

ผลของปุ๋ยฟอสเฟต การใส่แคลเซียม และชนิดของดินต่อการจับตัวแข็งของดิน

Effects of phosphate fertilizer, calcium application and soil type on soil compaction.

สุนิสา ใจเที่ยง,¹ สัญชัย ภู่งิน,^{1*} ศุภชัย อัมภา¹ และวิสุทธิ์ วีรสาร¹

Sunisa Jaiteang,¹ Sunchai Phungern,^{1} Suphachai Amkha¹ and Visoot Verasarn¹*

ABSTRACT

It is usually claimed that application of chemical fertilizers causes soil compaction, which hinders infiltration, root growth and results yield reduction. Such a detrimental effect is needed to be verified. Among nutrient fertilizers used by farmers, phosphorous fertilizers were the prime suspects since phosphate anion has special ability to bind with clay surface and has high sensitivity to precipitate with calcium and other cations. Therefore, the possibility exists that phosphate fertilizers are responsible for particle cementation and soil compaction. In this case, the degree of soil compaction and hardness should be associated with soil type and the contents of its relevant cations such as calcium. The purpose of this experiment was to study the effect of soil types, level of phosphate fertilizer and method of lime application on soil compaction. There consisted of three factors, such as four soil types, six levels of phosphate fertilizer (KH_2PO_4) and three methods of calcium application. The treatments were 4x6x3 factorial arranged in CRD. The results revealed the significance of soil types on soil density and hardness. Both characters were found highest for Lb (smectite) and decrease respectively for Pc (sesquioxide), Cr (kaolinite) and Ks (kaolinite). Soil bulk density and hardness were found to decrease as rate of phosphate application increased. It is interesting that calcium applied two weeks after phosphate resulted in highest soil hardness and density. No calcium and calcium applied along with phosphate had non-significant effect on both characters.

Keywords: soil bulk density, soil hardness, phosphate fertilizer, clay mineral

บทคัดย่อ

มักมีคำกล่าวว่ดินในบริเวณที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีจะมีการเกาะตัวกันแน่นส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการแทรกซึมน้ำ การเจริญเติบโตของรากพืช และทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ทำให้เกิดข้อสงสัยว่าปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้มีส่วน ทำให้ดินเกาะตัวกันแน่นแข็งจริงหรือไม่ เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ที่ปุ๋ยเคมีจะมีผลทำให้ดินแน่น ผู้วิจัยเห็นว่า อนุมูลฟอสเฟตจากปุ๋ยฟอสฟอรัสมีสมบัติเกาะยึดกับอนุภาคดินได้ดีและมีความไวในการตกตะกอนกับแคลเซียมไอออนได้ หลายชนิด เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมในดินต่าง หรือเหล็กและอะลูมิเนียมในดินกรด จึงทำให้เกิดข้อสงสัยว่าอนุมูล

^{1*} ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140 Thailand.

*corresponding author: E-mail address: fagrscop@ku.ac.th

ฟอสเฟตจะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้อนุภาคดินเกาะตัวกันแน่น โดยมีปัจจัยร่วมเป็นชนิดของแร่ดินเหนียว และปริมาณแคทไอออนในดิน งานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัย 3 ประเภท ได้แก่ ชนิดของดิน 4 ชนิด ปริมาณการใส่ฟอสฟอรัส 6 อัตรา และวิธีการใส่แคลเซียม 3 วิธี ต่อการจับตัวแน่นแข็งของดิน โดยจัดรูปแบบการทดลองแบบ factorial ใน CRD ผลการทดลองชี้ว่าปัจจัยของชนิดแร่ดินเหนียวส่งผลให้ค่าความแข็งและความหนาแน่นรวมของดินแตกต่างกัน โดยชุดดินลพบุรี (smectite) มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือชุดดินปากช่อง (sesquioxide), ชุดดินเชียงราย (kaolinite) และชุดดินกำแพงแสน (kaolinite) ตามลำดับ ส่วนปัจจัยของอัตราการใส่ฟอสฟอรัสพบว่าค่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการใส่ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยการใส่แคลเซียมพบว่า การใส่แคลเซียมหลังจากใส่ฟอสฟอรัส 2 สัปดาห์ ให้ค่าความแข็งและความหนาแน่นรวมของดินสูงที่สุด ส่วนการไม่ใส่แคลเซียม (ดำรับควบคุม) และการใส่แคลเซียมพร้อมกับฟอสฟอรัสมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ: ความหนาแน่นของดิน ความแข็งของดิน ปุ๋ยฟอสเฟต แร่ดินเหนียว

คำนำ

ในภาคการเกษตรของประเทศไทย ปุ๋ยเคมีมีความสำคัญต่อการเพาะปลูก ในขณะที่เดียวกันมักกล่าวกันว่าดินที่ใช้ปุ๋ยเคมีแก่พืชเป็นเวลานานมีการจับตัวแน่น มีความแข็งมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการแทรกซึมน้ำและการเจริญเติบโตของรากพืช และทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ซึ่งทำให้เกิดข้อสงสัยว่าปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้มีส่วนทำให้ดินเกาะตัวกันแน่นแข็งจริงหรือไม่ และเนื่องจากอนุมูลฟอสเฟตจากปุ๋ยฟอสฟอรัสมีสมบัติเกาะยึดกับอนุภาคดินได้ดี และมีความไวในการตกตะกอนกับอนุมูลแคลเซียมที่มาจากปุ๋ยอินทรีย์ จึงทำให้เกิดแนวความคิดว่าอนุมูลฟอสเฟตอาจเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้อนุภาคดินเกาะตัวกันแน่น โดยมีปัจจัยร่วมเป็นชนิดของแร่ดินเหนียว และปริมาณปูน

ฟอสฟอรัสพบว่าจะกระจายอยู่ในรูปของผลึกเล็กๆ ของแร่ อะพาไทต์ (apatite) และแร่อื่นๆ ซึ่งค่อยๆ สลายตัวให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับพืช (available phosphorus) ที่น้อยเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่

ละลายได้ดีลงในดิน ไอออนฟอสเฟตที่ละลายได้จะตกตะกอนไปเป็นจำนวนมาก โดยไอออนบวกที่ละลายได้พวก Fe^{+2} , Al^{+3} และ ไฮดรอกไซด์ (hydrated oxide) ของเหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีส และค่อยๆ ลดปริมาณการตกตะกอนลงเมื่อค่าพีเอสดินสูงขึ้นจาก 4 เป็น 7 แต่ในเวลาเดียวกันก็จะถูกตกตะกอนโดย Ca^{+2} และ Mg^{+2} เกิดเป็นแคลเซียมแมกนีเซียมฟอสเฟตเป็นปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อค่าพีเอสดินสูงขึ้นจาก 6 เป็น 8 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

การทดลองนี้ได้ทำการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตราต่างๆ ลงในดินที่ความชื้น 75% ของ FC บ่มเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ แล้วนำมาอัดตัวในกระบอกดินด้วยความดันที่เหมาะสม ซึ่ง Saarihahti (2002) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบสมการคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพื้นที่ผิวของลอร์รถแทรกเตอร์ที่สัมผัสกับดินเพื่อใช้ในการคำนวณหาความดันของลอร์รถไถที่กระทำต่อดิน ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยโดยประมาณของความดันอยู่ที่ 3 กก./ตร.ซม. ดังนั้น

การทดลองนี้จึงทำการอัดตัวอย่างดินด้วยความดันเท่ากับ 3 กก./ตร.ซม.

Uchida and Matsumoto (1961) ได้เสนอการวัดความแข็งของดิน (soil hardness) เป็นค่า Modulus of rupture (MOR) สำหรับตัวอย่างดินแบบ

$$MOR = \frac{2F_B}{\pi dl} \quad (1)$$

เมื่อ MOR คือ ค่าความแข็งของดิน (กก./ตร.ซม.), F_B คือ ค่าแรงกดขณะที่ตัวอย่างดินแตก (กก.), d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างดิน (ซม.) และ l คือ ความยาวของตัวอย่างดิน (ซม.)

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการทดลอง โดยเลือกชุดดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ ได้แก่ ชุดดินกำแพงแสน (Ks, kaolinite, loamy sand), ชุดดินเซียงราย (Cr, kaolinite, loam), ชุดดินปากช่อง (Pc, Sesquioxide, clay), ชุดดินลพบุรี (Lp, Smectite. clay) (กองสำรวจดิน, 2519) ที่ระดับความลึก 0-30 ซม. นำมาผึ่งให้แห้งในโรงตากดิน จากนั้นบดและร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงขนาด 2 มม.

$$C_a = \frac{aQC_1}{1+aC_1} \quad (2)$$

เมื่อ a เป็นค่าคงที่ (ลบ.ซม./มิลลิโมล) และ Q คือ ปริมาณดูดซับ P สูงสุดของดิน (มิลลิโมล/กรัม) ซึ่งคำนวณแล้วมีค่า 0.05, 0.075, 0.05 และ 0.025 มิลลิโมล/กรัม สำหรับชุดดินกำแพงแสน, เซียงราย, ปากช่อง, และลพบุรี ตามลำดับ

เปรียบเทียบอิทธิพลของอัตราการใส่ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ ต่อการจับตัวแน่นและความแข็งของดิน โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD โดย

ไม่รบกวนโครงสร้าง โดยทำการกดตัวอย่างดินทรงกระบอกขณะวางตัวในแนวราบจนแตกแล้วนำค่าน้ำหนักขณะแตกตัวมาคำนวณเป็นค่า Modulus of rupture ดังสมการที่ 1

วิเคราะห์ P-sorption isotherm ของแต่ละชุดดิน เพื่อหาปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดที่ดินสามารถดูดซับได้สำหรับคำนวณปริมาณการใส่ฟอสฟอรัสในแต่ละชุดดิน โดยการผสมดินอย่างทั่วถึงกับชุดของ equilibrium solution ที่ความเข้มข้นต่างๆ ประเมินฟอสฟอรัสที่ตกค้างอยู่ในสารละลาย ณ จุดสมดุล แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่ดูดซับบนอนุภาคดิน (C_a) (มิลลิโมล/กรัม) กับความเข้มข้นของสารละลาย ณ จุดสมดุล (C_1) (มิลลิโมล/ลบ.ซม.) และสร้าง P-sorption isotherm โดยใช้โมเดลคณิตศาสตร์ของ Langmuir ตามสมการ (Jury *et al.*, 1991)

ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดินมี 4 ชุดดิน ประกอบด้วย ชุดดินกำแพงแสน (Ks) (kaolinite), ชุดดินเซียงราย (Cr) (kaolinite), ชุดดินปากช่อง (Pc) (sesquioxide) และชุดดินลพบุรี (Lb) (smectite) ปัจจัยที่ 2 คือ การใส่ฟอสฟอรัส 6 อัตรา คือ 0%, 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ของปริมาณฟอสฟอรัสที่ดินสามารถดูดซับได้สูงที่สุดของดินแต่ละชนิด และปัจจัยที่ 3 คือ วิธีการใส่แคลเซียม 3 วิธี ประกอบด้วย ไม่ใส่แคลเซียม ใส่แคลเซียม

พร้อมกับการใส่ฟอสฟอรัส และใส่แคลเซียมหลังจากใส่ฟอสฟอรัส 2 สัปดาห์

เปรียบเทียบอิทธิพลของอัตราการใส่ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในชุดดินต่างๆ ต่อการจับตัวแน่นและความแข็งของดิน ดำเนินการโดยเตรียมสาร KH_2PO_4 และ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เท่ากัน คำนวณปริมาตรของสารละลาย KH_2PO_4 ที่จะทำให้ปริมาณของ P ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละทำการทดลอง และคำนวณปริมาตรของสารละลาย $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ที่จะให้ Ca พอดีในการเกิดปฏิกิริยากับ P

เป็น $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ พอดี นำ KH_2PO_4 ใส่ลงไปดิน คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นในทำการทดลองที่ใส่ Ca พร้อมกับ P เตรียมสารละลาย $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ตาม และคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง สำหรับตำรับที่ใส่ Ca ภายหลังทั้งช่วงเวลาไว้ 2 สัปดาห์ แล้วจึงเติมเติมสารละลาย $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ปรับความชื้นดินให้เป็น 75% ของ FC แล้วบ่มเป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำดินผสมมาอัดเป็นแท่งรูปทรงกระบอก ด้วยเครื่องอัดตัวอย่างดินของภาควิชาปฐพีวิทยา ดังแสดงใน

Figure 1

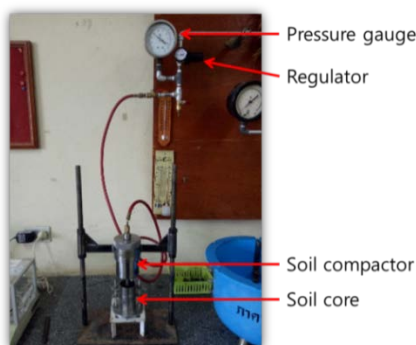


Figure 1 Soil compactor

ทำการอัดตัวอย่างดินโดยปรับความดันอากาศในเครื่องอัดตัวอย่างดินไปที่ 1.9 บาร์ ทำให้เกิดความดัน เท่ากับ 3 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ ความดันของล้อรถแทรกเตอร์บนผิวดิน ในการ

ประเมินความดันอากาศที่ต้องใช้ในกระบอกสูบเริ่มจากการคำนวณแรง (F) ที่กระทำต่อขาอัดตัวอย่างดิน (footing) ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 18 ตร.ซม. ตามสมการที่ 3

$$F = 3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 18\text{cm}^2 \times 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 529.2 \text{ N} \quad (3)$$

ในที่นี้ F คือแรงดันสุทธิที่ต้องกระทำบนผิวดตัวอย่างดินเพื่อสร้างความดันเท่ากับ 3 กก./ตร.ซม. แต่เนื่องจากภายในกระบอกสูบมีแรงต้านทานซึ่งติดมากับเครื่องอยู่ 2 แรง คือ แรงเสียดทานระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบและแรงต้านของสปริงซึ่งเป็นปฏิกิริยากับระยะทางการหดตัวของสปริง (ซึ่งในการทดลองนี้

พบว่าดิน (และสปริง) จะหดตัวในขณะที่ได้รับแรงอัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1 ซม.) ในการคำนวณแรงต้านจากแรงเสียดทานของกระบอกสูบและแรงต้านของสปริงซึ่งอยู่ในกระบอกเครื่องอัดตัวอย่างดิน ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงต้านทานรวม (R) กับระยะทางการเคลื่อนที่ (x) ได้ผลดังแสดงใน Figure 2

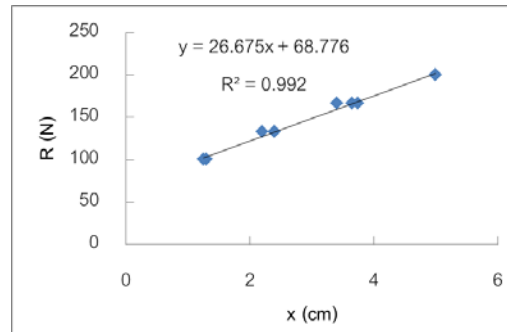


Figure 2 Relationship between resistance force and distance

จากภาพจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และ x เป็นไปตามสมการที่ 4

$$R = 26.675x + 68.776 \quad (4)$$

โดยในการทดลองนี้พบว่าระยะหยุดตัวของดินให้มีค่าประมาณ 1 ซม. ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณแรงต้านทานรวมจะมีค่าเท่ากับ 95.451 นิวตัน จากนั้นคำนวณแรงดันที่ใช้ในการอัดตัวอย่างดิน (P_c) จากผลรวมของแรงสุทธิที่ต้องการบนขาอัดตัวอย่าง

(สมการที่ 3) กับแรงต้านทานรวมของกระบอกสูบ (สมการที่ 4) เป็นค่าแรงรวม (F_T) และโดยที่กระบอกสูบมีพื้นที่หน้าตัด (A) เท่ากับ 0.0033 ตร.ม. ทำให้สามารถคำนวณแรงดันได้ตามสมการที่ 5

$$P_c = \frac{F_T}{A} = \frac{529.2 \text{ N} + 95.451 \text{ N}}{0.0033 \text{ m}^2} \times \frac{10^{-5} \text{ bar}}{1 \text{ Pa}} \approx 1.9 \text{ bar} \quad (5)$$

เมื่ออัดตัวอย่างดินเสร็จจึงนำตัวอย่างดินออกจากกระบอกอัดดินและวางทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการจนมีความชื้นเท่ากับ ความชื้นฝั่งแห้งดังแสดงใน Figure 3



Figure 3 Compacted soil samples

นำดินที่ฝั่งแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักหามวลดินฝั่งแห้ง (m) และทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) และความยาว (l) เพื่อนำมาคำนวณปริมาตรของดิน (V_b) ตามสมการที่ 6

$$V_b = \frac{\pi d^2 l}{4} \quad (6)$$

นำดินที่ผึ่งแห้งแล้วไปวัดความแข็งของดิน (MOR) ตามวิธีของ Ichiro and Renzo (1961) โดยใช้เครื่องวัดความแข็งของภาควิชาปฐพีวิทยาซึ่งใช้กระบอกสูบชุดเดิมกับที่ใช้ในการอัดตัวอย่างดินใน Figure 1 ร่วมกับ خاکดตัวอย่างขนาดกว้าง 5 cm ยาว

10 cm โดยวางตัวอย่างดินบนฐานรอง จากนั้นเปิดแรงดันเข้ากระบอกสูบเพื่ออัด footing ลงบนตัวอย่างดิน เพิ่มความดันอากาศขึ้นเรื่อยๆ บันทึกค่าความดันเมื่อหน้าตัดของตัวอย่างดินมีรอยแตก ดังแสดงใน Figure 4

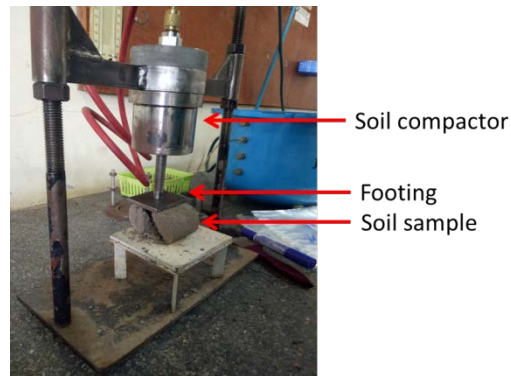


Figure 4 Modulus of rupture apparatus

จากนั้นคำนวณแรงกดที่ทำให้ตัวอย่างดินแตก (F_B) จากสมการที่ 7

$$F_B = PA - R$$

$$= 0.0033P - (26.675x + 68.776) \quad (7)$$

เมื่อ P คือความดันที่อ่านได้บนมาตรเมื่อตัวอย่างดินแตก A คือพื้นที่หน้าตัดกระบอกสูบ และ R คือแรงต้านทานรวมของกระบอกสูบเมื่อระยะหดตัวของสปริง (เท่ากับระยะทางการเคลื่อนที่ของ footing) เท่ากับ x นำค่าแรงกดขณะที่ตัวอย่างดินแตก (F_B) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) และความยาว (l) ของตัวอย่าง

ดินที่ได้จากการวัด ไปคำนวณค่า MOR ตามสมการที่ 1

เก็บตัวอย่างที่แตกแล้วไปวัดความชื้น (θ) แล้วนำค่ามวลผึ่งแห้ง (m) และปริมาตร (V_b) ไปคำนวณความหนาแน่นรวมของดิน ตามสมการที่ 8

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_b} = \frac{m/(1+\theta)}{V_b} \quad (8)$$

วิเคราะห์สถิติเปรียบเทียบอิทธิพลของค่าการทดลองต่อความหนาแน่นรวมและค่าความแข็งของดิน (MOR)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์สถิติเปรียบเทียบอิทธิพลของอัตราการใส่ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในดินซึ่งมีแร่

ดินเหนียวชนิดต่างๆ ต่อค่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินแสดงใน Table 1

Table 1 Statistical analysis of effect of soil type, level of phosphate and time of calcium application on soil bulk density and soil hardness (MOR)

Soil bulk density	P-value	Sig.
Soil type	0.000	**
P-rate	0.001	**
Ca	0.000	**
Soil type x P-rate	0.001	**
Soil type x Ca	0.000	**
P-rate x Ca	0.189	ns
Soil type x P-rate x Ca	0.104	ns
Soil hardness (MOR)	P-value	Sig.
Soil type	0.000	**
P-rate	0.000	**
Ca	0.000	**
Soil type x P-rate	0.000	**
Soil type x Ca	0.000	**
P-rate x Ca	0.003	**
Soil type x P-rate x Ca	0.005	**

จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ศึกษาทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับความหนาแน่นรวม พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินกับอัตราปุ๋ยฟอสเฟต และระหว่างชนิดของดินกับวิธีใส่แคลเซียม ซึ่งหมายความว่าผลของอัตราปุ๋ยฟอสเฟตและวิธีใส่แคลเซียมต่อความหนาแน่นรวมแตกต่างกันตามชนิดของดิน สำหรับความแข็งของดินพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ทั้งในระดับ 2 และ 3 ปัจจัย โดยพบว่าผลของอัตราปุ๋ยฟอสเฟตและวิธีการใส่แคลเซียมต่อความแข็งของดินแตกต่างกันตามชนิดของดินเหมือนกันกับความหนาแน่นรวม นอกจากนี้ยังพบว่ามี การตอบสนองต่อวิธีการใส่แคลเซียมที่ต่างกันตามอัตราปุ๋ยฟอสเฟตด้วย

อิทธิพลของชนิดดินต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินแสดงใน Figure 5 จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นรวมและความแข็งเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันทางสถิติตามชนิดของดิน งานทดลองชี้ว่าชุดดินลพบุรี (smectite) ให้ค่าทั้งสองสูงที่สุด รองลงมาคือชุดดินปากช่อง (sesquioxide), ชุดดินเซียงราย (kaolinite) และชุดดินกำแพงแสน (kaolinite) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแร่ดินเหนียว smectite มีพื้นที่ผิวและค่า CEC สูงกว่าแร่ชนิดอื่น จึงเป็นไปได้ว่าจุดเชื่อมยึดและปฏิกิริยาเชื่อมยึดสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่าในแร่ชนิดนี้เมื่อเทียบกับแร่ชนิดอื่น สำหรับดินเหนียวชนิด sesquioxide สามารถยึดเกาะได้ดีกับอนุมูลฟอสเฟตแต่มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่า smectite จึงมีความหนาแน่นและความแข็งรองลงมา

ส่วนแร่ดินเหนียวชนิด kaolinite ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะและค่า CEC ต่ำที่สุด จึงมีการเกาะยึดและเชื่อมแข็งต่ำที่สุด โดยชุดดินเซียงรายมีค่าความหนาแน่นและความแข็งสูงกว่าชุดดินกำแพงแสนเนื่องจากมีเนื้อดินเป็นดินร่วนทำให้เกิดการอัดตัวได้ง่ายกว่าดินทรายปน

ดินร่วนในชุดดินกำแพงแสน (Hang and Brindley, 1970 และ Jury *et al.*, 1991) และเห็นได้จากภาพเดียวกันว่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินมีความผันแปรที่สอดคล้องกัน กล่าวคือถ้าความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นความแข็งจะเพิ่มขึ้นตาม

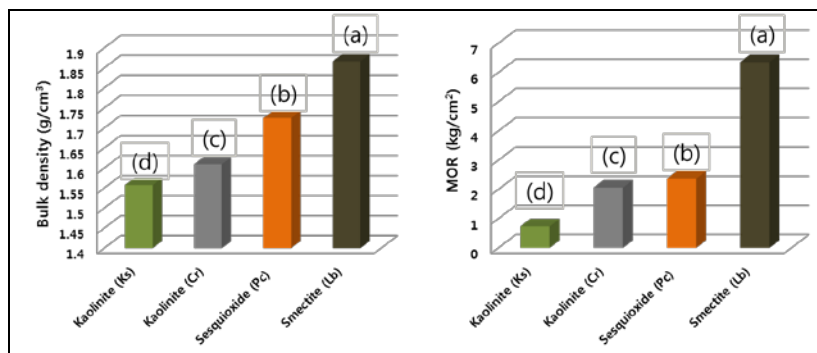


Figure 5 The effect of soil type on soil bulk density (left) and hardness (right) averaged across phosphate and calcium treatments

อิทธิพลของอัตราการใส่ฟอสฟอรัสต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินแสดงใน Figure 6 จากภาพเห็นได้ว่าความหนาแน่นและความแข็งของดินมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการใส่ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น การอัดตัวที่ลดลงเข้าใจว่าเกิดจากปุ๋ยฟอสเฟตทำให้อนุภาคดินจับตัวเป็นเม็ดเพิ่มขึ้นต้านทานการหดตัวของมวลดินด้วยแรงกตมี

ผลให้ความหนาแน่นของดินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wei *et al.* (2011) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ย NPK อย่างต่อเนื่องทำให้สัดส่วนของเม็ดดินขนาดโตกว่า 5 มม. และเล็กกว่า 0.25 มม. เพิ่มขึ้น การอัดตัวที่น้อยลงยอมทำให้ความแข็งของมวลดินลดลงเนื่องจากจุดสัมผัสภายในมวลดินลดลงซึ่งมีผลให้การเชื่อมยึดของอนุภาคและความแข็งของดินลดลง

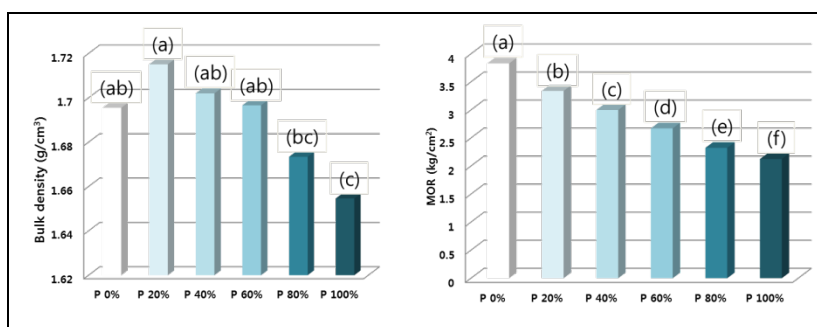


Figure 6 The effect of level of phosphate on soil bulk density (left) and hardness (right) averaged across soil type and calcium treatments

อิทธิพลของวิธีการใส่แคลเซียมต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินแสดงใน Figure 7 จากภาพเห็นได้ว่าการใส่แคลเซียมหลังการใส่ฟอสฟอรัส 2 สัปดาห์ ให้ค่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินสูงที่สุด และพบว่า การไม่ใส่แคลเซียมและการใส่แคลเซียมพร้อมกับการใส่ฟอสฟอรัสให้ผลค่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ เป็นไปได้ว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในที่นี้คือ KH_2PO_4 ลงไปในดินพร้อมกับแคลเซียมในที่นี้คือ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างปุ๋ยฟอสเฟตกับอนุมูลแคลเซียมเกิดเป็นสารประกอบ $\text{Ca}_3(\text{HPO}_4)_2$ ซึ่งไม่ละลายน้ำเป็นการลดกิจกรรมของแคลเซียมและฟอสเฟตในการทำ

ปฏิกิริยากับผิวอนุภาคดินทำให้การใส่สารทั้งสองชนิดมีผลต่อความหนาแน่นและความแข็งของดินที่ไม่ต่างจากตำรับควบคุม แต่การใส่แคลเซียมตามหลังปุ๋ยฟอสเฟตเป็นเวลา 2 สัปดาห์ นั้นเป็นไปได้ว่าอาจมีผลให้มีเวลาสำหรับอนุมูลฟอสเฟตในการเชื่อมตัวกับผิวอนุภาคดินและอนุมูลแคลเซียมที่ใส่ลงไปทีหลังทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมโยงระหว่างอนุมูลฟอสเฟตที่ดูดซับบนอนุภาคดินสองอนุภาคที่อยู่เคียงกัน ทำให้อนุภาคดินสามารถเชื่อมยึดกันได้แน่น ทำให้ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 1.74 กรัม/ลบ.ซม. และมีความแข็งเฉลี่ยสูงขึ้นถึง 3.12 กก./ตร.ซม. จนมีปัญหาด้านการแทรกซึมน้ำและการงอกของต้นกล้าตามที่ Jury and Horton (2004) ได้กล่าวไว้

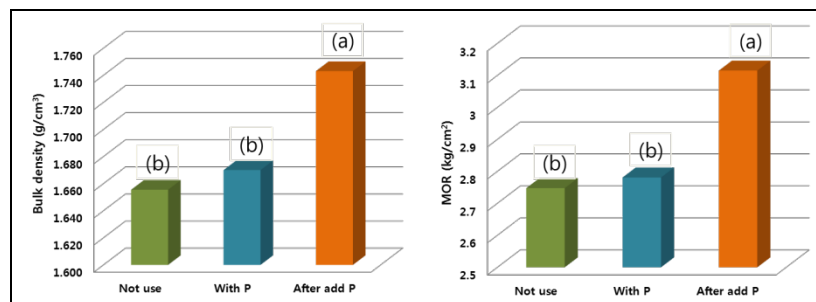


Figure 7 The effect of calcium application method on soil bulk density (left) and hardness (right) averaged across soil type and phosphate treatments

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองชี้ว่าดินที่มีแร่ดินเหนียวต่างชนิดกันมีผลทำให้การตอบสนองด้านความหนาแน่นและความแข็งของดินต่ออัตราปุ๋ยฟอสเฟตและวิธีการใส่แคลเซียมที่แตกต่างกัน โดยชุดดินลพบุรี (smectite) มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือชุดดินปากช่อง

(sesquioxide), ชุดดินเซียงราย (kaolinite) และชุดดินกำแพงแสน (kaolinite) ตามลำดับ ส่วนปัจจัยของอัตราการใส่ฟอสฟอรัสพบว่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินมีแนวโน้มลดลงตามอัตราฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปุ๋ยฟอสเฟตทำให้เกิดการเกาะตัวเป็นเม็ดดิน และการจับตัวเป็นเม็ดทำให้การอัดตัวและความแข็งลดลง และงานทดลองนี้พบว่าความแข็งของ

ดินผืนแปรสอดคล้องกับความหนาแน่นรวม สำหรับ ปัจจัยการใส่แคลเซียมพบว่า การใส่แคลเซียมพร้อมกับฟอสฟอรัสไม่ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของดินมีค่าแตกต่างกันกับการไม่ใส่แคลเซียม เนื่องจากแคลเซียมและฟอสเฟตเกิดปฏิกิริยาตกตะกอนเป็นแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งไม่ละลายน้ำและแยกตัวออกจากการทำปฏิกิริยากับดิน ส่วนการใส่แคลเซียมหลังจากใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นเวลา 2 สัปดาห์ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของดินสูงที่สุดเนื่องจากอิทธิพลร่วมของแคลเซียมและฟอสเฟตก่อให้เกิดการเชื่อมแน่นของอนุภาคเป็นมวลดิน ซึ่งมีผลให้ความหนาแน่นและความแข็งเพิ่มขึ้น งานทดลองนี้ชี้ว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตโดยทั่วไปไม่ได้ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของดินเพิ่มขึ้น แต่การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและมีการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนในภายหลังอาจจะมีผลให้ความหนาแน่นและความแข็งของดินเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ทำให้เกิดปัญหาการแทรกซึมน้ำและการงอกของกล้าพืชได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัยจากภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารอ้างอิง

กองสำรวจดิน. 2519. งานสำรวจดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 547 น.

Hang, P.T. and G. W. Brindley. 1970. Methylene blue absorption by clay minerals. Determination of surface areas and cation exchange capacities (clay-organic studies XVIII). Clays and Clay Minerals, Vol. 18: 203-212.

Jury, W.A., W.R. Gardner and W.H. Gardner. 1991. Soil physics. 5th Edition. John Wiley & Sons Inc, New York. 328 p.

Jury, W.A., and R. Horton. 2004. Soil physics. 6th Edition. John Wiley & Sons Inc, New York. 371 p.

Saarilahti, M. 2002. Soil interaction model. University of Helsinki, Not published. 43 p.

Uchida, I. and R. Matsumoto. 1961. On the test of the modulus of rupture of soil sample. Soils and Foundations Vol. 2 No. 1: 51-55.

Wei, W., C. Wei-cai, W. Kai-rong, X. Xiao-li., Y. Chun-mei and C. An-lei. 2011. Effects of long-term fertilization on the distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in water-stable aggregates in paddy soil. Agricultural Sciences in China. Vol. 10 Issue 12: 1932-1940.

Received 11 July 2017

Accepted 30 April 2018