

ศักยภาพของดินในการปลูกอ้อยภายใต้สภาพภูมิอากาศทุ่งหญ้าเขตร้อน ในจังหวัดหนองบัวลำภู ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย Potential of Soils for Sugarcane Cropping under Tropical Savanna Climate in Nong Bua Lam Phu Province, Upper Northeast Thailand

รัตติกาล สวยางม¹ เอิบ เขียวรีนรมณ์^{1,*} อัญชลี สุทธิประการ¹ และ ทิมทอง ตรุณสนธยา¹
Rattikarn Suayngam¹, Irb Kheoruenromen^{1,*}, Anchalee Suddhiprakarn¹
and Timtong Darunsontaya¹

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900 Thailand

วันที่รับบทความ: 25 มิถุนายน 2562

Received: 25 June 2019

วันที่แก้ไขบทความเสร็จ: 26 กรกฎาคม 2562

Revised: 26 July 2019

วันที่รับตีพิมพ์บทความ: 30 กรกฎาคม 2562

Accepted: 30 July 2019

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

ABSTRACT: A study on potential of soils for growing sugarcane in Nong Bua Lam Phu Province, Upper Northeast, Thailand was carried out on ten selected areas. Methods of study included analysis of soil morphology in the field, laboratory analysis on physical and chemical properties and mineralogical characteristics of soil samples according to standard methods. Assessment of soil fertility status and soil fertility capability was included by considering sugarcane crop's requirements. Results of the study revealed that Nong Bua Lam Phu Province has rather extensive upland and semi-lowland areas under agriculture uses. They are on middle plain terrace. The soils developed on wash deposits overlying residuum derived from sedimentary and metamorphic rocks. They are very deep, moderately to highly developed soils. Their texture ranges from loamy to clayey with clay accumulation in subsoils and some areas have plinthite. They have moderately high bulk density. Their pH ranges from extremely acid to extremely alkaline (pH 4.4–8.7). Plant nutrient level are moderate. Secondary nutrients do not pose any restriction for sugarcane cultivation. Their major problem micronutrient is low level of zinc. Their clay fraction is dominated by vermiculite and kaolinite. Most of the soils have low fertility. Their fertility capability classification unit is La'k with main constraints as aluminum toxicity and low-K reserve.

Keywords: Sugarcane, potential of soils, fertility capability classification

1978; Field Crops Research Center, 1983; Blackburn, 1984) อ้อยต้องการดินที่มีโครงสร้างร่วนซุย (Hunsigi, 1993) ความหนาแน่นมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย (Hunsigi, 1993) อ้อยเป็นพืชที่มีความไวต่อการขาดออกซิเจน มีผลทำให้พัฒนาการของรากในการดูดธาตุอาหารเสียไป (Hunsigi, 1993) อุณหภูมิดินมักไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อวัดที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จึงไม่เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของอ้อยในเขตร้อน (Sanchez, 1976) และอ้อยเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีระดับความชื้นแตกต่างกันอย่างมาก

อ้อยเป็นพืชที่ใช้ธาตุอาหารจากดินเป็นปริมาณค่อนข้างสูง โดยเฉพาะเมื่อปลูกอ้อยแบบพืชเดี่ยว และเมื่อนำผลผลิตและกากที่เหลือออกจากพื้นที่ จึงเท่ากับเป็นการนำธาตุอาหารต่าง ๆ ออกไปทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์พร้อมกับสิ่งเหล่านี้ จึงเป็นสาเหตุทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ (Hunsigi, 1993) โดยอิทธิพลของธาตุอาหารหลักต่ออ้อย มีดังนี้ ไนโตรเจนเป็นธาตุแรกที่จำกัดการเจริญเติบโตของอ้อย ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของอ้อยเป็นอย่างมาก เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ซึ่งมีผลทำให้ใบสีเขียวเข้ม ใบขยายกว้างและมีอัตราการสร้างใบสูงขึ้น การขยายขนาดและการยึดของข้อปล้อง (Blackburn, 1984) ฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบหลักของ nucleic acid และ phospholipid ช่วยในการสร้างน้ำตาลซูโครสจากแป้ง และ reducing sugar สะสมในลำต้น ทำให้อ้อยตั้งกอเร็วและแตกกอสูง (Ramos and de Sousa, 1971) กระตุ้นการงอกของราก (Barnes, 1953) ความเป็นกรดต่างของดินมีอิทธิพลต่อการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสของอ้อย โดยที่การตอบสนองของอ้อยต่อปุ๋ยฟอสเฟต พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้ลึกในดินเป็นการช่วยให้รากแพร่ขยายลึกกลงไปในดิน โพแทสเซียมพบมากในส่วนที่เซลล์แบ่งตัว โดยอ้อยที่ได้รับโพแทสเซียมไม่เพียงพอจะมีการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าปกติ ไม่มีการแตกกอ ลำอ้อยเล็กกว่าปกติ (Blackburn, 1984; Ludlow *et al.*, 1992) สำหรับ

อิทธิพลของธาตุรอง แคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นธาตุที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้อปล้อง และลำอ้อย โดยธาตุทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (Evans, 1959) ส่วนกำมะถันเป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมให้อ้อยมีการแตกกอมากขึ้น และยังช่วยทำให้ลำอ้อยมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้น (Ghosh *et al.*, 1990) อิทธิพลของจุลธาตุอาหาร และธาตุอื่น ๆ จะช่วยให้การเจริญเติบโตของอ้อยเป็นไปอย่างปกติ แต่ไม่มีรายงานที่แน่ชัดว่าเมื่อให้จุลธาตุต่าง ๆ แก่อ้อยแล้วจะทำให้อ้อยมีปริมาณ และผลผลิตเพิ่มขึ้น ยกเว้นกรณีที่อ้อยแสดงอาการขาดแร่ธาตุ ซึ่งแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่ออ้อยอีกชนิดหนึ่ง คือ ซิลิกอน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่ป้องกันการเข้าทำลายของโรคและแมลง เนื่องจากซิลิกอนเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ และช่วยทำให้ต้นไม่ล้มง่าย (Fox *et al.*, 1969; Wong You Cheong and Halais, 1976; Hunsigi, 1993)

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อน สามารถปรับตัวเข้ากับภูมิอากาศแบบเขตร้อนและกึ่งร้อนได้ อุณหภูมิที่เฉลี่ยต่ำสุดที่อ้อยสามารถเจริญเติบโตได้ คือ 12 องศาเซลเซียส (Legendre, 1975) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 27–38 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียสทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงมากที่สุด (Alexander, 1973) นอกจากนี้ การลดลงของอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อ้อยสุกแก่โดยเฉพาะในเวลากลางคืน อ้อยจะหยุดชะงักหรือเจริญเติบโตช้าลง แต่มีการสะสมซูโครสมากขึ้น อ้อยเป็นพืชที่ต้องการแสงแดดมาก และเป็นแสงแดดที่จ้า ปราศจากเมฆหมอกปกคลุมและได้รับเป็นเวลานาน โดยเฉพาะระยะที่อ้อยกำลังแตกกออย่างปล้อง (Field Crops Research Center, 1983) อ้อยเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 500–2,500 มิลลิเมตรต่อปี หรือในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยหรือปริมาณน้ำฝนไม่แน่นอนร่วมกับการใช้น้ำชลประทาน โดยอ้อยที่ได้น้ำอย่างเพียงพอทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตสูง อ้อยที่ขาดน้ำหรือได้รับน้ำมากเกินไปมีผลทำให้การเจริญ

เติบโตลดลง เนื่องจากไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาของ ราก (Field Crops Research Center, 1983)

สืบเนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายบริหารพื้นที่ เกษตรกรรมของพืช (zoning) โดยเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าว ที่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมไปสู่การปลูกอ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่ง สภาพอากาศโดยทั่วไปเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย พื้นที่ ปลูกอ้อยส่วนใหญ่เป็นการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนโดย เฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งลักษณะดินมี ปริมาณอนุภาคขนาดทรายเป็นองค์ประกอบเด่น ปริมาณดินเหนียวต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ ความชื้น ที่เป็นประโยชน์ต่ำ ปริมาณความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออนต่ำ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารของดินต่ำ จึงเกิดการสูญเสียธาตุอาหาร ออกไปจากเขตรากพืชเร็ว ขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง โครงสร้างดินไม่แข็งแรง ส่งผลต่อเนื่องให้เกิดการกร่อนดิน (Madee and Hunpab, 2015) ทำให้เกิดการ เสื่อมโทรมของดิน นอกจากปัญหาทางด้านดินแล้ว ใน บางพื้นที่ประสบปัญหายากแล้ง รวมทั้งการกระจายของ น้ำฝนในแต่ละปีไม่ดี การเขตกรรมไม่เหมาะสม โรคและ แมลงระบาดโดยเฉพาะหนอนกออ้อย จึงส่งผลกระทบ ต่อการเจริญเติบโตของอ้อย ปัจจัยที่ส่งผลเป็นสาเหตุที่ ทำให้ผลผลิตอ้อยต่ำโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียง เหนือ (Office of Agriculture Economics, 2015)

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญทาง อุตสาหกรรมของประเทศไทย เพราะใช้เป็นวัตถุดิบใน การผลิตน้ำตาล และผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล ยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น แอลกอฮอล์ พลังงาน ไม้อัด และกระดาษ เป็นต้น ทั้งเป็นสินค้าแปรรูป ทางด้านอุปโภคและบริโภคในประเทศและเป็นสินค้า ส่งออกสร้างรายได้ให้กับประเทศมูลค่าสูง อุตสาหกรรม อ้อยและน้ำตาลมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของ ประเทศ ในปีการผลิต 2558/2559 มีพื้นที่ปลูกอ้อยใน ประเทศประมาณ 11,033,736 ไร่ มีพื้นที่เก็บเกี่ยวอ้อย ส่งโรงงาน 10,003,430 ไร่ มีปริมาณอ้อยส่งโรงงาน 111,052,085 ตัน ได้ผลผลิตเฉลี่ย 11.1 ตันต่อไร่

(Office of Agriculture Economics, 2016) ซึ่งค่อนข้างต่ำ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน ศักยภาพของดินที่ใช้ในการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยเน้นพื้นที่ จังหวัดหนองบัวลำภูซึ่งอยู่ภายใต้สภาพทุ่งหญ้าเขตร้อน ที่ค่อนข้างชื้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนา เทคโนโลยีการปลูกอ้อยที่เหมาะสมและมีความยั่งยืน มากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 เลือกพื้นที่ ที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดหนองบัวลำภูเป็นตัวแทน 10 บริเวณ ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาสนามของดิน ตามวิธีมาตรฐาน (Kheoruenromne, 2005; Soil Science Division Staff, 2017) โดยขุดหลุมหน้าตัด ดินขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 2 เมตร แต่ง หน้าตัดดินให้สามารถมองเห็นสัณฐานวิทยาของดิน ชัดเจน แบ่งชั้นดินตามชั้นกำเนิดดิน (genetic horizon) และเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้อง ปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐาน คือ ทางฟิสิกส์ ได้แก่ การ กระจายของขนาดอนุภาคดิน โดยวิธี Pipette (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) และนำผล วิเคราะห์ที่ได้มาแจกแจงประเภทเนื้อดินตามเกณฑ์ของ กระทรวงสหรัฐอเมริกา (Soil Survey Division Staff, 2014) วิเคราะห์ความหนาแน่นรวม โดยวิธี Core method (Blake, 1965) สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดิน ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Klute and Dirken, 1986) และ วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ พีเอช (pH) (National Soil Survey Center, 1996) สภาพการนำไฟฟ้า (Richards, 1954; National Soil Survey Center, 1996; Faithfull, 2002) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black, 1934; Nelson and Sommers, 1996) ไนโตรเจนรวม (Jackson, 1965; National Soil Survey Center, 1996) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

(Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Pratt, 1965) สภาพกรดที่สกัดได้ (Thomas, 1982) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) (Chapman, 1965) เบสที่สกัดได้ (Thomas, 1982a) และร้อยละความอิ่มตัวเบส (%BS) (National Soil Survey Center, 1996) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดิน โดยวิธีการเบี่ยงเบนรังสีเอกซ์ (Whittig and Allardice, 1986)

นำผลวิเคราะห์ดิน มาประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Sanchez *et al.*, 1982) โดยประเมินชนิดและข้อจำกัดของดินบนและดินล่างที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร จากผิวดิน

ผลการทดลองและวิจารณ์

สภาพแวดล้อมและฐานวิทยาสานของดิน

จังหวัดหนองบัวลำภู มีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นแอ่งที่ราบมีภูเขาล้อมรอบ พื้นที่ร้อยละ 65-70 ปกคลุมด้วยเนินที่มีดินหินรองรับ และเป็นกลุ่มเฉพาะที่มีลำพะเนียงเป็นแม่น้ำสายหลักพัดพาตะกอนมาตกทับถมในแนวลำน้ำ และที่ราบสองฝั่งแม่น้ำ ทำให้มีหินตะกอนเป็นส่วนใหญ่ มีความสูง 200 เมตร

จากระดับทะเลปานกลาง มีสภาพภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (Aw) จากการศึกษาสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ลักษณะของพื้นที่ ลักษณะของหน้าตัดดินที่สัมพันธ์กับลักษณะทางธรณีสัณฐานของพื้นที่ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ในพืดอนที่ 1, 3 และ 4 อยู่ในบริเวณตะพักที่ราบระดับกลางเกิดจากตะกอนเคลี่ยผิวดินทับถมอยู่บนตะกอนตลิ่งของหินพื้น เป็นดินที่มีพัฒนาการค่อนข้างสูง ในกลุ่มที่ 2 พืดอน 1 และ 10 อยู่ในบริเวณที่เป็นช่วงเปลี่ยนแปลงตอนบนระหว่างตะพักที่ราบระดับกลางกับตะพักที่ราบระดับต่ำ มีอิทธิพลของน้ำใต้ดินในตอนล่างของหน้าตัดดินทำให้มีชั้นพินไทต์ แต่อยู่ต่ำกว่า 100 เซนติเมตร มีการพัฒนาค่อนข้างสูง ในกลุ่มที่ 3 พืดอน 6, 8 และ 9 อยู่ในบริเวณที่เป็นช่วงเปลี่ยนแปลงตอนล่างระหว่างตะพักที่ราบระดับกลางกับตะพักที่ราบระดับต่ำ มีอิทธิพลของน้ำใต้ดินตอนล่างของหน้าตัดดิน และอยู่ใกล้กับผิวดินมากขึ้น ทำให้มีชั้นพินไทต์อยู่ในระดับลึก 100 เซนติเมตร มีพัฒนาการปานกลาง และกลุ่มที่ 4 พืดอน 5 และ 7 อยู่ในบริเวณตะพักที่ราบระดับต่ำ แสดงลักษณะการขังน้ำ มีพัฒนาการต่ำกว่าดินทั้ง 3 กลุ่มที่กล่าวมา บริเวณที่เก็บ และศึกษาดินแสดงไว้ใน Figure 1 และลักษณะของหน้าตัดดินแสดงไว้ใน Figure 2

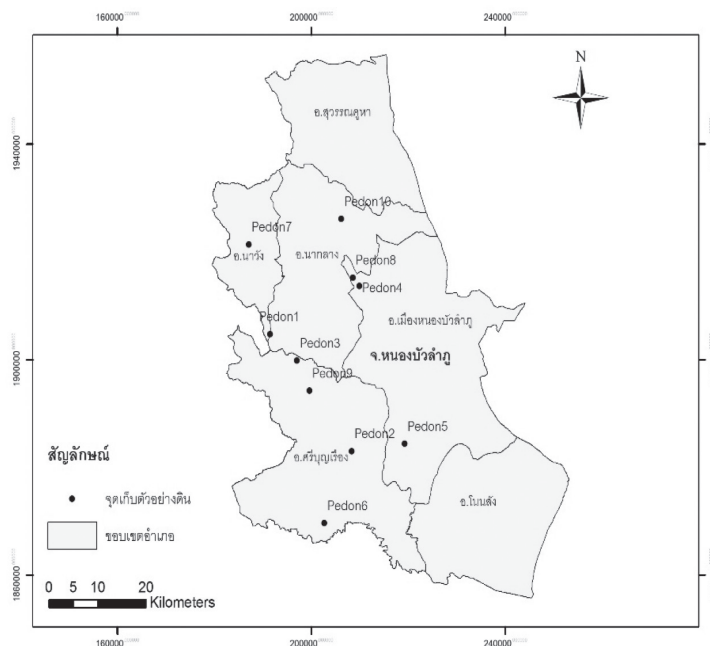


Figure 1 Sampling location

สภาพภูมิอากาศ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสภาพภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อนที่มีฝนตกเฉพาะฤดู (Tropical Savanna Climate) ตามระบบการจำแนกของ Köppen การกระจายตัวของฝนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จะได้รับอิทธิพลของลมมรสุม 3 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพายุดีเปรสชัน จากข้อมูลสถิติภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึง 2561 ของสถานีตรวจอากาศของจังหวัดหนองบัวลำภู พบว่า ปริมาณน้ำฝน

ตลอดปีเท่ากับ 1391.3 มิลลิเมตร มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกันยายน (226.6 มิลลิเมตร) และต่ำสุดในเดือนมกราคม (8.6 มิลลิเมตร) มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.5 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมกราคม 23.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน 30.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี มีค่าร้อยละ 74.8 โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าร้อยละ 62.8 และสูงสุดในเดือนกันยายน มีค่าร้อยละ 85 (Figure 3)

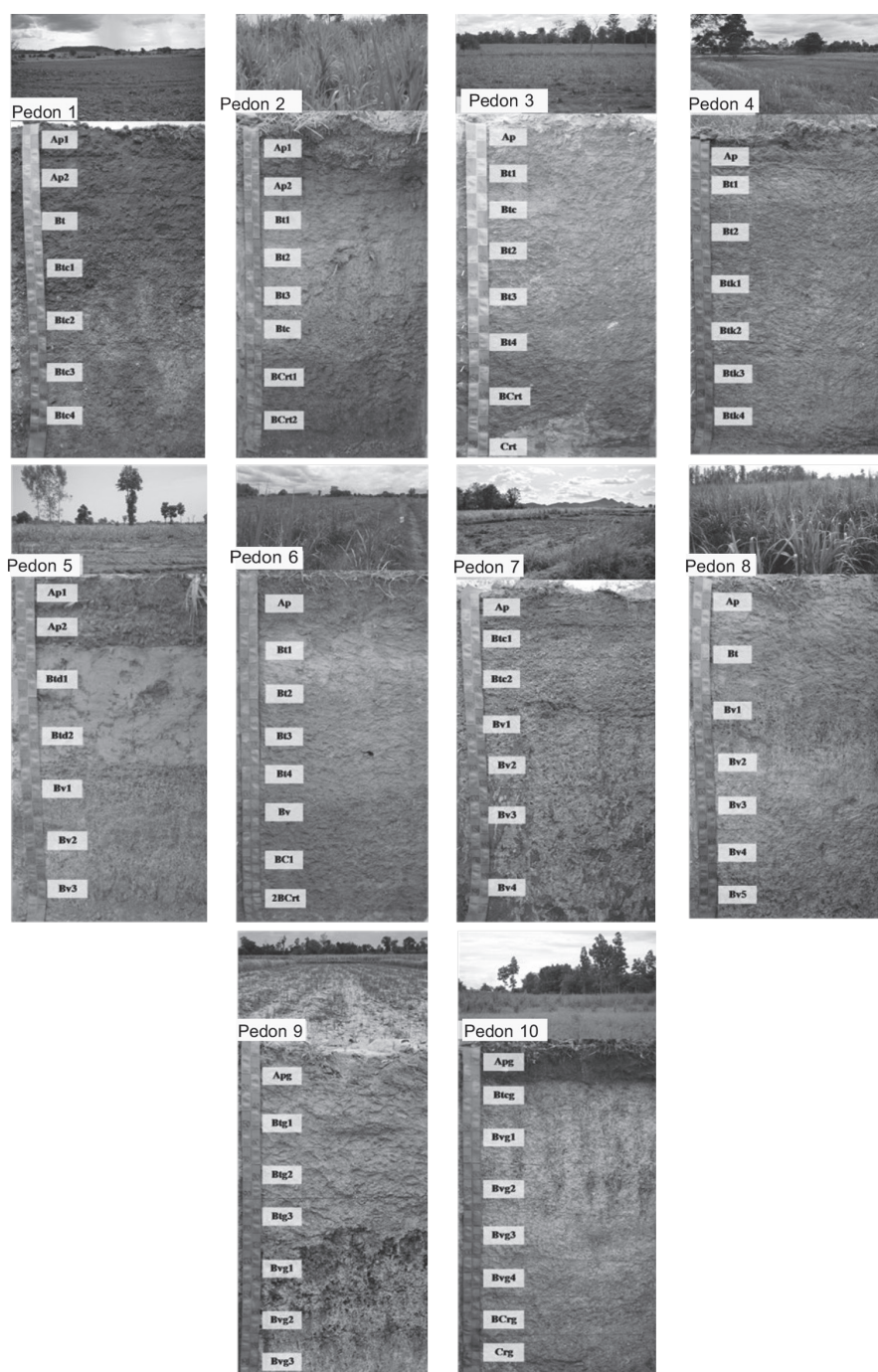


Figure 2 Profile characteristics of sugarcane growing soils in the study area

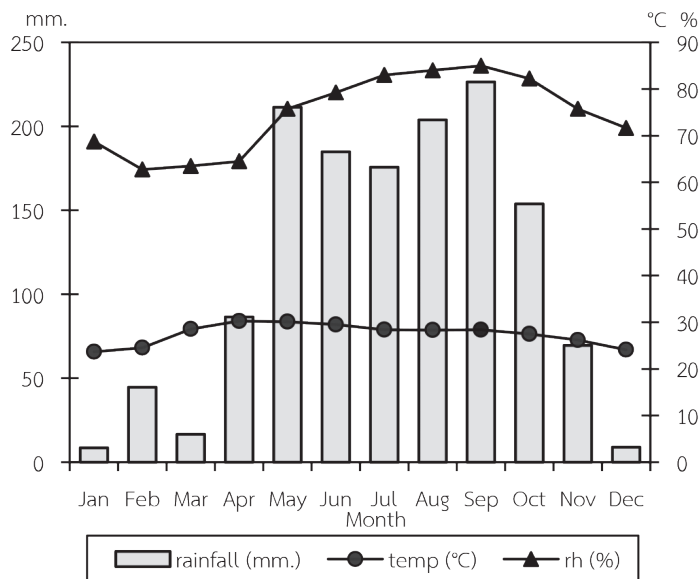


Figure 3 Climate in Nong Bua Lam Phu Province

สมบัติทางกายภาพ

การกระจายของอนุภาคดินขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว (Figure 4) พบว่า การกระจายของอนุภาคทรายส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน การกระจายของอนุภาคขนาดทรายแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน และการกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การจำแนกชั้นดิน ดินที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่ ชั้นดินบนมีเนื้อดินหยาบกว่าชั้นดินล่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินมีการสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่าง โดยส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว ความหนาแน่นรวมในชั้นดินตอนบนอยู่ในช่วงที่ต่ำถึงค่อนข้างสูง (1.22–1.68 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และในชั้นดินตอนล่างอยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง (1.51–1.80 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยทั่วไป

ดินบนมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินล่าง เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินล่าง และมีการเคลื่อนย้ายดินเหนียวสู่ดินล่าง ซึ่งอนุภาคจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในที่ว่างต่าง ๆ ในดินทำให้ดินแน่นทึบขึ้น สภาพการนำน้ำของดินศึกษาเฉพาะในชั้นดินบน และชั้นถัดลงมาตามความลึก ในชั้นดินตอนบนอยู่ในช่วงช้าถึงค่อนข้างเร็ว (0.22–9.83 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) และในชั้นดินตอนล่างอยู่ในช่วงช้ามากถึงเร็วมาก (0.01–60.66 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) ซึ่งมีความแปรปรวนสูง สัมประสิทธิ์การนำน้ำส่วนใหญ่จะลดลงในชั้นดินตอนล่าง ทำให้น้ำเคลื่อนที่ในดินบนได้ง่ายกว่าในดินล่าง เนื่องจากดินบนมีโครงสร้างดินดีกว่า มีปริมาณช่องว่างในดินมากกว่า และมีอินทรีย์วัตถุที่อำนวยความสะดวกเม็ดดิน และโครงสร้างที่เสถียร (Table 1)

Table 1 Physical properties of sugarcane growing soils in the study area

Pedon	Horizon	Depth	Bulk density (Mg/m ³)	Hydraulic conductivity (cm/hr)
P1	Topsoil	0–25	1.26	8.74
	Subsoil	25–50	1.60	61.55
P2	Topsoil	0–25	1.36	5.15
	Subsoil	25–50	1.57	0.60
P3	Topsoil	0–25	1.61	0.22
	Subsoil	25–40	1.46	0.01
P4	Topsoil	0–15	1.38	1.09
	Subsoil	15–35	1.79	0.04
P5	Topsoil	0–20	1.41	1.40
	Subsoil	20–40	1.51	0.81
P6	Topsoil	0–30	1.22	3.27
	Subsoil	30–55	1.80	1.30
P7	Topsoil	0–20	1.69	9.83
	Subsoil	20–40	1.77	60.66
P8	Topsoil	0–30	1.44	0.75
	Subsoil	30–60	1.63	0.19
P9	Topsoil	0–30	1.40	0.62
	Subsoil	30–60	1.65	0.05
P10	Topsoil	0–20	1.68	0.85
	Subsoil	20–40	1.80	55.85

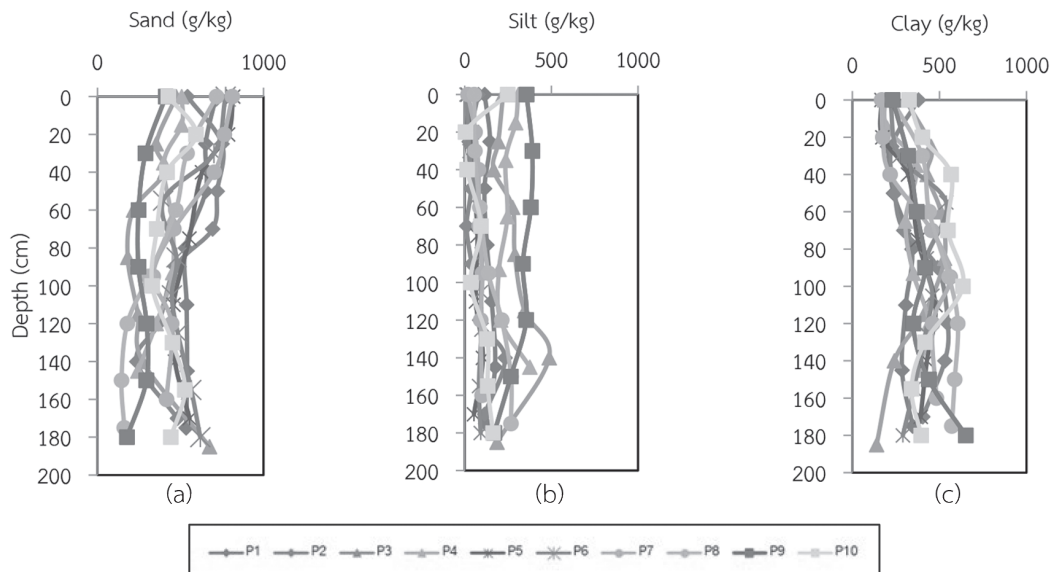


Figure 4 Particle size distribution of sugarcane in the study area

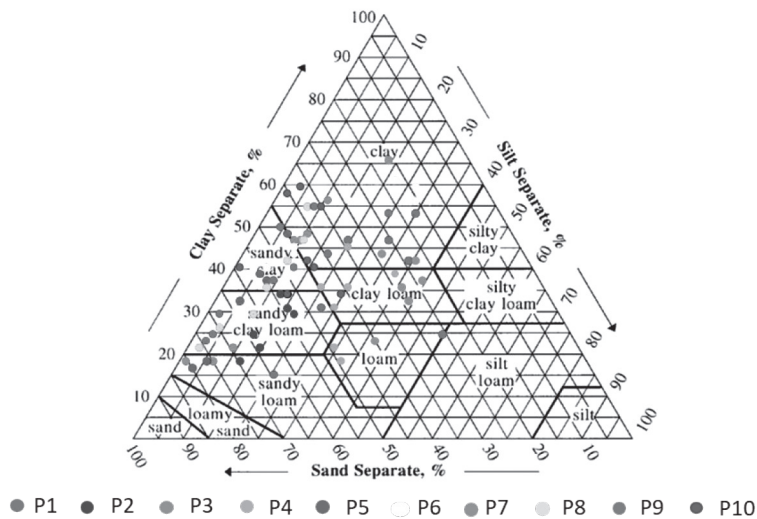


Figure 5 Texture distribution of sugarcane growing soils in the study area

สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา (Figure 6) พบว่า ดินมีพีสัยเป็นกรดรุนแรงถึงด่างจัด (pH 4.4–8.7) ส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในพีสัยต่ำมากถึงปานกลาง (0.61–17.9 กรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย การแจกกระจายมีแนวโน้มเหมือนกันทุกหน้าตัดดิน คือ มีค่าสูงในชั้นดินบน และลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน เนื่องจากการทับถมของเศษพืชไปไม่ตลอดจนรากพืชที่ปกคลุมอยู่บนผิวดิน เมื่อสลายตัวจึงทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินบน ส่วนในดินล่างมีการสะสมของเศษชิ้นส่วนของพืชน้อยจึงทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า (Virgo and Holmes, 1977) ปริมาณไนโตรเจนรวมมีปริมาณต่ำมาก (0.03–0.46 กรัมต่อกิโลกรัม) ดินในทุกบริเวณมีปริมาณไนโตรเจนรวมต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และชั้นดินบนมีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงกว่าชั้นดินล่างอย่างชัดเจนในทุกพืดอน ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Brady and Weil, 2002) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง (0.32–13.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดินที่ทำการศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่าปริมาณที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย ส่วนใหญ่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดในชั้นดินบน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก (7.22–156.2 กรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก (2.31–43.53 cmol/kg) แสดงว่า ดินบางบริเวณได้รับอิทธิพลการชะละลายที่รุนแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายเบสบางส่วนออกไปจากหน้าตัดดิน (Bloom and Grigal, 1985; Buol *et al.*, 1989) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง (0.02–0.39 cmol/kg) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก (2.6–41.0 cmol/kg) ร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำถึงสูง (8–94.5%)

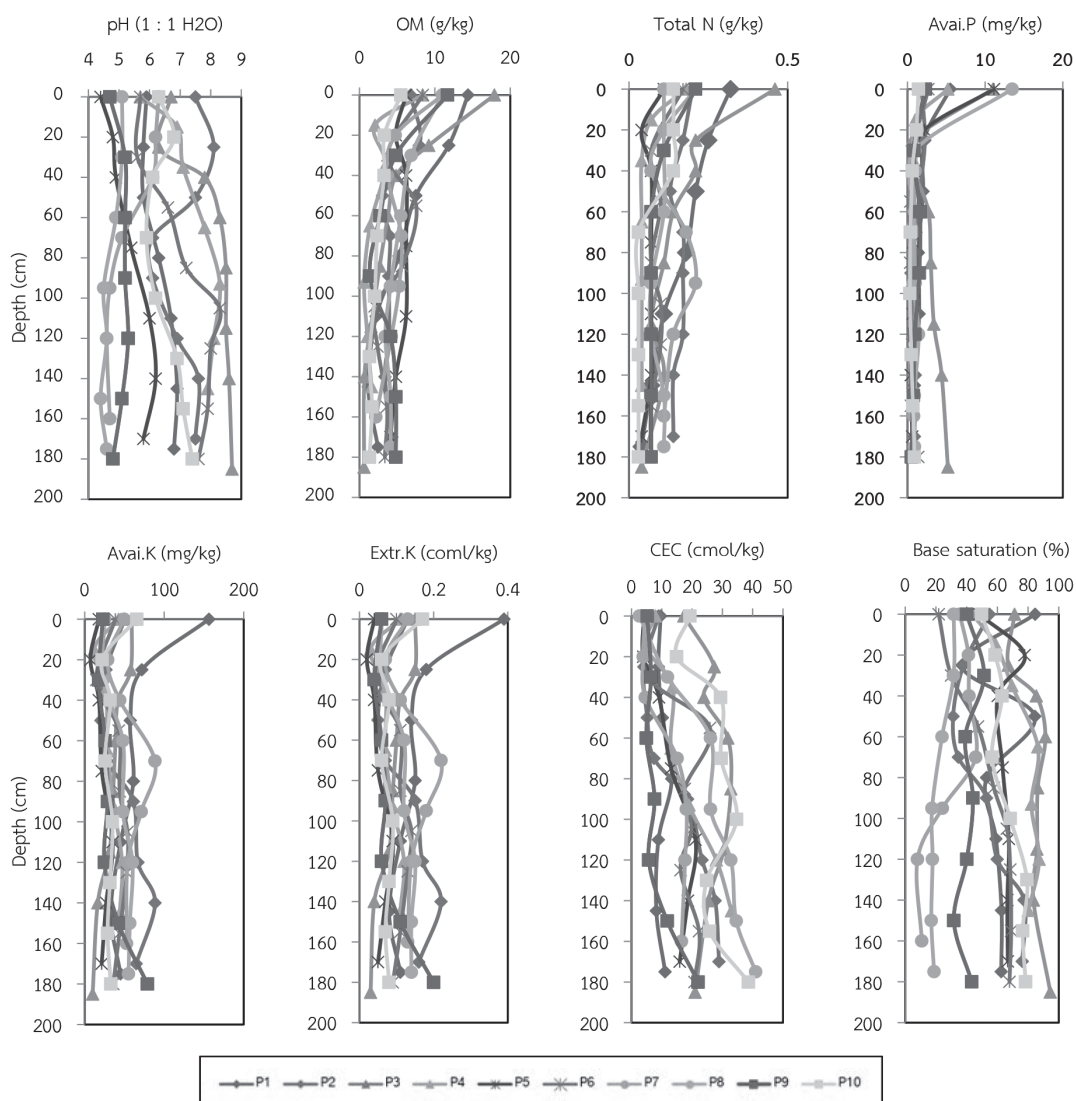


Figure 6 Chemical properties of sugarcane growing soils in the study area

ผลการวิเคราะห์จุลธาตุที่เป็นประโยชน์ในดิน (Figure 7) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในทุกพืตอนมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ผลวิเคราะห์เหล็กเกือบทุกหน้าตัดดินมีค่าเหล็กที่เป็นประโยชน์สูงมากในชั้นดินบน (11.87–193.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ในชั้นดินล่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำกว่าความต้องการของอ้อย (0.77–48.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ค่าวิเคราะห์แมงกานีสมีความแปรปรวนมาก มีค่าตั้งแต่ช่วงต่ำจนถึงสูงมาก (0.01–273.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก ในชั้นดินบนส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่าความต้องการของอ้อย ในชั้นดินล่างอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย ค่าวิเคราะห์ทองแดงมีความแปรปรวนสูงตั้งแต่ระดับต่ำมากจนถึงสูงมาก (0.01–8.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่าความต้องการของอ้อย มีความจำเป็นต้องจัดการจุลธาตุดังกล่าว และจุลธาตุที่เป็นปัญหามากที่สุด คือ สังกะสี

เนื่องจากมีความแปรปรวนตั้งแต่ต่ำมากถึงปานกลาง (0.08–0.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่อยู่ในระดับต่ำมากและต่ำเป็นส่วนใหญ่ ในทุกพืตอนอยู่ในระดับต่ำกว่าความต้องการของอ้อย (McCray *et al.*, 2011) จึงต้องให้ความสำคัญกับการจัดการธาตุสังกะสีมากกว่าธาตุอื่น ๆ

การจำแนกดิน

ดินที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่เป็นดินลิกมาก มีพัฒนาการปานกลางถึงสูง มีการสะสมดินเหนียวในชั้นล่าง บางบริเวณพบพลินโทต์ ส่วนใหญ่อยู่ในอันดับแอลฟิซอลส์ (Alfisol) และอัลฟิซอลส์ (Ultisol) โดยพืตอนที่ 1, 2 และ 4 จำแนกได้เป็น Typic Paleudalfs พืตอนที่ 3 จำแนกได้เป็น Typic Hapludalf พืตอนที่ 5 และ 6 จำแนกได้เป็น Plinthic Paleudalfs พืตอนที่ 7 และ 8 จำแนกได้เป็น Typic Plinthudults พืตอนที่ 9 และ 10 จำแนกได้เป็น Typic Plinthaqualfs

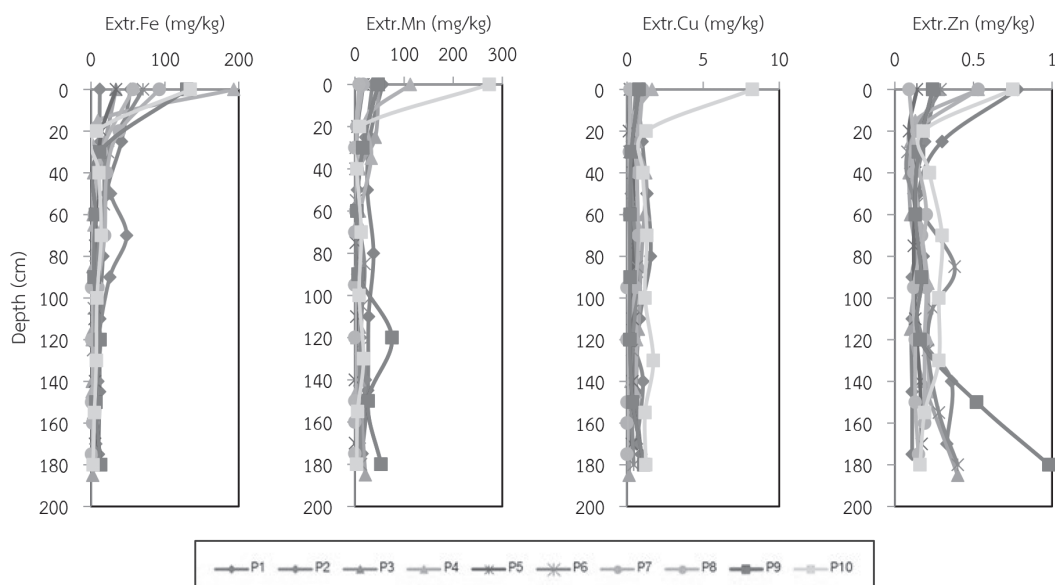


Figure 7 Micronutrients of sugarcane growing soils in the study area

ลักษณะเชิงแร่วิทยาของดิน

การวิเคราะห์แร่ในกลุ่มอนุภาคดินเหนียว พบว่า เป็นแบบผสม ดินส่วนใหญ่มีแร่เคลโอไลไนต์ที่มีกิจกรรมต่ำเป็นองค์ประกอบในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว (Sanchez, 1976) ร่วมกับอิลไลต์ สเมกไทต์ เวอร์มิคูไลต์ แร่ที่พบปริมาณมาก คือ แร่เวอร์มิคูไลต์ (Table 2) ที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูง ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวมีผลเชิงบวกต่อการผลิตพืช (Suddhiprakarn, 1991)

การศึกษาจุลสัณฐานวิทยาของดิน

ผลการศึกษาจุลสัณฐานวิทยาของดิน พบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกัน (Figure 8) ทุกหน้าตัดดินมีการสะสมดินเหนียวที่ชัดเจนในดินล่าง แสดงว่าเป็นดินที่มีพัฒนาการค่อนข้างสูง ลักษณะของอนุภาคดินแสดงให้เห็นว่า ดินมีเหล็กออกไซด์ พบวัสดุที่ฝังอยู่กับที่เนื่องจากขนาดคล้ายกัน และรูปร่างค่อนข้างเหลี่ยม พบสารมวลพอกของเหล็กออกไซด์ และพบชิ้นส่วนพืช (Buol *et al.*, 1989)

Table 2 Mineralogical properties of sugarcane growing soil in the study area

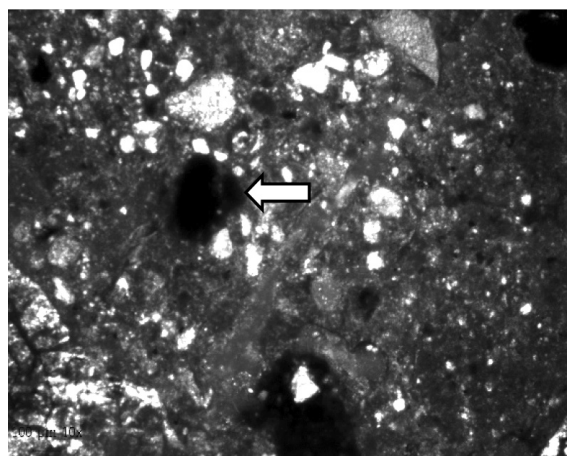
Site	Horizon	Depth (cm)	Kao	Ill	Sme	Ver	Int 1.0 and 1.4 nm	Qtz
P1	Ap1	0–25	x	–	tr	–	–	xxx
	Bt	50–80	tr	–	x	–	–	xxx
P2	Ap1	0–25/30	xx	–	–	xx	–	tr
	Ap2	30–45/50	x	–	–	xxx	–	x
P3	Ap	0–25	x	–	–	xxx	–	tr
	Bt1	25–40	x	–	–	xxx	–	tr
P4	Ap	0–15	xx	–	xx	–	–	–
	Bt3	65–93	tr	–	–	xxxx	–	tr
P5	Ap	0–20	x	–	–	xxx	–	x
	Btd1	40–75	xx	–	–	xx	tr	tr
P6	Ap	0–30	x	tr	–	xxx	–	tr
	Bt1	30–55	x	tr	–	xxx	–	tr
P7	Ap	0–20	x	–	–	xxx	–	tr
	Btc2	40–70	x	–	–	xxx	–	tr
P8	Ap	0–25/30	x	–	–	xxx	–	x
	Bt	25/30–60	x	–	–	xxx	tr	tr
P9	Ap _g	0–25/30	x	tr	x	–	–	xx
	Btg ₂	60–90	xx	tr	x	–	–	xx
P10	Ap _g	0–20	x	–	–	xxx	–	tr
	Btc _g	20–40	x	–	–	xxx	–	tr

Note: – = not detected, tr = trace (< 5%), x = small (5–20%), xx = moderate (20–40%), xxx = large (40–60%), xxxx = dominant (> 60%)

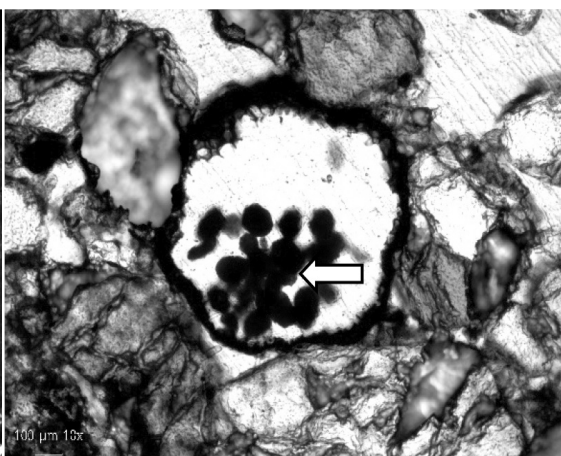
ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ผลการวิเคราะห์ของดินที่ปลูกอ้อยในจังหวัดหนองบัวลำภู ทั้ง 10 บริเวณ ถูกนำมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยใช้หลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งใช้ผลการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (กรัมต่อกิโลกรัม) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (เปอร์เซ็นต์) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (cmol/kg) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

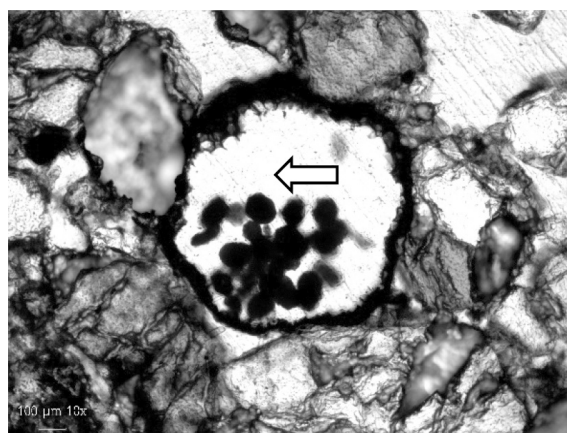
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Soil Survey Center, 1980) พบว่า ในชั้นดินบนของพีดอน 1, 2, 3 และ 10 มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และพีดอน 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่วนในดินชั้นล่าง พบว่า พีดอน 1, 3, 4, 6, 7 และ 10 มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และพีดอน 2, 5, 8 และ 9 มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Table 3)



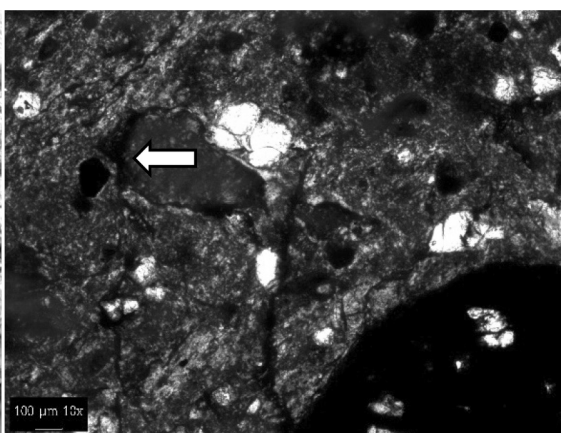
Iron oxide and parent material
(Pedon 1 horizon Btc1 Depth 80–110 cm plane light)



Excrement in plant root
(Pedon 2 horizon Bt1 Depth 50–70 cm plane light)



Plant root
(Pedon 2 horizon Ap1 Depth 0–25 cm plane light)



Clay mixed with iron oxide coated on void
(Pedon 3 horizon Bt1 Depth 25–40 cm x-nicols)

Figure 8 Micromorphology of representative sugarcane growing soils in the study area

สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ผลการศึกษาของดินที่ปลูกอ้อยในจังหวัดหนองบัวลำภู ทั้ง 10 บริเวณ นำมาประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อรวมกลุ่มของดินที่มีสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ที่เป็นปัญหาต่อการจัดการด้านการเกษตร ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตของพืช (Sanchez *et al.*, 2003) หน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ ของดินคล้ายคลึงกันมาก (Table 4) โดยดินส่วนใหญ่มีหน่วยเป็น La^{-k} แสดงว่า

ชั้นไถพรวนหรือชั้นดินบนของดิน มีเนื้อดินอยู่ในกลุ่มดินร่วน (loamy: L) และมีปัญหาที่สำคัญ คือ ดินเป็นกรด ดินมีค่าความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียม 10–60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจจะมีปัญหาด้านอะลูมิเนียมเป็นพิษได้ แต่ดินในหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ในพีดอนอื่น ๆ มีข้อจำกัดร่วมกันที่สำคัญ คือ มีโพแทสเซียมสำรองต่ำ (K reserve) ซึ่งต้องมีการจัดการเพื่อให้มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และมีความสมดุลกับธาตุอาหารหลักอื่น ๆ

Table 3 Soil Fertility level of sugarcane growing soils estimated by some soil chemical properties (Soil Survey Center, 1980)

Pedon	Depth (cm)	OM ¹ (g kg ⁻¹)	Avai.P ² (mg kg ⁻¹)	Avai.K ³ (mg kg ⁻¹)	CEC ⁴ (cmol kg ⁻¹)	BS ⁵ %	Total	Fertility level
P1	Topsoil	14.4 (1)	5.5 (1)	156.2 (3)	6.5 (1)	84.6 (3)	9	Medium
	Subsoil	8.2 (1)	1.8 (1)	63.4 (2)	13.1 (2)	58.1 (2)	8	Medium
P2	Topsoil	6.8 (1)	1.8 (1)	50.4 (1)	24.4 (3)	54.9 (2)	8	Medium
	Subsoil	5.0 (1)	1.6 (1)	25.1 (1)	15.3 (2)	34.6 (1)	6	Low
P3	Topsoil	17.9 (2)	11 (2)	59.2 (1)	20.9 (3)	71.2 (2)	10	Medium
	Subsoil	5.1 (1)	1.8 (1)	43.5 (1)	33.0 (3)	82.6 (3)	9	Medium
P4	Topsoil	8.4 (1)	5.2 (1)	42.5 (1)	12.4 (2)	43.6 (2)	7	Low
	Subsoil	2.3 (1)	0.8 (1)	22.4 (1)	12.8 (2)	71.7 (2)	7	Medium
P5	Topsoil	6.2 (1)	11.1 (2)	17.8 (1)	5.8 (1)	48.3 (2)	7	Low
	Subsoil	5.7 (1)	1.3 (1)	15.5 (1)	11.2 (2)	67.2 (2)	7	Low
P6	Topsoil	8.4 (1)	2.7 (1)	38.4 (1)	12.8 (1)	21.8 (1)	6	Low
	Subsoil	5.6 (1)	0.5 (1)	33.8 (1)	22.4 (3)	45.0 (2)	8	Medium
P7	Topsoil	11.0 (1)	2.2 (1)	49.7 (1)	9.3 (1)	35.5 (2)	6	Low
	Subsoil	4.7 (1)	1.1 (1)	53.8 (1)	11.9 (3)	42.9 (2)	8	Low
P8	Topsoil	11.0 (1)	20.5 (2)	25.0 (1)	7.3 (1)	31.6 (1)	6	Low
	Subsoil	5.5 (1)	0.9 (1)	39.7 (1)	21.1 (3)	24.3 (1)	7	Low
P9	Topsoil	11.7 (1)	2.3 (1)	22.8 (1)	6.7 (1)	40.1 (2)	6	Low
	Subsoil	3.0 (1)	1.3 (1)	23.9 (1)	9.6 (1)	44.8 (2)	6	Low
P10	Topsoil ⁶	5.5 (1)	1.4 (1)	65.5 (2)	25.9 (3)	49.8 (2)	9	Medium
	Subsoil ⁷	3.0 (1)	0.7 (1)	26.4 (1)	27.1 (3)	59.4 (2)	8	Medium

Note: ¹OM = organic matter; ²Avail. P = available phosphorus, ³Avail.K = available potassium, ⁴CEC = cation exchange capacity, ⁵BS = base saturation, ⁶Topsoil = Ap, ⁷Subsoil = Ap–60 cm Scoring is used for the assessment of fertility level (the score is presented in bracket within the table) Score 7 = fertility level is low, 8–12 = fertility level is moderate, ≥ 13 = fertility level is high

Table 4 Fertility capability classification (FCC) of sugarcane growing soils in the study area (Sanchez *et al.*, 2003)

Pedon	Horizon ¹ (cm)	Texture	2:1 expanding clay	pH 1:1 H ₂ O	K reserved cmol/kg	FCC ²
P1	Topsoil	SL	<50%	5.9	0.39	La ⁻ k
	Subsoil	SCL	<50%	6.0	0.16	
P2	Topsoil	SC	<50%	7.5	0.13	CLbk
	Subsoil	SCL	<50%	6.6	0.09	
P3	Topsoil	SCL	>50%	6.7	0.15	LCk
	Subsoil	C	>50%	8.2	0.10	
P4	Topsoil	L	<50%	5.7	0.11	La ⁻ k
	Subsoil	L	>50%	7.3	0.06	
P5	Topsoil	SL	>50%	4.4	0.04	Lak
	Subsoil	SL	<50%	5.0	0.04	
P6	Topsoil	SCL	>50%	5.7	0.10	La ⁻ k
	Subsoil	SCL	<50%	6.5	0.09	
P7	Topsoil	SL	>50%	6.3	0.13	La ⁻ k
	Subsoil	SL	>50%	5.8	0.13	
P8	Topsoil	SCL	>50%	5.1	0.06	La ⁻ k
	Subsoil	SC	<50%	4.8	0.10	
P9	Topsoil	L	<50%	4.7	0.06	Lak
	Subsoil	CL	<50%	5.2	0.06	
P10	Topsoil	CL	>50%	6.3	0.17	Lk
	Subsoil	C	<50%	6.3	0.07	

Note: ¹Topsoil = Ap, Subsoil = horizon under Ap, ²L = Loamy, C = Clayey, k = low nutrient capital reserves

สรุป

ดินที่ใช้ในการปลูกอ้อยที่ทำการศึกษากว่าในจังหวัดหนองบัวลำภูเป็นดินที่มีคุณภาพระดับต่ำถึงปานกลาง มีข้อจำกัดในการปลูกอ้อย คือ การมีโพแทสเซียมสำรองต่ำ โดยเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว ระดับความเป็นกรดไม่เป็นข้อจำกัดในการปลูกอ้อย ธาตุอาหารรองไม่อยู่ในระดับวิกฤตต่อการปลูกอ้อย จุลธาตุที่มีความสำคัญต่อการปลูกอ้อยที่เป็นปัญหามากที่สุด คือ สังกะสี ซึ่งมีค่าวิเคราะห์อยู่ในระดับต่ำเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะเชิงแร่วิทยาเป็นแบบผสม คือ

มีทั้งแร่ที่มีกิจกรรมต่ำและแร่ที่มีกิจกรรมสูงผสมกัน ซึ่งจะทำให้จัดการด้านความอุดมสมบูรณ์ได้ง่าย การศึกษาดินโดยการวิเคราะห์หน้าตัดดิน และค่าวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ พบว่า ดินส่วนใหญ่เป็นดินในอันดับแอลฟิซอลส์ ซึ่งเป็นดินที่ตอบสนองต่อการจัดการทางการเกษตรระดับดี โดยการจัดการที่จำเป็นต้องมีการจัดการอินทรีย์วัตถุ มีการไถพรวนให้ลึกขึ้น และจัดการธาตุอาหารหลักให้อยู่ในระดับสูงกว่าเดิม มีการจัดการจุลธาตุสังกะสีในพื้นที่ส่วนใหญ่ เพื่อให้ผลผลิตของอ้อยสูงขึ้น และมีความยั่งยืนในการปลูกอ้อยเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Alexander, A.G. 1973. Sugarcane Physiology. Agricultural Experiment Station, University of Puerto Rico, Rio Piedras, Puerto Rico. Amsterdam, The Netherlands.
- Barnes, A.C. 1953. Agriculture of Sugarcane. Leonard Hill Ltd., London, UK.
- Blackburn, F. 1984. Sugarcane. Longman, Inc., New York, USA.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363–382. *In*: Klute, A. ed. Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Agronomy No. 9, Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.
- Bloom, P.R. and D.F. Grigal. 1985. Modeling soil response to acidic deposition in non-sulfate adsorbing soils. *JEQ*. 14(4): 489–495.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The Nature and Properties of Soils. 14th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci*. 59: 39–45.
- Buol, S.W., F.D. Hole and R.J. McCracken. 1989. Soil Genesis and Classification. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891–901. *In*: Black, C.A. ed. Methods of Soil Analysis, Part 2. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.

- Evans, H. 1959. Element other than nitrogen, potassium and phosphorus in the mineral nutrition of sugarcane. *Int. Soc. Sugarcane Technol. Proc.* 10: 473–508.
- Faithfull, N.T. 2002. *Methods in Agricultural Chemical Analysis*. CAB International, Wallingford, UK.
- Field Crop Research Center. 1980. Sugarcane. Academic paper vol. 1. Department of Agriculture. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- Field Crops Research Center. 1983. Farm Crop Guidance. Department of Agriculture. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- Fox, R.L., J.A. Silva, D.L. Plucknett and D.Y. Teranishi. 1969. Soluble and total silicon in sugarcane. *Plant Soil* 30: 81–92.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 383–411. *In*: Klute, A. ed. *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.
- Ghosh, A.K., R.K. Rai, Y.R. Saxena and A.K. Shrivastana. 1990. Effect of sulphur application on the nutritional status, yield and quality of sugarcane. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 38: 73–76.
- Hunsigi, G. 1993. *Production of Sugarcane: Theory and Practice*. Springer-Verlag., Berlin, Germany.
- Jackson, M.L. 1965. *Soil Chemical Analysis. Advanced Course*. Department of Soils, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA.
- Kheoruenromne, I. 2005. Soil Survey. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Klute, A. and C. Dirken. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods, pp. 687–732. *In*: Klute, A. ed. *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.
- Legendre, B.L. 1975. Ripening of sugarcane: effect of sunlight, temperature and rainfall. *Crop Sci.* 15(3): 349–352.
- Ludlow, M.M., R.C. Muchow and G. Kigston. 1992. Quantification of the environmental and nutritional effects on sugar accumulation. *In*: Wilson J.R. (Org.), *Improvement of Yield in Sugar Cane through Increased Sucrose Accumulation*. Brisbane: Sugar Research and Development Corporation.
- Madee, Y. and A. Hunpab. 2015. *Guide for Improvement Soil*. V.S. Book Center, Mukdahan. (in Thai)

- McCray, J.M., P.R. Newman, R.W. Rice and I.V. Ezenwa. 2011. Sugarcane leaf tissue sample preparation for diagnostic analysis. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. SS-AGR-259. Florida, USA.
- Office of Agriculture Economics. 2015. Agricultural Statistics of Thailand 2015. Available Source: www.oae.go.th/download/download_journal/2559/yearbook58.pdf, March 12, 2016.
- Office of Agriculture Economics. 2016. Agricultural Statistics of Thailand 2016. Available Source: www.oae.go.th/download/download_journal/2559/yearbook58.pdf, April 25, 2017.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1023–1031. *In*: Black, C.A. ed. Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.
- Ramos, M.F. and M.J. de Sousa. 1971. Result of NPK factorial on sugarcane carried out at the Sociedade Agricola do Incomati. *Agron. Mocambicana* 5: 261–269.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook No. 60. U.S. Salinity Laboratory, United States Department of Agriculture, United States Government Printing Office, Washington, DC, USA.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. John Wiley and Sons Inc., New York, USA.
- 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.
- Soil Survey Center. 1980. Soil suitability classification guide for economic crop. Academic paper vol. 28. Land Development Department. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- Soil Survey Division Staff. 2017. Soil Survey Manual. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 18 U.S. Government Printing Office, Washington D.C., USA.
- Suddhiprakarn, A. 1991. Soil Mineralogy vol. 2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Suksatan, K. and A. Poonkasem. 1978. Principles of Sugarcane Farming. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 161–163. *In*: Black, C.A. ed. Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.

- Virgo, K.J. and D.A. Holmes. 1977. Soil and landform features of mountainous terrain in South Thailand. *Geoderma*. 18(3): 207–225.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29–38.
- Whittig, L.D. and W.R. Allardice. 1986. X-ray diffraction technique, pp. 671–698. *In*: Klute, A. ed. *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agronomy No. 9., Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.
- Wong You Cheong, Y. and P. Halais. 1976. Needs of sugarcane for silicon when growing in highly weathered Latosols. *Trop. Agric.* 6: 99–106.