

สมบัติของดินนาภายใต้สภาวะอัลกัลบลูมหรือน้ำชลประทานที่ไม่เหมาะสม

Properties of Paddy Soils Affected by Algal Bloom or Unsuitable Irrigation Water

แสงดาว แลนรอต (เขาแก้ว)^{1,2*} จริยา อามตย์มนตรี² อภิชา ธรรมรุ่งโรจน์² และชัยภัทร คงแก้ว²
Saengdao Landrot (Khaokaew)^{1,2*}, Chariya Armartmontree², Apichaya Thammarongroj² and Chaipat Khongkaew²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินนาสองแปลงในเขตภาคกลาง เพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นถึงสาเหตุของการเจริญเติบโตที่ผิดปกติของข้าวที่ปลูกในบริเวณดังกล่าว เพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาสำหรับการปลูกข้าวในรอบต่อไป โดยแปลงนาแปลงที่หนึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท พบปัญหาสภาวะอัลกัลบลูมส่งผลให้การเจริญเติบโตและแตกกอของข้าวลดลงมาก แปลงนาแปลงที่สองตั้งอยู่ที่อำเภอเสนาห์ จังหวัดสระบุรี พบปัญหาการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวต่ำมากในฤดูแล้งของทุกปีโดยเฉพาะในบริเวณที่พบอนุภาคสีขาวบนผิวดินจำนวนมาก แปลงนาแปลงที่หนึ่งทำการทดลองโดยเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ค่า pH, ค่าการนำไฟฟ้า (EC), ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM), ไนโตรเจนทั้งหมด (total-N), ความเข้มข้นทั้งหมด (total concentration) และปริมาณที่สกัดได้ (extractable concentration) ด้วยสารสกัด Mehlich-III ของธาตุฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), แมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) ส่วนแปลงนาแปลงที่สองเก็บตัวอย่างดิน น้ำจากแปลงนาแปลงที่สอง และน้ำจากคลองชลประทานที่เกษตรกรในแปลงที่สองใช้ในฤดูแล้ง ทำการวิเคราะห์ค่า pH, EC, ปริมาณธาตุโซเดียม (Na), K, Ca, Mg และ Fe ทั้งหมดในดินและส่วนที่ละลายน้ำได้ ผลการศึกษาแปลงที่หนึ่งพบว่าดินมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการเกิดอัลกัลบลูม คือ pH สูง (>7) EC ต่ำกว่า 1.2 dS/m ปริมาณ OM สูง (>5%) ไนโตรเจน (รูปแอมโมเนียม) ฟอสฟอรัส เหล็กทั้งหมด และรูปที่สกัดได้ด้วยสารสกัด Mehlich-III สูง ดินแปลงที่สองมีค่า pH ช่วง 4.11-6.35 ค่า EC และค่า sodium adsorption ratio (SAR) ต่ำกว่า 2 dS/m และ 13 ตามลำดับ ดังนั้นจึงไม่จัดว่าเป็นดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ ส่วนน้ำพบปริมาณ Na (990 mg/L) และ Ca (1,129 mg/L) สูง ในน้ำที่เก็บจากคลองชลประทาน ค่าการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงถึง 7.35 dS/m และ 3,558 mg/L ตามลำดับ ดังนั้นน้ำจากคลองชลประทานจัดเป็นน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตร และน่าจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การเจริญเติบโตและการงอกของข้าวแปลงนาที่ 2 ผิดปกติ

คำสำคัญ: ดินนา สาหร่ายในนาข้าว ยูโทรฟิเคชัน น้ำเค็ม ดินเค็ม

Abstract

In this study, the chemical properties of two paddy soils located in a Central Region were determined. The goal was to better understand why abnormal rice growth occurred in this Thai region and to find possible practical solutions to tackle this problem for next rice production crop cycles. A blooming of algae prohibited rice growth and tilling in the first field, which was located in Hun Kha district, Chai Nat province. In the second field, located in Sao Hai district, Saraburi province, poor germination and growth of rice occurred during the drought season every year, especially in areas where numerous white particles can be found on the soil surface. Soil samples from the first field were collected to measure soil pH, EC, OM, total-N, total and Mehlich III-extractable concentrations of P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, and Fe. Soil samples from the second field as well as a water sample from it, or its irrigation canal, were collected to determine pH, EC, total and water soluble concentrations of Na, K, Ca, Mg, and Fe. Results showed that the chemical properties of soils were favorable for algae growth in the first field, i.e. high pH (above 7), EC lower than 1.2 dS/m, high amount of OM (>5%), N (ammonium form), Mehlich-III extractable P and Fe contents. In the second field, soil pH ranged from 4.11 to 6.35, while ECs and SAR were lower than 2 and 13 dS/m, respectively. Therefore, it could not be considered as a salt-affected soil. High amounts of

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520

² ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author, Email: agrsdk2@yahoo.com

Na (990 mg/L) and Ca (1,129 mg/L) were found in the water collected from the irrigation canal. The EC and total dissolved solids in this water was up to 7.35 dS/m and 3,558 mg/L, respectively. Thus, the water from this canal was considered as unsuitable to irrigate agriculture fields and could be a main cause of abnormal rice growth in the second field.

Keywords: paddy soil, algae in paddy soil, eutrophication, salt water, saline soil

คำนำ

แม้การปลูกข้าวเป็นวัฒนธรรมคู่กับคนไทยยาวนานมาตั้งแต่อดีต แต่จนถึงปัจจุบันเกษตรกรยังคงประสบปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของข้าวที่เกษตรกรไม่ทราบสาเหตุอยู่เสมอ สมบัติทางเคมีของดินเป็นสมบัติของดินที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช การที่ดินมีสมบัติทางเคมีของดินไม่เหมาะสม หรือไม่สมดุล เช่น เป็นกรดจัด ด่างจัด หรือเค็มจัด หรือมีธาตุอาหารไม่สมดุลอาจส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืชได้ ทั้งผลกระทบทางตรงหรือทางอ้อม ดังตัวอย่างของเกษตรกรสองท่านในเขตภาคกลาง โดยเกษตรกรท่านแรกอยู่จังหวัดชัยนาท พบปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่าย (algae) จำนวนมาก (Figure 1) คล้ายสภาวะอัลกัลบลูม (algal blooms) และท่านที่สองอยู่จังหวัดสระบุรีพบปัญหาคราบสีชาวนดิน ในฤดูแล้งคล้ายที่พบในดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ (Figure 2) ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของข้าวอย่างมาก เกษตรกรไม่ทราบสาเหตุ ผลกระทบ และวิธีการป้องกันแก้ไข สาเหตุของการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแปลงนาเกษตรกรจำนวนมากนั้นส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะการมีปริมาณธาตุอาหารบางธาตุ เช่น ไนโตรเจน หรือ ฟอสฟอรัส มีรายงานการศึกษาพบว่าแหล่งน้ำที่อุดมสมบูรณ์ด้วยธาตุอาหารดังกล่าวสามารถพบปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำนวนมาก (Wang et al., 2017) เนื่องจากธาตุอาหารเหล่านี้จำเป็นต่อการเจริญเติบโตสำหรับแปลงกักตอนพืชและสาหร่าย ซึ่งสามารถนำไปสู่ภาวะอัลกัลบลูมและยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ได้ (Corkal, 2002; Sink, 2014; Wang et al., 2017) ไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีและพบในภาวะยูโทรฟิเคชัน ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายกลุ่มนี้มีหลายประการ เช่น เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง ไซยาโนแบคทีเรียโดยเฉพาะที่เป็นเส้นสายเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH 7 หรือสูงกว่า ต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก และสารอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต (Bhattacharya et al., 2013)



Figure 1 Pictures from a local farmer in Hun Kha district, Chai Nat province, showing the algal blooming phenomenon in the paddy soil and its impact on rice growth.

สำหรับปัญหาการพบคราบสีชาวนดินในช่วงฤดูแล้ง (Figure 2) ของเกษตรกรรายที่ 2 จนส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวไม่สามารถงอกและเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งบางปีข้าวไม่ออกต้องไถปลูกใหม่ ผลผลิตเสียหายกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ คราบสีขาวที่พบคล้ายกับที่พบในดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ดินเค็ม ดินโซดิก และดินเค็มโซดิก โดยพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน (electrical conductivity, EC) ค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage, ESP) และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio, SAR) (สมศรี อรุณินท์, 2539)



Figure 2 White-particles observed during a drought season on the surface of paddy soils in Sao Hai district, Saraburi province.

ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือเป็นดินที่ไม่เหมาะต่อการนำมาปลูกพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเกลือที่มีอยู่มากในดินเค็มจะมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น พืชขาดน้ำเนื่องจากเกิดกระบวนการพลาสโมไลซิสและทำให้พืชตายในที่สุด (Khan and Panda, 2006; Soltania et al., 2006) ปริมาณธาตุอาหารพืชไม่สมดุลโดยธาตุอาหารพืชบางตัวมีมากเกินไปจนก่อให้เกิดความเป็นพิษ เช่น โซเดียม หรือขาดธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชบางธาตุ พืชส่วนใหญ่รวมทั้งข้าวจะได้รับอันตรายจากความเค็มตั้งแต่ในระยะที่เมล็ดพืชเริ่มงอก ผลกระทบของความเค็มต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน (Hakim et al., 2010; Ologundudu et al., 2014) ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือมีแหล่งกำเนิดใหญ่ ๆ 3 แหล่ง คือ แหล่งเกลือทะเล เป็นเกลือที่มาจากน้ำทะเลหรือมหาสมุทรทำให้เกิดดินเค็มชายทะเล แหล่งเกลือทางธรณี เป็นเกลือที่มาจากการสลายตัวของหินและแร่ทางธรณี ซึ่งมักก่อให้เกิดดินเค็มบก และเกลือที่มาจากแหล่งกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำนาเกลือ (สมศรี อรุณินท์, 2539) นอกจากนี้ดินเค็มที่เกิดขึ้นเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ อาจมีสาเหตุมาจากการใช้น้ำชลประทานที่คุณภาพไม่ดี (Sumner, 1995; Rietz and Haynes, 2003; Ologundudu et al., 2014)

ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาลักษณะสมบัติเคมีบางประการของดินที่อาจเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแปลงเกษตรกรที่พบปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำนวนมาก และสมบัติของดินและน้ำที่เกี่ยวข้องกับดินเค็มในแปลงเกษตรกรที่พบคราบเกลือสีขาวบนผิวดินในฤดูแล้งในพื้นที่ปลูกข้าว เพื่อให้ทราบสมบัติบางประการของดินและน้ำที่เกษตรกรใช้ และเพื่อให้คำแนะนำเบื้องต้นในการป้องกันและแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรผู้ประสบปัญหา รวมทั้งเกษตรกรในพื้นที่อื่น ๆ ที่อาจประสบปัญหาดคล้ายคลึงกัน

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน

ทำการศึกษในพื้นที่ปลูกข้าว 2 แปลง ที่ประสบปัญหาการเจริญเติบโตของข้าว โดยแปลงที่ 1 เป็นแปลงนาของ คุณยุทธ ชาวบ้านช่อง เกษตรกรตำบลสามง่ามท่าโบสถ์ อำเภอนาคู จังหวัดชัยนาท ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยปกติทำนาโดยใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและมีการขังน้ำติดต่อกันเป็นช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน แต่ในช่วง 1-2 ปีที่ผ่านมาได้มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (มากกว่า 400 กิโลกรัมต่อไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมี และพบปัญหาสาหร่ายฟุ้งขึ้นข้าว โดยทำการเก็บตัวอย่างดินระดับรากข้าว (ประมาณ 0-15 เซนติเมตร) จำนวน 4 ตัวอย่าง วันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2558 ในบริเวณที่พบสาหร่ายเจริญเติบโตปริมาณมาก (Figure 3) โดยในแต่ละจุดประกอบด้วย 3 ตัวอย่างย่อยแล้วนำมาผสมรวมกัน



Figure 3 Algae blooming in the first studied paddy field at Hun Kha district, Chai Nat province.



Figure 4 White-particles on soil surface, soil, and water samplings in the second studied paddy field at Sao Hai district, Saraburi province.

สำหรับแปลงที่ 2 นั้น ทำการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างดินจากแปลงนา นายไฉน พักเขียว แปลงนาตั้งอยู่ในตำบลเรียวราง อำเภอเสนาห์ จังหวัดสระบุรี (พิกัด 693876 E 1607694 N) ปลูกข้าวพื้นเมืองพันธุ์เสนาห์ พบปัญหาข้าวไม่ออก งอกไม่สม่ำเสมอ ข้าวตายหลังออก และพบคราบสีขาวบนผิวดินในช่วงฤดูแล้ง (Figure 4) เป็นเวลาต่อเนื่องหลายปี โดยเฉพาะในปีที่ฝนแล้ง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินระดับรากข้าว (ประมาณ 0-15 เซนติเมตร) จำนวน 5 ตัวอย่าง แบบ composite sample โดยในแต่ละจุดประกอบด้วย 3 ตัวอย่างย่อย แล้วนำมาผสมรวมกันในแปลงนาที่พบปัญหา และเก็บตัวอย่างน้ำสองตัวอย่าง ตัวอย่างแรกเป็นตัวอย่างน้ำในแปลงนาที่เกษตรกรสูบน้ำจากคลองหนองสรวงเพื่อใช้ทำนาและพบปัญหาทำให้ข้าวตายหรือเหี่ยวแห้ง ตัวอย่างที่สองเป็นตัวอย่างน้ำจากคลองชลประทานส่งน้ำหนองสรวง ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำหลักที่เกษตรกรใช้โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง (พิกัด 691659 E 1607213 N) โดยทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2560

การเตรียมดินและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บมาจากแปลงเกษตรทั้งสองแปลงไปผึ่งในที่ร่ม เมื่อดินแห้งนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติดิน ดังนี้

แปลงที่ 1 แปลงที่พบสภาวะคล้ายอัลกัลลูม จึงวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) โดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934) วัดพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) โดยใช้ สัดส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 ทำการวัดโดยใช้ pH meter และ EC meter (National Soil Survey, 2004) ปริมาณธาตุฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), แมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) ทำการวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ ปริมาณความเข้มข้นทั้งหมด (total concentration) และปริมาณที่สกัดได้ (extractable concentration)

โดยการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดนั้นทำการย่อยด้วยกรดผสม aqua regia (Conc. $\text{HNO}_3\text{:HCl}$ อัตราส่วน 1:3) (Chen and Ma, 2001) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณที่สกัดได้ใช้สารสกัด Mehlich III (Mehlich, 1984) โดยสารละลายที่สกัดได้นำไปวัดปริมาณความเข้มข้นของธาตุ K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn และ Fe ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) ส่วนธาตุฟอสฟอรัสนั้นทำการวัดปริมาณโดยวิธีทำให้เกิดสีน้ำเงิน (molybdenum blue) แล้ววัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง spectrophotometer สำหรับธาตุไนโตรเจนนั้นวิเคราะห์หาแอมโมเนียมและไนเตรต โดยใช้ชุดตรวจสอบ NPK แบบรวดเร็วที่ผลิตโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เนื่องจากเป็นชุดตรวจสอบที่เกษตรกรสามารถใช้ตรวจวิเคราะห์ได้เอง หากจำเป็นต้องใช้ในอนาคต

แปลงที่ 2 จากสภาพทางกายภาพในภาคสนามคาดว่าปัญหาที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอาจได้รับผลกระทบมาจากเกลือ จึงทำการวิเคราะห์ค่า pH, EC, ปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุ Na, K, Ca, Mg และ Fe ด้วยกรดผสม aqua regia และส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ (water extractable or water soluble) ในตัวอย่างดิน โดยค่าพีเอชและการนำไฟฟ้าทำการวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:1 และ 1:5 แล้ววัดค่าด้วยเครื่อง pH meter และ EC meter ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในส่วนที่สกัดหรือละลายได้ด้วยน้ำ สกัดด้วยน้ำโดยสัดส่วนของดินต่อสารสกัดเท่ากับ 1:5 เขย่าที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในสารละลายด้วยเครื่อง AAS สำหรับตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ค่า pH, EC และปริมาณธาตุต่าง ๆ ทุกธาตุ ด้วยวิธีการและเครื่องมือเช่นเดียวกับที่วิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของดิน

แปลงที่ 1

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างดินมีค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นด่างอ่อน ๆ มีอินทรีย์วัตถุมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในระดับสูงถึงสูงมาก (Table 1) ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ ช่วงพีเอชที่เป็นด่าง โดยจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ pH เท่ากับ 8.5 และไนโตรเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Bhattacharya et al., 2013) นอกจากนี้ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่าดินที่พบสาหร่ายจำนวนมากมีปริมาณเหล็กทั้งหมดและเหล็กที่สกัดได้ในระดับสูง ซึ่งธาตุเหล็กเป็นอีกปัจจัยที่จำเป็นและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Bhattacharya et al., 2013) โดยการแก้ปัญหการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำนวนมากเกินความต้องการแบบเร่งด่วน สามารถทำได้โดยการฉีดพ่นสารประกอบทองแดง เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต (Illinois State Water Survey, 1989; Corkal, 2002) โดยจากการทดลองในเบื้องต้นของเกษตรกร พบว่าการฉีดพ่นคอปเปอร์ซัลเฟตสามารถช่วยลดปริมาณสาหร่ายสีเขียวลงได้บ้าง คอปเปอร์หรือทองแดงเป็นธาตุที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสาหร่าย (Gibson, 1972) เพราะสาหร่ายมีความอ่อนไหว (sensitive) ต่อธาตุนี้มาก เนื่องจากทองแดง (Cu (II)) มีผลต่อการตรึงไนโตรเจนและการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Gibson, 1972; Wurtsbaugh and Horne, 1982) สำหรับอัตราการใช้นั้น โดยปกติปริมาณที่แนะนำในกรณีเกิดภาวะอัลกัลบลูมในแหล่งน้ำทั่วไปอยู่ในช่วง 50 ถึง 2308 $\mu\text{g/L}$ (Dunst et al., 1974) โดยอัตราการใช้ทองแดงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น รูปทางเคมีของทองแดง ชนิดและปริมาณคีเลต (chelate) ในน้ำ (Sunda and Gillard, 1976) โดยมีรายงานว่า การใช้ทองแดง (II) ในอัตราเพียง 5 $\mu\text{g/L}$ สามารถเป็นพิษต่อสาหร่ายในแหล่งทะเลธรรมชาติได้ เนื่องจากยับยั้งการตรึงไนโตรเจนของสาหร่าย (Horne and Goldman, 1974) สำหรับปริมาณการใช้ทองแดงในนาข้าวนั้นยังไม่มีการศึกษา ดังนั้นในเบื้องต้นหากเกษตรกรพบปัญหาควรใช้ในปริมาณที่ต่ำ ๆ ก่อน โดยจากรายงานของเกษตรกรเจ้าของแปลงที่ทำการศึกษานี้ได้ทดลองใช้สารประกอบทองแดงซัลเฟตแบบน้ำที่ซื้อจากร้านเคมีเกษตรในอัตราประมาณ 1 ลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร แล้วฉีดพ่นบริเวณที่พบสาหร่ายจำนวนมาก พบว่าสามารถลดปริมาณสาหร่ายในแปลงนาได้

นอกจากนี้เกษตรกรควรใช้จัดการน้ำในนาข้าวอย่างเหมาะสม คือ ควรใช้ระบบแห้งสลับเปียก จากการสอบถามการจัดการน้ำของเกษตรกรผู้ประสบปัญหา พบว่านอกจากมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และไนโตรเจนจำนวนมากในทุกฤดูการผลิตโดยไม่เคยวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนแล้ว เกษตรกรยังทำนาแบบนิยมขังน้ำต่อเนื่องและขังน้ำสูงกว่า 5 เซนติเมตร เกือบตลอดช่วงฤดูการปลูก ทำให้ดินมีออกซิเจนต่ำหรือขาดออกซิเจนจนอยู่ในสภาวะรีดิวซ์ทำให้เกิดการละลายของสารประกอบเหล็กในดินได้มาก (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2550; Khaokaew et al., 2016) ซึ่งธาตุเหล็กเป็นปัจจัยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการละลายของสารประกอบเหล็กในดินซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เกษตรกรไม่ควรขังน้ำต่อเนื่องตลอดฤดูปลูกและควรควบคุมระดับการขังน้ำในนาข้าวไม่ให้มีน้ำสูงเกิน 5-10 เซนติเมตรจากผิวดิน

Table 1 Chemical properties of the four soil samples collected from the first paddy field.

Soil sample	pH	EC (dS/m)	%OM	N (Test kit)		P (mg/kg)		K (mg/kg)	
				NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Total	Extract.	Total	Extract.
1	7.08	1.17	5.09	Very high	ND	39.50±2.90	16.92±1.50	1589±116	0.87±0.10
2	7.04	1.07	5.34	High	ND	44.09±6.10	14.84±4.40	1202±59	0.53±0.00
3	7.29	0.86	5.72	Very high	ND	43.17±2.90	26.38±1.82	1359±178	1.28±0.20
4	8.13	0.50	5.79	High	ND	57.34±2.10	17.04±1.00	1699±15	2.42±0.40

Soil sample	Ca (mg/kg)		Mg (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Fe (mg/kg)	
	Total	Extract.	Total	Extract.	Total	Extract.	Total	Extract.	Total	Extract.
1	2213±259	23.64±6.10	1898±121	8.44±1.40	162±7.60	0.67±0.00	14.50±0.00	0.15±0.00	14,949±846	191±31
2	2080±67	22.43±1.00	1718±89	6.93±2.60	160±5.00	0.61±0.00	14.50±0.00	0.12±0.00	14,981±966	69±5.40
3	1993±223	20.65±1.30	1948±229	5.56±1.00	148±23.10	0.47±0.00	16.17±2.90	0.21±0.00	15,381±2,532	131±23
4	6319±81	55.91±9.20	2395±38	12.4±2.00	1078±62.50	3.38±0.40	21.17±2.90	0.23±0.00	25,756±1,654	143±9.20

The sign ND means not detected.

แปลงที่ 2

ผลการศึกษพบว่า ตัวอย่างดินทั้ง 5 ตัวอย่าง มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.11-6.65 และ ค่า EC ต่ำกว่า 1 dS/m ทั้งที่การสกัดที่สัดส่วนตัวอย่างดินต่อน้ำกลั่น 1:1 และ 1:5 และจากผลการคำนวณค่า SAR โดยใช้ค่าวิเคราะห์ปริมาณ Na, Ca และ Mg ในส่วนที่สกัดจากน้ำ (Table 2) พบว่าทุกตัวอย่างดินทุกจุดมีค่า SAR ต่ำกว่า 13 ดังนั้นเมื่อพิจารณาในภาพรวม จากค่า pH, EC และ SAR ดังรายงานใน สมศรี อรุณินท์ (2539) ดินทั้ง 5 จุดนี้ไม่จัดว่าเป็นดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ อย่างไรก็ตาม ค่า EC ที่สกัดด้วยน้ำในสัดส่วนดินต่อน้ำ 1:5 ที่สูงกว่า 0.15 dS/m ในดินร่วนปนทรายถึงร่วน จัดว่ามีความเค็มเล็กน้อย สามารถส่งผลกระทบต่อพืชที่ไม่ทนเค็มได้ (AWRI, 2010) อย่างไรก็ตามตัวอย่างดินเหล่านี้มีปริมาณธาตุ Na และ Ca ในส่วนที่ละลายน้ำได้สูงถึง 97-166 และ 39-96 mg/kg ตามลำดับ โดยเฉพาะในจุดที่ข้าวตายและพบคราบสีขาวปริมาณมาก (จุดที่ 5) ที่จุดนี้มีค่าปริมาณ Ca ที่ละลายน้ำได้สูงเกือบ 100 mg/kg ซึ่งในจุดที่ 5 นี้ ยังมีปริมาณ Mg ที่ละลายน้ำได้สูงกว่าจุดอื่น ๆ อีกด้วย โดยสมบัติของดินที่ทำการศึกษาค่อนข้างตรงกับรายงานของ Khaokaew et al. (2017) ซึ่งจากการรายงานพบว่า ข้าวที่ปลูกในพื้นที่พบคราบสีขาวและข้าวที่มีอาการแห้งตายนี้มีปริมาณธาตุโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 1.01, 2.25 และ 0.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการที่ข้าวได้รับเกลือในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการ อาจมีผลทำให้พืชสูญเสียน้ำ และตายได้ (Greenway and Osmond, 1972)

น้ำจากคลองหนองสรวงมีค่าการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเท่ากับ 7.35 dS/m และ 3,558 mg/L ตามลำดับ จัดว่าเป็นน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตร (Chavez, 2008) ซึ่งมีการกำหนดค่าการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำ ระดับอันตรายมากไว้ที่ สูงกว่า 3 dS/m และ 1,920 mg/L⁻¹ ตามลำดับ (Hopkins et al., 2007) นอกจากนี้ปริมาณโซเดียมในน้ำ จากคลองหนองสรวงที่เกษตรกรใช้มีค่าสูงถึง 990 mg L⁻¹ หรือประมาณ 0.04 M ซึ่งนอกจากจะสูงกว่าค่ากำหนดคุณภาพน้ำ เพื่อการเกษตรแล้ว ยังเป็นค่าที่สูงมากที่สามารถทำให้เกิดอันตรายกับพืช จนถึงขั้นทำให้พืชตายได้ โดยจากการศึกษาในพืช ที่ไม่ทนเค็มทั่วไป ความเข้มข้นของโซเดียมในสารละลาย 0.1 M ถือว่าเป็นความเข้มข้นที่สามารถทำให้เอนไซม์ต่าง ๆ ในพืช หยุดทำงาน และทำให้เซลล์พืชตายได้ (Greenway and Osmond, 1972) ดังนั้นปัญหาการเกิดคราบสีขาวบนผิวดินและส่งผล ต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่เกษตรกรพบในช่วงหน้าแล้งในแปลงทั้งสองนี้ น่าจะมีสาเหตุหลักมาจากคุณภาพน้ำชลประทาน ในคลองหนองสรวงในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เพื่อการเกษตร โดยเฉพาะพืชที่ทนเกลือได้ต่ำ เช่น ข้าวพันธุ์ที่ เกษตรกรปลูกปัจจุบัน ดังนั้นเกษตรกรควรหลีกเลี่ยงการใช้น้ำจากคลองชลประทานที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการเกษตร โดยหากจำเป็นต้องใช้ หน่วยงานรัฐหรือผู้นำหมู่บ้านควรจัดหาเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในคลองหนองสรวงในช่วง หน้าแล้งเป็นระยะ ๆ และแจ้งแก่เกษตรกรในชุมชนก่อนการนำไปใช้ นอกจากนี้ในหน้าแล้ง เกษตรกรอาจเปลี่ยนมาปลูก พืชผักที่สามารถทนเกลือหรือความเค็มได้ดีกว่าข้าว หลีกเลี่ยงการใช้น้ำจากคลองในช่วงที่ข้าวอายุน้อยกว่า 30 วัน ควรทำนาดำ แทนการทำนาแบบหว่าน และควรปลูกข้าวพันธุ์ทนเค็มในช่วงฤดูแล้ง เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้น เช่น ประมาณ 3-5% จากแต่เดิมที่แปลงเกษตรกรมีอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 2%

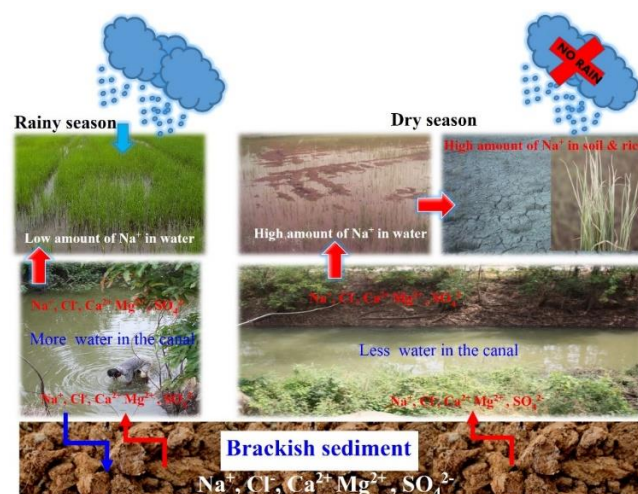


Figure 5 Diagram showing possible sources of soluble salts in soil and water samplings and their impacts on rice growth during drought (dry) and rainy seasons in the second paddy field at Sao Hai district, Saraburi province.

ดินแปลงที่ 2 จัดอยู่ในชุดดินท่าเรือ (Tha Rua series: Tr) (Khaokaew et al., 2017) และอยู่ในบริเวณที่เคยเป็นทะเลมาก่อน สำหรับสาเหตุที่ทำให้น้ำในคลองหนองสรวงมีค่าการนำไฟฟ้าสูงนั้นยังไม่ทราบชัดเจน โดยเบื้องต้นคาดว่าอาจเป็นผลมาจากการที่พื้นที่ด้านล่างคลองเป็นตะกอนน้ำกร่อย เคลื่อนด้านล่างอาจเกิดการละลายขึ้นมาสู่ผิวดินพร้อมกับน้ำ โดยไอออนที่ละลายออกมาส่งผลกระทบต่อมากในฤดูแล้งเนื่องจากน้ำในคลองน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงฤดูฝน ปริมาณไอออนที่มีในน้ำในฤดูร้อนจึงเข้มข้นมากกว่าฤดูฝน เมื่อเกษตรกรสูบน้ำจากคลองไปใช้จึงเกิดผลกระทบต่อเชิงลบกับข้าว ดังสมมติฐานแสดงเปรียบเทียบในภาพ (Figure 5) ซึ่งข้าวที่เห็นในภาพเป็นสภาพข้าวจริงที่เจริญเติบโตในแปลงเกษตรกรในฤดูร้อนและฤดูฝน

Table 2 Chemical properties of the five soil samples collected from the second paddy field.

Soil sample	pH		EC (dS/m)		ECe (EC 1:5x9.5) ^{1/}	SAR ^{2/}	K (mg/kg)	
	1:1	1:5	1:1	1:5			Total	Water Soluble
1	4.59	4.95	0.42	0.15	1.4	5.14	1952±148	8.31±0.06
2	4.11	4.51	0.82	0.20	1.9	7.77	2020±227	6.41±1.66
3	4.88	5.02	0.61	0.17	1.6	6.88	1759±136	7.70±0.29
4	4.21	4.46	0.60	0.20	1.9	7.76	2614±127	6.72±0.54
5	6.35	6.65	0.67	0.18	1.7	4.96	1709±48	12.29±1.37

Soil sample	Na (mg/kg)		Ca (mg/kg)		Mg (mg/kg)		Fe (mg/kg)	
	Total	Water Soluble	Total	Water Soluble	Total	Water Soluble	Total	Water Soluble
1	304±16	97±5	64±7	39±1	1490±93	9.25±0.30	4,408±804	ND
2	396±15	152±14	41±20	47±5	1473±121	6.85±0.09	3,042±250	ND
3	326±13	136±13	51±24	41±3	1481±188	10.98±0.20	4,717±674	ND
4	411±29	166±1	74±6	53±1	1730±583	10.30±0.97	3,200±583	ND
5	422±14	145±22	290±49	96±22	1923±450	20.61±4.98	2,425±282	ND

^{1/} Tha Rua series (Tr), soil texture: clay loam (Khaokaew et al., 2017).

9.5 (Agricultural Bureau of South Australia Inc., n.d.).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

The sign ND means not detected.

Table 3 Chemical properties of water samples collected in the second paddy field and irrigation canal used by local farmers during drought seasons.

Water sample	pH	SAR ^{1/}	EC (dS/m)	TDS ^{2/} (mg/L)	Water soluble (mg/L)			
					Na	K	Ca	Mg
Paddy field	6.68	4.40	4.19	435	87	3.2	50	5.4
Irrigation canal	7.18	10.13	7.35	3,558	990	13.5	1,129	194

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

^{2/} Total Dissolved Solids (TDS), TDS mg/L = 640*ECw (dS/m) (Chavez, 2008).

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาดินแปลงที่หนึ่งที่พบปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากผิดปกติ พบว่าดินมีปริมาณธาตุไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม อินทรีย์วัตถุ และเหล็กทั้งหมด และที่สกัดได้ด้วยสารสกัด Mehlich III ในระดับสูง มีฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในระดับปานกลางถึงสูง และมีค่า pH สูงกว่า 7 ซึ่งสภาพดังกล่าวเป็นสภาพที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุที่ส่งเสริมให้พบสาหร่ายเจริญเติบโตจำนวนมากในแปลงนาข้าวในแปลงที่หนึ่งนี้ สำหรับแปลงที่สองนั้นพบว่าดินทุกตัวอย่างที่ทำการศึกษาไม่จัดว่าเป็นดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ แต่พบว่ามีน้ำจากคลองหนองสรวงที่เกษตรกรใช้สำหรับการทำนาในฤดูแล้ง มีค่าการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูง โดยมีค่าเท่ากับ 7.35 dS/m และ 3,558 mg/L ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีโซเดียมที่ละลายน้ำได้สูงถึง 990 mg/L จัดว่าเป็นน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตร ดังนั้นการใช้น้ำที่ไม่เหมาะสมโดยเฉพาะการมีเกลือที่ละลายน้ำได้สูง ๆ จากคลองหนองสรวงในช่วงฤดูแล้งในการปลูกข้าวนี้จะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาข้าวตายและไม่ออกในแปลงเกษตรกรที่สอง สำหรับสาเหตุของแหล่งที่มาของเกลือที่ละลายได้ในคลองหนองสรวงที่ชัดเจนนั้นยังไม่มีการศึกษาแต่คาดว่าน่าจะเกิดมาจากอิทธิพลของตะกอนน้ำกร่อยที่อยู่ด้านล่าง เนื่องจากบริเวณที่แปลงนาและคลองหนองสรวงตั้งอยู่เคยเป็นทะเลมาก่อน

ข้อเสนอแนะ

ขอแนะนำในการแก้ปัญหาเบื้องต้นในปีต่อ ๆ ไป สำหรับแปลงที่ศึกษาที่หนึ่งซึ่งเจอปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำนวนมากในนาข้าว คือ ควรวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการใส่ปุ๋ย รวมทั้งลดปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงจากเดิม เนื่องจากดินขณะนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับสูงแล้ว เกษตรกรควรลดปริมาณและระยะเวลาการขังน้ำจากเดิมและใช้ระบบการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง เพื่อลดการละลายของเหล็ก สำหรับแปลงที่สองกรณีที่เกิดปัญหาข้าวตายในฤดูแล้งในพื้นที่อำเภอเสนาให้จังหวัดสระบุรีนั้น เกษตรกรควรหลีกเลี่ยงการใช้น้ำจากคลองชลประทานหนองสรวงในการปลูกข้าวในฤดูแล้ง และควรรวมกลุ่มกันเพื่อจัดหาเครื่องวัดระดับความเค็มของน้ำมาใช้ในหมู่บ้าน เพื่อใช้ในการวัดระดับความเค็มของน้ำก่อนปล่อยเข้าพื้นที่นาของเกษตรกร ซึ่งหากอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมเกษตรกรไม่ควรใช้น้ำดังกล่าว หากเกษตรกรยังจำเป็นต้องใช้น้ำในการปลูกพืชควรเปลี่ยนมาปลูกพืชผักที่สามารถทนเกลือหรือความเค็มได้ดีกว่าข้าว หรือหากยังคงต้องการปลูกข้าวก็ควรหลีกเลี่ยงการใช้น้ำจากคลองในช่วงที่ข้าวอายุน้อยกว่า 30 วัน เกษตรกรควรทำนาคำแนะนำการทำนาแบบหวาน ควรปลูกข้าวพันธุ์ทนเค็มในช่วงฤดูแล้ง และควรมีการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในคลองก่อนการนำน้ำไปใช้หรือสูบน้ำเข้าแปลงนา รวมทั้งควรมีการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เช่น การไม่เผาฟางข้าวไถกลบตอซัง ปลูกพืชบำรุงดิน หรือใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ในท้องถิ่นร่วมอย่างเหมาะสมเนื่องจากแปลงนาเกษตรกรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก ผลกระทบของเกลือเกิดขึ้นได้ง่ายแต่ไม่ควรใส่มากเกินไปในคราวเดียว เพราะหากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากเกินไปแล้วมีการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนที่ไม่เหมาะสม อาจประสบปัญหาสาหร่ายเช่นแปลงนาแรกได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายประยุทธ์ บ้านจ้อง และ นายไฉน พักเขียว เกษตรกรเจ้าของแปลงนาที่ศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2550. *ดินที่ใช้ปลูกข้าว*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมศรี อรุณินท์. 2539. *ดินเค็มในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.
- Agricultural Bureau of South Australia Inc. n.d. Standard soil test methods & guidelines for interpretation of soil results. https://www.naturalresources.sa.gov.au/files/sharedassets/south_east/get_involved/land/140916-standard-tests-and-interpretation-guidelines-fact.pdf (3 January 2019).
- AWRI. 2010. Vineyard activity guides, Measuring soil salinity. https://www.researchgate.net/profile/Prem_Baboo/post/soil_salinity_readings_urgent/attachment/5db86b11cfe4a777d4eb4441/AS%3A819381248462854%401572367121559/download/v_activity_soil_measure.pdf (3 January 2019).
- Bhattacharya, S., Rath, J., and Ray, S. 2013. Effects of pH and varying concentrations of nitrate, phosphate and iron on morphology, growth and nitrogenase activity in a soil-crust cyanobacterium *Scytonema coactile montagne ex born, et flah*. *Phytomorphology: An International Journal of Plant Morphology* 63: 101-111.
- Chavez, C. 2008. Electrical conductivity or salt in the soil. USDA-NRCS. https://prod.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_067096.pdf (30 January 2019).
- Chen, M., and Ma, L. Q. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Science Society American Journal* 65: 491-499.

- Corkal, P. F. 2002. Copper treatment for dugouts. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/wqe11302/\\$FILE/copperupdatede.pdf](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/wqe11302/$FILE/copperupdatede.pdf) (30 January 2019).
- Dunst, R. D., Born, S. M., Uttormark, P. D., Smith, S. A., Nichols, S. A., Peterson, J. O., Knauer, D. R., Serns, S. L., Winter, D. R., and Wirth, T. L. 1974. Survey of lake rehabilitation techniques and experiences. <https://dnr.wi.gov/files/PDF/pubs/ss/SS0075.pdf> (3 January 2019).
- Gibson, C. E. 1972. The algicidal effect of copper on a green and a blue-green alga and some ecological implications. *Journal of Applied Ecology* 9: 513-518.
- Greenway, H., and Osmond, C. B. 1972. Salt responses of enzymes from species differing in salt tolerance. *Plant Physiology* 49: 256-259.
- Hakim, M. A., Juraimi, A. S., Begum, M., Hanafi, M. M., Ismail, M. R., and Selamat, A. 2010. Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology* 9(13): 1911-1918.
- Hopkins, B. G., Horneck, D. A., Stevens, R. G., Ellsworth, J. W., and Sullivan, D. M. 2007. Managing Irrigation Water Quality for crop production in the Pacific Northwest. Pacific Northwest Extension publication. <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/pnw597.pdf> (3 January 2019).
- Horne, A. J., and Goldman, C. R. 1972. Nitrogen fixation in Clear Lake, California. I. Seasonal variation and the role of heterocysts. *Limnology and Oceanography* 17: 678-692.
- Illinois State Water Survey. 1989. Using copper sulfate to control algae in water supply impoundments <https://www.isws.illinois.edu/pubdoc/MP/ISWSMP-111.pdf> (3 January 2019).
- Khan, M. A., and Panda, I. A. 2006. Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii* var. *stocksii*. *Annals of Botany* 85: 225-232.
- Khaokaew, S., Landrot, G., and Sparks, D. L. 2016. Speciation and release kinetics of cadmium and zinc in paddy soils. In *Trace Elements in Waterlogged Soils and Sediments*, J. Rinklebe, A. S. Knox, and M. Paller, eds. pp. 77-95. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Khaokaew, S., Takrattanasaran, N., Lachitavong, K., and Landrot, G. 2017. Decrease in rice production during the dry season in a central region of Thailand: linking water, paddy soil, and rice properties. Goldschmidt 2017, August 13-18, Paris, France.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 15(12): 1409-1416.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil survey laboratory methods manual. In *Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0*. Natural Conservation Service. United States Department of Agriculture. http://www.swcst.or.th/Report/cooperative/Soil%20Survey%20Lab%20Methods%20-%20SSIR%2042/SSIR_42_v4.pdf (2 January 2018).
- Ologundudu, F., Adekunle, A. A., and Akinwale, R. 2014. Effect of salt stress on germination and growth parameters of rice (*Oryza sativa* L.). *Notulae Scientia Biologicae* 6(2): 237-243.
- Rietz, D. N., and Haynes, R. J. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 845-854.
- Sink, T., Gwinn, J., Gerke, H., and House, M. 2014. Managing and controlling algae in ponds. Texas A&M AgriLife Extension Service. <https://agrillifecdn.tamu.edu/fisheries/files/2013/09/Managing-and-Controlling-Algae-in-Ponds-Manual-format.pdf> (3 January 2019).
- Soltania, A., Gholipoorb, M., and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany* 55: 195-200.
- Sumner, M. E., 1995. Sodic soils: new perspectives. In *Australian Sodic Soils: Distribution, Properties and Management*, Naidu, R., Sumner, M. E., Rengasamy, P., eds. pp. 1-34. Melbourne: CSIRO.
- Sunda, W. G., and Guillard, R. R. L. 1976. The relationship between cupric ion activity and the toxicity of copper to phytoplankton. *Journal of Marine Research* 34: 511-529.
- Walkley, A., and Black, C. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. *Soil Science* 37: 29-35.
- Wang, L., Wang, X., Jin, X., Xu, J., Zhang, H., Yu, J., Sun, Q., Gao, C., and Wang, L. 2017. Analysis of algae growth mechanism and water bloom prediction under the effect of multi-affecting factor. *Saudi Journal of Biological Sciences* 24: 556-562.
- Wurtsbaugh, W., and Horne, A. J. 1982. Effects of copper on nitrogen fixation and growth of blue-green algae in natural plankton associations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39: 1636-1641.

วันรับบทความ (Received date) : 11 ก.พ. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 25 ก.ค. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 12 พ.ย. 62