

การใช้ถ่านเพื่อเป็นตัวกั้นการเคลื่อนที่ของเกลือในดินเค็ม และผลต่อพืชที่ไวต่อความเค็ม

The use of char as a cutting off-zone in salt-affected soil and its effect on salt-sensitive plant

ภาณุเดชา กมลมานิตย์^{1*} และ พฤกษา หล้าวงษา²

Bhanudacha Kamolmanit^{1*} and Phrueksa Lawongsa²

บทคัดย่อ: ถ่านที่ผลิตโดยวิธีแบบดั้งเดิมถูกพิจารณาว่า มีคุณสมบัติในการลดการเคลื่อนที่ของไอออนเกลือผ่านชั้นหน้าตัดดิน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของการใช้ถ่านที่มีขนาดแตกต่างกันต่อการลดการเคลื่อนที่ของเกลือสู่ดินชั้นบนในสภาพคอลัมน์ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินบางประการและการเจริญเติบโตของพืชที่ไวต่อความเค็ม พืชที่ใช้ศึกษาคือกวางตุ้งฮ่องเต้ ชื่อสามัญ Pak Chai ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica chinensis* var. *chinensis* วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ประกอบด้วย 6 กรรมวิธีทดลอง ได้แก่ 1) กรรมวิธีควบคุม (ดินที่ไม่ใส่ถ่าน), 2) ดิน + NaCl, 3) ดิน + ถ่านขนาด 1-2 mm, 4) ดิน + ถ่านขนาด 1-2 mm + NaCl, 5) ดิน + ถ่านขนาด < 1 mm และ 6) ดิน + ถ่านขนาด < 1mm + NaCl ทำการทดสอบปลูกพืชในทุกกรรมวิธี ผลการทดลองพบว่า ทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ถ่านทั้งภายใต้สภาวะที่มีและไม่มีสารละลายเกลือส่งผลให้ค่า pH และ EC ของดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า % relative changes of soil EC พบว่า การใส่ถ่านทั้ง 2 ขนาด (1-2 mm และ < 1mm) สามารถลดการเคลื่อนที่ของไอออนสารละลายเกลือสู่ดินชั้นบนได้อย่างชัดเจน (-6.1 % และ -9.06 % ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ถ่าน (87.14 %) การใส่ถ่านทั้ง 2 ขนาดภายใต้สภาวะที่มีสารละลายเกลือส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชมีค่าสูงกว่าการใส่ถ่านในดินปกติ โดยการใส่ถ่านขนาด 1-2 mm ภายใต้สภาวะเกลือส่งผลให้ความสูงต้น (19.33 cm) ความสูงยอด (7.43 cm) น้ำหนักแห้งต้น (1.36 g) และน้ำหนักแห้งราก (0.21 g) มีค่าสูงสุด ขณะเดียวกันการใส่ถ่านขนาด < 1mm และ 1-2 mm ในดินสภาวะที่ไม่มีสารละลายเกลือกลับส่งผลให้จำนวนใบพืชมีค่าสูงสุด (5.67 และ 5.33 ตามลำดับ) ($P \leq 0.05$) งานวิจัยนี้ให้ข้อมูลถึงคุณสมบัติของถ่านในการดูดซับไอออนของเกลือตามช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

คำสำคัญ: ดินเค็ม, ค่าการนำไฟฟ้า, พืชที่ไวต่อความเค็ม, การเจริญเติบโตของพืช, ถ่าน

ABSTRACT: Char produced by traditional kiln has been considered as a suitable material used as cutting off-zone in salt affected soil. The objective of this study was to investigate the effect of two different char sizes in reducing the movement of salt to the top soil in relation to changes in some soil chemical properties and plants growth (a column trial). The experiment was arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) and divided into 6 treatments include the following: 1) control (soil without char added), 2) soil + NaCl, 3) soil + char 1-2 mm, 4) soil + char 1-2 mm + NaCl, 5) soil + char < 1 mm, and 6) soil + char < 1 mm + NaCl. Results indicated that two different sizes of char (1-2 mm and < 1 mm) addition in soil significantly increased soil pH and EC ($P \leq 0.05$). Both two sizes of char revealed similar results as they decreased % relative changes of soil EC (-6.1 % and - 9.06 %, respectively) as compared

¹ หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 30000

Program of Agriculture, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University 30000

² สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

Department of Soil Science and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40002

* Corresponding author: bhanudacha@yahoo.com

to soil without char addition (87.14 %). Application of two sizes of char into the salt-affected soil greatly increased plant production compared to the normal soils. Under salt solution conditions, application of char (1-2 mm in size) has the greatest impact on plant total height (19.33 cm), shoot height (7.43 cm) shoot dry weight (1.36 g), and root dry weight (0.21 g). Possible mechanisms underlying char mediated increases in plant growth under salt solution conditions were also discussed. Meanwhile, application of char (1-2 mm and < 1 mm) into the normal soils (soils without salt solution) resulted in highest number of leaves per plant (5.67 and 5.33, respectively) ($P \leq 0.05$). This study revealed the properties of charcoal in salt adsorption at time intervals relative to plant growth.

Keywords: salt-affected soil, electrical conductivity, salt-sensitive plant, plant growth, char

บทนำ

ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยประสบกับปัญหาดินเค็มซึ่งครอบคลุมพื้นที่เกือบสองในสามของภูมิภาค (Recey et al., 2009) การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมอย่างเข้มข้นโดยขาดการบำรุงส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติหลายประการที่เลวลงจนถึงขั้นวิกฤตที่สามารถเร่งให้ดินที่มีศักยภาพเป็นดินเค็มเพิ่มขึ้นและจัดเป็นรูปแบบหนึ่งของดินเสื่อมโทรม (บุปผา, 2549; Chan et al., 2003 อ้างถึงโดย Bronick and Lal, 2005) ดินเค็มเป็นดินที่มีปริมาณเกลือหรือไอออนละลายที่ละลายได้ อาทิ Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} และ CO_3^{2-} (Qadir et al., 2000) ละลายอยู่ในปริมาณที่สูงจนสามารถส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืช (Manchanda and Garg, 2008) เนื่องจากไอออนของเกลือเหล่านี้ส่งผลให้โครงสร้างของดินเสียไป การซาบซึมของน้ำไม่ดีทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างดิน-น้ำ และ ดิน-อากาศเลวลง เกลือยังส่งผลกระทบต่อเซลล์พืชทำให้เกิดการสะสมน้ำแทนการสร้างเนื้อเยื่อ (Katsuhara et al., 2003) เกลือจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรมีคุณภาพลดลง การลดความเค็มของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยใช้วัสดุอินทรีย์ เช่น แกลบ เพื่อเป็นวัสดุคั่นชั้นดินในการลดการเคลื่อนที่ของเกลือขึ้นสู่ชั้นผิวน้ำดินได้รับการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เพื่อเพาะปลูกพืชกินใบบางชนิด เช่น คื่นช่าย ดังในรายงานของ บุปผา (2549) เป็นต้น ขณะเดียวกันงานวิจัยหลายงานวิจัยได้ชี้ให้เห็นว่าถ่านมีความศักยภาพในการใช้ลดความเค็มของสารละลายเกลือได้จากกลไกแลกเปลี่ยนประจุที่ผิวถ่าน

(ได้แก่ Ca^{2+} และ Mg^{2+}) กับ Na^+ ในดิน ตัวอย่าง เช่น Major et al. (2010) พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในดินที่อัตรา 20 ตัน/เฮกตาร์ส่งผลให้ชุดดิน Colombian savanna oxisol มีการเพิ่มขึ้นของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในดิน ขณะเดียวกัน Laird et al. (2010) ก็พบการเพิ่มขึ้นของ Ca^{2+} ในสารละลายดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีการใส่ถ่านจากไม้ในอัตรา 20 กรัม/กิโลกรัม ในดินเกษตรกรรมของไอโอวา จากปริญญานิพนธ์วิจัยชี้ให้เห็นว่าสาเหตุหลักของการลดความเค็มของดินเกิดจากการแลกเปลี่ยน Na^+ บริเวณผิวของถ่าน

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเหล่านั้นยังขาดการศึกษาอิทธิพลที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนประจุ (ธาตุอาหารพืช) ดังกล่าวที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไวดต่อความเค็มโดยตรง ซึ่งมีความจำเป็นในการศึกษาเพื่อให้เข้าใจกลไกดังกล่าวที่ส่งผลต่อพืชได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ถ่านแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ระหว่างการเผา (Antal and Gronli, 2003) ถ่านที่ผลิตภายใต้อุณหภูมิสูงจะมีปริมาณสารที่ระเหยได้ (volatile matter) ต่ำ แต่มีปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed C) และเถ้า (ash) ที่สูง ขณะที่ถ่านที่ผลิตภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าจะองค์ประกอบข้างต้นในทิศทางตรงกันข้าม (Deenik et al., 2011) อย่างไรก็ตามถ่านที่ผลิตภายใต้อุณหภูมิต่ำโดยเฉพาะการผลิตแบบดั้งเดิม (traditional kiln) กลับพบว่า มีประโยชน์ต่อพืชเนื่องจากปริมาณของโปแตสเซียมและแคลเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชมีสูงขึ้นตามด้วย (Gaskin, 2008; Deenik et al., 2011) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้สามารถแลกเปลี่ยนประจุกับโซเดียมไอออนใน

สารละลายเกลือ ถ่านจึงถูกพิจารณาว่านอกจากมีคุณสมบัติในการลดการเคลื่อนที่ของไอออนของสารละลายเกลือแล้ว ถ่านยังสามารถเพิ่มพูนความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ในเวลาเดียวกัน (Hemmes and Schmidt, 2009) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากถ่านส่วนใหญ่มีมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของดิน เช่น การสร้างเม็ดดิน (Brodowski et al., 2005; Brodowski et al., 2006) การเก็บกักคาร์บอนในดิน (Chan et al., 2008; Novak et al., 2009; Rebellato et al., 2009) หรือเพื่อเพิ่มพูนความอุดมสมบูรณ์ของดินในแง่การเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Chan et al., 2008; Makoto et al., 2011) อาทิ เช่น การใช้ถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิต่ำเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของไดวาเลนต์ไอออนประจุบวก เช่น Ca^{2+} ในดิน (Gaskin et al., 2008) เป็นต้น โดยกลไกของการลดการเคลื่อนที่ของเกลือโดยใช้ถ่านชีวภาพนั้นสามารถอธิบายได้ 2 กลไก ดังนี้คือ (1) ถ่านช่วยเพิ่มการซาบซึมน้ำจึงทำให้เกลือสามารถถูกชะออกจากชั้นดินได้มากขึ้น และ (2) ถ่านช่วยลดการระเหยน้ำจากผิวน้ำดินจึงช่วยลดการสะสมเกลือที่ชั้นดินบนได้ทางหนึ่ง (Lakhdar et al., 2009) ซึ่งลักษณะการลดความเข้มข้นของเกลือ ดังกล่าวอธิบายได้เช่นเดียวกับกรณีที่มีการใส่อินทรีย์วัตถุลงในดิน (Chaganti, 2014) อย่างไรก็ตาม กลไกอีกประการหนึ่งที่สำคัญของถ่านชีวภาพคือความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบนพื้นผิวจากการที่ถ่านมีความเข้มข้นของไดวาเลนต์แคตไอออน (ได้แก่ Ca^{2+} และ Mg^{2+}) ที่สูง (Butnana et al., 2015) ที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกกับ Na^+ ในสารละลายดินได้มาก (Chaganti, 2014) จึงมีความเป็นไปได้สูงในการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อดูดซับ Na^+ ในสารละลายดินเพื่อลดความเค็มของดินอย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ศึกษาการใช้ถ่านเพื่อลดความเค็มของดินที่มุ่งเน้นเพื่อใช้เป็นวัสดุคั่นการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือมีค่อนข้างน้อย อีกทั้งงานวิจัยส่วนใหญ่เน้นยังขาดการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน (ภายใต้สภาวะการใส่ถ่านขนาดแตกต่างกัน) ต่อการเจริญเติบโตของพืชตามช่วงเวลา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของการใช้ถ่านที่มีขนาดแตก

ต่างกันต่อการลดการเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือสู่ดินชั้นบนที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ไวต่อความเค็มภายใต้สภาพคอลลัมน์

วิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาเก็บจากพื้นที่ของศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยทางการเกษตร (100 ไร่) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ต.ไชยมงคล อ.เมือง จ.นครราชสีมา พิกัด Latitude : 14.85001 และ Longitude : 102.07427 จัดเป็นชุดดินที่ 40 (ได้แก่ ชุดดินจักราช ชุดดินชุมพวง และชุดดินห้วยแถลง) อ้างตามระบบนาเสนอแผนที่ชุดดิน ซึ่งจัดเป็นกลุ่มดินร่วนหยาบลึกลงถึงลึกมากที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ มีสภาพปัญหาเป็นดินกรดในทีตอน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2559) ทำเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 cm ผึ่งแห้งด้วยลมในที่ร่มแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ถ่านที่ใช้ในการศึกษาผลิตจากไม้ผสมสองชนิดคือ ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*) และมะค่าแต้ (*Sindora siamensis* Miq.) เเผาโดยใช้เตาถ่านอิฐเคลือบดินเหนียว ณ บ้านโนนม่วง ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา ให้ระยะเวลาในการเผาและอบหลังการเผา 5-6 วัน ถ่านที่ผลิตได้นำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm และ 1 mm เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ดินและถ่านที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการดังแสดงใน Table 1 สารละลายเกลือที่ใช้ในการทดลองเตรียมโดยละลาย NaCl ในน้ำกลั่นให้มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ $5,000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($5 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$) ซึ่งเป็นค่าความเค็มที่ทำให้การเจริญของพืชที่ไวต่อความเค็มมีค่าลดลง 25 % (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) วัดค่า pH และ EC เริ่มต้นของสารละลายที่ใช้ พืชที่ใช้ศึกษา คือ กวางตุ้งฮ่องเต้ ชื่อสามัญ Pak Chai ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica chinensis* var. *chinensis* ทำการเพาะเมล็ดในหลุมเพาะในกระบะที่มีส่วนผสมของพีทมอสและขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 เมื่อพืชมีใบจริงปรากฏจึงทำการย้ายปลูกลงหน่วย

ทดลอง โดยระมัดระวังให้มีวัสดุปลูกติดมากับรากพืช น้อยที่สุด หน่วยทดลองที่ใช้ในการศึกษาประกอบขึ้นจาก วัสดุพลาสติกรูปทรงกระบอก ตัวหน่วยทดลองประกอบ ขึ้นด้วยวัสดุ 2 ชั้น ชั้นส่วนด้านบนมีความสูง 80 cm เส้น ผ่านศูนย์กลางหน่วยทดลองเท่ากับ 8 cm ใช้สำหรับบรรจุ ดินและ/หรือถ่าน ตรงส่วนปลายด้านล่างมีลักษณะเป็น กรวยคว่ำคล้ายคอขวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm ปิดปากขวดด้วยตาข่ายไนลอนที่มีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 2 mm โดยการพับทบ 2 ชั้น ทำการบรรจุส่วลิ ในชั้นล่างสุดให้มีความหนา 5 cm สามารถให้น้ำซึมเข้า และระบายออกได้ ในทุกกรรมวิธีทดลองทำการบรรจุดิน ชั้นล่าง (lower layer) และดินชั้นบน (upper layer) ตาม ลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่มีการใส่ถ่านทั้ง 2 ขนาด ทำการ บรรจุถ่านแทรกระหว่างชั้น (middle layer) บรรจุดิน ปริมาตร 1,400 g dry weight (DW) ให้มีความสูงของชั้น ดินเท่ากับ 20 cm โดยคำนวณจากความหนาแน่นของดิน ที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่เท่ากับ $1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ กรรมวิธีที่ มีชั้นถ่าน (char layer) ทำการบรรจุถ่าน 300 g DW รดน้ำ กลั่นทุกวันเป็นเวลา 2 สัปดาห์ก่อนทำการย้ายปลูก ชั้น ส่วนด้านล่างของหน่วยทดลองเป็นฐานทรงกระบอกใช้ สำหรับบรรจุน้ำกลั่นและ/หรือน้ำเกลือ โดยให้ปากกรวย ของหน่วยทดลองส่วนแรกจุ่มอยู่ในของเหลวตลอดระยะ เวลาที่ดำเนินการทดลอง ทำการปลูกพืชจำนวน 2 ต้น/ หนึ่งหน่วยทดลอง ในทุกกรรมวิธีทดลอง

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยจัด Block ให้มีทิศทางขวาง ทิศทางของแสง ประกอบด้วย 6 กรรมวิธีทดลอง กรรมวิธี ที่ 1 และ 2 ไม่ใส่ถ่าน กรรมวิธีที่ 3 และ 4 ใส่ถ่านขนาด 1-2 mm กรรมวิธีที่ 5 และ 6 ใส่ถ่านขนาด $< 1 \text{ mm}$ หน่วย ทดลองในกรรมวิธีที่ 1, 3, และ 5 แห่อยู่ในน้ำกลั่น หน่วย ทดลองในกรรมวิธีที่ 2, 4, และ 6 แห่อยู่ในสารละลายเกลือ

ทุกกรรมวิธีทำการปลูกพืชโดยวิธีย้ายปลูก ในแต่ละ กรรมวิธีทดลองประกอบด้วย 3 ซ้ำการทดลอง และ 5 ระยะ เวลาของการเก็บตัวอย่าง คิดเป็นจำนวน 90 หน่วยทดลอง รายละเอียดแผนการทดลองและจำนวนหน่วยทดลอง แสดงดัง Table 2

การเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

ทำการเก็บตัวอย่างดินเป็นเวลา 5 ระยะ โดยเก็บ ตัวอย่างดินชั้นบนที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตรจากผิว หน้าดิน (Figure 1) โดยการนำหน่วยทดลองออกและตัด แยกดินทั้งหมดออกจากชั้นถ่านด้วยความระมัดระวังไม่ ให้ปนเปื้อนถ่านในชั้นล่าง ทำการผสมคลุกเคล้าดินในท่อ เป็นเนื้อเดียวแล้วสุ่มเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป เก็บ ตัวอย่างในวันที่ 0 (3 ชั่วโมงหลังย้ายปลูก), 7, 14, 28, และ 49 วันหลังการย้ายปลูก (day after transplanting, DAT) เพื่อวิเคราะห์ตัวชี้วัดคือ pH, ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity, EC) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:2.5, ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนประจุ บวก (cation exchange capacity, CEC) ตามวิธีของ พัทธี (2549), ความชื้นดิน (soil moisture content) หาโดย วิธี gravimetric method คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น เพื่อใช้ในการคำนวณร่วมกับตัวชี้วัดอื่นที่อยู่บนฐานน้ำ หนักดินแห้ง ทำการเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์เป็นเวลา 4 ระยะ ในวันที่ 7, 14, 28, และ 49 หลังย้ายปลูก ทำการ วัดความสูงต้น (plant total height) ความสูงยอด (shoot height) ความกว้างลำต้น (plant circumference) จำนวน ใบ (number of leaves per plant) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือ ดิน (shoot dry weight) น้ำหนักแห้งราก (root dry weight) ตามวิธีของ Kamolmanit and Reungsang (2006) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าของ สารละลายดิน (relative changes of soil EC) คำนวณ โดยการเปรียบเทียบเป็นคู่ที่ทำการศึกษา ดังนี้

- 1) เปรียบเทียบระหว่างดินเปล่าที่มีการใส่ถ่านและไม่มีการใส่ถ่าน ดังสมการที่ (1)

$$\frac{(\text{ดินที่มีสารละลาย NaCl} - \text{ดินที่ไม่มี NaCl}) \times 100}{\text{ดินที่ไม่มี NaCl}} \quad (1)$$
- 2) เปรียบเทียบระหว่างดินใส่ถ่าน < 2 mm ที่มีและไม่มีการใส่ถ่าน ดังสมการที่ (2)

$$\frac{(\text{ดินที่ใส่ถ่าน} < 2 \text{ mm และมีสารละลาย NaCl} - \text{ดินใส่ถ่าน} < 2 \text{ mm และไม่มี NaCl}) \times 100}{\text{ดินใส่ถ่าน} < 2 \text{ mm และไม่มี NaCl}} \quad (2)$$
- 3) เปรียบเทียบระหว่างดินใส่ถ่าน 1-2 mm ที่มีและไม่มีการใส่ถ่าน ดังสมการที่ (3)

$$\frac{(\text{ดินที่ใส่ถ่าน 1-2 mm และมีสารละลาย NaCl} - \text{ดินใส่ถ่าน 1-2 mm และไม่มี NaCl}) \times 100}{\text{ดินใส่ถ่าน 1-2 mm และไม่มี NaCl}} \quad (3)$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลจากค่าวิเคราะห์ตัวชี้วัดต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (R²) และสมการการถดถอย (regression equation) โดยโปรแกรม Sigmaplot v.10.0 (SYSTAT software, Inc., Chicago, IL) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีการทดลองโดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) ค่า Standard Error of Difference (SED) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับปัจจัยโดยวิธี t-test (P ≤ 0.05) และวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปัจจัย โดยใช้โปรแกรม Statistix, version 8.0 (Analytical software, 2003) เพื่อใช้สำหรับการอธิบายผลการทดลองและนำไปสู่การวิเคราะห์อภิปรายผล และสรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

อิทธิพลของถ่านต่อคุณสมบัติดิน

ค่า pH ของดิน (ไม่มีสารละลายเกลือ) ในกรรมวิธีที่มีการใส่ถ่านทั้ง 2 ขนาด มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P ≤ 0.05) หลัง 7 วันของการย้ายปลูกจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (Figure 2A, 2B) ขณะที่ค่า pH ในกรรมวิธีที่มีการใส่ถ่านทั้งสองขนาดในดินที่มีสารละลายเกลือมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ถ่านในทุกช่วงการทดลอง อย่างไรก็ตามพบความแตกต่างทาง

สถิติภายหลัง 14 วันของการย้ายปลูก (P ≤ 0.05) ค่า pH ที่สูงของถ่านเกิดจากคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้และสภาวะของการเผาถ่านที่ใช้ (Butnan et al., 2015; Jindo et al., 2014) มีหลายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินจากถ่านที่ใส่ โดย Butnan et al. (2015) รายงานว่า การใส่ถ่านจากไม้ยูคาลิปตัสในดินชุดโคราช ส่งผลให้ค่า pH ของดินเพิ่มสูงขึ้นได้ ขณะที่ Wu et al. (2014) พบว่า ค่า pH ของถ่านที่ต่ำ (pH = 4.5) เมื่อบ่มร่วมกับดินซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 8.3 สามารถทำให้ดินมีค่า pH ที่ลดต่ำลงเมื่อทำการบ่มเป็นเวลา 56 วัน งานทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ไม่มีการคลุกเคล้าถ่านกับดินโดยตรงแต่ใช้ถ่านเป็นวัสดุคั่นชั้นดินก็สามารถทำให้ pH ของดินชั้นบนเปลี่ยนแปลงได้ การเพิ่มขึ้นของค่า pH ของดินชั้นบนสามารถอธิบายได้จากการที่ไออนธาตุอาหารพืชบางส่วนบนพื้นผิวถ่านหลุดออกสู่สารละลายดินและเคลื่อนที่สู่ชั้นบน (Jindo et al., 2014; Wu et al., 2014; Zhang et al., 2016) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในดินที่ไม่มีสารละลายเกลือใส่ถ่านทั้งสองขนาด (1-2 mm และ < 1 mm) เพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่มีการใส่ถ่านในทุกช่วงของการปลูก (Figure 2C) ในวันที่ 14-49 หลังย้ายปลูกพบว่ากรรมวิธีใส่ถ่านทั้ง 2 ขนาดมีค่า EC สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P ≤ 0.05) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธีที่ใส่ถ่านด้วยกัน กรรมวิธีที่มีการใส่ถ่านทั้งสองขนาดในดินที่มีสารละลายเกลือ (Soil + 1-2 mm char + NaCl และ Soil + < 1 mm char + NaCl) มีค่า EC สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ถ่าน

(Soil + NaCl) ในช่วง 14 วันแรกหลังย้ายปลูก ($P \leq 0.05$) ขณะที่ในวันที่ 28 และ 42 วันหลังย้ายปลูกพบว่าการรวมวิธี Soil + NaCl ส่งผลให้ดินมีค่า EC สูงสุด (1272 และ 1605 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ตามลำดับ) ($P \leq 0.05$) (Figure 2D) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน (% Relative changes of soil EC) แสดงดัง Figure 3 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่า EC ระหว่างคู่ที่ 1 (soil control vs. soil + NaCl) เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 0 ถึง 49 หลังย้ายปลูก (4.35-87.14 % ตามลำดับ) ค่า % Relative changes of soil EC ระหว่างคู่ที่ 2 (soil + 1-2 mm char vs. soil + 1-2 mm char + NaCl) เพิ่มขึ้นในวันที่ 0, 7, และ 14 (6.87, 15.75, และ 38.4 % ตามลำดับ) ขณะที่ในวันที่ 28 และ 49 หลังย้ายปลูกพบค่าที่เป็นลบ (-9.46 และ -6.1 % ตามลำดับ) ค่า % Relative changes of soil EC ระหว่างคู่ที่ 3 (soil + < 1 mm char vs. soil + < 1 mm char + NaCl) มีรูปแบบ (pattern) คล้ายคู่ที่ 2 นั่นคือ ในวันที่ 28 และ 49 หลังย้ายปลูก พบค่าเป็นลบ (-7.24 และ -9.06 % ตามลำดับ)

การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของถ่านที่นำมาใช้นั้นส่งเสริมให้ดินชั้นบนมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นกว่าการไม่ใส่ถ่านในช่วง 0-14 วันแรกของการทดลอง ปรากฏการณ์ที่ดินที่มีการใส่ถ่านภายใต้สภาวะเกลือมีค่า EC ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเทียบกับดินที่ไม่มีการใส่ถ่านนั้นเกิดจากการที่ถ่านนั้นมีลักษณะเป็นรูพรุนสูง มีศักยภาพในการดูดซับและเก็บกักน้ำได้สูง (Asai et al., 2009; Cheng et al., 2006) ถ่านจึงเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านชั้นสู่ดินชั้นบนอย่างรวดเร็วพร้อมกับพาไอออนของสารละลายเกลือเคลื่อนที่สู่ดินชั้นบนในลักษณะการเคลื่อนที่แบบ mass flow เมื่อพิจารณาค่า % relative changes of soil EC ในช่วงแรก (0-14 วัน) พบว่ามีค่าเป็นบวกที่ช่วยสนับสนุนสมมติฐานข้างต้นว่าในช่วงแรกนั้นไอออนของเกลือเคลื่อนที่สู่ผิวดินชั้นบนด้วยกลไกดังกล่าว ขณะเดียวกันไอออนประจุบวกบนผิวถ่านที่เป็นธาตุอาหารพืช อาทิเช่น K^+ , Ca^{2+} , และ Mg^{2+} รวมถึงธาตุอาหารพืชประจุบวกบางตัว เช่น Cu^{2+} , Mn^{2+} , และ Zn^{2+} (Zhang et al., 2016) ก็ถูกปลดปล่อยจากพื้นผิวถ่านออกสู่สารละลายดินโดยกลไกการแลกเปลี่ยน Na^+ กับหมู่

ฟังก์ชันคาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) และไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) ที่ผิวถ่าน (Qian and Chen, 2013) การดูดซับไอออนบนพื้นผิวของถ่านที่เกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงกลางของการทดลอง (14 วัน) จึงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่า EC ในดินที่ใส่ถ่านมีค่าค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (49 วัน) เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ใส่ถ่าน (Figure 2C, 2D) และเมื่อพิจารณาค่า % relative changes of soil EC พบว่ามีค่าเป็นลบที่บ่งชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของถ่าน (ทั้ง 2 ขนาด) ในการดูดซับไอออนของเกลือในช่วงเวลาดังกล่าว ค่าที่เป็นลบของ % relative changes of soil EC ในดินที่ใส่ถ่านยังบ่งชี้ถึงความสามารถของถ่านในการดูดซับ Na^+ ของถ่านก่อนเคลื่อนที่มายังดินชั้นบนได้ (Figure 3)

จากการศึกษานี้พบว่าดินภายใต้สภาวะที่มีสารละลายเกลือส่งเสริมให้ถ่านมีปลดปล่อยธาตุอาหารพืชประจุบวก (cations) บางตัวเพิ่มมากขึ้นในสารละลายดิน โดยพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ที่เป็นไปในทิศทางบวกระหว่างค่า EC กับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) (Figure 4) ความเค็มของดินที่เพิ่มขึ้นโดยจากทั้งสารละลายเกลือและการใส่ถ่านทำให้ไอออนธาตุอาหารพืชประจุบวกเพิ่มสูงขึ้นในสารละลายดิน เมื่อพิจารณาในแง่ของความสัมพันธ์ระหว่างดิน-พืช พบว่าการเจริญเติบโตของพืชในบางตัวช้าลงในช่วงท้ายของการทดลอง (28-49 วันหลังการย้ายปลูก) ได้แก่ ความกว้างต้น จำนวนใบ และน้ำหนักแห้งราก มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ($P \leq 0.05$) (Table 3) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินชั้นบนดังกล่าว อาจมีสาเหตุได้จากการเคลื่อนที่ของ Na^+ จากสารละลายเกลือที่ผ่านชั้นถ่านสู่ดินชั้นบนเคลื่อนที่แบบ mass flow ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น หรืออาจเกิดจากกลไกการที่รากพืชดูดใช้น้ำจากด้านล่างผ่านชั้นของถ่านที่ทำให้มีการดึง Na^+ ขึ้นสู่ดินชั้นบน (FAO, 1985) อย่างไรก็ตาม Wu et al. (2014) กลับไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่า CEC ระหว่างดินที่มีการใส่ถ่านเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่เมื่อทำการบ่มดินร่วมกับถ่านเป็นเวลา 42 วัน โดยผู้ทดลองให้เหตุผลว่าระยะเวลาของการบ่มดินที่ค่อนข้างสั้น อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า CEC ในดินที่มีการใส่ถ่านตามช่วงเวลา

รูปแบบการเจริญเติบโตของพืชภายใต้อิทธิพลเกลือ

ความสูงต้นทั้งหมด (plant total height) ในทุกกรรมวิธีทดลองเพิ่มสูงขึ้นหลังการย้ายปลูก ในวันที่ 49 หลังย้ายปลูกพบว่ากรรมวิธี soil + 1-2 mm char + NaCl มีความสูงต้นที่สุด (19.33 cm) ตามด้วยกรรมวิธี soil + < 1mm char + NaCl (16.7 cm) ($P \leq 0.05$) (Figure 5A) ความสูงยอด (shoot height) เพิ่มสูงขึ้นในทุกกรรมวิธีภายหลัง 7 วันหลังย้ายปลูกจนสิ้นสุดการทดลอง กรรมวิธี soil + NaCl มีความสูงยอดที่สุดในวันที่ 7 และ 14 หลังย้ายปลูก (3.75 และ 4.98 cm ตามลำดับ) กรรมวิธี soil + < 1 mm char + NaCl มีความสูงยอดที่สุดในวันที่ 28 (6.07 cm) ($P \leq 0.05$) ขณะที่กรรมวิธี soil+1-2 mm char + NaCl ให้ความสูงยอด ที่สุดในวันที่ 49 หลังย้ายปลูก (7.43 cm) ($P \leq 0.05$) (Figure 5B) ความกว้างต้น (plant circumference) ในทุกกรรมวิธีทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลังย้ายปลูกจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง กรรมวิธีควบคุมมีความกว้างต้นที่สุดในวันที่ 7 หลังการย้ายปลูก (0.38 cm) ขณะที่กรรมวิธี soil + < 1 mm char + NaCl มีความกว้างต้นที่สุดในวันที่ 14, 28, และ 49 หลังย้ายปลูก (0.64, 1.93, และ 3.00 cm ตามลำดับ) ($P \leq 0.05$) (Figure 5C) ในวันที่ 28 และ 49 หลังย้ายปลูกพบว่า กรรมวิธี Soil + < 1 mm char มีจำนวนใบ (number of leaves per plant) สูงที่สุด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 และ 5.67 ตามลำดับ) ขณะที่กรรมวิธี soil + NaCl มีจำนวนใบน้อยที่สุดในทุกช่วงเวลาของการตรวจวัด ($P \leq 0.05$) (Figure 5D) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (shoot dry weight) ในทุกกรรมวิธีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างเด่นชัดหลัง 14 วันของการย้ายปลูก กรรมวิธี soil + < 1 mm char + NaCl มีค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมากที่สุดในวันที่ 28 หลังย้ายปลูก (1.07 g) ($P \leq 0.05$) ขณะที่กรรมวิธี soil + 1-2 mm char + NaCl มีค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมากที่สุดในวันที่ 49 หลังย้ายปลูก (1.36 g) ($P \leq 0.05$) (Figure 5E) น้ำหนักแห้งรากในทุกกรรมวิธีเพิ่มสูงขึ้นอย่างเด่นชัดหลัง 14 วันของการย้ายปลูก กรรมวิธี soil + <1 mm char มีค่าน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในวันที่ 28 หลังย้ายปลูก (0.186 g) ขณะที่กรรมวิธี soil + 1-2 mm char + NaCl มีค่าน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในวันที่ 49 หลังการย้ายปลูก (0.21 g) ในวันที่

ที่ 49 หลังย้ายปลูก ทุกกรรมวิธียกเว้นกรรมวิธีควบคุมมีน้ำหนักแห้งรากไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Figure 5F) ผลจากการศึกษาในงานทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืชตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต พิจารณาได้จากการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน 2 ช่วง โดยไอออนของสารละลายเกลือที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก (0-14 วัน) ส่งผลทางบวกต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ที่เป็นไปในทิศทางบวกระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของดินกับการเจริญเติบโตของพืชในบางตัวชี้วัด ได้แก่ ความสูงของต้น ความสูงยอดและความกว้างต้น ($P \leq 0.05$) (Table 2) ภายหลัง 14 วันของการย้ายปลูกพบว่า ค่า EC ของสารละลายดินยกเว้นกรรมวิธี soil + NaCl มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Figure 2C, 2D) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Andriolo et al. (2005) ที่พบว่า เกลือในระดับต่ำช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของกะหล่ำปลี (*Lactuca sativa* L.) ได้ 28% เทียบกับกรรมวิธีควบคุม และยังสอดคล้องกับรายงานของ Dantus et al. (2005) ที่พบว่า NaCl ที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 10 mM ช่วยให้ถั่ว cowpea (*Vigna unguiculata* L.), มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Abdul Qados (2011) กลับพบว่าจำนวนใบของถั่ว cowpea ลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือเพิ่มขึ้น รายงานดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าดินในทุกกรรมวิธีที่อยู่ภายใต้สภาวะมีสารละลายเกลือส่งผลให้จำนวนใบของพืชลดลง ขณะที่ขณะเดียวกันการใส่ถ่านขนาด < 1 mm และ 1-2 mm ในสภาพดินปกติ (ไม่มีสารละลาย NaCl) กลับส่งผลให้จำนวนใบพืชมีค่าสูงสุด (5.67 และ 5.33 ตามลำดับ) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ($P \leq 0.05$) มีรายงานการศึกษาถึงอิทธิพลของเกลือและค่า pH ของดินที่ส่งผลต่อโครงสร้างและระบบรากพืช โดยพบว่าระบบรากฝอยพืชเสียหายได้จากทั้งความเค็มและสภาพความเป็นด่างของดิน ความเค็มและสภาพของดินที่เป็นด่างสูงซึ่งมีผลให้ขนาดของรากพืชสั้นลง (Li et al., 2015), ความยาวรากลดลงหรือหยุดการเจริญเติบโต (Cha-Um et al., 2009; Jiang et al., 2016; Patil et al., 2012) อย่างไรก็ตามหลายงาน

วิจัยชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือกับน้ำหนักสดและแห้งของพืชที่อาจเป็นไปได้ทั้งในทิศทางบวกและลบขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการ ได้แก่ ชนิดของพืช ชนิดของเกลือ รวมถึงความเข้มข้นของเกลือ (Memon et al., 2010; Rui et al., 2009; Taffouo et al., 2009; Taffouo et al., 2010) ในการศึกษาพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างน้ำหนักแห้งของรากกับการนำไฟฟ้าของสารละลายดินและค่า pH ของดินในช่วงท้ายของการทดลอง (28-49 วัน) ($R^2 = 0.5088$, $P \leq 0.05$) (Table 3) ซึ่งชี้ให้เห็นว่ารากพืชมีแนวโน้มที่จะเริ่มสะสมเกลือตั้งแต่ช่วงกลางจนถึงช่วงท้ายของการย้ายปลูกที่ส่งผลให้น้ำหนักรากเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งรากดังกล่าวอาจเนื่องจากรากพืชมีการปรับตัวให้มีการสะสมเกลือ ซึ่งได้แก่ Na^+ และ K^+ (Maksimović et al., 2010) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง S:R ratio กับน้ำหนักแห้งราก พบว่าความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางลบชี้ให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดขึ้นเป็นไปในส่วนเหนือดินมากกว่าทางราก (Table 3) ขณะเดียวกันอัตราส่วน S:R ของน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาและเป็นไปในทิศทางเดียวกับ S:R ของน้ำหนักแห้ง

ชี้ให้เห็นว่าไม่มีการสะสมน้ำในส่วนลำต้นของพืชซึ่งผลจากงานทดลองนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Katsuhara et al. (2003) ที่รายงานว่าข้าวที่ปลูกในสารละลาย NaCl เข้มข้น 100 mM ทำให้อัตราส่วน S:R ลดลงเนื่องจากจากต้นข้าวมีการปรับตัวในสภาวะความเครียดจากความเค็ม ทำให้มีการสะสมน้ำในลำต้น (shoot) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วน S:R มีค่าลดลง

นอกจากนี้ในการศึกษานี้พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินในทุกกรรมวิธีทดลองมีค่าไม่เกิน $2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ตลอดช่วงเวลาของการศึกษา สาเหตุดังกล่าวอาจเกิดได้จากการที่ดินนั้นมีความสามารถในการรักษา ระดับความเข้มข้นของไอออนสารละลายเกลือ (buffering capacity) กลไกการดูดซับไอออนดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ดินชั้นล่างของคอลัมน์ก่อนที่จะเคลื่อนที่มาถึงชั้นตัดผ่านของถ่าน และเมื่อพิจารณาตามตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าค่าการนำไฟฟ้าที่ระดับดังกล่าวจัดอยู่ในระดับที่ต่ำที่อาจไม่ส่งผลต่อการสะสมน้ำในส่วนลำต้นของพืชบางชนิด (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.)

Table 1 Some characteristics of initial soil and chars used.

Parameter	Soil	Char
Moisture content (% by weight)	6.2	5.85
pH (soil : water = 1 : 2.5)	5.4	10.25
EC ($\mu\text{S m}^{-1}$)	179.3	2,235
CEC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	1.8	16.85
Bulk density (g cm^{-3})	1.48	ND
Sand (%)	67.6	ND
Silt (%)	14.4	ND
Clay (%)	18.0	ND
Soil texture	Sandy loam	-

ND: not determined.

Table 2 Number of treatments and experimental units

Treatment	Soil dry weight (gram)		NaCl solution	Biochar (gram) (diameter size)		Plant growth	Sampling time	Replicates	Total units
	Upper layer	Lower layer		1-2 mm	<1 mm				
1	1,400	1,400	-	-	-	*	5	3	15
2	1,400	1,400	*	-	-		5	3	15
3	1,400	1,400	-	300	-	*	5	3	15
4	1,400	1,400	*	300	-	*	5	3	15
5	1,400	1,400	-	-	300	*	5	3	15
6	1,400	1,400	*	-	300	*	5	3	15
Total									90

*: applied, - : not applied

Table 3 Pearson correlation coefficients (*r*) relating between soil properties and plant growth

Parameter	Stage	Correlation coefficients					
		Plant total height	Shoot height	Plant Circumference	Number of leaves	Shoot dry weight	Root dry weight
EC	7-14	0.5269***	0.4481	0.5672***	0.3645	0.5380***	0.4012
	28-49	0.3694	0.4990	0.4376	0.1394	0.6133***	0.5088***
pH	7-14	0.2959	0.2579	0.3992	0.2849	0.5540***	0.2555
	28-49	-0.1546	0.0529	0.2086	0.1110	0.1731	0.2446
CEC	7-14	0.1047	0.0149	0.5054***	0.5262***	0.4367	0.4561
	28-49	0.4290	0.3051	0.6383***	0.6025***	0.4618	0.5420***
S:R ratio	7-14	0.2015	0.1541	0.0878	0.0793	0.1912	-0.5815***
	28-49	0.0844	0.0366	-0.0137	-0.2296	0.0250	-0.3988

*** Significantly different at $P \leq 0.001$

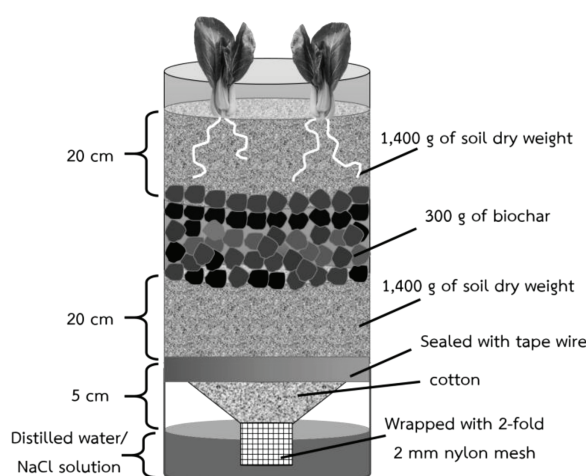


Figure 1 An illustration of the experimental unit of soil/biochar packing into the column. The experimental units were allowed for submerged-drainage conditions (every other day). As for the control, the middle layer of biochar was replaced with soil.

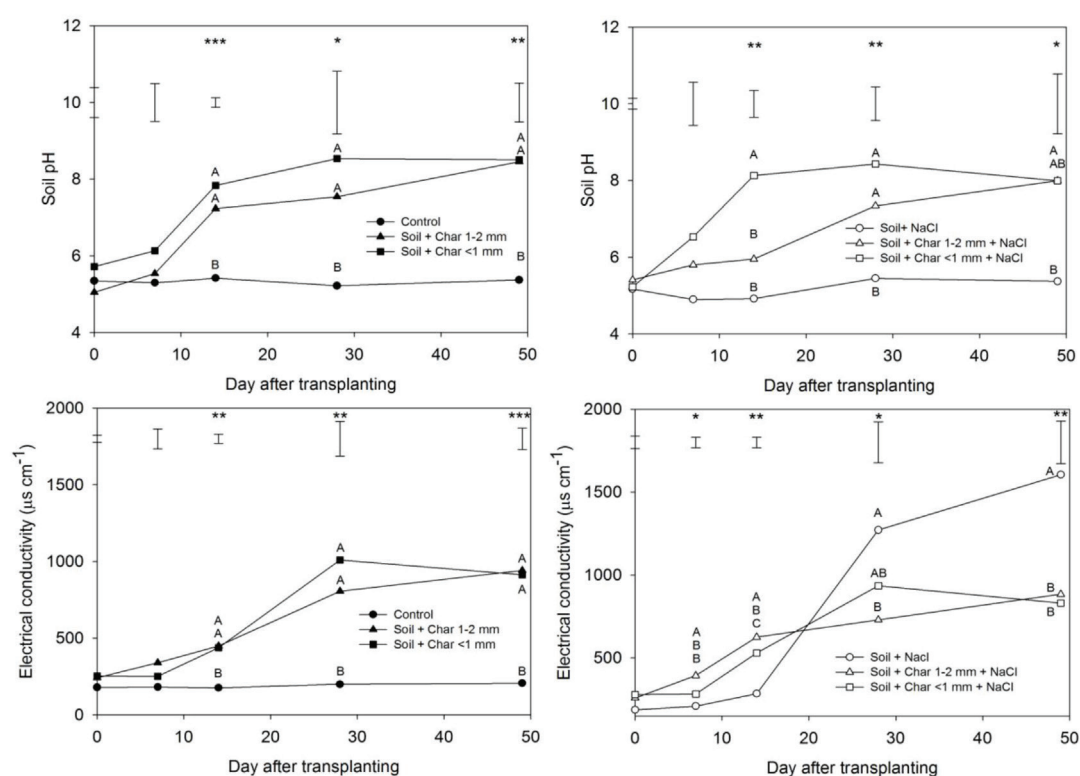


Figure 2 Dynamics of soil pH in normal soils (a) and salt-affected soils (b), and soil EC in normal soils (c) and salt-affected soils (d) treated with char or left untreated treatments. At each sampling date, data followed by the different letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ (LSD).

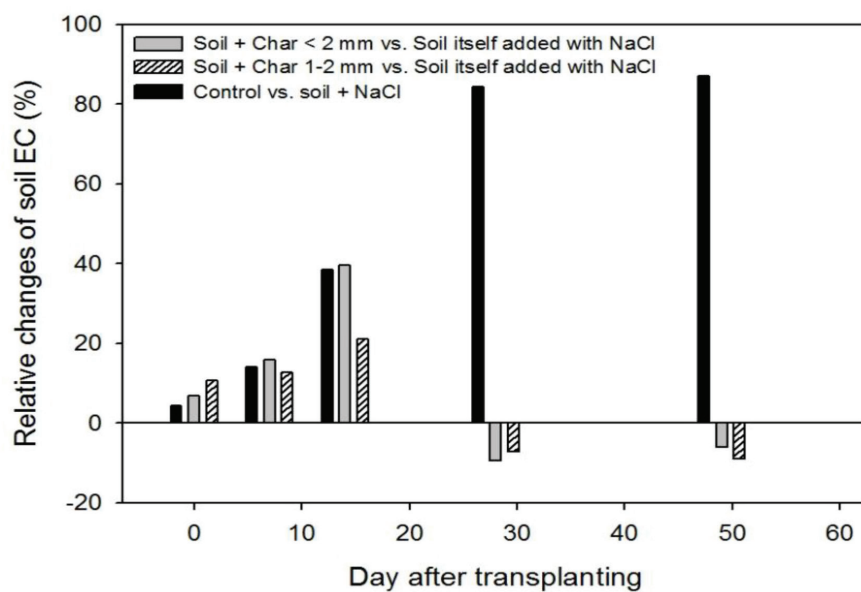


Figure 3 Relative changes of soil EC of salt-affected soils (with NaCl) relative to normal soils (without NaCl)

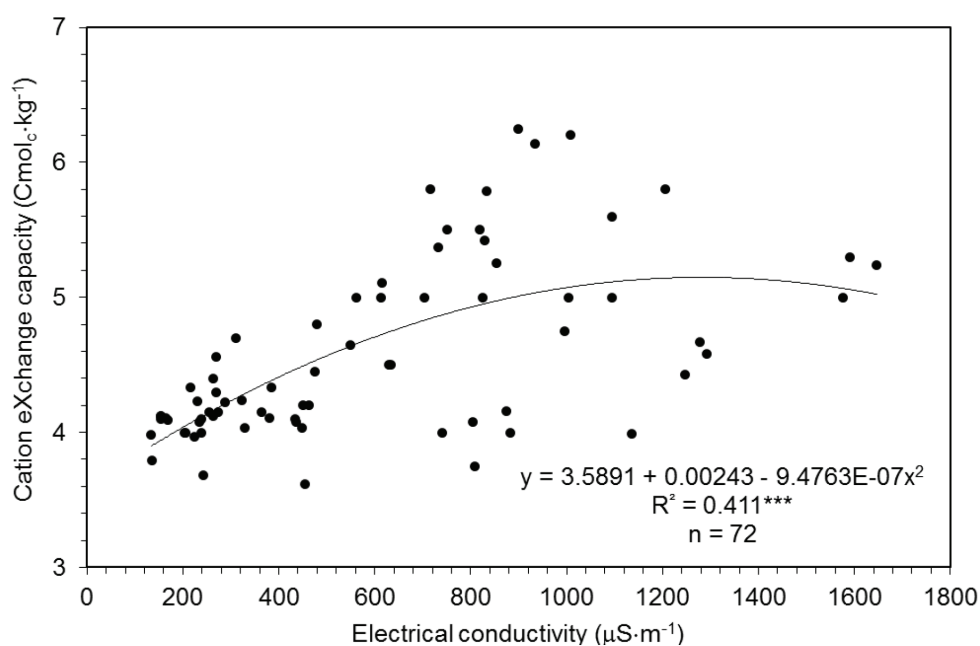


Figure 4 Relationship between cation exchange capacity and electrical conductivity in the topsoil.

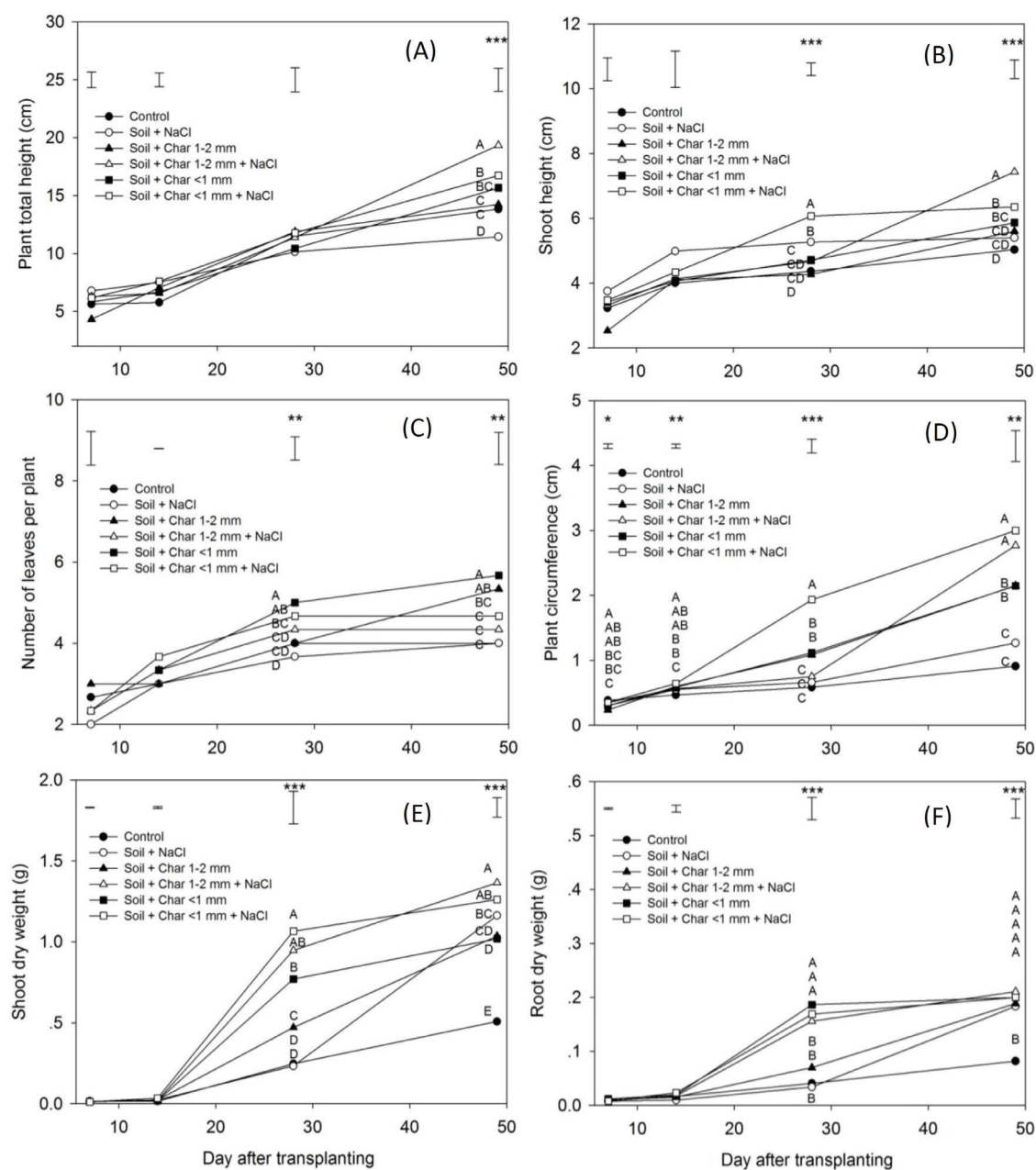


Figure 5 Plant total height (A), shoot height (B), number of leaves per plant (C), plant circumference (D), shoot dry weight (E), and root dry weight (F) of *Brassica chinensis* in normal soils and salt-affected soils treated with char or left untreated treatments. At each sampling date, data followed by the different letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ (LSD). Vertical bars represent standard error of the difference (SED).

สรุป

ถ่านทั้งสองขนาดมีประสิทธิภาพในการลดการเคลื่อนที่ของไอออนสารละลายเกลือสู่ผิวดินชั้นบนได้ในเวลา 49 วันของการทดสอบปลูกพืชไวต่อความเค็มในการศึกษานี้ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างขนาดของถ่านต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินบางประการ ได้แก่ pH และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน การใส่ถ่านทั้ง 2 ขนาด (1-2 mm และ <1mm) ส่งผลให้น้ำใต้ชั้นถ่านมีการเคลื่อนที่ผ่านชั้นถ่านขึ้นสู่ผิวดินชั้นบนได้เร็วกว่าการไม่ใส่ถ่าน อย่างไรก็ตามการใส่ถ่านทั้ง 2 ขนาดภายใต้สภาวะที่มีสารละลายเกลือกลับมีแนวโน้มส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความสูงต้น ความสูงยอด ความกว้างต้น น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งราก มีค่าสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านหรือใส่ถ่านเพียงอย่างเดียวอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากถ่านส่งเสริมให้ธาตุอาหารพืชปลดปล่อยออกสู่สารละลายดินมากขึ้น ผลจากการศึกษานี้ ยังชี้ให้เห็นค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของพืชทดสอบโดยทำให้จำนวนใบของพืชลดลง ค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นในดินไม่ได้เกิดจากสภาวะของการมีสารละลายเกลือในดินเพียงอย่างเดียวแต่สามารถเกิดได้จากการใส่ถ่าน คุณสมบัติของถ่านจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดเคลื่อนที่ของไอออนเกลือ จึงเสนอแนะให้ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ เช่น ชนิดของวัสดุ วิธีการเผา และระยะเวลาที่ใช้ในการเผา ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตได้ เพื่อให้สามารถลดความเค็มของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างยั่งยืน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยบางส่วน ขอขอบคุณ ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยทางการเกษตร (100 ไร่) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ ตัวอย่างดิน และวัสดุอุปกรณ์บางส่วนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. การจัดการแก้ไขปัญหาดินเค็ม. เอกสารทางวิชาการเผยแพร่. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/EPEFju>. ค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2560.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2559. ระบบนำเสนอแผนที่ชุดดิน (Soil Series) มาตรฐาน 1:25,000. ระบบสืบค้นและให้บริการแผนที่ online. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/vKVp4E>. ค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2560.
- บุปผา โตภาคงาม. 2549. ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 263.
- พัชรวิทย์ ธีรจินดาขจร. 2549. หลักและวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมี. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 141.
- Abdul Qados, A.M.S. 2011. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). J. Saudi Soc. Agric. Sci. 10: 7-15.
- Andriolo, J.L., L.D. Gean, H.W. Maiquel, D.S.G. Rodrigo, and O.C.B. Gis. 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. Hortic. Bras. 23: 931-934.
- Antal, M. J., and M. Grønli. 2003. Tha art, science, and technology and charcoal production. Ind. Eng. Chem. Res. 42: 1619-1640.
- Asai, H., B.K. Samson, H.M. Stephan, K. Songyikhangsuthor, Y. Inoue, T. Shiraiwa, and T. Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. Field Crops Res. 111: 81-84.
- Brodowski, S., B. John, H. Flessa, and W. Amelung. 2006. Aggregates-occluded black carbon in soil. Eur. J. Soil Sci. 57: 539-546.

- Brodowski, S., W. Amelung, L. Haumaier, C. Abetz, and W. Zech. 2005. Morphological and chemical properties of black carbon in physical soil fractions as revealed by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. *Geoderma*. 128: 116-129.
- Bronick, C.J., and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 124: 3-22.
- Butnan, S., J.L. Deenik, B. Toomsan, M.J. Antal, and P. Vityakon. 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma*. 237-238: 105-116.
- Cha-Um, S.K., K. Supaibulwattana, and C. Kirdmanee. 2009. Comparative effects of salt stress and extreme pH stress combined on glycinebetaine accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of two rice genotypes. *Rice Sci*. 16: 274-282.
- Chaganti, V.S.N. 2014. Evaluating the Potential of Biochars and Composts as Organic Amendments to Remediate a Saline-Sodic Soil Leached with Reclaimed Water. Ph.D. thesis in Soil and Water Sciences UC Riverside., University of California Riverside, US. 165 p.
- Chan, K.Y., D.P. Heenan, and H.B. So. 2003. Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: a review. *Aust. J. Exp. Arig*. 43: 325-334.
- Chan, K.Y., Z.L. Van, A.I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2008. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Soil Res*. 45: 629-634.
- Cheng C.H, J. Lehmann, J.E. Thies, S.D. Burton, and M.H. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Org. Geochem*. 37: 1477-1488.
- Dantus, B.F., L. Ribeiro, and C.A. Aragao. 2005. Physiological response of cowpea seeds to salinity stress. *Rev. Bras. Sementes*. 27: 144-148.
- Deenik, J. L., A. Diarra, G. Uehara, S. Campbell, Y. Sumiyoshi, and M.J. Antal. 2011. Charcoal ash and volatile matter effects on soil properties and plant growth in an acid Ultisol. *Soil Sci*. 176: 336-345.
- FAO. 1985. Irrigation water management: training manual No. 1 - introduction to irrigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 152 p.
- Gaskin, J.W., C. Steiner, K.C. Harris, C. Das, and B. Bibens. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *T. Asabe*. 51: 2061-2069.
- Hemmes, K., and W.I. Schmidt. 2009. Changes of biochar in soil. pp. 169-182. In: J. Lehmann and S. Joseph (eds). *Biochar for environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, United Kingdoms.
- Jindo, K., H. Mizumoto, Y. Sawada, M.A. Sanchez-Monedero, and T. Sonoki. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*. 11: 6613-6621.
- Kamolmanit, B., and A. Reungsang 2006. Effect of cassava pulp and swine manure compost on growing plants in Greenhouse. *J. water environ. technol.* 4: 9-32.

- Katsuhara, M., K. Kazuki, S. Mineo, H. Yasuyuki, H. Takahiko, and K. Kunihiro. 2003. Over-expression of a barley aquaporin increased the shoot/root ratio and raised salt sensitivity in transgenic rice plants. *Plant Cell Physiol.* 44: 1378-1383.
- Laird, D.A., P. Fleming, D.D. Davis, R. Horton, B. Wang, and D.L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 443-449.
- Lakhdar, A., M. Rabhi, T. Ghnaya, F. Montemurro, N. Jedidi, and C. Abdelly. 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *J. Hazard. Mater.* 171: 29-37.
- Li, J., H. H. Xu, W.C. Liu, X.W. Zhang, and Y.T. Lu. 2015. Ethylene inhibits root elongation during alkaline stress through AUXIN1 and associated changes in auxin accumulation. *Plant Physiol.* 168: 1777-1791.
- Major, J., M. Rondon, D. Molina, S. Riha, and J. Lehmann. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil.* 333: 117-128.
- Maksimović, I., M. Putnik-Delić, I. Gani, J. Marić, and Ž. Ilin. 2010. Growth, ion composition, and stomatal conductance of peas exposed to salinity. *Cent. Eur. J. Biol.* 5: 682-691.
- Manchanda, G., and N. Garg. 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta. Physiologiae. Plantarum.* 30: 595-618.
- Memon, S.A., X. Hou, and L.J. Wang. 2010. Morphological analysis of salt stress response of pak Choi. *EJEAFChe.* 9: 248-254.
- Novak, J.M., I. Lima, B. Xing, J.W. Gaskin, C. Steiner, K.C. Das, M. Ahmedna, D. Rehrah, D.W. Watts, W.J. Busscher, and S. Harry. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy Sand. *Annals Environ. Sci.* 3: 195-206.
- Patil, N.S., V.T. Apradh, and B.A. Karadge. 2012. Effects of alkali stress on seed germination and seedling growth of *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Marechal. *Phcog. J.* 4: 77-80.
- Puttaso, A., P. Vityakon, P. Saenjan, V. Trelo-ges and G. Cadisch. 2011. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 89: 159-174.
- Qadir, M., A. Ghafoor, and G. Murtaza. 2000. Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degrad. Develop.* 11: 501-521.
- Rebellato, L., W.I. Woods, and E.G. Neves. 2009. Pre-Columbian settlement dynamics in the Central Amazon. pp.15-31. In: W.I. Woods, W.G. Teoxeira, J. Lehmann, C. Steiner, A.M.G.A. WinklerPrins and L. Rebellato. *Amazonian Dark Earaths: Wim Sombroek's Vision.* Springer Science+Business Media B.V., London.
- Racey, A. 2009. Mesozoic red bed sequences from SE Asia and the significance of the Khorat Group of NE Thailand. *J. Geol. Soc.* 315: 41-67.

- Rui, L., S. Wei, C. Mu-xiang, J. Cheng-jun, W. Min, and Y. Bo-ping. 2009. Leaf anatomical changes of *Burguiera gymnorhiza* seedlings under salt stress. J. Trop. Subtrop. Bot. 17: 169–175.
- Taffouo, V.D., J.K. Kouamou, L.M.T. Ngalangue, B.A.N. Ndjeudji, and A. Akoa 2009. Effects of salinity stress on growth, ions partitioning and yield of some cowpea (*Vigna unguiculata* L., walp) cultivars. Int. J. Bot. 5: 135–143.
- Taffouo, V.D., O.F. Wamba, E. Yombi, G.V. Nono, and A. Akoe. 2010. Growth, yield, water status and ionic distribution response of three bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) verdc.) landraces grown under saline conditions. Int. J. Bot. 6: 53–58.
- Wu, Y., Xu, G., and H.B. Shao. 2014. Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil. Solid Earth. 5: 665-671.
- Zhang, Y., J.I. Omololu, and E.B. Catherine. 2016. Using agricultural residue biochar to improve soil quality of desert soils. Agriculture. 6: 1-11.