

อิทธิพลของน้ำทะเลหนุนต่อสมบัติของดินในพื้นที่ดินนา บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย

Influence of Seawater Intrusion on the Properties of Paddy Soils in Lower Central Plain, Thailand

นวรรตน์ เวชวิฐาน¹ นภาพร พันธุ์มกลศิลป์¹ และเกียรติศักดิ์ สนศรี¹
Nawarat Wetvithan¹, Napaporn Phankamolsil¹ and Kiattisak Sonsri¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินบางประการที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน ในพื้นที่ดินนาบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย ทำการศึกษาในพื้นที่ดินนาจังหวัดนนทบุรีและจังหวัดปทุมธานี โดยเก็บตัวอย่างดิน 5 จุด เก็บตัวอย่างแบบรบกวนโครงสร้างที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 และ 90-120 ซม. เก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง จากแม่น้ำเจ้าพระยาและบริเวณแหล่งน้ำใกล้บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเคมีบางประการของดิน และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำ ทุก ๆ เดือน ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 หาค่าความแปรปรวนของสมบัติดินและน้ำระหว่างปีโดยใช้ Student's t-test ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นโดยมวลของดินในปีที่ 1 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562) มีค่าอยู่ในพิสัย 22.99-79.04% ในปีที่ 2 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563) มีค่าอยู่ในพิสัย 9.87-88.98% ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินและค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในปีที่ 1 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.32-4.42 dS/m, 7.04-37.23 และ 0.26-1.6 dS/m ตามลำดับ และในปีที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.47-5.73 dS/m, 3.63-31.45 และ 0.21-6.73 dS/m ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม แสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากเกลือ เมื่อนำข้อมูลเปรียบเทียบกับความแปรปรวนระหว่างปี พบว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินมีค่าสูงขึ้นในการศึกษารอบปีที่ 2 ในขณะที่ค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมีค่าลดลง ($P < 0.05$) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำทั้ง 2 ปี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความรุนแรงของความเค็มของดินและน้ำมีความรุนแรงขึ้นในปีที่ 2 สอดคล้องกับค่าความเค็มสูงสุดในลำน้ำเจ้าพระยาที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในปีที่ 2 ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการและการวางแผนการใช้น้ำจืดในการผลักดันน้ำทะเลจากสภาวะน้ำทะเลหนุน ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: น้ำทะเลหนุน ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินนา สมบัติของดิน

Abstract

The objective of this study was to monitor the changes of some soil properties as influenced by the seawater intrusion in the paddy soils on the Lower Central Plain of Thailand. The paddy soil samples were collected monthly at depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm from five sites located in Nonthaburi and Pathum Thani provinces. A grab sample method was used to monthly collect the water samples at the Chao Phraya River and the water reservoir nearby the soil sampling sites. Some physical and chemical properties of soil, as well as some chemical properties of water, were analyzed every single month from March 2018 to February 2020. The variability of the chemical properties for soil and water between the year was statistically performed by Student's t-test. The results demonstrated that soil moisture in the first year (March 2018-February 2019) ranged from 22.99-79.04% and in the second year (March 2019-

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

^{*}Corresponding author, Email: agrmnp@ku.ac.th

February 2020) ranged from 9.87-88.98%. The electrical conductivity of soil, sodium adsorption ratio of soil and the electrical conductivity of water in the first year ranged from 0.32-4.42 dS/m, 7.04-37.23 and 0.26-1.6 dS/m, respectively and in the second year ranged from 0.47-5.73 dS/m, 3.63-31.45 and 0.21-6.73 dS/m, respectively. According to the observed electrical conductivity and sodium adsorption ratio of soil, it could be indicated that these soils in the study areas were affected by salts. The variability comparison of the data obtained from the first and second years revealed that the electrical conductivity of soil had increased in the second year while the sodium absorption ratio had decreased ($P < 0.05$). The electrical conductivity and sodium adsorption ratio of water in the first year and second year revealed a statistically significant difference ($P < 0.05$). Based on these findings, the severity of soil and water salinity had increased in the second year, which was in line with the highest salinity level of water in the Chao Phraya River with possessing the increase trend in the second year. Thus, the management and planning for freshwater utilization to extrude the potential seawater intrusion in the future are required.

Keywords: seawater intrusion, salt-affect soil, paddy soils, soil properties

คำนำ

อิทธิพลของน้ำทะเลหนุน เป็นผลกระทบสำคัญอย่างหนึ่งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ หรือเรียกว่า ภาวะโลกร้อน (global warming) ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นในระดับที่ผิดปกติ (รัตนสุดา ชลธาตุ, 2558; United nation framework convention on climate change, 2020) ทำให้น้ำแข็งขั้วโลกและบนยอดเขาสูงละลาย เกิดการขยายตัวของผิวน้ำทะเล ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลหนุนสูงขึ้น (Nicholls and Cazenave, 2010) พื้นที่ราบภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย มีพื้นที่ต่อเนื่องกับทะเลอ่าวไทย ลักษณะเป็นที่ราบลุ่มมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 0-2 เมตร เมื่อเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลหนุนสูงบริเวณดังกล่าวจะได้รับอิทธิพลจากความเค็มที่มากับน้ำทะเล อิทธิพลของน้ำเค็มอาจเข้ามาตามลำน้ำเจ้าพระยา หรือมากับระบบน้ำใต้ดิน (Phankamolnil et al., 2021) ปัจจุบันประเทศไทยบริหารจัดการการรुक้าของน้ำเค็มเข้ามาในลำน้ำเจ้าพระยาและพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้มวลของน้ำจืดผลักดันน้ำเค็ม ดังนั้นหากมีระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และประกอบกับการมีมวลน้ำจืดในการผลักดันน้ำเค็มน้อย ปัญหาดังกล่าวก็จะเกิดได้มากขึ้น ประเทศไทยจึงเป็นอีกประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งพบว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยสูงขึ้นประมาณ 3-5 มิลลิเมตรต่อปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536-2551 (TRF, 2011) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยทั่วโลกอยู่ที่ 1.7 (± 0.5) มิลลิเมตรต่อปี (Sojisuporn et al., 2013) จากเหตุการณ์ดังกล่าว ทำให้เกิดผลกระทบจากน้ำทะเลหนุนสูงในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเคยอยู่ใต้ระดับน้ำทะเลมาก่อน อีกทั้งยังเป็นพื้นที่นาข้าวที่ใหญ่และอุดมสมบูรณ์ของประเทศ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 2 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2563) ทั้งนี้ ระดับความเค็มและสมบัติของดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นขีดจำกัดของผลผลิตพืช (วิกานดา วรณวิเศษ, 2558) เนื่องจากพืชส่วนใหญ่มีความไวต่อความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จึงส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรลดต่ำลง และอาจส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศได้ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ในจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานี เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของแม่น้ำเจ้าพระยาและได้รับผลกระทบจากการรูก้าของน้ำทะเลและน้ำทะเลหนุนสูง แต่ยังไม่มีการศึกษาหรือการรายงานที่ชัดเจนว่า สมบัติของดินเมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลหนุนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร จึงทำให้เกิดความสนใจการศึกษาอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนต่อสมบัติในพื้นที่ดินนาบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึง ลักษณะของดิน การแจกกระจายความเค็ม และระดับความเค็มของดินและน้ำที่มีผลต่อพื้นที่ดินนา เมื่อได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลหนุนในแต่ละช่วงฤดูกาลและแต่ละรอบปี เพื่อเป็นแนวคิดในการวางแผนจัดการพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวและหาแนวทางการจัดการที่เหมาะสมต่อไป

วิธีการศึกษา

กำหนดพื้นที่ศึกษาในดินที่ใช้ปลูกข้าว ที่คาดว่าจะได้รับอิทธิพลจากการรुकูล้ำของน้ำเค็มจำนวน 5 จุดศึกษา โดยพิจารณา ระยะห่างจากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีสมมติฐานว่าเมื่อจุดศึกษาห่างจากแม่น้ำเจ้าพระยามากจะได้รับอิทธิพลความเค็มลดน้อยลง กรณีพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลหนุนมาตามลำน้ำเจ้าพระยา และจังหวัดที่อยู่ห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยามากกว่า (จังหวัด ปทุมธานี) ได้รับอิทธิพลจากความเค็มน้อยกว่า ทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ 2 จังหวัดคือจังหวัดนนทบุรีจำนวน 2 จุดศึกษา และ ปทุมธานีจำนวน 3 จุดศึกษา (Figure 1) พิกัด UTM 1532447 ถึง 1548469 N และ 47 0647369 ถึง 0664148 E จุดศึกษาที่ 1 ถึง 5 มีระยะห่างจากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 11.10, 12.33, 0.65, 2.08 และ 4.35 กม. ตามลำดับ จากแม่น้ำเจ้าพระยา และมีระยะห่าง จากอ่าวไทยประมาณ 40.80, 40.90, 52.55, 53.60 และ 54.65 กม. ตามลำดับ ตัวอย่างดินเก็บแบบรบกวนโครงสร้าง (disturbed soil samples) และเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (grab sample method) จำนวน 4 จุดศึกษา ประกอบด้วย บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาใน จังหวัดนนทบุรี (N1) บริเวณคลองชลประทาน (N2) บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาในจังหวัดปทุมธานี (P1) และบริเวณคลองชลประทาน ไกล่แปลงนา (P2)



Figure 1 Sampling location for paddy soil in Nonthaburi provinces (a) and in Pathum Thani provinces (b), Thailand.

Source: The satellite images were taken from Google Earth (2021)

เก็บตัวอย่างดินที่ 5 ระดับความลึก ได้แก่ 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 และ 90-120 ซม. ตามลำดับ วิเคราะห์ความชื้นโดย มวล ด้วยวิธี gravimetric method (Black, 1965) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยใช้สารสกัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำ วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electrical conductivity bridge (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) และอัตราส่วน การดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio) โดยหาปริมาณโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม จากสารละลายดินที่สกัดจากดิน อิ่มตัวด้วยน้ำ (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินและน้ำ ดำเนินการวิเคราะห์เดือนละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 2 ปี ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 จากนั้นนำ ค่าที่ได้ของทุกเดือนมาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาการกระจายความเค็ม และระดับความเค็มของดินและน้ำที่มีผลต่อดินนาในแต่ละช่วง ฤดูกาล วิเคราะห์ความแปรปรวนของความเค็มที่เกิดขึ้นในระหว่างปีที่ 1 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562) กับปีที่ 2 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563) เปรียบเทียบด้วย Student's t-test ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS version 15.0 ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($P < 0.05$)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ความชื้นโดยมวลของดิน

ความชื้นโดยมวลของดิน ในพื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 และ 90-120 ซม. ในปีที่ 1 มีค่าอยู่ใน พิสัย 22.99-79.04% (Figure 2) ความชื้นโดยมวลของดินในปีที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 9.87-88.98% (Figure 3) ซึ่งค่าความชื้นโดยมวล ของดินบน (ในช่วงระดับความลึก 0-30 ซม.) มีแนวโน้มสูงกว่าดินล่าง (ในช่วงระดับความลึก 30-120 ซม.)

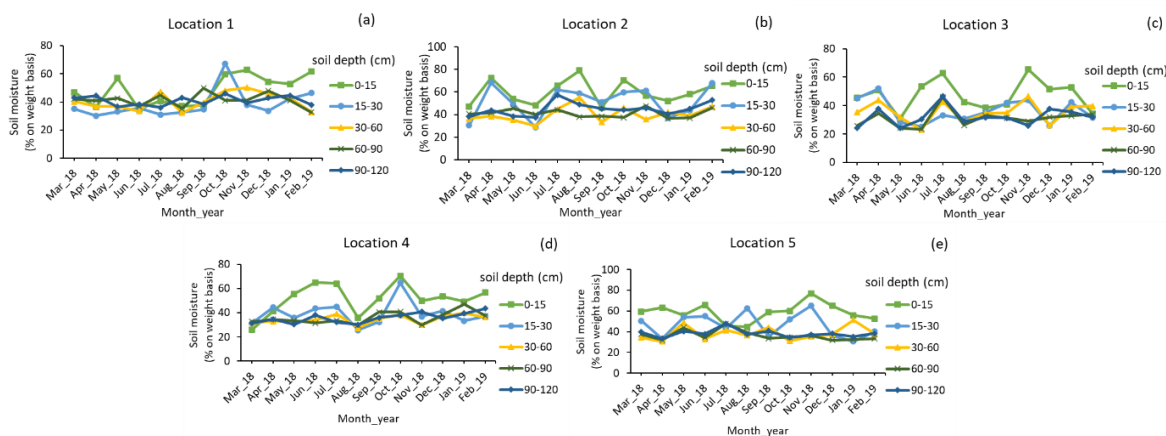


Figure 2 Soil moisture of study location 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) and 5 (e) at soil depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm in the first year (March 2018 to February 2019).

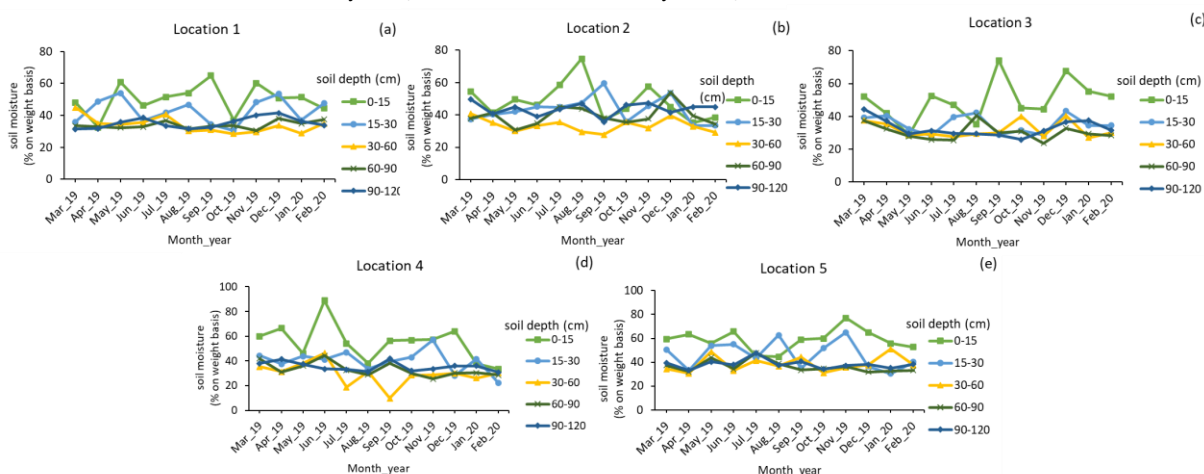


Figure 3 Soil moisture of study location 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) and 5 (e) at soil depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm in the second year (March 2019 to February 2020).

เนื่องจากทั้ง 5 จุดศึกษามีการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับดินนา ในระหว่างที่มีการเพาะปลูก เกษตรกรได้มีการผันน้ำเข้าแปลงนาอยู่เสมอ จึงส่งผลต่อความชื้นในดินบนสูงกว่าในดินล่างในช่วงที่มีการผันน้ำเข้านา นอกจากนี้ความชื้นของดินยังสอดคล้องกับฤดูกาลต่าง ๆ กล่าวคือ ความชื้นของดินทั้ง 2 ปี แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม เนื่องจากเข้าฤดูฝน ทั้งนี้พบว่าในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคมมีปริมาณฝนมากกว่าปกติ เนื่องจากอิทธิพลของพายุฤดูร้อน ส่งผลให้จุดศึกษาในปีที่ 1 และปีที่ 2 มีความชื้นสูงกว่าเดือนอื่น ๆ และในช่วงเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ของทั้ง 2 ปี ความชื้นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเริ่มเข้าฤดูร้อนซึ่งปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าค่าปกติและในหลายพื้นที่ไม่มีรายงานฝนตกติดต่อกันตลอดช่วง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2563)

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม และชนิดของดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน ในพื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 และ 90-120 ซม. ในปีที่ 1 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.32-4.42 dS/m (Figure 4) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในปีที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.47-5.73 dS/m (Figure 5)

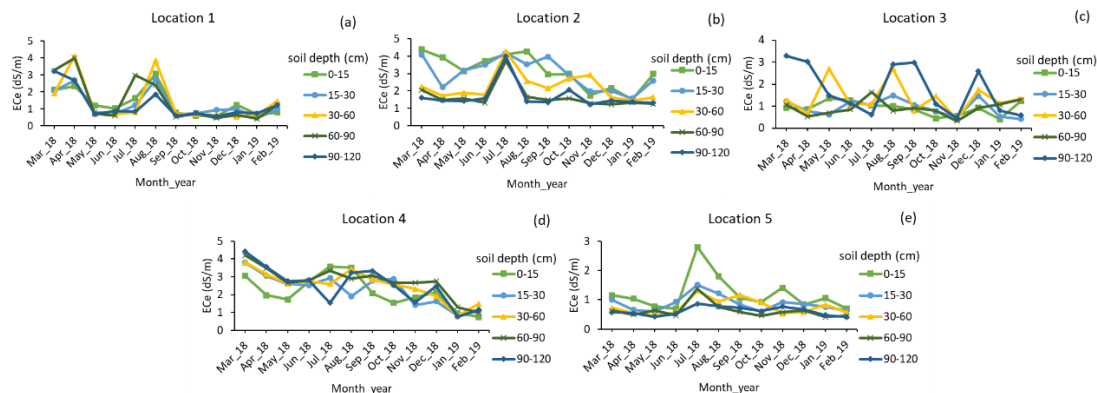


Figure 4 Electrical conductivity of study location 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) and 5 (e) at soil depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm in the first year (March 2018 to February 2019).

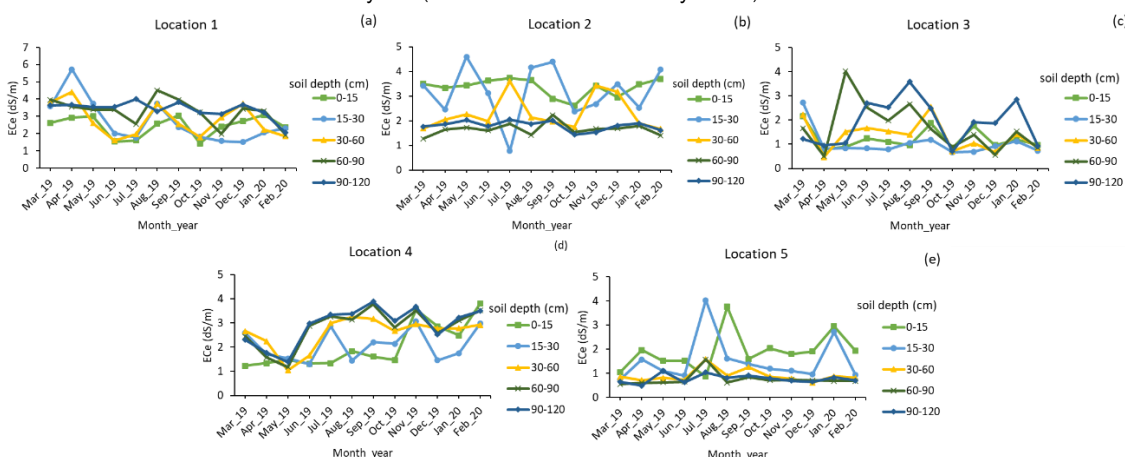


Figure 5 Electrical conductivity of study location 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) and 5 (e) at soil depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm in the second year (March 2019 to February 2020).

โดยทุกจุดในพื้นที่ศึกษาของทั้ง 2 ปี มีค่าสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 2 dS/m ซึ่งเป็นขีดจำกัดการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด โดยเฉพาะพืชที่ไวต่อความเค็ม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จุดศึกษาที่ 1 (Figure 4a), 2 (Figure 4b) และ 4 (Figure 4d) ในปีที่ 1 และจุดศึกษาที่ 1 (Figure 5a), 2 (Figure 5b), 3 (Figure 5c) และ 5 (Figure 5e) ในปีที่ 2 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 4 dS/m แสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากเกลือ นอกจากนี้ค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 4.42 dS/m ในปีที่ 1 เป็น 5.73 dS/m ในปีที่ 2 และมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 และเดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณน้ำฝนน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นของดินที่ลดลง ผสมกับเมื่อเกิดอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน ซึ่งในบางช่วงเวลาอาจมีปริมาณน้ำจืดไม่เพียงพอต่อการผลักดันน้ำเค็มออกสู่อ่าวไทย ส่งผลให้เกลือที่ละลายน้ำได้เข้ามาทำให้น้ำผิวดิน เนื่องจากการจัดการน้ำของเกษตรกรที่มีการผันน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาหรือคลองชลประทานต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับการเกษตรในช่วงเวลาที่เกิดน้ำทะเลหนุน รวมทั้งเกลือที่ละลายน้ำได้อาจเข้ามาสะสมในพื้นที่ศึกษาจากการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ทำให้เกลือที่ละลายน้ำได้เหล่านี้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ดินบนและเกิดการสะสมเกลือในหน้าตัดดินได้ จึงทำให้ดินในพื้นที่ศึกษามีค่าสภาพการนำไฟฟ้าในช่วงฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝนที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าอัตราการระเหย (เกียรติศักดิ์ สนศรี และคณะ, 2563; สมศรี อรุณินท์, 2539) ทั้งนี้ ดินที่ทำการศึกษามีค่าสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 4 dS/m เป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นขีดจำกัดของผลผลิตข้าว (สมศรี อรุณินท์, 2539) เนื่องจากข้าวมีความไวต่อความเค็มของดิน หากได้รับระดับความเค็มของดินที่มากเกินไปพืช ข้าวจะหยุดชะงักการเจริญเติบโต การแตกกอลดลง ยอดและใบบิดเบี้ยวและเกิดคลอโรซิส (chlorosis) ในบางส่วนของใบล่าง (Brinkman and Singh, 1982) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าอิทธิพลของความเค็มดังกล่าวต่อพืชชนิดอื่น เช่น ไม้ผล และพืชผัก อาจจะมีรุนแรงมากกว่าข้าวอีกด้วย (สมศรี อรุณินท์, 2539) เมื่อพิจารณาค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินตามระดับความลึกในแต่ละจุดศึกษาของทั้ง

2 ปี พบว่า จุดศึกษาที่ 2 และ 5 ดินบนมีแนวโน้มของค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินล่าง อาจมีสาเหตุมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การใช้น้ำจากคลองชลประทานหรือแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีเกลือละลายได้ปะปนอยู่ จึงส่งผลให้เกิดการสะสมเกลือในระบบดินมากขึ้น และในจุดศึกษาที่ 1, 3 และ 4 ดินล่างมีแนวโน้มของค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินบน อาจเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินที่มีเกลือเคลื่อนย้ายได้ รวมทั้งดินในพื้นที่มีวัตถุต้นกำเนิดมาจากตะกอนลำน้ำและตะกอนน้ำทะเล ซึ่งตะกอนน้ำทะเลมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง รวมทั้งปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้โดยส่วนใหญ่เป็นเกลือคลอไรด์ และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งเมื่อเกิดการเคลื่อนย้ายของเกลือมาสะสมในชั้นหน้าตัดดิน จึงส่งผลต่อค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน (Keren, 2000; Mengel and Kirkby, 2001; Havlin et al., 2005) อย่างไรก็ตาม ความรุนแรงของการได้รับอิทธิพลจากเกลื่อดังกล่าว ไม่สัมพันธ์กับระยะห่างจากแม่น้ำเจ้าพระยา และเมื่อพิจารณาระยะห่างจากอ่าวไทยพบว่าจังหวัดนนทบุรีซึ่งมีระยะห่างจากอ่าวไทยน้อยกว่าได้รับอิทธิพลความเค็มชัดเจนมากกว่า (จุดศึกษาที่ 1 และ 2) ประกอบกับแนวโน้มค่าความเค็มที่มีค่าสูงในดินล่างของจุดศึกษาที่ 1, 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มมากับระบบน้ำใต้ดินในพื้นที่นี้ได้

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดิน ในพื้นที่ศึกษาที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 และ 90-120 ซม. ในปีที่ 1 มีค่าอยู่ในพิสัย 7.04-37.23 (Figure 6) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินในปีที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 3.63-31.45 (Figure 7) โดยทุกจุดในพื้นที่ศึกษาของทั้ง 2 ปี มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 13 แสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มากในดิน ทั้งนี้จุดศึกษาที่ 1 (Figure 6a), 2 (Figure 6b) และ 4 (Figure 6d) ในปีที่ 1 และจุดศึกษาที่ 1 (Figure 7a), 2 (Figure 7b), 3 (Figure 7c) และ 5 (Figure 7e) ในปีที่ 2 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 4 dS/m และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 13 แสดงว่าดินได้รับอิทธิพลจากเกลือ และมีการสะสมโซเดียมมากในดิน จำแนกชนิดได้เป็นดินเค็มโซดิก ซึ่งมีปัญหาสะสมเกลือสูงและสะสมโซเดียมสูง เมื่อนำดินเหล่านี้มาทำการเกษตรจะจำกัดการเจริญเติบโตของพืช ใบพืชห่อลงและมีสารเคลือบใบหนาเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ในบางครั้งอาจพบอาการปลายใบไหม้ เกิดจุดประบนใบ ใบม้วนและใบเหลือง เนื่องจากอิทธิพลของเกลือที่มีอยู่มากในสารละลายดินทำให้พืชใช้น้ำได้ยากขึ้น พืชจึงขาดน้ำได้ง่าย โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง (สมศรี อรุณินท์, 2539) นอกจากนี้ยังพบว่า จุดศึกษาที่ 3 (Figure 6c) และ 5 (Figure 6e) ในปีที่ 1 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 4 dS/m แต่อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 13 แสดงว่าดินดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากเกลือ และมีการสะสมโซเดียมสูงกว่าค่ามาตรฐาน จำแนกชนิดได้เป็นดินโซดิก ซึ่งมีปัญหาจากการสะสมโซเดียมสูง ปริมาณโซเดียมที่มีอยู่มาก ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคดิน โดยเฉพาะดินเหนียว ส่งผลให้โครงสร้างดินไม่อยู่ตัว ดินแน่น น้ำซึมผ่านได้ยาก การถ่ายเทอากาศไม่ดี ยากต่อการขนถ่ายของรากพืช รวมถึงเป็นอุปสรรคต่อการงอกของกล้าพืช ส่งผลให้พืชที่ปลูกในดินโซดิกมีการเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ (สมศรี อรุณินท์, 2539) เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมตามช่วงความลึกของดิน พบว่า โดยส่วนใหญ่ดินล่างมีแนวโน้มสูงกว่าดินบน อาจมีความสัมพันธ์กับวัตถุต้นกำเนิด เนื่องจากดินในพื้นที่ศึกษามีวัตถุต้นกำเนิดมาจากตะกอนลำน้ำผสมกับตะกอนน้ำทะเล ซึ่งตะกอนน้ำทะเลมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง รวมทั้งปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้โดยส่วนใหญ่เป็นเกลือคลอไรด์ และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Keren, 2000; Mengel and Kirkby, 2001; Havlin et al., 2005) ทำให้เกิดการสะสมโซเดียมมากในระบบดิน เช่นเดียวกับค่าสภาพการนำไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wongpokhom (2007) ที่พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเกลือที่พบมากที่สุดที่ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ นอกจากนี้การใช้น้ำสำหรับพื้นที่การเกษตร โดยการผันน้ำจากคลองชลประทาน หรือแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงน้ำทะเลหนุนสูง อาจส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวมีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมโซเดียมในระบบดินอย่างต่อเนื่อง

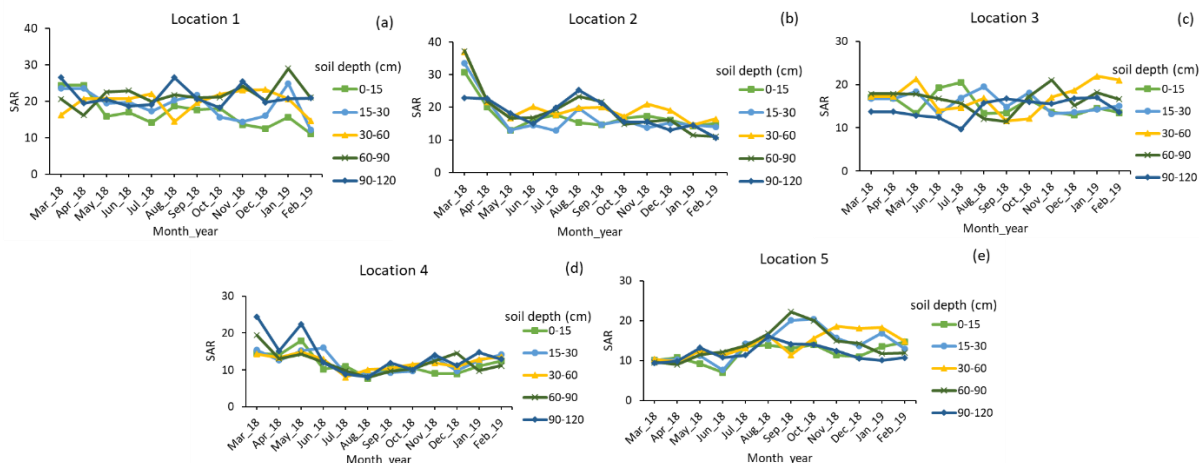


Figure 6 Sodium adsorption ratio of study location 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) and 5 (e) at soil depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm in the first year (March 2018 to February 2019).

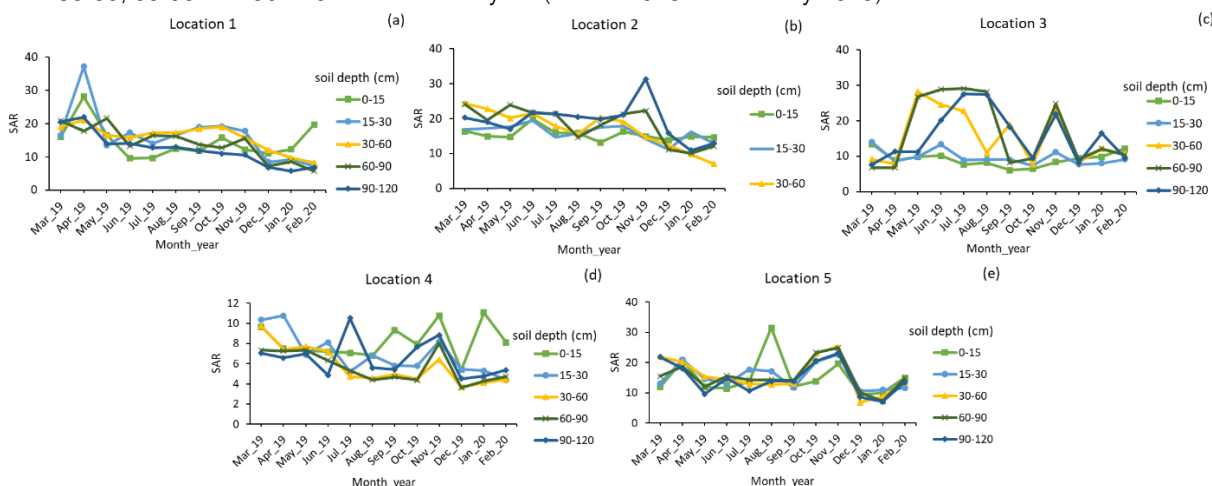


Figure 7 Sodium adsorption ratio of study location 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) and 5 (e) at soil depths of 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 and 90-120 cm in the second year (March 2019 to February 2020).

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำ

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ ในพื้นที่ศึกษา N1 และ P1 (แม่น้ำเจ้าพระยา) N2 และ P2 (คลองชลประทาน) ในปีที่ 1 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.26-1.6 dS/m (Figure 8a) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในปีที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.21-6.73 dS/m (Figure 8b) โดยจุดศึกษา N2 และ P2 ในปีที่ 1 และทุกจุดศึกษาในปีที่ 2 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการผลิตน้ำประปา (มีค่าสูงกว่า 0.75 dS/m) (ฝ่ายตะกอนและคุณภาพน้ำ, 2564) และจุดศึกษา N1 และ N2 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับน้ำเพื่อการเกษตร (มีค่าสูงกว่า 3 dS/m) (ฝ่ายตะกอนและคุณภาพน้ำ, 2564) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทางการเกษตร ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง เนื่องจากดินมีการค่าความเค็มเพิ่มขึ้นจากการใช้น้ำชลประทานที่มีการปนเปื้อนของเกลือ (ฝ่ายตะกอนและคุณภาพน้ำ, 2564) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงสุดในแม่น้ำเจ้าพระยา และคลองชลประทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.44 dS/m (จุดศึกษา N1) และ 1.60 dS/m (จุดศึกษา P2) ในปีที่ 1 เป็น 6.73 dS/m (จุดศึกษา N1) และ 4.19 dS/m (จุดศึกษา N2) ในปีที่ 2 ตามลำดับ และมีค่าลดลงตามระยะห่างจากอ่าวไทย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลน้ำทะเลหนุน ซึ่งในบางช่วงเวลาโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งอาจมีปริมาณน้ำจืดไม่เพียงพอต่อการผลักดันน้ำเค็ม รวมทั้งการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่มีเกลือที่ละลายน้ำได้ เข้ามาสะสมในระบบดิน และการจัดสรรน้ำสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมที่เกษตรกรได้มีการผันน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาหรือคลองชลประทาน อาจจะทำให้มีการสะสมของเกลือในระบบดินเพิ่มขึ้น (Phankamolnil et al., 2021)

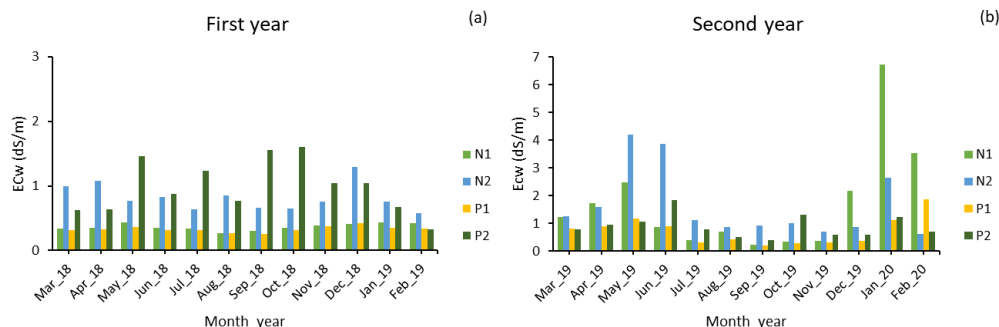


Figure 8 Electrical conductivity of water for the study location N1, N2, P1 and P2 in the first year (March 2018 to February 2019) (a) and second year (March 2019 to February 2020) (b).

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำ ในพื้นที่ศึกษา N1 และ P1 (แม่น้ำเจ้าพระยา) N2 และ P2 (คลองชลประทาน) ในปีที่ 1 มีค่าอยู่ในพิสัย 0.25-13.5 (Figure 9a) และในปีที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 1.16-69.70 (Figure 9b) โดยจุดศึกษา N2 และ P2 ในปีที่ 1 และทุกจุดศึกษาในปีที่ 2 มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยของน้ำเพื่อการชลประทาน (มีค่าสูงกว่า 6) (Salinity Management guide, 2007) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ด้วยค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงสุดในแม่น้ำเจ้าพระยาจาก 1.4 ในปีที่ 1 (Figure 9a) เป็น 69.70 ในปีที่ 2 (Figure 9b) และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงสุดในคลองชลประทานเพิ่มจาก 13.5 ในปีที่ 1 (Figure 9a) เป็น 33.72 ในปีที่ 2 (Figure 9b) นอกจากนี้ การใช้ประโยชน์จากน้ำชลประทานที่มีปริมาณโซเดียมสูง จะส่งผลให้เกิดการสะสมโซเดียมมากในดิน ทำให้ดินมีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมเพิ่มขึ้นและอาจสูงกว่าค่ามาตรฐานความปลอดภัยของน้ำเพื่อการชลประทาน

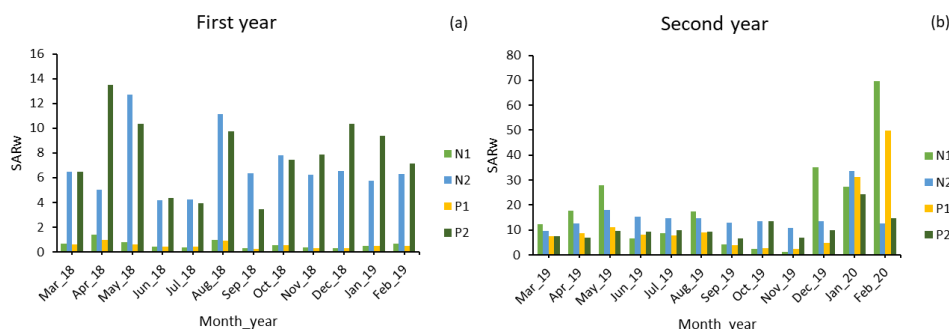


Figure 9 Sodium adsorption ratio of water for the study location N1, N2, P1 and P2 in the first year (March 2018 to February 2019) (a) and second year (March 2019 to February 2020) (b).

ความแปรปรวนความเค็มของดินและน้ำระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562

การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเค็มของดินและน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 ปี พบว่า จุดศึกษาที่ 1 ตลอดชั้นความลึก (0-120 ซม.) จุดศึกษาที่ 3 ที่ระดับความลึก 60-90 ซม. และจุดศึกษาที่ 5 ที่ระดับความลึก 0-30 ซม. มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินทั้ง 2 ปี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจุดศึกษาที่ 2 และ 4 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกชั้นความลึก (Table 1) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในปีที่ 2 โดยค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงสุดของดินเพิ่มขึ้นจาก 4.42 dS/m (Figure 4) ในปีที่ 1 เป็น 5.73 dS/m (Figure 5) ในปีที่ 2 และในจุดศึกษาที่ 4 ตลอดชั้นความลึก (0-120 ซม.) จุดศึกษาที่ 1 ดินล่างที่ระดับความลึก 30-120 ซม. และดินบนที่ระดับความลึก 0-30 ซม. ของจุดศึกษาที่ 3 มีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินทั้ง 2 ปี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) และพบว่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมีแนวโน้มลดลง โดยค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมลดลงจาก 37.23 (Figure 6) ในปีที่ 1 เป็น 31.45 (Figure 7) ในปีที่ 2

Table 1 Variability comparison of electrical conductivity (EC_e) and sodium adsorption (SAR) for paddy soil samples at study location between first year and second year.

Parameter	Location	T-test				
		Depth (cm)				
		0-15	15-30	30-60	60-90	90-120
EC_e	1	*	*	*	*	*
	2	ns	ns	ns	ns	ns
	3	ns	ns	ns	*	ns
	4	ns	ns	ns	ns	ns
	5	*	*	ns	ns	ns
SAR	1	ns	ns	*	*	*
	2	ns	ns	ns	ns	ns
	3	*	*	ns	ns	ns
	4	*	*	*	*	*
	5	ns	ns	ns	ns	ns

*Significant difference at $P < 0.05$, ns non-significant difference.

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำระหว่างปี พบว่า จุดศึกษา N1, N2 และ P1 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำทั้ง 2 ปี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในปีที่ 2 โดยค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงสุดของน้ำในพื้นที่แม่น้ำเจ้าพระยาเพิ่มขึ้นจาก 1.6 dS/m ในปีที่ 1 เป็น 6.73 dS/m ในปีที่ 2 (Figure 8) และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมสูงสุดของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเพิ่มขึ้นจาก 1.4 ในปีที่ 1 เป็น 69.70 ในปีที่ 2 (Figure 9) ทั้งนี้ ภายใต้อิทธิพลของน้ำทะเลหนุนสูง ปริมาณน้ำจืดไม่เพียงพอต่อการผลักดันน้ำเค็มออกสู่อ่าวไทย ส่งผลให้เกิดการรุกคืบของน้ำทะเลเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ประกอบกับพื้นที่ศึกษามีวัตถุต้นกำเนิดมาจากตะกอนน้ำทะเลผสมกับตะกอนลำน้ำ โดยตะกอนน้ำทะเลมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง จึงส่งผลให้อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของน้ำสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่าสภาพการนำไฟฟ้า (เกียรติศักดิ์ สนศรี และคณะ, 2563) เมื่อระดับน้ำทะเลหนุนสูงขึ้น ทำให้ค่าความเค็มของจุดศึกษาที่อยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยามีค่าสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันจุดศึกษาที่อยู่ไกลจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่สุดก็มีความเค็มสูงกว่าจุดอื่น ๆ เพราะจุดดังกล่าวมีระยะห่างจากอ่าวไทยน้อย จึงอาจได้รับอิทธิพลของความเค็มมากับน้ำใต้ดิน รวมทั้งอาจเกิดจากการใช้น้ำชลประทานเพื่อการเกษตร ในช่วงที่เกิดน้ำทะเลหนุน

Table 2 Variability comparison of electrical conductivity (EC_e) and sodium adsorption (SAR) in water samples at study location between first year and second year.

Parameter	Location			
	N1	N2	P1	P2
EC_w	*	*	*	ns
SAR_w	*	*	*	ns
T-test				

*Significant difference at $P < 0.05$, ns non-significant difference.

การศึกษาสสมบัติของดินที่ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนในพื้นที่ดินนาจังหวัดนนทบุรีและปทุมธานี แสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่ศึกษาได้รับผลกระทบจากเกลือ และมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบมากขึ้นในปีที่ 2 จากการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม พบว่า ดินพื้นที่ศึกษาปีที่ 2 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากดินพื้นที่ศึกษาปีที่ 1 แต่พบว่า อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมลดลง จากค่าสภาพการนำไฟฟ้า และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม สามารถจัดจำแนกประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ได้ดังนี้ ดินพื้นที่ศึกษาปีที่ 1 ในจุดศึกษาที่ 1, 2 และ 4 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่า 4 dS/m และ

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 13 จำแนกประเภทได้เป็นดินเค็มโซดิก จุดศึกษาที่ 3 และ 5 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 4 dS/m และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 13 จัดจำแนกประเภทได้เป็นดินโซดิก ในขณะที่ในปีที่ 2 พบว่า จุดศึกษาที่ 1 และ 2 จัดจำแนกประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้เป็นดินเค็มโซดิกเช่นเดิม ในขณะที่ จุดศึกษาที่ 3 และ 5 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเข้าเกณฑ์การจัดจำแนกเป็นดินเค็มโซดิก ส่วนจุดศึกษาที่ 4 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าลดลง จำแนกได้เป็นดินโซดิกในปีที่ 2 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่ายังมีความแปรปรวนของความเค็มเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา และมีความสัมพันธ์กับค่าความเค็มของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา

สรุปผลการศึกษา

ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินบางประการในพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย จังหวัดนนทบุรี และปทุมธานี ที่ใช้ประโยชน์ในการทำนา ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 พบว่า มีความแปรปรวนของความเค็มเกิดขึ้นอย่างชัดเจนในพื้นที่ศึกษา โดยพบว่าความเค็มของดินมีความแปรปรวนในรอบปี โดยจะมีค่าสูงในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน และเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม สอดคล้องกับฤดูกาลและปริมาณน้ำฝน และความเค็มของน้ำในลำน้ำเจ้าพระยา แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำจืดไม่เพียงพอต่อการผลักดันน้ำทะเลจากสภาวะน้ำทะเลหนุนได้ นอกจากนี้พบความแปรปรวนระหว่างการศึกษาในปีที่ 1 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562) และปีที่ 2 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563) โดยพบว่าระดับความรุนแรงของความเค็มของดินและน้ำมีความรุนแรงขึ้นในการศึกษาปีที่ 2 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเค็มสูงสุดในแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในปีที่ 2 (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563) ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการและกำหนดยุทธศาสตร์การใช้น้ำจืดในการผลักดันน้ำทะเลจากสภาวะน้ำทะเลหนุนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตและควรมีการติดตามและตรวจสอบความเค็มของดินและน้ำในพื้นที่เกษตรกรรม ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของน้ำทะเลหนุน เพื่อให้ทราบและตระหนักถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้สถาบันสภาวะวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับการดำเนินวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. 2563. ธรณีวิทยาภาคกลาง. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
http://www.dmr.go.th/ewtdadmin/ewtd/dmr_web/n_more_news.php?filename=central_geo. (25 ธันวาคม 2563).
 กรมทรัพยากรน้ำ. 2563. รายงานสถานการณ์น้ำรายวัน. <https://dwr.go.th/uploads/file/statuswater/2020/631201%20Manager.pdf>. (1 กรกฎาคม 2564).
 เกียรติศักดิ์ สนศรี, นภาพร พันธุ์กลมศิลป์, สุชาดา กรุณา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง และยุทธนา พันธุ์กลมศิลป์. 2563. อิทธิพลของน้ำทะเลหนุนต่อความแปรปรวนของความเค็มของดินในพื้นที่การเกษตรจังหวัดปทุมธานี. *วารสารแก่นเกษตร* 48(5): 1028-1041.
 คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
 ฝ่ายตะกอนและคุณภาพน้ำ. 2564. รายงานสถานการณ์ค่าความเค็มและปริมาณน้ำ แม่น้ำเจ้าพระยา. กรมชลประทาน.
<http://hydrology.rid.go.th/sediment-wq/index.php/th/>. (17 ธันวาคม 2563).
 รัตนสุดา ชลธาตุ. 2558. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแนวทางการแก้ไขปัญหา. *วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ* 18: 416-423.
 วิกานดา วรณวิเศษ. 2558. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ผลกระทบต่อประเทศไทย. สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา.
http://library.senate.go.th/document/Ext10567/10567795_0002.PDF. (18 ธันวาคม 2563).
 สมศรี อรุณินท์. 2539. *ดินเค็มในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร.
 Black, C. A. 1965. *Method of soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
 Brinkman, R., and Singh, V. P. 1982. Reclamation of brackish water fishponds in acid sulfate soils. <https://edepot.wur.nl/75851> (11 December 2020).

- Google Earth. 2021. Sampling location for paddy soil in Nonthaburi and in Pathum Thani Province, Thailand. Google.
<https://earth.google.com/web/@13.67665711,100.44240947,8.22484526a,170488.46962463d,30y,-0h,0t,0r/data=CjwaOhI0CiQweDMxMWQ4MDhhYTlmYjhINDc6MHgxMDE5MjM3NDUwYzQ4NTAqDFBBVEhVTSBUSEFOSRgCIAE6AwoBMA>. (26 January 2021).
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S.M., and Nelson, W. L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7th Edition. New York: Pearson Prentice Hall.
- Keren, R. 2000. Salinity. In *Handbook of Soil Science*, M.E. Summer, ed. pp. G3-G21. Boca Raton: CRC. Press, LLC.
- Mengel, K., and Kirkby, E. A. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. 5th Edition. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Nicholls, R. J., and Cazenave, A. 2010. Sea-level rise and its impacts on coastal zones. *Science* 328(5985): 1517-1520.
- Phankamolsil, N., Sonsri, K., and Phankamolsil, Y. 2021. Consequence of seawater intrusion on soil properties in agricultural areas of Nonthaburi Province, Thailand. *Applied Environmental Research* 43(2): 77-92.
- Salinity Management guide. 2007. Learn about salinity and water quality: sodium adsorption ratio. https://watereuse.org/salinity-management/le/le_5.html. (10 August 2021).
- Sojisuporn, P., Sangmanee, C., and Wattayakorn, G. 2013. Recent estimate of sea-level rise in the Gulf of Thailand. *Maejo International Journal of science and Technology* 7(Special Issue): 106-113.
- TransRe Fact Sheet (TRF). 2011. Climate change in Thailand. Translocal Resilience Project.
http://www.transre.org/application/files/7415/4411/3781/Climate_Change_in_Thailand_TransRe_Fact_Sheet_No._2.pdf. (5 January 2021).
- United nation framework convention on climate change. 2020. Climate change. <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/what-do-adaptation-to-climate-change-and-climate-resilience-mean>. (12 December 2020).
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: U.S. Department of Agriculture Handbook No. 60.
- Wongpokhom, N. 2007. Variability of natural soil systems as affected by salinity level in Thailand. Ph.D. thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

วันรับบทความ (Received date) : 17 ส.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 17 ก.พ. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 22 มี.ค. 65