

การใช้ถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสและฟางข้าวเพื่อการผลิตข้าว และลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Use of Eucalyptus biochar and rice straw for rice yields and carbon footprint reduction under environment-friendly condition

พัชรี แสนจันทร์^{1*}, นิภา ธรรมโสภณ¹, Chhin Phy¹ และ ดวงสมร ตูลาพิทักษ์²

Patcharee Saenjan^{1*}, Nipa Thammasome¹, Chhin Phy¹ and Duangsamorn Tulaphitak²

บทคัดย่อ: ข้าวนาสวนเป็นแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ และการปลูกข้าวเป็นระยะเวลานานโดยไม่มีการบำรุงดิน จะทำให้ดินเสื่อมคุณภาพนำมาซึ่งผลผลิตตกต่ำ การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพยูคาลิปตัส (BC) และฟางข้าว (RS) ต่อผลผลิตข้าว ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลผลิตข้าว (CFP/GY) และการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Cseq) ผลการศึกษาพบว่า การใช้ BC อัตราตั้ง 1-4 ตัน/ไร่ ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CH_4 , CO_2 และก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลดลงเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม เนื่องจาก BC มี lignin เป็นองค์ประกอบสูงจึงต้านทานต่อการย่อยสลาย แม้ว่า BC และ RS ให้ผลผลิตไม่ต่างกัน (0.729-0.960 ตัน/ไร่) แต่ BC ให้ค่า CFP/GY ต่ำ (0.661-0.812) ในทางตรงข้าม RS อัตรา 1-4 ตัน/ไร่ให้ค่า CFP/GY สูง (0.926-1.258) RS ปลปล่อย CH_4 มากเนื่องจาก RS มี cellulose และ hemicellulose เป็นองค์ประกอบมากจึงง่ายต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ทั้งคุณสมบัติและความสามารถในการสลายตัวของ BC และ RS ที่มีความแตกต่างกันทำให้ BC มีปริมาณ Cseq เพิ่มขึ้นจากก่อนทดลองถึง 21.48-43.34% ในขณะที่ RS เพิ่มขึ้นเพียง 7.29-27.23% จากก่อนทดลองและต่ำกว่าของ BC ในขณะที่ของตำรับควบคุมเพิ่มขึ้นเพียง 4.23% การศึกษานี้สรุปได้ว่าการไถกลบตอซึ่งเดิมร่วมกับการใช้ BC หรือ RS จะทำให้มี Cseq เพิ่มขึ้นและ BC ยังสามารถช่วยลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลผลิตข้าวซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ดินเสื่อมโทรม, อินทรีย์วัตถุ, คาร์บอนฟุตพริ้นท์, การสะสมคาร์บอน

ABSTRACT: Long term rice agriculture has brown about deteriorated soils and low productivity. It is a crucial contributor of atmospheric greenhouse gas. The present study aimed at possibility of using Eucalyptus biochar (BC) or rice straw (RS) for improving rice grain yield, attenuating total methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), greenhouse gas-carbon emissions, carbon footprint per unit grain yield (CFP/GY) and soil carbon sequestration (Cseq). It was found that BC 1-4 t/rai attenuated total CH_4 , CO_2 and GHG emissions. This is because of the high amount of recalcitrant lignin that BC is composed of. Though BC and RS resulted in similar grain yields, lower values of CFP/GY (0.661-0.812) were obtained from BC added soils. RS of all rates yielded high CFP/GY values (0.926-1.258). The easily decomposability of RS was attributed to the high quantities of cellulose and hemicellulose, the main compositions in RS. Due to not only distinctive biochemical compositions, but also different decomposability of BC and RS, led to some increases in Cseq (from that before experiment) of 21.48-43.34% in BC amended soils higher than 7.29-27.23% in RS amended soils, and all of them were higher than that of control, 4.23%. It was concluded that rice stubble incorporation and addition of BC or RS could sequester more soil carbon, while BC added to soil could alleviate carbon footprint per unit grain yield, which is considered friendly to environment.

Keywords: deteriorated soil, organic matter, carbon footprint, carbon sequestration

¹ สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

² ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

* Corresponding author: patsae1@kku.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวในปี 2556 ประมาณ 60 ล้านไร่ (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) กรมพัฒนาที่ดิน (2551) รายงานว่าพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นดินเสื่อมคุณภาพเป็นสาเหตุให้ผลผลิตพืชตกต่ำ (พิพัฒน์ และคณะ, 2553) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556) ได้รายงานผลผลิตข้าวนาปีของปีเพาะปลูก 2555/56 เฉลี่ย 334 กก./ไร่ และของนาปรัง 555 กก./ไร่ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก การใส่วัสดุอินทรีย์ถูกจัดเป็นแนวทางที่สำคัญในการฟื้นฟูดินและผลผลิตที่ยั่งยืนเนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทที่สำคัญต่อดินทั้งคุณสมบัติดิน

วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวที่สำคัญคือฟางข้าว (rice straw, RS) และตอซัง (rice stubble) ที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวมีมากถึง 50-60 ล้านตัน/ปี ณัฐภาส (2556) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลผลิตข้าวในนาที่มีการไถกลบฟางและตอซังข้าว พบว่า นาที่มีการไถกลบฟางและตอซังให้ผลผลิตข้าว 705 กก./ไร่ Simarmata (2012) ศึกษาการใส่ฟางข้าวปรับปรุงดินอัตรา 2-5 ตัน/เฮกตาร์ร่วมกับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในอัตรา 400 กรัม/เฮกตาร์ พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุและผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น

ไม้ยูคาลิปตัสเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ พื้นที่ปลูกไม้ยูคาลิปตัสคิดเป็นร้อยละ 0.36 ของเนื้อที่ทำการเกษตรทั้งหมด ลำต้นของยูคาลิปตัสถูกตัดเพื่อส่งโรงงาน ในขณะที่ส่วนปลายที่เหลือเกษตรกรนิยมนำมาเผา (pyrolysis) เป็นถ่านชีวภาพ (biochar, BC) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง และมีรายงานว่าถ่านชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุอินทรีย์เพื่อการปรับปรุงดิน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนที่ทนทานต่อการย่อยสลายในปริมาณมากโดยเฉพาะมีอะโรมาติกคาร์บอน (aromatic C) ในปริมาณมาก ถ่านชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเสื่อมคุณภาพ (Sparkes and Stoutjesdijk, 2011) และยังมีงานวิจัย

ยืนยันว่าการใช้ถ่านปรับปรุงดินส่งผลในทางบวกต่อการฟื้นฟูคุณภาพดิน (Haefele et al. 2011; Zhao et al. 2013) ตลอดจนสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

อย่างไรก็ตามนาข้าวจัดเป็นแหล่งที่สำคัญต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซ CH_4 และ CO_2 โดยเกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน เช่น ฟางข้าว เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) องค์ความรู้จากการใช้ถ่านและฟางข้าวเกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CPT) การกักเก็บคาร์บอน (Cseq) ในดินในนาข้าวของประเทศไทยยังมีน้อยมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ถ่านยูคาลิปตัส (Eucalyptus BC) และฟางข้าว (RS) เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และรักษาสภาพผลผลิตข้าว ร่วมกับการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 , CO_2 , GHG ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลผลิตข้าว (CFP/GY) และการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Cseq)

วิธีการศึกษา

พื้นที่นาข้าวและแผนการทดลอง

งานทดลองได้ดำเนินการในพื้นที่โครงการชลประทานหนองหวาย ฤดูนาปี ที่บ้านนางาม ต.สำราญ อ.เมือง จ.ขอนแก่น (พิกัด $16^{\circ}32'45.9''\text{N}$ $102^{\circ}51'15.5''\text{E}$) บนพื้นที่ 900 ตร.ม. ทุตดินราชบุรี (Rb) เนื้อดินร่วน (Loamy) จัดเป็นกลุ่มดิน Endoaquept วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ มี 10 ตำรับทดลอง ประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ (BC) อัตรา 1, 2, 3 และ 4 กก./ไร่ และฟางข้าว (RS) อัตราเดียวกัน โดยที่ทุกตำรับมีการใส่ปุ๋ยเคมี (CF) และตำรับที่ได้รับแต่ CF อย่างเดียว ส่วนตำรับควบคุมไม่ได้ BC, RS และ CF

การเตรียมแปลง ถ่านยูคาลิปตัส ฟางข้าวและการปลูก

ก่อนทดลองไถกลบตอซังทิ้งไว้ 30 วันก่อนเตรียมดิน ทำคันทนาขึ้นรูปแปลงทดลองขนาด 4×4 ตร.ม. ถ่าน

ยูคาที่ใช้ทำมาจากส่วนปลายยอดของไม้ยูคาลิปตัส นำมาเผาโดยใช้เตาดินที่อุณหภูมิประมาณ 350°C เป็นเวลา 2 วัน และปล่อยให้เตาเผาเย็นประมาณ 7 วัน นำถ่านที่ได้ไปบดผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ฟางข้าวนำมาสับเป็นชิ้นยาวประมาณ 10 ซม. ถ่านยูคาและฟางข้าวถูกคลุกเคล้าลงดินให้ทั่วอย่างสม่ำเสมอในระดับ 15 ซม. เป็นเวลา 6 สัปดาห์ก่อนปักดำข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 อายุ 25 วัน เมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2556 ระยะห่าง 25 x 25 ซม. ชั่งน้ำสูง 5-10 ซม. ดูแลตามมาตรฐาน GMP เก็บเกี่ยวในวันที่ 20 ตุลาคม 2556 อายุ 116 วัน

การเก็บตัวอย่างดิน การวิเคราะห์และผลผลิตข้าว

เก็บตัวอย่างดินก่อนทดลองความลึก 0-15 ซม. เพื่อวิเคราะห์หา pH (1:5), ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic C, SOC) ด้วยเครื่อง CNS analyzer, ปริมาณ N ทั้งหมดด้วยวิธี Micro-Kjeldahl (Bramner, 1960), ปริมาณคาร์บอนที่เปลี่ยนง่าย (labile organic C, LOC) ด้วยวิธี 33 mM permanganate-oxidation (Moody and Cong, 2008) และปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (CEC) สกัดด้วย 1 N NH₄OAc (Black, 1965) และเก็บตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวที่ความลึก 0-15 ซม. เพื่อหา SOC และเก็บตัวอย่างข้าวจากพื้นที่ 1x1 ตร.ม.

การเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน(CH₄) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ตัวอย่างก๊าซ CH₄ และ CO₂ ถูกเก็บโดยวิธี Static chamber method เก็บเวลา 9 -11 น. ใช้เข็มฉีดยาดูดก๊าซ 1 มล. ที่เวลา 0, 10, 20 นาที และวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซด้วยเครื่อง gas chromatograph(GC) (Saenjan et al., 2002) และคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซ ตามสมการดังนี้

$$E = [C \times V_h \times mW/mV \times 273.2 / (273.2 + T)] \times 60 \times 24$$

เมื่อ E = อัตราการปล่อยก๊าซ CH₄ (มก.CH₄/ตร.ม./วัน)

C = ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของก๊าซ CH₄ ตามเวลา (พีพีเอ็ม/นาที)

V_h = ความสูงจากผิวหน้าของกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (ม.)

mW = น้ำหนักโมเลกุลของ CH₄ (16.04 กรัม/โมเลกุล) (กรณีของ CO₂ กรัม/โมเลกุล)

mV = ปริมาตรโมเลกุลของ CH₄ (22.41 ลิตร ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน)

T = อุณหภูมิภายในกล่องเก็บตัวอย่าง (°C)

ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซ CH₄ ตลอดฤดูปลูก (Total CH₄) คำนวณโดยรวมพื้นที่ได้กราฟของอัตราการปล่อยก๊าซ CH₄ ตลอดฤดูปลูกทำให้ได้ผลลัพธ์ในหน่วย มก.CH₄/ตร.ม./ฤดู และนำเสนอในหน่วยของตัน C/ไร่/ฤดูปลูก (Table 2) คำนวณเช่นเดียวกันนี้ให้กับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ตลอดฤดูปลูก (Total CO₂) และปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CFP) ได้จาก Total CH₄ + Total CO₂

การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil C sequestration: Cseq)

การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$Cseq = \frac{SOC \times BD \times 0.15 \times 100}{6.25}$$

เมื่อ Cseq = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน (ตันC/ไร่), BD = ความหนาแน่นรวมของดิน (ตัน/ลบ.ม.) ที่ระดับความลึก 0.15 ม.

การวิเคราะห์สถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลอง RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SAS version 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การใช้ BC และ RS อัตรา 1-4 ตัน/ไร่ ทำให้ผลผลิตข้าว (GY) อยู่ในช่วง 0.729-0.960 ตัน/ไร่และไม่ต่างจากค่าควบคุม (0.768 ตัน/ไร่) และผลผลิตจากแต่ละได้รับการทดลองทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2)

ปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 ทั้งหมดตลอดฤดูปลูก (Total CH_4) พบว่า การใช้ BC ปล่อย Total CH_4 (0.041-0.064 ตัน C/ไร่) ลดลงเมื่อเทียบกับค่าควบคุม (0.121 ตัน C/ไร่) แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่าที่ใส่ BC ทั้ง 4 อัตรา (Table 2) ในทางตรงข้ามการใช้ RS ในอัตรา 3 และ 4 ตัน/ไร่ ทำให้ปริมาณการปล่อย Total CH_4 มีค่า 0.200 และ 0.294 ตัน C/ไร่ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าควบคุม 0.121 ตัน C/ไร่ ในขณะที่การปล่อยก๊าซ CO_2 ทั้งหมด (Total CO_2) นั้นการใช้ BC ทำให้ปล่อย Total CO_2 ในปริมาณ 0.490-0.565 ตัน C/ไร่ลดลงเมื่อเทียบกับค่าควบคุม 0.642 ตัน C/ไร่ ในขณะที่การใช้ RS พบว่าปริมาณการปลดปล่อย Total CO_2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับค่าควบคุม แต่ปริมาณการปลดปล่อยใน Total CO_2 ใน RS สูงกว่า BC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าที่ใส่ BC ปรับปรุงดินในอัตรา 1-4 ตัน/ไร่ พบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนเรือนกระจกทั้งหมด (Total GHG-C) 0.531-0.617 ตัน C/ไร่ และไม่แตกต่างกัน แต่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับค่าควบคุม (0.763 ตัน C/ไร่) จะเห็นว่าการใช้ BC ปรับปรุงดินทำให้ปริมาณการปล่อย Total GHG-C ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของ BC ประกอบด้วย lignin 75.69% ซึ่งมีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน Feng et al. (2012) ได้รายงานไว้ว่า BC จะลดประชากรของจุลินทรีย์ที่สร้าง CH_4 (methanogens) แต่กลับเพิ่มประชากรของจุลินทรีย์ที่ใช้ CH_4 (methanotrophs) ในขณะที่ RS กลับมีผลทำให้ปริมาณการปล่อย Total GHG-C เพิ่มขึ้นเนื่องจาก RS ปริมาณ cellulose, hemicellulose มาก (Table 1) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ง่ายต่อการย่อย

สลายโดยจุลินทรีย์ดิน ส่งผลให้คาร์บอนอินทรีย์เปลี่ยนรูปเป็น CH_4 และ CO_2 (Moterle et al. 2013) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการหายใจ นอกจากนี้เรายังพบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลผลิตข้าว (CFP/GY) ของดินที่ใส่ BC อัตรา 2-4 ตัน/ไร่มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าควบคุมและค่าที่ใส่ RS ทุกอัตรา ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการปล่อย Total GHG-C ในค่าที่ใส่ BC มีปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับค่าที่ใส่ RS อื่นๆ จึงกล่าวได้ว่าการใช้ BC ปรับปรุงดินนั้นเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในประเด็นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Cseq) หลังการทดลองหนึ่งฤดูปลูก (Table 3) พบว่าในค่าควบคุมให้ 2.72 ตัน C/ไร่ การใช้ BC ทุกอัตราให้ปริมาณ Cseq 3.16-3.74 ตัน C/ไร่ ในขณะที่การใช้ RS อัตรา 3 และ 4 ตัน/ไร่มีค่า Cseq อยู่ในช่วง 3.28-3.32 ตัน C/ไร่ ซึ่งมากกว่าของค่าควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณการเปลี่ยนแปลง Cseq เมื่อเทียบกับดินก่อนทดลอง (2.607 ตัน C/ไร่) พบว่า BC 1-4 ตัน/ไร่ และ RS 3, 4 ตัน/ไร่มีปริมาณ Cseq เพิ่มขึ้นจากดินก่อนทดลอง 21.48-43.34% เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณ Cseq เพิ่มขึ้นมากที่สุดในค่าที่ใส่ BC ในขณะที่เดียวกัน RS ก็เพิ่มขึ้นเช่นกันแต่มีแนวโน้มน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก BC เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนในดิน ในขณะที่ RS เป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญในนาข้าวแต่มีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการย่อยสลายทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนในดินต่ำกว่าของ BC

สรุป

การใช้ BC และ RS อัตรา 1-4 ตัน/ไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ผลผลิตข้าวไม่ต่างกัน การใช้ BC และ RS ทำให้ปริมาณ SOC ของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุอินทรีย์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพใน

การกักเก็บคาร์บอนในดิน อย่างไรก็ตามปริมาณ Total CH_4 CO_2 และ GHG-C ลดลงในตำรับที่มีการใช้ BC เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม ในทางตรงข้าม RS ลด Total CH_4 CO_2 และ GHG-C ในปริมาณที่สูงกว่าตำรับที่ใช้ BC ทุกอัตรา นอกจากนี้การใช้ BC ทำให้ค่า CFP/GY ลดลง การใช้ BC ปรับปรุงดินส่งผลให้ปริมาณ Cseq สูงกว่าตำรับควบคุมและตำรับ RS ทุกอัตรา

อย่างไรก็ตามในตำรับควบคุมที่ไม่ได้ใส่ RS นั้นการไถกลบตอซึ่งทิ้งไว้ก่อนเตรียมดินทุกฤดูปลูกยังคงปริมาณ Cseq ที่สูงกว่าก่อนทดลอง เนื่องจากฟางข้าวเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญในนาข้าวแม้จะมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากแต่ยังคงมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินหากใส่และไถกลบทุกฤดูปลูก แต่ประสิทธิภาพต่ำกว่า BC

Table 1 Physico-chemical properties of Eucalyptus biochar, rice straw and soil.

Properties	Unit	Biochar	Rice straw	Soil
BD	t/cubic m	-	-	1.53
pH		7.98	7.01	5.06
SOC	%	54.56	39.29	0.71
LOC	g/kg	13.30	66.70	9.00
TN	%	0.51	0.36	0.09
CEC	cmol/kg	-	-	6.73
Cellulose	%	6.26	50.84	-
Hemicelluloses	%	1.00	22.19	-
Lignin	%	75.69	3.33	-
Volatile matter	%	22.86	-	-
Ash	%	2.99	-	-
Fixed C	%	69.56	-	-

Table 2 Total CH_4 , CO_2 , GHG emission and C footprint per unit grain yield

Treatment	Total CH_4	Total CO_2	Total GHG	GY	CFP/GY
	t C/rai			t/rai	
Control	0.121 c	0.642 a	0.763 b	0.768	0.997 b
CF	0.065 def	0.540 bc	0.604 c	0.791	0.765 de
BC1	0.063 ef	0.554 bc	0.617 c	0.767	0.812 cd
BC2	0.041 f	0.490 c	0.531 c	0.807	0.661 e
BC3	0.064 ef	0.519 bc	0.583 c	0.895	0.661 e
BC4	0.042 f	0.565 b	0.607 c	0.786	0.775 de
RS1	0.113 cd	0.670 a	0.782 b	0.855	0.926 bc
RS2	0.101 cde	0.636 a	0.737 b	0.729	1.012 b
RS3	0.200 b	0.696 a	0.896 a	0.960	0.938 bc
RS4	0.297 a	0.688 a	0.985 a	0.786	1.258 a
F-test	**	**	**	ns	**
CV (%)	30.13	7.81	9.84	10.28	10.76

CF = chemical fertilizer, BC = Eucalyptus biochar (BC), RS = rice straw; 1, 2, 3, and 4 represent amendment amount in t/rai. Different letters indicate significant difference among treatments for a sampling day (ns no significant, ** $P < 0.01$, $n = 4$)

Table 3 Change in soil C sequestration after a single rice season

Treatment	Rice stubble C	Cseq before Exp.	C from BC/RS	Total C in soil after treated	Cseq after Exp.	Change in Cseq	Change in Cseq
				t C/rai			%
Control	0.184	2.607	0	2.791	2.72 c	0.69 c	4.23 c
CF	0.184	2.607	0	2.791	2.74 c	0.86 c	5.37 c
BC1	0.184	2.607	0.566	3.358	3.16 b	3.48 b	21.48 b
BC2	0.184	2.607	1.133	3.924	3.37 b	4.75 b	29.15 b
BC3	0.184	2.607	1.699	4.490	3.74 a	7.09 a	43.34 a
BC4	0.184	2.607	2.666	5.057	3.74 a	7.09 a	43.34 a
RS1	0.184	2.607	0.393	3.184	2.80 c	1.21 c	7.29 c
RS2	0.184	2.607	0.786	3.557	3.04 bc	2.69 bc	16.49 bc
RS3	0.184	2.607	1.179	3.970	3.28 b	4.19 b	25.70 b
RS4	0.184	2.607	1.572	4.363	3.32 b	4.43 b	27.23 b
F-test	-	-	-	-	**	**	**
CV (%)	-	-	-	-	7.41	40.56	40.56

$$\text{Change in soil Cseq (\%)} = (\text{soil Cseq at harvest} - \text{soil Cseq before experiment}) \times \frac{100}{\text{soil Cseq before experiment}}$$

CF = chemical fertilizer, BC = Eucalyptus biochar (BC), RS = rice straw; 1, 2, 3, and 4 represent amendment amount in t/rai. Different letters indicate significant difference among treatments for a sampling day (ns no significant, ** P<0.01, n = 4)

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ คลัสเตอร์การจัดการลุ่มน้ำแบบองค์รวมภายใต้ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ โครงการดินปัญญาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. พระราชบัญญัติพัฒนาที่ดิน 2551. รวมใจภักดี รักษาดิน รักษาน้ำ เทิดไถ้องครุราชัน. ที่ระลึกครบรอบ 45 ปี. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 80 หน้า.

ณัฐภาส กุลเรืองทรัพย์. 2556. การศึกษาอิทธิพลการเผาไม้เผาตอซังข้าวก่อนไถกลบต่อผลผลิตต่อไร่ ค่าใช้จ่ายและรายได้ของเกษตรกร ณ บ้านทุ่งผล ตำบลทุ่งศรีทอง อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2556. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900. www.oae.go.th.

Black, C.A. 1965. Method of soil analysis: Part 1&2 American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, USA.

Bramner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. Journal of Agricultural Science. 55:11-33.

Feng, Y., Y. Xu, Y. Yu, Z. Xie, and X. Lin. 2012. Mechanisms of biochar decreasing methane emission from Chinese paddy soils. Soil Biol Biochem 46:80-88.

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 systems. F Crop Res 121:430-440.

- Moody, P.W., and P.T. Cong. 2008. Soil constraints and management package (SCAMP): Guidelines for sustainable management of tropical upland soil. Australian centre for international agricultural research. No 130. 86 pp. ISBN 978 921434 52 5.
- Saenjan, P., D. Tulaphitak, T. Tulaphitak, S. Tangchupong, and S. Jearakongman. 2002. Methane emission from Thai farmers' paddy fields as a basis for appropriate mitigation technologies. 17th World Congress of Soil Science, 14-21 August 2002, Bangkok, Thailand.
- Simarmata T, T. Turmuktini, A. Citraresmini, and B. Joy. 2012. Application of straw compost and biofertilizers to remediate soils health and to increase the productivity of paddy rice in Indonesia. Conference on International Research on Food Security, National Resource Management and Rural Development. September 2012, Göttingen, Germany
- Sparkes, J., and P. Stoutjesdijk. 2011. Biochar: implications for agricultural productivity. ABARES technical report 11.6, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences, Canberra
- Zhao X., J. Wang, S. Wang, and G. Xing. 2014. Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: A pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. *Plant Soil* 378:279-294.