

สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื้อปูนในประเทศไทย

Fertility Capability of Calcareous Soils in Thailand

ภาณุวัชร อูปถัมภานนท์ ณ์ัฐพล จิตมัตย์ และ ทิมทอง ดรุณสนธยา

Panuwat Auppathumpanont, Natthapol Chittamart and Timtong Darunsontaya

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: fagrnp@ku.ac.th

(Received: 27 November 2017; Accepted: 3 May 2018)

Abstract: Calcareous soil is an important soil resource for the production of cash crops in Thailand. Soil fertility capability classification system can indicate fertility status and important limitations of the soil to provide guidance for proper soil management. This study aims to analyze the soil properties and to classify the fertility capability of 5 representative calcareous soils in Lop Buri and Nakhon Sawan provinces. The study consists of describing morphology, soil physicochemical analyses based on standard methods, soil fertility evaluation, and classifying fertility capability of soils. The results showed that most of soils are clayey soil, alkaline, and having high cation exchangeable capacity, but low levels of available phosphorus and potassium, extractable zinc, and copper which were major fertility limitations of these soils. The evaluation of fertility levels of soils found that studied calcareous soils have a medium to high fertility level. Results of soil fertility capability classification revealed that calcareous soils have significant limitations e.g. highly swelling clay minerals (v), alkaline reaction (b), and low potassium reserve (k). Such alkaline reaction makes phosphorus and micronutrients especially zinc less soluble and unavailable to plant which is first priority for fertility management of Thai calcareous soils.

Keywords: Soil chemical limitation, soil fertility evaluation, fertility capability, calcareous soils

บทคัดย่อ: ดินเนื้อปูนเป็นทรัพยากรดินที่สำคัญสำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจในประเทศไทย ระบบการจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื้อปูนสามารถบ่งชี้ถึงสถานะความอุดมสมบูรณ์ และข้อจำกัดที่สำคัญของดิน เพื่อการจัดการดินได้อย่างเหมาะสม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมบัติของดินและจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื้อปูนตัวแทน จำนวน 5 บริเวณ ในจังหวัดลพบุรี และ นครสวรรค์ การศึกษาประกอบด้วย การทำคำอธิบายพื้นฐานวิทยาของดิน และการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทางฟิสิกส์-เคมี ตามวิธีมาตรฐาน และประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลการศึกษา พบว่า ดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีพีเอชเป็นด่างจัด และมีสมบัติด้านการแลกเปลี่ยนประจุสูง แต่มีสถานภาพด้านธาตุอาหาร คือ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ ธาตุสังกะสีและธาตุทองแดงอยู่ในระดับที่ต่ำซึ่งเป็นข้อจำกัดหลักด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินเหล่านี้ ผลการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่า ดินเนื้อปูนมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง และจากชั้นสมรรถนะของดิน พบว่า ดินมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ดินมีแร่ดินเหนียวที่ยึดติดตัวสูง (v) ดินเป็นด่างจัด (b) และมีธาตุโพแทสเซียมสำรองต่ำ (k) และดินเป็นด่างจัดทำให้ฟอสฟอรัสและธาตุอาหารเสริม โดยเฉพาะธาตุสังกะสีละลายได้น้อยและไม่เป็นประโยชน์สำหรับพืช ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญอันดับแรกในการจัดการดินเนื้อปูนของประเทศไทย

คำสำคัญ: ข้อจำกัดทางเคมีของดิน การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ ดินเนื้อปูน

คำนำ

ดินเนื้อปูนซึ่งเป็นดินที่มีการสะสมเกลือคาร์บอเนตอยู่ในปริมาณสูงทำให้ดินมีค่าพีเอชสูงทำให้การละลายได้ของธาตุอาหารพืชลดลง และดินส่วนใหญ่มีวัตถุต้นกำเนิดที่แตกต่างกัน เช่น หินปูน หินบะซอลต์ หินแอนดีไซต์ และตะกอนน้ำพาที่เป็นต่าง ดินเนื้อปูนในประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 800,000 ไร่ พบมากในเขตภาคกลางและเทือกเขาสูงตอนกลางของประเทศโดยกระจายอยู่มากในจังหวัด สระบุรี ลพบุรี และนครสวรรค์ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำฝนน้อยและอากาศแห้งยาวนาน (เอิบ, 2533) โดยดินเนื้อปูนกระจายทั่วโลกประมาณ 1,000 ล้านเฮกตาร์ โดยกระจายอยู่มากในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง (IUSS Working Group WRB, 2015) ดินเนื้อปูนในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ อาทิ ข้าวโพด อ้อย และพืชวงศ์ถั่วต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง และพืชมักแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสและจุลธาตุอาหาร เช่น ธาตุสังกะสี (จรรยาลักษณ์, 2559; Takrattanasaran *et al.*, 2013; Chittamart *et al.*, 2016) เนื่องจากมีปริมาณที่เป็นประโยชน์ของธาตุเหล่านี้ต่ำ การประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (fertility capability soil classification: FCC) (Sanchez *et al.*, 2003) เป็นระบบที่ประเมินสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่เป็น

ข้อจำกัดในการใช้ที่ดินเพื่อการปลูกพืช ในประเทศไทยได้มีการนำระบบการจำแนกชั้นสมรรถนะดินมาประเมินศักยภาพของดินอย่างแพร่หลาย (ลาวรรณ์ และคณะ, 2556; สุภัทรา และคณะ, 2558; พชรเพ็ญ และคณะ, 2558; มลิสสา และคณะ, 2559) และประยุกต์เพื่อประเมินข้อจำกัดและเสนอแนะแนวทางการจัดการดินเพื่อการปลูกพืชพืชเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานข้อมูลด้านสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื้อปูนในประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการใช้เป็นแนวทางการจัดการข้อจำกัดของดิน ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี ศักยภาพและแร่วิทยาของดินเนื้อปูนที่ใช้ทางการเกษตรของประเทศไทย และเพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์และจัดชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื้อปูน พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการจัดการดินตามชั้นสมรรถนะของดิน เพื่อลดข้อจำกัดทางธรรมชาติของดินให้ผลิตพืชได้อย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกดินเนื้อปูน จำนวน 5 พีดอน (pedon) ที่ใช้ทางการเกษตร (ภาพที่ 1) และมีพื้นที่กระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างสามารถใช้เป็นตัวแทนในการอธิบาย

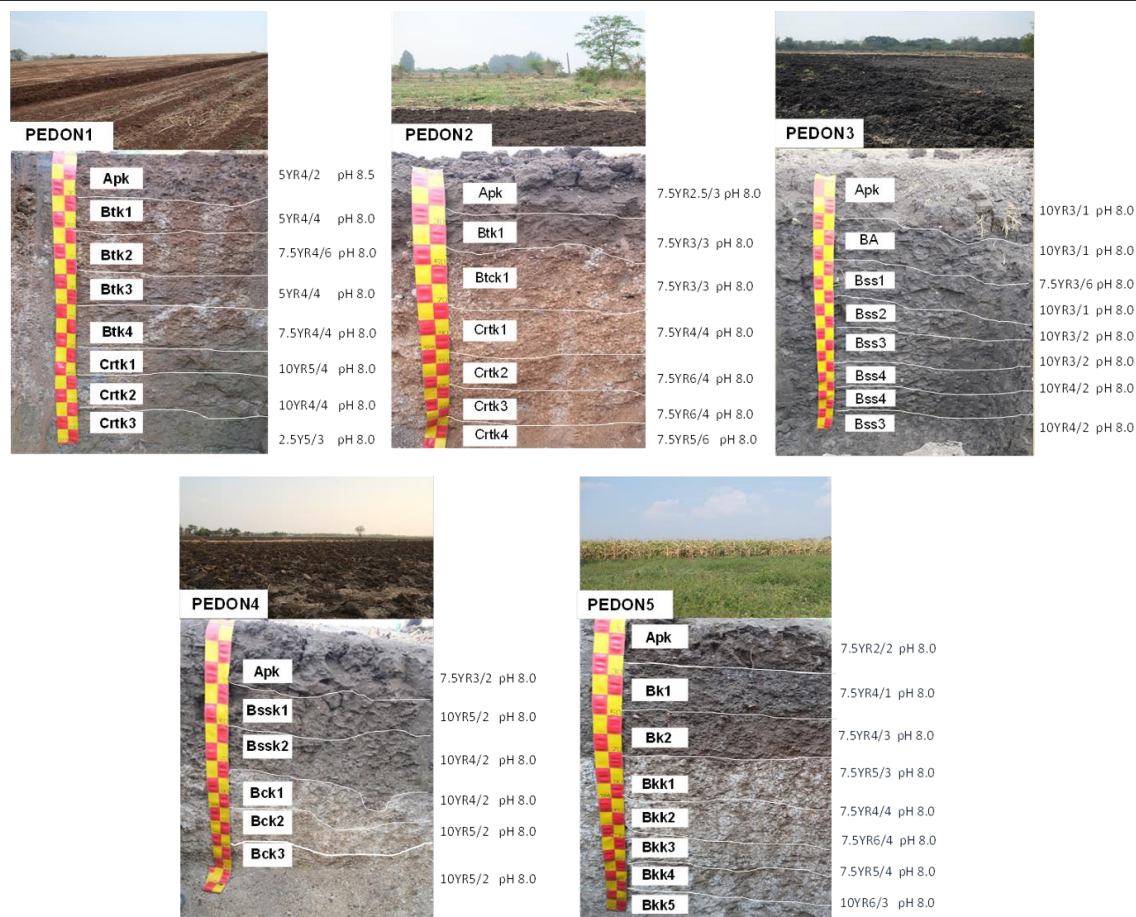


Figure 1. Profiles and field morphology of Thai calcareous soils

ลักษณะของดินเนื้อปูนได้ และศึกษาสัณฐานวิทยาสนามของดิน โดยการขุดหน้าตัดดิน กว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 2 เมตร แล้วทำคำอธิบายหน้าตัดดิน และเก็บตัวอย่างดินตามชั้นกำเนิดดินเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยตัวอย่างดินที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบเป็นตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน และไม่ถูกรบกวน ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนที่ได้ นำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่มบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดินทางฟิสิกส์และเคมี ตามวิธีมาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996) ประกอบด้วย การแจกกระจายอนุภาคดิน (sand, silt, clay) ความหนาแน่นรวม (BD) โดยวิธี core method และสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว (Ksat) โดยวิธี variable head สมบัติทางเคมี ประกอบด้วย พีเอชดิน อัตราส่วนดินต่อน้ำ (pH 1:1 H₂O) และสารละลาย 1 M CaCl₂ เท่ากับ 1:2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) โดยใช้ค่า

คาร์บอนอินทรีย์ (OC) คูณด้วย 1.724 ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total N) โดยวิธี Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) โดยการสกัดด้วยน้ำยาสกัด Olsen ซึ่งเหมาะสมสำหรับดินด่าง และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Avail. K) และปริมาณเบสที่สกัดได้สกัดด้วย 1 M NH₄OAc pH 7.0 ปริมาณกรดที่สกัดได้ (EA) ด้วยวิธี barium chloride triethanolamine pH 8.2 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โดยการชะแคตไอออนด้วยสารละลาย 1 M NH₄OAc pH 7.0 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (PBS) สมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (CCE) และความเข้มข้นของธาตุ Fe Mn Zn Cu ที่เป็นประโยชน์ โดยการสกัดด้วย 0.005 M DTPA วิเคราะห์ข้อมูล และประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ตามเกณฑ์การจัดชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เวอร์ชัน 4.0 (Sanchez *et al.*, 2003) (ตารางที่ 1) ซึ่งการจำแนก

Table 1. Some Identifying criteria for soil fertility capability classification version 4.0

Identifying criteria		Symbol ¹
<i>Fertility capability class</i>		
Surface soil texture (Type)		S,L,C,O
Subsurface soil texture (Substrata type)		S,L,C,O,R,R ⁻
<i>Selected Identifying criteria modifiers</i>		
1	>60% Al saturation within 50 cm	a
2	free CaCO ₃ within 50 cm (fizzing with HCl) or pH>7.3	b
3	pH<3.5 after drying : jarosite mottles with 2.5Y or yellower and chroma 6 or more	c
4	Ustic or xeric soil moisture regime ; dry>60 consecutive days/year	d
5	<4 cmol _c /kg soil as ECEC , 7 cmol _c /kg soil by sum of cations at pH 7	e
6	Aquic soil moisture regime ; mottles <2 chroma within 50 cm for surface	g
7	<10% weatherable minerals in silts and sand fraction with in 50cm, or siliceous mineralogy	k
8	>15% saturation of ECEC within 50 cm ; most Solonetz	n
9	>4 dS/m of saturated extract at 25 °C within 1 m	s
10	>35% clay and 50% of 2:1 expanding clays	v
11	Within 50 cm pH>10 (in 1M NaF)	x
12	Where desirable place range in % slope	%
13	<80% total organic C saturation in the topsoil compared with nearby undisturbed	m

¹Symbol; S = Sandy texture, L = loamy texture (<35 % clay but not loamy sand) C = clayey texture (>35% clay), O = organic soil (>12% of organic carbon), R = rock or other hard root-restricting layer, R⁻ = as R but layer can be ripped, plowed or blasted

Source: modified from Sanchez *et al.* (2003)

สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นการรวบรวมกลุ่มดินที่สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่เป็นปัญหาต่อการจัดการด้านการเกษตร โดยการจำแนกชนิดของดินบนและดินล่าง รวมทั้งข้อจำกัดต่าง ๆ ภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตร และระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กองสำรวจดิน, 2523)

ผลการทดลองและวิจารณ์

สภาพแวดล้อมและฐานฐานวิทยาสนามของดิน

สภาพแวดล้อมของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 5 บริเวณแจกกระจายอยู่ในจังหวัดลพบุรี (พืดอน 1, 2 และ 4) และจังหวัดนครสวรรค์ (พืดอน 3 และ 5) โดยดินทั้ง 5 พืดอน เป็นดินลิกถึงลิกมาก ดินมีการระบายน้ำดี พัฒนาอยู่บนสภาพภูมิประเทศเป็นลูกคลื่นลอนลาด ความลาดชันร้อยละ 2 และอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

36-108 เมตร (ตารางที่ 2) (ภาพที่ 1) โดยที่พืดอน 1 มีวัตถุต้นกำเนิดจากวัสดุตกค้างจากหินแอนดีไซต์ (residuum derived from andesite) มีพัฒนาการหน้าตัดดินเป็น Apk-Btk1-Btk2-Btk3-Btk4-Crtk1-Crtk2-Crtk3 พืดอน 2 มีวัตถุต้นกำเนิดจากตะกอนดาตเชิงเขาที่สลายตัวจาก หิน บ ะ ช อ ล ต์ (colluvium derived from basalt) มีพัฒนาการหน้าตัดดินเป็น Apk-Btk1-Btk2-Crtk1-Crtk2-Crtk3-Crtk4 พืดอน 3 มีวัตถุต้นกำเนิดจาก ตะกอนน้ำพา ที่องถิ่นสลายตัวจากหินปูน (alluvium derived from limestone) มีพัฒนาการหน้าตัดดินเป็น Apk-BA-Bss1-Bss2-Bss3-Bss4-Bss5-Bss6 พืดอน 4 มีวัตถุต้นกำเนิดจาก ตะกอนน้ำพาจากหินปูน (alluvium derived from limestone) มีพัฒนาการหน้าตัดดินเป็น Apk-Bssk1-Bssk2-Bck1-Bck2-Bck3 และ พืดอน 5 มีวัตถุต้นกำเนิดจาก ตะกอนน้ำพาวางทับบนชั้นของมาร์ล (alluvium over marl) มีพัฒนาการหน้าตัดดินเป็น Apk-Bk1-Bk2-Bkk1-

Table 2. Environmental settings of Thai calcareous soil

Pedon	Depth (cm)	Drainage	Permeability	Elevation (m)	Surrounding landform	Parent material
			Runoff			
1	200+	Well	moderate	108	Undulating	Residuum derived from andesite
		drained	slow	2		
2	200+	Well	slow	36	Undulating	Colluvium derived from basalt
		drained	slow	2		
3	200+	Well	rapid	90	Undulating	Local alluvium from limestone
		drained	slow	2		
4	150+	Well	rapid	43	Undulating	Local alluvium from limestone
		drained	slow	2		
5	200+	Well	moderate	68	Undulating	Alluvium over marl
		drained	moderate	2		

Bkk2-Bkk3-Bkk4-Bkk5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาสนามที่สำคัญของดินพบชั้นสะสมคาร์บอนเตภายในความลึก 100 เซนติเมตร และทุกพีดอนทำปฏิกิริยากับกรดเกลือแล้วเกิดฟองฟู ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากดินพัฒนาอยู่ในพื้นที่ที่มีวัตถุดิบกำเนิดที่เป็นต่าง นอกจากพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยและไม่เพียงพอในการชะละลายปูนลงไปในพื้นที่ดินที่ลึกลงไป โดยปูนที่สะสมส่วนใหญ่เป็นปูนแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเจือจางแล้วเกิดฟองฟูอย่างเด่นชัด และจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาสมบัติทางกายภาพ และ ทางเคมี ที่ทำการศึกษาทั้ง 5 พีดอน สามารถจำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Survey Staff, 2014) ได้ดังนี้ พีดอน 1 และ 2 จำแนกได้เป็น Calcic Argiustoll พีดอน 3 จำแนกได้เป็น Typic Haplustert พีดอน 4 จำแนกได้เป็น Calcic Haplustert และพีดอน 5 จำแนกได้เป็น Vertic Haplustoll

สมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของดินเนื้อปูนในประเทศไทย

การแจกกระจายอนุภาคดินตามความลึกของดิน (ภาพที่ 2) พบว่า อนุภาคทรายแป้งมีความผันแปรภายในหน้าตัดดิน และมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวลดลงตามความลึกของดิน ดินพีดอน 1, 2, 4 และ 5 มีการสะสมปูนคาร์บอเนตในชั้นดินล่างอย่างเด่นชัด และพบจับตัวกันเป็นก้อนขนาดอนุภาคทราย และปูนแทรกในเนื้อพื้นของดิน (soil matrix) ซึ่งทำให้ปริมาณดินเหนียวเหนียวลดลงในชั้นที่มีการสะสมปูน ส่วนพีดอน 3 พบมีการสะสมคาร์บอเนตในชั้นดินบน มีลักษณะเป็นดินเหนียวตลอด

หน้าตัดดินโดยอนุภาคดินเหนียวมีปริมาณสม่ำเสมอและเพิ่มสูงในดินล่าง แม้ว่าดินพีดอน 3 จะไม่พบการสะสมปูนแต่ดินมีพีเอชสูง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่เคยใช้ทำนาข้าวซึ่งมีการขังน้ำทำให้ปูนละลายออกไปจากดิน ส่วนความหนาแน่นรวมของดินและสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวพบว่า ความหนาแน่นรวมดินบนอยู่ในระดับต่ำ มีค่าพิสัยในช่วง 0.96-1.61 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 3a) ส่วนดินล่างอยู่ในระดับต่ำ มีค่าพิสัยในช่วง 0.98-1.47 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดินมีสภาพน้ำขณะอิ่มตัวอยู่ในระดับต่ำมาก มีค่าพิสัยในช่วง 0.012-0.027 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนดินล่างอยู่ในระดับต่ำมาก มีค่าพิสัยในช่วง 0.008-0.013 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 3b) การนำน้ำของดินจะสอดคล้องกับเนื้อดินและความหนาแน่นรวมของดิน อย่างไรก็ตามดินเนื้อปูนที่ศึกษาส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวและแร่ดินเหนียวเป็นกลุ่มที่ยึดเหนี่ยวได้เมื่ออยู่ในสภาวะเปียกน้ำทำให้ดินมีช่องว่างขนาดเล็กเพิ่มขึ้นส่งผลให้การระบายน้ำได้ช้าลง แต่การที่ดินมีความหนาแน่นรวมต่ำเป็นผลเนื่องมาจากดินมีฟองปูนแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งทำให้ดินมีโครงสร้างดินดีมีช่องว่างขนาดใหญ่มากขึ้นทำให้สัดส่วนมวลดินต่อปริมาตรรวมของดินลดลง นอกจากนี้ดินที่มีปูนในปริมาณมากจะทำให้มวลของดินลดลงด้วย

สมบัติทางเคมีของดินเนื้อปูน พบว่า ดินเป็นด่างเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง พีเอชที่วัดด้วยน้ำอยู่ในพิสัย 7.3-8.4 (ภาพที่ 4a) และพีเอชที่วัดด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีค่าเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย มีค่าพิสัยในช่วง 7.2-8.0

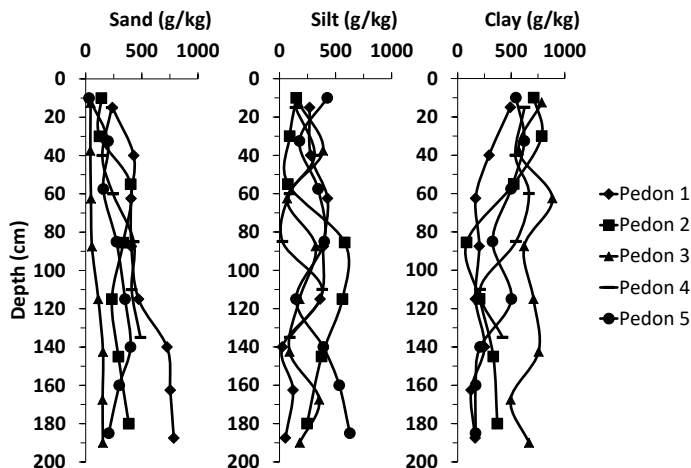


Figure 2. Particle size distributions of Thai calcareous soils

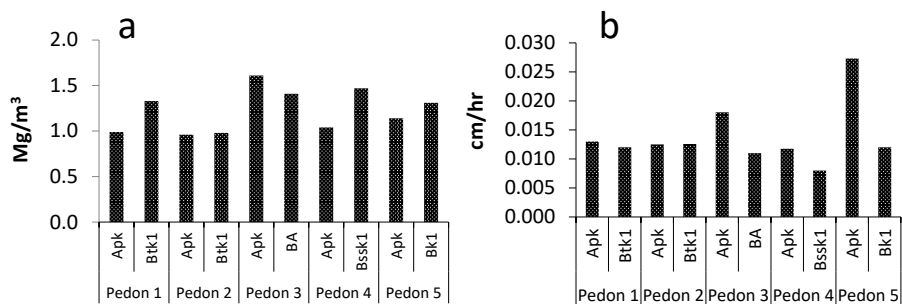


Figure 3. Bulk density (a) and saturated hydraulic conductivity (Ksat) (b) of Thai calcareous soils

และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก (ภาพที่ 4b) ค่าพีเอชที่สูงพบในชั้นดินที่เกิดอิทธิพลของปูนที่สะสมอยู่ในชั้นดินล่าง นอกจากนี้ ค่าพีเอชที่วัดด้วยน้ำมีค่ามากกว่าแคลเซียมคลอไรด์ แสดงให้เห็นว่า ดินมีค่าประจุสุทธิรวมเป็นลบ ซึ่งแสดงถึงดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวกสูงกว่าธาตุประจุลบ

สมบัติด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าต่ำมากถึงสูงปานกลาง มีค่าพิสัยในช่วง 0.01-32.43 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4c) โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินบนมีค่าสูงกว่าดินล่างและลดลงตามความลึก สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนรวม ซึ่งดินมีความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมในระดับต่ำถึงสูงมาก พิสัยในช่วง 0.60-3.05 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4d) และมีค่าลดลงตามความลึก ยกเว้นดินพีคตอน 4 มีค่าไนโตรเจนสูงในชั้นดินที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ เช่น ราก และเศษพืช ซึ่งถูกชะละลายลงไปสะสมในชั้นดินตามช่องแตกกระแหง

แสดงให้เห็นว่า อินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนในดิน

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Olsen ในระดับต่ำมากถึงสูงมากในดินเนื้อปูนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.02-121.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4e) และส่วนใหญ่มีค่าสม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ยกเว้น ชั้นดินบนของพีคตอน 3 ที่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก (121.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เนื่องจากในพื้นที่เก็บตัวอย่างมีการปลูกพืชและใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องทำให้ฟอสฟอรัสตกค้างในดินปริมาณสูง อย่างไรก็ตามดินเนื้อปูนส่วนใหญ่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ มีสาเหตุจากธาตุฟอสฟอรัสจะละลายได้ดีในสภาวะที่ดินเป็นด่างจัด และอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งเป็นรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (Curtin and Syers, 2001; Jalali and Jalali, 2016; Zhang *et al.*, 2014) เช่นเดียวกันกับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก มีค่าพิสัยในช่วง 3.8-301.5 มิลลิกรัม

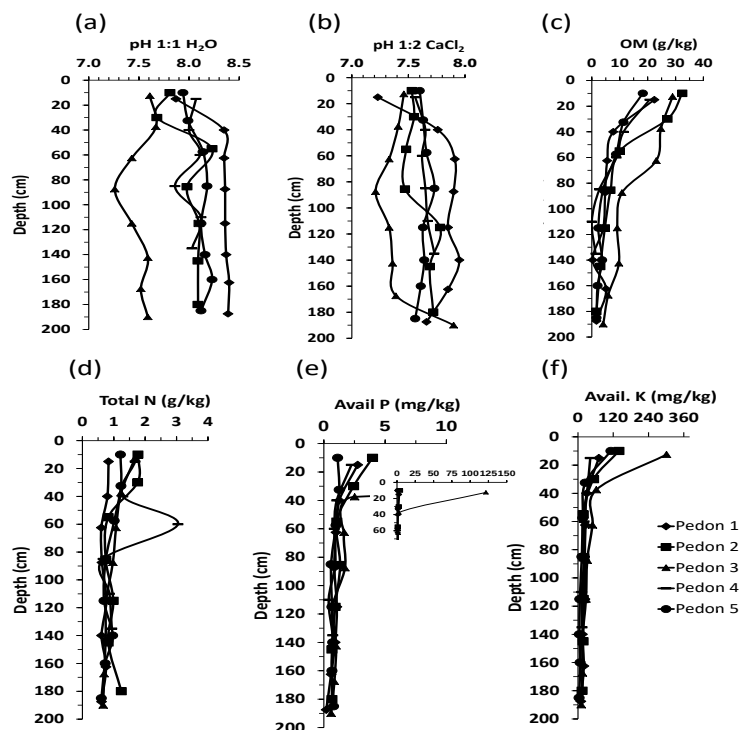


Figure 4. Nutrient statuses of Thai calcareous soils

ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4f) โดยมีปริมาณสูงในชั้นดินบนและมีค่าต่ำชั้นดินล่าง และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าสูงอยู่ในชั้นดินบนของดินฟีดอน 3 ซึ่งเป็นผลเนื่องจากโพแทสเซียมที่หลงเหลือจากการใส่ปุ๋ยในช่วงของการปลูกพืช ซึ่งผลการศึกษาแร่ธาตุของอนุภาคทรายแป้งไม่พบแร่ในกลุ่มเฟลด์สปาร์และไมกาซึ่งเป็นแหล่งของโพแทสเซียมในดิน และในดินชั้นล่างที่มีการสะสมปูนซึ่งมีแคลเซียมและแมกนีเซียม สังเกตได้จากดินมีเบสที่แลกเปลี่ยนได้สูง (sum bases) ใน ภาพที่ 5c ซึ่งธาตุทั้งสองมีวาเลนซ์สูงกว่าโพแทสเซียม ทำให้เกิดการไล่ที่ของโพแทสเซียมและถูกชะออกไปจากดินได้ ทำให้ดินมีปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ ซึ่ง López *et al.* (2017) รายงานว่า ดินที่มีค่าสัดส่วนของ Mg/K Ca/K และ (Ca+Mg)/K สูง บ่งชี้ถึงความไม่สมดุลของธาตุต่างในดิน ทำให้ดินขาดโพแทสเซียมได้

สมบัติด้านการแลกเปลี่ยนประจุของดินเนื้อปูนพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดิน อยู่ในพิสัยในช่วง 0.01-

0.55 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (ภาพที่ 5a) ซึ่งดินส่วนใหญ่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 4 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ในดินทุกบริเวณและทุกชั้นดิน ความผันแปรของค่าการนำไฟฟ้าเป็นผลเนื่องจากดินมีค่าเบสรวมสูง และเบสส่วนใหญ่อยู่ในรูปคาร์บอเนต ซึ่งเห็นได้จากดินมีค่าสมมูลย์ของแคลเซียมคาร์บอเนตสูง (CCE) (ภาพที่ 5b และภาพที่ 5c) และมีปริมาณที่แตกต่างกันในชั้นดินโดยปริมาณมากในชั้นดินล่างแคลซิก (Bk) ทำให้ธาตุที่เป็นต่างโดยเฉพาะแคลเซียมมีความเข้มข้นมากในพื้นที่ผิวที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเป็นธาตุอเล็กโทรไลต์ที่นำไฟฟ้าได้ต่ำกว่าธาตุโซเดียมและโพแทสเซียม ทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ แสดงให้เห็นว่า ดินเนื้อปูนที่ศึกษาไม่ถือว่าเป็นดินที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากเกลือและไม่เป็นดินเค็ม ด้านความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือ CEC พบว่า ดินเนื้อปูนมีค่า CEC อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก มีค่าพิสัยในช่วง 11.2-60.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 5d) โดยค่า CEC มีค่าสูงในชั้นดินบนและลดลงในชั้นดินล่าง เนื่องจากดินบนมีปริมาณของดินเหนียวสูงกว่าดินล่าง และดินล่างมีปริมาณของปูน

แคลเซียมคาร์บอเนตสูงทำให้ ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำลง

สถานะภาพของธาตุอาหารเสริมที่เป็นประโยชน์ตามความลึกในดินเนื้อปูน (ภาพที่ 6) พบว่า ความเข้มข้นของธาตุหลักที่สกัดด้วย DTPA มีค่าอยู่ในพิสัยของดินบนเท่ากับ 3.97-14.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินล่างเท่ากับ 1.29-9.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 6a) ธาตุแมงกานีส มีค่าอยู่ในพิสัยของดินบนเท่ากับ 18.03-31.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินล่างเท่ากับ 4.31-48.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 6b) ส่วนความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมีค่าอยู่ในพิสัยของดินบนเท่ากับ 0.07-2.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินล่างเท่ากับ 0.11-0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 6c) ส่วนการแจกกระจาย

ของธาตุทองแดง มีค่าอยู่ในพิสัยของดินบน เท่ากับ 0.87-3.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินล่างเท่ากับ 0.13-3.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 6d) โดยทุกธาตุอาหารเสริมมีค่าความเข้มข้นสูงในชั้นดินบนและมีค่าต่ำในชั้นดินล่าง ซึ่งเป็นชั้นที่มีการสะสมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงให้เห็นว่า ในชั้นดินที่มีการสะสมปูนแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้จุลธาตุอาหารละลายได้น้อย และตกตะกอนร่วมกับสารประกอบคาร์บอเนตและสารประกอบออกไซด์ในดิน (Al Jaloud *et al.*, 2013) เมื่อพิจารณาเทียบกับระดับค่าวิกฤตของธาตุทั้ง 4 พบว่า ดินเนื้อปูนมีความเข้มข้นของธาตุหลัก แมงกานีส และทองแดง โดยเฉพาะในดินบนมีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต โดยค่าวิกฤตของธาตุหลัก < 4.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าวิกฤตของธาตุแมงกานีส

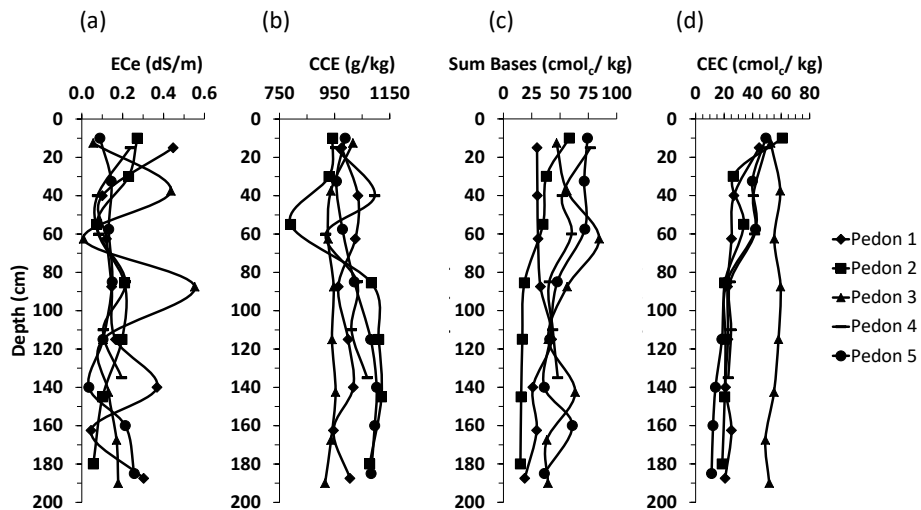


Figure 5. Exchange properties of Thai calcareous soils

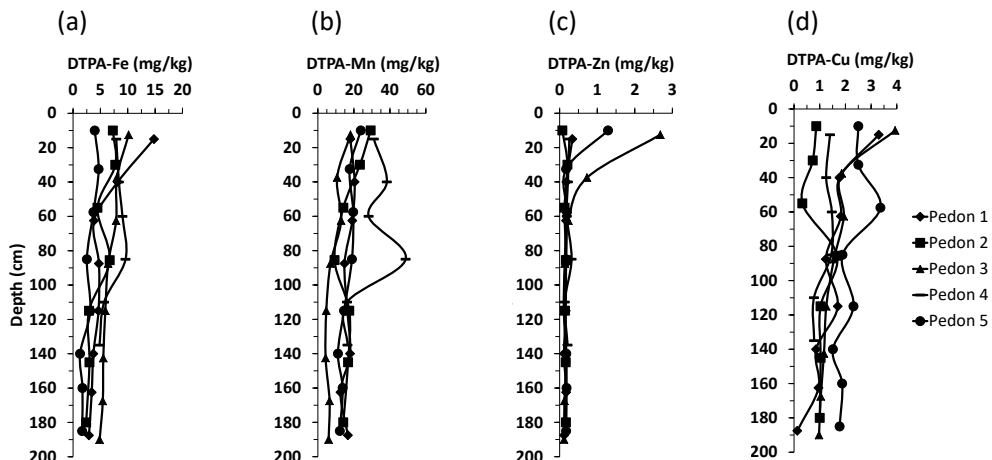


Figure 6. Micronutrients status of Thai calcareous soils

< 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าวิกฤตของธาตุทองแดง < 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Sharma *et al.*, 2006) ส่วนธาตุสังกะสี พบว่า ดินเนื้อปูนส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีต่ำกว่าค่าวิกฤต (<1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นดินบนของดินพืดอน 5 และ 3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า ดินเนื้อปูนมีโอกาสขาดธาตุสังกะสีมากกว่าจุลธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งจากการศึกษาของจรรยาลักษณ์ (2559) พบว่า ความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสี ทองแดงและเหล็ก สัมพันธ์กับรูปที่ทำพันธะกับอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อย่างมีนัยสำคัญ และแนะนำให้เพิ่มอินทรีย์วัตถุร่วมกับปุ๋ยจุลธาตุในดิน เพื่อส่งเสริมการละลายได้ และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ โดยเฉพาะธาตุสังกะสี ทองแดง และเหล็ก สำหรับพืชที่ปลูกในดินเนื้อปูนได้นอกจากนี้ธาตุสังกะสีเป็นธาตุที่ควรพิจารณาในการจัดการเป็นอันดับแรกเนื่องจากมีปริมาณสำรองในดินต่ำและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Chittamart *et al.*, 2016)

แร่องค์ประกอบในอนุภาคขนาดดินเหนียวและทรายแป้งของดินเนื้อปูน

องค์ประกอบของแร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งในชั้นดินตัวแทน (ตารางที่ 3) ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า ในอนุภาคขนาดดินเหนียว ดินทุกพืดอนมีแร่ดินเหนียวสเมกไทต์เป็นแร่เด่น (> 60เปอร์เซ็นต์) มีแร่เคลไอลินต์ปริมาณน้อยในพืดอนที่ 1 2 และ 3 (5-20 เปอร์เซ็นต์) และมีแร่ควอตซ์ปนปริมาณเล็กน้อย (<5 เปอร์เซ็นต์) โดยแร่ควอตซ์ที่พบน่าจะอยู่ในส่วนอนุภาคทรายแป้งละเอียดที่ปนอยู่กับแร่ดินเหนียวซึ่งไม่สามารถแยกออกจากกันได้ด้วยวิธีการ

ตกตะกอน ส่วนองค์ประกอบแร่ในอนุภาคทรายแป้ง ดินเนื้อปูนทุกพืดอนมีปริมาณแร่แคลไซต์เป็นแร่เด่นในดินพืดอน 1 2 4 และ 5 โดยพบแร่ควอตซ์ปนอยู่ด้วย ยกเว้นดินพืดอน 3 ซึ่งมีแร่ควอตซ์เป็นแร่เด่น โดยไม่พบแร่แคลไซต์ แร่แคลไซต์ที่พบส่วนใหญ่พบในชั้นดินที่มีการสะสมปูน (Bk) และแสดงให้เห็นว่า ปูนที่สะสมในดินนั้นเป็นแร่แคลไซต์ (CaCO₃) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดิน แสดงให้เห็นว่า ดินเนื้อปูนที่ศึกษามีพัฒนาการปานกลาง และดินมีปริมาณเบสสูง เป็นสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเกิดแร่ดินเหนียวสเมกไทต์ และการสะสมปูนในหน้าตัดดินนั้นเกิดจากดินมีวัตถุต้นกำเนิดที่มีแคลเซียมสูงประกอบกับดินพัฒนาอยู่ในบริเวณน้ำฝนน้อย และมีสภาพอากาศแห้งแล้งยาวนาน (Emadi *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2016)

ระดับความอุดมสมบูรณ์และชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื้อปูน

จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ตารางที่ 4) พบว่า ดินเนื้อปูนที่ทำการศึกษาทุกพืดอน มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลางทั้งดินบนและล่าง โดยพบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้ ชั้นดินล่างของดินเนื้อปูนที่ศึกษามีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื้อปูนที่ศึกษา แต่อย่างไรก็ตาม ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง เนื่องจากดินมีแร่ดินเหนียวสเมกไทต์ซึ่งมีประจุลบอยู่สูงบริเวณผิวของแร่ดินเหนียว (Chittamart *et al.*, 2010) และร้อยละความอิ่มตัวเบส

Table 3. Semi-quantitative mineralogical of clay and silt fractions of Thai calcareous soil estimated by XRD

Pedon	Horizon /Depth	Clay fraction					Silt fraction	
		Kao	Ill	Smec	Vm	Qtz	Qtz	Cal
Pedon 1	Btk2/50-75	x	-	xxxx	-	tr	xx	xxx
Pedon 2	Btck1/40-70	tr	-	xxxx	-	-	x	xxxx
Pedon 3	Bss1/50-75	tr	-	xxxx	-	-	xxxxx	-
Pedon 4	Bck1/70-100	-	-	xxxx	-	tr	xxx	xxxx
Pedon 5	Bk2/45-70	-	-	xxxx	-	x	xxx	xxx

Remarks: xxxx = Dominant (> 60%), xxx = Large (40-60%), xx = Moderate (20-40%), x = Small (5-20%), tr = trace (< 5%), - = non-detectable, Smec = smectite, Kao = kaolinite, Vm = vermiculite, Ill = illite, Qtz = quartz, Cal = calcite

ทุกพืดอนอยู่ในระดับปานกลางทุกพืดอน ทำให้ดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง

ผลการจำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า ดินที่ทำการศึกษามีได้เป็นหน่วย FCC ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ชั้นสมรรถนะของชนิดดิน (type) และ (substrata type) ของดินเนื้อปูนส่วนใหญ่เป็น C คือเนื้อดินบนและดินล่าง เป็นดินเหนียว ยกเว้นดินล่างของพืดอนที่ 1 ที่เนื้อดินล่าง เป็น L คือเป็นดินร่วน และดินมีข้อจำกัด (modifiers) ที่สำคัญ คือ ดิน

เป็นต่างจัดมีพีเอชสูงกว่า 7.3 (b) ดินทุกพืดอนมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ ดินมีแร่ดินเหนียวที่ยึดหดรตัวสูง (v) หรือเป็นดินที่มีแร่ดินเหนียวสเมกไทต์เป็นแร่เด่น และดินมีโพแทสเซียมสำรองต่ำ (exchangeable K <0.2 cmol_c/kg) (k) โดยเฉพาะพืดอน 1 และ 4 นอกจากนี้ดินเนื้อปูนที่มีปริมาณแคลเซียมในดินสูงทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุโพแทสเซียมและลดความเป็นประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียมในดินเหล่านี้ได้ และจากการที่ดินมีข้อจำกัดที่ดินเป็นต่างจัด ทำให้ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็น

Table 4. Fertility level of Thai calcareous soils

Soils	Horizons (cm)	OM ¹ (g/kg)	Avail. P ² (mg/kg)	Avail. K ³ (mg/kg)	CEC ⁴ (cmol _c /kg)	PBS ⁵ (%)	Total score	Fertility level
Pedon 1	Topsoil ^{6/}	22.43 (2)	2.76 (1)	71.06 (2)	44.6 (3)	42.27 (2)	10	medium
	Subsoil ^{7/}	7.7 (1)	0.9 (1)	30.1 (1)	22.9 (3)	43.17 (2)	8	medium
Pedon 2	Topsoil	32.43 (2)	3.98 (1)	139.4 (3)	60.8 (3)	55.06 (2)	11	medium
	Subsoil	18.56 (2)	1.97 (1)	35.61 (1)	30.1 (3)	67.51 (2)	9	medium
Pedon 3	Topsoil	28.96 (2)	121.54 (3)	301.5 (3)	52.6 (3)	50.78 (2)	13	high
	Subsoil	24.77 (2)	2.52 (1)	62.2 (2)	59.4 (3)	54.14 (2)	10	medium
Pedon 4	Topsoil	20.69 (2)	2.25 (1)	41.8 (1)	49.3 (3)	65.47 (2)	9	medium
	Subsoil	11.38 (1)	1.06 (1)	30.8 (1)	40.4 (3)	56.78 (2)	8	medium
Pedon 5	Topsoil	18.27 (2)	1.13 (1)	112.4 (3)	49.3 (3)	62.00 (2)	11	medium
	Subsoil	11.04 (1)	1.21 (1)	20.75 (1)	40.95 (3)	62.01 (2)	8	medium

¹OM = organic matter, ²Avail P = available phosphorus by Olsen extractant, ³Avail K = available potassium, ⁴CEC = cation exchange capacity,

⁵PBS = base saturation percentage, ⁶Topsoil = Ap, ⁷Subsoil = base of Ap or from 20 to 60 cm. Scoring is used for the assessment of fertility level (the score is presented in blanket within the table) where score ≤ 7 = fertility level is low, 8-12 = fertility level is medium, ≥ 13 fertility level is high

Table 5. Fertility capability classification of calcareous soils in this study

Pedon	Horizon ¹ (cm)	Texture	2:1 expanding clay	pH 1:1 H ₂ O	K reserve ² (cmol _c /kg)	FCC unit ³
Pedon 1	Topsoil	Clay	>50%	7.9	0.18	CLvbk
	Subsoil	Clay loam	>50%	8.4	0.08	
Pedon 2	Topsoil	Clay	>50%	7.8	0.36	Cvb
	Subsoil	Clay	>50%	7.8	0.10	
Pedon 3	Topsoil	Clay	>50%	7.6	0.77	Cvb
	Subsoil	Clay	>50%	7.7	0.16	
Pedon 4	Topsoil	Clay	>50%	8.0	0.11	Cvbk
	Subsoil	Clay	>50%	8.0	0.08	
Pedon 5	Topsoil	Silty Clay	>50%	7.9	0.29	Cvb
	Subsoil	Clay	>50%	8.1	0.05	

¹Topsoil = Ap or 0-20 cm, Subsoil = horizon under Ap or 20-50/60 cm depth interval,

²K reserve = exchangeable K were determined by ammonium acetate extraction (1 M NH₄OAc) at pH 7.0,

³FCC unit= fertility capability classification unit, C = Clayey, L = Loamy, b = free CaCO₃ within 50 cm (fizzing with HCl) or pH >7.3, v = >35% clay and 50% of 2:1 expanding clays, k = exchangeable K < 0.20 cmol_c/kg

ประโยชน์และธาตุอาหารเสริม จำพวกธาตุสังกะสีและธาตุทองแดงต่ำ สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ดินมีความเป็นด่างจัด ทำให้ธาตุเหล่านี้ละลายได้น้อยลงสอดคล้องกับการศึกษาธรณีเคมีและการดูดซับของธาตุสังกะสีในดินเนือปุ่นของประเทศไทย ของ Chittamart *et al.* (2016) ซึ่งรายงานไว้ว่า พีเอชมีผลต่อรูปทางเคมีของธาตุสังกะสีในสภาวะสมดุล และสามารถตกตะกอนเป็นรูปที่ละลายได้ยาก ทำให้พืชที่ปลูกในดินเนือปุ่นขาดธาตุสังกะสี ฉะนั้นแนวทางการจัดการดินเนือปุ่นจึงควรเพิ่มเติมธาตุโพแทสเซียม ธาตุฟอสฟอรัสและธาตุสังกะสีเป็นอันดับแรก ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีชีวมวลสูง (ภณกฤต และคณะ, 2560; ชาญยุทธ และคณะ, 2560) ซึ่งเป็นรูปที่สามารถปลดปล่อยธาตุเหล่านี้ออกให้พืชใช้ได้

สรุป

ดินเนือปุ่นที่ทำการศึกษาคือดินลึกถึงลึกมาก ดินมีการระบายน้ำดี พัฒนาอยู่บนสภาพภูมิประเทศเป็นลูกคลื่นลอนลาด พัฒนาจากวัตถุดิบกำเนิดที่เป็นวัสดุตกค้างจากหินแอนดีไซต์ บะซอลต์ ตะกอนน้ำพาของหินปูน และมาร์ล ดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีพีเอชเป็นด่างจัด และมีสมบัติด้านการแลกเปลี่ยนประจุและเบสสูง เป็นผลจากดินมีแร่ดินเหนียวสเมกไทต์เป็นแร่เด่น แต่มีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ รวมถึงธาตุสังกะสีและธาตุทองแดงที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าวิกฤต ดินเนือปุ่นมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง โดยดินมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ดินเป็นด่างจัด (b) ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสและธาตุอาหารเสริมไม่เป็นประโยชน์ต่ำ และดินมีธาตุโพแทสเซียมสำรองต่ำ (k) ดังนั้นการจัดการด้านความอุดมสมบูรณ์และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเสริมจะทำให้ดินเนือปุ่นมีสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์สูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(สวพ. มก.) รหัสโครงการ (ก-ช(ด)22.58) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

เอกสารอ้างอิง

- กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการเล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ. 76 หน้า.
- จรรยาภรณ์ อื่นคำ. 2559. ธรณีเคมีและลักษณะการดูดซับธาตุสังกะสี ทองแดง เหล็ก และแมงกานีสในดินเนือปุ่นของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 117 หน้า.
- ชาญยุทธ รัตนพรหมมณี กวิพร จินะจันตา และ อรพรรณ ฉัตรสิริรุ่ง. 2560. ผลของลีโอนาร์โดต์ต่อการปรับปรุงคุณภาพดินและผลผลิตข้าว. วารสารเกษตร 33(2): 215-224.
- พรพัญญู โมระกรานต์ ณ์ัฐพล จิตมาตย์ และ เสาวนุชถาวรพฤษ. 2558. สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเวอร์ทิกซอลส์ที่ดอนในประเทศไทย. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 2(4): 61-72.
- ภณกฤต อุ่นพิพัฒน์ ณ์ัฐพล จิตมาตย์ และ เสาวนุชถาวรพฤษ. 2560. การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุสังกะสีด้วยซิงค์ชีวเมทที่เตรียมจากพืชสำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเนือปุ่น. เกษตร 46(ฉบับพิเศษ 1): 301-307.
- มลิสา ยกถาวร เสาวนุชถาวรพฤษ และ ณ์ัฐพล จิตมาตย์. 2559. การจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรบนพื้นที่ลาดเขา: กรณีศึกษาบริเวณอำเภอเขียงม่วน จังหวัดพะเยา. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 3(1): 30-40.
- ลาวรรณ์ พริ้มสุข เสาวนุชถาวรพฤษ และ เอิบ เขียวรินทร์. 2556. การประเมินคุณภาพดินเพื่อใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักส่วนที่ 2 จังหวัดเพชรบูรณ์. เกษตร 41(ฉบับพิเศษ): 137-146.

- สุภัทรา หลวงทะ ญัฐพล จิตมัตย์ และ เสาวนุช ถาวร
พฤกษ์. 2558. การประเมินศักยภาพทาง
การเกษตรของดินเวอร์ทิกซอลส์ที่ปลูกข้าวของ
ประเทศไทย. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์
2(4): 40-51.
- เลียบ เขียววันมณ. 2533. ดินของประเทศไทย: ลักษณะ
การแจกกระจาย และการใช้. ภาควิชา
ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 649 หน้า.
- Al Jaloud, A.A., M.A. Al Rabhi and I.I. Bashour.
2013. Availability and fractionation of trace
elements in arid calcareous soils. Emirates
Journal of Food and Agriculture 25(9): 702-712.
- Chittamart, N., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne
and R.J. Gilkes. 2010. Layer-charge
characteristics of smectite in Thai Vertisols.
Clays and Clay Minerals 58: 247-262.
- Chittamart, N., J. Inkam, D. Ketrot and T.
Darunsontaya. 2016. Geochemical
fractionation and adsorption characteristics
of zinc in Thai major calcareous soils.
Communications in Soil Science and Plant
Analysis 47(20): 2348-2363.
- Curtin, D. and J.K. Syers. 2001. Lime-induced
changes in indices of soil phosphate
availability. Soil Science Society of America
Journal 65(1): 147-152.
- Emadi, M., M. Baghernejad, H. Memarian, M. Saffari
and H. Fathi. 2008. Genesis and clay
mineralogical investigation of highly
calcareous soils in semi-arid regions of
Southern Iran. Journal of Applied Sciences
8(2): 288-294.
- Ferreira, E.P., L.H.C. dos Anjos, M.G. Pereira, G.S.
Valladares, R. Cipriano-Silva and A.C. de
Azevedo. 2016. Genesis and classification
of soils containing carbonate on the Apodi
Plateau, Brazil. Revista Brasileira de Ciência
do Solo 40 (e0150036): 1-20.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference
Base for Soil Resources 2014, update 2015
International soil classification system for
naming soils and creating legends for soil
maps. World Soil Resources Reports No.
106. FAO, Rome. 192 p.
- Jalali, M. and M. Jalali. 2016. Minerals control
phosphorus solubility in long-term-cultivated
calcareous soils. Soil Research 50(2):182-
190.
- López Martinez, C.J., A. Echeverri and J.C. Menjivar
Flores. 2017. Spatial distribution of the
exchangeable base ratios in the soils of the
R.U.T. irrigation district. Revista Facultad
Nacional de Agronomía 70(1): 8077-8084.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey
Laboratory Methods Manual. Soil Survey
Investigation Report No. 42, Version 3.0.
Natural Resources Conservation Service,
United States Department of Agriculture,
Washington, D.C.
- Sanchez, P.A., C.A. Palm and S.W. Buol. 2003.
Fertility capability soil classification: a tool to
help assess soil quality in the tropics.
Geoderma 114: 157-185.
- Sharma, B.D., S.S. Mukhopadhyay and J.C. Katyal.
2006. Distribution of total and DTPA-
extractable zinc, copper, manganese, and
iron in Vertisols of India. Communication in
Soil Science and Plant Analysis 37: 653-
672.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th
ed. USDA-NRCS, Washington, D.C. 360 p.
- Takrattanasaran, N., J. Chanchareonsook, P.G.
Johnson, S. Thongpae and E. Sarobol.
2013. Amelioration of zinc deficiency of

corn in calcareous soils of Thailand: zinc sources and application methods. Journal of Plant Nutrition 36: 1275-1286.

Zhang, M., C.L. Li, Y.C. Li and W.G. Harris. 2014. Phosphate minerals and solubility in native and agricultural calcareous soils. Geoderma 232-234: 164-171.
