

**ผลการจัดการดินกรดที่ดอนโดยใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
ร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพด**
**Effect of Upland Acid Soil Management by Using Compost from Waste Materials of Oil Palm
Mill Industry with Dolomite and Fertilizer on Soil Properties and Maize Growth**

มนตรี ปานตู¹ ชัยรัตน์ นิลนนท์² และจำเป็น อ่อนทอง²

บทคัดย่อ

ศึกษาการแก้ปัญหาดินกรดที่ดอน โดยใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพด ทดลองในดินกรดชุดดินคองหงส์ (Coarse-Loamy, Kaolinitic, Isohyperthermic Typic Kandiodults) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 13 ตำรับทดลอง คือ ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (Control) ใส่ปูนโดโลไมต์เพื่อปรับให้ดินมี pH 6.0 (D) ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 3% (C3), 6% (C6), และ 9% (C9) โดยปริมาตร ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และสูตร 46-0-0 อัตราสูตรละ 50 กิโลกรัม/ไร่ (F) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (D+F) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ (D+C3, D+C6, D+C9) และใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี ทำให้สมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพดดีขึ้น โดยตำรับทดลอง D+F+C9 ข้าวโพดเจริญเติบโตดีที่สุด มีความสูง 43.69 เซนติเมตร น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ต้น+ใบ) และราก คือ 10.54 และ 1.91 กรัม/ต้น ตามลำดับ ขณะที่ตำรับควบคุม ข้าวโพดมีความสูง 9.93 เซนติเมตร น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและราก คือ 0.15 และ 0.09 กรัม/ต้น ตามลำดับ สำหรับปริมาณธาตุอาหารในพืช N, P และ K ในตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีปริมาณที่สูงกว่า ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม สมบัติของดินหลังทดลองพบว่า ตำรับ D+F+C9 สามารถลดกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหลือเพียง 0.06 และ 0.06 เซนติโมล/กิโลกรัม ขณะที่ตำรับควบคุม มีค่า 1.28 และ 0.97 เซนติโมล/กิโลกรัม ตามลำดับ pH และอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นจาก 4.89 และ 10.35 กรัม/กิโลกรัม ในตำรับควบคุม เป็น 6.59 และ 20.73 กรัม/กิโลกรัม ในตำรับทดลอง D+F+C9 สำหรับไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ก็เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ดินกรดที่ดอน, ปูนโดโลไมต์, ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม, ปุ๋ยเคมี

Abstract

The experiment was conducted to study the effect of upland acid soil management by using compost from waste materials of oil palm mill industry with dolomite and fertilizer on soil properties and maize growth in Kho Hong soil series (Coarse-Loamy, Kaolinitic, Isohyperthermic Typic Kandiodults). The experiment was a completely randomized design with 4 replications and 13 treatments as follow : unamended (Control); application of dolomite to raise soil pH at 6.0 (D); application compost at the rates of 3% (C3), 6% (C6) and 9% (C9) by volume; application of fertilizer at recommend rate (50 kg rai⁻¹ of 15-

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาการจัดการทรัพยากรดิน คณะทรัพยากรธรรมชาติ ม.สงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90112

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ม.สงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90112

15-15 and 46-0-0) (F); and other integrated application of compost fertilizer, dolomite and fertilizer treatments (Control, D, C3, C6, C9, F, D+F, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9). The results showed that using of compost fertilizer, dolomite and fertilizer have improved soil chemical properties and growth of maize. The maximum height of 43.69 cm., shoot and root dry weight of 10.54 and 1.91 g/plant were obtained in the D+F+C9 treatment while the height of 9.93 cm., shoot and root dry weight of 0.15 and 0.09 g/plant were obtained in the control treatment. Plant analysis was found that N, P and K contents were increased according to the increasing of high compost rate and was significantly ($P \leq 0.05$) higher than those of the unamended treatment. Soil properties after planting showed that the exchangeable acidity and aluminum were decreased from 1.28 and 0.97 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ in the control treatment to 0.06 and 0.06 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ in the D+F+C9 treatment. Soil pH and organic matter increased from 4.89 and 10.35 g kg^{-1} in the control treatment to 6.59 and 20.73 g kg^{-1} in the D+F+C9 treatment. In addition total N, available P, exchangeable K, Ca and Mg contents in soils were also increased according to the increasing of compost rate.

Keywords : upland acid soil, dolomite, compost from waste materials of oil palm mill industry, fertilizer

คำนำ

ดินกรดที่ตอนเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำทำให้การเจริญเติบโตของพืชถูกจำกัด เนื่องจากดินมี pH ต่ำ ความเป็นพิษของอะลูมิเนียม ทำให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้น้อย โดยพื้นที่ดินกรดกระจายอยู่ทั่วประเทศไทย ประมาณ 143 ล้านไร่ (เจริญและคณะ, 2540) และดินมี pH ต่ำกว่า 5.5 ถึง 61.1% ของตัวอย่างดินกรดทั่วประเทศ (อภิชาติ, 2542) สาเหตุหลัก คือ ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีฝนตกชุกและอุณหภูมิสูง ทำให้วัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายรวดเร็วและถูกชะล้างได้ง่าย อีกทั้งยังขาดธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซึ่งละลายได้น้อยแม้ว่าจะใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปก็ตาม (von Uexkull, 1986) และที่สำคัญดินกรดเป็นสภาวะที่ส่งเสริมให้อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ละลายออกมาในสารละลายดินได้สูงจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของระบบรากพืช (จุมพล, 2531) ทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ดี เป็นผลให้การใช้ที่ดินของประเทศที่มีอยู่อย่างจำกัดเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

ปูนโดโลไมต์ ($\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$) สามารถยกระดับ pH ดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ดี และยังลดการละลายของอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน อีกทั้งยังเพิ่มแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดินอีกด้วย (สรัญญา และคณะ, 2550) ดินกรดที่ตอนนอกจากมี pH ต่ำ ดินยังมีอินทรีย์วัตถุ และความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำอีกด้วย จึงจำเป็นต้องเติมอินทรีย์วัตถุลงไป เพื่อให้ดินมีความร่วนซุย อุ่มน้ำและระบายอากาศดี อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มธาตุอาหารพืชในดิน โดยเฉพาะอินทรีย์วัตถุที่หาได้ง่ายจากวัสดุอินทรีย์ในท้องถิ่น เช่น วัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันถึง 1,800,000 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 2.90 ตันไร่ เมื่อนำทะเลลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการนี้คือ ทะลายเปล่า 22% เส้นใยเปลือก 8% และ decanter cake 4% (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน, 2548) และจากรายงานของ Gurmit Singh *et al.* (1986) อ้างโดย Redshaw (2003) ได้วิเคราะห์ธาตุอาหารในทะเลลายปาล์มเปล่ามีดังนี้ คือ N 0.8%, P 0.096%, K 2.41%, Mg 0.18% และ Ca 0.18% ดังนั้นจึงควรนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักเพื่อใช้เป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุในดิน

การทดลองนี้จึงได้ศึกษาแนวทางการใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในอัตราที่เหมาะสม ร่วมกับปูนโดโลไมต์และปุ๋ยเคมี เพื่อปรับปรุงสมบัติของดินกรดที่ตอนให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

ทดลองในเรือนกระจกคณะทรัพยากรธรรมชาติ โดยใช้ดินกรดชุดดินคองหงส์ (Coarse-Loamy, Kaolinitic, Isohyperthermic Typic Kandudults) ซึ่งเป็นตัวแทนของดินกรดที่ตอนภาคใต้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ประกอบด้วย 13 ตำรับทดลอง มี 4 ซ้ำ คือไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (control) ใส่ปูนโดโลไมต์เพื่อปรับให้ดินมี pH 6.0 (D) ใส่ปุ๋ยหมัก (วิธีการหมัก decanter cake, ทะลายเป่า และเส้นใยของเปลือกอัตรา 3:2:1 มาสับให้ละเอียดผสมคลุกเคล้ากันให้ได้ประมาณ 280 ตัน เต็มกาน้ำตาล 250 กิโลกรัม, เซื่อ 10 กิโลกรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นละลายยูเรีย 25 กิโลกรัม ในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์ลิตร ฉีดพ่นให้ทั่วกองปุ๋ยหมัก คลุมกองปุ๋ยหมักด้วยผ้าขาว ตรวจจับอุณหภูมิทุก ๆ วัน เมื่อมีอุณหภูมิเกิน 80 องศาเซลเซียส ให้กลับกองปุ๋ยหมัก จนกว่าปุ๋ยหมักจะย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ ประมาณ 45-60 วัน) อัตรา 3% (C3), 6% (C6), และ 9% (C9) โดยปริมาตร ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ สูตร 15-15-15 และสูตร 46-0-0 อัตราสูตรละ 50 กิโลกรัม/ไร่ (F) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (D+F) ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ (D+C3, D+C6, D+C9) และใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตราต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี (D+F+C3, D+F+C6, D+F+C9) นำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 ซม. จำนวน 5 กก. บรรจุถุงดำพลาสติก ใส่ปูนโดโลไมต์ปรับ pH ดินเป็น 6.0 ใส่ปุ๋ยหมักของแต่ละตำรับทดลอง คลุกเคล้าให้เข้ากันปล่อยให้สูง 5 ซม. ให้กระแทกพื้นจำนวน 6 ครั้ง รดน้ำที่ระดับความชื้นสนาม ปล่อยให้ทำปฏิกิริยากับดินเป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้นสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ ในตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมี ปลุกข้าวโพดหวานพันธุ์ซูปเปอร์สวีทเป็นพืชทดสอบ (พืชทดสอบวิธีการจัดการดินกรดเท่านั้น ดูเพียงการเจริญเติบโตเบื้องต้น ไม่ได้เน้นการจัดการดินและปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโพด) ฤดูแล 4 เมล็ด เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตได้ 7 วัน ถอนให้เหลือ 2 ต้น/ถุง และเมื่ออายุได้ 20 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 50 กก./ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2540) ตลอดจนทดลองรดน้ำทุกเช้าและเย็น จนข้าวโพดอายุได้ 40 วัน

1. การบันทึกการเจริญเติบโตของข้าวโพด

วัดความสูงของต้นข้าวโพด ทุก ๆ 10 วัน เมื่อข้าวโพดอายุได้ 40 วัน ตัดต้นเพื่อเก็บส่วนเหนือดินและรอกนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งของต้น และน้ำหนักแห้งของรอก

2. การวิเคราะห์ดิน

เนื้อดินวิเคราะห์โดยวิธี hydrometer (วรรณ, 2538) pH ดิน (ดิน:น้ำ= 1:5) โดยใช้ pH meter อินทรีย์วัตถุวิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black ไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สกัดดินด้วย 1 M NH_4OAc pH 7 วัดโพแทสเซียมและโซเดียมด้วยเครื่อง Flame Photometer แคลเซียมและแมกนีเซียมวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorptions Spectrophotometer วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II กำมะถันที่สกัดได้สกัดดินด้วย 0.01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ และวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ความเป็นกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้สกัดดินด้วย 1 M KCl และใช้ NaOH ไทเทรตสารสกัดหาค่าความเป็นกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยวิธี NaF complexation-titration โดยไทเทรตกับ HCl (จำเป็น, 2547)

3. การวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก

วิเคราะห์ pH (ปุ๋ยหมัก:น้ำ=1:10) ค่าการนำไฟฟ้า (ปุ๋ยหมัก:น้ำ=1:10) หาไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) โดยวิธี Kjeldahl Method สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K) แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4=1:1$) ฟอสฟอรัสทำให้เกิดสีโดยวิธี

Barton's solution และวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer โฟแทสเซียมทั้งหมดวัดด้วยเครื่อง Flame Photometer ส่วนแคลเซียมและแมกนีเซียม นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer และกำมะถันวิเคราะห์โดยวิธี Turbidimetric method วัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectro-photometer (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

4. การวิเคราะห์พืช

วิเคราะห์ไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl ปริมาณของฟอสฟอรัส โฟแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน โดยวิธีการย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4=3:1$) สำหรับฟอสฟอรัสทำให้เกิดสีโดยวิธี Yellow molybdovanadophosphoric acid โฟแทสเซียมวัดด้วยเครื่อง Flame Photometer ส่วนแคลเซียมและแมกนีเซียม นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer และกำมะถันวิเคราะห์โดยวิธี Turbidimetric method และวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (จำป็น, 2547)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ค่าความแตกต่างทางสถิติ ของแต่ละตำรับทดลองด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT)

ผลการทดลอง

1. สมบัติเบื้องต้นของดิน ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และปุ๋ยโดโลไมต์

ชุดดินคองหงส์ เป็นดินร่วนทรายที่มีปฏิกริยาเป็นกรด โดยดินมี pH 4.92 มีอินทรีย์วัตถุ 9.7 g kg^{-1} มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.65 g kg^{-1} มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 3.25 mg kg^{-1} โฟแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.08, 0.07, 0.13 และ $0.02 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ตามลำดับ กำมะถันที่สกัดได้ 3.45 mg kg^{-1} และพบว่าดินมีกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง คือ 1.41 และ $1.22 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่ามี pH 7.66 อินทรีย์วัตถุ 43.05 % มีไนโตรเจน 18.84 g kg^{-1} ฟอสฟอรัส 10.50 g kg^{-1} โฟแทสเซียม 22.65 g kg^{-1} แคลเซียม 15.36 g kg^{-1} แมกนีเซียม 13.21 g kg^{-1} กำมะถัน 2.92 mg kg^{-1} , EC 3.95 dS m^{-1} และมีค่า C/N ratio 13.29 สำหรับปุ๋ยโดโลไมต์ มีแคลเซียม 28.00 % แมกนีเซียม 10.40 % เหล็ก 0.16 % และกำมะถัน $< 0.10 \%$

2. การเจริญเติบโตของข้าวโพด

ความสูงต้นข้าวโพดในทุกตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน พบว่า ข้าวโพดมีความสูงที่สูงกว่าตำรับควบคุม ($P \leq 0.05$) โดยข้าวโพดมีความสูงอยู่ในช่วง 16.63-43.69 เซนติเมตร ขณะที่ตำรับควบคุมข้าวโพดมีความสูงน้อยที่สุดคือ 9.93 เซนติเมตร และข้าวโพดมีความสูงสูงสุดในตำรับทดลอง D+F+C9 คือ 43.69 เซนติเมตร. แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง C9 ที่มีความสูงของข้าวโพดเท่ากับ 41.75 เซนติเมตร สำหรับน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ต้น+ใบ) และน้ำหนักแห้งรากในตำรับทดลอง D+F+C9 มีค่าสูงสุด คือ 10.54 และ 1.91 g/plant ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง C9 ซึ่งมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งรากมีค่าเท่ากับ 10.15 และ 1.79 g/plant ตามลำดับ สำหรับตำรับทดลอง F มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งรากมีค่าเท่ากับ 3.12 และ 0.53 g/plant ตามลำดับ และตำรับทดลอง D มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน 0.85 g/plant น้ำหนักแห้งราก 0.15 g/plant ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม โดยตำรับควบคุมมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 0.15 และ 0.09 g/plant ตามลำดับ (Table 1)

3. ปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าวโพด

การดูใช้ธาตุอาหารในดินของข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงมีปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าวโพดสูงสุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับค่ารับควบคุม และพบว่าค่ารับทดลอง D+F+C9 มีปริมาณของธาตุ N, K และ S สูงสุด คือ 30.85, 9.35 และ 0.35 g kg⁻¹ ตามลำดับ ขณะที่ค่ารับควบคุมให้ปริมาณธาตุ N, K และ S เท่ากับ 16.72, 5.63 และ 0.12 g kg⁻¹ ตามลำดับ สำหรับ P ในค่ารับควบคุมมีค่าต่ำสุด คือ 1.33 g kg⁻¹ และค่ารับที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ปูนโดโลไมต์ ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยเคมี ทุกค่ารับทดลองมีค่า P ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าระหว่าง 1.92-2.51 g kg⁻¹ สำหรับธาตุ Ca และ Mg พบว่าในค่ารับ D มีค่าสูงสุดคือ 11.15 และ 6.04 g kg⁻¹ ตามลำดับ สำหรับการใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรา ปริมาณ Ca และ Mg ในข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น มีค่าระหว่าง 7.51-10.76 และ 1.57-2.94 g kg⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่ารับควบคุม โดยค่ารับควบคุมมี Ca และ Mg ในข้าวโพดต่ำสุด คือ 5.13 และ 0.68 g kg⁻¹ ตามลำดับ (Table 1)

4. สมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกข้าวโพด

ค่ารับทดลอง D สามารถลดกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ ได้ดีระดับหนึ่งมีค่า 0.61 และ 0.46 cmol(+)/kg⁻¹ สำหรับค่ารับทดลอง C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6 และ D+F+C9 สามารถยกระดับ pH ดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (5.74-6.63) อีกทั้งยังลดปริมาณกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ให้ลดลงอย่างชัดเจนมีค่าระหว่าง 0.06-0.13 cmol(+)/kg⁻¹ และ 0.04-0.11 cmol(+)/kg⁻¹ ขณะที่ค่ารับควบคุมปริมาณกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่า 1.28 และ 0.97 cmol(+)/kg⁻¹ (Table 2)

สำหรับค่ารับทดลอง C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6 และ D+F+C9 มีธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราของปุ๋ยหมักที่เพิ่มขึ้น และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับค่ารับทดลอง D และค่ารับควบคุม โดยค่ารับทดลอง D+F+C9 มีค่าไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และกำมะถันที่สกัดได้สูงสุด คือ 1.26 g kg⁻¹, 161.00 mg kg⁻¹ และ 10.22 mg kg⁻¹ ตามลำดับ เช่นเดียวกันโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก็มีค่าสูงสุด คือ 2.03, 0.55, 5.54 และ 2.74 cmol(+)/kg⁻¹ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่ารับทดลอง C9 ขณะที่ค่ารับควบคุมมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด 0.70 g kg⁻¹ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 5.00 mg kg⁻¹ กำมะถันที่สกัดได้ 3.04 mg kg⁻¹ โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่า 0.13, 0.14, 0.18 และ 0.17 cmol(+)/kg⁻¹ ตามลำดับ สำหรับอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่า ค่ารับทดลอง C3, C6, C9, D+C3, D+C6, D+C9, D+F+C3, D+F+C6 และ D+F+C9 มีค่าอยู่ในช่วง 13.07-20.07 g kg⁻¹ เพิ่มสูงขึ้นจากค่ารับควบคุม โดยค่ารับควบคุมมีอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากับ 10.35 g kg⁻¹ (Table 2)

Table 1 Effect of upland acid soil management by using dolomite, compost and fertilizer on height, shoot and root dry weight of corn and nutrient content of corn after 40 days of planting.

Treatments	Height (cm)			Dry weight (g/plant)		Plant nutrient levels (g kg ⁻¹)					
	10 days	20 days	30 days	Shoot	Root	N	P	K	Ca	Mg	S
Control	5.55d	8.63g	9.93h	0.15e	0.09h	16.72f	1.33d	5.63bc	5.13f	0.68g	0.12ef
D	7.35c	10.93g	16.63g	0.85e	0.15h	17.25f	1.92abcd	5.10bc	11.15a	6.04a	0.21bcd
C3	7.43c	17.56ef	30.56ef	4.17cd	0.74g	18.73ef	1.99abcd	5.78bc	7.51de	1.63ef	0.15def
C6	9.18b	21.81cd	38.56bcd	8.45b	1.05ef	24.32bcd	1.57cd	6.76b	8.56cd	1.69ef	0.13ef
C9	9.75ab	24.50ab	41.75ab	10.15a	1.79ab	30.27a	2.13abc	7.25ab	7.87de	1.57ef	0.13ef
F	7.23c	15.65f	27.44f	3.12d	0.53g	20.32def	2.05abc	5.34bc	6.44ef	1.38f	0.23bc
D+F	7.03c	19.84de	34.38de	4.00d	0.72g	24.30bcd	1.92abcd	5.71bc	8.85bcd	4.37b	0.19cde
D+C3	9.6ab	21.75cd	36.38cd	5.66c	0.80fg	19.40ef	2.17abc	7.15ab	9.07abcd	2.85c	0.12ef
D+C6	9.79ab	22.02bcd	38.69bc	7.88b	1.17de	24.70bc	1.79bcd	5.71bc	8.55cd	2.14de	0.10f
D+C9	9.65ab	22.15bcd	37.94bcd	7.28b	1.20de	29.59a	2.02abc	5.68bc	9.26abcd	1.89def	0.28b
D+F+C3	8.7b	23.96abc	39.50bc	7.48b	1.36cd	22.78cde	2.25abc	5.96bc	9.57abcd	2.05de	0.14def
D+F+C6	8.75b	21.66cd	38.38bcd	8.16b	1.57bc	27.84ab	2.51a	6.78b	10.22abc	2.41cd	0.16cdef
D+F+C9	10.55a	25.14a	43.69a	10.54a	1.92a	30.85a	2.34ab	9.35a	10.76ab	2.94c	0.35a
F-test	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**
C.V. (%)	9.01	8.45	8.01	17.46	17.67	11.55	21.12	26.50	15.20	15.92	25.58

Values in the same column followed by a common letter are not significant difference at the 5% level of probability by DMRT.

Table 2 Effect of upland acid soil management by using dolomite, compost and fertilizer on soil chemical property after 40 days of planting

Treatments	pH	EC	OM	Total N	Avai. P	Extr. S	Exch.acidity	Exch. Al	Exch. K	Exch. Na	Exch. Ca	Exch. Mg
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol(+) kg ⁻¹	cmol(+) kg ⁻¹	cmol(+) kg ⁻¹	cmol(+) kg ⁻¹	cmol(+) kg ⁻¹	cmol(+) kg ⁻¹
Control	4.89h	0.08e	10.35f	0.70de	5.00f	3.04f	1.28a	0.97a	0.13d	0.14h	0.18f	0.17e
D	5.16g	0.09e	10.21f	0.65e	4.80f	4.03ef	0.61c	0.46c	0.08d	0.11h	0.90ef	1.03d
C3	5.74f	0.09e	13.81ef	0.82d	29.00de	5.11def	0.11e	0.06e	0.40d	0.30e	1.98d	1.03d
C6	6.24d	0.18bcd	17.56bc	1.08c	125.05b	6.12cdef	0.11e	0.07e	1.17b	0.44bc	3.85b	1.87c
C9	6.63ab	0.19bcd	19.28ab	1.22ab	160.00a	8.14abc	0.08e	0.04e	1.83a	0.47b	5.22a	2.26b
F	5.29g	0.12de	11.67ef	0.74de	12.00ef	4.07ef	0.92b	0.68b	0.16d	0.23f	0.60ef	0.28e
D+F	5.19g	0.15cde	11.00ef	0.76de	12.00ef	5.08def	0.40d	0.29d	0.17d	0.16gh	1.08e	1.00d
D+C3	5.99e	0.10e	13.07ef	0.83d	32.00de	6.13bcde	0.13e	0.10e	0.37d	0.19fg	2.82c	1.81c
D+C6	6.52abc	0.14cde	16.27cd	1.06c	97.00c	7.15bcd	0.11e	0.11e	0.76c	0.29e	4.31b	2.38b
D+C9	6.69a	0.19bcd	17.59bc	1.11bc	159.00a	7.16bcd	0.06e	0.06e	1.72a	0.41c	4.17b	2.27b
D+F+C3	6.42c	0.23ab	13.42ef	0.99c	41.00d	6.07cdef	0.09e	0.08e	1.36b	0.32de	4.27b	2.44b
D+F+C6	6.48bc	0.20bc	16.20cd	1.06c	107.00bc	8.15ab	0.08e	0.07e	1.31b	0.36d	4.14b	2.40b
D+F+C9	6.59abc	0.28a	20.73a	1.26a	161.00a	10.22a	0.06e	0.06e	2.03a	0.55a	5.54a	2.74a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	2.05	28.63	12.62	10.03	19.59	26.90	39.09	26.34	25.78	17.17	8.70	10.32

Values in the same column followed by a common letter are not significant difference at the 5% level of probability by DMRT

วิจารณ์ผลการทดลอง

การปรับปรุงดินกรดที่ดอน โดยการใส่ปูนโดโลไมต์เพื่อปรับ pH ของดินเป็น 6.0 สามารถลดปริมาณกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินได้ค่อนข้างดีระดับหนึ่ง และที่สำคัญ คือ เพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดิน (Table 2) ข้าวโพดจึงสามารถดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมได้เพิ่มขึ้น (Table 1) ข้าวโพดจึงมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่าตำรับทดลองควบคุม สอดคล้องกับ การทดลองของ สรัญญา และคณะ (2550) รายงานว่า ปูนโดโลไมต์สามารถลดปริมาณกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และยังเพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดิน สำหรับโพแทสเซียมจะเห็นว่าพืชดูดใช้ได้น้อยกว่าตำรับควบคุม (Table 1) ซึ่งเป็นไปตามอัตราการปุ๋ยปักษ์ระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม กับโพแทสเซียม ที่กล่าวไว้ว่าถ้าในดินมีแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงจะยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช (ยงยุทธ, 2543) และในสภาพที่อะลูมินัมในดินสูงยังไปขัดขวางการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช (ยงยุทธ, 2543) และในสภาพที่อะลูมินัมในดินสูงยังไปขัดขวางการดูดใช้โพแทสเซียม (สุมาลี, 2536) หลังการทดลองพบว่าดินมี pH ลดลงเหลือเพียง 5.16 เป็นผลมาจากการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในสารละลายดิน โดยเมื่อรากพืชดูดใช้ธาตุอาหารในรูปของประจุบวกที่เป็นต่าง เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมจากสารละลายดิน รากพืชจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาแลกเปลี่ยนกับไอออนดังกล่าวในสารละลายดินสูงขึ้น (Marschner, 1999) จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ pH ของดินหลังปลูกพืชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อภิเชษฐ และคณะ (2552) รายงานว่า การปลูกพืชในดินกรด โดยยกระดับ pH ดินก่อนปลูกพืช เป็น 6.0 และหลังปลูกพืช พบว่า ดินมี pH ลดลงเนื่องจากรากพืชปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนในสารละลายดิน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ pH ดินหลังปลูกพืชลดลง อีกอย่างหนึ่งดินกรดที่ดอนชุดดินคองส์มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาดินต่ำ จึงทำให้ปฏิกิริยาดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (เจริญ และคณะ, 2540)

สำหรับตำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักทุกอัตรานั้น ทำให้ pH ของดินเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดการทดลอง อีกทั้งยังช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาดิน เนื่องจากในอินทรีย์วัตถุมีคอลลอยด์ดินอยู่มากเป็นตัวควบคุมสมดุลอะลูมินัมในสารละลายดิน ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วมีไฮโดรเจนไอออนเกิดขึ้น และถูกทำให้เป็นกลางโดยไฮดรอกไซด์ไอออน สังเกตได้จาก pH ของดินหลังการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 5.74-6.63 (Table 2) และการใส่ปุ๋ยหมักยังทำให้กรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน จาก 1.28 และ 0.97 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ ในตำรับทดลองควบคุม เหลือเพียง 0.08 และ 0.04 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ ในตำรับทดลอง C9 (Table 2) เนื่องจากปุ๋ยหมักเมื่อย่อยสลายจะได้สารอินทรีย์ ซึ่งไปลด activity ของอะลูมินัม ความเป็นพิษของอะลูมินัมจึงลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Hue *et al.* (1986); Takahashi *et al.* (1995) รายงานว่า สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสารละลายดิน ได้แก่ ฮิวมัส (humus) และสารอะโลฟอนิก (allophonic material) สามารถทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้อะลูมินัมในสารละลายดินลดลง สรัญญา และคณะ (2548) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยคอกในดินจนทำให้ดินมีอินทรีย์วัตถุถึง 3% โดยปริมาตร ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ทำให้ปริมาณกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงอย่างชัดเจน

สำหรับตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำข้าวโพดเจริญเติบโตได้ต่ำกว่าตำรับทดลองใส่ปุ๋ยหมักอัตราต่ำ (C3) เนื่องจากดินยังคงมี pH ต่ำ มีกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (Table 2) จึงทำให้ธาตุอาหารพืชที่ใส่ลงไปละลายออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้น้อย สอดคล้องกับรายงานของ ประไพ และคณะ (2536) และ Juo *et al.* (1995) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวไม่ได้ทำให้พืชที่ปลูกในดินกรดมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น และการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ความเป็นกรดของดินเพิ่มสูงขึ้น แตกต่างจากตำรับทดลอง C3 ที่มี pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสม กรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน (Table 2) และปุ๋ยหมักนี้มีค่า C/N ratio เท่ากับ 13.29 และมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบดังนี้ N 18.84 g kg^{-1} , P 10.50 g kg^{-1} , K 22.65 g kg^{-1} , Ca 15.36 g kg^{-1} , Mg 13.21 g kg^{-1} และ S 2.92 mg kg^{-1} ซึ่งเมื่อย่อยสลายก็สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้ให้แก่พืช แตกต่างจากรายงานของ Gurmit Singh *et al.* (1986) อ้างโดย Redshaw (2003) ที่ได้วิเคราะห์ธาตุอาหารในทะเลสาบปาล์ม

เปล่านั้น N 0.8%, P 0.096%, K 2.41%, Mg 0.18% และ Ca 0.18% โดยปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุอาหารที่สูงกว่า เนื่องจากการย่อยสลายที่ดี มีค่า C/N ratio เท่ากับ 13.29 และในการหมักไม่ได้ใช้ทะเลทรายเปล่าอย่างเดียว ยังมีเส้นใย เปลือก และ decanter cake รวมด้วย อีกทั้งในขั้นตอนการหมักมีการฉีดพ่นยูเรียในกองปุ๋ยหมัก แต่ของ Gurmit Singh และคณะ นั้นเป็นเพียงการวิเคราะห์ธาตุอาหารโดยทั่วไปในทะเลทรายเปล่า ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันได้บ้างตามลักษณะของทะเลทรายในแต่ละพื้นที่ สำหรับตำรับทดลอง D+C9 ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีกว่าตำรับทดลอง C9 เนื่องจากการใส่ปุ๋ยและปุ๋ยหมักร่วมกันทำให้ดินมี pH สูงถึง 6.69 (Table 2) ซึ่งดินอาจจะอยู่ในสภาพเกินปุ๋ย คือ ดินชุดคองหงส์เป็นดินเนื้อหยาบ มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางเคมีค่อนข้างต่ำ เมื่อปริมาณปุ๋ยเพิ่มขึ้น แคลเซียมในดินก็เพิ่มขึ้นส่งผลให้โพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส และโบรอนในดินลดลง การเจริญเติบโตของพืชจึงลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Nwachuku and Loganathan (1991) อ้างโดย สรัญญา และคณะ (2550) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราสูงจนยกระดับ pH ดินให้เกือบเป็นกลาง ทำให้ผลผลิตข้าวโพดลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากขาดฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และจุลธาตุ

ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในตำรับทดลอง D+F+C9 มีความสูง 43.69 เซนติเมตร น้ำหนักแห้งของต้น และราก 10.54 และ 1.91 กรัม/ต้น (Table 1) ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง C9 แต่มีแนวโน้มว่าข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่า เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ไม่ทำให้ดินมี pH ดินให้สูงขึ้น เพิ่มธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กับดิน ปุ๋ยหมักทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุยดี อุดมด้วยธาตุอาหารได้ดี ลดปริมาณกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้อย่างชัดเจน ที่สำคัญมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเมื่อย่อยสลายก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช สำหรับปุ๋ยเคมีให้ธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าทุกตำรับทดลอง สอดคล้องกับรายงานของ ไสภ และคณะ (2547) และ Liu and Hue (2000) กล่าวว่าการปลูกพืชให้เจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตที่สูงนั้นควรมีการใส่สารปรับปรุงดินประเภทปุ๋ย อินทรีย์ และปุ๋ยเคมีแบบผสมผสานกัน เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติของดินให้ดีขึ้น ส่งผลให้การใช้ที่ดินของประเทศที่มีอยู่อย่างจำกัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความยั่งยืนตลอดไป

สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญเติบโตของข้าวโพดในดินกรดชุดดินคองหงส์ คือ ความเป็นกรดของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน การใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูง (C9) ทำให้ดินมี pH และอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างชัดเจน และยังเพิ่มธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันให้แก่ดิน ข้าวโพดจึงเจริญเติบโตได้ดี มีความสูงน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุอาหารในพืช และสมบัติทางเคมีของดินหลังทดลองเพิ่มขึ้น และไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง D+F+C9 แต่ตำรับทดลอง D+F+C9 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ดีกว่า โดยข้าวโพดมีความสูงถึง 43.69 เซนติเมตร มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักแห้งราก เท่ากับ 10.54 และ 1.91 กรัม/ต้น ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2540. เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- จุมพล ยูวณิยม. 2531. ปัญหาและแนวทางแก้ไขดินกรดและจุลธาตุในดิน. พัฒนาคีดิน. 26(280): 25-29.
- จำป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

- เจริญ เจริญจำรัสศัพท์, กำชัย กาญจนธรรมเศรษฐ์ และ เมทินี ศิริวงศ์. 2540. การจัดการดินกรดประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ประไพ ชัยโรจน์, บุญเลิศ บุญยงค์, นางลักษณ์ วิบูลสุข, Ishida, H. และ Wada, H. 2536. การปรับปรุงดินทรายที่เป็นกรดด้วยวัสดุอินทรีย์. ใน รายงานการสัมมนาเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืนของ การเกษตรและสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ณ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 13-15 มกราคม 2536. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ยงยุทธ ไอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วรรณมา เลี้ยววาริน. 2538. คู่มือการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- ศุภชัยวิชัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- สร้อยญา คำอำภย, จำเป็น อ่อนทอง และ ชัยรัตน์ นิลนนท์. 2548. ผลของปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอน. สงขลานครินทร์. 27(3):727-737.
- สร้อยญา คำอำภย, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ จำเป็น อ่อนทอง. 2550. ผลของสารปรับปรุงดินบางชนิดต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอนภาคใต้ของประเทศไทย. สงขลานครินทร์. 29(1):117-131.
- สุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- โสภา โพธิ์วัดอุธรรม, อนุสรณ์ แรมลี, และ โอสา จิตรจักร. 2547. อิทธิพลของสารปรับปรุงดินและปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตยางในเขตแห้งแล้ง. หน้า 55-56. ใน บทความของงานวิจัยและพัฒนาทางพาราปี 2537-2546. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- อภิเชษฐ ทองสง, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ จำเป็น อ่อนทอง. 2552. ผลของวัสดุอินทรีย์ โดโลไมต์และปุ๋ยเคมีต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน. วิทยาศาสตร์เกษตร. 40(2):229-244.
- อภิรดี อิมเอิบ. 2542. แนวทางปรับปรุงคุณภาพทางเคมีของดินในประเทศไทย. พัฒนาที่ดิน 36(372):24-38.
- 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.
- Juó, A.S.R., Franzluebbers, K. Dabiri, A. and Ikhile, B. 1995. Changes of soil properties during long-term fallow and cultivation after forest clearing. Agric. Ecosystems and Environment 50:9-18.
- Liu, J. and Hue, N.V. 2000. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime and compost. Compost. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32:2117-2132.
- Marschner, H. 1999. Mineral Nutrition of Higher Plants. University of Hohenheim, Germany.
- Redshaw, M. 2003. Utilization of field residues and mill by-products. pp. 307-320. In Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields. (eds. T. Fairhurst., and Hardter, R.) Oxford Graphic Printers Pte Ltd.
- 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.
- von Uexkull, H. R. 1986. Efficient fertilizer use in acid upland soils of the humid tropics. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bull. No.10.