

ลักษณะดินตามลำดับภูมิประเทศบริเวณที่ลาดเชิงเขาหินปูน

Characteristic of soils along toposequence on limestone mountain footslope

นันทิตา ดีใหญ่¹, สมชัย ออนุสนธิพรเพ็ญ^{1*}, เอบ เขียววรินทร์รมณ์¹ และ วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล¹

Nanthita Deeyai¹, Somchai Anusontpornperm^{1*}, Irb Kheoruenromne¹

and Wanphen Wiriyakitnatekul¹

บทคัดย่อ: ทำการศึกษาลักษณะดินตามลำดับภูมิประเทศบริเวณที่ลาดเชิงเขาหินปูนในแปลงย่อยของเกษตรกรบริเวณตำบลวังดั่ง อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 8 บริเวณ ได้แก่ ที่ลาดเชิงเขาตอนล่าง (ND-1) ส่วนตอนบนของที่ลาดเชิงเขาตอนล่าง (ND-2) ส่วนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนกลาง (ND-3) ที่ลาดเชิงเขาตอนกลาง (ND-4) ส่วนบนของที่ลาดเชิงเขาตอนกลาง (ND-5) พื้นที่กัดกร่อนส่วนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนบน (ND-6) ส่วนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนบน (ND-7) และที่ลาดเชิงเขาตอนบน (ND-8) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะดินกับตำแหน่งในลำดับภูมิประเทศ โดยทำการศึกษาสันฐานวิทยาดินสนาม วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ และทางเคมีของดินตามวิธีมาตรฐาน พบว่า ดินที่ทำการศึกษาจำแนกได้เป็น Aquic Haplustalf (ND-6), Inceptic Haplustalf (ND-3), Calcic Haplustalf s (ND-1, 2, 4 และ ND-5) และ Typic Haplustalfs (ND-7 และ ND-8) โดยตำแหน่งของสภาพภูมิประเทศไม่มีความสัมพันธ์กับหน่วยจำแนกดิน แต่ลักษณะของผิวหน้า และการเปลี่ยนแปลงแนวลาดเทมีผลทำให้ดินมีหน่วยจำแนกดินแตกต่างกันที่ระดับกลุ่มดินย่อย ดินทั้งหมดลึกตั้งแต่ 52-163 ซม. โดยดินที่พบในตอนบนของที่ลาดเชิงเขาซึ่งเกิดจากตะกอนหินลาดเชิงเขาของหินปูนจะลึกกว่าดินที่อยู่ในบริเวณต่ำกว่า ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดดินตะกอนน้ำพาท้องถื่น และมีความสัมพันธ์กับอนุภาคดินเหนียว โดยดินที่พบอยู่บนและตอนกลางของที่ลาดเชิงเขา (306-706 ก./กก.) มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวมากกว่าดินที่พบอยู่ในตอนล่าง (232-532 ก./กก.) สมบัติทางเคมีของดินไม่แสดงความสัมพันธ์ชัดเจนกับตำแหน่งของดินที่พบในลำดับภูมิประเทศ ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำปานกลางถึงต่ำ แคลเซียมมีแนวโน้มลดลงในดินที่อยู่บริเวณตอนบนของที่ลาดเชิงเขา ขณะที่ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ลำดับภูมิประเทศ, สมบัติดิน, ดินเนื้อปูน

ABSTRACT: Characteristics of soils along footslope of limestone mountain were studied in farmer field used for growing sugarcane in Wangdong subdistrict, Muang district, Kanchanaburi province. There were eight locations selected, comprising lower footslope (ND-1), upper lower footslope (ND-2), lower middle footslope (ND-3), middle footslope (ND-4), upper middle footslope (ND-5), erosional lower upper footslope (ND-6), lower upper footslope (ND-7), and upper footslope (ND-8). This study aimed at investigating the relationship of soil characteristics and their position on footslope. Soil morphological, physical and chemical properties were examined and analyzed based on standard methods. All soils studied were classified as Aquic Haplustalf (ND-6), Inceptic Haplustalf (ND-3), Calcic Haplustalfs (NDs-1, 2, 4 and 5) and Typic Haplustalfs (NDs-7 and 8). The position on the landscape had no relationship with soil classification units but land surface form and break of the slope reflected a difference in their classification at subgroup level. Their effective depth ranged from 52-163 cm. Soils formed from colluvium of limestone located on the upper footslope were deeper than those derived from local alluvium and situated on lower position of the footslope. Landscape position also had a relationship with clay content. Soils on the upper and

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

* Corresponding author: somchai.a@ku.ac.th

middle footslope had greater amounts of clay (306-700 g/kg) than did those on the lower position (232-532 g/kg). Soil chemical properties rarely showed clear association with the landscape position. All soils were composed of moderately low to low organic matter content and calcium tended to decrease in soils on the upper footslope where cation exchange capacity tentatively increased.

Keywords: toposequence, soil characteristics, calcareous soil

บทนำ

ปัจจัยที่ควบคุมการสร้างตัวของดิน ได้แก่ วัตถุต้นกำเนิดดิน สภาพภูมิอากาศ สิ่งมีชีวิต สภาพภูมิประเทศ เวลา และปัจจัยเฉพาะอื่นในแต่ละท้องถิ่น (เอิบ, 2547; Jenny, 1941; Buol et al., 2003) ในเขตร้อนสภาพภูมิประเทศเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมลักษณะของดิน (Young, 1976) โดยตำแหน่งของสภาพภูมิประเทศโดยเฉพาะพื้นที่ลาดชันจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ของที่ลาดเชิงเขาตั้งแต่ตอนบน (upper footslope) ไปจนถึงตอนปลาย (toeslope) (Ruhe, 1960) จะมีผลต่อลักษณะการระบายน้ำของดิน เช่นเดียวกับกระบวนการกร่อนและการทับถมที่มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายของวัสดุและการละลายในพื้นที่ (Gerrard, 1992) ดังนั้น จึงมีผลต่อสมบัติอื่น เช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว ลักษณะของหน้าตัดดินซึ่งรวมไปถึงสีดิน เป็นต้น (Applegarth and Dahams, 2001) สมบัติดินบางประการจะเปลี่ยนแปลงไปตามแคทีนา (catena) โดยความหนาของชั้นดินบนมักเพิ่มขึ้นในส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศ (James and Fenton, 1993; Agbenin and Tiessen, 1995) และโดยปกติแล้วต้นไม้ในบริเวณตอนล่างของช่วงความลาดชันให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตดีกว่าตอนบน (Norris et al., 1980)

ดินเนื้อปูน หรือดินแคลคาเรียส (calcareous soil) แจกกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างในพื้นที่หลายจังหวัดของประเทศไทย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดินเนื้อปูน เป็นดินที่มีพีเอชสูง มีแคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนตในดินสูง ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการหลักคือ กระบวนการแคลซิฟิเคชัน (calcification) ทำให้เกิดการสะสมดังกล่าวในดินล่าง โดยพื้นที่ที่พบมักเป็นพื้นที่กึ่งชื้น (semihumid) กึ่งแห้ง

(semiarid) และเขตแห้ง (arid) (Cole and Boettinger, 2007) สมบัติและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำจะมีผลอย่างยิ่งต่อกระบวนการแคลซิฟิเคชัน (Erickson and Mortensen, 1974) ดังนั้น ข้อจำกัดทางการเกษตรที่สำคัญของดินนี้คือการขาดแคลนความชื้น

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะดินสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีกับตำแหน่งตามลำดับภูมิประเทศจึงเป็นประโยชน์ต่อการสร้างองค์ความรู้พื้นฐานทางดินเพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปปรับใช้เพื่อการวางแผนการใช้ที่ดินสำหรับการปลูกพืชต่อไป

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณแปลงของเกษตรกรตำบลวังดั่ง อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี เริ่มทำการศึกษาในเดือนพฤษภาคม 2552 และสิ้นสุดการศึกษาในเดือนเมษายน 2554 ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางอยู่ในพิสัย 40.6-83.7 ม. สภาพภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical savanna climate: Aw) (Köppen, 1931) อุณหภูมิเฉลี่ย 28 °C และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,055 มม./ปี ทำการศึกษาดินทั้งหมด 8 พืดอน ในบริเวณที่ลาดเชิงเขาหินปูน ได้แก่ ที่ลาดเชิงเขาตอนล่าง (ND-1) ตอนบนของที่ลาดเชิงเขาตอนล่าง (ND-2) ตอนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนกลาง (ND-3) ตอนกลางของที่ลาดเชิงเขา (ND-4) ตอนบนของที่ลาดเชิงเขาตอนกลาง (ND-5) ส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการกร่อนตอนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนบน (ND-6) ตอนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนบนของภูเขาหินปูน (ND-7) และตอนบนของที่ลาดเชิงเขา (ND-8) (Figure 1) โดยทำการขุดหลุมหน้าตัดดินขนาด

กว้าง 1.5 ม. ยาว 2 ม. ลึก 2 ม. ทำการศึกษาลักษณะ และข้อมูลทั่วไปของบริเวณที่ใช้เป็นตัวแทน และเก็บตัวอย่างดินตามชั้นกำเนิดดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการวิเคราะห์ดินมาตรฐาน (เอิบ, 2548; Soil Survey Staff, 1993; National Soil Survey Center; 1996) ประกอบด้วย การแจกกระจายขนาดอนุภาคดิน ความหนาแน่นรวม ค่าพีเอช (วัดในน้ำและในสารละลายโพแทสเซียม คลอไรด์) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนรวม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ปริมาณเบสที่สกัดได้ (แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม) ความจุ แลกเปลี่ยนแคตไอออน และร้อยละความอิ่มตัวเบส ทำการรวบรวมข้อมูลจากการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ สมบัติทางเคมีของดิน และปัจจัยที่ควบคุมลักษณะของดินในพื้นที่ศึกษา และแปลความหมายข้อมูลดิน โดยพิจารณาลักษณะและสมบัติของดินตามลำดับภูมิประเทศที่ลาดเชิงเขาหินปูน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สภาพแวดล้อมและลักษณะทั่วไปของดิน

การศึกษาสภาพแวดล้อมและลักษณะทั่วไปของดินในพื้นที่ของเกษตรกรรมบริเวณ ตำบลวังดั่ง อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 8 บริเวณ พบว่าดินในบริเวณ ND-1, 2, 3, 4 และ ND-5 พัฒนามาจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่น สภาพพื้นที่เป็นตอนล่างของที่ลาดเชิงเขา ตอนบนของที่ลาดเชิงเขาตอนล่าง ตอนล่างของที่ลาดเชิงเขาของตอนกลาง ตอนกลางของที่ลาดเชิงเขา ตอนบนของที่ลาดเชิงเขา ตอนกลาง มีความลาดชันของผิวดินในพิสัยร้อยละ 2-4 ดินในบริเวณ ND-6, 7 และ ND-8 พัฒนามาจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่น ร่วมกับตะกอนหินดาตเชิงเขา สภาพพื้นที่เป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการร่อนดินบริเวณตอนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนบน และตอนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนบนของภูเขาหินปูน สภาพการซบซึมน้ำที่ผิวดินและการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ยกเว้น ND-6, 7 และ ND-8 ที่มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินเร็ว มีความลาดชันของผิวดินตั้งแต่ร้อยละ 2-8 ดินทุกบริเวณมีการระบายน้ำดี

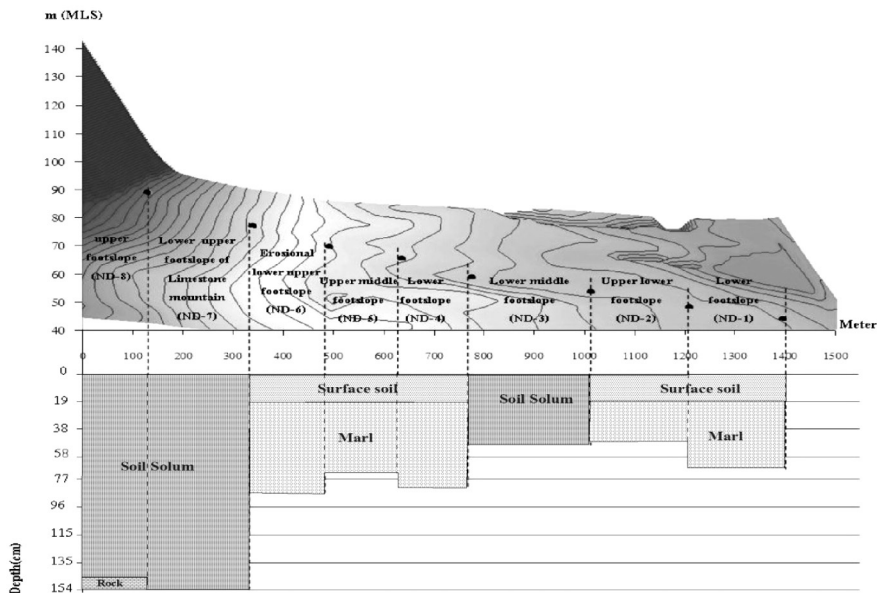


Figure 1 Relationship between soil profile characteristic and landscape position.

Table 1 Environmental setting and general characteristics of soils selected.

Pedon	Thickness of surface soil (cm)	Effective depth (cm)	Profile development	Elevation (m)	Slope (%)	Relief	Landform	Parent Material
ND-1	18	65	Apk1-Ap2-Btk1-Btk2	40.6	2	Slightly Undulating	Lower footslope	Local alluvium
ND-2	20	60	Apk1-Apk2-Btk	67.6	3	Slightly Undulating	Upper lower footslope	Local alluvium
ND-3	20	52	Ap1-Ap2-Bt	72.9	2	Slightly Undulating	Lower middle footslope	Local alluvium
ND-4	20	80	Apk1-Apk2-Btk-Btkg	75.0	2	Slightly Undulating	Lower footslope	Lower alluvium
ND-5	18	70	Apk1-Apk2-Btk-Bctk	75.4	4	Slightly Undulating	Upper middle footslope	Local alluvium
ND-6	22	88	Apk-Btk-Btkg1-Btkg2	77.0	5	Undulating	Erosional lower upper footslope	Local alluvium and colluvium
ND-7	30	163	Ap1-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4 Bt5-BCrt	82.5	8	Undulating	Lower upper footslope of limestone mountain	Local alluvium over colluvium
ND-8	30	160	Ap-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5	83.7	8	Undulating	Upper footslope	Colluvium over residuum derived from limestone

สัณฐานวิทยาของดิน

ดินส่วนใหญ่เป็นดินต้น (ND-1,2,3,4,5 และ ND-6) ยกเว้นดินในตำแหน่งที่อยู่ตอนบนของที่ลาดเชิงเขาจำนวน 2 บริเวณ (ND-7 และ ND-8) ลักษณะของหน้าตัดดินเป็น Apk(A)-Ap-Btk (ND-1), Apk(A)-Btk (ND-2), Ap(A)-B (ND-3), Apk(A)-Btk-Btkg (4), Apk(A)-Btk-Bctk (ND-5), Apk(A)-Btk-Btkg (ND-6), Ap(A)-Bt-BCrt (ND-7), และ Ap(A)-Bt (ND-8) ดินบนมีสีเทาเข้มมากและสีน้ำตาลผสมแดงเข้ม ดินล่างมีสีน้ำตาลปนแดงและแดงถึงน้ำตาลปนเทา เนื้อดินอยู่ในพิสัยดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายถึงเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน แบบก้อนกลม ขนาดละเอียด ความคงทนของโครงสร้างแข็งแรง นอกจากนี้ยังพบชั้นส่วนของหินมาร์ลในบริเวณที่เป็นดินต้น (Table 1)

จากการศึกษาพบว่า ตำแหน่งตามลำดับภูมิประเทศของที่ลาดเชิงเขาหินปูนมีอิทธิพลต่อความตื้นลึกของดิน สีดิน และการพบชั้นมาร์ล ดินในบริเวณตั้งแต่ที่ลาดเชิงเขาตอนกลางจนถึงตอนล่าง ตั้งแต่ดินบริเวณ ND-1 ถึง ND-6 พบว่า ดินทั้ง 6 เป็นดินต้น พบการสะสมปูนมาร์ลเป็นชั้นแข็งที่ระดับความลึกประมาณ 50 ซม. จากชั้นผิวดิน และพบผงปูนปะปน

ในเนื้อดินทำให้ชั้นดินล่างวินิจฉัยของดินเหล่านี้เป็นชั้น Btk โดยมีสาเหตุมาจากปริมาณฝนในพื้นที่มีค่าเฉลี่ยต่อปีค่อนข้างน้อย โดยมีค่าต่ำกว่า 1,100 มม. การชะละลายจึงเกิดขึ้นไม่รุนแรง สำหรับดินบริเวณ ND-3 ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างที่ลาดเชิงเขาตอนกลางกับตอนล่างไม่พบการสะสมผงปูนในชั้นต่างๆ และดินมีสีแดงกว่า เนื่องจาก ลักษณะพื้นผิวของสภาพภูมิประเทศเป็นแบบโค้งนูน ทำให้อิทธิพลของการชะละลายรุนแรงกว่าบริเวณข้างเคียง แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่มากพอที่จะทำให้ดินสลายตัวผู้พังจนเป็นดินลึกได้ จึงยังพบการสะสมชั้นแข็งของหินมาร์ลที่ระดับความลึกเดียวกับดินอื่น สำหรับอีก 2 บริเวณ ได้แก่ ดินในบริเวณ ND-7 และ ND-8 พบว่า เป็นดินที่ลึกกว่าดินที่อยู่ต่ำกว่าในสภาพภูมิประเทศ อิทธิพลของการชะละลายมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาตัวของดิน ทำให้ไม่เกิดการสะสมของผงปูน และมาร์ล ดังนั้นจึงทำให้ชั้นดินล่างวินิจฉัยทั้งหมดเป็นชั้นที่มีการสะสมดินเหนียว หรือชั้น Bt นอกจากนี้ ดินทั้งสองยังมีสีแดงมากกว่าดินอื่น (ม่งคณ, 2525; Gerrard, 1992) แสดงให้เห็นถึงสภาพที่ดินมีการถ่ายเทอากาศดีกว่า ทำให้เกิดกระบวนการ oxidation ได้มากกว่า

สมบัติทางฟิสิกส์

ผลการศึกษาการกระจายขนาดของอนุภาคดินตามความลึกในแต่ละชั้นดินพบว่า การกระจายของอนุภาคขนาดทรายของดินทุกบริเวณในชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 308-471 ก./กก. ส่วนในดินล่างอยู่ในพิสัย 278-434 ก./กก. การกระจายของอนุภาคขนาดทรายแป้งของดิน ในชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 146-337 ก./กก. ดินล่างอยู่ในพิสัย 140-277 ก./กก. และการกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินในชั้นดินบนอยู่ในพิสัย 272-532 ก./กก. และในดินล่างอยู่ในพิสัย 292-539 ก./กก. โดยภาพรวมพบว่า ดินมีอนุภาคขนาดดินเหนียวค่อนข้างเด่น เนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดของดินที่ทำการศึกษาเป็นตะกอนน้ำพา ท้องถิ่นผสมกับตะกอนหินตาดแข็งเขาของหินปูน ดินบริเวณที่อยู่ตอนบนของที่ลาดเชิงเขามีเนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน แต่ในบริเวณที่อยู่ต่ำลงไปตามสภาพภูมิประเทศมีเนื้อเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวถึงเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย และมีอนุภาคขนาดทรายสูงกว่า (Figure 2)

ความหนาแน่นรวมของดินทุกบริเวณมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง อยู่ในพิสัย 1.28-1.83

เม.ก./ม³. โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 1.28-1.83 เม.ก./ม³. ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 1.44-1.71 เม.ก./ม³. และความหนาแน่นรวมของดินบริเวณ ND-1, 2, 3, 4 และ ND-5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ค่าความหนาแน่นรวมของดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุและการสะสมดินเหนียว การที่ค่าความหนาแน่นรวมของดินส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกเนื่องจากในดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า และมีการเคลื่อนย้ายดินเหนียวจากชั้นดินบนลงสู่ชั้นดินล่าง อนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดจะแทรกตัวอยู่ในช่องว่างในดิน ทำให้ดินมีการอัดตัวมากขึ้นในชั้นดินล่าง (Adams, 1973; Brady and Weil, 2008) นอกจากนี้ ในหลายๆ กรณี อาจเกิดจากการเขตรกรรมโดยเฉพาะ การใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ในการไถพรวนซ้ำพื้นที่เดิม ทำให้เกิดการอัดตัวแน่นในชั้นที่อยู่ใต้ชั้นไถพรวน (Wopereis, 1993) สำหรับความหนาแน่นรวมของดินบริเวณ ND-6, 7 และ ND-8 มีความแปรปรวน น่าจะเกิดจากอัตราการผุพังสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินที่แตกต่างกัน (Foth, 1990) และจากการแจกกระจายที่ไม่สม่ำเสมอของเศษหินมาร์ลในหน้าตัดดิน

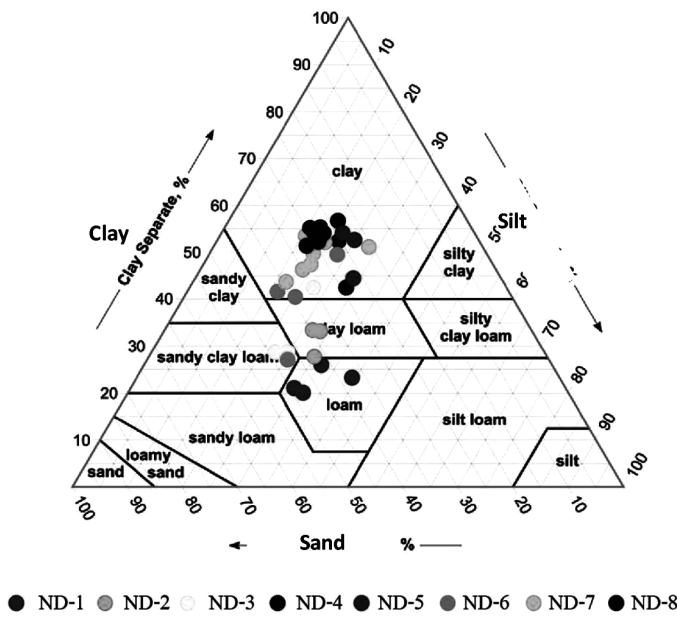


Figure 2 Textural class of soils selected.

สมบัติทางเคมีของดิน

จากผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชดิน โดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1 พบว่า ดินเป็นกรดปานกลางถึงด่างจัด โดยมีค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 5.9-8.6 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ส่วนพีเอชดินที่วัดโดยดินต่อสารละลาย 1 โมลาร์โพแทสเซียมคลอไรด์ 1:1 มีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้โดยใช้น้ำในทุกหน้าตัดดินมีค่าอยู่ในพิสัย 4.9-7.2 ในกลุ่มที่เป็นดินต้นที่พบตั้งแต่ตอนกลางของที่ลาดเชิงเขาลงไปยังตอนปลาย (ND-1, 2, 3, 4, 5 และ ND-6) พีเอชสูงกว่าดินที่พบบริเวณที่ลาดเชิงเขาตอนบน (ND-7 และ ND-8) แสดงให้เห็นถึงอัตราการชะละลายที่แตกต่างกัน (Figure 3)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ในระดับต่ำปานกลางถึงปานกลางมีค่าอยู่ในพิสัย 10.1-22.9 ก./กก. และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (Figure 3) ทั้งนี้การที่ดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินล่างเป็นผลมาจากการผุพังสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตามธรรมชาติ และชั้นส่วนที่สลายตัวหลงเหลือจากการเกษตรกรรม ตลอดจนรากพืชที่ขึ้นปกคลุมอยู่บนผิวดิน เมื่อสลายตัวจึงสะสมอยู่ในดินบนมากกว่า (Sanchez, 1976; Virgo and Holmes, 1977) สำหรับ

ความแตกต่างของอินทรีย์วัตถุในดินบนแต่ละบริเวณ คาดว่าน่าจะเกี่ยวข้องกับการจัดการในการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Vijarnsorn, 1984)

ปริมาณไนโตรเจนรวม อยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.68-1.83 ก./กก. ดินบริเวณ ND-4 และ ND-7 ปริมาณไนโตรเจนรวมจะเพิ่มมากขึ้นในชั้นดินบนและมีแนวโน้มลดลงในชั้นดินล่าง (Figure 4) สอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน การที่มีปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำมากในดินเกิดจากการนำไปใช้ของพืชและจุลินทรีย์ในดิน และเกิดจากกระบวนการชะละลาย และมีบางส่วนสูญหายไปในรูปแบบของแก๊ส (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Kononova, 1966; Buol et al., 2003)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.1-7.5 มก./กก. ซึ่งโดยทั่วไปมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ฟอสฟอรัสในชั้นดินบนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปฟอสเฟตอินทรีย์ซึ่งมีแนวโน้มมากหรือน้อยตามปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดิน (Sanchez, 1976) จึงทำให้ชั้นดินบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าในชั้นดินล่าง

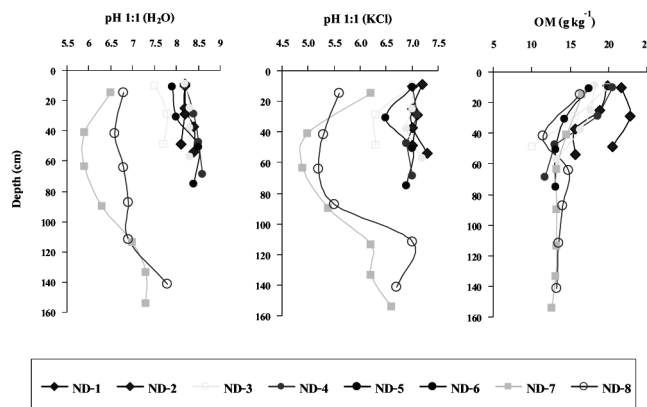


Figure 3 Depth functions of soil pH by water and 1M KCl and organic matter content in soils along footslope of limestone mountain.

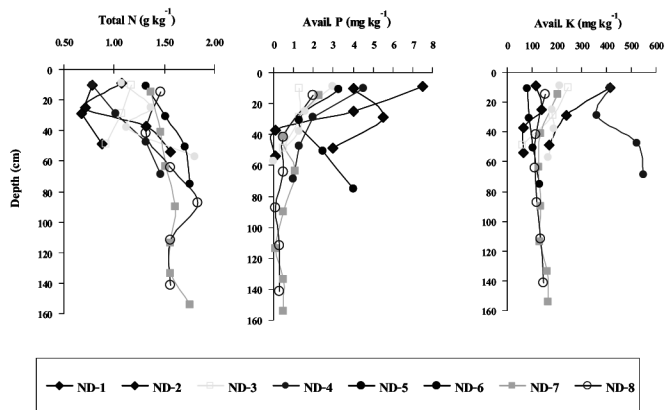


Figure 4 Depth functions of major plant nutrients in soils along footslope of limestone mountain.

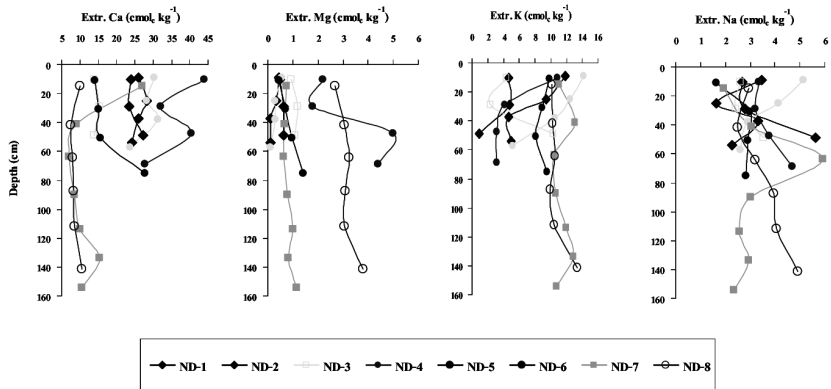


Figure 5 Depth functions of extractable bases in soils along footslope of limestone mountain.

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน อยู่ใน ระดับต่ำถึงสูงมาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 60-550 มก./กก. มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการจัดการดินและปุ๋ยในการปลูกพืชและอิทธิพลของ อินทรีย์วัตถุในดิน โดยอินทรีย์วัตถุมีความสามารถในการ ดูดซับธาตุไอออนบวกได้สูง รวมทั้งขั้นตอนในการ สลายตัวของอินทรีย์สารมีการปลดปล่อยโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์บางส่วนให้กับดิน จึงยังคงมีโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008)

ปริมาณเบสที่สกัดได้ ได้แก่ธาตุประจุบวกที่เป็น ด่างอยู่ในรูปที่สกัดได้ที่ทำกรวิเคราะห์ในการศึกษานี้ คือแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง มากถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 7.02-43.87 เซนติโมล/ กก. โดยแคลเซียมเป็นเบสที่พบในปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเบสชนิดอื่นๆ เนื่องจากดินทั้งหมด มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินปูนซึ่งองค์ประกอบของหิน นี้ส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Figure 5) เป็น ที่น่าสังเกตว่า ดินในบริเวณตอนบนของที่ลาดเชิงเขา ซึ่งได้แก่ดิน ND-7 และ ND-8 จะมีการสะสมธาตุเบสนี้ น้อยกว่าในดินที่อยู่ต่ำกว่าในสภาพภูมิประเทศ แสดง ให้เห็นถึงการสูญเสียที่เกิดจากการชะละลายโดยน้ำที่ เกิดขึ้นได้มากกว่า

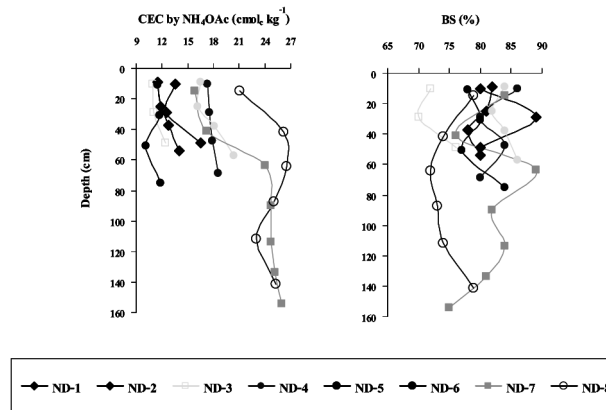


Figure 6 Exchange properties of soils along footslope of limestone mountain.

ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมาก ถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 0.11-5.01 เซนติโมล/กก. และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมาก จนถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 0.15-1.41 เซนติโมล/กก. และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง (0.03-1.01 เซนติโมล/กก.) และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก

โดยภาพรวมดินส่วนใหญ่มีแคลเซียมที่สกัดได้ในระดับสูง เนื่องจากดินส่วนใหญ่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินปูนและบริเวณนั้นมีสภาพอากาศที่แห้งแล้ง จึงทำให้การชะละลายต่ำ นอกจากนี้การที่ดินมีโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำเนื่องมาจากโซเดียมมีความสัมพันธ์ในทางลบกับแคตไอออนอื่นๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมเนื่องจากดินส่วนใหญ่มีแรงดูดยึดแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมได้ดีกว่าโซเดียม ประกอบกับโซเดียมเป็นธาตุที่ละลายน้ำและเคลื่อนย้ายได้ง่ายจึงทำให้โซเดียมสูญหายโดยการชะละลายออกไปจากหน้าตัดดิน (คณาจารย์ภาควิชา ปฐพีวิทยา, 2548; Brady and Weil, 2008)

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (10.13-26.58 เซนติโมล/กก.) (Figure 6) มีแนวโน้มลดลงตามความลึกซึ่งให้ผลสอดคล้องกับเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

(Osher and Buol, 1998; Sanchez, 1976; Young, 1976)

ร้อยละความอิ่มตัวของดิน ค่อนข้างแปรปรวน โดยบางบริเวณเพิ่มขึ้นและลดลงตามความลึกของดิน อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของการชะละลายที่ไม่รุนแรงมากพอและไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน (Thomson and Troeh, 1978; Sanchez et al. 1976; Brady and Weil, 2008) การที่ร้อยละความอิ่มตัวของดินสูงกว่าร้อยละ 35 นั้นแสดงถึงมีการชะล้างยังไม่เต็มที่ ทำให้ดินยังคงมีธาตุที่เป็นต่างเหลืออยู่มากโดยเฉพาะในดินล่าง ส่วนในดินที่มีร้อยละความอิ่มตัวของดินต่ำกว่าร้อยละ 35 แสดงให้เห็นถึงการที่ดินมีพัฒนาการค่อนข้างสูงถึงสูง ผ่านการชะละลายมาก ทำให้แคตไอออนที่เป็นเบสเหลืออยู่น้อยในดิน (Bear, 1967; Lgwe et al. 1999; Brady and Weil, 2008) ร้อยละความอิ่มตัวของดินมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (54.1-85.8%)

หน่วยการจำแนกดิน

การจำแนกในขั้นอันดับ (order) ใช้ลักษณะพื้นฐานวิทยาที่เด่นของดินซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเกิดดิน (soil forming processes) คือชั้นดินวินิจฉัยต่างๆ (Soil Survey Staff, 2010) พบว่า ดินที่ทำการศึกษาทั้งหมด มีพัฒนาการปานกลางถึงค่อนข้างดีและ

มีการสะสมอนุภาคขนาดดินเหนียวในชั้นดินล่างอย่างชัดเจน มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เช่น การชะละลายวัสดุคาร์บอเนต (Arnold and Riecken, 1964; Nielsen and Hole, 1964) แต่ยังคงมีปริมาณของแคตไอออนอยู่ในระบบดินค่อนข้างมาก ทำให้มีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสมากกว่าร้อยละ 35 ในชั้นดินล่างวินิจัยอาร์จิลลิก จึงจัดเข้าในอันดับแอลฟิซอลส์ (Alfisol)

ระดับอันดับดินย่อย (Suborder) ดินทั้งหมดพบอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนค่อนข้างต่ำ คือ ช่วงควบคุมความชื้นของดิน จะสามารถแห้งได้เป็นบางส่วนหรือทุกส่วน 90 วัน หรือมากกว่า (นับสะสม) ในเกือบทุกปี ทำให้ดินมีความชื้นจำกัด จึงจัดเข้าในระบบอบความชื้นดินแบบอัสติก (ustic soil moisture regime) ดังนั้นดินทุกบริเวณจึงจัดอยู่ในอันดับดินย่อย Ustalfs

ในระดับกลุ่มดินใหญ่ (Great group) ดินทุกบริเวณจำแนกได้เป็น Haplustalfs เนื่องจากไม่พบชั้นดานซิลิกา (duripan) ภายในความลึก 100 ซม. ไม่พบชั้นพลินไทต์ (plinthite) ชั้นดินวินิจัยล่างแคนดิก (kandic horizon) ภายในความลึก 150 ซม. และไม่ปรากฏชั้นดินวินิจัยล่างนาทริก (natric horizon) และมีปริมาณดินเหนียวลดลงมากกว่าร้อยละ 20 จากชั้นที่มีปริมาณสูงสุด สีดินไม่เป็นสีแดง และไม่มีปริมาณออกไซด์สูงพอ

สำหรับกลุ่มดินย่อย (Subgroup) (Table 2) สามารถจำแนกได้เป็น

ND-6 สามารถจัดจำแนกในลำดับกลุ่มดินย่อยเป็น Aquic Haplustalf เนื่องจากภายในความลึก 75 ซม. จากผิวดิน เกิดปฏิกิริยา redox depletions ที่ทำให้ดินมีคาร์บอนเท่ากับ 2 หรือน้อยกว่า และยังมีสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและเกิดรีดักชันอย่างต่อเนื่องหรือเป็นครั้งคราวในปีปกติ

ND-3 สามารถจัดจำแนกในลำดับกลุ่มดินย่อยเป็น Inceptic Haplustalf เนื่องจากพบชั้นดินล่างวินิจัยอาร์จิลลิกของดินหนาน้อยกว่า 35 ซม.

ND-1, 2, 4 และ ND-5 สามารถจัดจำแนกในลำดับกลุ่มดินย่อยเป็น Calcic Haplustalfs เนื่องจากพบชั้นดินวินิจัยล่างแคลซิก (calcic horizon) ภายในความลึก 100 ซม. จากชั้นผิวดิน

ND-7 และ ND-8 สามารถจัดจำแนกในลำดับกลุ่มดินย่อยเป็น Typic Haplustalfs เป็นดินที่ไม่มีลักษณะเด่นอื่นใดแตกต่างไปจากลักษณะหลักของกลุ่มดินใหญ่ Haplustalfs

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยจำแนกดินกับตำแหน่งที่พบในสภาพภูมิประเทศของที่ลาดเชิงเขาหินปูน พบว่า ดิน Aquic Haplustalf (ND-6) พบอยู่บริเวณรอยต่อของที่ลาดเชิงเขาที่เกิดการลดระดับความชัน ทำให้บริเวณดังกล่าวมีลักษณะสภาพพื้นผิวเป็นแบบโค้งเว้า จึงทำให้พื้นที่ได้รับน้ำจากบริเวณตอนบนของที่ลาดเชิงเขา ดินจึงแสดงสภาพขังน้ำในตอนล่างของหน้าตัดดิน และการระบายน้ำมักเกิดด้านที่ขวางไปกับที่ลาดเชิงเขา

Table 2 Classification unit at Subgroup level of soils studied.

Soil symbol	Coordination	Classification unit
ND-1	47P 0531479 ^E , 1551574 ^N	Calcic Haplustalf
ND-2	47P 0531440 ^E , 1557421 ^N	Calcic Haplustalf
ND-3	47P 0531383 ^E , 1557287 ^N	Inceptic Haplustalf
ND-4	47P 0531337 ^E , 1557082 ^N	Calcic Haplustalf
ND-5	47P 0531283 ^E , 1556967 ^N	Calcic Haplustalf
ND-6	47P 0531248 ^E , 1556819 ^N	Aquic Haplustalf
ND-7	47P 0531206 ^E , 1556687 ^N	Typic Haplustalf
ND-8	47P 0531128 ^E , 1554480 ^N	Typic Haplustalf

ดิน Inceptic Haplustalf (ND-3) ซึ่งพบชั้นดินล่าง วิจัยเป็นชั้นบางๆ และเป็นดินต้น พบอยู่บริเวณ ส่วนล่างของที่ลาดเชิงเขาตอนกลาง ที่ทิศทางของ ความลาดเทเกือบตั้งฉากกับแนวลาดเทของที่ลาด เชิงเขาที่เป็นช่วงหักของความลาดชัน ทำให้พบดินที่ มีลักษณะต้น การไหลของน้ำลงสู่ส่วนต่ำเกิดต่อเนื่อง ทำให้ไม่มีการสะสมปูนในหน้าตัดดิน

ดิน Calcic Haplustalf (ND-1, 2, 4 และ ND-5) พบในบริเวณที่มีความลาดชันน้อย การสะสมความชื้น ในดินเหล่านี้มีน้อย เช่นเดียวกับอัตราการชะละลาย ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตสะสมในดินได้มาก ทั้งในรูปของผงปูน (lime powder) และหินมาร์ล (marl)

ดิน Typic Haplustalf (ND-7 และ ND-8) พบใน บริเวณตอนบนของที่ลาดเชิงเขาหินปูน พื้นที่ที่มีความ ลาดเทค่อนข้างมาก (ร้อยละ 8) ทำให้อิทธิพลของ การระบายน้ำเด่นกว่า และอัตราการชะละลายภายใน หน้าตัดดินก็รุนแรงกว่า จึงไม่พบชั้นสะสมแคลเซียม คาร์บอเนต และดินมีความลึกมากกว่าแสดงถึง อิทธิพลของการพองสลายตัวที่รุนแรงกว่าดินในส่วน ที่อยู่บริเวณที่ต่ำกว่าในสภาพภูมิประเทศเดียวกัน ขณะที่ชั้นดินบนของดินทั้งสองบริเวณจะมีความหนา น้อยกว่าดินที่เหลื่อแสดงให้เห็นว่าพื้นที่บริเวณตอนบน ของที่ลาดเชิงเขาหินปูนนี้มีอิทธิพลของการกร่อนดิน เกิดขึ้นบ้าง และรุนแรงกว่าพื้นที่ที่อยู่ต่อเนื่องลงไปยัง ตอนล่างของที่ลาดเชิงเขา ซึ่งดินบนจะมีความหนา มากกว่าอย่างชัดเจน

สรุป

บริเวณที่ทำการศึกษา มีความสูงจากระดับ ทะเลปานกลาง 40.6-83.7 ม. ความลาดชันอยู่ใน พิสัยร้อยละ 2 ถึง 8 ดินส่วนใหญ่เป็นดินต้นปานกลาง ยกเว้นดินในตำแหน่งที่อยู่ตอนบนของที่ลาดเชิงเขา จำนวน 2 บริเวณ

สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่มีความสัมพันธ์กับ ตำแหน่งในสภาพภูมิประเทศได้แก่ เนื้อดิน ซึ่งมีความเหนียวเพิ่มขึ้นในดินที่พบในตำแหน่งตามสภาพ ภูมิประเทศที่สูงขึ้น และดินที่อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับ ภูเขาหินปูนจะมีความลึกมากกว่าดินที่อยู่บริเวณ ส่วนต่ำของที่ลาดเชิงเขา และความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ เพิ่มขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้นของที่ลาดเชิงเขา

สมบัติทางเคมีของดินไม่แสดงความสัมพันธ์ ชัดเจนกับตำแหน่งของดินที่พบในลำดับภูมิประเทศ ของที่ลาดเชิงเขาหินปูน โดยดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในระดับต่ำปานกลางถึงปานกลาง แคลเซียมมีแนวโน้ม ลดลงในดินที่อยู่บริเวณตอนบนของที่ลาดเชิงเขา และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามความสูงที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ของอนุภาคขนาดดินเหนียวที่เพิ่มขึ้น

สามารถจำแนกดินในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Aquic Haplustalf, Inceptic Haplustalf, Calcic Haplustalfs และ Typic Haplustalfs โดยตำแหน่งของ สภาพภูมิประเทศไม่มีความสัมพันธ์กับหน่วยจำแนก ดิน แต่ลักษณะของผิวหน้า และการเปลี่ยนแปลงแนว ลาดเทมีผลทำให้ดินมีหน่วยจำแนกดินแตกต่างกัน ที่ระดับกลุ่มดินย่อย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน และห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์ เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ห้องปฏิบัติการ สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของดิน

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- มงคล พานิชกุล. 2525. แลโตโซล-แกรย์พอดโซลิก-โลว์ฮิวมิกเกลย์ บนพื้นที่ต่อเนื่องหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2547. คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2548. การสำรวจดิน: มโนทัศน์ หลักการ และเทคนิค. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Adams, W.A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *Soil Sci.* 24: 10-17.
- Agbenin, J.O. and H. Tiessen. 1995. Soil properties and their variation on two contiguous hillslopes on northeast Brazil. *Catena* 24: 147-161.
- Applegarth, M.T. and D.E. Dahams. 2001. Soil catena of calcareous tills, Whiskey Basin, Wyoming, USA. *Catena* 42: 17-38.
- Arnard, R. J. St. and E. P. Whiteside. 1964. Morphology and genesis of a Chernozemic to Podzolic sequence of soil profiles in Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 44:88-99.
- Bear, F.E. 1967. *Chemistry of Soil*. Reinhold Publishing Cooperation, NY.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14th edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Buol, S.W., F.D. Hole and R.J. McCracken. 2003. *Soil Genesis and Classification*. 5th edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Cole, N.J. and J.L. Boettinger. 2007. Pedogenic understanding raster classification methodology for mapping soil, powder River Basin, Wyoming, USA, pp. 389-400. In: P. Lagachric, A.B. McBrancy and M. Voltz, M, *Development in Soil Science Vol. 31. Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*. Elsevier B.V.
- Erickson, A.J. and V.L. Mortensen. 1974. Soil Survey of Cache Valley area, Utah: parts of Cache and Box Elder counties. USDA, SCS and FS in cooperation with Utah Ag. Exper. State., Washington, D.C.
- Foth, D.H. 1990. *Fundamentals of Soil Science*. John Wiley and Sons, Inc., NY.
- Gerrard, A. J. 1992. *Soils and Landforms: An Integration of Geomorphology and Pedology*. George Allen & Unwin, London.
- James, H.R. and T.E. Fenton. 1993. Water tables in paired artificially drained and undrained soil catenas in Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 774-781.
- Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation: a System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill, NY.
- Kononova, M.M. 1966. *Soil Organic Matter*. Permonon Press, NY.
- Köppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunded*. Water de Gruyter, Leipzig, Berlin.
- Lgwe, C.A., F.O.R. Akamigbo and J.S.C. Mbagwu. 1999. Chemical and mineralogical properties of soil in southeastern Nigeria in relation to aggregate stability. *Geoderma* 92: 111-123.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Invest. Rept. No 42, Version 3.0. U.S. Dept. Agr., U.S. Gov. Print. Off., Washington D.C.
- Nielsen, G.A. and F.D. Hole. 1964. Earthworms and the development of coprogenous A1 horizons in forest soils of Wisconsin. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 426-430.
- Norris, L., G. White, and D. Sin. 1980. The relationship of soil, foliar and topographical condition to American sycamore (*Plantanus occidentallia* L.) growth in plantation. N.C. State Univ. Tech. Rep. 63: 34.
- Osher, L.J. and S.W. Buol. 1998. Relationship of soil properties to parent material and landscape position in eastern Madre de Dios, Peru. *Geoderma* 83: 143-166.
- Ruhe, R.V. 1960. Element of the soil landscape, pp. 165-170. In: *Transactions of the 7th International Congress of Soil Science*, Vol. 4. Int. Soc. of Soil Science, Madison, Wisconsin.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soil in the Tropics*. John Wiley and Son, Inc., NY.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. U.S. Dept. of Agr. Handbook No. 18. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11th edition. U.S. Dept. Agric. U.S. Gov. Printing Office, Washington D.C.

- Thomson, L.M. and F.R. Troeh, 1978. Soil and Soil Fertility. 4th edition. McGraw-Hill Inc., NY.
- Vijarnsorn, P. 1984. Skeletal soils of Thailand, pp. F 2.1-1-F 2.14. In: Proc. 5th ASEAN Soil Conference Vol. I. Dep. of Land Dev., Bangkok, Thailand.
- Virgo, K.J. and D.A. Holmes. 1977. Soil and landform features of mountainous terrain in South Thailand. Geoderma 18: 207-225.
- Wopereis, M.C.S. 1993. Quantifying the Impact of Soil and Climate Variability on Rainfed Rice Production. Ph.D. Thesis. Wageningen, Netherlands.
- Young, A. 1976. Tropical Soils and Soil Survey. Cambridge Univ. Press, London