

ถ่านชีวภาพ: ผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนา หว่านน้ำตม (การทดสอบในสภาพกระถาง)

Biochar: Its effect on soil properties and growth of wet-direct seeded rice (A pot trial)

จาวภา มะนาวนอก¹, สันติไมตรี ก้อนคำดี¹, เกษสุดา เดชภิมล², วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ¹
และ ดร.ณิ โชติธัญญางกูร^{1*}

Jawapa Manaonok¹, Santimaitree Gonkhamdee¹, Ketsuda Dejbhimon²,
Wanwipa Kaewpradit Polpinit¹ and Darunee Jothityangkoon^{1*}

บทคัดย่อ: ถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (biochar) ได้รับความสนใจในการนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงสามารถดูดซับน้ำ และธาตุอาหารได้ดี วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม ระหว่างปี 2555-2556 ประกอบด้วย 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินในสภาพบ่อซีเมนต์ ณ หนองพิสัย หนองเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทดลองในฤดูแล้ง ระหว่างเดือน มกราคม-เมษายน พ.ศ.2555 ใช้แผนการทดลองแบบ split plot in RCBD จำนวน 3 ซ้ำโดย main plot คือ พันธุ์ข้าวนาสวนที่ไม่ไวต่อช่วงแสง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 ส่วน sub plot คือ ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ และ ใส่ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัม/ไร่ และทำการทดลองซ้ำในปี 2556 ในสภาพกระถาง ผลการทดลองพบว่า ในการทดลองที่ 1 การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ดินมี pH สูงขึ้น มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่มีอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงจาก ส่วนค่าการนำไฟฟ้า และ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าใกล้เคียงกันระหว่างดินก่อนปลูก ส่วนผลต่อการเจริญเติบโต พบการตอบสนองไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองการทดลอง โดยการใช้ถ่านชีวภาพมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะแรก ที่อายุ 30 และ 45 วันหลังหว่านข้าว โดยทำให้ข้าวมีความสูง จำนวนหน่อ/ต้น พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน สูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ถ่านชีวภาพ แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในระยะต่อมา พบผลของการใส่ถ่านชีวภาพในทางลบต่อการพัฒนาของรากข้าว โดยเฉพาะในพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งมีรากสะสมน้ำหนักแห้งรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะ 75 วันหลังปลูกในการทดลองที่ 2

คำสำคัญ: ไบโอชาร์, ไฟโรไลซิส, พลังงานชีวมวล, ความอุดมสมบูรณ์ของดิน, ข้าวนาหว่าน

ABSTRACT: Biochar has been used to improve soil fertility because it contains high in porosity that can influence on water holding capacity and the adsorption of nutrients. The aims of this experiment were to investigate the effects of biochar application on soil properties and on growth of wet-direct seeded rice. Two pot experiments were conducted between 2012-2013 at Field Crop Research Station, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. Experiment 1

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University 40002

² ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Agricultural Development Research Center in Northeast: Research Annex (ADRC Annex), Faculty of Agriculture, Khon Kaen University 40002, Thailand

* Corresponding author: darcho@kku.ac.th

was done in cement pot between January-April 2012 using split plot in RCBD with three replications. Main plot was two non-photosensitive varieties, Pathum Thani 1 and Chai Nat 1 while subplot was the application of biochar, control (no biochar) and 500 kg/rai or 3.125 t/ha. Experiment was repeated in 2013. The results revealed that, in Experiment 1, biochar application in soil increased soil pH, exchangeable Ca and available P but decrease organic matter, total nitrogen and exchangeable K, while electrical conductivity (EC) and cation exchange capacity (CEC) were not altered. In term of growth, both experiments revealed similar results as biochar improved rice growth at early growth stages, 30 and 45 days after seeding (DAS); It significantly increased height, tiller number per plant, leaf area per plant and shoot dry weight, compared to the control treatment. However, there was no beneficial effect of biochar application at later growth stages. Negative effect of biochar on root development was evident in Chainat 1 as root dry weight accumulation at 75 DAS was significantly decreased in Experiment 2.

Keywords: Biochar, Pyrolysis, Biomass energy, Soil fertility, Direct-seeded rice

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิต และส่งออกข้าว รายใหญ่ของโลก มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมด ประมาณ 73 ล้านไร่ โดยในปี 2556 มีผลผลิต/ไร่ เฉลี่ย 504 กิโลกรัม/ไร่ และ 486 กิโลกรัม/ไร่ ในปี 2557 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตเฉลี่ย/ไร่ ของข้าวยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำซึ่งมีสาเหตุหลายประการ เช่น พื้นที่การผลิตข้าวส่วนหนึ่งอาศัยน้ำฝน ทำให้ประสบปัญหาสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ฝนไม่ตกตามฤดูกาล เกิดภัยแล้ง บางปีประสบภัยน้ำท่วม นอกจากนี้ สภาพดินเสื่อมโทรมจากการใช้พื้นที่อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เป็นแหล่งผลิตข้าวคุณภาพเพื่อการส่งออกที่สำคัญ ประสบกับปัญหาดินขาดความอุดมสมบูรณ์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552)

ถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์ (biochar) เกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุธรรมชาติ ในสภาพที่มีออกซิเจนจำกัด ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) ซึ่งมี 2 วิธี คือ การแยกสลายอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 700 องศาเซลเซียส และการแยกสลายอย่างช้า ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 500 องศาเซลเซียส (Winsley, 2007) ถ่านชีวภาพใช้ในความหมายแตกต่างจากถ่านทั่วไป (charcoal) ที่ประโยชน์ของการใช้งาน กล่าวคือ charcoal หมายถึงถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนถ่านชีวภาพ หมายถึงถ่านที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (อรสา, 2549) ประเทศไทยมีวิถีชีวิตที่ผูกพันกับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชนบท ประกอบกับการส่งเสริมให้มีการทำปลูกป่า เช่น

ไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ ทำให้มีไม้ที่ไม่ได้ขนาด หรือขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้ครัวเรือนจำนวนมากมีการเผาถ่าน เพื่อใช้เป็นพลังงานในครัวเรือน นำมาซึ่งการพัฒนาเผาถ่านให้มีประสิทธิภาพสูง มีการดัดแปลงทำเตาเผาจากถังน้ำมัน 200 ลิตร เพื่อความสะดวกง่าย และประหยัด (จิระพงษ์, 2548) ในปัจจุบันได้มีความสนใจในการนำถ่านมาใช้เพื่อประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น ในการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) ลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกไม่ให้ออกสู่ชั้นบรรยากาศ (อรสา, 2549) หรือใช้เป็นสารปรับปรุงดิน (soil amendment) (Lehmann et al., 2003; Lehmann, 2007) ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มผลผลิตของพืชผ่านการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้โดยตรงจากการที่ถ่านมีธาตุอาหาร หรือ มีผลต่อโครงสร้างของดิน ลักษณะเนื้อดินช่องว่างในดิน เพิ่มความจุในการอุ้มน้ำ และลดความหนาแน่นของดิน (Warnock et al., 2007; Atkinson et al., 2010) สร้างสภาพแวดล้อมเป็นแหล่งสะสมอาหารให้จุลินทรีย์ (Krull et al., 2010) ส่งผลทำให้การส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตดีขึ้น (Hammes and Schmidt, 2009)

การใส่ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มผลผลิตข้าว (Haefele et al., 2011) และข้าวโพดได้ (Major et al., 2010) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพมีผลทั้งทางบวก ทางลบ หรือไม่มีผลต่อผลผลิตของพืช ซึ่งสาเหตุของการตอบสนองที่หลากหลาย อาจเนื่องจากความแตกต่างของชนิดวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตถ่าน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลทำให้ความพรุนแตกต่างกัน ส่งผล

ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการหมุนเวียนธาตุอาหารที่แตกต่างกัน (Downie et al., 2009) นอกจากนี้ถ่านชีวภาพที่ผลิตในสภาพอุณหภูมิต่ำ มักจะมีค่า CEC สูงกว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตในสภาพอุณหภูมิสูง (มากกว่า 600 องศาเซลเซียส) ทำให้ความสามารถในดูดซับธาตุอาหารลดลง (Chan et al., 2007; Lehmann, 2007) รวมทั้งระดับความอุดมสมบูรณ์ชนิดของดิน การจัดการร่วมกับการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ อัตราการใส่ถ่านชีวภาพ และชนิดพืช อาจส่งผลต่อการตอบสนองที่แตกต่างกัน ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัสต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน และเจริญเติบโตของข้าวใน สภาพนาหว่านน้ำตาม ซึ่งเป็นวิธีการปลูกข้าวที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงาน แรงงานมีราคาแพง และความแปรปรวนของการตกของฝน โดยเป็นการทดสอบในสภาพกระถาง

วิธีการศึกษา

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาในสภาพบ่อซีเมนต์ ระหว่างเดือน มกราคม-มิถุนายน 2555 วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้ โดย main plot คือ ข้าวนาสวนที่ไม่ไ้ต่อช่วงแสง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 ส่วน sub plot เป็นการใส่ถ่านชีวภาพ ได้แก่ ไม่ใส่ถ่าน (กรรมวิธีควบคุม) และใส่ถ่านอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ดำเนินการศึกษา ณ หนองพิชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1.1 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ: ถ่านชีวภาพที่นำมาใช้ในงานทดลองนำมาจากสวนปามัญจาศิริ ตำบลโนนเทา อำเภอมัญจาศิริ จังหวัดขอนแก่น สังกัดองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ไม้ที่นำมาผลิตถ่าน คือ ไม้ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) โดยเผาแบบวิธีพื้นบ้าน ใช้เตาดินเหนียวตามวิธีปฏิบัติของชาวบ้าน อุณหภูมิเผาประมาณ 350

องศาเซลเซียส ปราศจากออกซิเจน หรือมีออกซิเจนน้อย ใช้เวลาเผา 3 วัน ทั้งไ้จนเย็น หลังจากนั้นนำถ่านมาบดให้มีขนาดเล็กละเอียดร่อนผ่านตะแกรงรูลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-5 มิลลิเมตร โดยถ่านชีวภาพมีค่าสารระเหย (volatile matter, VM) 35.79 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้า 2.35 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 5.41 g/kg แมกนีเซียม 0.43 g/kg โพแทสเซียม 5.10 g/kg และฟอสฟอรัส 0.51 g/kg มี pH 6.52 ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว รายงานโดย Butnun et al. (2015) ซึ่งใช้ถ่านชุดเดียวกัน และจากแหล่งผลิตเดียวกัน

1.2 การเตรียมดิน: ใช้ดินจากแปลงนาเกษตรกรบ้านม่วง ต.บ้านพุ่ม อ.เมือง จ.ขอนแก่น นำมาตาก และบรรจุดินใส่บ่อซีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร บ่อละ 3/4 ส่วนของความสูงของบ่อซีเมนต์ ประมาณ 50 กิโลกรัม ใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ (196 กรัม/บ่อ) ในกรรมวิธีที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ และทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ (118 กรัม/บ่อ) คลุกเคล้าให้เข้ากันกับดินก่อนปลูก 7 วัน

1.3 การปลูก และการดูรักษา: นำเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากฤดูปลูกการผลิตฤดูฝน ปี 2554 มาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และบ่มอีก 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติของเกษตรกร หว่านเมล็ดข้าวลงบ่อซีเมนต์โดยใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ (7.87 กรัม/บ่อ) โดยปลูกข้าวเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2555 หลังปลูก ให้น้ำที่ระดับความความจุความชื้นสนาม โดยคำนวณปริมาณความต้องการและการระเหยของน้ำจากผิวดินตามวิธีของ Doorenbos and Pruitt (1992) และ Singh and Russell (1981) ตามลำดับเป็นเวลา 14 วันหลังปลูก แล้วจึงรักษาระดับน้ำเหนือผิวดินที่ 5-10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก เมื่อข้าวมีอายุ 60 วัน ใส่ปุ๋ยมูลไก่ครั้งที่ 2 ในอัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ (39.37 กรัม/บ่อ) กำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคน 1 ครั้ง ที่อายุ 45 วันหลังหว่านข้าว ไม่มีการใช้สารเคมีป้องกันโรค และแมลง เนื่องจากไม่พบการระบาดของโรค และแมลงในช่วงของการทดลอง

1.4 การเก็บข้อมูล

1.4.1 ข้อมูลดิน: สุ่มเก็บตัวอย่างดิน ก่อนปลูก และหลังปลูก ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ตากดินให้แห้ง (air dried) บด และร่อนด้วย ตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh) เพื่อนำมาวิเคราะห์หา คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน หรือ pH ($1:2.5\text{H}_2\text{O}$) โดยวิธี pH meter (potentiometric method) (Black, 1965) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี micro-Kjeldahl method (Black, 1965) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity; EC) โดยวิธี EC meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter; OM) โดยวิธี wet oxidation ของ Walkley and Black (1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยวิธี Bray II method (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณ โพแทสเซียมและแคลเซียมที่สกัดได้ (extractable K, Ca) โดยวิธี 1N ammonium acetate pH 7.0 extraction วัดด้วยเครื่อง Flame photometer (Black, 1965) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity: C.E.C.) โดยวิธี Ammonium saturation (Schollerger and Simmon, 1945) และทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน เฉพาะก่อน ปลูก

1.4.2 ข้อมูลพืช: เก็บตัวอย่างข้าว จำนวน 5 ต้น/กรรมวิธี ที่ระยะ 30, 45, 60 และ 75 วัน หลังปลูก เพื่อวัดความสูง นับจำนวนหน่อ/ต้น วัดพื้นที่ ใบโดยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (LD 3100) วัดค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทางอ้อม (SPAD chlorophyll meter reading; SCMR) ด้วยเครื่อง SPAD-502 Minolta, Tokyo, Japan โดยวัดที่ใบธง บริเวณโคน กลาง และปลายใบ หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะ คงที่ เพื่อหาน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักแห้ง ราก

1.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล: วิเคราะห์ ความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลอง เปรียบ เทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Least Significant Difference

(LSD) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Statistix 8

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาในสภาพกระถาง ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน 2556

วางแผนการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยใช้ดินที่เก็บจากแปลงปลูกครั้งเดียวกันกับการ ทดลองที่ 1 บรรจุดินใส่กระถางพลาสติกสีดำ ขนาดเส้น ผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร (11 กิโลกรัม/กระถาง) พร้อมใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ (42.19 กรัม/กระถาง) ในกรรมวิธีที่มีการใส่ ถ่าน และปุ๋ยมูลไก่อัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ (25.31 กรัม/ กระถาง) ในทุกกรรมวิธี คลุกเคล้าให้เข้ากันกับดินก่อน ปลูก 7 วัน นำเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากฤดูปลูก ฤดูฝน ปี 2555 มาแช่เมล็ดด้วยน้ำตามวิธีเกษตรกร เช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 โดยใช้เมล็ดพันธุ์ 5 เมล็ดปลูกลงกระถาง ปลูกข้าวเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2556 เมื่อครบ 14 วันหลังปลูกถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/กระถาง และให้น้ำตามเช่นเดียวกันกับการทดลอง ที่ 1 เมื่อข้าวอายุ 60 วัน ใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 100 กิโลกรัม/ ไร่ (8.44 กรัม/กระถาง) อีกครั้งหนึ่ง และกำจัดวัชพืช โดยใช้แรงงานคน 1 ครั้ง ที่อายุ 45 วันหลังหว่าน การ เก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการเช่นเดียวกัน กับการทดลองที่ 1 ยกเว้นเก็บตัวอย่าง จำนวน 1 ต้น/ข้าว โดยทุกกรรมวิธี มีการเพิ่มจำนวนกระถางให้มีจำนวน เพียงพอเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล แต่ละครั้ง โดยมี จำนวนกระถางทั้งหมด 96 กระถาง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การทดลองที่ 1 ปี พ.ศ. 2555

1.1 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติ ของดิน: ดินที่นำมาใช้ในการทดลอง มีลักษณะเนื้อดิน เป็นดินทราย ประกอบด้วย sand 85.93 เปอร์เซ็นต์, silt 11.78 เปอร์เซ็นต์ และ clay 2.29 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 5.27 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter, OM) เท่ากับ 0.739 เปอร์เซ็นต์ ค่า การนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) 0.036 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน 0.028

เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 7.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 43.86 และ 320 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cation exchange capacity; CEC) เท่ากับ 2.559 เซนติโมล/กิโลกรัม (Table 1) หลังการไถ่ถอนชีวภาพ พบว่า ดินหลังปลูกดินมี pH สูงขึ้นจาก 5.27 เป็น 7.43 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มเป็น 9.32 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เพิ่มขึ้นจาก 320 เป็น 413 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่มีอินทรีย์วัตถุในดินลดลง เหลือเพียง 0.43 เปอร์เซ็นต์ จาก 0.739 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินลดลงจาก 0.03 เป็น 0.01 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ลดลงจาก 43.86 เหลือเพียง 37.66 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) และ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC) มีค่าใกล้เคียงกันระหว่างดินก่อนปลูก และหลังปลูก (Table 1)

1.2 ผลของการไถ่ถอนชีวภาพต่อการเจริญเติบโต

เติบโต: การไถ่ถอนชีวภาพทำให้ข้าวมีความสูงแตกต่างกันที่อายุ 45 วันหลังปลูกข้าว แต่ไม่พบความแตกต่างในระยะอื่นๆ และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 มีการตอบสนองไปในทิศทางเดียวกัน (Table 2) ส่วนผลต่อจำนวนหน่อ/ต้น และพื้นที่ใบ พบว่าการไถ่ถอนชีวภาพทำให้ข้าวมีจำนวนหน่อ และพื้นที่ใบสูงกว่าข้าวที่ปลูกโดยไม่มีการไถ่ถอนชีวภาพที่อายุ 45 วันหลังปลูก นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีจำนวนหน่อและพื้นที่ใบ มากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อายุ 30 ถึง 45 วันหลังปลูก แต่ไม่พบความแตกต่างในระยะอื่นๆ (Table 2) การไถ่ถอนชีวภาพไม่ทำให้ข้าวมีปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์ (SCMR) แตกต่างกันในทุกระยะการเจริญเติบโต ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่า SCMR สูงกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อายุ 75 วันหลังปลูก (Table 3) ส่วนผลต่อการสะสมน้ำหนักรวมส่วนเหนือดิน พบว่า การไถ่ถอนชีวภาพไม่มีผลต่อการสะสมน้ำหนักรวม (Table 3) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า

มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและการไถ่ถอนชีวภาพที่ระยะ 30 วันหลังปลูก โดยการไถ่ถอนชีวภาพทำให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีการสะสมน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 สะสมน้ำหนักรวมส่วนเหนือดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Table 4) การไถ่ถอนชีวภาพทำให้ข้าวมีน้ำหนักรวมแตกต่างกันที่อายุ 30 วันหลังปลูก โดยการไถ่ถอนทำให้ข้าวมีการสะสมน้ำหนักรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ 30 วันหลังปลูก แต่ไม่พบอิทธิพลที่ระยะอื่น และข้าวทั้งสองพันธุ์ตอบสนองต่อการไถ่ถอนชีวภาพเหมือนกัน (Table 3)

2. การทดลองที่ 2 ปี พ.ศ. 2556

2.1 ผลของการไถ่ถอนชีวภาพต่อการเจริญเติบโต

เติบโต: ไม่พบอิทธิพลของการไถ่ถอนชีวภาพต่อความสูงของข้าวในทุกระยะการเจริญเติบโต (Table 5) นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันในด้านความสูง โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความสูงโดยเฉลี่ยมากกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อายุ 45, 60 และ 75 วันหลังปลูก (Table 5) การไถ่ถอนชีวภาพทำให้ข้าวมีจำนวนหน่อเพิ่มขึ้นที่อายุ 45 วันหลังปลูก แต่ไม่พบความแตกต่างในระยะอื่นๆ และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 มีการตอบสนองไปในทิศทางเดียวกัน (Table 5) การไถ่ถอนชีวภาพทำให้ข้าวมีพื้นที่ใบแตกต่างกัน ที่อายุ 30 วันหลังปลูก โดยกรรมวิธีไม่ไถ่ถอนชีวภาพทำให้ข้าวมีพื้นที่ใบมากกว่าการไถ่ถอน อย่างไรก็ตามการไถ่ถอนชีวภาพมีแนวโน้มทำให้พื้นที่ใบของข้าวเพิ่มขึ้นในระยะต่อมา แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (Table 5) พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและการไถ่ถอนชีวภาพต่อพื้นที่ใบ ที่อายุ 60 วันหลังปลูก โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเมื่อไถ่ถอนชีวภาพอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่ในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 การไถ่ถอนชีวภาพไม่ทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น แต่กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) การไถ่ถอนชีวภาพไม่มีผลต่อปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์ที่ประเมินจากค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ในทุกระยะการ

เจริญเติบโต เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่า SCMR มากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกๆระยะการเจริญเติบโต (Table 7)

การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินแตกต่างกัน (Table 7) โดยการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อายุ 30 และ 45 วันหลังปลูก มีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลับลดลงที่ 60 วันหลังปลูก และไม่พบความแตกต่างที่ 70 วันหลังปลูก (Table 8) ในขณะที่พบการตอบสนองในทางตรงกันข้ามในพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ข้าวสะสมน้ำหนักแห้งลดลงในช่วงแรก ที่อายุ 30 และ 45 วันหลังปลูก แต่เพิ่มขึ้นที่ 60 วันหลังปลูก และไม่พบอิทธิพลของการใส่ถ่านชีวภาพที่ 75 วันหลังปลูก (Tables 7, 8) การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งรากแตกต่างกันที่อายุ 45 และ 75 วันหลังปลูก (Table 7) โดยการใส่ถ่านชีวภาพ ทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขึ้นที่ 45 วันหลังปลูก แต่ไม่พบความแตกต่างในระยะต่อมา (Tables 7, 9) และที่ระยะเดียวกัน (45 วันหลังปลูก) กลับพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพทำให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีการสะสมน้ำหนักแห้งรากลดลง อย่างมีนัยสำคัญที่ระยะ 75 วันหลังปลูก พบว่าการใส่ถ่านไม่ช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้งของรากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แต่การใส่ถ่านชีวภาพ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของรากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ลดลงเช่นเดียวกับเมื่อ 45 วันหลังปลูก (Tables 7, 9)

การใส่ถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน: การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ดินหลังปลูกมีค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ สูงกว่าดินก่อนปลูก ซึ่งสอดคล้องกับ Van Zwieten et al. (2007) ที่พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพกับดินเขตร้อนทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น ค่า pH เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ถ่านชีวภาพในดินทรายสามารถช่วยเพิ่ม pH ของดินเช่นกัน (Streubel et al., 2011) อย่างไรก็ตาม มีรายงานที่พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพทำให้ pH ลดลง โดย Gaskin et al. (2010) ในขณะที่ Chan et al. (2007) และ

Major et al. (2010) รายงานว่า แคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าแคลเซียมมีปริมาณลดลง ซึ่งรวมทั้งปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่ลดลง แม้ว่าจะมีงานทดลองจำนวนมากที่รายงานว่า ถ่านชีวภาพสามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Warnock et al., 2007; Chan et al., 2007; Atkinson et al., 2010) แต่ผลการทดลองนี้ มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ดินหลังปลูก มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุลดลง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากชนิดของดิน หรือสภาพการผลิต ชนิดของถ่านชีวภาพ อุณหภูมิในการเผา และอัตราการใส่ถ่านชีวภาพ (Butnan et al., 2015)

ในประเด็นของชนิดดิน หรือสภาพการผลิต ซึ่งข้าวเป็นพืชที่ปลูกในสภาพน้ำขัง การเปลี่ยนแปลงของดินภายใต้สภาพน้ำขัง หรือดินนามีความแตกต่างจากดินในสภาพไร่ ซึ่งงานทดลองส่วนใหญ่ทำในสภาพดินที่ไม่มีน้ำขัง อาจเป็นสาเหตุทำให้ผลการทดลองได้มีความแตกต่างกันในส่วนของคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ใช้ ถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ ทำจากไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งใช้เตาเผาแบบดั้งเดิม มีค่า pH 6.52 ดังนั้นการใส่ถ่านชีวภาพจึงมีส่วนทำให้ดินหลังปลูก มีค่า pH เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม มีรายงานการศึกษาที่พบความแตกต่างของผลการใส่ถ่านชีวภาพ โดยพบว่าทั้งทำให้ pH ของดิน เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง ซึ่งน่าจะ เนื่องมาจากทำมาจากวัสดุที่ต่างกัน มีค่าตั้งแต่ 4.6-11.84 (Dong et al., 2016) และถ่านชีวภาพที่มาจากวัสดุเดียวกัน แต่เผาที่อุณหภูมิที่ต่างกัน ทำให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีค่า pH ต่างกัน โดยถ่านชีวภาพที่ทำจากไม้ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 200, 400 และ 600 องศาเซลเซียส มีค่า pH 4.6, 6.9 และ 9.5 ตามลำดับ (Zhang et al., 2015) ดังนั้นคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ใช้ จึงมีผลต่อค่า pH ของดิน และค่า pH ของดินส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร (Mengel and Kirkby, 2001) การใส่ถ่านชีวภาพไม่สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อาจมีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น อัตราการใส่ถ่านชีวภาพในการทดลองนี้ อยู่ในอัตราที่ต่ำ ซึ่งตาม

รายงานสรุปของ Dong et al. (2016) ซึ่งมีการใส่ถ่านชีวภาพ ซึ่งทำมาจากวัสดุที่แตกต่างกัน ในอัตราตั้งแต่ 0.50 ตัน/เฮกตาร์ หรือ 80 กิโลกรัม/ไร่ ถึง 136.75 ตัน/เฮกตาร์ หรือ 21.88 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การใส่ถ่านชีวภาพไม่สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และมีแนวโน้มทำให้อินทรีย์วัตถุในดินลดลง

การใส่ถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าว

ผลของการทดสอบทั้ง 2 ฤดู มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยการใส่ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต โดยการเพิ่มการแตกกอ พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน เฉพาะในระยะแรก คือ ที่ 30 และ 45 วันหลังหว่าน หลังจากระยะนี้แล้วไม่พบอิทธิพลของการใส่ถ่านชีวภาพ ในส่วนของรากพบว่า การใส่ถ่านทำให้ข้าวมีการสะสมน้ำหนักแห้งรากลดลงที่ระยะ 30 วันหลังหว่าน และไม่พบอิทธิพลหลังจากนั้น และข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ถ่านชีวภาพที่แตกต่างกัน และในพันธุ์เดียวกัน แต่ต่างฤดูปลูกก็พบการตอบสนองที่ต่างกัน ในการทดลองนี้ แม้การใส่ถ่านชีวภาพ จะทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินบางประการเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีค่าการนำไฟฟ้าของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ สูงขึ้น และถ่านชีวภาพเอง ก็เป็นแหล่งของธาตุอาหาร แต่อัตราการใส่อาจจะไม่มากพอที่จะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช หรือส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของดินที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้ ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับ รายงานของ วิชัย และคณะ (2554) ที่ศึกษาผลของชนิด และอัตราของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของข้าวปทุมธานี 1 ในดินทรายที่มีความเป็นกรดสูงพบว่า แปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพกับแปลงควบคุมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และในการศึกษาในข้าวโพด โดย Major et al. (2010) และ Jones et al. (2012) ที่รายงานว่า การใส่ถ่านชีวภาพไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ซึ่งผลของการใส่ถ่านชีวภาพในการผลิตพืชมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับชนิดพืช และอัตราการใส่ถ่านชีวภาพ (Jeffery et al., 2011) ซึ่งอัตรา

ที่ใช้ในการทดลองนี้ อยู่ที่ 500 กิโลกรัม/ไร่ อาจเป็นอัตราที่ต่ำเกินไป ในขณะที่ ทัพไท และคณะ (2556) ที่ศึกษาอัตราการใช้ถ่านชีวภาพในข้าวนาสวนโดยวิธีปักดำพบว่า ถ่านชีวภาพอัตรา 2,560 กิโลกรัม/ไร่ สามารถเพิ่มจำนวนหน่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากอัตราการใส่ถ่านชีวภาพจะมีความสำคัญต่อการตอบสนองของพืชแล้ว การจัดการถ่านชีวภาพรวมกับการจัดการปุ๋ยก็มีส่วนสำคัญ โดยใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำหรือต่ำกว่าอัตราแนะนำของพืชชนิดนั้นๆ (Vinh et al., 2014)

การใส่ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มที่ทำให้รากพัฒนาได้ช้าลง ซึ่งมีการรายงานผลทางลบของถ่านต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่นกัน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีสารระเหย หรือมีสารประกอบฟีนอลเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง ที่อาจเป็นอันตรายต่อรากออก หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน หรือสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ (Warnock et al., 2007) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญเติบโตในระยะแรก นอกจากนี้ คุณสมบัติการดูดซับ และการปลดปล่อยธาตุอาหารของถ่านชีวภาพ อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งควรจะต้องมีการศึกษา เพื่อนำมาสู่การจัดการที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในการทดลองครั้งนี้ ไม่ได้เก็บข้อมูลผลผลิต เนื่องจากเป็นการทดลองในฤดูแล้งในสภาพเปิด และบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงไม่มีพืชอื่นปลูก ทำให้มีศัตรูธรรมชาติ อาทิ นก หนู เข้าทำลายผลผลิต ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ได้

สรุป

การใส่ถ่านชีวภาพ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน และมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะแรก หรือระยะต้นกล้าที่อายุ 30 และ 45 วันหลังหว่านข้าว โดยทำให้ข้าวมีความสูง จำนวนหน่อ/ต้น พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน สูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ถ่านชีวภาพ แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในระยะต่อมา นอกจากนี้ยังพบผลในทางลบต่อการพัฒนาของรากข้าว โดยเฉพาะในพันธุ์ชัยนาท 1

Table 1 Effect of biochar addition into soil on pH, E.C., O.M., total N, available P, exchangeable K, exchangeable Ca and CEC of soil in Experiment 1

Treatment	pH	E.C. (mS/cm)	O.M. (%)	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	Exchangeable Ca (mg/kg)	CEC
Before seeding	5.27	0.04	0.739	0.03	7.83	43.86	320	2.56
After harvest	7.43	0.05	0.43	0.01	9.32	37.66	413	2.57

Table 2 Effect of biochar addition into soil on height, tiller per plant and leaf area (LA) of rice var. Pathum Thani 1 and Chai Nat 1 in Experiment 1

Treatment	Height (cm) at DAS				Tiller per plant at DAS				LA (cm ² /plant) at DAS			
	30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75
Variety(V)												
Pathum Thani 1	32.33	39.83	42.90	47.33	1.73 a	2.53 a	2.50	2.07	27.81 a	57.33	52.15	51.32
Chai Nat 1	28.83	32.77	37.57	38.00	1.10 b	2.17 b	2.53	2.00	19.70 b	37.45	50.94	40.61
Biochar (B)												
0 (control)	29.93	33.73 b	42.90	39.87	1.40	2.00 b	2.40	2.17	24.42	38.06 b	46.56	44.36
3.125 t/ha	31.23	38.87 a	37.57	45.47	1.43	2.70 a	2.63	1.90	23.09	56.72 a	56.53	47.58
F-test V	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	**	ns	ns	ns
B	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	*	ns	ns
V X B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)												
V	6.87	8.63	12.41	13.34	21.57	6.50	20.00	38.20	6.03	47.30	9.46	19.62
B	7.32	8.22	15.75	28.29	23.76	15.14	17.47	18.18	11.26	25.53	21.89	8.64

DAS = days after seeding

ns, *, ** = not significant, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.1$, respectivelyMeans in the same column with different letters are significantly different at $P \leq 0.1$ by LSD**Table 3** Effect of biochar addition into soil on chlorophyll content (SCMR), shoot dry weight and total root dry weight of rice var. Pathum Thani 1 and Chai Nat 1 in Experiment 1

Treatment	SCMR at DAS				shoot dry weight (g/plant) at DAS				Total root dry weight (g/plant) at DAS			
	30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75
Variety(V)												
Pathum Thani 1	19.09	24.24	21.91	24.51 b	0.189 a	0.615 a	1.003	1.287 a	0.042	0.127	0.217	0.220
Chai Nat 1	23.09	28.08	24.26	30.34 a	0.133 b	0.369 b	0.962	0.937 b	0.032	0.095	0.233	0.203
Biochar (B)												
0 (control)	22.35	26.03	23.04	26.81	0.172	0.441	0.929	1.055	0.045 a	0.114	0.200	0.232
3.125 t/ha	19.82	26.29	23.13	28.03	0.151	0.543	1.036	1.170	0.029 b	0.107	0.250	0.191
F-test V	ns	ns	ns	*	**	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
V X B	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)												
V	25.39	17.89	18.99	12.20	12.58	27.50	13.70	8.02	42.99	21.92	52.89	25.70
B	15.58	13.84	20.25	16.46	14.36	27.46	28.29	44.24	28.24	30.30	26.62	42.61

DAS = days after seeding, ns, *, ** = not significant, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.1$, respectively.Means in the same column with different letters are significantly different at $P \leq 0.1$ by LSD

Table 4 Interaction between variety and biochar application on shoot dry weight in Experiment 1

Variety	Biochar	shoot dry weight (g/plant) at 30 DAS
PathumThani 1	0 (control)	0.215
	3.125 tons/ha	0.163
Chainat1	0 (control)	0.129
	3.125 tons/ha	0.138
LSD (0.1)		0.02

LSD = Least Significant Difference, DAS = days after seeding

Table 5 Effect of biochar addition into soil amendment on height, tiller per plant and leaf area (LA) of rice var. Pathum Thani 1 and Chai Nat 1 in Experiment 2

Treatment	Height (cm) at DAS				Tiller per plant at DAS				LA (cm ² /plant) at DAS			
	30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75
Variety(V)												
Pathum Thani 1	38.94	43.78 b	48.94 b	58.78 b	8.7	9.0	9.7	6.0	124.88 a	120.29	199.29 b	220.91
Chai Nat 1	39.89	50.72 a	61.56 a	73.28 a	6.3	8.6	9.9	6.3	64.03 b	148.70	305.00 a	265.53
Biochar (B)												
0 (control)	41.33	46.67	54.83	66.06	8.2	7.6 b	9.6	6.2	116.19 a	115.00	236.14	232.72
3.125 t/ha	37.50	47.83	55.67	66.00	6.9	10.0 a	10.0	6.0	72.71 b	153.99	268.15	253.72
F-test V	ns	*	**	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns
B	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	ns
V X B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
CV (%) V												
B	4.90	6.53	6.20	11.38	29.29	29.45	26.60	9.90	16.66	28.72	16.57	13.44
B	8.58	3.11	5.89	5.17	36.58	21.73	14.66	24.60	13.63	26.30	12.31	17.22

DAS = days after seeding

ns, *, ** = not significant, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.1$, respectivelyMeans in the same column with different letters are significantly different at $P \leq 0.1$ by LSD**Table 6** Interaction between variety and biochar application on leaf area in Experiment 2

Variety	Biochar	LA (cm ² /plant) at 60 DAS
PathumThani 1	0 (control)	216.25
	3.125 t/ha	182.33
Chainat 1	0 (control)	256.02
	3.125 t/ha	353.97
LSD (0.1)		31.19

LSD = Least Significant Difference, DAS = days after seeding

Table 8 Interaction between variety and biochar application on shoot dry weight in Experiment 2

Treatment		Shoot dry weight (g/plant)		
Variety	Biochar	30 DAS	45 DAS	60 DAS
PathumThani 1	0 (control)	0.980	1.318	3.400
	3.125 t/ha	1.930	2.313	2.637
Chainat 1	0 (control)	2.861	3.411	3.458
	3.125 t/ha	2.536	2.800	4.543
LSD (0.1)		0.21	0.31	0.73

LSD = Least Significant Difference, DAS = days after seeding

Table 9 Interaction between variety and biochar application on total root dry weight in Experiment 2

Treatment		Total root dry weight (g/plant)	
Variety	Biochar	45 DAS	75 DAS
PathumThani 1	0 (control)	0.429	1.203
	3.125 t/ha	0.631	1.186
Chainat 1	0 (control)	1.119	2.595
	3.125 t/ha	1.055	1.436
LSD (0.1)		0.06	0.33

LSD = Least Significant Difference, DAS = days after seeding

Table 7 Effect of biochar addition into soil on chlorophyll content (SCMR), shoot dry weight and total root dry weight of rice var. Pathum Thani 1 and Chai Nat 1 in Experiment 2

Treatment		SCMR at DAS				shoot dry weight (g/plant) at				Total root dry weight (g/plant)			
		30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75
Variety(V)													
Pathum Thani 1		39.82 a	34.85 a	29.78 a	35.90 a	1.44 b	1.82 b	3.02 b	3.60	0.145	0.530 b	1.086	1.195
Chai Nat 1		37.17 b	29.22 b	25.05 b	31.35 b	2.70 a	3.11 a	4.00 a	5.15	0.096	1.087 a	1.058	2.016
Biochar (B)													
0 (control)		39.07	32.35	27.78	33.65	1.91 b	2.36	3.43	4.74	0.135	0.774 b	1.063	1.900 a
3.125 t/ha		37.92	31.71	27.05	33.60	2.23 a	2.56	3.59	4.01	0.106	0.843 a	1.080	1.311 b
F-test	V	**	*	**	**	**	*	*	ns	ns	**	ns	ns
	B	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
	V X B	ns	ns	ns	ns	**	**	*	ns	ns	**	ns	*
CV (%)													
V		2.25	7.24	1.84	1.86	12.24	21.68	13.20	27.11	26.00	13.37	20.94	32.39
B		3.70	6.92	4.56	5.64	10.12	12.50	20.56	19.39	26.64	6.73	19.93	20.45

DAS = days after seeding, ns, *, ** = not significant, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.1$, respectivelyMeans in the same column with different letters are significantly different at $P \leq 0.1$ by LSD.

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณโครงการวิจัย หมดเงินทุนอุดหนุนทั่วไป ปีงบประมาณ 2556 และโครงการบ่มเพาะนักวิจัยเพื่อให้สร้างผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ รุ่นที่ 2 ประจำปีงบประมาณ 2553

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ยพืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจจับรับรองมาตรฐานสินค้า. เล่มที่ 1. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. การจัดการดินเค็ม คู่มือเกษตรกร กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- จิระพงษ์ คูหากาญจน์. 2548. เทคนิคการผลิตถ่าน. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 6: 21-34.
- ทัพไท หนองสุวรรณ, อรรถชัย จินตะเวช และสิทธิชัย ลอดแก้ว. 2556. ความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอชาร์เพื่อเพิ่มผลผลิตในระบบการผลิตข้าวนาสวน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหวิทยาลัยมหาสารคาม. 32: 184-193.
- วิชัย ลิ้มโพธิ์ทอง, สลิตา สุสิงห์ และชัยนาม ดิสถาพร. 2554. การศึกษานิตและอัตราที่เหมาะสมของถ่านชาร์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตของข้าวปทุมธานี 1 ในสภาพดินทราย. แหล่งที่มา: <https://goo.gl/y5g2qgh>. ค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2559.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. สถานการณ์การผลิตและการส่งออก. แหล่งที่มา: <https://goo.gl/PF9ckq>. ค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2559.
- อรสา สุภสว่าง. 2549. Biochar Technology. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald, and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*. 33: 10-18.
- Black, C.A. 1965. Method of Soil Analysis Part II: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. USA.
- Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*. 59: 39-45.
- 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 soil contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma*. 237-238: 105-116.
- Chan, K., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*. 45: 629-634.
- Dong, X., T. Guen, G. Li, Q. Lin, and X. Zhao. 2016. Long-term effects of biochar amount on the content and composition of organic matter in soil aggregates under field condition. *Journal of Soils and Sediments*. 16: 1481-1497.
- Doorenbos, J., and W.O. Pruitt. 1992. Crop water requirements. pp. 1-65. In: *Guideline for Predicting Crop Water Requirement*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO, Rome.
- Downie, A., A. Crosky, and P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar, pp. 13-32. In: J. Lehmann and S. Joseph (eds). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, United Kingdom.
- Gaskin, J.W., R.A. Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee, L.A. Morris, and D.S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*. 102: 623-633.
- Haefele, S.M., Y. Konboon, W. Wongboon, S. Amarante, A.A. Maarifat, E.M. Pfeiffer, and C. Knoblauch. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based system. *Field Crops Research*. 121: 430-440.
- Hammes, 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 Kingdom.
- Jeffery, S., F.G.A. Verheijen, M. Van der Velde, and A.C. Bastos. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 144: 175-187.
- Jones, D.L., J. Rousk, G. Edwards-Jones, T.H. DeLuca, and D.V. Murphy. 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*. 45: 113-124.
- Krull, E., B. Singh, and S. Joseph. 2010. Preface to special issue: Proceedings from the First Asia-Pacific Biochar Conference 2009, Gold Coast, Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 48: 1-4.

- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature*. 447: 143-144.
- Lehmann, J., P. da Silva Jr., C. Steiner., T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*. 249: 343-357.
- Major, J., M. Rondon, D. Molina, S.J. 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.
- Mengel, K., and E.A. Kirkby. 2001. *Principles of Plant Nutrition*, 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Schollerger, C.J., and R.H. Simmon. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. *Soil Science*. 59: 39-45.
- Singh, S., and M.B. Russell. 1981. Water use by maize/ pigeonpeas intercrop on a deep Vertisol. pp. 271-282. In: *Proceedings of International Workshop on Pigeon peas*, Vol. 1, 15-19 December 1980. ICRISAT Center Patancheru, Andhra Pradesh, India.
- Streubel, J.D., H.P. Collins, M.Garcia-Perez, J. Tarara, D. Granatstein, and C.E. Kruger. 2011. Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. *Soil Science Society of America Journal*. 75: 1402-1413.
- Van Zwieten, L., S. Kimber, A. Downie, K.Y. Chan, A. Cowie, R. Wainberg, and S. Morris. 2007. Papermill char: benefits to soil health and plant production. In: *Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative*, 30 April - 2 May 2007, Terrigal, NSW, Australia.
- Vinh, N.C., N.V. Hien, M.T.L. Anh, J. Lehmann, and S. Joseph. 2014. Biochar treatment and its effects on rice and vegetable yields in mountainous areas of northern Vietnam. *International Journal of Agricultural and Soil Science*. 2: 5-13.
- Walkley, A., and C.A. Black. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-35.
- Warnock, D.D., J. Lehmann, T.W. Kuyper, and M.C. Rillig. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil: Concept and mechanisms. *Plant and Soil*. 300: 9-20.
- Winsley, P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review*. 64: 1-10.
- Zhang, H., R. Voroney, and G. Price. 2015. Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations. *Soil Biology and Biochemistry*. 83: 19-28.