ผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อสมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดพื้นบ่อเลี้ยงปลา

Effect of Sodium Bentonite on Acid Sulfate Soil Chemical Property of Fish Pond Base

ปวรรณรัตน์ วงษ์ที[1] เสาวนุช ถาวรพฤกษ์[1*] ณัฐพล จิตมาตย์[1]
ดาวจรัส เกตุโรจน์[1] สุรเชษฎ์ อร่ามรักษ์[1] ชุมพล ศรีทอง[2] และสุรดนัย อักษรถึง[3]
Pawannarat Wongtee[1], Saowanuch Tawornpruek[1*], Natthapol Chittamart[1],
Daojarus Ketrot[1], Surachet Aramrak[1], Chumpol Srithong[2] and Suradanai Augsorntung[3]

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดพื้นบ่อเลี้ยงปลา ทำการศึกษาในชุดดินองครักษ์ (Ok) บริเวณตำบลเมืองใหม่ อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา เก็บตัวอย่างดินล่างที่ระดับความลึก 40-130 เซนติเมตรจากผิวดิน เพื่อวิเคราะห์สมบัติดินก่อนการทดลอง หลังจากนั้นทำการขุดบ่อเลี้ยงปลากะพง 12 บ่อ ขนาด กว้าง x ยาว x ลึก เท่ากับ 3 x 3 x 1.5 ลูกบาศก์เมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก 4 ตำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้ 1) ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (T1) 2) โซเดียมเบนทอไนต์อัตรา 440 กรัม ต่อดิน 1,000 กรัม (T2-BT) 3) โดโลไมต์ 10 กรัม ต่อดิน 1,000 กรัม (T3-DL) และ 4) โซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในสัดส่วนครึ่งหนึ่งของ T2 และ T3 (T4-BT+DL) ทำการเก็บตัวอย่างดินที่พื้นบ่อปลาในสัปดาห์ที่ 1, 2, 6 และ 12 สัปดาห์หลังปล่อยปลา ผลการศึกษาพบว่า T2-BT ดินมีค่าพีเอชเพิ่มสูงสุด โดยเมื่อสัปดาห์ที่ 12 มีค่า 6.32 และ T1 มีค่าพีเอชดินต่ำที่สุด เท่ากับ 3.55, 3.34, 3.92 และ 4.17 ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 6 และ 12 หลังปล่อยปลาตามลำดับ แต่ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC 1:5) พบว่าในทุกตำรับการทดลองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา สมบัติทางเคมีของดินพื้นบ่อปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (สัปดาห์ที่ 12) พบว่า ปริมาณโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ใน T2-BT มีค่าสูงสุด เท่ากับ 13.63, 11.26, 21.67 และ 0.87 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รวมทั้งอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (31.15) และอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (39.58%) แต่มีปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้และร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัมต่ำที่สุด (0.03 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และ 0.05% ตามลำดับ) ดังนั้นการใช้โซเดียมเบนทอไนต์จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดพื้นบ่อเลี้ยงปลาโดยการยกระดับค่าพีเอชของดิน ลดความเป็นกรดของดิน และความเป็นพิษของอะลูมินัมได้ แต่อาจส่งผลให้โซเดียมมีค่าสูงขึ้นในดิน

คำสำคัญ: ดินเปรี้ยวจัด โซเดียมเบนทอไนต์ ความต้องการปูน ดินพื้นบ่อปลา

Abstract

The objective of this research was to study the effects of Na-bentonite on the chemical properties of fishpond base acid sulfate soil. The study was conducted in the Ongkharak soil series (Ok) at Tamai subdistrict, Rachasan district, Chachoengsao province. Soil samples were collected at a soil depth of 40-130 cm from the soil surface to determine soil properties before starting the experiment. Twelve fishponds with the dimensions of width x length x depth of 3x3x1.5 m^3 were used in the research. The experiment was of randomized complete block design (RCBD), with 4 treatments and 3 replications. The treatments were 1) control (T1), 2) Na-bentonite 440 g : soil 1,000 g (T2-BT), 3) dolomite 10 g : soil 1,000 g (T3-DL) and 4) a half of T2 and T3 (T4-BT+DL). The collection of soil samples at the fishpond bases was performed in weeks 1, 2, 6, and 12 after feeding. The results revealed that T2-BT produced the highest soil pH at week 12 with a value of 6.32. Conversely, T1 produced the lowest soil pH with values of 3.55, 3.34, 3.92, and 4.17 at 1, 2, 6, and 12 weeks after feeding, respectively. However, the electrical conductivity (EC 1:5) for all treatments was not significantly different and tended to decrease with time. With respect to the soil chemical properties of fishpond base after fish harvesting (week 12), it was found that whereas T2 had

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900
[2] ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[2] Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900
[3] ฝ่ายจัดการสิ่งแวดล้อมโครงการ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) กรุงเทพฯ 10900
[3] Project Environmental Management Department, PTT Public Company Limited, Bangkok 10900
[*] Corresponding author, Email: saowanuch.t@ku.ac.th

the significantly highest exchangeable Na, Ca, Mg and K (13.63, 11.26, 21.67 and 0.87 $cmol_c\ kg^{-1}$, respectively), and included were SAR (31.15), and ESP (39.58%), it also had the significantly lowest extractable Al (2.33 $cmol_c\ kg^{-1}$) and Al saturation (0.05%). T1, in contrast, had the significantly highest extractable Al (1,293.05 $cmol_c\ kg^{-1}$) and Al saturation (49.79%). Therefore, the use of Na-Bentonite can improve the chemical properties of fishpond base acid sulfate soil by raising soil pH, reducing soil acidity, and aluminum toxicity, but may cause an increase in the Na content of the soil.

Keywords: acid sulfate soil, sodium bentonite, lime requirement, fish pond base

คำนำ

โซเดียมเบนทอไนต์เป็นแร่เบนทอไนต์ชนิดหนึ่ง ลักษณะเนื้อเหมือนดินหรือเป็นฝุ่น หรือเป็นเม็ดเล็ก ๆ ละเอียดคล้ายดิน โดยทั่วไปจะมีสีเหลืองอมน้ำตาลหรือสีแดงอ่อน (ราชบัณฑิตยสถาน, 2544) น้ำหนักเบา สูตรเคมี ($(1/2Ca,Na)\ (Al,Mg,Fe)_4\ (Si,Al)_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$) จัดเป็นแร่ทุติยภูมิ ประกอบด้วยแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ (smectite) เป็นส่วนใหญ่ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน สามารถพองตัวด้วยน้ำได้ (swelling property) มีสมบัติเฉพาะตัวที่สามารถขยายตัวได้สูงถึง 15-20 เท่าจากปริมาตรเดิม สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี การแทนที่ของอะตอมประจุไฟฟ้าบวกด้วยธาตุที่มีวาเลนซีต่ำกว่า เช่น การแทนที่ของ Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} หรือ H^+ ใน Si^{4+} และ Al^{3+} รวมทั้งการมีพื้นผิวสัมผัสต่อปฏิกิริยาทางเคมีมาก ความสามารถในการดึงดูดน้ำเข้ามาเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโมเลกุลทำให้น้ำคงอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลานานและมีสมบัติแบบซีโอไลต์ (zeolitic property) คือ สามารถแลกเปลี่ยนและดูดซับไอออนหรือโมเลกุลต่าง ๆ ได้ สมบัติในการดูดซับที่ดีทำให้สามารถดึงอนุมูลของประจุต่าง ๆ โดยเฉพาะปุ๋ยในน้ำและดินได้ดี สมบัติด้านการซึมผ่าน การเคลือบผิว อุดช่องว่างในชั้นหิน หรือชั้นหินพรุน ป้องกันการซึมผ่านของน้ำเป็นตัวหล่อลื่น และป้องกันการแพร่ผ่าน ทำให้นิยมใช้เป็นตัวผสมทำโคลนเจาะในการเจาะสำรวจต่าง ๆ (เลิศลักษณ์ สุพฤฒิพานิชย์, 2539; กรมทรัพยากรธรณี, 2556; ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ, 2558) โดยเฉพาะการวางระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้วิธีการขุดแบบการเจาะลอด (horizontal directional drilling, HDD) เพื่อเจาะลอดสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ เช่น ชุมชน แหล่งน้ำ และถนน เป็นต้น ซึ่งในการขุดเจาะลอดต้องใช้โซเดียมเบนทอไนต์เป็นตัวหล่อลื่นให้กับหัวเจาะ สำหรับการวางระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบกเส้นที่ 5 จากจังหวัดระยองถึงปลายทางที่จังหวัดนนทบุรี ที่ดำเนินการโดย บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) นั้น จำเป็นต้องพาดผ่านพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทราบริเวณที่เป็นดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดกำมะถัน โดยปัจจุบันมีการใช้พื้นที่ดังกล่าวในการทำการเกษตร เช่น นาข้าวและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (เช่น ปลากะพง และกุ้ง เป็นต้น) ซึ่งดินเปรี้ยวจัด จัดว่าเป็นดินที่เป็นปัญหา เนื่องจากเมื่อแร่ไพไรต์ในดินเปรี้ยวจัดสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้เฟอริก-ไฮดรอกไซด์และกรดกำมะถัน ซึ่งจะทำให้ดินเป็นกรดรุนแรง (พีเอชต่ำมากและมักต่ำกว่า 4.0) มีอะลูมินัมที่ละลายได้สูง และอาจส่งผลทำให้การละลายได้ของธาตุพิษในดินเพิ่มสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550) โดยทั่วไปการแก้ไขความเป็นกรดของดินเปรี้ยวจัดคือการใส่วัสดุปรับปรุงดิน เช่น วัสดุที่มีความเป็นด่าง อย่างเช่น วัสดุปูน Attanada (1971) ได้ทำการศึกษาวิจัยการใส่ปูนเพื่อลดความเป็นกรด การใส่ปูนเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่จะลดความเป็นกรดแล้วยังเป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ไม่ยากนัก โดยโซเดียมเบนทอไนต์เป็นวัสดุที่เป็นด่างซึ่งอาจช่วยยกระดับพีเอชของดินได้ จึงได้ศึกษาผลของโซเดียมเบนทอไนต์ที่ใช้เป็นวัสดุหล่อลื่นในการขุดแบบการเจาะลอดเพื่อวางระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติต่อสมบัติดินทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่แนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบกเส้นที่ 5 โดยในการศึกษาในครั้งนี้ได้จำลองพื้นที่สำหรับการเลี้ยงปลา

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งเป็นชุดดินองครักษ์ (Ok) บริเวณตำบลเมืองใหม่ อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา (พิกัด 47P 0743956 E และ 1519390 N) โดยก่อนการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างดินล่างที่ระดับความลึก 40-130 เซนติเมตรขึ้นไป เนื่องจากเป็นระดับความลึกดินที่จะทำการขุดบ่อเลี้ยงปลา เก็บดินแบบการรบกวนโครงสร้าง (disturbed sample) เก็บตัวอย่างดิน นำไปใส่ตู้เย็น เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างดินไปผึ่งลมให้แห้งในร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) ด้วยวิธี pipette method และสมบัติทางเคมี ได้แก่ pH ดิน (1:1 H_2O) ค่าการนำไฟฟ้า (EC 1:5 H_2O) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ด้วยวิธี wet digestion and titration method ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable

bases; Ca, Mg, K, Na) ด้วยวิธี 1 M NH_4OAc pH 7.0 ปริมาณกรดที่สกัดได้ด้วย Barium chloride triethanolamine pH 8.2 และวิเคราะห์ด้วยวิธี back titration ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) ด้วยวิธี 1 M NH_4OAc pH 7.0 ความต้องการปูนของดิน (lime requirement, LR) เพื่อยกระดับพีเอชดินให้ได้ 6.0 ด้วยวิธีของ Dunn (Dunn, 1943) ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (extractable Fe) ด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 (ประกอบด้วย 0.005 M DTPA, 0.005 M $CaCl_2$ และ 0.1 M TEA) ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ (extractable Al) ด้วย 1 M KCl (Blakemore et al., 1987) ร้อยละความอิ่มตัวของอะลูมินัม (aluminum saturation percentage) (Landon, 1991; Ikiriko et al., 2016) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio, SAR) และปริมาณร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage, ESP) โดยรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์สมบัติดินแสดงใน National Soil Survey Center (2014)

สำหรับวัสดุทดลอง ได้แก่ โซเดียมเบนทอไนต์ และโดโลไมต์ ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โดยผลการวิเคราะห์แสดงดัง Table 1 โดยวิธีการวิเคราะห์ใช้วิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน ยกเว้นพีเอชที่ใช้อัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำเป็น 1:10 และการวิเคราะห์ค่า calcium carbonate equivalent (CCE) ใช้วิธี HCl dissolution and black titration (USSL, 1954)

Table 1 Chemical properties of sodium bentonite and dolomite.

Chemical properties	Na-bentonite	Dolomite
pH (1:10 H_2O)	9.54	8.85
EC (1:5) (dS m^{-1})	0.82	0.85
Exch Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	1.68	1.71
Exch Mg ($cmol_c$ kg^{-1})	2.17	0.10
Exch K ($cmol_c$ kg^{-1})	0.52	0.001
Exch Na ($cmol_c$ kg^{-1})	3.60	0.31
CEC ($cmol_c$ kg^{-1})	71.20	2.00
CCE (%)	19.24	100.21
ESP (%)	6,983	10
SAR	287	0.32

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ มี 4 ตำรับทดลองดังนี้คือ

ตำรับที่ 1 ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (T1)

ตำรับที่ 2 ใส่โซเดียมเบนทอไนต์อัตรา 440 กรัมต่อดิน 1,000 กรัม (T2-BT)

ตำรับที่ 3 ใส่โดโลไมต์อัตรา 10 กรัมต่อดิน 1,000 กรัม (T3-DL)

ตำรับที่ 4 ใส่โซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในสัดส่วนครึ่งหนึ่งของ T2 และ T3 (T4-BT+DL)

โดยอัตราการใส่โซเดียมเบนทอไนต์ (T2-BT) คำนวณจากการวิเคราะห์ค่า pH buffering capacity (pHBC) ของดิน (Aitken and Moody, 1994; Chittamart et al., 2018) และปริมาณโดโลไมต์ใส่ในอัตรา 1.5 เท่า จากค่าความต้องการปูนของดิน โดยการใส่โดโลไมต์นี้เพื่อทำเป็นการเปรียบเทียบโซเดียมเบนทอไนต์กับวัสดุปูนที่ใช้ทั่วไป ทำการขุดบ่อทดลองขนาด 3×3 เมตร ลึก 1.5 เมตร จำนวนทั้งหมด 12 บ่อ ใช้ดินที่ขุดจากบ่อทำคันบ่อ โดยตรงกลางบ่อจะทำการขุดร่องลึกจากพื้นบ่อประมาณ 50 เซนติเมตร แล้วนำมวลดินในร่องดังกล่าววางไว้ข้างบ่อ ทิ้งไว้จนดินแห้งประมาณ 2 สัปดาห์ (เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ไพไรต์) แล้วนำดินดังกล่าวผสมกับโซเดียมเบนทอไนต์และโดโลไมต์อัตราส่วนตามตำรับการทดลองให้เข้ากัน แล้วนำดินที่ผสมแล้วเหล่านั้นกลับไปกลบปิดร่องไว้ตามเดิม (จำลองการขุดดินเพื่อวางท่อส่งก๊าซ) หลังจากนั้นทำการปูแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) ภายในบ่อ ยกเว้นบริเวณกลางบ่อที่ได้ทำการผสมดินกับวัสดุทดลองไว้ ทั้งนี้ การปูแผ่น PE เพื่อลดผลกระทบของกรดจากดินด้านข้างบ่อและน้ำใต้ดิน ทำการเติมน้ำ ปรับสภาพน้ำ และทำการเลี้ยงปลากะพง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

ทำการเก็บตัวอย่างดินพื้นบ่อทุกบ่อที่แห้งแล้วก่อนการผสม และหลังผสม (ดินพื้นบ่อ 130 เซนติเมตร) จากทุกตำรับการทดลองในสัปดาห์ที่ 1, 2, 6 และ 12 เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH (1:1 H_2O) และค่า EC (1:5 H_2O) และทำการวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีของตัวอย่างดินหลังการทดลอง (สัปดาห์ที่ 12) ได้แก่ ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ อัตราส่วน

การดูดซับโซเดียม อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (ECe) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณกรดที่สกัดได้ ปริมาณเหล็กและอะลูมินัมที่สกัดได้ อัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัม วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's Multiple Range Tests) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขึ้นไป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนทดลอง

ผลของการวิเคราะห์สมบัติบางประการของชุดดินองครักษ์ที่ใช้ศึกษา (Table 2) ดินล่างเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) ดินมีค่า pH 3.05 เป็นกรดรุนแรงมาก มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) (1:5 H_2O) เท่ากับ 1.25 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับสูงมาก (5.29 เปอร์เซนต์) โดยทั่วไปแล้วดินเนื้อละเอียดและมีอินทรียวัตถุสูง ซึ่งมีประจุลบเป็นจำนวนมากและมีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนสูงจะมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังนั้นดินที่ทำการศึกษา (ดินล่าง) จึงจำเป็นต้องใช้วัสดุปูนจำนวนมากเพื่อยกระดับพีเอชของดินให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้องการปูนของดิน (LR) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,198 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนปริมาณแคลเซียม (Exch. Ca) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K) ในดินอยู่ในระดับต่ำ มีค่าเท่ากับ 1.68 และ 0.52 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่มีปริมาณแมกนีเซียม (Exch. Mg) และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Na) อยู่ในระดับสูง (2.17 และ 3.60 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) เนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนทะเลเก่า ซึ่งตะกอนน้ำกร่อยมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Keren, 2000; Havlin et al., 2005) ปริมาณกรดที่สกัดได้ (EA) มีค่าอยู่ในระดับที่สูงมาก (49 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (35.50 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (Extr. Fe) ในดินอยู่ในระดับต่ำ (0.36 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ (Extr. Al) ในดินอยู่ในระดับสูง (34.47 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ร้อยละความอิ่มตัวของอะลูมินัมในดิน มีค่าเท่ากับ 81.22 เปอร์เซนต์ สามารถใช้ทำนายความเป็นพิษของอะลูมินัมได้แม่นยำกว่าการใช้อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้เพียงอย่างเดียว (Kamprath, 1984) สำหรับอัตราส่วนโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (SAR) ในดินนั้น พบว่าดินมีสัดส่วนการดูดซับโซเดียมอยู่ในระดับต่ำและไม่เป็นดินเค็มโซดิก และมีปริมาณร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายถึงอันตรายเล็กน้อย

Table 2 Soil properties of Ongkharak soil series before the experiment.

Soil properties	Value	Interpretation
Soil texture	Silty clay	-
pH (1:1 H_2O)	3.05	Ultra acid
EC (1:5 H_2O) (dS m^{-1})	1.25	-
Organic carbon (%)	5.29	Very high
LR (kg $CaCO_3$ rai^{-1})	2,198	-
Exch. Ca ($cmol_c$ kg^{-1})	1.68	Very low
Exch. Mg ($cmol_c$ kg^{-1})	2.17	Moderate
Exch. K ($cmol_c$ kg^{-1})	0.52	Moderate
Exch. Na ($cmol_c$ kg^{-1})	3.60	Very high
EA ($cmol_c$ kg^{-1})	49	Very high
CEC ($cmol_c$ kg^{-1})	35.50	Very high
Extr. Fe ($cmol_c$ kg^{-1})	0.36	Low
Extr. Al ($cmol_c$ kg^{-1})	34.47	High
% Al saturation (%)	81.22	-
SAR	9.20	Saline soil
ESP (%)	10.15	None to slight

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินในบ่อทดลอง

พีเอชดิน (soil pH)

การใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในช่วงเริ่มต้นทดลอง (สัปดาห์ที่ 0) พบว่า ค่าพีเอชของดินก่อนผสมโซเดียมเบนทอไนต์ และโดโลไมต์ เพื่อปรับสภาพดินพื้นบ่อเลี้ยงปลาในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างทางสถิติ ซึ่งมีค่าพีเอชดินในพิสัย 3.30-3.92 เมื่อทำการผสมวัสดุตามตำรับการทดลอง ในสัปดาห์ที่ 1 พบว่า T2-BT และ T4-BT+DL ค่าพีเอชดินสูงกว่า T1 และ T3-DL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.59, 6.69, 4.66 และ 3.55 ตามลำดับ (Figure 1a) นอกจากนี้ พบว่า ค่าพีเอชดินของทุกตำรับการทดลองในสัปดาห์ที่ 2, 6 และ 12 ของ T2-BT และ T4-BT+DL มีค่าพีเอชดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 6.05, 6.53, 6.32 และ 5.85, 5.80, 5.83 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง พบว่า ใน T2-BT และ T4-BT+DL มีค่าพีเอชดินลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเติมโซเดียมเบนทอไนต์และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับการใส่ปูนโดโลไมต์ อาจส่งผลทำให้ดินมีความจุต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชเพิ่มขึ้นหลังจากการปรับพีเอชด้วยวัสดุทั้งสอง ในขณะที่ T1 ค่าพีเอชดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการรีดักชันที่ใช้โปรตอนในสภาพที่ดินขังน้ำ ซึ่งโดยปกติในดินที่มีค่าพีเอชต่ำจะทำให้ดินมีค่าพีเอชดินสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Patrick and Wyatt (1964) และ Yamane (1985) ที่พบว่าในระยะเวลาที่ขังน้ำ พีเอชของดินกรดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น การที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ เป็นผลจาก (Fe^{3+}) ถูกรีดิวซ์เป็น (Fe^{2+}) จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินร่วมกับกระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน นอกจากนี้ยังมีสารประกอบธาตุอื่นอีก เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) แมงกานีส (Mn^{2+}) ทำให้ดินมีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และ CO_2 เพิ่มขึ้น ค่า pH ดินจึงเพิ่มขึ้นไปด้วย

ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC 1:5 H_2O)

ค่าการนำไฟฟ้าในดินเป็นค่าบ่งชี้ปริมาณเกลือที่ละลายได้และระดับความเค็มของดิน (salinity) (Figure 1b) พบว่า ในช่วงเริ่มต้นทดลอง ดินหลังปรับสภาพพื้นบ่อเลี้ยงปลาในทุกตำรับการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามช่วงระยะเวลาหลังการผสม (สัปดาห์ที่ 1, 2, 6 และ 12) พบว่า การใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ไม่มีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเปลี่ยนแปลงมากนัก จากผลการศึกษาดินก่อนศึกษาและดินหลังการทดลอง พบว่า ในทุกตำรับการทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าไม่มีความแตกกันต่างทางสถิติในทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดิน ค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงและเพิ่มขึ้นในระยะแรกอาจจะอธิบายได้ว่า ในสภาพขังน้ำจะทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารพวกเหล็ก แมงกานีส แอมโมเนีย แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม โซเดียม และซัลเฟต และเมื่อขังน้ำระยะเวลานานขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงอาจจะเป็นผลจากการรวมตัวกันทางเคมีระหว่างเหล็กและแมงกานีสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วตกตะกอน (IRRI, 1964)

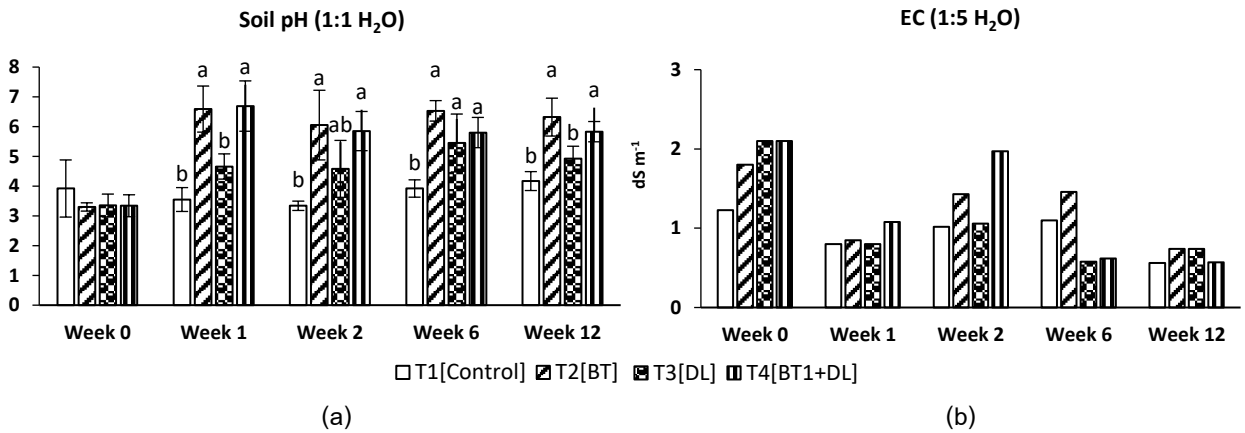

Figure 1 Soil pH (1:1 H_2O) (a) and electrical conductivity (EC 1:5 H_2O) (b) of the fish pond bases soils during the experiment. The values with the same letter above the bars are not significantly different at 5% level by DMRT.

ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable bases)

เมื่อครบ 12 สัปดาห์ พบว่าการใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในการปรับสภาพพื้นบ่อเลี้ยงปลาส่งผลต่อปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Figure 2a) โดย T2-BT มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้

สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 13.63 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วน T4-BT+DL มีค่ารองลงมา เท่ากับ 7.28 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกับ T3-DL ที่มีค่าเท่ากับ 4.74 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และ T1 ที่มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 3.54. เซนติโมลต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ T2-BT ยังมีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 11.26 เซนติโมลต่อกิโลกรัม สำหรับ T4-BT+DL มีค่ารองลงมา โดยมีค่าเท่ากับ 6.96 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกับ T3-DL โดยมีค่าเท่ากับ 4.74 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และ T1 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 4.01 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (Figure 2b) สำหรับปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้พบว่า T2-BT, T3-DL และ T4-BT+DL ค่าเท่ากับ 21.67, 21.62 และ 19.81 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่า T1 ที่มีค่าเท่ากับ 7.23 เซนติโมลต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2c)

การใส่โซเดียมเบนทอไนต์ และโดโลไมต์ส่งผลให้ดินมีปริมาณโซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงกว่าตำรับควบคุม เนื่องจากโซเดียมเบนทอไนต์ และโดโลไมต์มีสารประกอบของโซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียมอยู่ในโครงสร้าง สำหรับโซเดียมเบนทอไนต์โมเลกุลของน้ำและแคตไอออนต่าง ๆ เช่น Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, H^+, K^+ และ Li^+ จะแทรกซึมเข้าไปดูดซับอยู่ที่ผิวภายในหลืบ (internal surface) ได้โดยง่าย ทำให้มีพื้นที่ผิวดูดซับโมเลกุลของน้ำและแคตไอออนได้มาก เมื่อถูกละลายจึงส่งผลให้มีปริมาณแคตไอออนถูกปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้าง จึงส่งผลให้มีปริมาณโซเดียมถูกปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้างของวัสดุ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Chittamart et al., 2018) รวมถึงผลจากการใส่โซเดียมเบนทอไนต์ และโดโลไมต์ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างกับดินกรดแล้วทำให้ดินมีพีเอชสูงขึ้น เมื่อค่าพีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้น และอยู่ในระดับที่เหมาะสม จึงส่งผลให้แคลเซียมละลายออกมาเพิ่มมากขึ้น (Weil and Brady, 2017) แต่จะสังเกตได้ว่าในตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดินมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับที่สูงมากเช่นกัน เนื่องจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดเป็นดินตะกอนทับถมของตะกอนน้ำกร่อย (van Breemen, 1993; Dent and Pons, 1995; Pant and Reddy, 2001) จึงทำให้พบปริมาณโซเดียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นไปอีก

ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินหลังการทดลอง (สัปดาห์ที่ 12) พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของ T2-BT และ T3-DL มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ T1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.87 และ 0.80 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างอย่างชัดเจนกับ T4-BT+DL ที่มีค่าเท่ากับ 0.74 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และใน T1 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.59 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (Figure 2d)

การใส่วัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนทดลอง เนื่องจากเมื่อค่าพีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้น และอยู่ในระดับที่เหมาะสมจึงส่งผลให้โพแทสเซียมละลายออกมาเพิ่มมากขึ้น (Weil and Brady, 2017)

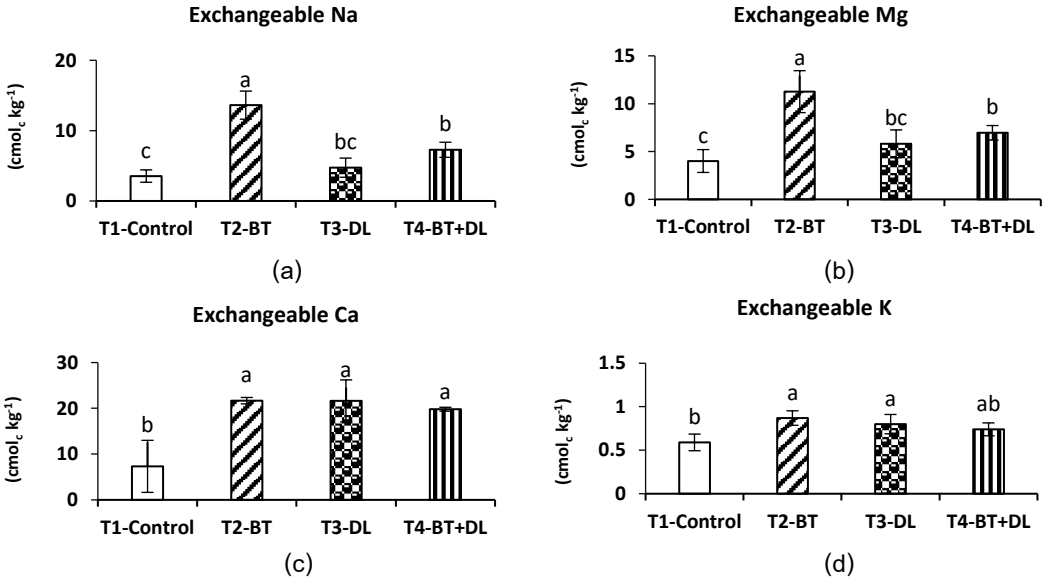

Figure 2 Exchangeable bases of the fish pond base soils after fish harvested (week12). The values with the same letter above the bars are not significantly different at 5% level by DMRT.

อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) **อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้** (ESP) **และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ** (ECe)

การใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในการปรับสภาพดินพื้นบ่อเลี้ยงปลาส่งผลต่อ SAR และ ESP แสดงไว้ Figure 3a และ 3b พบว่า T2-BT มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 39.58 และ 31.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับ T4-BT+DL มีค่ารองลงมา โดยมีค่าเท่ากับ 28.27 และ 18.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ T3-DL มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ T1 เนื่องจาก ESP มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมีค่ามากกว่าร้อยละ 15 ทุกตำรับการทดลอง อาจส่งผลให้เป็นดินโซดิกได้

การใส่โซเดียมเบนทอไนต์เพียงอย่างเดียวส่งผลให้ดินมี SAR มีค่าสูงสุด เนื่องจากโซเดียมเบนทอไนต์มีสารประกอบโซเดียมอยู่ในโครงสร้างของวัสดุ เมื่อถูกละลายจึงส่งผลให้มีปริมาณโซเดียมถูกปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้างของวัสดุ และมีสัดส่วนมากกว่าแคลเซียมและแมกนีเซียมทำให้ SAR มีค่าสูง เนื่องจากค่า SAR ของดินมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของแคตไอออนชนิดต่าง ๆ ในระบบดิน โดยเฉพาะโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528) ดังนั้นการที่ดินมีค่า SAR สูงก็สอดคล้องกับปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งมีค่าสูงด้วย ซึ่งการที่ดินมีสัดส่วนของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ก็จะส่งผลให้ SAR และ ESP สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์ของดินก่อนการทดลอง

การใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในการปรับสภาพดินพื้นบ่อเลี้ยงปลาไม่มีผลต่อค่า ECe ที่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 3c) อย่างไรก็ตาม T2-BT มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ T1, T3-DL และ T4-BT+DL โดยมีค่าเท่ากับ 5.79, 3.32, 4.66 และ 3.85 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ

การใส่วัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่อค่า ECe ต่อเนื่องจากสมบัติของดินดั้งเดิมมีค่า ECe ค่อนข้างสูงหรือจัดเป็นดินโซดิก เนื่องจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดเป็นดินตะกอนทับถมของตะกอนน้ำกร่อย (van Breemen, 1993; Dent and Pons, 1995; Pant and Reddy, 2001) รวมถึงความชื้นของดิน ชนิดของพืชพรรณ ระดับน้ำใต้ดิน และกิจกรรมของมนุษย์ด้วย (Szabolcs, 1989; Gupta and Abrol, 1990)

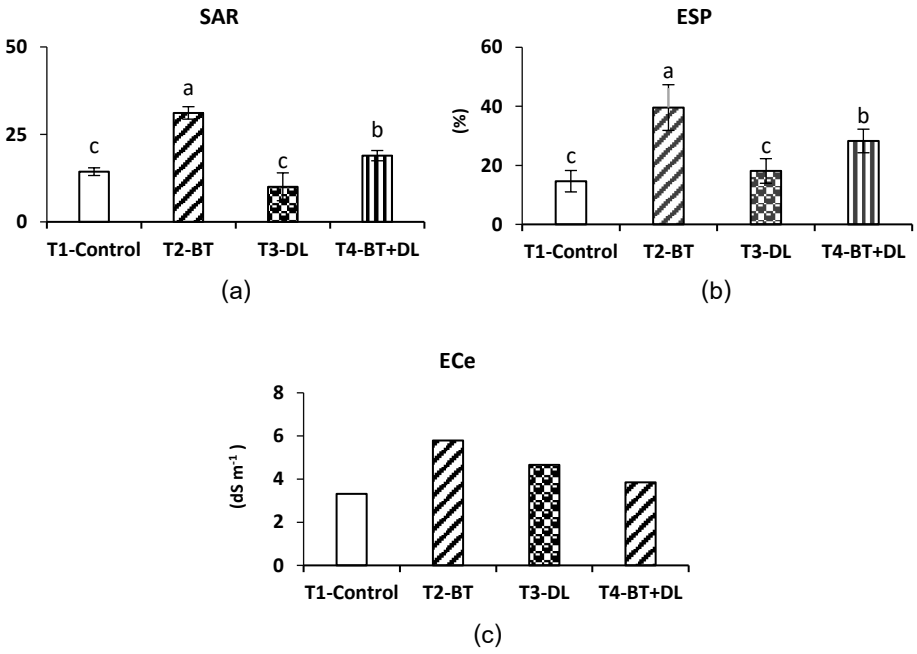

Figure 3 SAR, ESP and ECe of the fish pond base soils after fish harvested (week12). The values with the same letter above the bars are not significantly different at 5% level by DMRT.

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และปริมาณกรดที่สกัดได้ (EA)

ค่า CEC และ ค่า EA ของดินในแต่ละตำรับการทดลองในการปรับสภาพดินพื้นบ่อเลี้ยงปลา พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Figure 4a) อย่างไรก็ตาม T2-BT มีค่าสูงสุด (34.66 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับ T1, T3-DL และ T4-BT+DL โดยมีค่าเท่ากับ 24.30, 25.90 และ 26.46 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จัดอยู่ในระดับที่สูงถึงสูงมาก การใส่โซเดียมเบนทอไนต์ ส่งผลให้ค่า CEC ของดินสูงขึ้น เนื่องจากโซเดียมเบนทอไนต์ จัดเป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่มสเมกไทต์ (smectite group) ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น ประกบกับแผ่นอะลูมินา 1 แผ่น (2:1 type clay) แผ่นโครงสร้างและหลืบระหว่างแผ่นที่ซ้อนทับกันมีความหนา 9-21 A^0 มีความสามารถในการยืดหดขยายตัวสูง มีพื้นที่จำเพาะสูง โดยประจุลบในพื้นผิวของแร่ดินเหนียวสามารถดูดซับแคตไอออนได้เพิ่มมากขึ้น ส่วนในตำรับควบคุมมีค่า CEC อยู่ในระดับสูง เนื่องจากมีอนุภาคขนาดดินเหนียวและปริมาณอินทรียวัตถุสูง (Table 2) โดยขึ้นอยู่กับชนิดของคอลลอยด์ ขนาดอนุภาคของคอลลอยด์ และแร่ที่เป็นองค์ประกอบ (Tisdale et al., 1993; Bayer et al., 2001; Weil and Brady, 2017)

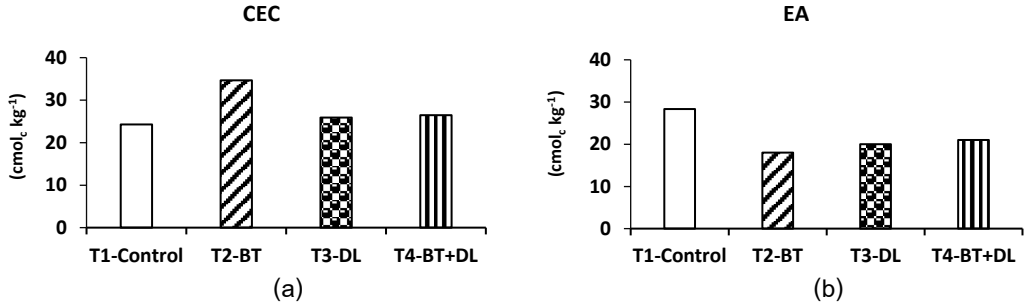

Figure 4 CEC and EA of the fish pond base soils after fish harvested (week12). The values with the same letter above the bars are not significantly different at 5% level by DMRT.

การใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในการปรับสภาพดินพื้นบ่อเลี้ยงปลาไม่มีผลต่อการทำให้ปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างทางสถิติ (Figure 4b) อย่างไรก็ตาม T1 มีปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุด (28.33 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่น เนื่องจากการขังน้ำส่งผลให้ระดับค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการรีดักชันที่ใช้โปรตอนในสภาพที่ดินขังน้ำ ซึ่งโดยปกติในดินที่มีค่าพีเอชต่ำจะทำให้ดินมีค่าพีเอชดินสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Patrick and Wyatt (1964) และ Yamane (1985) เนื่องจากมีการแตกตัวของประจุมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เติมเข้าไปในระบบ จึงส่งผลให้ปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการใส่วัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงเมื่อเทียบกับดินก่อนการทดลอง เนื่องจากระดับค่าพีเอชที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใส่วัสดุปรับปรุงดินมีความสามารถในการสะเทินความเป็นกรด ส่งผลให้ปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง

ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (extractable Fe)

การใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ ในการปรับสภาพดินพื้นบ่อเลี้ยงปลาไม่ส่งผลต่อปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดิน (Figure 5a) เช่นเดียวกันกับปริมาณกรดที่สกัดได้ ทั้งนี้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินล่างที่ระดับความลึก 52-145 เซนติเมตรของดินเปรี้ยวจัด (1.67 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) (สิริลักษณ์ พลายแก้ว, 2559) อย่างไรก็ตาม T1 มีแนวโน้มของปริมาณเหล็กที่สกัดได้สูงที่สุด (1.41 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) เมื่อพิจารณาปริมาณเหล็กที่สกัดได้เทียบกับเกณฑ์ของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (Davidescu and Davidescu, 1982; Bennett, 1993) พบว่าอยู่ในระดับเพียงพอถึงเป็นพิษต่อพืช ซึ่งหากดินมีปริมาณเหล็กมากเกินไป จะส่งผลในทางอ้อมให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ Dent (1986) รายงานว่า ที่ระดับพีเอชต่ำ (<pH 4.0) จะมีผลทำให้ปริมาณเหล็กไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นไอออนและสารประกอบที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปลากะพง ความเป็นพิษจากเหล็กโดยเฉพาะดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีเหล็กไอออนในสารละลายดินสูงมาก ธาตุเหล็กที่เกิดขึ้นในดินเปรี้ยวจัดเป็นสาเหตุสำคัญในการยับยั้งการดูดใช้ฟอสฟอรัส เนื่องจากฟอสฟอรัสตกตะกอนกับเหล็กในสารละลายดิน โดยเกิดเป็นสารประกอบเหล็กฟอสเฟต ซึ่งดูดยึดอยู่ที่ผิวของแร่ดินเหนียว หรือสารที่มีการแลกเปลี่ยนประจุ (Ponnamperuma and Solivas, 1981)

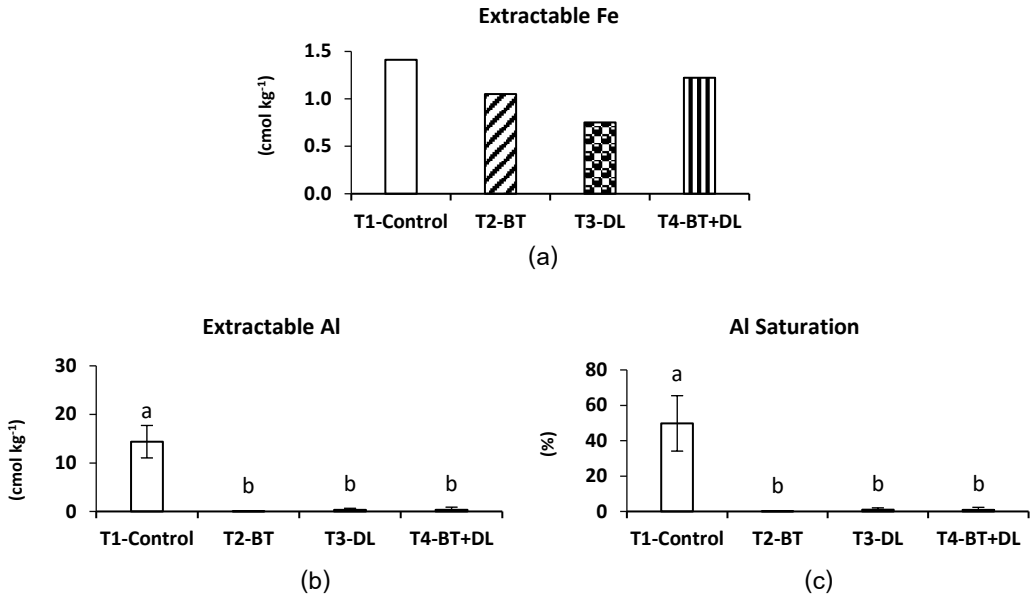

Figure 5 Extractable Fe and Al and Al saturation of the fish pond base soils after fish harvested (week12). The values with the same letter above the bars are not significantly different at 5% level by DMRT.

ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ (extractable Al) **และอัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัม** (Al saturation)

การใช้โซเดียมเบนทอไนต์ โดโลไมต์ และโซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ในการปรับสภาพดินพื้นบ่อเลี้ยงปลา ส่งผลต่อปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ในดิน (Figure 5b) พบว่า T1 มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 14.37 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่น โดย T2-BT, T3-DL และ T4-BT+DL มีค่าเท่ากับ 0.03, 0.33 และ 0.34 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก เนื่องจากดินมีค่าพีเอชต่ำมาก ดินเป็นกรดรุนแรงทำให้อะลูมินัมสามารถละลายและแจกกระจายอยู่ในดินได้ในปริมาณมาก (เอิบ เขียวรื่นรมณ์, 2550; van Breemen, 1976; Dent and Pons, 1995; Fanning, 2006; Kawahigashi et al., 2012) พีเอชของดินเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมรูปและการละลายของอะลูมินัมในดิน โดยอาจพบในรูปของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์หรืออะลูมินัมซัลเฟต ซึ่งจะสามารถละลายได้ในดินที่มีพีเอชต่ำกว่า 4.5 โดยปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้เพียง 2-3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้หลายชนิด (Keser et al., 1977)

การใส่วัสดุปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้ดินมีปริมาณอะลูมินัมในสารละลายดินมีค่าลดต่ำลง เนื่องจากระดับค่าพีเอชมีผลต่อปริมาณอะลูมินัมที่อยู่ในสารละลายดิน เมื่อค่าพีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้น การละลายของธาตุอะลูมินัมจึงลดต่ำลง เมื่อเทียบกับค่าวิเคราะห์ของดินก่อนการทดลอง พบว่ามีปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ในดินลดต่ำลง และในตำรับที่ไม่มีใส่วัสดุปรับปรุง การขังน้ำส่งผลให้ระดับค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการแตกตัวของประจุ มีไฮดรอกไซด์ไอออนเติมเข้าไปในระบบ จึงส่งผลให้ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณอะลูมินัมที่ละลายได้ในสารละลายดินจะลดลงเมื่อดินมีการขังน้ำนานขึ้น เนื่องจากอะลูมินัมจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วเปลี่ยนเป็นรูปสารประกอบเชิงซ้อนหรือพอลิเมอร์ ซึ่งจะไม่ละลายและมักจะตกตะกอนได้ง่าย (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552; Wallance and Anderson, 1984; Lenoble et al., 1996; Tahara et al., 2008) หากมีปริมาณอะลูมินัมมากเกินไปจะส่งผลในทางอ้อมให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ Dent (1986) รายงานว่าที่ระดับพีเอชต่ำจะมีผลทำให้ปริมาณอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) ซึ่งเป็นไอออนและสารประกอบที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์

อัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัม โดยพบว่า T1 มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ T2-BT, T3-DL และ T4-BT+DL อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 49.79, 0.05, 1.01 และ 0.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 5c) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ นอกจากนี้ สามารถนำอัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัมมาใช้กำหนดระดับความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (aluminium toxicity) โดยถ้าดินมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัมสูงกว่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผลจะส่งผลในทางอ้อมให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปลากะพง (ฐานันดร์ ทัตตานนท์, 2539; Kamprath, 1984; Landon, 1991)

สรุปผลการศึกษา

ผลของการใส่โซเดียมเบนทอไนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดพื้นบ่อเลี้ยงปลา พบว่า โซเดียมเบนทอไนต์สามารถใช้สะเทินกรดในดินเปรี้ยวจัดพื้นบ่อเลี้ยงปลาได้ ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้โซเดียมเบนทอไนต์ร่วมกับโดโลไมต์ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ แต่การใช้โดโลไมต์เพียงอย่างเดียวให้ผลไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม แสดงให้เห็นว่าโซเดียมเบนทอไนต์สามารถช่วยรักษาระดับค่า pH ของดินได้ดี และส่งผลให้ดินมีค่าพีเอช ปริมาณโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม และร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน การใส่โซเดียมเบนทอไนต์มีผลทำให้ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ในดินและอัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัมมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม แต่ไม่มีผลต่อเหล็กที่สกัดได้ในดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ สำหรับค่าการนำไฟฟ้า (1:5) ของสารละลายดินไม่เปลี่ยนแปลงแต่มีแนวโน้มลดลง ดังนั้นการใช้โซเดียมเบนทอไนต์จะช่วยปรับปรุงสมบัติดินเปรี้ยวจัดพื้นบ่อเลี้ยงปลา โดยการยกระดับค่าพีเอชดิน ลดความเป็นกรดของดินและความเป็นพิษของอะลูมินัมได้ แต่อย่างไรก็ตาม อาจมีผลต่อการเพิ่มปริมาณโซเดียมในดิน ข้อเสนอแนะการใช้ประโยชน์ของโซเดียมเบนทอไนต์ในการเป็นวัสดุรองพื้นบ่อปลาในเขตพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดสามารถทำได้โดยจะส่งผลให้ความเป็นกรดในดินลดลงเนื่องจากวัสดุมีฤทธิ์เป็นด่าง เคลือบผิวก้นบ่อป้องกันการรั่วซึมของระดับน้ำใต้ดินที่มีความแปรปรวนสูง และอาจจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นถ้าเราใส่ร่วมกับวัสดุปูน เช่น โดโลไมต์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจาก บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (ปตท.) ในโครงการการศึกษาวิจัยผลกระทบของโซเดียมเบนทอไนต์และการใช้ประโยชน์จากโซเดียมเบนทอไนต์ที่เหลือจากการก่อสร้างโครงการท่อส่งก๊าซธรรมชาติ ปี 2560

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2556. *โครงการพัฒนาพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุลสาร กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ สำนักทรัพยากรแร่, กรมทรัพยากรธรณี.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐานันดร์ ทัตตานนท์. 2539. พิษเฉียบพลันของความเป็นกรด-ด่างจากน้ำพรุต่อปลากะพงขาว 3 ขนาด: 300, 430 และ 550 กรัม. *สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดนราธิวาส* 39 (31): 1-18.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2550. *ดินที่ใช้ปลูกข้าว*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. *เคมีของดิน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ. 2558. *โครงการศึกษาวิจัยพฤติกรรมการแพร่กระจายของสารเบนโทไนต์และผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเนื่องจากการวางท่อก๊าซธรรมชาติแบบเจาะลอด*. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. *ธาตุอาหารพืช*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2544. *พจนานุกรมคำศัพท์ธรณีวิทยา*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อรุณการพิมพ์.

เลิศลักษณ์ สุพฤฒิพานิชย์. 2539. เบนทอไนต์. *ข่าวสารการธรณี* 41: 39-45.

สิริลักษณ์ พลายแก้ว. 2559. ความเหมาะสมของดินเปรี้ยวต่อการปลูกปาล์มน้ำมันในที่ราบภาคกลางของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2550. *ดินเปรี้ยวในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

Aitken, R. L., and Moody, P. W. 1994. The effect of valence and ionic-strength on the measurement of pH buffer capacity. *Soil Research* 32(5): 975-984.

Attanada, T. 1971. Amelioration of an acid sulfate soil. Unpublished M.S. Thesis. University of the Philippines, Los Baños, Philippines.

Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pillon, C. N., and Sangoi, L. 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no- till cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1473-1478.

Bennett, W. F. 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. In *Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants*, W. F. Bennett, ed. pp. 1-7. Minnesota, USA: The APS Press.

Blakemore, L. C., Searle, P. L., and Daly, B. K. 1987. *Soil Bureau laboratory methods: A method for chemical analysis of soils*. Lower Hutt, New Zealand: New Zealand Soil Bureau.

Chittamart, N., Tawornpruek, S., Ketrot, D., Aramrak, S., Chittanukul, K., and Sattapun, R. 2018. Utilization of Na-bentonite to improve pH-buffering capacity of acid sulfate soils in natural gas transmission pipeline rights-of-way, Thailand. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (151): 012-023.

Davidescu, D., and Davidescu, V. 1982. *Evaluation of fertility by plant and soil analysis*. Tunbridge Wells, Kent, England: Abacus Press.

Dent, D. 1986. *Acid sulphate soils: A baseline for research and development*. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement ILRI.

Dent, D., and Pons, L. J. 1995. A world perspective on acid sulphate soils. *Geoderma* 67: 263-276.

Dunn, L. E. 1943. Lime requirement determination of soils by means 2 of titration curves. *Soil Science* 56: 341-351.

Fanning, D. S. 2006. Acid sulfate soils. *Encyclopedia of Soil Science* 1: 11-13.

Gupta, R. K., and Abrol, I. P. 1990. Salt-affected soils: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science* 11: 223-288.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. M., and Nelson, W. L. 2005. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. 7th ed. Upper Saddle River, New York: Pearson Prentice Hall Inc.

Ikiriko, M. E., Omueti, J. A. I., and Thomas, E. Y. 2016. Examination of percentage aluminium saturation as a criterion for liming tropical acid soils of Nigeria. *Journal of Agricultural Science and Technology* 1(5): 118-124.

IRRI. 1964. Annual report. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute.

Kamprath, E. J. 1984. Crop response to lime on soils in the tropics. In *Soil Acidity and Liming*, second edition, F. Adams, ed. pp. 349-368. Madison, Wisconsin: Am. Soc. of Agron.

Kawahigashi, M., Do, N. M., Nguyen, B. V., and Sumida, H. 2012. Effective land and water management for controlling solutes from acid sulfate soils in Mekong delta paddy fields. *Pedologist* 55: 458-465.

Keren, R. 2000. Salinity. In *Handbook of Soil Science*, M. E. Sumner, ed. pp. G3-G21. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Keser, M., Neubauer, B. F., Hutchison, F. E., and Verril, D. H. 1977. Differential aluminum tolerance if sugarbeet cultivars, as evidenced by anatomical structure. *Journal of Agronomy* 69: 347-350.

Landon, J. R. 1991. *Booker of tropical soil manual*. London: Booker Tate, Longman Scientific and technical.

Lenoble, M. E., Blevins, D. G., Sharp, R. E., and Cumbie, B. G. 1996. Prevention of aluminum toxicity with supplement boron. I. Maintenance of root elongation and cellular structure. *Plant Cell and Environment* 19: 1132-1142.

National Soil Survey Center. 2014. *Soil survey laboratory methods manual*. *Soil survey investigations report no. 42, version 5.0*. Lincoln, Nebraska: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Pant, H. K., and Reddy, K. R. 2001. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. *Journal of Environmental Quality* 30: 1474-1480.

Patrick, W. H., and Wyatt, R. 1964. Soil nitrogen loss as a result of alternate submergence and drying. *Soil Science Society of America Proceedings* 28: 647-653.

Ponnamperuma, F. N., and Solivas, J. L. 1981. Field amelioration of an acid sulfate soil for rice with manganese dioxide and lime. In *Proceedings of the Bangkok Symposium on Acid Sulphate Soils: Second International Symposium on Acid Sulphate Soils*. pp. 213-222. Wageningen, Netherlands: ILRI pub.

Szabolcs, I. 1989. *Salt affected soils*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Tahara, K., Ymahoshita, T., Norisada, M., Hasegawa, I., Kasshima, H., Sasak, S., and Kojma, K. 2008. Aluminum distribution and reactive oxygen species accumulation in root tips of two melaleuca trees differing in aluminum resistance. *Plant and Soil* 307: 167-178.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., and Havlin, J. L. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. 5th ed. New York: Macmillan.

USSL (U.S. Salinity Laboratory Staff). 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, D.C.: Government Printing Office.

Van Breemen, N. 1976. *Genesis and solution chemistry of acid sulfate soils in Thailand*. Wageningen, Netherlands: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.

Van Breemen, N. 1993. Acid sulfate soils. In *Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils*. Dent, D. L., van Mensvoort, M. E. F., and Sullivan, L. A., eds. pp. 391-402. Wageningen, Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.

Wallance, S., and Anderson, U. 1984. Aluminum toxicity and DNA synthesis in wheat roots. *Journal of Agronomy* 76: 5-8.

Weil, R. R., and Brady, N. C. 2017. *The nature and properties of soils*. 15th ed. New York, USA: Pearson Education.

Yamane, I. 1958. Metabolism in muck paddy soil. 2. Determination of gases evolved from paddy and field estimation of decomposable organic matter. *Soil Science and Plant Nutrition* 4(1): 25-31.

วันรับบทความ (Received date) : 29 เม.ย. 63

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 27 พ.ค. 63

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 29 มิ.ย. 63