

## รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **ชุดโครงการวิจัย** ศึกษาศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของไบโอชาร์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อการเพิ่มศักยภาพการผลิตของดิน
2. **โครงการวิจัย** ศึกษาศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของไบโอชาร์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อการเพิ่มศักยภาพการผลิตของดิน
  - กิจกรรม -
  - กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) -
3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** ผลของไบโอชาร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ดินทราย-ดินร่วนปนทรายและดินเหนียวในสภาพโรงเรือน
  - ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ)** Effect of Biochar on Soil Fertility Change on a Sand to a Sandy Loam Soil and a Clay Soil in a Greenhouse
4. **คณะผู้ดำเนินงาน**
  - หัวหน้าการทดลอง** นางสาวชัชชนพร เกื้อหนู กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
  - ผู้ร่วมงาน**
    - นายพีระพงษ์ เชาวนพงษ์ กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
    - นางปัญญาพร เลิศรัตน์ กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
    - นายบรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์ กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
    - นางสาวสายน้ำ อุดพัวัย กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

5. **บทคัดย่อ** เพื่อเพิ่มศักยภาพของดินให้มีการหมุนเวียนของธาตุอาหารเหมาะสมต่อการเพาะปลูก จึงให้ความสำคัญในไบโอชาร์ที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน ดังนั้น ทำการศึกษาค้นคว้าของไบโอชาร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ดินทราย-ดินร่วนปนทรายและดินเหนียวในสภาพโรงเรือน ที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชทดสอบ ใช้แผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCB มี 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 เป็นดิน 2 ชนิด คือ 1) ดินเหนียว (Clay-Cl) 2) ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam-SL) ปัจจัยที่ 2 ไบโอชาร์ 5 ระดับ คือ 0 500 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ โดยทุกตัวรับการทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการทดลอง พบว่า ดินเหนียวให้ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมดในต่อซังสูงและเมื่อปรับปรุงดินเหนียวด้วยไบโอชาร์มีแนวโน้มให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรวมต่อซังเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าดินร่วนปนทรายที่ใส่ไบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่า นอกจากนี้ การใส่ไบโอชาร์ปรับปรุงดินมีผลทำให้ปริมาณการสะสมของไนเตรทในดินเหนียวและดินร่วนปนทรายเพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ไบโอชาร์เลย

**Abstract:** To increase productivity for soil nutrient dynamics for plant production is required. Therefore, interest in biochar derived from agricultural wastes can potentially improve soil. The study aimed to investigate the effect of biochar on soil fertility change on a sand to a sandy loam soil and a clay soil in a greenhouse that grown maize. The experimental design was a 2x5 factorial in RCB with 4 replications. The first factor was two soil textures as followers of a clay and a sandy loam soil. The second factor was biochar rates which consisted of 0, 500, 1,000, 1,500 and 2,000 kg/rai. Each treatment received a basal application of NPK fertilizer based on soil analysis. The results indicated that soil nutrient available and total nutrient uptakes of maize on the clay increased. Incorporation of biochar pyrolyzed from cassava root to a clay soil tend to high growth and dry matter yield, highly significant on organic matter content and exchangeable potassium in soil. However, on the clay with biochar less available phosphorus is found than on the sandy loam adding biochar. Moreover, biochar application increased soil  $\text{NO}_3^-$ -N concentration in both two soils as compared with that of no biochar addition.

**6. คำนำ** ดินเป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยด้านอาหาร เศรษฐกิจและสภาพแวดล้อมโลก คุณภาพดินส่วนใหญ่มักบ่งชี้ถึงปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในดิน ซึ่งเป็นแหล่งหมุนเวียนธาตุอาหารพืชที่สำคัญ แต่การทำการเกษตรที่ไม่เหมาะสม กระตุ้นให้ดินเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ลงอย่างรวดเร็ว กอปรกับประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ดิน จึงเป็นปัจจัยส่งเสริมและเร่งให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้ การจะรักษาอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในระดับที่เพียงพอและมีการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินอย่างยั่งยืน จึงนับเป็นเรื่องยากในการจัดการดินภายใต้สภาวะเช่นนี้ เพราะในที่สุดจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตและความสามารถในการผลิตพืชในเชิงปริมาณมีรายได้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ไบโอชาร์เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเพื่อปรับปรุงดินทางการเกษตร ได้จากการนำของเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม มาแยกสลายด้วยความ ร้อน จะได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายจึงกักเก็บคาร์บอนในดินได้ยาวนานเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอินทรีย์ อื่นๆ นอกจากนี้แล้ว ยังมีสมบัติที่มีความพรุนสูงจึงทำให้พื้นที่ผิวมาก การถูกออกซิไดซ์ได้หุ่มฟุ้งขึ้นเป็น องค์ประกอบ จึงสามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ในดินและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารแก่พืชยิ่งขึ้น เมื่อ ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์จึงส่งผลให้ศักยภาพการผลิตของดินเหมาะสมต่อการเพาะปลูก เนื่องจากปุ๋ยเคมีราคา แพง การจัดการธาตุอาหารพืชที่มีประสิทธิภาพนอกจากลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงแล้ว จำเป็นต้องเพิ่มผลผลิตพืชไป พร้อมๆกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการวิจัยให้ได้ข้อมูลการใช้ไบโอชาร์ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน สำหรับนำไปใช้ในการจัดการดินอย่างยั่งยืนต่อไป

## 7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์ เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต

ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ กระจาย อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินและพืช สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดิน-พืช

- วิธีการ การทดลองในสภาพโรงเรือนใช้แผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCB มี 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 เนื้อดิน 2 ชนิด คือ 1) ดินเหนียว (Clay-Cl) 2) ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam-SL) ปัจจัยที่ 2 ไบโอสถา 5 ระดับ คือ 0 500 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ นำดินเหนียวชุดดินวังสะพุงและดินร่วนปนทรายชุดดินจันทึก เก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จากแปลงเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา ใส่กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง บน 30 เซนติเมตร อัตรา 10 กิโลกรัม ผสมดินก่อนปลูกด้วยไบโอสถาอัตราต่างๆที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินของดินเหนียว อัตรา 15-10-5 กิโลกรัม N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O ต่อไร่ ส่วนดินร่วนปนทราย อัตรา 15-5-5 กิโลกรัม N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O ต่อไร่ ปลูกข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 3 จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง วัดการเจริญเติบโตที่ระยะเก็บเกี่ยว ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน เก็บตัวอย่างต้นส่วนเหนือดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและธาตุอาหารเสริม เก็บตัวอย่างดินทุกกระถางวิเคราะห์ pH (1:1) EC (1:5) อินทรีย์วัตถุด้วยวิธี Walkley and Black (1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สกัดด้วย Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วย NH<sub>4</sub>OAc pH 7.0 วิเคราะห์ปริมาณโดย Atomic Absorption Spectrophotometer (Pratt, 1965) ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทโดยวิธี semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1996) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โดยวิธีของ จำเป็น (2547) การอิ่มตัวเบส (BS) และเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Base saturation)

สำหรับไบโอสถาที่ผลิตจากเหง้ามันสำปะหลังโดยผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว (fast pyrolysis) ที่อุณหภูมิ 350 องศา เป็นเวลา 30 นาที วิเคราะห์หา pH, EC, OM, T-N, T-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, T-K<sub>2</sub>O และ C/N ปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Micro-Kjeldahl method (AOAC, 1990) ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่น้อยด้วยกรดผสมของ HClO<sub>4</sub>+HNO<sub>3</sub> แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Vanado-molybdate และ Flame Spectrophotometer (AOAC, 1990) ตามลำดับ

- เวลาและสถานที่ ตุลาคม 2556 – กันยายน 2557
- สถานที่ทำการทดลอง โรงเรือนกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. สมบัติของดินก่อนการทดลอง

จากตารางที่ 1 ดินเหนียวมีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5) ค่าการนำไฟฟ้าของดินต่ำ อินทรีย์วัตถุในดินปานกลาง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก โซเดียมและแคลเซียมสูง แมกนีเซียมปานกลาง ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทไนโตรเจนเท่ากับ 0.19 และ 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ CEC ของดินสูงมีค่า 24 cmolkg<sup>-1</sup> และการอิ่มตัวเบสปานกลาง (57 เปอร์เซ็นต์)

ส่วนดินร่วนปนทรายมีปฏิกิริยาเป็นด่างอ่อน (pH 7.5) ค่าการนำไฟฟ้าของดินและอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปานกลาง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก โซเดียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง

แมกนีเซียมปานกลาง ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่ำเพียง 0.07 มิลลิกรัม  $\text{NH}_4^+$  ต่อกิโลกรัม และ 0.01 มิลลิกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อกิโลกรัม CEC ของดินต่ำ ( $10 \text{ cmolkg}^{-1}$ ) แต่การอิมมัลชันมีปริมาณสูงมาก (155 เปอร์เซ็นต์)

## 2. สมบัติของไบโอชาร์

ไบโอชาร์ที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลังมีปฏิกิริยาเป็นกลาง (pH 6.6) ค่าการนำไฟฟ้าสูง ( $2.17 \text{ dSm}^{-1}$ ) ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงมาก อัตราส่วนระหว่าง C:N เท่ากับ 77.9 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ทั้งหมด 0.64, 0.23 และ 1.26 เปอร์เซ็นต์ N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  และ  $\text{K}_2\text{O}$  ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

## 3. การเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของข้าวโพด

หากผลิตข้าวโพดในดินเหนียวพบว่าอัตราไบโอชาร์ที่ความสูงต้นของข้าวโพดและน้ำหนักรากแห้งต่อชั่งมากที่สุด คือ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ (เท่ากับ 218.3 เซนติเมตร และ 124.5 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะการปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากช่วยดูดซับธาตุอาหารไว้ในดินแล้วปลดปล่อยให้พืชอย่างช้าๆ กอปรกับไบโอชาร์อัตราดังกล่าวให้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินสูง (0.083 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) กว่าอัตราอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.065-0.080 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2) ในขณะที่ดินร่วนปนทรายให้ความสูงของต้นข้าวโพดและน้ำหนักรากแห้งต่อชั่งที่ได้รับการใส่และไม่ใส่ไบโอชาร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 134.5-148.0 เซนติเมตร และ 43.6-49.8 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบดินทั้งสอง จะเห็นได้ว่า การผลิตข้าวโพดในดินเหนียวให้ความสูงของต้นและน้ำหนักรากแห้งต่อชั่งมากกว่าในดินร่วนปนทราย จาก 43.5 ถึง 83.8 เซนติเมตร และ 42.0 ถึง 80.5 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ผลที่ได้สอดคล้องกับที่พบในการศึกษาอื่นๆ (อิสริยาภรณ์ และคณะ, 2554; Chan *et al.*, 2007)

## 4. ปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นข้าวโพด

จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหารในต่อชั่ง ไม่พบว่ามี interaction ระหว่างเนื้อดินกับอัตราของไบโอชาร์และไม่มีความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีไบโอชาร์ที่ศึกษา แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของดินเป็นสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4 ถึงแม้ว่าดินร่วนปนทรายให้การสะสมของไนโตรเจนในต่อชั่งมีค่าใกล้เคียงกับดินเหนียว ส่วนฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สะสมมีปริมาณสูงกว่าดินเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (โดยมีค่า 0.15 1.54 0.37 และ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในต่อชั่งข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียวมีค่าสูงกว่าและแตกต่างกับดินร่วนปนทรายอย่างเด่นชัด โดยดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด 0.42 0.10 1.23 0.26 และ 0.09 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่าดินเหนียวดูดซับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์เอาไว้แล้วค่อยๆปลดปล่อยให้พืชนำไปใช้ประโยชน์อย่างช้าๆเมื่อเปรียบเทียบกับดินร่วนปนทราย

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์อัตราใดๆไม่ทำให้ต่อชั่งสะสมธาตุอาหารต่างกัน แต่ดินเหนียวให้ปริมาณแมกนีเซียและทองแดงในต่อชั่งเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการดูดใช้ธาตุอาหารยังคงพบว่าดินเหนียวให้การดูดใช้

เหล็ก สังกะสี แมงกานีสและทองแดงในตอซังสูงกว่าดินร่วนปนทราย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ดินที่ปลูกข้าวโพด (ตารางที่ 7) ที่แสดงว่า ปริมาณเหล็ก สังกะสี แมงกานีสและทองแดงที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าดินร่วนปนทราย ในทำนองเดียวกัน ดินเหนียวที่อัตราไบโอชาร์ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มให้การดูดใช้สังกะสีและทองแดงทั้งหมดถึง 1.59 และ 0.16 มิลลิกรัมต่อกระถาง ส่วนดินร่วนปนทรายเพียง 0.75 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อกระถาง อาจเป็นไปได้ว่า pH ของดินที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารบางตัวลดลง

#### 5. ปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ )

เมื่อทำการปรับปรุงดินผลปรากฏว่า ปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ที่เพิ่มขึ้นในดิน แต่หากใส่มากเกินไปจะลดความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนต่อพืชเพราะสัดส่วนระหว่าง C:N ของดินสูง ในกรณีของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมพบมีปริมาณสูงสุดในดินเหนียวที่อัตราไบโอชาร์ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ (0.052 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ไบโอชาร์เลย โดยมีค่า 0.052 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 1) อาจเป็นเพราะผลของกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันที่เปลี่ยนไนโตรเจนจากปุ๋ยเป็นแอมโมเนียมสะสมในดิน ในขณะที่ดินร่วนปนทรายที่ปรับปรุงด้วยไบโอชาร์มีการสะสมของแอมโมเนียมต่ำกว่าซึ่งหากใช้ดินดังกล่าวนี้ปลูกข้าวโพดจะทำให้ได้ผลผลิตต่ำ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวโพดดังแสดงในตารางที่ 3

อย่างไรก็ตาม ดินร่วนปนทรายมีแนวโน้มสะสมไนเตรทมากกว่าดินเหนียวและปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ แต่หากใส่เกินกว่าระดับ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ปรากฏว่าไม่ทำให้ปริมาณของไนเตรทในดินเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ส่วนดินเหนียวแม้จะสะสมไนเตรทต่ำกว่าแต่ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน อาจเป็นไปได้ว่าดินเหนียวกักเก็บความชื้นมากกว่าจึงส่งเสริมการระเหยของไนโตรเจน หรืออีกเหตุผลที่เป็นไปได้ไบโอชาร์ดูดยึดแอมโมเนียมเอาไว้จึงลดอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ผลการทดลองยังพบว่า หากไม่มีการปรับปรุงดินเลยจะส่งผลให้ดินทั้งสองมีปริมาณของไนเตรทต่ำสุด (ภาพที่ 2) นั้นแสดงให้เห็นว่าอาจเกิดการสูญเสียไนเตรทไนโตรเจนในรูปของก๊าซต่างๆจากปุ๋ย (ศุภกาญจน์ และคณะ, 2553; Sun *et al.*, 2014.; Pacholski *et al.*, 2008) ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจว่า นอกจากถ่านไบโอชาร์จะช่วยลดการระเหยของก๊าซสู่บรรยากาศแล้ว ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอีกด้วย เพราะโดยทั่วไปดินที่มี  $\text{pH} > 7$  จะสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เสาวคนธ์ (2557), Dempster *et al.*, (2012), Eldridge *et al.*, (2010)

#### 6. การเปลี่ยนแปลงของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

ไบโอชาร์ไม่ทำให้ปฏิกิริยาดินและค่าการนำไฟฟ้าของดินเปลี่ยนแปลง แต่แสดงผลชัดเจนต่อการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์และแตกต่างกับดินที่ไม่มีการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) โดยดินที่ไม่ใส่และใส่ไบโอชาร์มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.62 และ 1.71-1.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อาจเป็นเพราะมีคาร์บอนที่เสถียรและสัดส่วนระหว่าง C:N สูง ไบโอชาร์จึงคงทนต่อการย่อยสลายเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอินทรีย์อื่นๆ (Sohi *et al.*, 2009; Verheijen *et al.*, 2010) ในทำนองเดียวกับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของดินที่ใส่ไบโอชาร์มีค่าอยู่ในช่วง 20.2-

24.8 และ 199-265 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่หากไม่ใส่จะให้ค่าดังกล่าวต่ำ (13.5 และ 190 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) อาจเป็นไปได้ว่า ไบโอชาร์เกิดการออกซิไดซ์แล้วได้หมู่ฟังก์ชันเพิ่มมากขึ้น (Chan *et al.*, 2007; Liang *et al.*, 2006; Nelissen *et al.*, 2015) กอปรกับมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบสูงถึง 1.26 เปอร์เซ็นต์ (ดังแสดงในตารางที่ 2) หากเปรียบเทียบระหว่างเนื้อดินพบว่า ดินเหนียวมีอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าดินร่วนปนทราย แต่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด (อยู่ในช่วง 5.9-10.5 และ 21.1-39.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) เนื่องจากดินร่วนปนทรายที่องค์ประกอบมีแคลเซียมสูงจึงดูดซับฟอสฟอรัสไว้ แต่เมื่อใส่ไบโอชาร์ในดินที่มีฤทธิ์เป็นด่างในอัตราเพิ่มขึ้น จะลด binding energy และปลดปล่อยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (Xu *et al.*, 2014) จึงพบว่ามี interaction กันระหว่างดินร่วนปนทรายกับไบโอชาร์ที่ศึกษา

อย่างไรก็ตาม ไบโอชาร์ไม่มีผลต่อค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและการอิมมัลชันของดิน แต่ขึ้นอยู่กับดินเป็นสำคัญจึงพบว่าดินเหนียวมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง ( $18.2 \text{ cmolkg}^{-1}$ ) กว่าเมื่อเทียบกับดินร่วนปนทราย ( $12.6 \text{ cmolkg}^{-1}$ ) แต่การอิมมัลชันของดินต่ำเพียง 65.5 และ 117.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ นอกจากนี้ ดินเหนียวยังสะสมเหล็ก สังกะสีและทองแดงในปริมาณสูงกว่า

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ดินเหนียวที่ศึกษามีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงถึง  $24 \text{ cmolekg}^{-1}$  จึงมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารที่มีประจุบวกโดยทำให้ปริมาณแมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสีและทองแดงที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสีและทองแดงทั้งหมดในต่อชั่งข้าวโพดเพิ่มขึ้นและแตกต่างกับดินร่วนปนทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อปรับปรุงดินเหนียวด้วยไบโอชาร์อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรวมต่อชั่งสูงสุด ปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด แต่อัตราการเพิ่มของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีปริมาณต่ำกว่าดินร่วนปนทรายที่ปรับปรุงด้วยไบโอชาร์ อย่างไรก็ตาม แม้การใส่ไบโอชาร์จะให้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินร่วนปนทรายมีค่าใกล้เคียงกับในดินเหนียว แต่การสะสมของไนเตรทไนโตรเจนซึ่งมีในปริมาณที่สูงกว่าดินเหนียว อาจเป็นสาเหตุของการสูญเสียไนโตรเจนในดินได้ จึงส่งผลให้การดูดใช้ในโตรเจนทั้งหมดในต่อชั่งมีปริมาณต่ำ ดังนั้นน่าจะนำผลงานวิจัยนี้ไปขยายผลต่อในสภาพพื้นที่ เพื่อศึกษาอิทธิพลของไบโอชาร์ต่อการหมุนเวียนของไนโตรเจนในดินและการสูญเสียในรูปก๊าซไนตรัส เพื่อจะได้ข้อมูลการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพและแนวทางลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่เป็นปัญหาในปัจจุบัน

## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลการศึกษาดังกล่าวใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปขยายผลต่อในสภาพพื้นที่ ในการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากภาคการเกษตรการผลิตมันสำปะหลังมาแยกสลายด้วยความร้อนแบบไม่ใช้หรือใช้ออกซิเจนน้อยมาก จะได้ถ่านไบโอชาร์สำหรับนำไปปรับปรุงดิน นอกจากช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินและอินทรีย์วัตถุ

ซึ่งเป็นแหล่งหมุนเวียนธาตุอาหารแล้ว ไบโอดีทยังลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกเพราะดูดซับไนโตรเจนเอาไว้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตไบโอดีทที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับการผลิตพืช เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปเผยแพร่ให้กับเกษตรกรเห็นความสำคัญของเศษเหลือจากภาคการเกษตรแทนการเผาทิ้ง เพราะนอกจากช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตพืชของดินแล้วยังเป็นวิธีลดการเกิดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย

#### ตารางที่ 1 สมบัติของดินก่อนปลูก

Textures	pH	EC	OM	CEC	BS	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	P	K	Na	Ca	Mg
----------	----	----	----	-----	----	-----------------	-----------------	---	---	----	----	----

	(dSm <sup>-1</sup> )	(%)	(cmolk <sup>-1</sup> )	(%)	(mgkg <sup>-1</sup> )	(ppm)						
Cl	6.5	0.04	2.00	24	57	0.19	0.19	5.4	507	393	1,500	245
SL	7.5	0.03	1.52	10	155	0.07	0.01	21.8	154	369	2,000	132

ตารางที่ 2 สมบัติของไบโอชาร์ที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลัง

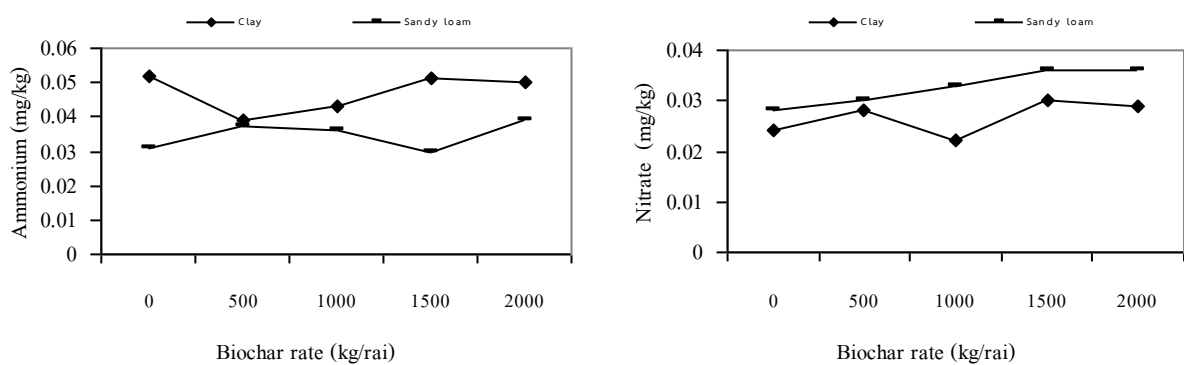
pH	EC (dSm <sup>-1</sup> )	OM (%)	C/N	T-N	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	T-K <sub>2</sub> O
6.6	2.17	86.21	77.9	0.64	0.23	1.26

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงและน้ำหนักแห้งต่อชั่งของต้นข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยว ปี 2557

BC rates (kg/rai)	Height (cm)			Dry weight (g/pot)		
	Cl <sup>1/</sup>	SL <sup>1/</sup>	Difference <sup>2/</sup>	Cl <sup>1/</sup>	SL <sup>1/</sup>	Difference <sup>2/</sup>
1. 0	191.5b	148.0	43.5**	88.7b	46.4	42.3**
2. 500	200.5ab	139.0	61.5**	102.2b	49.8	52.4**
3. 1,000	198.3ab	137.5	60.8**	89.1b	43.6	45.5**
4. 1,500	218.3a	134.5	83.8**	124.5a	44.1	80.5**
5. 2,000	187.5b	135.3	52.3**	90.5b	48.5	42.0**

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละเนื้อดิน ไม่แตกต่างกันทางสถิติใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

<sup>2/</sup> \*\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยเทียบกับ LSD 0.01



ภาพที่ 1 และ 2 แสดงค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมและไนเตรทในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)



ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของต้นข้าวโพด

Treatments	Nutrient concentration (%)					Nutrient uptake (g/pot)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Textures										
Clay	0.43	0.10	1.24	0.26	0.10	0.42	0.10	1.23	0.26	0.09
Sandy loam	0.40	0.15	1.54	0.37	0.11	0.19	0.07	0.70	0.17	0.05
Biochar rates (kg/rai)										
0	0.44	0.11	1.32	0.30	0.11	0.31	0.07	0.86	0.19	0.07
500	0.41	0.11	1.35	0.32	0.10	0.32	0.08	0.99	0.22	0.08
1,000	0.42	0.12	1.42	0.33	0.10	0.29	0.08	0.92	0.21	0.06
1,500	0.41	0.14	1.37	0.31	0.10	0.34	0.10	1.08	0.23	0.08
2,000	0.39	0.14	1.48	0.33	0.10	0.27	0.09	0.98	0.21	0.07
F-test										
Textures (T)	ns	**	**	**	*	**	**	**	**	**
Biochar rates (BC)	<1	ns	ns	<1	<1	<1	<1	ns	ns	ns
TxBC	<1	ns	<1	<1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)	16.4	23.1	10.8	14.4	14.9	28.0	18.6	18.6	20.5	19.1

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละเนื้อดินไม่แตกต่างกันทางสถิติใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%,

<sup>2/</sup> ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* และ \*\* แตกต่างกันโดยเทียบกับ LSD 0.05 และ LSD 0.01

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหารเสริมของต้นข้าวโพด

Treatments	Nutrient concentration (mg/kg)				Nutrient uptake (mg/pot)			
	Fe	Zn	Mn	Cu	Fe	Zn	Mn	Cu
Textures								
Clay	57.65	15.29	62.95	1.76	5.69	1.56	6.15	0.18
Sandy loam	58.40	16.69	48.25	1.37	2.70	0.75	2.16	0.06
Biochar rates (kg/rai)								
0	55.50	13.22	52.17	1.52	3.70	0.90b	3.69	0.11
500	60.52	15.86	57.90	1.43	4.64	1.20ab	4.53	0.11
1,000	60.67	14.21	61.75	1.53	3.94	0.94b	4.31	0.11
1,500	54.37	19.73	52.42	1.71	4.55	1.59a	4.49	0.16
2,000	59.06	16.92	53.78	1.62	4.16	1.12ab	3.76	0.11
F-test								
Textures (T)	<1	<1	**	**	**	**	**	**
Biochar rates (BC)	<1	ns	ns	<1	ns	*	ns	*
TxBC	ns	<1	<1	<1	ns	ns	ns	**
CV. (%)	16.3	28.5	16.2	24.0	25.5	38.8	21.3	26.3

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละเนื้อดินไม่แตกต่างกันทางสถิติใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%,

<sup>2/</sup> ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* และ \*\* แตกต่างกันโดยเทียบกับ LSD 0.05 และ LSD 0.01

ตารางที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

		pH			EC (dSm <sup>-1</sup> )			OM (%)			Avail. P (ppm)			Exch. K (ppm)			Exch. Ca (ppm)			Exch. Mg (ppm)		
		Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean
BC	0	5.9	7.6	6.8	0.06	0.08	0.07	1.93	1.31	1.62c	5.9	21.1	13.5c	288	91	190d	1,525	2,483	2,004	287	165	226
rates	500	5.9	7.7	6.8	0.07	0.07	0.07	2.06	1.37	1.71b	8.8	31.5	20.2b	295	103	199cd	1,535	2,468	2,001	269	176	222
(kg/rai)	1,000	5.9	7.7	6.8	0.06	0.07	0.07	2.10	1.42	1.76b	8.1	35.2	21.6ab	349	111	230b	1,519	2,450	1,985	286	172	229
	1,500	6.0	7.8	6.9	0.06	0.07	0.06	2.21	1.47	1.84a	9.5	36.3	22.9ab	321	124	222bc	1,543	2,494	2,018	295	178	237
	2,000	6.0	7.7	6.8	0.07	0.07	0.07	2.21	1.56	1.88a	10.5	39.1	24.8a	392	138	265a	1,532	2,354	1,943	282	185	234
	Mean	5.9	7.7		0.06	0.07		2.10	1.43		8.6	32.7		329	113		1,531	2,449		284	175	
F-test	Texture (T)	**			ns			**			**			**			**			**		
	BC	ns			<1			**			**			**			ns			ns		
	TxBC	ns			ns			<1			*			ns			ns			ns		
	CV (%)	1.4			28.7			4.0			18.5			11.6			3.8			5.3		

หมายเหตุ <sup>1</sup> ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละเนื้อดิน ไม่แตกต่างกันทางสถิติใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, <sup>2</sup> ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \* และ \*\* แตกต่างกันโดยเทียบกับ LSD 0.05 และ LSD 0.01

ตารางที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของดินหลังการเก็บเกี่ยว (ต่อ)

		CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			BS (%)			Exch. Base (cmolkg <sup>-1</sup> )			Fe (ppm)			Zn (ppm)			Cu (ppm)		
		Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean
BC	0	22.5a	11.3	16.9	58.5	131.8a	95.1	11.03	14.21	12.62	15.51	5.76	11.14	1.80	1.04	1.42	1.02	0.48	0.75
rates	500	13.8c	14.0	13.9	80.8	100.3c	90.5	11.00	13.77	12.39	14.91	5.36	10.13	1.64	1.01	1.32	0.87	0.45	0.66
(kg/rai)	1,000	18.0b	13.8	15.9	61.5	111.0bc	86.3	11.07	14.50	12.79	15.99	6.78	11.38	1.78	0.99	1.38	1.06	0.45	0.75
	1,500	19.8ab	12.3	16.0	58.8	120.5ab	89.6	11.43	14.52	12.97	15.26	5.56	10.41	1.77	0.99	1.38	0.88	0.43	0.65
	2,000	17.0b	11.5	14.3	68.0	122.8ab	95.4	11.55	14.07	12.81	13.57	4.99	9.28	1.87	1.05	1.46	0.87	0.47	0.67
	Mean	18.2	12.6		65.5	117.3		11.22	14.21		15.25	5.69		1.77	1.02		0.94	0.46	
F-test	Texture (T)	**			**			**			**			**			**		
	BC	ns			<1			<1			<1			<1			ns		
	TxBC	**			**			<1			<1			<1			ns		
	CV (%)	14.3			13.9			5.0			12.5			15.3			12.4		

หมายเหตุ <sup>1</sup> ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละเนื้อดิน ไม่แตกต่างกันทางสถิติใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%,  
<sup>2</sup> <sup>ns</sup> ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, \*\* แตกต่างกันโดยเทียบกับ LSD 0.05 และ LSD 0.01

## 11. เอกสารอ้างอิง

- จำเป็น อ่อนทอง. 2547. การวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช  
ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ.สงขลา.  
168 หน้า.
- เสาวคนธ์ เหมวงษ์ .2557. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และกลบต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้  
ไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่  
16 ฉบับที่ 1: 69-75. Bulletin of Applied Sciences Vol. 1 No.133.
- ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ชลวุฒิ ละเอียด สมฤทัย ตันเจริญ เข้มพร เพชรภรณ์ ศิริขวัญ ภูนา สาทิต อารีรักษ์ และ  
อนันต์ ทองภู. 2553. การจัดการสมดุธาตุอาหารพืชในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในชุดดินสมอทอด.  
ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2553 เล่มที่ 1. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร  
กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์ พัลลภ ไชโยป ภูมิ จันทร์อุทัย และ เสน่ห์ พงศาปาน. 2554. ผลของถ่านและปุ๋ยต่อการ  
เจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนในดินทรายจัด. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ปีที่ 6  
ฉบับที่ 1. 14 หน้า.
- AOAC. 1990. Official method of analysis of the association of official analytical chemists.  
Virginia, USA. 684 pp.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of  
phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Bremner, J.B. 1996. Nitrogen-total In: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods-  
SSSA book series on 5. Chapter 37: 1085-1121.
- Chan K. Y., V.L. Zwieten , I. Meszaros , A. Downie and S. Joseph . 2007. Agronomic values of  
greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research 45, 629-  
634.
- Dempster, D.N., D.L. Jones, D.M. Murphy, D.M. 2012. Clay and biochar amendments decrease  
dinorganic but not dissolved organic nitrogen leaching in soil. Soil Res. 50, 216–221.
- Eldridge, S., C. Chen, Z. Xu, I. Meszaros and K.Y. Chan. 2010. Greenwaste biochar potentially  
reduces nitrogen fertilizer losses. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for  
a Changing World 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. 4 p.
- Liang B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J. O. Skjemstad,  
J. Thies, F. J. Luizão, J. Petersen and E. G. Neves. 2006. Black carbon increases cation  
exchange capacity in soils. Soil Sci. Soc. of America J. Vol. 70 No. 5, p. 1719-1730.

- Nelissen, V., G. Ruysschaert, D.M. Abusi, T. D'Hose, K. D.Beuf B. Al-Barri, W. Cornelis and P. Boeckx. 2015. Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *Europ. J. Agronomy*. 62:65-78.
- Peech, M. 1965. Hydrogen Ion Activity. pp. 914-926. In C.A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, and F.E. Clark (eds.). *Method of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA.
- Pacholski A., X.H. Fan, H. Ding, D.L. Chen, R. Nieder and M. Roelcke. 2008. Comparison of different methods for the measurement of ammonia volatilization after urea application in Henan Province , China. *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 171:361-369.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.
- Sohi, S., E. Lopez-Capel, E. Krull, and R. Bol. 2009. Biochar, climate change and soil: a review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report.
- Sun L., L. Li, Z. Chen, J. Wang and Z. Xiong. 2014. Combined effects of nitrogen deposition and biochar application on emission of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> from agricultural and forest soils. 60:254-265.
- Verheijen F., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. Van der Velde and I. Diafas. 2010. Biochar application to soils. A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions: 166 p.
- Walkey A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. *Soil Sci*. 37: 29-38.
- Xu G., J.N Sun, H.B. Shao, S.X. Chang. 2014. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological Engineering* 62:54-60.