

ผลของปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอน

สร้อยญา คำอำภัย¹ จำเป็น อ่อนทอง² และ ชัยรัตน์ นิลนนท์³

Abstract

Dam-ampai, S., Onthong, J. and Nilnond, C.

Effect of cattle manure and dolomite on soil properties and plant growth in acid upland soils

Songklanakarin J. Sci. Technol., Dec. 2005, 27(Suppl. 3) : 727-737

One of the major plant growth limiting factors has been associated with soil acidity. In general, lime is used for pH raising in acid soils. However, it is also well known that manure can be used for acid soil reclamation for a better cultivation. A greenhouse experiment was conducted to study the effect of lime (dolomite) and cattle manure on soil properties and plant growth in Kho Hong soil series (coarse loamy, siliceous; Typic Paleudults) which was considered to be a low fertility acid upland soil (pH 5.07, OM 1.04%, avai.P 4.12 mg kg⁻¹, exch.K 0.02 cmol(+)kg⁻¹, exch.Al 0.48 cmol(+)kg⁻¹). The experiment design was a randomized complete block design with 4 replications and 8 treatments as follows: unamended (control), application of dolomite at the half rate of lime requirement at pH 5.5 (1/2L), application of cattle manure at the rate to raise soil organic matter to be 2.0%, 2.5%, 3.0% by volume, application of dolomite at the half rate of lime requirement at pH 5.5 together with cattle manure to make soil organic matter to be 2.0%, 2.5%, 3.0% by

Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท วท.ม. สาขาการจัดการทรัพยากรดิน ²Ph.D.(Agricultural Chemistry) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ³Ph.D.(Soil Genesis and Fertilizer) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail: chairat.n@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 15 ธันวาคม 2547

รับลงพิมพ์ 26 ตุลาคม 2548

volume, respectively. It was found that shoot and root dry weights of corn were increased in all amended treatments, but no significant difference ($P < 0.01$) was observed among them. Dry matter weight of corn was increased according to the increasing rate of manure application either with or without addition of dolomite. The maximum yield (7.96 g bag^{-1}) was obtained in treatment of 3% soil organic matter plus dolomite and the yield was significantly ($P < 0.01$) higher than that of control (1.14 g bag^{-1}) and dolomite applied alone (3.13 g bag^{-1}). It was also found that application of manure in all treatments increased the amount of N, P, K, Ca, Mg and S in corn. Higher uptake of N, P, K at the amount of 231.40, 38.68 and $487.11 \text{ mg bag}^{-1}$, respectively were obtained in the treatment of 3% organic matter plus dolomite when compared to low uptake of N, P, K at the amount of 42.08, 3.01 and $50.77 \text{ mg bag}^{-1}$, respectively in the unamended treatment. Application of manure could increase soil pH, organic matter, P, K, Ca, Mg and S but significantly ($p < 0.01$) decreased exchangeable acidity and aluminum of soil. Application of manure at the rate to elevate soil organic matter up to 3% could decrease exchangeable aluminum to the amount of less than $0.01 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$.

Key words : acid soils, dolomite, manure, soil properties, plant growth

บทคัดย่อ

สร้อยญา คำอำภย์ จำเป็น อ่อนทอง และ ชัยรัตน์ นิลนนท์

ผลของปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช
ที่ปลูกในดินกรดที่ดอน

ว. สงขลานครินทร์ วทท. ๕.ค. 2548 27(ฉบับพิเศษ 3) : 727-737

ความเป็นกรดของดินเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง ที่มีผลต่อการจำกัดการเจริญเติบโตของพืช นอกจากการใช้ปูนเพื่อเพิ่ม pH ดินให้สูงขึ้นแล้ว การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ก็สามารถปรับปรุงดินกรดเพื่อการปลูกพืชได้ การทดลองนี้เป็นการศึกษาสมบัติของดินกรดและการเจริญเติบโตของพืชจากการใช้สารปรับปรุงดินประเภทปุ๋ยร่วมกับปุ๋ยคอก (มูลวัว) ในอัตราต่าง ๆ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (randomized complete block design) มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี คือ ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ (control), ใส่ปูนโดโลไมต์ อัตรา 0.5 ของความต้องการปูนที่ pH 5.5 (1/2 L), ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุในดิน 2.0%, 2.5%, 3.0% โดยปริมาตร ใส่ปูนโดโลไมต์ (1/2 L) ร่วมกับปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุในดิน 2.0%, 2.5%, 3.0% ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรีย์ 2 เป็นพืชทดสอบ ในดินกรดชุดดินคองส์ (Coarse loamy, siliceous; Typic Paleudults) ซึ่งเป็นดินกรดที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (pH 5.07, OM 1.04%, avai. P 4.12 mg kg^{-1} , exch.K $0.02 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$, exch.Al $0.48 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยคอกทุกกรรมวิธีให้น้ำหนักแห้งของดินและรากข้าวโพดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ให้น้ำหนักแห้งดินและรากรวมสูงสุด คือ 7.96 กรัม/ลู่ง และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์และใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว คือ 1.14 และ 3.13 กรัม/ลู่ง ตามลำดับ สำหรับปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันในต้นข้าวโพด ในทุกกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ยคอกสูงกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ และใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมนั้น เพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ข้าวโพดสามารถดูดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมสูงสุดเฉลี่ย 231.40, 38.68 และ 487.11 มก./ลู่ง ตามลำดับ ในขณะที่ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์มีปริมาณ 42.08, 3.01 และ 50.77 มก./ลู่ง ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยคอกทุกกรรมวิธีทำให้ pH ของดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันในดินเพิ่มขึ้น และทำให้ความเป็นกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง การใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ทั้ง 2 กรรมวิธี สามารถลดอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับ $\leq 0.01 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$

พื้นที่ทางการเกษตรในภาคใต้ส่วนใหญ่ดินมีสภาพเป็นกรด ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 27 ล้านไร่ (เจริญ และคณะ, 2540) คิดเป็น 51% ของพื้นที่ภาคใต้ (เอิบ, 2533) ทั้งนี้ เนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศภาคใต้เป็นแบบร้อนชื้น ฝนตกชุก ดินผ่านกระบวนการชะล้างมานาน ทำให้ธาตุอาหารพืชถูกชะล้างหรือเคลื่อนย้ายออกไป ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง อินทรีย์วัตถุในดินต่ำ ดินขาดธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน สภาพดินกรดเป็นสภาวะที่ทำให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ฟอสฟอรัส ละลายออกมาในสารละลายดินได้น้อย แม้จะมีการใส่ปุ๋ยลงไปก็ตาม (von Uexkull, 1986) อีกทั้งส่งเสริมให้ธาตุเหล็ก แมงกานีส และอะลูมิเนียม ละลายในสารละลายดินในปริมาณที่สูง จนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของระบบรากพืชได้ (จุมพล, 2531) อะลูมิเนียมทำให้การแบ่งเซลล์ที่ปลายรากชะงัก มีผลต่อการดูดและเคลื่อนย้ายธาตุอาหารพืช ทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุต่างๆ (จำเริญ, 2539)

การปรับปรุงดินกรดโดยการใส่ปูน (liming) ในระดับที่เหมาะสม สามารถยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH) ให้สูงขึ้นจนถึงระดับที่ธาตุอาหารพืช เช่น ฟอสฟอรัสในดิน ละลายออกมาในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้สูง และลดความสามารถในการละลายของธาตุอาหารที่เป็นพิษต่อพืช เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีส ได้ ส่งผลให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น (สุมาลี และคณะ, 2533; ชัยรัตน์ และวิเชียร, 2539; กำชัย และคณะ, 2540) การใช้อินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงดิน เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยพืชสด นอกจากปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้นและเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชแล้ว ยังส่งผลให้ pH ของดินสูงขึ้น โดยกรดทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่ปลดปล่อยจากอินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีองค์ประกอบของกลุ่มคาร์บอกซี (carboxy group) และกลุ่มฟีนอลิกไฮดรอกซี (phenolic hydroxy group) (Whalen *et al.*, 2000; von Willert and Stehouwer, 2003) นอกจากนี้ การใส่อินทรีย์วัตถุลงในดินกรดสามารถลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมได้ เนื่องจากกรดอินทรีย์จากอินทรีย์วัตถุ เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดฟุลวิก (fulvic acid) ทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมเป็น Al-citrate และ Al-fulvate (Hue *et al.*, 1986)

เช่นเดียวกับที่ Takahashi และคณะ (1995) รายงานว่า สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสารละลายดิน ได้แก่ ฮิวมัส (humus) และสารอะโลฟานิก (allophanic materials) สามารถทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้อะลูมิเนียมในสารละลายดินลดลง การใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้เกิดการตกตะกอนร่วมของอะลูมิเนียม หรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะลูมิเนียมกับอินทรีย์วัตถุ ลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในสารละลายดินได้ การลด activity ของอะลูมิเนียมในสารละลายดิน เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ pH, แคลเซียม และแมกนีเซียม (ประไพ และคณะ, 2536; สุนทร และเวทย์, 2536; สุรศักดิ์, 2537) แคลเซียมจากปูนสามารถเคลื่อนที่ลงไปดินชั้นล่างได้ เมื่อใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้ลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินล่าง และเพิ่มแคลเซียมในดินล่าง ซึ่งดินกรดทั่วไปมักขาด (Liu and Hue, 2000) ดังนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินกรดให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อการผลิตอย่างยั่งยืน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่มีศักยภาพในการปรับปรุงดินกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกษตรกรรายย่อยที่เลี้ยงสัตว์ในครัวเรือนหรืออยู่ในบริเวณที่มีการเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียง ได้นำมูลสัตว์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเคมีที่สำคัญของดินและการเจริญเติบโตของพืชจากการใช้สารปรับปรุงดินประเภทปูนร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอกในอัตราต่างๆ กันในการปรับปรุงดินกรด

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลองในเรือนกระจก โดยใช้ดินชุดคอหงส์ (coarse loamy siliceous Typic Paleudults) ที่สุ่มเก็บในระดับความลึก 0-15 ซม. จากแปลงปลูกยางพาราของเกษตรกรบ้านไร่ ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรีย์ 2 เป็นพืชทดสอบ ในดินที่มีการปรับปรุงโดยการใส่ปูนโดโลไมต์ และไม่ใส่ปูน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ในอัตราต่างๆ สมบัติของดินและปุ๋ยคอกแสดงใน Table 1 และ 2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (randomized complete block design) ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี มี 4 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 = ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (control)

Table 1. Some chemical and physical properties of study soil (Kho Hong series).

Soil properties		Analytical data
pH	(H ₂ O 1:5)	5.07
Organic matter	(Walkley and Black)	1.04%
Available P	(Bray II)	4.12 mg kg ⁻¹
Exch. Ca	(1 N NH ₄ OAc pH7)	0.20 cmol (+) kg ⁻¹
Exch. Mg	(1 N NH ₄ OAc pH7)	0.09 cmol (+) kg ⁻¹
Exch. K	(1 N NH ₄ OAc pH7)	0.02 cmol (+) kg ⁻¹
Exch. Na	(1 N NH ₄ OAc pH7)	0.04 cmol (+) kg ⁻¹
Extr. SO ₄ ²⁻	(0.01 M Ca (H ₂ PO ₄) ₂)	Not detectable
Exch. Al	(1 N KCl)	0.48 cmol (+) kg ⁻¹
Exch. acidity	(1 N KCl)	0.83 cmol (+) kg ⁻¹
LR (pH 5.5)	(Dunn's method)	18.10 kg rai ⁻¹
Texture	(Hydrometer)	Sandy loam
	Sand	79.52%
	Silt	8.56%
	Clay	11.92%

Table 2. Chemical properties of cattle manure.

Chemical properties		Analytical data
Total N	(%)	1.38
Total P	(%)	0.86
Total K	(%)	0.90
Total Ca	(%)	1.84
Total Mg	(%)	0.44
Total S	(%)	0.37
Organic matter	(%)	64.58
C/N ratio		27.14
pH 1 : 10	(ปุ๋ยคอก : น้ำ)	7.5

กรรมวิธีที่ 2 = ใส่ปุ๋ยคอก 62 กรัม (ให้มีอินทรีย์
วัตถุในดินประมาณ 2.0%) (M 2.0%)

กรรมวิธีที่ 3 = ใส่ปุ๋ยคอก 93 กรัม (ให้มีอินทรีย์
วัตถุในดินประมาณ 2.5%) (M 2.5%)

กรรมวิธีที่ 4 = ใส่ปุ๋ยคอก 124 กรัม (ให้มีอินทรีย์
วัตถุในดินประมาณ 3.0%) (M 3.0%)

กรรมวิธีที่ 5 = ใส่ปูนโดโลไมต์ 0.5 เท่าของความ
ต้องการปูนที่ pH 5.5 (1/2L)

กรรมวิธีที่ 6 = ใส่ปูนโดโลไมต์ 0.5 เท่าของความ
ต้องการปูน+ปุ๋ยคอก 62 กรัม (1/2L + M 2.0%)

กรรมวิธีที่ 7 = ใส่ปูนโดโลไมต์ 0.5 เท่าของความ

ต้องการปูน+ปุ๋ยคอก 93 กรัม (1/2L + M 2.5%)

กรรมวิธีที่ 8 = ใส่ปูนโดโลไมต์ 0.5 เท่าของความ

ต้องการปูน+ปุ๋ยคอก 124 กรัม (1/2L + M 3.0%)

นำตัวอย่างดินที่ผึ่งแห้งในที่ร่มมาผ่านตะแกรงขนาด

ช่องตา 0.5 ซม. บรรจุดินที่ร่อนแล้วลงในถุงพลาสติกสีดำ

เส้นผ่าศูนย์กลาง 16.5 ซม. (น้ำหนักดิน 4 กก./ถุง) ใส่ปูน

โดโลไมต์ 0.1432 กรัม (0.5 เท่าของความต้องการปูนที่ pH

ดิน 5.5) และปุ๋ยคอก ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ตามกรรมวิธี

การทดลอง ปล่อยให้บรจุดินจากที่สูง 5 ซม. ให้กระแทก

พื้นจำนวน 6 ครั้ง แล้วเติมน้ำที่กรองแล้วจนได้ความชื้น

ในดินที่ระดับความชื้นสนาม (field capacity) ปล่อยให้

Table 3. Form and rate of nutrient elements used for basal application.

Element	Form	Rate of application (kg element ha ⁻¹)	Rate of application (g element bag ⁻¹)
N	Urea	400	0.8553
P	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	250	0.5345
K	KCl	200	0.4276
S	Na ₂ SO ₄	40	0.0855
Mg	MgCl ₂	30	0.0641
Zn	ZnCl ₂	6	0.0128
Cu	CuCl ₂ · 2H ₂ O	4	0.0085
Mn	MnCl ₂ · 4H ₂ O	5	0.0106
B	H ₃ BO ₃	2	0.0043
Mo	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.4	0.0009

สารปรับปรุงดินทำปฏิกิริยากับดินเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ใส่ธาตุอาหารพื้นฐาน (basal nutrients) ทุกกรรมวิธี โดยพิจารณาจากค่าวิเคราะห์ดินและความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพด (Table 3) ปุ๋ยข้าวโพดหว่านลงในถุง ถุงละ 5 เมล็ด หลังข้าวโพดเจริญเติบโตได้ 7 วัน ถอนแยกให้เหลือถุงละ 2 ต้น ตลอดจนการทดลองให้รดน้ำข้าวโพดที่ระดับ 80-100% ความชื้นสนาม หรือไม่ให้ดินแห้งหรือเปียกจนเกินไป เมื่อข้าวโพดอายุ 30 วัน ตัดต้นข้าวโพด แยกเก็บส่วนเหนือดิน และราก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้งคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งของต้น น้ำหนักแห้งของราก นำตัวอย่างพืช และดินไปวิเคราะห์หาธาตุอาหาร เพื่อศึกษาความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้เมื่อมีการปรับปรุงดิน

การวิเคราะห์ดิน

วิเคราะห์เนื้อดิน โดยวิธี Hydrometer (วรรณมา, 2538) pH ของดิน (ดิน:น้ำ = 1:5) โดยใช้ pH meter อินทรีย์วัตถุโดยวิธี Walkley and Black แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม โซเดียม ที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดดินด้วย 1 N NH₄OAc pH 7 วัดโพแทสเซียมและโซเดียม ด้วยเครื่อง flame photometer สำหรับแคลเซียมและแมกนีเซียม วัดการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ด้วยวิธี Bray II หากำมะถันที่สกัดได้ด้วย 0.01 M Ca(H₂PO₄)₂ แล้ววัดด้วย UV-

visible spectrophotometer ความเป็นกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วย 1 N KCl เป็นสารสกัด และใช้ NaOH ไทเทรตสารสกัดหาค่าความเป็นกรด และหาปริมาณอะลูมิเนียมโดยวิธี NaF complexation titration โดยไทเทรตกับ HCl (จำเป็น, 2545)

การวิเคราะห์พืช

วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันโดยการย่อยตัวอย่างพืชในกรดผสมไนตริกและเปอร์คลอริก (3:1; V/V) แล้ววิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธี yellow molybdo-vanadophosphoric acid สำหรับโพแทสเซียมหาด้วย flame photometer ส่วนแคลเซียม และแมกนีเซียม นำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer และกำมะถันด้วย UV-visible spectrophotometer (จำเป็น, 2545)

ผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุในดินเป็น 2.0% (M2.0%) 2.5% (M2.5%) 3.0% (M3.0%) โดยปริมาตร และใส่ปุ๋ยคอกในอัตราต่างๆ ดังกล่าว ร่วมกับปุ๋ยโดโลไมต์ (0.5 เท่าของความต้องการปุ๋ย : 1/2 L) ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก

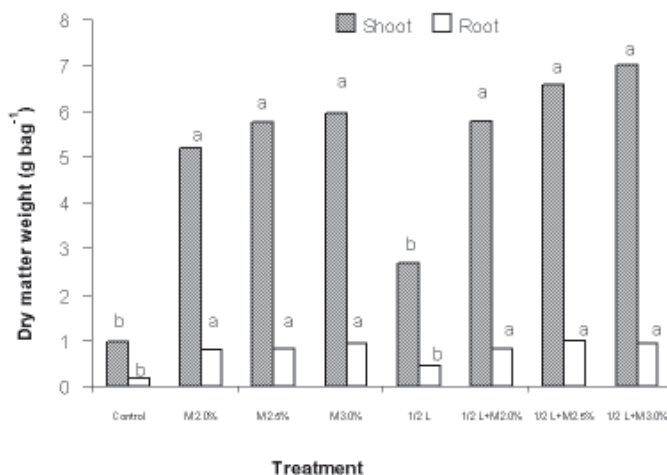


Figure 1. Dry matter weights of shoot and root of corn harvested at 30 day (means or histograms associated with different letters are significantly different at 99% level by DMRT).

แห้งของดินและรากข้าวโพดไม่แตกต่างกัน แต่การใส่ปุ๋ยคอกอัตราต่างๆ และที่ใส่ร่วมกับปูนโดโลไมต์ทำให้น้ำหนักแห้งของดินเพิ่มสูงกว่าการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (control) และใส่ปูนโดโลไมต์ที่ 1/2L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ 0.96 และ 2.69 กรัม/ถุง ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของปุ๋ยคอกมีแนวโน้มทำให้น้ำหนักแห้งของรากและต้นสูงขึ้น (Figure 1) โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ทำให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นข้าวโพดสูงสุดคือ 7.02 กรัม/ถุง ส่วนน้ำหนักรากเฉลี่ยนั้น เพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่ปุ๋ยคอก โดยที่ระดับปุ๋ยคอก 2.5% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ 1/2 L ทำให้น้ำหนักค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.0 กรัม/ถุง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) กับไม่ใส่ปุ๋ยคอก และใส่ปูนโดโลไมต์อย่างเดียวนั้นคือ 0.18 และ 0.44 กรัม/ถุง ตามลำดับ

2. ปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าวโพด

การดูดใช้ธาตุอาหารในดินของข้าวโพดสูงขึ้นอย่างเด่นชัด ตามปริมาณปุ๋ยคอกที่เพิ่มขึ้น ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (N, P, K) ในข้าวโพดที่อายุ 30 วัน หลังออก สูงกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยที่ control ข้าวโพดดูดธาตุอาหาร N, P และ K ได้เฉลี่ย

ต่ำสุดคือ 42.08, 3.01 และ 50.77 มก./ถุง ตามลำดับ สำหรับการใส่ปูนโดโลไมต์ 1/2L นั้น ข้าวโพดดูดใช้ N, P และ K เพิ่มขึ้นสูงกว่า control และเห็นได้ชัดเจนโดยเฉพาะ N ส่วนการใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ข้าวโพดสามารถดูดธาตุอาหาร N, P และ K สูงสุดเฉลี่ย 231.40, 38.68 และ 487.11 มก./ถุง ตามลำดับ (Table 4) เช่นเดียวกับการดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน (Ca, Mg, S) เพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ และปริมาณ Ca, Mg ลดลงเล็กน้อย ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ทั้ง 2 กรรมวิธี แต่ให้ค่าเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก control และใส่ปูนโดโลไมต์ 1/2L อย่างเดียว โดยที่ control ข้าวโพดดูดใช้ Ca, Mg และ S ได้เฉลี่ยต่ำสุดคือ 1.41, 1.55 และ 1.65 มก./ถุง ตามลำดับ ส่วนการใส่ปูนโดโลไมต์ที่ 1/2L เพิ่มการดูดใช้ Ca, Mg และ S ได้บ้างแต่ไม่แตกต่างไปจาก control อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 2.5% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ข้าวโพดสามารถดูดแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงสุดเฉลี่ย 30.51 และ 17.66 มก./ถุง ตามลำดับ สำหรับกำมะถันนั้น ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ ข้าวโพดสามารถดูดใช้ได้สูงสุดเฉลี่ย 6.62 มก./ถุง ตามลำดับ ดังข้อมูลใน Table 5

Table 4. Nitrogen, phosphorus and potassium uptake in corn plant at the age of 30 days.

Treatment	N	P	K
	mg bag ⁻¹		
Control	42.08±10.05 c	3.01±0.71 c	50.77±12.17 c
M 2.0%	181.00±20.51 ab	26.24±3.39 b	300.63±44.67 b
M 2.5%	196.65±21.58 a	31.65±4.13 ab	391.01±54.59 ab
M 3.0%	201.30±15.26 a	33.19±3.23 ab	426.88±45.83 ab
1/2 L	113.60±27.13 b	11.63±2.52 c	145.98±35.54 c
1/2 L + M 2.0%	225.93±32.62 a	30.17±1.56 ab	393.63±24.61 ab
1/2 L + M 2.5%	229.43±1.36 a	37.48±1.82 a	432.94±38.75 ab
1/2 L + M 3.0%	231.40±15.31 a	38.67±1.37 a	487.11±47.95 a
F-Test	**	**	**
% C.V.	23.17	21.05	23.60

Means followed by different letters in a same column are significantly different at 99% level by DMRT.

Table 5. Calcium, magnesium and sulphur uptake in corn plant at the age of 30 days.

Treatment	Ca	Mg	S
	mg bag ⁻¹		
Control	1.41±0.37 c	1.55±0.39 b	1.65±0.41 b
M 2.0%	20.75±3.35 b	14.87±3.00 a	5.72±0.93 a
M 2.5%	23.67±4.18 ab	15.91±2.18 a	6.15±0.88 a
M 3.0%	21.96±1.61 ab	14.96±1.01 a	6.44±0.50 a
1/2 L	3.63±0.57 c	4.52±1.06 b	2.89±0.96 b
1/2 L + M 2.0%	22.10±2.07 ab	13.87±1.21 a	6.47±0.52 a
1/2 L + M 2.5%	30.51±0.14 a	17.66±0.04 a	5.99±0.41 a
1/2 L + M 3.0%	25.95±1.08 ab	15.54±1.42 a	6.62±0.40 a
F-Test	**	**	**
% C.V.	26.53	27.24	24.79

Means followed by different letters in a same column are significantly different at 99% level by DMRT.

3. สมบัติทางเคมีของดินหลังการเก็บเกี่ยวพืช

การใส่ปุ๋ยโดโลไมต์เพียง 1/2L ไม่ได้ทำให้ pH ดินสูงขึ้น แต่สามารถลดอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเป็น 0.16 cmol(+)⁻¹ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยโดโลไมต์ (control) ซึ่งมีค่า 0.24 cmol(+)⁻¹ การใส่ปุ๋ยคอกอย่างเดียวกันในดินในอัตราต่างๆ และใส่ร่วมกับปุ๋ยโดโลไมต์ที่ 1/2L

มีผลทำให้ค่า pH อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และกำมะถันที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามปริมาณปุ๋ยคอกที่เพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้ความเป็นกรด และอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับ control และใส่ปุ๋ยโดโลไมต์ 1/2L อย่างเดียว ดังข้อมูล

ใน Table 6 โดยที่ปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ให้มีอินทรียวัตถุ 3.0% สามารถลดปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน จาก 0.24 cmol(+) kg^{-1} ในกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยคอก ให้ลดลง ในระดับที่น้อยกว่า 0.01 cmol(+) kg^{-1}

วิจารณ์ผลการทดลอง

การปรับปรุงดินโดยใส่ปูนโดโลไมต์ ในปริมาณเพียง ครั้งหนึ่งของการปลูกอย่างเดี่ยว (1/2L) มีแนวโน้ม ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดดีขึ้น แต่ให้ผลไม่แตกต่าง ทางสถิติกับที่ไม่ใส่ปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ (Figure 1) เนื่องจากปริมาณปูนโดโลไมต์ที่ใส่น้อยเกินไป ไม่เพียงพอ ที่จะสามารถยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นได้ในระดับที่ เหมาะสม (pH 5.5-6.0) โดยยกระดับ pH ได้เพียง 5.20 ทำให้ธาตุอาหารพืชละลายออกมาในสารละลายดินให้พืช สามารถดูดไปใช้ได้น้อย แม้ว่าใส่ธาตุอาหารในดินให้กับ พืชอย่างเพียงพอ และในสภาพที่ pH ดินต่ำ ทำให้อะลูมิเนียม ละลายออกมามาก ซึ่งค่าวิกฤติของพืชส่วนใหญ่ที่ผลิต ต่ำกว่า 50% ของผลผลิตสูงสุดเมื่อค่าความอิ่มตัวด้วย อะลูมิเนียมของดินมากกว่า 45% (เจริญ และคณะ, 2540) แม้ว่าผลวิเคราะห์ดินหลังปลูก พบว่า ค่าความอิ่มตัวของ อะลูมิเนียมในดินหลังปลูกทุกกรรมวิธี ต่ำกว่า 45% แต่ใน control ยังสูงกว่าในกรรมวิธีที่ใส่ปูน (1/2L) และสูงกว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกทุกอัตรา จึงมีผลให้การเจริญเติบโต ของข้าวโพดไม่ดีเทียบเท่ากับใส่ปุ๋ยคอก ซึ่งค่า pH ของดิน มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดิน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation co-efficient) $R^2=0.647^*$ (Figure 2) ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุ อาหารพืช ทำให้พืชดูดธาตุอาหารฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง

การดูดใช้ธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ $R^2=0.9265^{**}(N)$, $R^2=0.9754^{**}(K)$, $R^2=0.9648^{**}(P)$ และ $R^2=0.9842^{**}(Ca)$ (Figure 3 และ 4) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ความเป็นประโยชน์ของธาตุ อาหารพืชถูกควบคุมโดยความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส ถ้า

Table 6. Soil chemical properties at harvested period.

Treatment	pH 1 : 5	Organic matter g kg^{-1}	Available P mg kg^{-1}	Extract. SO_4^{2-} mg kg^{-1}	Exch.K cmol(+) kg^{-1}	Exch.Ca cmol(+) kg^{-1}	Exch. Mg cmol(+) kg^{-1}	Exch. Acidity cmol(+) kg^{-1}	Exch. Al cmol(+) kg^{-1}
Control	5.10±0.08 b	9.40±0.37 e	20.74±0.45 d	13.32±3.41 b	0.21±0.01 d	0.18±0.00 d	0.18±0.00 e	0.50±0.04 a	0.24±0.01 a
M 2.0%	5.15±0.10 b	14.98±0.68 d	37.12±0.42 c	47.58±4.12 a	0.27±0.02 cd	0.88±0.04 c	0.82±0.02 d	0.17±0.03 c	0.04±0.00 c
M 2.5%	5.40±0.14 b	15.46±0.20 cd	46.65±1.06 b	55.55±8.23 a	0.36±0.03 ab	1.32±0.01 b	1.20±0.01 bc	0.19±0.25 c	0.02±0.00 d
M 3.0%	5.78±0.19 a	20.03±1.53 ab	53.49±0.16 a	71.27±5.22 a	0.41±0.84 a	1.67±0.07 a	1.30±0.06 b	0.20±0.02 c	0.01±0.00 de
1/2 L	5.20±0.05 b	9.40±0.26 e	19.83±0.33 d	58.14±3.90 a	0.19±0.01 d	0.22±0.00 d	0.21±0.01 e	0.37±0.01 b	0.16±0.01 b
1/2 L+ M2.0%	5.19±0.04 b	13.83±0.70 d	36.42±0.78 c	65.00±9.83 a	0.22±0.01 d	0.93±0.02 c	0.81±0.03 d	0.20±0.02 c	0.04±0.00 c
1/2 L+ M2.5%	5.27±0.04 b	18.52±1.22 bc	46.80±0.58 b	47.15±11.85 a	0.32±0.03 bc	1.38±0.02 b	1.15±0.03 c	0.19±0.01 c	0.01±0.00 de
1/2 L+ M3.0%	5.84±0.11 a	21.86±1.22 a	53.70±0.88 a	52.28±11.27 a	0.38±0.03 ab	1.65±0.01 a	1.41±0.06 a	0.16±0.02 c	<0.01 e
F-Test	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% C.V.	4.02	13.66	3.29	36.15	17.14	7.60	8.11	20.49	17.89

Means followed by different letters in a same column are significantly different at 99% level by DMRT.

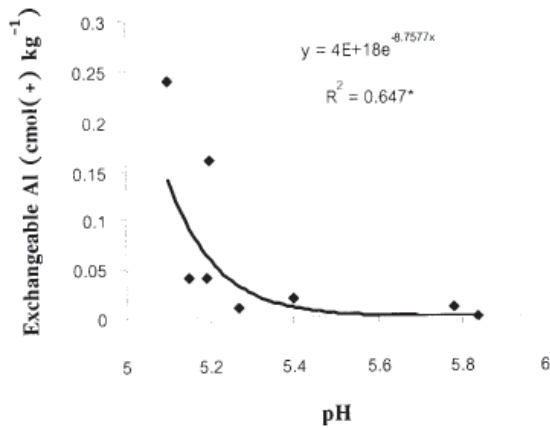


Figure 2. Relationship between soil pH and exchangeable Al .

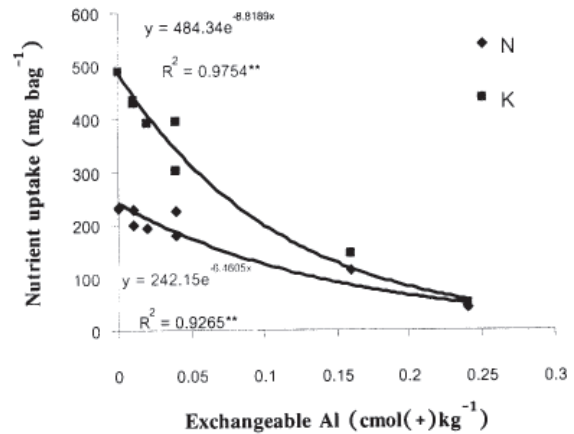


Figure 3. Relationship between exchangeable Al and plant N and K uptake.

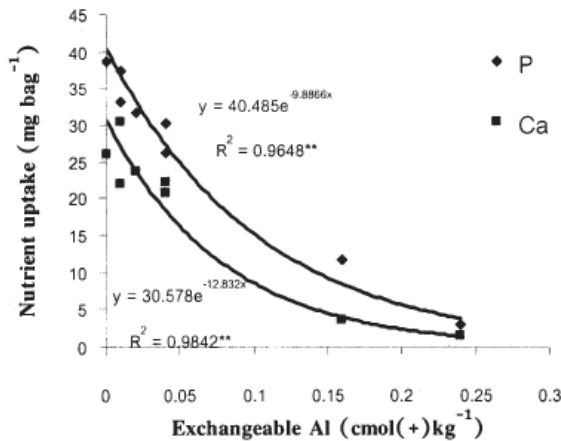


Figure 4. Relationship between exchangeable Al and plant P and Ca uptake.

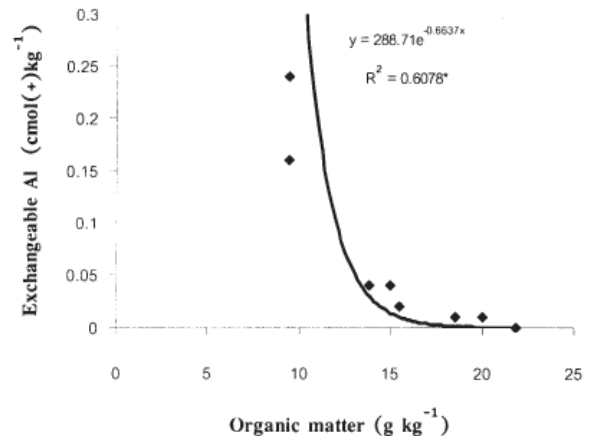


Figure 5. Relationship between soil organic matter and exchangeable Al.

ปริมาณอะลูมิเนียมในดินมาก ทำให้ฟอสฟอรัสตกตะกอนกับอะลูมิเนียมเป็นอะลูมิเนียมฟอสเฟต (von Uexkull, 1986) นอกจากนี้ ในสภาพที่มีอะลูมิเนียม ซึ่งมีประจุบวกสูงก็จะไปขัดขวางการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้การพัฒนาการของรากหยุดชะงัก รากกุด หยิบสั้น (สุมาลี, 2536) ทำให้ข้าวโพดดูดธาตุอาหารได้น้อย จึงส่งผลให้น้ำหนักต้นและรากเฉลี่ยของข้าวโพด ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 2% ทำให้ pH ดิน = 5.15 ซึ่งต่ำกว่าการใส่ปูนโดโลไมต์ (1/2L) แต่การเจริญเติบโตของ

ข้าวโพดดีกว่านั้น เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ในดินเกิดกระบวนการย่อยสลาย จะให้สารอินทรีย์ออกมา ซึ่งมีส่วนทำให้อัตก activity ของอะลูมิเนียม ทำให้ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินลดลงดังข้อมูลใน Table 6 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hue และคณะ (1986) และ Takahashi (1995) พืชจึงเจริญเติบโตดี

การที่ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีในทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกนั้น เป็นผลมาจากในองค์ประกอบของปุ๋ยคอกมีธาตุอาหารพืช และมีค่า C/N ratio เท่ากับ 27.14 ดังข้อมูลใน Table 2 เมื่อถูกย่อยสลาย ก็จะปลดปล่อยธาตุอาหาร

ลงสู่ดิน เป็นอาหารสำหรับพืชต่อไป ซึ่งเห็นได้จากปริมาณธาตุอาหารในดิน เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ (Table 6) การใส่ปุ๋ยคอกหรือมูลวัวในการทดลองนี้ ซึ่งมี pH 7.5 ดังข้อมูลใน Table 2 ยังมีส่วนทำให้ pH ของดินสูงขึ้นจาก 5.1 (control) เป็น 5.78 เมื่อใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% และ 5.84 เมื่อใส่ปุ๋ยคอกให้มีอินทรีย์วัตถุ 3.0% ร่วมกับปูนโดโลไมต์ 1/2L ตาม Table 6 มีส่วนทำให้การละลายของอะลูมิเนียมลดลง พืชจึงเจริญเติบโตดีขึ้น นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยคอกเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินให้สูงขึ้น และมีความสัมพันธ์เชิงลบหรือผกผันกับปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $R^2=0.6078^{**}$ เนื่องจากเมื่ออินทรีย์วัตถุสลายตัวดีแล้ว จะทำหน้าที่เป็นคีเลต (chelate) เกิดเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมีองค์ประกอบของ carboxy และ phenolic hydroxy group เข้าทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมในสารละลายดิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ activity ของอะลูมิเนียมลดลง (Figure 5) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุรศักดิ์ (2537) ที่รายงานว่า เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยคอก (มูลวัว) ในการปลูกข้าวฟ่างในดินกรด ทำให้ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงตามปริมาณปุ๋ยคอก จึงมีส่วนทำให้ pH ดินเพิ่มขึ้น (Whalen et al., 2000) ประกอบกับการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน น่าจะมีส่วนทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น ดินมีความร่วนซุยดี มีผลให้รากข้าวโพดกระจายได้มากขึ้น จะเห็นได้จากน้ำหนักแห้งของรากของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ตามปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกและแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยคอก และใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (Figure 1) เมื่อรากพืชเจริญได้ดี ทำให้สามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้มาก จึงส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตให้น้ำหนักแห้งสูงขึ้น

สรุป

ปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญเติบโตของข้าวโพดในดินชุดคองหงส์คือ ความเป็นกรดของดิน และปริมาณอะลูมิเนียมในดิน การใส่ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยคอกมีผลทำให้ดินเป็นกรดน้อยลง และลดปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยน

ได้ในดิน ส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดีขึ้น การใส่ปุ๋ยคอกในดินจนทำให้ดินมีอินทรีย์วัตถุถึง 3% มีส่วนช่วยทำให้ความเป็นกรดของดิน และปริมาณอะลูมิเนียมในดินลดลงอย่างชัดเจน มีผลทำให้ธาตุอาหารในดินมีความเป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยคอกนั้นนอกจากเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินแล้ว ยังเพิ่มธาตุอาหารพืชที่ได้จากการย่อยสลาย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ให้กับดิน โดยปริมาณธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยคอกที่ใส่ เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน ทำให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น นอกเหนือจากการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งจากผลทดลองครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้การใส่ปุ๋ยคอกในไร่เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินในระดับ 2% หรือ ประมาณ 4 ตัน/ไร่ ร่วมกับการใส่ปูนก็ว่าจะเพียงพอในการปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินให้พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กำชัย กาญจนธรเศรษฐ์, บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์, จุมพล ยูวะนิยม และเจริญ เจริญจำรัสชีพ. 2540. การศึกษาชนิดของวัสดุปรับสภาพความเป็นกรดของชุดดินสันป่าตองสำหรับระบบการปลูกข้าวโพดตามด้วยถั่วดำ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ.
- เจริญ เจริญจำรัสชีพ, กำชัย กาญจนธรเศรษฐ์ และเมธิน ศิริวงศ์. 2540. การจัดการดินกรดในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ.
- จุมพล ยูวะนิยม. 2531. ปัญหาและแนวทางแก้ไขดินกรดและจุลธาตุในดิน. ว. พัฒนาที่ดิน 6: 25-29.
- จำเป็น อ่อนทอง. 2539. ปัญหาความเป็นพิษของอะลูมิเนียมกับพืช. ว. ดินและปุ๋ย 8: 162-168.
- จำเป็น อ่อนทอง. 2545. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัยรัตน์ นิลนนท์ และวิเชียร จาตุพจน์. 2539. การประเมินความอุดมสมบูรณ์และความต้องการธาตุอาหารของพืชอาหารสัตว์ตระกูลถั่วในชุดดินคองหงส์. ว.สงขลานครินทร์. 18: 35-42.
- ประไพ ชัยโรจน์, บุญเลิศ บุญยงค์, นงลักษณ์ วิบูลสุข, Ishida, H. และ Wada, H. 2536. การปรับปรุงดินทรายที่เป็นกรดด้วยวัสดุอินทรีย์. ใน เอกสาร

- ประกอบการสัมมนา เรื่อง การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืนของการเกษตรและสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ณ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.ขอนแก่น, 13-15 มกราคม 2536.
- วรรณภา เลี้ยววาริน. 2538. คู่มือการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย. หน่วยงานปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุนทร พูนพิพัฒน์ และเอ็น วี เวย์. 2536. อิทธิพลของปุ๋ยพืชสดต่อการลดสภาพความเป็นพิษของอลูมิเนียม และพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกอยู่ในดินกรดจัด. ว. สงขลานครินทร์. 15: 197-217.
- สุมาลี สุทธิประดิษฐ์, ไพศาล เหล่าสุวรรณ, ชีระพงษ์ จันทระนิยม และนิมิตร อนุชาญ. 2533. ผลของปูนขาว และธาตุอาหารบางธาตุที่มีต่อผลผลิตถั่วลิสงปลูกในดินนาชุดโคกเคียน. ว. สงขลานครินทร์. 12: 51-57.
- สุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, สงขลา.
- สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. 2537. อิทธิพลของปุ๋ยคอกต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในข้าวฟ่าง. ว.เกษตร 10: 216-225.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2533. ดินของประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- Hue, N.V., Graddock, G.R. and Adam, F. 1986. Effect of organic acid on aluminum toxicity in subsoils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 28-34.
- Liu, J. and Hue, N.V. 2001. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime and compost. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 2117-2132.
- 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 Willert, F.J. and Stehouwer, R.C. 2003. Compost, limestone and gypsum effects on calcium and aluminum transport in acidic minespoil. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 778-786.
- von Uexkull, H. R. 1986. Efficient fertilizer use in acid upland soils of the humid tropics. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bull. No.10.
- Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W. and Carefoot, J.P. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 962-966.