

ศักยภาพของดินทางการเกษตรบนลำดับภูมิประเทศที่เกิดมาจาก หินทราย

Agricultural potential of soils on toposequence derived from sandstone

จิรณัท หงษ์จาตุรนต์¹, ศุภิชา ธนะจิตต์^{1*}, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม¹ และ อัญชลี สุทธิประการ¹

Jeeranut Hongjaturun¹, Suphicha Thanachit^{1*}, Somchai Anusontpornperm¹
and Anchalee Sudhiprakarn¹

บทคัดย่อ: ทำการศึกษาศักยภาพของดินต่อการปลูกมันสำปะหลังและอ้อยบนลำดับภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาเตี้ยของหินทรายในตำบลภูซำ อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 4 ตำแหน่งตามความลาดเท ได้แก่ บริเวณยอดเนินตอนบนและตอนล่างของที่ลาดตอนกลาง และตีนเขา ดินในทุกบริเวณจัดจำแนกเป็น Typic Paleustults ดินเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี พบน้ำใต้ดินตั้งแต่ระดับความลึก 125-200 ซม. โดยบริเวณตอนกลางของเนินเขาพบน้ำใต้ดินอยู่ตื้นที่สุดที่ 125 ซม. ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลเข้ม ในขณะที่ดินล่างบริเวณยอดเนินจะมีสีแดงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองรวมทั้งพบจุดประในบริเวณตอนกลาง เนื้อดินเป็นทรายจนถึงร่วนปนทราย ความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ดินเป็นกรดรุนแรงถึงกรดปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยดินบริเวณยอดเนินมีความเหมาะสมต่อมันสำปะหลังปานกลาง (S2en) ส่วนอีก 3 บริเวณที่อยู่ต่ำกว่ามีความเหมาะสมน้อย (S3dne และ S3nd) ดินทุกบริเวณมีความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อยปานกลางแต่มีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน (S2nm และ S2ns) แสดงให้เห็นว่าศักยภาพของดินที่เกิดจากหินทรายตามลำดับภูมิประเทศสำหรับการปลูกมันสำปะหลังและอ้อยจะขึ้นอยู่กักระดับน้ำใต้ดิน และสมบัติทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับความชื้นมากกว่าสมบัติทางเคมีของดิน

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง, อ้อย, สภาพพื้นที่, ดินทราย, Typic Paleustults

ABSTRACT: The potential of soils for growing cassava and sugarcane on toposequence of sandstone low hill at Krissana subdistrict, Sikhiu district, Nakhon Ratchasima province was undertaken on four locations, summit slope, upper middle slope, lower middle slope, and footslope of low hill. All four soils were classified as Typic Paleustults. They were deep soils with well drained feature. Groundwater depth at the time of sampling was between 125-200 m where the soil on the middle slope had the shallowest ground water level of 125 m. Their topsoils had brown to strong brown colours. The colour of subsoils of soil on the summit was red and became yellow with a presence of mottles in soils located on the middle slope to the lowest position of the study area. Physico-chemical properties of these soils along toposequence were rather similar, having sand to sandy loam textures. Their bulk density was low to high. They were slightly to extremely acid and low fertile. Soil on crestal slope is moderately suitable for cassava (S2en) whereas the rest, situated on the lower landscape, were slightly suitable (S3dne and S3nd). All soils were moderately suitable for sugarcane but with different limitations (S2nm and S2ns). These results indicated that soil potential for the production of both plants depends upon the level of groundwater and soil physical properties involving soil moisture rather than soil chemical properties.

Keywords : Cassava, Sugarcane, Topography, Sandy soils, Typic Paleustults

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

* Corresponding author: agrspc@ku.ac.th

บทนำ

ลำดับภูมิประเทศ (toposequences) หมายถึง ลักษณะของดินตามสภาพภูมิประเทศที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิประเทศ เนื่องจากอิทธิพลของการร่อนและทับถม ส่งเสริมให้มีการเคลื่อนย้ายและสะสมของวัสดุและสารละลาย ทำให้สมบัติดินตามลำดับภูมิประเทศเกิดความแตกต่างกัน (Ruhe, 1975) โดยความหนาของชั้นที่เป็นดินจะเพิ่มขึ้นตามความลาดเท อนุภาคหยาบค่อยๆ ลดลงจากยอดเนินจนถึงบริเวณที่ลาดเชิงเขา และอนุภาคขนาดเล็กเพิ่มขึ้นในตอนล่างของความลาดเทส่งผลให้ดินในตอนล่างของที่ลาดเทมักมีเนื้อดินละเอียดกว่าดินในตอนบน (Litaor, 1992; Applegarth and Dahams, 2001) ในขณะที่ดินที่อยู่ตอนบนของลำดับภูมิประเทศมักจะแห้งกว่าดินในตอนล่าง มีความเป็นกรดที่รุนแรงกว่า ปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มต่ำกว่าดินที่อยู่ในตอนล่าง ส่งผลให้ดินในตอนล่างมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า (วนิดา, 2546; Gobin et al. 2000) สอดคล้องกับการศึกษาของ Thanachit et al. (2004) ที่ศึกษาลักษณะของลำดับดินที่พัฒนามาจากหินบะซอลต์ พบว่าบริเวณยอด บริเวณส่วกลาง และบริเวณส่วนตีนเขา เป็นกรดตลอดหน้าตัดดินและมีสมบัติเชิงแลกเปลี่ยนรวมทั้งปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์อยู่ในพืสัยปานกลางถึงต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับดินในส่วนหุบเขา ซึ่งดินบริเวณตอนบนของลำดับภูมิประเทศมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชไร่ได้ดีถึงปานกลาง โดยมีข้อจำกัดเรื่องธาตุอาหารสภาพพื้นที่ และชั้นส่วนหิน ในขณะที่ดินในส่วนหุบเขาจะมีความเหมาะสมต่อการปลูกข้าวดีมาก

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz.) และอ้อย (*Saccharum officinarum* L.) เป็นพืชไร่เศรษฐกิจสำคัญที่ทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละไม่ต่ำกว่า 50,000 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ส่วนใหญ่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในบริเวณที่ตอนโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพื้นที่ที่ปลูกพืชทั้งสองชนิดจะมีการซ้อนทับกัน เนื่องจาก

พื้นที่ของเกษตรกรรมมีจำกัด การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นจะขึ้นอยู่กับความประสงค์ของเกษตรกร ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งรับซื้อผลผลิต และกำลังทรัพย์ของเกษตรกรทำให้ไม่สามารถกำหนดได้ชัดเจนว่าพื้นที่ใดหรือดินที่มีลักษณะอย่างไรมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชชนิดใดมากกว่ากัน ทั้งๆ ที่รูปแบบการจัดการดิน ลักษณะตามธรรมชาติของพืช รวมถึงความต้องการธาตุอาหารและน้ำของพืชทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปดินที่เหมาะสมสำหรับอ้อยควรมีเนื้อดินอยู่ในพืสัยดินร่วนปนทรายจนถึงดินร่วนเหนียว เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีถึงค่อนข้างดี และมีอินทรีย์วัตถุเพียงพอ (Hunsigi, 1993) ขณะที่มันสำปะหลังเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกประเภท โดยเฉพาะในดินเนื้อหยาบ ทนต่อความเป็นกรดของดิน รวมทั้งสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (USDA and FAO, 1983; Howeler, 1981; Alves, 2002) อ้อยจะให้ผลผลิตดีเมื่อได้รับน้ำฝนหรือน้ำชลประทานประมาณ 1,000-1,500 mm (เฉลิมพล, 2547) ส่วนมันสำปะหลังยังคงสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 800 มม./ปี (เจริญศักดิ์, 2546; Alves, 2002) พื้นที่ที่ปลูกพืชทั้งสองควรเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 8 และไม่ควรเป็นบริเวณที่ลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2537) อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังจะมีความอ่อนไหวต่อสภาพภูมิประเทศมากกว่าอ้อยเนื่องจากเป็นพืชหัว ซึ่งถ้าปลูกในบริเวณที่ลุ่มระบายน้ำไม่ดีอาจมีผลให้หัวมันสำปะหลังเน่าได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ผลผลิตที่ได้ก็จะต่ำตามไปด้วย ในขณะที่อ้อยมีความต้องการความชื้นมากกว่ามันสำปะหลัง ดังนั้นอ้อยจึงมีความเหมาะสมต่อการปลูกในบริเวณที่ลุ่มต่ำได้ดีกว่า และอ้อยสามารถทนความเค็ม ความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้ดีกว่ามันสำปะหลัง แต่ทนต่อการขาดความชื้นได้น้อยกว่า (USDA and FAO, 1983) จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชทั้งสองชนิดควรจะมี ความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตำแหน่งของดินตามสภาพ

ภูมิประเทศ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ทางกายภาพ และทางเคมีของดินตามลำดับภูมิประเทศ และเปรียบเทียบชั้นเหมาะสมของที่ดินสำหรับการปลูกมันสำปะหลังและอ้อย

วิธีการศึกษา

1) เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่เดือนเมษายน 2553 ถึงมีนาคม 2554 คัดเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นลำดับภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาเตี้ยของหินทรายในตำบลกฤษณา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 4 ตำแหน่งตามความลาดเท ได้แก่ บริเวณยอดเนิน (47P0769123E, 1671462N) ตอนบน (47P0769239E, 1671646N) และตอนล่าง (47P0769288E, 1671768N) ของที่ลาดเทตอนกลางแบบโค้งเว้า และตีนเขา (47P 0769408E, 1671813N) (Figure 1) ซึ่งเป็นแปลงเกษตรกรที่ใช้ปลูกมันสำปะหลัง 2) จัดทำ site characterization ของดินในแต่ละตำแหน่งบนลำดับภูมิประเทศในเดือนพฤศจิกายน 2553 โดยทำการตกแต่งสัณฐานให้เห็นหน้าตัดดินที่ชัดเจน แบ่งชั้นดินตามชั้นการกำเนิดดิน และทำการเก็บตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวนในทุกชั้นกำเนิดดิน (เอิบ, 2547) 3) ทำการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินตามวิธีมาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996) ประกอบด้วยการกระจายขนาดของอนุภาคดินโดยวิธีไปเปต และชั้นเนื้อดิน ความหนาแน่นรวมโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ทำลายโครงสร้าง (core method) สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้พลังงานขับน้ำผันแปร (variable head method) ร้อยละความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นความชื้นของดินที่แรงดึงน้ำระหว่าง 33 และ 1500 กิโลพาสคัล ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี Walkley and Black titration ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II เบสที่สกัดได้และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง พีเอชดินที่วัดในน้ำด้วยอัตรา

ส่วน 1:1 โดยใช้เครื่อง pH meter กรดที่สกัดได้โดยวิธี barium chloride-triethanolamine ที่พีเอช 8.2 และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนโดยการชะละลายแคตไอออนด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10% ในสภาพที่เป็นกรด 4) ทำการจำแนกดินในระดับกลุ่มดินย่อยตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Survey Staff, 2006) เพื่อเป็นดินตัวแทนและใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี และ 5) ทำการประเมินศักยภาพทางการเกษตรและเปรียบเทียบชั้นความเหมาะสมของที่ดินตามเกณฑ์ที่กำหนดโดยกองสำรวจและจำแนกดิน (2543) และ USDA and FAO (1983) ต่อการปลูกมันสำปะหลังและอ้อยของดินในตำแหน่งต่างๆ บนลำดับภูมิประเทศ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สภาพแวดล้อมทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ดินที่ทำการศึกษายูบ่นตำแหน่งๆ ของลำดับภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาเตี้ยที่อยู่ในตำบลกฤษณา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา (2554) ของจังหวัดนครราชสีมา รายงานว่า ในปี 2553 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเท่ากับ 1,386.2 มม. อุณหภูมิเฉลี่ย 28.1 °ซ. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 72.4 โดยในเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีฝนตกมากที่สุดเท่ากับ 364 มม. ส่วนอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี (Figure 2)

ดินบริเวณยอดเนินมีพัฒนาการมาจากวัตถุตกค้างของหินทราย ในขณะที่ดินที่อยู่ต่ำลงมา ได้แก่ ส่วนบนและส่วนล่างของที่ลาดเทตอนกลาง และตีนเขา มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่นวางตัวบนวัตถุตกค้างของหินทราย ดินบริเวณตอนบนของลำดับภูมิประเทศจะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 343 ม. และค่อยๆ ลดระดับเป็น 333, 330, 320 ม. ในบริเวณตีนเขา พื้นที่ที่มีความลาดเทยาว ลักษณะผิวหน้าเป็นลูกคลื่นลอนลาด (undulating terrain) ยกเว้นบริเวณตีนเขา ที่มีผิวหน้าเกือบเรียบ ดินทุกบริเวณมี

การระบายน้ำดี การไหลบ่าของน้ำบริเวณผิวน้ำดินปานกลาง และความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านผิวดินเร็ว ยกเว้นบริเวณดินเขาที่มีไหลบ่าของน้ำบริเวณผิวน้ำดินและความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านผิวดินปานกลาง และพบน้ำใต้ดินตั้งแต่ระดับความลึก 125-200 ซม. ในฤดูแล้ง โดยตอนบนที่ลาดเทตอนกลางพบน้ำใต้ดินอยู่ตื้นที่สุดที่ความลึก 125 ซม. รองลงมาได้แก่ ตอนล่างของที่ลาดเทตอนกลาง ดินเขาและยอดเนิน ตามลำดับ (Figure 3)

สมบัติของดินตามลำดับภูมิประเทศ

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดิน

ดินทั้งสี่บริเวณเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี หน้าตัดดินบริเวณยอดเนินเป็น Ap-Bt บริเวณตอนบนและตอนล่างของที่ลาดเทตอนกลางเป็น Ap-Bt-Btg และบริเวณดินเขาเป็น Ap-Bt-Btc โดยดินทุกบริเวณมีการเคลือบของดินเหนียวในชั้นดินล่าง ดินบนหนาประมาณ 30-50 ซม. ดินบนมีสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลเข้มทุกบริเวณ ในขณะที่ดินล่างบริเวณยอดเนินจะมีสีแดงและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง รวมทั้งพบจุดประในบริเวณตอนกลางและตอนล่างของที่ลาดเท ดินบนมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงละเอียดมากมีความคงทนของโครงสร้างน้อย ขณะที่ดินล่างมีโครงสร้างขนาดละเอียดปานกลางมีความคงทนของโครงสร้างน้อยถึงน้อยปานกลาง (Figure 3)

สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

ดินที่ทำการศึกษานี้ทั้งสี่ตำแหน่งตามลำดับภูมิประเทศมีการกระจายขนาดอนุภาคคล้ายคลึงกัน (Table 1) โดยมีปริมาณอนุภาคขนาดทราย (539-811 ก./กก.) มากกว่าอนุภาคขนาดทรายแป้ง (75-211 ก./กก.) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (56-302 ก./กก.) ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุต้นกำเนิดดินที่พัฒนามาจากหินทรายจึงทำให้ดินมีอนุภาคขนาดทรายเด่นกว่าอนุภาคขนาดอื่นๆ ในภาพรวม พบว่า ดินทุกบริเวณมีการกระจายอนุภาคขนาดทรายสูงในชั้นดินบนและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (Table 1) อนุภาคขนาดทรายแป้งเพิ่มขึ้นและลดลงสลับเป็นช่วงๆ ไม่สม่ำเสมอ

ในขณะที่อนุภาคขนาดดินเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนย้ายเชิงกลร่วมกับการซึมชะ อนุภาคขนาดเล็กจึงเคลื่อนย้ายลงไปสะสมยังชั้นดินล่าง (Buol et al., 2003) โดยดินที่ทำการศึกษามีการสะสมอนุภาคดินเหนียวที่ความลึกตั้งแต่ 40 ซม. ลงไป อย่างไรก็ตามตอนบนและตอนล่างของที่ลาดเทตอนกลาง มีการเพิ่มขึ้นของดินเหนียวไม่ชัดเจน ทั้งนี้มาจากสภาพพื้นที่ที่มีความต่อเนื่องความลาดเทของพื้นที่ยาว อาจทำให้การกรองดินโดยน้ำเป็นไปด้วยความรวดเร็ว จึงส่งผลให้การสะสมดินเหนียวเกิดได้ยาก ดินทุกบริเวณจัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบโดยมีเนื้อดินอยู่ในพิสัยทรายจนถึงร่วนปนทรายแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่จะทำให้พืชขาดน้ำ โดยเฉพาะพืชที่ชอบน้ำ เช่น อ้อย แต่ไม่เป็นอุปสรรคต่อการแทงหัวของมันสำปะหลัง

ดินมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับต่ำถึงสูงโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 1.39-1.88 เม.ก./ลบ.ม. โดยดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ (1.39-1.65 เม.ก./ลบ.ม.) และดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (1.60-1.88 เม.ก./ลบ.ม.) (Table 1) ดินบริเวณยอดเนินและดินเขามีแนวโน้มที่จะพบชั้นดานที่ระดับความลึกประมาณ 40-60 ซม. ซึ่งชั้นดังกล่าวมีความหนาแน่นรวมสูงกว่าชั้นดินด้านบนและด้านล่างอย่างชัดเจน โดยมีค่าเท่ากับ 1.79 และ 1.88 เม.ก./ลบ.ม. สำหรับดินบริเวณยอดเนินและดินเขา ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสภาพการนำน้ำของดินที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าชั้นดินด้านบนและด้านล่างอย่างชัดเจน (Table 1)

ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชค่อนข้างต่ำ มีค่าในพิสัยร้อยละ 3.50-10.33 โดยปริมาตร (Table 1) โดยดินบนมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 3.50-8.40 โดยปริมาตร และดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 4.72-10.33 โดยปริมาตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของดินที่เป็นดินในกลุ่มเนื้อหยาบ ช่องว่างในดินส่วนใหญ่เป็นช่องว่างขนาดใหญ่ จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ น้ำที่เป็นประโยชน์จึงต่ำไปด้วย (Elder and Lal, 2007; Brady and Weil, 2008)

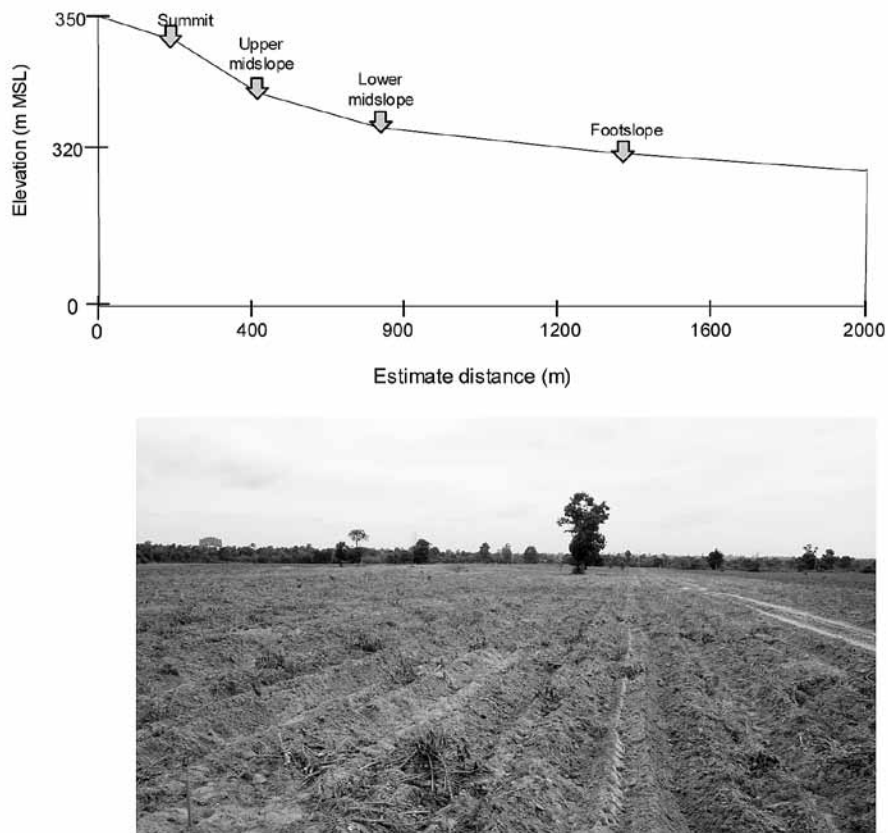


Figure 1 Cross section of a sandstone toposequence in Sikhiu district, Nakhon Ratchasima province.

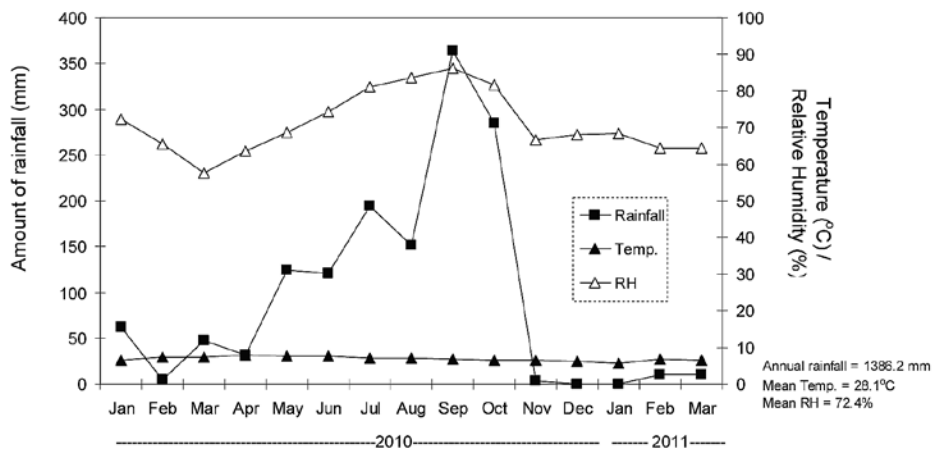


Figure 2 Monthly mean precipitation, air temperature and humidity in Nakhon Ratchasima province.

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2554)

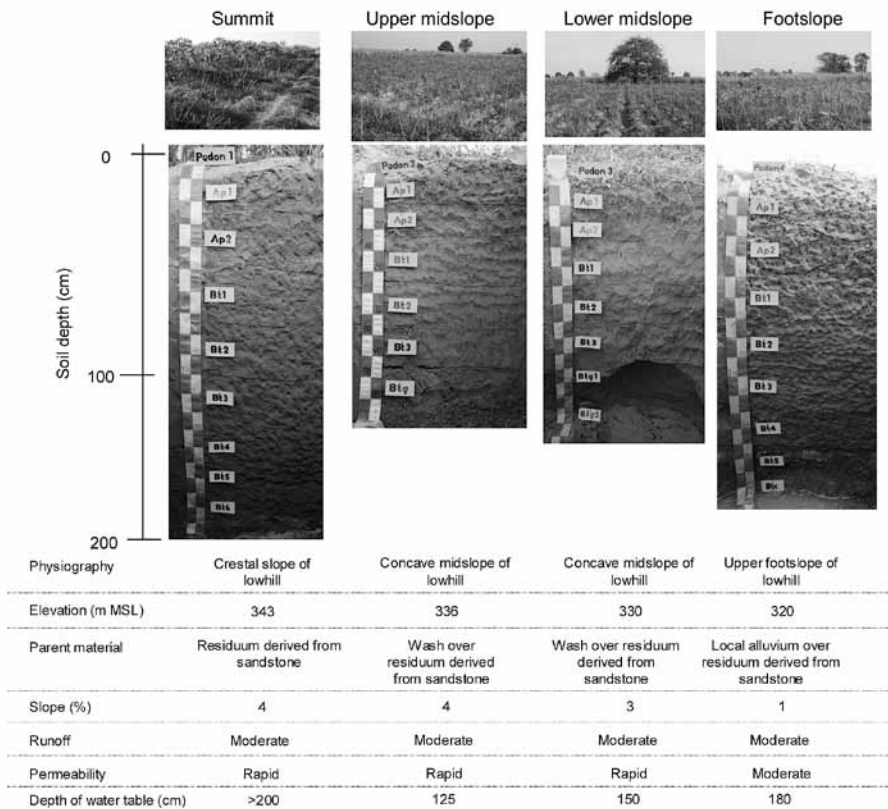


Figure 3 Environmental conditions and soil profiles on a toposequence derived from sandstone.

สมบัติทางเคมี

ดินมีอินทรียวัตถุอยู่ในพิสัยที่ต่ำมากถึงต่ำ (1.02-5.49 ก./กก.) สอดคล้องกับกับไนโตรเจนทั้งหมดที่มีค่าต่ำมาก (0.16-0.77 ก./กก.) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางในดินบนและต่ำมากในดินล่าง (Table 2) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลมาจากการจัดการในพื้นที่ที่อาจตกค้างอยู่ในดินบน โดยเฉพาะในกรณีของฟอสฟอรัส (Tisdale et al., 1993) อีกทั้งดินมีวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นหินทรายซึ่งเมื่อสลายตัวจะให้ดินที่มีธาตุอาหารพืชต่ำ นอกจากนี้ดินเป็นดินเนื้อหยาบ มีดินเหนียวต่ำจึงทำให้ความสามารถในดูดซับแคตไอออนต่ำ ดังนั้นธาตุอาหารจะถูกชะละลายได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะโพแทสเซียม

ดินทุกบริเวณเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดเล็กน้อย โดยมีพีเอชอยู่ในพิสัย 4.4-6.2 ซึ่งมีค่าพีเอชลดลงตามความลึก ให้ผลสอดคล้องกับปริมาณกรดที่สกัดได้ปานกลางถึงสูงโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 3-12 เซนติโมล/กก.

(Table 2) ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะเด่นของดินเขตร้อนที่มีพัฒนาการสูง เกิดกระบวนการชะละลายรุนแรง เบสต่างๆ จึงเคลื่อนย้ายออกไปจากหน้าตัดดิน (Buol et al., 2003; Brady and Weil, 2008) ปริมาณเบสที่สกัดได้ของดินส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำจึงส่งผลให้อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (ร้อยละ 15.0-37.4) (Table 2) อย่างไรก็ตามดินบริเวณตีนเขามีแนวโน้มมีปริมาณเบสที่สกัดได้สูงกว่าดินในตำแหน่งอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบริเวณที่ต่ำ จึงมีการเคลื่อนย้ายของเบสจากตอนบนของความลาดเหมาะสมในบริเวณที่ต่ำกว่า (Sanchez, 1976) ความจุการแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่อยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 1.25-3.75 เซนติโมล/กก. (Table 2) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากธรรมชาติของตัวดินเองที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำประกอบกับมีปริมาณอินทรียวัตถุที่ต่ำ (Buol et al., 2003; Brady and Weil, 2008)

Table 1 Physical properties of soils on a toposequence derived from sandstone

Depth	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density	Hydraulic conductivity	FC	PWP	AWC
		sand	silt	clay						
(cm)		(-----g kg ⁻¹ -----)				(Mg m ⁻³)	(cm h ⁻¹)	(%)		
Summit										
0-22	Ap1	864	77	60	loamy sand	1.48	3.51	7.15	2.75	6.51
22-46	Ap2	821	137	42	loamy sand	1.58	3.14	6.76	2.50	6.72
46-75	Bt1	780	84	136	sandy loam	1.79	4.10	7.41	3.66	6.70
75-100	Bt2	750	92	157	sandy loam	1.64	8.20	10.11	5.36	7.80
100-129	Bt3	775	63	161	sandy loam	1.67	6.87	6.92	2.68	7.08
129-152	Bt4	752	82	166	sandy loam	1.67	6.64	9.61	4.86	7.94
152-170	Bt5	771	46	183	sandy loam	1.65	4.53	10.31	5.35	8.18
170-200	Bt6	687	168	145	sandy loam	1.60	1.81	10.25	5.03	8.34
Upper midslope										
0-18	Ap1	862	83	55	loamy sand	1.43	15.48	5.45	1.82	5.20
18-32	Ap2	863	65	72	loamy sand	1.56	13.38	5.83	2.72	4.86
32-54	Bt1	876	52	72	loamy sand	1.64	9.81	5.85	1.93	6.43
54-76	Bt2	856	97	47	loamy sand	1.63	3.74	5.98	3.09	4.72
76-99	Bt3	856	47	97	loamy sand	1.85	1.56	6.58	2.32	7.87
99-125+	Btg	809	89	102	loamy sand	1.73	7.62	7.38	2.02	9.28
Lower midslope										
0-11	Ap1	864	72	64	loamy sand	1.59	2.98	7.53	2.25	8.40
11-30	Ap2	852	88	59	loamy sand	1.53	8.85	6.30	1.85	6.81
30-50	Bt1	847	102	51	loamy sand	1.60	8.39	5.06	1.45	5.78
50-72	Bt2	830	98	72	loamy sand	1.69	17.96	17.51	12.97	7.68
72-96	Bt3	856	93	51	loamy sand	1.73	24.40	5.26	1.60	6.34
96-120	Btg1	845	91	64	loamy sand	1.77	17.03	5.24	1.65	6.36
120-150	Btg2	792	102	106	sandy loam	1.72	12.71	8.93	3.37	9.56
Footslope										
0-30	Ap1	912	33	55	sand	1.39	18.62	4.04	1.53	3.50
30-50	Ap2	855	69	76	loamy sand	1.65	12.42	5.64	2.45	5.27
50-71	Bt1	783	81	136	sandy loam	1.83	8.42	9.18	4.15	9.46
71-96	Bt2	762	77	161	sandy loam	1.75	3.38	9.95	4.23	10.01
96-121	Bt3	738	151	111	sandy loam	1.75	1.83	10.94	5.04	10.33
121-143	Bt4	748	121	132	sandy loam	1.70	3.03	10.92	5.06	9.97
143-170	Bt5	762	60	178	sandy loam	1.68	1.95	10.46	4.66	9.73
170-200	Btc	758	81	161	sandy loam	1.68	1.27	9.67	4.25	9.11

: Scoring is used for the assessment of physical properties rating of soil according to Kanchanaprasert (1985) :

Bulk density (Mg m⁻³) : Low = <1.4; Medium = 1.4-1.8; High = >1.8

Hydraulic conductivity (cm h⁻¹) : Slow = <0.5; Moderate = 0.5-12.5; Rapid = >12.5

หน่วยการจำแนกดิน

จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของดิน สามารถจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิชาดิน (Soil Survey Staff, 2006) พบว่า ดินที่ทำการศึกษามีการสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่างชัดเจนที่เรียกว่าชั้นดินล่างวิจิตรอาร์จิลิก (argillic horizon) และมีร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำกว่าร้อยละ 35 ที่ระดับความลึก 145 ซม. จึงจัดจำแนกอยู่ในอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols)

พื้นที่ที่มีปริมาณฝนค่อนข้างต่ำ ทำให้ดินมีความชื้นจำกัด จึงจัดเข้าในระบบของความชื้นดินแบบอัสติก (ustic soil moisture regime) ทำให้ดินนี้อยู่ในอันดับดินย่อย Ustult และพบว่าปริมาณดินเหนียวไม่ลดลงมากกว่าร้อยละ 20 จากชั้นที่มีการสะสมมากที่สุดภายในระดับความลึก 150 ซม. จากผิวดิน และดินไม่มีลักษณะและคุณสมบัติอื่นใดที่แตกต่างไปจากลักษณะเด่นของกลุ่มดินใหญ่

ดังนั้นดินตัวแทนที่ทำการศึกษาคั้งนี้จัดจำแนกในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Typic Paleustults ทั้ง 4 ตำแหน่งตามลำดับภูมิประเทศ

การประเมินชั้นความเหมาะสมของดิน

การประเมินชั้นความเหมาะสมของที่ดินในตำแหน่งต่างๆ ตามลำดับภูมิประเทศสำหรับการปลูกมันสำปะหลังและอ้อยแบ่งชั้นความเหมาะสมได้เป็น 4 ชั้น ได้แก่ S1, S2, S3 และ S4 (เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย และไม่เหมาะสมตามลำดับ) โดยใช้ข้อมูลภาคสนาม สมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีบางประการดังแสดงใน Table 3 พบว่า ดินบริเวณยอดเนินเป็นดินลิกมาก เนื้อดินบนอยู่ใน

กลุ่มดินทราย ส่วนดินล่างอยู่ในกลุ่มดินร่วน การระบายน้ำดี มีระดับน้ำใต้ดินลึกเกินกว่า 2 ม. มีความลาดชันร้อยละ 4 ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ พีเอชดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดปานกลาง ความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ ซึ่งมีความเหมาะสมปานกลางสำหรับการปลูกมันสำปะหลังและอ้อย โดยจัดชั้นความเหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังและอ้อยได้เป็น S2en และ S2mn ตามลำดับ

ดินบริเวณตอนบนและตอนล่างของที่ลาดเทตอนกลางเป็นดินลิก เนื้อดินบนและดินล่างอยู่ในกลุ่มดินทราย การระบายน้ำดี มีความลาดชันร้อยละ 3-4 มีความยาวของความลาดเทมาก ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ พีเอชดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดปานกลาง ความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ และพบระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างตื้นที่ความลึกประมาณ 125-150 ซม. ในฤดูแล้ง จึงมีความเหมาะสมเล็กน้อยสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง และเหมาะสมปานกลางสำหรับอ้อย โดยจัดชั้นความเหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังได้เป็น S3dne และสำหรับอ้อยได้เป็น S2ns

ดินบริเวณตีนเขาเป็นดินลิกมาก เนื้อดินบนอยู่ในกลุ่มดินทราย ส่วนดินล่างอยู่ในกลุ่มดินร่วน การระบายน้ำดี มีความลาดชันร้อยละ 2 ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ พีเอชดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง ความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินปานกลางและพบน้ำใต้ดินลึกกว่า 2 ม. จึงมีความเหมาะสมเล็กน้อยสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง และเหมาะสมปานกลางสำหรับอ้อย โดยจัดชั้นความเหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังได้เป็น S3nd และสำหรับอ้อยอ้อยได้เป็น S2ns

Table 2 Chemical properties of soils on a toposequence derived from sandstone.

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1	OM	Total N	Available		Extractable bases			CEC	BS
		(H ₂ O)			P	K	Ca	Mg	Na		
			(-----g kg ⁻¹ -----)		(-----mg kg ⁻¹ ----		(----- cmol kg ⁻¹ -----)				(%)
Summit											
0-22	Ap1	5.5	4.91	0.55	6.17	18.50	0.59	0.20	0.56	2.25	15
22-46	Ap2	5.5	4.79	0.53	4.17	14.75	0.73	0.36	0.68	2.25	17
46-75	Bt1	5.4	1.92	0.31	1.47	46.25	0.71	0.43	0.42	2.25	19
75-100	Bt2	5.2	1.88	0.37	1.32	34.25	0.75	0.84	0.70	2.50	17
100-129	Bt3	5.2	1.47	0.36	1.17	26.50	0.62	0.22	0.19	2.50	10
129-152	Bt4	5.1	1.43	0.33	1.02	25.25	0.31	0.31	0.30	2.75	10
152-170	Bt5	4.9	1.39	0.29	0.87	23.25	0.20	0.27	1.11	2.75	13
170-200	Bt6	4.9	1.35	0.27	0.87	26.75	0.17	0.94	0.51	3.00	14
Upper midslope											
0-18	Ap1	5.5	4.25	0.39	10.67	15.75	0.49	0.13	0.76	1.25	26
18-32	Ap2	5.4	4.09	0.18	3.45	11.00	0.51	0.19	0.26	2.25	10
32-54	Bt1	6.2	1.92	0.19	1.32	10.50	0.31	0.12	0.41	1.25	18
54-76	Bt2	6.0	1.72	0.21	1.17	13.00	0.05	0.04	0.37	1.25	5
76-99	Bt3	5.4	1.51	0.28	1.17	10.25	0.30	0.13	0.25	1.25	6
99-125	Btg	4.9	1.22	0.39	1.94	10.50	1.30	0.23	0.66	1.50	17
Lower midslope											
0-11	Ap1	5.9	5.12	0.42	7.28	23.25	0.90	0.29	0.47	2.75	15
11-30	Ap2	5.9	5.08	0.38	3.27	21.00	0.68	0.17	0.50	3.50	15
30-50	Bt1	6.0	1.72	0.29	1.17	13.75	0.48	0.12	0.49	1.25	11
50-72	Bt2	6.0	1.51	0.31	1.02	18.75	0.67	0.22	0.40	1.75	11
72-96	Bt3	5.9	1.47	0.35	1.02	10.50	0.35	0.15	0.44	2.25	11
96-120	Btg1	5.0	1.43	0.31	1.17	10.50	0.29	0.16	1.00	1.50	13
120-150	Btg2	4.6	1.3	0.26	2.93	19.50	0.48	0.30	0.83	2.50	22
Footslope											
0-30	Ap1	5.9	5.49	0.26	4.17	12.25	0.67	0.11	0.36	1.25	28
30-50	Ap2	5.9	5.08	0.77	2.59	14.75	0.52	0.25	0.59	2.50	32
50-71	Bt1	5.8	1.37	0.44	1.32	7.250	0.22	0.10	0.41	2.00	25
71-96	Bt2	5.0	1.26	0.23	1.32	24.00	0.65	0.41	0.45	2.50	34
96-121	Bt3	4.5	1.22	0.27	0.27	20.75	0.31	0.48	0.18	3.75	25
121-143	Bt4	4.4	1.18	0.16	0.16	19.75	0.21	0.19	0.74	3.25	14
143-170	Bt5	4.4	1.10	0.20	0.20	15.25	0.19	0.19	0.30	3.25	8
170-200	Btc	4.4	1.02	0.32	0.87	11.85	0.21	0.45	0.17	2.50	10

: Scoring is used for the assessment of chemical properties rating of soil according to Land Classification and FAO Project (1973) : Soil pH (1:1 Soil: H₂O) : < 3.5 = Ultra acid; 3.5-4.4 = Extremely acid; 4.5-5.0 = Very strongly acid; 5.1-5.5 = Strongly acid; = 5.6-6.0 = Moderately acid; 6.1-6.5 = Slightly acid; 6.6-7.3 = Neutral; 7.4-7.8 = Slightly alkaline; 7.9-8.4 = Moderately alkaline; 8.5-9.0 = Strongly alkaline; > 9.0 = Very strongly alkaline

Organic matter content (g kg⁻¹) : Low = <15; Medium = 15-35; High = >35

Available P (mg kg⁻¹) : Low = <10; Medium = 10-25; High = >25

Available K (mg kg⁻¹) : Low = <60; Medium = 60-90; High = >90

Extractable Ca (cmol kg⁻¹) : Low = <5; Medium = 5-10; High = >10

Extractable Mg (cmol kg⁻¹) : Low = <1; Medium = 1-3; High = >3

Extractable Na (cmol kg⁻¹) : Low = <0.3; Medium = 0.3-0.7; High = >0.7

Extractable acidity (cmol kg⁻¹) : Low = <2; Medium = 2-10; High = >10

CEC (cmol kg⁻¹) : Low = <10; Medium = 10-20; High = >20

BS (%) : Low = <35; Medium = 35-75; High = >75

Table 3 Soil suitability for growing cassava and sugarcane of soils on different positions on toposequence

Position on toposequence	Soil suitability classes for specific economic crops ^{1/}	
	Cassava	Sugarcane
Summit	S2 en	S2 mn
Upper midslope	S3 dne	S2 ns
Lower midslope	S3 dne	S2 ns
Footslope	S3 nd	S2 nm

^{1/} S1 = highly suitable, S2 = moderately suitable S3 = marginally suitable, S4 = not suitable, e = erosion, n = nutrient, d = drainage, m = moisture deficiency, s = texture

โดยภาพรวมดินบริเวณยอดเนินมีความเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังปานกลางเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องการร่อนดินและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่วนอีก 3 บริเวณที่อยู่ต่ำกว่าซึ่งมีระดับน้ำใต้ดินตื้นที่ตื้นกว่าจะมีความเหมาะสมน้อยโดยมีข้อจำกัดในเรื่องความเสี่ยงต่อการขังน้ำในเขตรากพืชเพิ่มเติมโดยเฉพาะในปีที่ฝนมากเช่นในปีที่ทำการศึกษานี้ โดยบริเวณตอนบนและตอนล่างของที่ลาดเทตอนกลางมีความเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังต่ำที่สุด ในขณะที่ดินทุกบริเวณมีความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อยปานกลางโดยมีข้อจำกัดเรื่องธาตุอาหารพืชต่ำรวมทั้งเนื้อดินที่เป็นทรายที่ส่งเสริมให้ขาดน้ำ โดยเฉพาะบริเวณยอดเนินที่มีแนวโน้มให้อ้อยเสี่ยงต่อการขาดน้ำโดยเฉพาะในปีที่ฝนแล้ง และในทุกบริเวณไม่พบปัญหาเรื่องน้ำใต้ดินตื้น ซึ่งบริเวณดินเขามีแนวโน้มเหมาะสมต่อการปลูกอ้อยมากที่สุดเมื่อพิจารณาจากข้อจำกัดที่พบ

ดังนั้นจากข้อจำกัดที่พบควรมีปลูกหญ้าแฝกขวางความลาดเทเพื่อป้องกันการร่อนดินเนื่องจากพื้นที่มีความยาวของความลาดเทมาก หากปลูกมันสำปะหลังต้องทำทางระบายน้ำ (diversion channel) เพื่อลดปัญหาการขังน้ำในร่อง รวมถึงการเพิ่มมาตรการลดการสูญเสียความชื้นที่ผิวดิน และลดปัญหาการสูญเสียธาตุอาหารพืชโดยการชะละลาย เนื่องจากเนื้อดินใน

บริเวณเขตรากพืชมีเนื้อหยาบ รวมทั้งดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก

สรุป

ลำดับภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาเตี้ยของหินทรายที่ทำการศึกษามีผิวน้ำเป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงเกือบราบ ความลาดเทยาว การไหลบ่าหน้าผิวดินปานกลางและความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านผิวดินปานกลางถึงเร็ว ดินในทุกบริเวณเป็นดินลึก การระบายน้ำดี โดยตอนบนของที่ลาดเทตอนกลางพบน้ำใต้ดินอยู่ตื้นที่สุด รองลงมาได้แก่ ตอนล่างของที่ลาดเทตอนกลาง ดินเขาและยอดเนิน ตามลำดับ สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินตามลำดับภูมิประเทศมีความคล้ายคลึงกัน ได้แก่ เป็นดินในกลุ่มดินเนื้อหยาบโดยดินบนส่วนใหญ่เป็นทราย ความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ต่ำ ดินเป็นกรดรุนแรงถึงเป็นกรดปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ดินทุกบริเวณจำแนกอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Paleustults ดินมีความเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังเล็กน้อยถึงปานกลางเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องการร่อนดินและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ รวมทั้งความเสี่ยงต่อการขังน้ำ โดยดินบริเวณยอดเนินมีความเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังมากกว่าดินใน

ตำแหน่งอื่นๆ ในขณะที่ดินทุกบริเวณมีความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อยปานกลาง โดยมีข้อจำกัดเรื่องธาตุอาหารพืชต่ำรวมทั้งเนื้อดินที่เป็นทรายที่ส่งเสริมให้ขาดน้ำ ดังนั้นศักยภาพของดินที่เกิดจากหินทรายตามลำดับภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาเดี่ยวสำหรับการปลูกมันสำปะหลังและอ้อยจะขึ้นอยู่กับระดับน้ำใต้ดินและสมบัติทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับความชื้นมากกว่าสมบัติทางเคมีของดิน

คำขอบคุณ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโทด้านการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2547. มันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 7. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2554. รายงานสภาวะอากาศ-นครราชสีมา. แหล่งข้อมูล: <http://www.tmd.go.th/province.php> ค้นเมื่อ 23 ธันวาคม 2553.
- กองสำรวจและจำแนกดิน. 2543. การประเมินชั้นความเหมาะสมของที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2546. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลัง, น. 22-28. ใน: เอกสารประกอบการฝึกอบรมโครงการพัฒนาศักยภาพการผลิตและการตลาดมัน. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. 2547. เอกสารวิชาการ อ้อย ลำดับที่ 9/2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วนิดา พานิก. 2546. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเชิงแร่และสมบัติของดินตามลำดับภูมิประเทศในอำเภอน้ำพองภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยพืชไร่. 2537. เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2553 แหล่งข้อมูล : <http://www.oae.go.th/download/article/2553.pdf>. ค้นเมื่อ 22 เมษายน 2553.
- เอิบ เขียวร่มฉัตร. 2547. คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Alves, A.A.C. 2002. Cassava : Biology, Production and Utilization, Wallingford Publishing.
- Applegarth, M.T., and D.E. Dahams. 2001. Soil catena of calcareous tills, Whiskey Basin, Wyoming USA. Catena 42: 17-38.
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 2008. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey
- Buol, S.W., F.D. Hole., and R.J. McCracken. 2003. Soil Genesis and Classification. The Iowa State Univ. Press, Ames.
- Elder, J.W., and R. Lal. 2007. Tillage effects on physical properties of agricultural organic soils of North Central Ohio. Soil Till. Res. 98: 208-210.
- Gobin, A., P. Campling, J. Deckers, and J. Feyen, 1998. Integrated toposequence analysis at the confluence zone of the river ebonyi headwater catchment south eastern Nigeria. Catena 32: 173-192.
- Howeler, R.H. 1981. Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Centro Internacional Agric. Tropical (CIAT) 09 EC-4.
- Hunsigi, G. 1993. Production of Sugarcane Theory and Practice. Mercedesdruck. Berlin.
- Litaor, M.I. 1992. Aluminum mobility along a geochemical catena in an alpine watershed, Front Range, Colorado. Catena 19: 1-16.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigation. Report No. 42, Version 3.0 National Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.
- Ruhe, R.V. 1975. Geomorphology : Geographic processes and Surficial Geology. Houghton Mifflin, Boston.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and Management of Soil in the Tropics. John Wiley and Son, Inc., New York.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10th ed. Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington, D.C.

- Thanachit, S., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, and R.J. Gilkes. 2004. Changes in soil chemical characteristics and land uses of a basaltic soil catena in Northeast Plateau, Thailand. *In* I. Kheoruenromne, J.A. Riddell and K. Soitong, eds., The International Conference on Innovative Practices for Sustainable Sloping Lands and Watershed Management (SSWM). 5-9 September 2004, Chiang Mai.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton, and J.L. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed. New York: MacMillan Publishing Company.
- USDA and FAO. 1983. Guidelines : Land Evaluation for Rainfed Agriculture. FAO. Soil Bulletin 52, Rome.