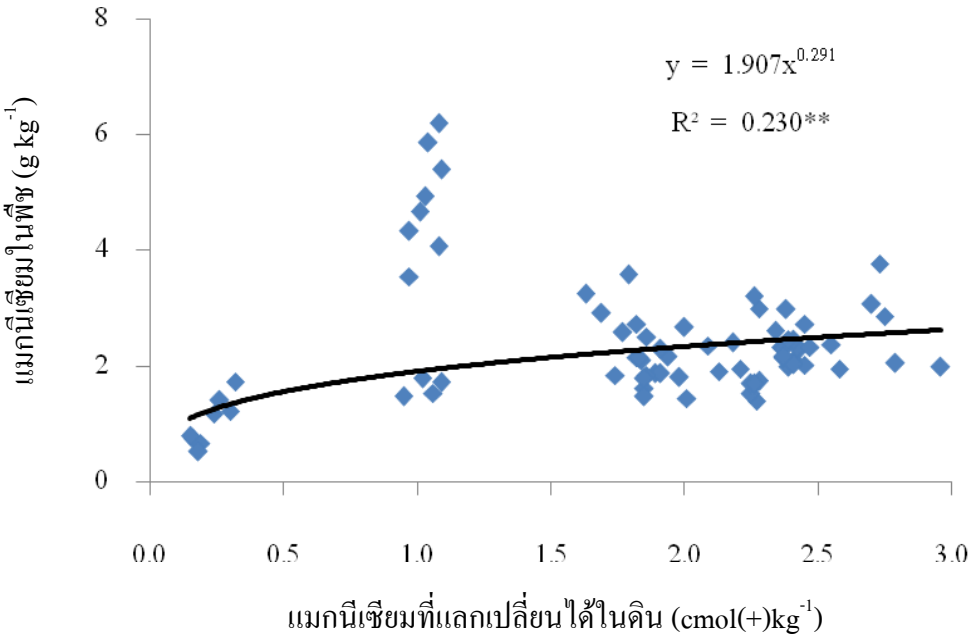
ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี ทุกตำรับทดลองมีผลทำให้แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปูนโดโลไมต์เพียงอย่างเดียว และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณแคลเซียมในพืช โดยมีค่า R^2 = 0.324** ดังรูปที่ 12 เนื่องจากการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก สามารถยกระดับ pH ของดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดฤดูปลูก ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงอย่างชัดเจน และจากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักพบว่า มีธาตุแคลเซียมถึง 15.36 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) เมื่อย่อยสลายก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารแก่พืช ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ภิญโญ และคณะ (2539); โสภา และคณะ (2546); สรัญญา และคณะ (2548) และถาวร (2550) ได้ทดลองปรับปรุงดินกรดด้วยวัสดุปูน ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี พบว่าวัสดุดังกล่าวนอกจากจะทำให้ pH ดินเพิ่มสูงขึ้นแล้ว ยังทำให้แคลเซียมเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นจึงทำให้ดินมีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และปริมาณแคลเซียมในพืชเพิ่มขึ้น



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณแคลเซียมในพืช

4.2.7 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและปริมาณแมกนีเซียมในพืช

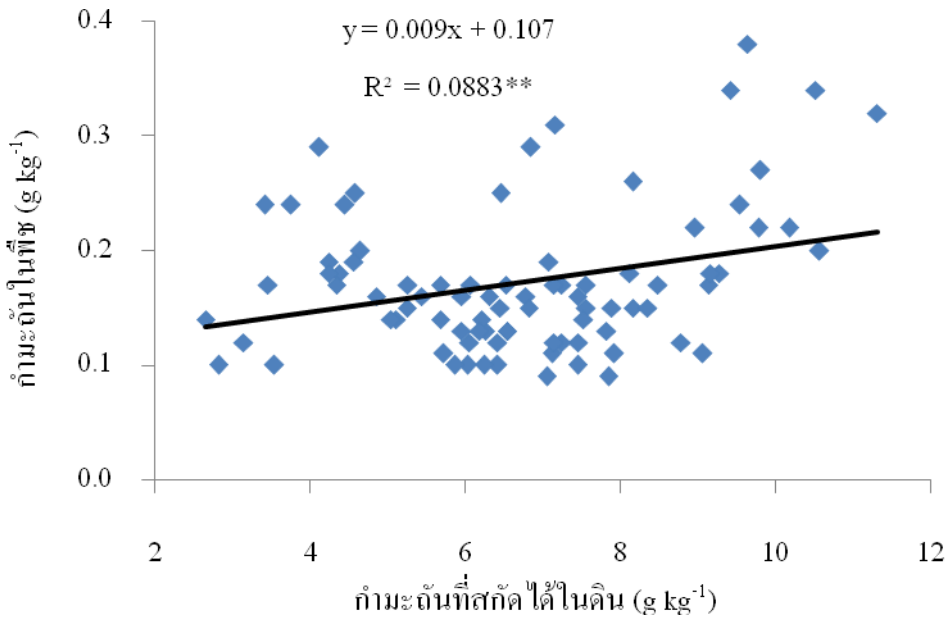
การใส่ปูนโดโลไมต์เพื่อปรับ pH ดินเป็น 6.0 มีผลทำให้แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นเป็น 1.03 cmol(+)kg^{-1} จากเดิม 0.17 cmol(+)kg^{-1} ในตำรับทดลองควบคุม (ตารางที่ 11) และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณแมกนีเซียมในพืช โดยมีค่า R^2 = 0.230** ดังรูปที่ 13 ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของปูนโดโลไมต์มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ 10.42 % (ตารางที่ 7) และยังสอดคล้องกับรายงานของสรัญญา และคณะ (2550) รายงานว่าปูนโดโลไมต์นอกจากยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นแล้ว ยังเพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดินอีกด้วย สำหรับการใส่ปุ๋ยหมักทุกตำรับทดลองมีผลทำให้แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน กับปริมาณแมกนีเซียมในพืชเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมัก พบว่า มีธาตุแมกนีเซียมถึง 13.21 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) และการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี ก็ทำให้แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ สอดคล้องกับรายงานของสรัญญา และคณะ (2548) ถาวร (2550) ได้ทดลองปรับปรุงดินกรดด้วยวัสดุปูน ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี พบว่าวัสดุดังกล่าวนอกจากจะทำให้ pH ดินเพิ่มสูงขึ้น ยังทำให้ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน พืชจึงสามารถดูดใช้แมกนีเซียมได้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับปริมาณแมกนีเซียมในพืช

4.2.8 กำมะถันที่สกัดได้ในดิน และปริมาณกำมะถันในพืช

ปริมาณกำมะถันในพืชในตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอัตราสูงร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (D+F+C9) ให้ปริมาณกำมะถันสูงสุด 0.35 g kg^{-1} และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับกำมะถันที่สกัดได้ในดิน โดยมีค่า R^2 = 0.0883** ดังรูปที่ 14 เนื่องจากการปรับปรุงดินด้วยวัสดุปรับปรุงดินดังกล่าว มีผลทำให้ pH ดินเพิ่มสูงขึ้น และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงทำให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดี พืชสามารถนำไปใช้ได้ สรัญญา และคณะ (2548) รายงานว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของปุ๋ยคอกในการปลูกข้าวโพดในดินกรด ทำให้ pH ดินเพิ่มขึ้น และพืชสามารถดูดใช้กำมะถันได้เพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยคอกที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของอภิเชษฐ และคณะ (2552) ได้ศึกษาผลของวัสดุอินทรีย์ วัสดุปูน และปุ๋ยเคมีต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน พบว่า เมื่อเพิ่มวัสดุอินทรีย์ (เส้นใยเปลือกผลปาล์ม)ในอัตรา 35 % (v/v) มีผลทำให้กำมะถันที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงขึ้น และพืชสามารถดูดใช้กำมะถันได้เพิ่มขึ้น และอีกอย่างหนึ่งปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ 2.92 g kg^{-1} (ตารางที่ 6) เมื่อย่อยสลายก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำมะถันที่สกัดได้ในดินกับปริมาณกำมะถันในพืช

4.3 ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุปรับปรุงดิน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุปรับปรุงดินทั้ง 3 ชนิด ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยเคมี ในตำรับทดลองที่ใช้วัสดุปรับปรุงดินเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรามีผลทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดี มีน้ำหนักแห้งที่สูงกว่าการใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว โดยเฉพาะตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (C9) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมสูงถึง 23.38 กรัม รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลาง (C6) มีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม 18.55 กรัม สำหรับการใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่ำ (C3) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม 9.36 กรัม ซึ่งยังสูงกว่าตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (F) ที่ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 6.84 กรัม และตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์เพียงอย่างเดียว (D) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมต่ำสุด คือ 1.55 กรัม และสำหรับตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (D+F) น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมมีค่า 8.92 กรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าตำรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่ำ เนื่องจากดินยังคงมี pH ต่ำ ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ยังอยู่ในระดับที่สูง (ตารางที่ 9) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของระบบรากพืช (ตารางที่ 8) และที่สำคัญปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อย่อยสลายจะให้ธาตุอาหารในปริมาณที่สูง (ตารางที่ 6) จึงทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งที่สูงกว่า

สำหรับการใช้วัสดุปรับปรุงดินทั้ง 3 ชนิดแบบผสมผสานกันจะเห็นได้ว่าในตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอัตราสูงร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี (D+F+C9) ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมสูงสุด คือ 24.45 กรัม แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการจัดการดินจะเห็นว่ามีค่าที่สูงมาก และเมื่อลดปุ๋ยเคมีลงเหลือครึ่งหนึ่งในตำรับทดลอง D+1/2F+C9 ข้าวโพดก็ยังเจริญเติบโตและมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง D+F+C9 ซึ่งมีค่า 23.62 กรัม ซึ่งอาจจะเป็นแนวทางหนึ่งที่เกษตรกรสามารถเลือกใช้ได้ในสภาวะที่ปุ๋ยเคมีมีราคาแพง แต่ก็ยังมีค่าใช้จ่ายในการจัดการดินที่สูงเช่นกัน (ตารางที่ 15)

สำหรับวิธีการจัดการดินกรดแต่ละวิธีในการทดลองครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของข้าวโพด น้ำหนักแห้งรวมที่เพิ่มสูงขึ้น สมบัติทางเคมีของดินในแต่ละวิธีการเป็นไปในทางที่ดี และข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในตำรับการทดลองที่มีต้นทุนในการจัดการดินสูงสุด ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่จะใช้ในการซื้อปุ๋ยหมักที่ต้องใช้ในปริมาณมาก และยังเป็นปุ๋ยหมักที่จำหน่ายในท้องตลาดที่ผ่านกระบวนการหมักบางอย่าง ทำให้มีธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยหมักปกติทั่วไป จึงมีราคาที่

แพง (ตารางที่ 15) แต่ในทางปฏิบัติจริงเกษตรกรสามารถนำมาพิจารณาและเลือกใช้ได้ตามเงินทุนที่เกษตรกรมีอยู่ และความต้องการที่จะปรับปรุงดินให้ดีในระดับใด เกษตรกรที่มีต้นทุนต่ำอาจจะลดปริมาณปุ๋ยหมักลงได้ โดยใส่ปุ๋ยหมักอัตรากลางในตำรับทดลอง D+1/3F+C6 หรือ D+1/2F+C6 เพราะปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลองมีธาตุอาหารสูง เช่น ปริมาณไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของข้าวโพดที่มีในปริมาณที่สูงเกินความต้องการของพืชในตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (ตารางที่ 13) สำหรับอีกแนวทางหนึ่งที่เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการจัดการดินกรดได้ และยังทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดีมีน้ำหนักแห้งสูงสุด คือ การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขึ้นใช้เอง เพราะปุ๋ยหมักดังกล่าวนี้มีกระบวนการหมักที่ไม่ยุ่งยากสามารถทำได้ง่ายและวัสดุที่ใช้ในการหมักก็ยังเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น

ตารางที่ 15 น้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองควบคุม และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยเคมี

ตำรับทดลอง	น้ำหนักแห้งรวม ($g\ bag^{-1}$)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเทียบกับควบคุม (กรัม)	ค่าใช้ที่จ่ายเพิ่มขึ้น (บาท/ไร่)
Control	0.46	-	0
D	2.01	1.55	180
C3	9.82	9.36	16,000
C6	19.01	18.55	32,000
C9	23.84	23.38	48,000
F	7.30	6.84	1,570
D+F	9.38	8.92	1,750
D+1/2F	7.69	7.23	965
D+1/3F	5.43	4.97	703
D+C3	12.92	12.46	16,180
D+C6	18.11	17.65	32,180
D+C9	19.46	19	48,180
D+F+C3	16.95	16.49	17,570
D+F+C6	17.66	17.2	33,570
D+F+C9	24.91	24.45	49,570
D+1/2F+C3	14.46	14	16,965
D+1/2F+C6	18.31	17.85	32,965
D+1/2F+C9	24.08	23.62	48,965
D+1/3F+C3	14.53	14.07	16,703
D+1/3F+C6	18.61	18.15	32,703
D+1/3F+C9	23.04	22.58	48,703

หมายเหตุ คำนวณจาก

ราคาปูนโดโลไมต์ 1,800 บาท/ตัน

ราคาปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 17,200 บาท/ตัน

ราคาปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 14,200 บาท/ตัน

ราคาปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 4,000 บาท/ตัน

บทที่ 5

บทสรุป

1) การจัดการดินกรดที่ดอนชุดดินคอหงส์ ในตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอัตรา 3 %, 6 % และ 9 % (v/v) ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดี และมีน้ำหนักแห้งรวมที่สูงกว่าการใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว และปุ๋ยเคมีอย่างเดียว โดยตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (C9) ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งรวมสูงถึง 23.84 g bag^{-1} ขณะที่ตำรับทดลองใส่ปูนโดโลไมต์ (D) และใสปุ๋ยเคมี (F) มีน้ำหนักแห้งรวม 2.01 และ 7.30 g bag^{-1} ตามลำดับ และเมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินทั้ง 3 ชนิดแบบผสมผสานกันในตำรับทดลอง D+F+C9 ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุด คือ 24.91 g bag^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง D+1/2F+C9 ที่ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งรวม 24.08 g bag^{-1}

2) การใส่ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทุกอัตรา มีผลทำให้ดินชุดคอหงส์มีสมบัติดีขึ้น ดินมี pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช และความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน ตรงข้ามกับตำรับทดลองใสปุ๋ยเคมี (F) ดินยังคงมี pH ที่ต่ำ ความเข้มข้นของกรดและอะลูมินัมยังอยู่ในระดับที่สูง และเมื่อใช้วัสดุปรับปรุงดินแบบผสมผสานกันในตำรับทดลอง D+F+C9 ทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ กำมะถันที่สกัดได้ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ข้าวโพดจึงดูดใช้ธาตุอาหารดังกล่าวนี้ได้เพิ่มขึ้น

3) เนื่องจากตำรับทดลอง D+F+C9 เป็นตำรับทดลองที่ทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดีที่สุด มีน้ำหนักแห้งสูงสุด แต่มีต้นทุนในการจัดการดินที่สูงมาก เพราะการทดลองในครั้งนี้ได้ใช้ปุ๋ยหมักที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่ผ่านกระบวนการหมักบางอย่าง ซึ่งทำให้มีธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยหมักปกติทั่วไป แต่ในทางปฏิบัติจริงเกษตรกรสามารถที่จะผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้เอง โดยมีกระบวนการหมักที่ไม่ยุ่งยาก และวัตถุดิบที่ใช้ยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการจัดการดินกรดที่ดอน และอีกทางเลือกหนึ่ง คือ เกษตรกรสามารถลดอัตราของปุ๋ยหมักลงได้ เพราะตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีปริมาณไนโตรเจนส่วนเหนือดินของข้าวโพดในปริมาณที่สูงเกินความต้องการของพืช มาเลือกใช้ปุ๋ยหมักอัตรากลางในตำรับทดลอง D+1/3F+C6 หรือ D+1/2F+C6 ซึ่งจะลดต้นทุนในการจัดการดินได้ระดับหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2540. เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2548 ก. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร . 2548 ข. วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่ทำการเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, อัจฉรา นันทกิจ, สมปอง หมื่นแจ้ง และ ไพโรจน์ พันธุ์พฤกษ์. 2551. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพกับการผลิตข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 2 ในชุดดินวังสะพุง. ว. วิชาการเกษตร 1 : 82-90.

กลุ่มวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำพื้นที่พืชไร่. 2549. ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุมพล ยูวะนิยม. 2531. ปัญหาและแนวทางแก้ไขดินกรดและจุลธาตุในดิน. ว. พัฒนาที่ดิน 6 : 25 – 29.

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง. 2550. ดินมีปัญหาและการจัดการ. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง, สุรชาติ เพชรแก้ว, สายใจ กิ้มสงวน และ ณรงค์ มะลี. 2550. ผลการใช้ปูนขาว ยิปซัมและโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารของต้นกล้าลองกอง. ว. สงขลานครินทร์ 29 : 655-667.

จำลอง กกรัมย์, บุญเหลือ ศรีมุงคุณ และ วงเดือน ประสมทอง. 2548. การตอบสนองต่อมูลไก่และปุ๋ยเคมีของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 7. ว. ดินและปุ๋ย 27 : 115-122.

เจริญ เจริญจำรัสชีพล, กำชัย กาญจนธรเศรษฐ์ และ เมทิน ศิริวงศ์. 2540. การจัดการดินกรดประเทศไทย. กรุงเทพ ฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และ วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์. 2540. การใช้ปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงบำรุงดิน. ใน การปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, หน้า 90-109. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ฉันทนา คงนคร, จิระ สุวรรณประเสริฐ และ ศุกร์ เก็บไว้. 2552. การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดหวานบางแหล่งปลูกในภาคใต้. มหกรรมวิชาการเกษตรภาคใต้ตอนล่าง ณ สำนักงานตลาดกลางยางพาราสงขลา ศูนย์วิจัยยางสงขลา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 30-31 กรกฎาคม 2552 หน้า 36-37.

ชัยรัตน์ นิลนนท์, วิเชียร จาฏุพจน์, วรรณา เลี้ยววาริน และ สุภาณี ยงค์. 2538. สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูกมังคุดบางชนิดในภาคใต้. ว. สงขลานครินทร์ (วทท.) 27 : 727-737.

ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ วิเชียร จาฏุพจน์. 2539. การประเมินความอุดมสมบูรณ์และความต้องการธาตุอาหารของพืชอาหารสัตว์ตระกูลถั่วในชุดดินคอหงส์. ว. สงขลานครินทร์ 18 : 35–42.

ถาวร มีชัย. 2550. การจัดการดินเปรี้ยวจัดเพื่อปลูกข้าวโดยใช้วัสดุปูน ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และ ชัยรัตน์ นิลนนท์. 2544. ผลของการคลุมโคนด้วยทะลายเปล่าต่อผลผลิต ความชื้นในดิน และปริมาณธาตุอาหารในใบของปาล์มน้ำมัน. ว. สงขลานครินทร์ 23(ฉบับพิเศษ) : 679-689.

นิรันดร์ สิงหบุตรา. 2533. ความสำคัญของอินทรียวัตถุในดินที่มีต่อการปลูกพืช. ว. พัฒนาที่ดิน 27 : 41-46.

บริษัทเกษตรสิทธิ. 2550. ปุ๋ยหมักจากวัสดุพลอยได้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. ต.อ่าวลึกเหนือ อ. อ่าวลึก จ.กระบี่

ประไพ ชัยโรจน์, บุญเลิศ บุญยงค์, นงลักษณ์ วิบูลสุข, Ishida, H. และ Wada, H. 2536. การปรับปรุงดินทรายที่เป็นกรดด้วยวัสดุอินทรีย์. รายงานการสัมมนาเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืนของการ เกษตรและสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ณ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 13-15 มกราคม 2536.

ปรัญญา ธัญญาดี, เมธี มณีวรรณ และ พิรัชฌา วาสนานุกูล. 2540. ความรู้เรื่องอินทรียวัตถุในดิน. ใน การปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, หน้า 1-13. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิทยากร ลิ่มทอง, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์, ปรัชญา ธัญญาดี และ เทิดศักดิ์ ศุภสารัมภ์. 2530. ผลของปุ๋ยหมักต่อเชื้อรา *Rhizoctoia solani* และผลผลิตของถั่วเหลือง. รายงานการค้นคว้าและวิจัยปี 2530 ณ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 94-97.

ภิญโญ มีเดช, ชาย โฆรวิส, สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, สุทธิศักดิ์ ยังวนิชเศรษฐ์ และ อรพิน อินทร์แก้ว. 2539. อิทธิพลของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2539. ณ โรงแรมเคพีแกรนด์ จันทบุรี 5-8 มีนาคม 2539, หน้า 87-113.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. ชุดคู่มือการเกษตรปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บ้านและสวน.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถดิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต วงศ์ประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และ ศิริธรรม สิงโต. 2551. ปุ๋ยอินทรีย์...ปุ๋ยชีวภาพ ทางเลือกใหม่เพื่อการเกษตร. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

วรรณา เลี้ยววาริน. 2538. คู่มือการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย. สงขลา : หน่วยปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรรณลดา สุนันทพงศ์, พิทยากร ลิ่มทอง, เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์, ปรัชญา ธัญญาดี และ เทอดศักดิ์ ศุภสารัมภ์. 2530. ผลของปุ๋ยหมักต่อเชื้อรา *Macrophomina phasiolina* และผลผลิตของข้าวโพดหวาน. รายงานการค้นคว้าและวิจัยปี 2530 ณ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 82-93.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2529. จุลินทรีย์วิทยาของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล, วินาภรณ์ กุฎีรัตน์ และ กิจจารัก วงษ์กุดเลาะ. 2541. ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : กองส่งเสริมพืชไร่นา กรมส่งเสริมการเกษตร.

สรัญญา ดำอำภัย, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ จำเป็น อ่อนทอง. 2548. ผลของปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอน. ว. สงขลานครินทร์ 27 : 727-737.

สรัญญา ดำอำภัย. 2548. ผลของสารปรับปรุงดินบางชนิดต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอนภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สรัญญา ดำอำภัย, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ จำเป็น อ่อนทอง. 2550. ผลของสารปรับปรุงดินบางชนิดต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอนภาคใต้ของประเทศไทย. ว. สงขลานครินทร์ 29 : 117-131.

สุนทร พูนพิพัฒน์ และ เอ็น วี เวย์. อิทธิพลของปุ๋ยพืชสดต่อการลดสภาพความเป็นพิษของอะลูมินัมและพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินกรดจัด. ว. สงขลานครินทร์ 15 : 197-217.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2537. การวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรชัย ธนูศร. 2548. ศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ร่วมกับซีโอไลท์ ต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน การเปลี่ยนแปลงสภาวะธาตุอาหารหลัก และสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของดิน. ว. วิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 22 : 35-44.

สุวพันธ์ รัตนะรัต, กฤษณ์ รัตนประทุม และ สุภาพร รัตนะรัต. 2548. การจัดการธาตุอาหารพืชอย่างผสมผสานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตถั่วลิสง. ว. วิชาการเกษตร 23 : 300-312.

โสภา โพธิวัตถุธรรม, พิเชษฐ ไชยพาณิชย์, อนุสรณ์ แรมลี และ โอสา จิตรจักร. 2546. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในสวนยาง. รายงานผลโครงการวิจัยและพัฒนายางปี 2546 สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2550. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 170 น.

อภิเชษฐ ทองส่ง, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ จำเป็น อ่อนทอง. 2552. ผลของวัสดุอินทรีย์ โดโลไมต์และปุ๋ยเคมีต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร 40 : 229-244.

อภิรดี อิ่มเอิบ. 2536. ดินป่วย. ว. พัฒนาที่ดิน 30 : 35-50.

อภิรดี อิ่มเอิบ. 2542. แนวทางปรับคุณภาพทางเคมีของดินในประเทศไทย. ว. พัฒนาที่ดิน 36 : 24-38.

อุษา ศรีใส. 2546. สภาพกรดด่างของดินที่เหมาะสมต่อมวลชีวภาพและการปลดปล่อยไนโตรเจนของถั่วหรั่งและถั่วพร้าที่ใช้เป็นปุ๋ยพืชสด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

A.O.A.C., 1990 Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (ed. Helrich K.). Virginia : A.O.A.C.

Bationo, A., Christianson, C.B. and Mokwunye, A.U. 1989. Soil fertility management of the peart millet producing sandy soils of Sahelian West Africa : The Niger Experience. Proceedings of Symposium on Soil, Crops, and Water Management in the Sudono-Sahelian Zone, Patancheru, India, pp. 159-168.

Brady, N.C. and Weil, R.R. 2007. The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall. New Jersey.

Chompoonukulrat, S., Wimonsutjarit B. and Shulak, P. 1996. Effect of cow manure and chemical fertilizer on cassava yields in Sakon Nakorn Province. In Annual Research Report, Year 1996. Sakon Nakhon Field Crops Experiment Station , Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. pp. 1-6. Thailand.

Hue, N. V., Graddock, G.R. and Adam, F. 1986. Effect of organic acid on aluminum toxicity in subsoil. Soil Sci. Soc. Am. J. 50 : 28-34.

Juo, A.S.R., Franzluebbers, K. Dabiri, A. and Ikhile, B. 1995. Changes of soil properties during long –term fallow and cultivation after forest clearing in Nigeria. J. Agriculture, Ecosystems & Environment. 56 : 9-18.

Kamprath, E.J. 1971. Potential detrimental effects from liming highly weathered soil to neutrality. Proc. Soil Crop Sci. Soc. Flo, 31: 2002-2003.

Landon, J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual. Booker Agriculture International Limited. New York. 474 p.

Liu, J. and Hue, N.V. 2000. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime and compost. Commun . Soil Sci. Plant Anal. 32 : 2117-2132.

Loria, E. and Sawyer, J.E. 2005. Extractable soil phosphorus and inorganic nitrogen following application of raw and anaerobically digested swine manure. J. Agronomy. 97 : 879-885.

Maneepong, S., Nilnond, C., Onthong, J., Roland, P. and Didier, B. 1998. Effect of lime on alleviation of upland acid soil infertility in southern Thailand . Proceeding of the16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France 20-26 August 1998.

Marschner, H. 1999. Mineral Nutrition of Higher Plants. London : Academic Press.

Nwachuku, D.A. and Lognathan, P. 1991. The effect of liming on maize yield and soil properties in southern Nigeria. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22 : 623-639.

Onthong, J. 2000. Mechanisms of Tropical Plants to Tolerate to Low Available Phosphorus Soil. Ph.D. Thesis. Hokkaido University. Japan.

Paramananthan, S. 2003, Land selection for Oil Palm In Oil Plam : Management for Large and Sustainable Yieids. (Ed.T.Fairhurst and Hardter, R.) pp. 27-58. Oxford Graphic Printers Pte Ltd.Oxford. 382 p.

Pavan, M.A. and Bingham, F.T. 1982. Toxicity of aluminum to coffee seedling grown in nutrient solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 32 : 19-30.

Pengnoo, A., Leowarin, W., Koedsub, N. and Kanjanamaneesathian, M. 2002. Nitrogen mineralization in soil amended with mesocarp fiber of oil palm and other wastes : A greenhouse study. Songklanakarin J. Sci. Technol. 24 : 1-8

Redshaw, M. 2003. Utilization of field residues and mill by-products. In Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields. (eds. T. Fairhurst and Hardter, R.) pp. 307-320. Oxford Graphic Printers Pte Ltd.

Sanchez, P.A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. John Wiley and Sons, New York : Academic Press.

Sparks, D.L. 1995. Environmental Soil Chemistry. New York : Academic Press.

Takahashi, T., Fukuoka, T. and Dahlgren. R.A. 1995. Aluminum solubility and release rates from soil horizon dominated by aluminum-humus complexes. Soil Sci. Plant Nutr. 41 : 119-131.

Tan, K.H. 2003. Humic Matter in Soil and Environment. New York : Marcel Dekker.

Tiyawalee, D., Pattaro, V., Sanmeechai, M., Wivatrongvana P. and Hengsaward, V. 1978. Legume for Highland. ARS Final Report. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University 212 p.

von Uexkull, H. R. 1986. Efficient Fertilizer Use in Acid Upland Soils of the Humid Topics. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bull. No.10.

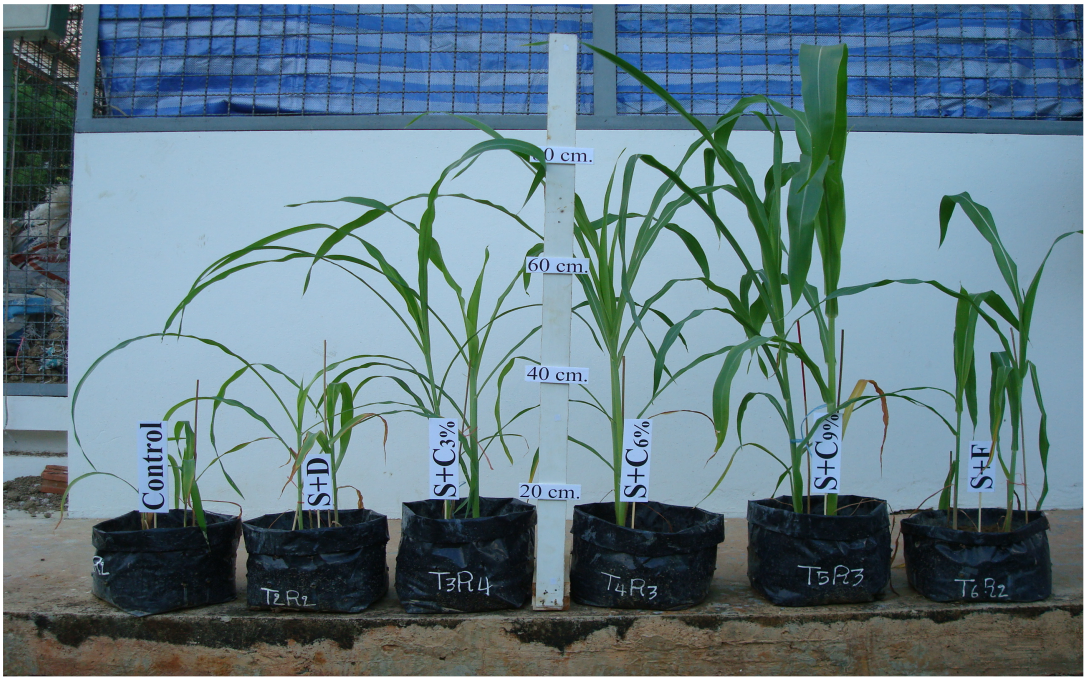
Wagatsuma, T. and Ezoe, Y. 1985. Effect of pH on ionic species of aluminum in medium and on aluminum toxicity under solution culture. Soil Sci. Plant Nutr. 4 : 547-561.

Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W. and Carefoot, J.D. 2000. Cattle manure amendment can increase pH of acid soils. J. Soil Sci Soc Am. 64 : 963-966.

ภาคผนวก

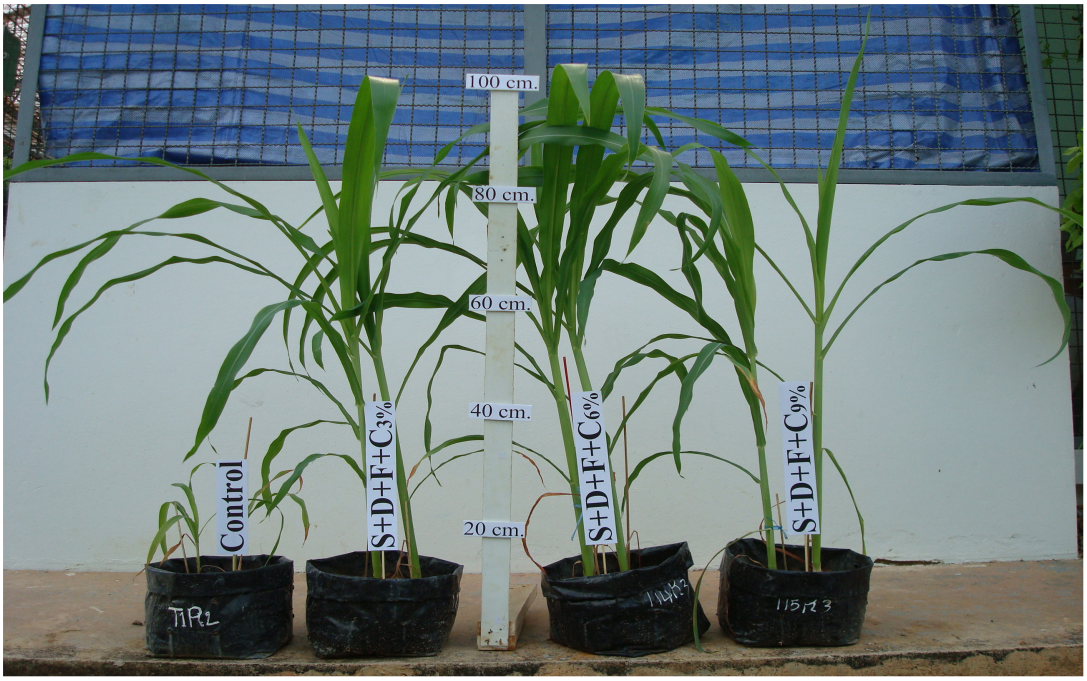
รูปภาคผนวกที่ 1 สภาพทั่วไป และลักษณะการวางตำรับการทดลองต่างๆ

รูปภาคผนวกที่ 2 สภาพทั่วไป และการเจริญเติบโตของข้าวโพดอายุ 40 วัน

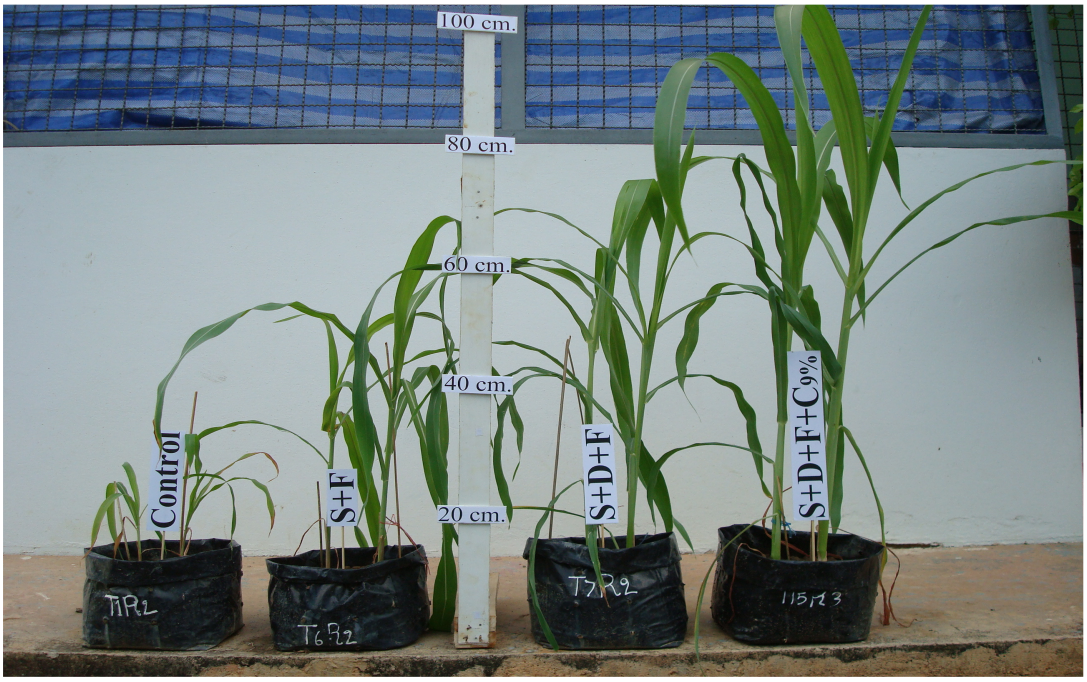


รูปภาคผนวกที่ 3 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว, ใส่ปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v), ใส่ปุ๋ยเคมี (ดูจากซ้ายไปขวา)

รูปภาคผนวกที่ 4 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v) (ดูจากซ้ายไปขวา)

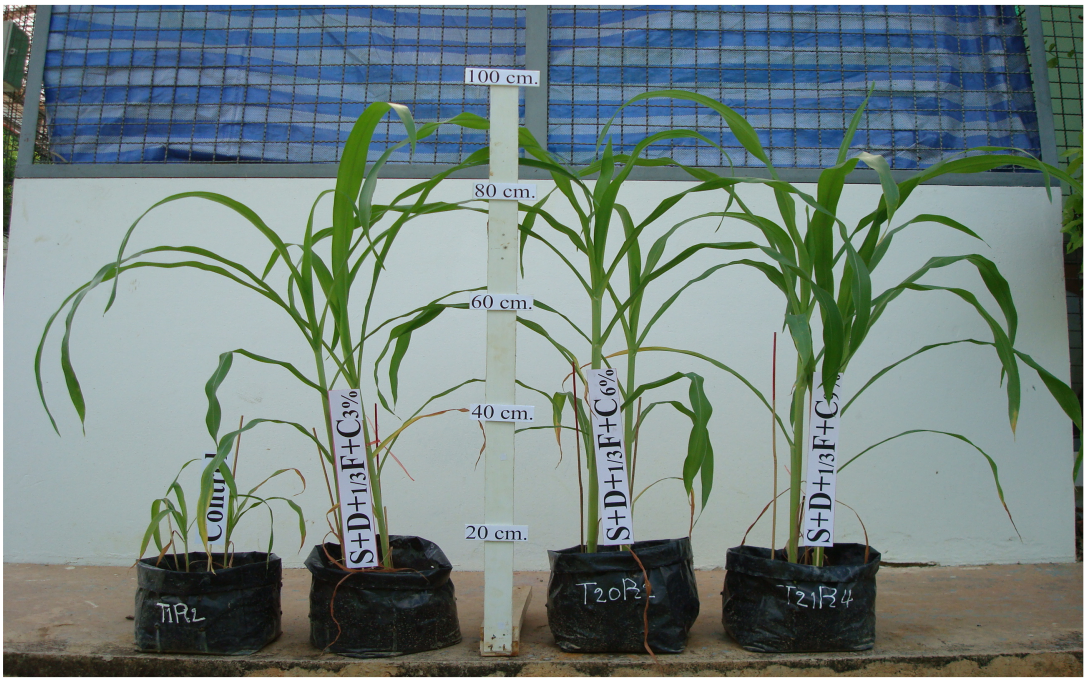


รูปภาคผนวกที่ 5 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v) (ดูจากซ้ายไปขวา)



รูปภาคผนวกที่ 6 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปุ๋ยเคมี, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก 9 % (v/v) (ดู จากซ้ายไปขวา)

รูปภาคผนวกที่ 7 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v) (ดูจากซ้ายไปขวา)



รูปภาคผนวกที่ 8 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับหนึ่งในสามของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก 3 %, 6 % และ 9 % (v/v) (ดูจากซ้ายไปขวา)

รูปภาคผนวกที่ 9 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปุ๋ยหมัก 9 % (v/v), ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 9 % (v/v), ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 9 % (v/v) และปุ๋ยเคมี ครึ่งหนึ่งของปุ๋ยเคมี หนึ่งในสามของปุ๋ยเคมี (ดูจากซ้ายไปขวา)

รูปภาคผนวกที่ 10 ข้าวโพดอายุ 40 วัน ในตำรับทดลองควบคุม, ใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี, ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมัก 9 % (v/v), ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก 9 % (v/v) (ดูจากซ้ายไปขวา)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายมนตรี ปานตู

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910620046

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (วิทยาเขตนครศรีธรรมราช)	2549

ทุนการศึกษา

1. ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยวิทยานิพนธ์ สถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนบัณฑิตศึกษาสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตร

สถานที่ทำงาน ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์