

สมบัติและองค์ประกอบเชิงแร่ของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Property and mineralogical composition of salt affected soils in Northeast Thailand

รมิดา ขันตรีกรม¹, สมชัย อนุสนธิพรเพิม^{1*}, สุภิญญา ษนะจิตต์¹, และวันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล²
**Ramida Kantrikrom¹, Somchai Anusontpornperm^{1*}, Suphicha Thanachit¹
and Wanpen Wiryakitnatekul²**

บทคัดย่อ: ทำการศึกษาสมบัติและองค์ประกอบเชิงแร่ของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือซึ่งใช้สำหรับปลูกข้าวหอมมะลิจำนวน 10 บริเวณในจังหวัดนครราชสีมา และร้อยเอ็ด จำแนกได้เป็นดินเค็มโซดิกจำนวน 6 พีดอน และดินโซดิกจำนวน 4 พีดอน ดินทุกบริเวณเป็นดินลึก การระบายน้ำเลว มีการสะสมโซเดียมเพิ่มขึ้นตามความลึกสอดคล้องกับการพบโครงสร้างขนาดเล็กแบบเม็ดดินเชื่อมต่อกันด้วยอนุภาคขนาดละเอียด และผลึกเฮไลต์ในดิน อย่างไรก็ตาม สมบัติของดินแปรปรวนโดยมีเนื้อดินเป็นทรายจนถึงดินเหนียว ดินเป็นกรดจัดถึงด่างจัดมาก ความเค็มอยู่ในระดับไม่เค็มจนถึงเค็มมาก แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็นแร่เคโอลิไนต์ ยกเว้นในพีดอน 3 ที่พบแร่สเมกไทต์เป็นแร่เด่น และเป็นดินที่มีพัฒนาการต่ำกว่าดินอื่น ๆ เนื่องจากพบแร่เฟลด์สปาร์ในดิน ทั้งแร่เคโอลิไนต์ และสเมกไทต์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความลึกภายในหน้าตัดดินซึ่งสอดคล้องกับการที่ดินส่วนใหญ่มีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก สามารถจำแนกดินทั้งหมดในระดับกลุ่มดินย่อยได้แก่ Typic Natraqualfs แต่แตกต่างกันที่ระดับวงศดิน เนื่องจากมีชั้นเนื้อดินที่แตกต่างกัน สำหรับพีดอนที่ 3 จำแนกได้เป็น Typic Natraquet

คำสำคัญ: แร่วิทยาดิน, ดินเค็มในแผ่นดิน, ดินนา, ดินโซดิก, ดินเค็มโซดิก

ABSTRACT: Ten salt affected soils used for jasmine rice cultivation in Nakhon Ratchasima and Roi Et provinces were chosen for the study on their property and mineralogical composition. Six pedons were grouped into saline sodic soils while the other four pedons being sodic soils. All soils were deep soils, having poorly drained feature with sodium accumulation increasing with increasing depth which coincided with a presence of fine particle-cemented soil aggregate microstructure and halite crystal in the soils. However, soil property varied rather considerably, having sandy to clayey texture, strongly acid to very strongly alkaline soil pH and none to very high salinity. Dominant clay mineral in almost all soils was kaolinite with the exception of Pedon 3 that smectite was a predominant clay mineral. In addition, Pedon 3 had lower level of development than did the others

Received June 12, 2019

Accepted April 23, 2020

¹ ภาควิชาปรับปรุงพืชวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

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

² สำนักงานวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ

Office of Science for Land Development, Land Development Department, Bangkok

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

as the soil contained feldspar. Both kaolinite and smectite content increased with increasing depth within soil profile which related to increased clay content with depth. The soils were classified as Typic Natraqualfs except Pedon 3 that was classified as Typic Natraquet.

Keywords: soil mineralogical property, inland saline soil, paddy soil, sodic soil, saline sodic soil

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ 19.75 ล้านไร่ (Arunin, 1992) พบกว้างขวางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 11.5 ล้านไร่ (สมศรี, 2540) โดยพบในแอ่งโคราช 10.13 ล้านไร่ และแอ่งสกลนคร 1.38 ล้านไร่ (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2554) ดินเหล่านี้เป็นได้ทั้งดินเค็ม ดินโซดิกซึ่งเป็นดินที่ไม่เค็มแต่มีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง หรือดินเค็มโซดิกซึ่งเป็นดินที่มีความเค็มและมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (Weil and Brady, 2016) ซึ่งเป็นดินที่พบกว้างขวางที่สุดในภูมิภาคนี้ (สมศรี, 2539) ปัญหาความเค็มทำให้พืชใช้น้ำได้ยากขึ้น พืชจึงขาดน้ำได้ง่าย (Clermont-Dauphin et al., 2010) พืชจะได้รับพิษจากไอออนต่าง ๆ ที่ละลายออกมาเกินความต้องการ เช่น โซเดียม และคลอไรด์ (Cha-um et al., 2009; Fu et al., 2008) นอกจากนี้โซเดียมที่มีอยู่มากในดินจะมีผลทำให้อนุภาคดินเหนียวอยู่ในสถานะฟุ้งกระจาย ทำให้มีโครงสร้างดินไม่อยู่ตัว เป็นเหตุให้ดินมีโครงสร้างเลว และแน่นที่บีบจำกัดการซอกซอนของรากพืช (สมศรี, 2540; Ghassemi et al., 1995) และเมื่อเปียก ดินจะเลอะคล้ายแฉะเปียก เป็นชั้นบางที่ผิวดินเมื่อแห้งจะแข็งมาก ซึ่งจำกัดการงอกของเมล็ด และการซาบซึมน้ำที่ผิวดิน (จำป็น, 2551) อีกทั้งดินเหล่านี้มักมีสภาพน้ำของดินต่ำ จึงมักเสี่ยงต่อการกร่อนดิน (สมศรี, 2540; Warrence et al., 2003)

แคว้นวิทยาดินมีความสำคัญต่อการใช้ดินทางการเกษตร เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับสมบัติด้านอื่น ๆ ของดิน อาทิ สมบัติทางฟิสิกส์ และเคมี ผลการศึกษาในหลาย ๆ กรณีเกี่ยวกับดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือแสดงให้เห็นว่า ดินเหล่านี้องค์ประกอบเชิงแร่เป็นแบบผสม (จุมพล, 2535; Suddhiprakarn and Kheoruenromne, 1998; Pal et al., 2003; Kaewmano et al., 2006) แต่ดินที่พบเกลือสะสมในปริมาณที่สูงมากมักจะมีแร่ดินเหนียวเด่นเป็นแร่สเมกไทต์ และเคโอลิไนต์ (McNeal and Coleman, 1966) การศึกษาใน

หลาย ๆ พื้นที่ของประเทศไทย รวมถึงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า แร่ดินเหนียวเด่นในดินเหล่านี้ประกอบด้วยแร่หลายชนิด แต่ส่วนใหญ่จะเป็นแร่เคโอลิไนต์ (จุมพล, 2535; ดิเรก, 2531; ชนิษฐศรี, 2537; พรพรหม, 2544; Suddhiprakarn and Kheoruenromne, 1998; Wongpokhom et al. 2008) แต่ในบางพื้นที่อาจพบแร่สเมกไทต์มากกว่าเคโอลิไนต์ (จุฑามาศ, 2003) ซึ่งอาจเป็นผลจากการละลายเพิ่มขึ้นของซิลิกาในน้ำเค็มซึ่งอยู่ในสภาพที่ดิวเทียสูง (Jackson et al., 1948; Alexander et al., 1954; van Breemen and Burman, 2002) อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Kaewmano et al. (2010) ได้พบว่า ดิน Natraqualfs จำนวน 8 บริเวณซึ่งมีทั้งดินเค็มโซดิก และดินโซดิก มีค่าการนำไฟฟ้าแปรผันอยู่ในพิสัย 0.3-60.5 เดซิซีเมนส์/ม. อัตราร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในพิสัย 0.1-31.5% และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมน้อยกว่า 13 แร่ดินเหนียวหลักเป็นแร่เคโอลิไนต์ โดยพบแร่สเมกไทต์ และอิลไลต์ในปริมาณเล็กน้อย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลืออาจจะมีสมบัติแลกเปลี่ยนที่แตกต่างกัน ดังนั้น การศึกษาเพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านแคว้นวิทยาของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือครั้งนี้ จึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการทำนายลักษณะนิสัย และการตอบสนองต่อการจัดการของดิน สำหรับนำไปวางแผนการปรับปรุงดินเหล่านี้เพื่อการปลูกข้าวหอมมะลิให้ได้ผลผลิต และคุณภาพที่ดีขึ้นต่อไป

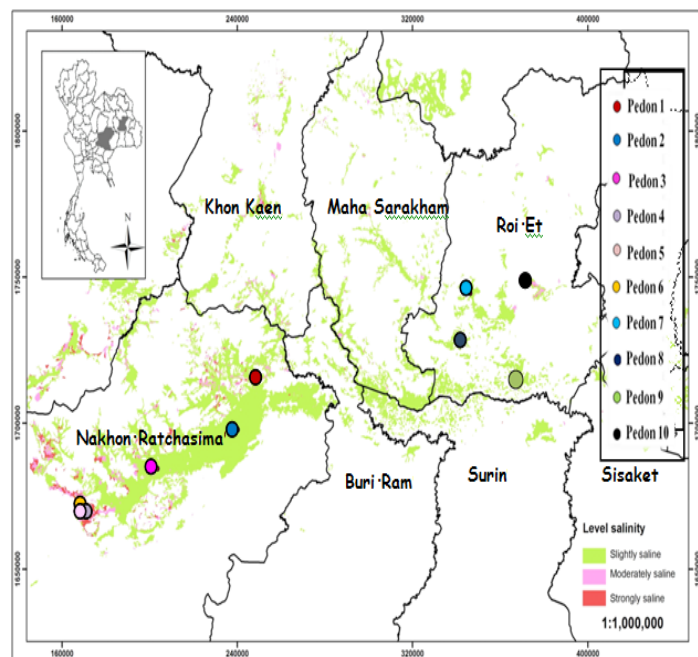
วิธีการศึกษา

ทำการสำรวจเพื่อคัดเลือกพื้นที่ดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในบริเวณแอ่งโคราชซึ่งเป็นชุดดินต่าง ๆ ที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิ และมีระดับความเค็มแตกต่างกันจำนวน 10 บริเวณ อยู่ในอำเภอประทาย (พืดอน 1) อำเภอพิมาย (พืดอน 2) อำเภอโนนสูง (พืดอน 3) และอำเภอขามทะเลสอ (พืดอน 4, 5 และ 6) จังหวัดนครราชสีมา และ 4 บริเวณในอำเภอเกษตรวิสัย (พืดอน 7) อำเภอจตุรพักตร

พืมาณ (พีตอน 8) อ่าเภอเมืองสรวง (พีตอน 9) และอ่าเภอสุวรนภูมิ (พีตอน 10) จังหวัตรอยเอ็ด (Figure 1)

การจัตทำ site characterization ในแต่ละบริเวณ ทำการขุดหลุมดินขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร ลึก 2 เมตร ทำการแต่งหน้าตัดดินให้สามารถมองเห็น สัณฐานวิทยาของดินอย่างชัดเจน แบ่งชั้นกำเนิดดิน (genetic horizon) ตรวจสอบสมบัติดิน ทำคำอธิบาย หน้าตัดดิน และสภาพแวดล้อมทั่วไปในพื้นที่ศึกษา เก็บตัวอย่างดินตามวิธีมาตรฐาน (เอิบ, 2548, 2552; Soil Survey Division Staff, 1993) นำมาวิเคราะห์สมบัติดิน เพื่อใช้จำแนกดินในระดับกลุ่มดินย่อย (subgroup) (Soil Survey Staff, 2014) สมบัติดินที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย พีเอชดิน (Soil pH) วัดโดยใช้เครื่องมือวัดค่าพีเอชดิน (pH meter) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ และดินต่อสารละลาย 1 M KCl เท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996; National Soil Survey Center, 1996) สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) โดยวัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation extract) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วย electrical conductivity bridge (Richards, 1954) อัตราส่วนการ

ดูดซับโซเดียม (Sodium adsorption ratio: SAR) โดยหาปริมาณโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมจากสารละลายในดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer แล้วนำมาคำนวณตามสูตร $SAR = (Na^+) / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}] / 2$ (Richards, 1954) และอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable sodium percentage: %ESP) โดยคำนวณจากสูตร $\%ESP = (Exch. Na / CEC) \times 100$ (Peech et al., 1974) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดิน ประกอบด้วย การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ในกลุ่มอนุภาคดินเหนียว ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis) (Jackson, 1965; Whittig, 1965) และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ในอนุภาคทรายแป้ง (silt fraction) ขนาด 2-50 ไมโครเมตรโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence analysis) (Brindley and Brown, 1980)



Modified from: Standardized Soil-Land Survey and Classification Section (2017)

Figure 1 Salt affected areas in Korat basin and soil sampling sites

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษา และสัณฐานวิทยาสนามของดิน

ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 10 บริเวณซึ่งเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำถึงตะกอนน้ำขุ่นต่ำ พื้นที่ที่มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางอยู่ในพิสัย 125-203 เมตร มีความลาดชันร้อยละ 1-2 ดินมีการระบายน้ำเลว การซบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า พบน้ำใต้ดินอยู่ในพิสัย 160-200 เซนติเมตรจากผิวดินในฤดูแล้ง สภาพการใช้ที่ดินใช้ปลูกข้าวหอมมะลิ 105 แต่ในขณะทำการเก็บตัวอย่างดินเป็นช่วงพักแปลง หรือพื้นที่ถูกไถพรวนทิ้งไว้ ซึ่งพบหญ้าพื้นเมือง โดยเฉพาะหญ้าหนักริมเข้ขึ้นเป็นหย่อม ๆ (Table 1)

ดินทุกบริเวณเป็นดินลึกมาก มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาเก่า หรือตะกอนน้ำพาเก่าและตะกอนล้างผิวดินวางทับอยู่บนวัสดุตกค้างที่สลายตัวมาจากหินทรายหรือหินทรายแป้ง ลักษณะของหน้าตัดดินเป็นแบบ Apg/Apng-Btng, Apng-Bssng, Apg-Btng-Btcng-Btngb-Bvng, Apg-Btng-Bvng-BCrtng และ Apng-Bng-Btng-Bvng พบจุดประตลอดหน้าตัดดินซึ่งแสดงถึงสภาพการระบายน้ำเลว มีการสะสมโซเดียมและดินเหนียวเพิ่มขึ้นตามความลึก ยกเว้นดินพืดอน 3 ที่ไม่แสดงถึงการสะสมดินเหนียวแต่พบรอยไถลในหน้าตัดดินอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบสารก้อนกลมและสารมวลพอกของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ฟลินไทต์ รอยแตกที่ผิวน้ำดิน และปูนทุติยภูมิในบางดิน

ดินบนมีความหนาอยู่ในพิสัย 14-38 เซนติเมตร สีพื้นเป็นสีน้ำตาล สีน้ำตาลดำ สีน้ำตาลปนเทา สีน้ำตาลอ่อน สีเทาเข้ม สีเทา และสีเทาปนชมพู พบจุดประขนาดเล็กสีน้ำตาลปนเหลือง สีเหลืองปนแดง สีน้ำตาลปะปนอยู่ในสีพื้นประมาณร้อยละ 2-20 เนื้อดินผ้นแปรตั้งแต่ดินทรายร่วนถึงเป็นดินเหนียว โครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดเล็กถึงใหญ่ มีความคงทนของโครงสร้างอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก พบสารก้อนกลมและสารมวลพอกของ

เหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ขนาดเล็กถึงปานกลาง ในปริมาณเล็กน้อยถึงปานกลางในพืดอน 1 และ พืดอน 2 ส่วนพืดอน 7 พบปูนทุติยภูมิรูปร่างไม่แน่นอนขนาดเล็กถึงปานกลางในปริมาณมาก พบร่องระแหงขนาดเล็กถึงปานกลางที่ผิวดินในพืดอน 3 พีเอชดินสนามเป็นกรดจัดถึงต่างปานกลาง (pH 5.5-8.0)

ดินล่างมีความหนาอยู่ในพิสัย 146-185 เซนติเมตร สีพื้นเป็นสีน้ำตาล น้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลปนเทา สีเทา สีเทาอ่อน สีเทาปนน้ำตาล สีเทาปนน้ำตาลอ่อน สีเทาปนชมพู และสีขาว พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง สีเหลืองปนน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม สีเหลืองปนแดง สีเหลือง สีเหลืองเข้ม และสีแดงอยู่ในสีพื้นอย่างชัดเจนประมาณร้อยละ 2-70 และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยสีจุดประเป็นสีน้ำตาลปนเหลือง สีเหลืองปนน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม สีเหลืองปนแดง สีเหลือง สีเหลืองเข้ม และสีแดง เนื้อดินเป็นทรายถึงเป็นดินเหนียว โครงสร้างดินส่วนใหญ่เป็นแบบก้อนเหลี่ยมถึงก้อนกึ่งเหลี่ยมมุมมนขนาดเล็กมากถึงปานกลาง และก้อนเหลี่ยมถึงก้อนกึ่งเหลี่ยมมุมคมขนาดเล็กถึงใหญ่ ความคงทนของโครงสร้างอยู่ในระดับต่ำถึงสูงโดยมีความคงทนเพิ่มขึ้นตามความลึก นอกจากนี้ในพืดอน 2 และ 7 พบโครงสร้างดินเป็นแบบแท่งหุ้มขนาดปานกลางถึงใหญ่ที่มีความคงทนสูง ที่ระดับความลึก 25-49 และ 15-33 เซนติเมตร ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินเค็มที่มีโซเดียมสูง (ศรีบุญญา, 2549) ในดินทุกบริเวณพบการสะสมดินเหนียวโดยการเคลือบเป็นชั้นบาง ๆ ที่ผนังช่องว่าง และที่ผิวน้ำเม็ดดินและเม็ดทราย รวมทั้งสะสมดินเหนียวเชื่อมระหว่างอนุภาค พบสารก้อนกลมและสารมวลพอกของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ขนาดเล็กถึงใหญ่ในปริมาณเล็กน้อยถึงมากที่ระดับความลึก 15-100 เซนติเมตร เกือบทุกพืดอน ยกเว้นพืดอน 3 และ 4 โดยพืดอน 7 พบมากที่สุด พบปูนทุติยภูมิขนาดเล็กถึงใหญ่ปริมาณเล็กน้อยในพืดอน 3 และ 7 และพบการสะสมของซิลาล่างอ่อนขนาดปานกลางถึงใหญ่ ปริมาณเล็กน้อยถึงมากในตอนล่างของหน้าตัดดินของพืดอน 5 พีเอชดินในสนามเป็นกรดจัดถึงต่างจัด (pH 5.5-8.5)

Table 1 Characteristics and general environments of 10 selected salt affected soils

Soil	Thickness (cm)		Profile development	Slope (%)	Relief	Physiographic position	Parent material
	Topsoil	Profile					
Pedon 1	38	200+	Apg-Btng	1	Flat	Depression	Old alluvium
Pedon 2	25	200+	Apg-Btng	1	Flat	Depression	Old alluvium
Pedon 3	27	200	Ang-Bssng	1	Flat	Depression	Old alluvium
Pedon 4	25	200	Apg-Btng	<2	Nearly flat	Upper part of low terrace	Local alluvium over residuum derived from sandstone
Pedon 5	20	200	Apng-Btng	<2	Nearly flat	Upper part of low terrace	Local alluvium over residuum derived from sandstone
Pedon 6	20	200	Apg-Btng	<2	Nearly flat	Upper part of low terrace	Local alluvium over residuum derived from sandstone
Pedon 7	15	200+	Apg-Btng-Btcng-Btngb-Bvng	1	Flat	low terrace	Old alluvium over residuum derived from sandstone
Pedon 8	23	200	Apg-Btng-Bvng-Btng-BCrtng	<2	Nearly flat	Upper part of low terrace	Old alluvium over residuum derived from siltstone
Pedon 9	14	160+	Apng-Bng-Btng-Bvng-Btng-Bvng	<2	Nearly Flat	Upper part of low terrace	Old alluvium over residuum derived from sandstone
Pedon10	20	200	Apg-Btng	1	Flat	low terrace	Old alluvium

การจำแนกประเภทของดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ

ผลการวิเคราะห์พีเอชดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ โดยใช้ดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 พบว่า ดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นด่างจัดมากโดยมีพีเอชอยู่ในพิสัย 4.5-10.6 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก (Figure 2A) โดยพีดอน 5 มีความเป็นด่างรุนแรงที่สุด ซึ่งสภาพด่างจัดของดินเหล่านี้มีสาเหตุคล้องกับอัตราส่วนการดูดซับไฮโดรเจนของดินที่อยู่ในระดับสูงซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของดินโซดิกหรือดินเค็มโซดิกที่มีพีเอชสูงกว่า 8.5 (วิโรจ, 2531; Ghassemi *et al.*, 1995; Weil and Brady, 2016) ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของโซเดียม (ดิเรก, 2531) ยกเว้นในพีดอน 9 ที่เป็นกรดรุนแรงที่สุด แสดงว่าแคตไอออนที่เป็นเบสที่เคยมีอยู่ ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออนบริเวณผิวอนุภาคดินเหนียว ส่งผลให้เบสเหล่านั้นถูกชะละลายออกไป (Bloom and Grigal, 1985; Ulrich, 1991; Bloom, 2000)

สภาพที่เป็นด่างรุนแรงของดินที่ทำการศึกษานี้ จะส่งผลต่อสมดุลธาตุอาหารพืชในดินโดยตรง ทำให้ความ

เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชลดลง พืชอาจแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสรวมทั้งจุลธาตุอาหารบางชนิด ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง (Troeh and Thompson, 2005; Weil and Brady, 2016) และอาจทำให้โซเดียม โบรอน และโมลิบดีนัมละลายออกมา มากจนก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Weil and Brady, 2016) รวมทั้งส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนในดินต่ำ (Troeh and Thompson, 2005) ขณะที่สภาพกรดจัดในดินก็ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารลดลงเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะไนโตรเจนของฟอสฟอรัส (ไพบูลย์, 2546; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ส่วนพีเอชดินที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ พบว่า มีค่าต่ำกว่าที่วัดโดยใช้น้ำอัตราส่วนเดียวกัน (Figure 2B) โดยมีพีเอชดินอยู่ในช่วงเป็นกรดรุนแรงถึงเป็นด่างจัดมาก (4.0-10.1) แสดงให้เห็นว่าผลรวมประจุสุทธิของดินมีผลลัพท์เป็นลบ (Sanchez, 1976)

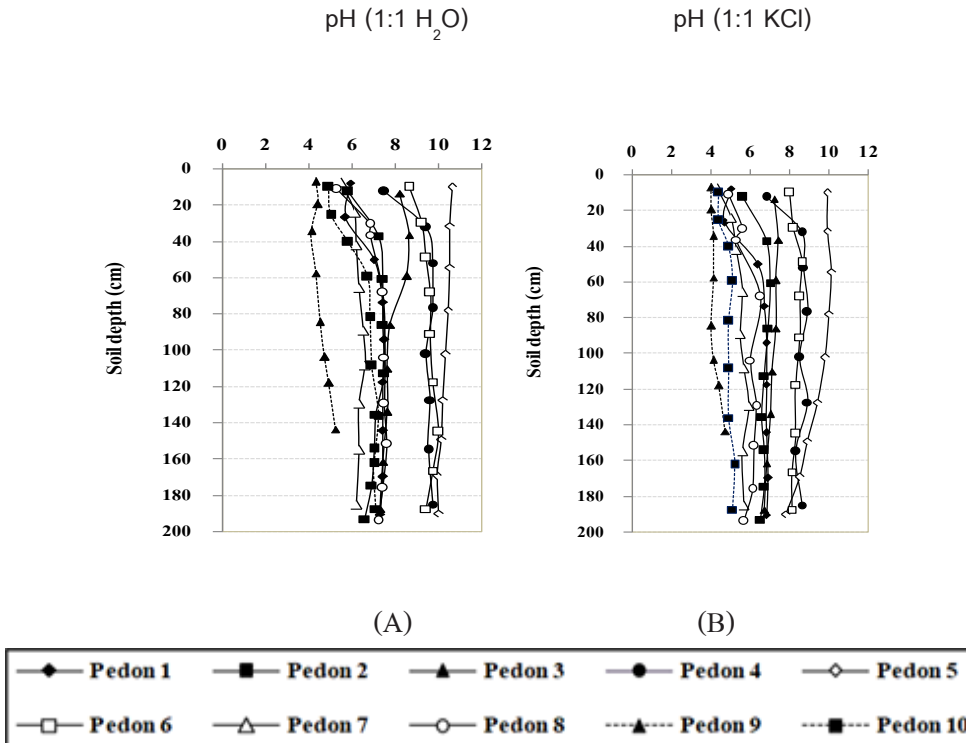


Figure 2 Relationship between soil pH measured in water (A) and in KCl (B) with depth of studied soils

ดินที่ทำการศึกษาทั้ง 10 บริเวณ มีสภาพการนำไฟฟ้าของดินในขณะอิ่มตัวอยู่ในระดับไม่เค็มจนถึงเค็มมาก (0.14-30.00 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) (Figure 3A) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินส่วนมากมีค่าอยู่ในพิสัย 4.52-94.54 (Figure 3B) และ อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้อยู่ในพิสัยร้อยละ 0.81-43.40 (Figure 3C) ซึ่งความเค็มจะส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากเกลือที่มีอยู่มากในสารละลายดิน ส่งผลให้พืชดูดใช้น้ำจากดินได้ยาก พืชจึงมักแสดงอาการเหี่ยวและตายไปในที่สุด (จงรักษ์, 2530; Clermont-Dauphin *et al.*, 2010) นอกจากนี้โซเดียมไอออนที่มีอยู่มากเกินไปจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของดิน โครงสร้างดินไม่อยู่ตัว ดิน

แน่น น้ำซึมผ่านได้ยาก และรากพืชชอนไชได้ยาก (สมศรี, 2539; Cha-um and Kirdmanee, 2011) สำหรับดินบางพืดอนที่เก็บจากบริเวณที่เป็นดินเค็มจัด แต่ผลการศึกษากลับพบว่า ดินมีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เป็นเพราะว่า แผนที่ใช้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างเป็นแผนที่ที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมโดยพิจารณาจากปริมาณคราบเกลือในฤดูแล้ง แต่ค่าการนำไฟฟ้าของดินอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล ลักษณะของน้ำที่ไหลไปตามผิวดินและการขึ้นลงของน้ำใต้ดิน จึงมีความเป็นไปได้ที่ผลวิเคราะห์จะไม่ตรงกับระดับของเกลือที่ปรากฏในแผนที่

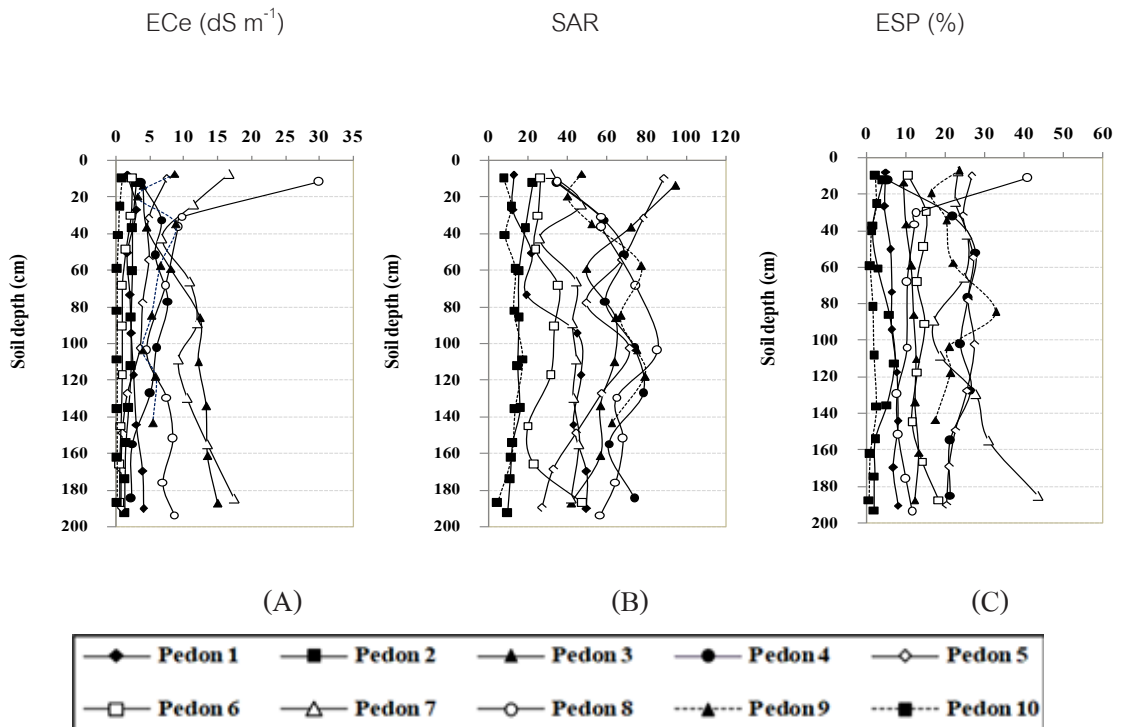


Figure 3 Relationship between electrical conductivity (A) sodium adsorption ratio (B) and exchangeable sodium percentage (C) with depth of studied soils

เมื่อจำแนกประเภทของดินที่ได้อิทธิพลของเกลือ โดยใช้เกณฑ์ของ United State Salinity Laboratory Staff (1954) และ Brady and Weil (2016) สามารถจำแนกดินที่ทำการศึกษาทั้ง 10 บริเวณได้เป็นดินเค็มโซติก จำนวน 6 พืดอน (พืดอน 3, 4, 5, 7, 8 และ 9) ซึ่งเป็นดินที่มีสภาพการนำไฟฟ้าที่สกัดได้จากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าสูงกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้สูงกว่า 15 หรืออัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงกว่า 13 ส่วนอีก 4 พืดอนที่เหลือ (พืดอน 1, 2, 6 และ 10) จัดเป็นดินโซติก ซึ่งเป็นดินที่มีค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้สูงกว่า 15 หรือมีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงกว่า 13 แต่สภาพการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร

องค์ประกอบเชิงแร่

1) แร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว

แร่หลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินเกือบทุกบริเวณเป็นแร่เคลอิไนต์ (Table 2) ผลที่ได้คล้ายคลึงกับการศึกษาของจุฑามาศ (2546) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินเขตร้อนที่มีพัฒนาการค่อนข้างดี (Buol *et al.*, 2011) ยกเว้นพืดอน 3 ที่พบแร่สเมกไทต์เด่นกว่าแร่ชนิดอื่น (Table 2) ซึ่งอาจเนื่องมาจากสภาพความเป็นต่างจึงส่งเสริมการเพิ่มซิลิกา รวมทั้งวัตถุประสงค์กำเนิดสลายตัวแล้วให้แคตไอออนที่จำเป็นสำหรับการสร้างตัว อีกทั้งสภาพภูมิประเทศ และสัณฐานภูมิประเทศ ร่วมกับสภาพกระบายน้ำที่เร็ว มีผลทำให้การชะละลายภายในหน้าตัดดินเกิดขึ้นได้น้อย และไม่มากพอที่จะชะละลายแคตไอออนเหล่านั้นออกไปจากหน้าตัดดิน นอกจากนี้ในช่วงเปียก

และแห้งสลับกันอย่างชัดเจนจะส่งเสริมให้มีการรวมตัวกันระหว่างซิลิกากับอะลูมินา ซึ่งเป็นสภาพที่มีความเหมาะสมมากสำหรับกระบวนการเพิ่มซิลิกา จึงเหมาะสมต่อการพบแร่สเมกไทต์ (อัญชลี, 2553)

นอกจากนี้ ในทุกบริเวณพบแร่ซิลไลต์และควอร์ตซ์เล็กน้อย ซึ่งการพบแร่ซิลไลต์แสดงให้เห็นว่าดินมีพัฒนาการไม่สูงมากนัก ในกรณีของแร่ควอร์ตซ์ ถึงแม้ว่าแร่ควอร์ตซ์เป็นแร่ที่ทนทานต่อการสลายตัวสูงมาก (Jackson, 1965; Yoshinaga *et al.*, 1989) แต่เมื่อเกิดการผุพัง แร่ควอร์ตซ์ จะมีขนาดเล็กลงอย่างช้า ๆ นอกจากนี้สภาพที่เป็นต่างของดินจะส่งเสริมการละลายของซิลิกาอาจทำให้แร่ควอร์ตซ์มีขนาดเล็กลง จึงพบแร่ควอร์ตซ์ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวได้ (Alexander *et al.*, 1954; Drees *et al.*, 1989)

2) แร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้ง

ควอร์ตซ์เป็นแร่หลักที่พบในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้งของดินโดยมีปริมาณสูงกว่าร้อยละ 60 (Table 2) ซึ่งแร่ควอร์ตซ์ที่พบนั้นน่าจะเป็นผลจากวัตถุประสงค์กำเนิด (Weil and Brady, 2016; Buol *et al.*, 2011) นอกจากนี้แร่ควอร์ตซ์ยังเป็นแร่ที่มีความคงทนต่อการสลายตัวสูงมาก จึงมักเป็นแร่ที่หลงเหลืออยู่ในดินในปริมาณมาก (เอิบ, 2548; อัญชลี, 2553; Boul *et al.*, 2011) ในขณะที่แร่อื่น ๆ ที่สลายตัวง่าย เช่น แร่เฟลด์สปาร์ จะหลงเหลือในดินน้อยกว่า (Jackson, 1965) ส่วนพืดอน 3 พบแร่เฟลด์สปาร์เล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าดินนี้มีพัฒนาการต่ำกว่าดินอื่น ๆ (Table 2)

Table 2 Mineralogical composition in clay and silt fractions of salt affected soils selected

Depth (cm)	Horizon	Clay fraction				Silt fraction	
		Kaolinite	Smectite	Illite	Quartz	Quartz	Feldspar
Pedon 1							
0-16	Apg1	xxx	-	tr	x	xxxx	-
38-63	Btng1	xxxx	-	tr	x	xxxx	-
84-105	Btng3	xxxx	-	tr	x	xxxx	-
105-130	Btng4	xxxx	-	tr	x	xxxx	-
159-181	Btng6	xxxx	-	tr	tr	xxxx	tr
Pedon 2							
0-25	Apg	xxx	-	tr	tr	xxxx	-
49-72	Btng2	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
100-125	Btng4	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
146-163	Btng6	xxx	-	tr	tr	xxxx	-
186-200	Btng8	xxx	-	tr	x	xxxx	-
Pedon 3							
0-27	Apng	xx	x	x	tr	xxxx	-
46-72	Bssng2	xx	xxx	tr	tr	xxxx	-
100-120	Bssng4	x	xxx	x	tr	xxxx	tr
148-175	Bssng6	xx	xxx	tr	tr	xxxx	tr
Pedon 4							
0-25	Apg	xxx	-	tr	x	xxxx	-
40-64	Btng2	xxxx	-	tr	x	xxxx	-
90-115	Btng4	xxxx	-	tr	x	xxxx	-
140-170	Btng6	xxx	-	tr	x	xxxx	-
Pedon 5							
0-20	Apng	xxx	-	-	xx	xxxx	-
40-58	Btng2	xxx	-	-	x	xxxx	-
79-103	Btng4	xxxx	-	-	x	xxxx	-
132-158	Btng6	xxxx	-	-	x	xxxx	-

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

Table 2 Mineralogical composition in clay and silt fractions of salt affected soils selected (Cont.)

Depth (cm)	Horizon	Clay fraction				Silt fraction	
		Kaolinite	Smectite	Illite	Quartz	Quartz	Feldspar
Pedon 6							
0-20	Apng	xxx	-	-	xx	xxxx	-
40-58	Btng2	xxx	-	-	x	xxxx	-
79-103	Btng4	xxxx	-	-	x	xxxx	-
132-158	Btng6	xxxx	-	-	x	xxxx	tr
Pedon 7							
0-15	Apng	xxx	-	tr	x	xxxx	-
33-52	Btng2	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
80-98	Btcng2	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
119-140	Btngb4	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
170-200	Bvng	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
Pedon 8							
0-23	Apg1	xxx	-	tr	x	xxxx	-
25-28/48	Btng1	xxx	-	tr	x	xxxx	-
89-83/119	Bvng	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
100-119	Btng2	xxxx	-	tr	tr	xxxx	tr
119-100/140	BCrtng1	xxxx	-	tr	tr	xxxx	tr
164-156/188	BCrtng3	xxxx	-	tr	tr	xxxx	tr
Pedon 9							
0-14	Apng	xxx	-	-	x	xxxx	-
14-25	Bng	xx	-	-	xx	xxxx	-
25-44	Btng1	xxx	-	-	x	xxxx	-
71-98	Bvng1	xxxx	-	-	tr	xxxx	-
98-109	Btng3	xxxx	-	-	tr	xxxx	-
127-164	Bvng2	xxxx	-	-	tr	xxxx	-
Pedon 10							
0-20	Apg	xxxx	-	-	x	xxxx	-
31-50	Btng2	xxxx	-	tr	x	xxxx	-
95-122	Btng5	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-
150-175	Btng7	xxxx	-	tr	tr	xxxx	-

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

หน่วยการจำแนกดิน

ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือทั้ง 10 บริเวณ สามารถจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Survey Staff, 2014) ได้ดังนี้

การจำแนกชั้นสูง

ดินเกือบทุกบริเวณแสดงถึงการมีชั้นดินล่างวินิจชัยอาร์จิลิก (argillic horizon) และมีร้อยละความอิ่มตัวเบสในชั้นสะสมดินเหนียวสูงกว่าร้อยละ 35 จึงจำแนกอยู่ในอันดับดินแอลฟิซอลส์ (Alfisol) ยกเว้น ดินพีดอน 3 ที่ไม่พบการสะสมดินเหนียว แต่พบลักษณะหน้าดินแตกเป็นร่องระแหงกว้าง ลึก และเปิดปิดในบางช่วงของปี ผิวหน้าดินตะปุ่มตะป่ำเนื่องจากการยึดหดตัวของดินพบรอยไถลหรือก่อนดินมีลักษณะคล้ายลิม ผิวเรียบเป็นมันตั้งเฉียงทำมุมแนวนอนระหว่าง 10-60 องศา มีความหนามากกว่า 25 เซนติเมตรขึ้นไป และในทุกชั้นดินที่ระดับความลึก 18-50 เซนติเมตร มีปริมาณดินเหนียวมากกว่า 300 กรัมต่อกิโลกรัม จึงจำแนกอยู่ในอันดับดิน Vertisols

ดินทุกบริเวณมีระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างตื้นมีการท่วมขังน้ำในช่วงฤดูฝน และพบจุดประที่แสดงถึงลักษณะของ redoximorphic feature ตั้งแต่ชั้นดินบน ซึ่งจัดเข้าในระบบความชื้นดินแบบแอควิก (Aquic soil moisture regime) ทำให้ดินเกือบทุกบริเวณจัดอยู่ในอันดับดินย่อย Aqualfs ส่วนดินพีดอน 3 จำแนกได้เป็น Aquert

ดินในทุกบริเวณยังพบชั้นดินล่างวินิจชัยเนทริก (Natic horizon) ที่แสดงถึงการสะสมไฮเดียม โดยร้อยละไฮเดียมแลกเปลี่ยนได้สูงกว่า 15 หรืออัตราส่วนการดูดซับไฮเดียมสูงกว่า 13 และโครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยม แบบแห้งหวัมน ทำให้ดินเกือบทุกบริเวณจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Natraqualfs และดินพีดอน 3 จำแนกได้เป็น Natraquert

ดินไม่มีลักษณะและคุณสมบัติอื่นใดที่แตกต่างไปจากลักษณะเด่นของกลุ่มดินใหญ่ ดังนั้นดินตัวแทนที่ทำการศึกษาค้นนี้เกือบทุกบริเวณจัดจำแนกในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Typic Natraqualfs ส่วนดินพีดอน 3 จำแนกเป็น Typic Natraquert

การจำแนกชั้นต่ำ

การจำแนกชั้นเนื้อดิน (particle size class) พบว่าดินทุกบริเวณมีชั้นส่วนหยาบน้อยกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร โดยดินส่วนใหญ่ (พีดอน 1, 2 และ 10) พีดอน 3 มีอนุภาคขนาดดินเหนียวมากกว่าร้อยละ 35 โดยน้ำ

หนัก จัดอยู่ในชั้นเนื้อดิน fine ส่วนดินพีดอน 4, 5 และ 6 มีปริมาณดินเหนียวต่ำกว่าร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก จึงจัดอยู่ในชั้นเนื้อดิน coarse-loamy และดินพีดอน 7 และ 8 มีปริมาณดินเหนียวอยู่ในพิสัยร้อยละ 18-35 โดยน้ำหนัก จึงจัดอยู่ในชั้นเนื้อดิน fine-loamy

การจำแนกชั้นแร่วิทยา โดยพิจารณาจากแอ่งค์ประกอบในกลุ่มอนุภาคขนาด 0.02-2.00 มิลลิเมตร พบว่า ดินเกือบทุกบริเวณมีแร่โคโลไนต์เป็นองค์ประกอบมากกว่าครึ่งหนึ่ง จึงจัดจำแนกอยู่ในชั้น kaolinitic ส่วนพีดอน 3 สามารถจำแนกอยู่ในชั้น mixed เนื่องจากไม่พบแร่ใดที่เป็นแร่เด่นในกลุ่มขนาดดังกล่าว

การจำแนกชั้นความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน พบว่า ดินพีดอน 8, 9 และ 10 อยู่ในชั้น superactive เนื่องจากมีอัตราส่วนของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (โดยวิธี NH₄OAc pH 7) ต่อปริมาณดินเหนียวมากกว่าหรือเท่ากับ 0.60 โดยน้ำหนัก ส่วนพีดอน 1, 2, 4, 5 และ 6 มีอัตราส่วนของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่อปริมาณดินเหนียวอยู่ในพิสัย 0.40-0.60 โดยน้ำหนักจึงอยู่ในชั้น active และดินพีดอน 3 มีอัตราส่วนของความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่อปริมาณดินเหนียวอยู่ในพิสัย 0.24-0.40 โดยน้ำหนัก จึงสามารถจัดอยู่ในชั้น semiactive

การจำแนกชั้นอุณหภูมิดิน พบว่า ดินทุกบริเวณมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดปีสูงกว่า 22 องศาเซลเซียส และมีความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาวไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส จึงจัดอยู่ในชั้นอุณหภูมิดิน isohyperthermic

ชั้นอนุกรมวิธานดินของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือทั้ง 10 บริเวณ มีดังนี้

ดินพีดอน 1, 2 และ 10 จำแนกเป็น Typic Natraqualfs, fine, kaolinitic, isohyperthermic ซึ่งดินนี้เป็นดินคล้ายชุดดินกุลาร์องให้ที่มีเนื้อดินละเอียด

ดินพีดอน 4, 5, 6 และ 9 จำแนกเป็น Typic Natraqualfs, coarse-loamy, kaolinitic, isohyperthermic จัดเป็นดินคล้ายชุดดินกุลาร์องให้ที่มีเนื้อดินหยาบ

ดินพีดอน 7 และ 8 จำแนกเป็น Typic Natraqualfs, fine-loamy, kaolinitic, isohyperthermic ซึ่งเป็นชุดดินกุลาร์องให้

ดินพีดอน 3 จำแนกเป็น Typic Natraquert, fine, mixed, semiactive, isohyperthermic ซึ่งเป็นชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์

สรุป

ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือทั้ง 10 บริเวณ จำแนกได้เป็นดินเค็มโซติก และดินโซติก ดินทุกบริเวณ เป็นดินลึก การระบายน้ำเลว มีการสะสมโซเดียมเพิ่มขึ้น ตามความลึกสอดคล้องกับการพบโครงสร้างขนาดเล็ก แบบเม็ดดินเชื่อมต่อกันด้วยอนุภาคขนาดละเอียด และ ผลึกเฮไลต์ในดิน อย่างไรก็ตาม สมบัติของดินแปรปรวน โดยมีเนื้อดินเป็นทรายจนถึงดินเหนียว ดินเป็นกรดจัดถึง ด่างจัดมาก ความเค็มอยู่ในระดับไม่เค็มจนถึงเค็มมาก แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็นแร่เคโอลิไนต์ ยกเว้นในพืดอน 3 ที่พบแร่สมกไทต์เป็นแร่เด่น และเป็นดินที่มีพัฒนาการ ต่ำกว่าดินอื่น ๆ เนื่องจากพบแร่เฟลด์สปาร์ในดิน สามารถจำแนกดินทั้งหมดในระดับกลุ่มดินย่อย ได้แก่ Typic Natraqualfs ยกเว้น พืดอน 3 ที่จำแนกเป็น Typic Natraquet ดินที่ทำการศึกษทั้งหมด มีข้อจำกัด หลักสำหรับการปลูกข้าวหอมมะลิ คือ ดินมีปริมาณ โซเดียมที่สูง และในบางบริเวณมีค่าความเค็มค่อนข้าง สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีเนื้อค่อนข้างหยาบจะพบ ปัญหาเพิ่มเติมคือ ข้าวหอมมะลิจะขาดน้ำได้ง่าย เนื่องจากดินไม่สามารถกักเก็บน้ำได้ ขณะที่เกลือที่ สะสมอยู่ในดินจะทำให้ข้าวหอมมะลิไม่สามารถใช้น้ำ ในดินได้เต็มประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ครั้งที่พิมพ์ 10. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ชนิษฐศรี สงสวัสดิ. 2537. สมบัติและระดับความรุนแรงของอิทธิพลเกลือของดินคล้ายชุดดิน ร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มในจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2530. เค็มของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จุฑามาศ แก้วมโน. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือกับสัณฐานภูมิประเทศบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จุมพล วิเชียรศิลป์. 2535. การวิเคราะห์สมบัติและศักยภาพของดินเค็มในอ่างโคราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จำเป็น อ่อนทอง. 2551. ดินมีปัญหและการจัดการ. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ดิเรก ชู่นตระกูล. 2531. การประเมินปัญหาและศักยภาพของดินเค็มในบริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พรพรม พรหมเดชะ. 2544. แร่วิทยาและเคมีของดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือบริเวณแอ่งสกลนครในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ไพบุลย์ ประพุดติธรรม. 2528. เค็มของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศรัญญา หน่อแก้ว. 2549. ความแปรปรวนของระบบดินตามธรรมชาติที่เกิดจากอิทธิพลของระดับการสะสมเกลือของชุดดินกุลาร้องไห้ในจังหวัดร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมศรี อรุณินท์. 2539. ดินเค็มในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สมศรี อรุณินท์. 2540. การปรับปรุงดินเค็มและดินโซติก, น. 19-29. ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ: เรื่องดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2554. คู่มือการฟื้นฟูดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- อัญชลี สุทธิประการ. 2534. แร่ในดินเล่มที่ 1. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียววันนรมย์. 2548. การสำรวจดิน: มโนทัศน์หลักการและเทคนิค. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียววันนรมย์. 2552. คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 6. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

กรุงเทพฯ.

- Alexander, G.B., W.M. Heston, and R.K. Iler. 1954. The solubility of amorphous silica in water. *J. Phys. Chem.* 58: 453-455.
- Arunin, S. 1992. Strategies for utilizing salt affected lands in Thailand, pp. 26-37. In *Proceedings of the International Symposium on Strategies for Utilizing Salt Affected Lands*. Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok.
- Brindley, G.W., and G. Brown. 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification, pp. 305-359. In G.W. Brindley and G. Brown, eds. *Crystal Structure of Clay Minerals and their X-Ray Identification*. Mineralogical Society Monograph. No. 5. Spottiswoode Ballantyne Ltd., London, UK.
- Bloom, P.R. 2000. Soil pH and pH Buffering, pp. B333-B352. In M.E. Summer, ed. *Handbook of Soil Science*. CRC Press LLC., Boca Raton, FL, USA.
- Bloom, P.R., and D.F. Grigal. 1985. Modeling soil response to acidic deposition in non-sulfate absorbing soils. *J. Environ. Qual* 14: 481-495.
- Buol, S.W., R.J. Southard, R.C. Graham, and P.A. McDaniel. 2011. *Soil Genesis and Classification*. 5th ed. Iowa State Press, Blackwell Pub. Co., Ames., Iowa, USA.
- Cha-um, S., A. Charoenpanich, S. Roytrakul, and C. Kirdmanee. 2009. Sugar accumulation, photosynthesis and growth of two Indica rice varieties in response to salt stress. *Acta Physiologia Plantarum* 31: 477-486.
- Clermont-Dauphin, C., N. Suwannang., O. Grunberger., C. Hammecker., C. Hammecker, and J.L. Maeght. 2010. Yield of rice under water and soil salinity risk in farmers' fields in Thailand. *Field Crops Res.* 118: 289-296.
- Drees, R.L., L.P. Wilding, N.E. Smeck, and A.L. Senkayi. 1989. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. *Soil Sci. Soc.* 913-974.
- Fu, Y., Z.W. Liang., Z.C. Wang, and C. Yang. 2008. Relationship between diurnal changes of net photosynthetic rate and influencing factors in rice under saline sodic stress. *Rice Sci.* 15(2): 119-124.
- Ghassemi, F., A.J. Jakeman, and H.A. Nix. 1995. *Salinisation of Land and Water Resources: Human Cases, Extent, Management and Case Studies*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National Univ., Canberra, Australia.
- Jackson, M.L. 1965. *Soil Chemical Analysis-Advanced Course*. Department of Soils, University of Wisconsin, Wisconsin, USA.
- Jackson, M.L., S.A. Tyler, A.L. Willis, G.A. Bourbeau, and R.P. Pennington. 1948. Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments: I. Fundamental generalizations. *J. Phys. Colloid Chem.* 52: 1237-1260.
- Kaewmano, C., I. Kheoruenromne, and A. Sudhiprakarn. 2006. Effects of salt on lowland soils in Northeast Thailand, pp. 178-185. In the *Proceedings of 44th Kasetsart University Annual Conference*, 31 January to 2 February 2006. Bangkok, Thailand.
- Kaewmano, C., I. Kheoruenromne, A. Sudhiprakarn, and R.J. Gilkes. 2010. Chemistry and clay mineralogy of Thai Natraqualfs. Paper presented in the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. (Published on DVD)
- McNeal, B.L., and N.T. Coleman. 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 308-312.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Sur-*

- vey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigation. Report No. 42, Version 3.0. National Resources Conservation Service, USDA, Washington D.C., USA.
- Pal, D.K., P. Srivastava, and T. Bhattacharyya. 2003. Clay illuviation in calcareous soils of the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Geoderma*. 115: 177-192.
- Peech, M., L.T. Alexander, L.A. Dean, and J.F. Reed. 1974. *Methods of Soil Analysis for Fertility Investigation*. U.S. Dept. Agric. Cric, Madison, Wisconsin, USA.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soil*. US Salinity Laboratory, US Dept. Agr. Hbk. 60., Washington D.C., USA.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soil in the Tropics*. John Wiley and Son, Inc., New York, USA.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. US. Dep. of Agr. Handbook No. 18, U.S. Gov. Printing Office, Washington D.C., USA.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington, D.C., USA.
- Standardized Soil-Land Survey and Classification Section. 2017. *Map of Salt Affected Soil Distribution in Northeastern Provinces Using the Assessment of Salt Patches*. Office of Soil Survey and Land Use Planning, Land Development Department, Bangkok. (in Thai)
- Suddhiprakarn, A., and I. Kheoruenromne. 1998. Mineralogy and micromorphology of salt affected soils in Central Plain, Thailand. *Thai J. Agric. Sci.* 31: 3-20.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, pp. 475-490. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. *Method of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Troeh, F.R., and L.M. Thompson. 2005. *Soils and Soil Fertility*. 6th ed. Blackwell Publishing, Brisbane, Australia.
- United State Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Agriculture Handbook No.60. USDA, Washington D.C., USA.
- Ulrich, B. 1991. An ecosystem approach to soil acidification, pp. 28-79. In B. Ulrich and M.E. Sumner, ed. *Soil Acidity*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- van Breemen, N., and P. Buurman. 2002. *Soil Formation*. 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.
- Warrence, N.J., K.E. Pearson, and J.W. Bauder. 2003. *The basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties*. Technical Bulletin No.134. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Minnesota State University, Minnesota, USA.
- Weil, R.R., and N.C. Brady. 2016. *The Nature and Properties of Soils*. 15th edition. Pearson Education, Inc., Columbus, USA.
- Whittig, L.D. 1965. X-ray diffraction technique for minerals identification and mineralogical composition, pp. 671-698. In C.A. Black, *Methods of Soil Analysis, Part II: Soil Chemistry and Mineralogy*. Monograph No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, USA.
- Wongpokhom, N., I. Kheoruenromne, A. Suddhiprakarn and R.J. Gilkes. 2008. Micromorphological properties of salt affected soils in Northeast Thailand. *Geoderma* 144: 158-170.
- Yoshinaga, N., Y. Kato and M. Nakai. 1989. Mineralogy of red and yellow-colored soils from Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.* 35: 181-205.