การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร*

Biochar application to soil improvement for agriculture

ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์**

รศ.ดร.อรสา สุกสว่าง***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินและประเมินระดับความพึงพอใจของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เทศบาลต่อการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลองและการสัมมนาเรื่องการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกเพื่อการปรับปรุงดิน นอกจากนี้ยังประเมินระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินและหาความสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินกับระดับการยอมรับของผู้ได้เข้าร่วมกิจกรรม การวิจัยใช้วิธีการทดลองแบบมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการปลูกผักคะน้าโดยใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังนี้คือ 0:0 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ทั้งในแปลงสาธิตและแปลงฝึกอบรม ผลผลิตของผักคะน้าซึ่งวัดด้วยความสูงและน้ำหนักเป็นตัวชี้วัดว่าอัตราส่วนใดให้ผลผลิตสูงสุด มีการตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพและของดินในห้องปฏิบัติการก่อนและหลังการทดลองในภาคสนาม การรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจและการยอมรับของผู้เข้าร่วมกิจกรรมใช้แบบสอบถาม เทคนิคในการวิเคราะห์ทางสถิติ คือ สถิติเชิงพรรณนา การจัดกลุ่มแบบสองขั้นและการทดสอบไคกำลังสอง ผลการวิจัยพบว่าผักคะน้าในแปลงทดลองที่ใช้อัตราส่วนของปุ๋ยคอกต่อถ่านชีวภาพ 25:75 มีความสูงและน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าทุกแปลง โดยเฉพาะน้ำหนักเฉลี่ยมีความแตกต่างจากทุกแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การประเมินระดับความพึงพอใจของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เทศบาลต่อการเข้าร่วมกิจกรรมพบว่าอยู่ในระดับพึงพอใจมาก การติดตามผู้ได้เข้าร่วมกิจกรรมหลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรมแล้ว 1 เดือน พบว่าผู้ได้เข้าร่วมกิจกรรมร้อยละ 57 มีการยอมรับในระดับปฏิบัติจริงด้วยความเชื่อมั่น และพบว่าความรู้เดิมของผู้เข้าร่วมกิจกรรมในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินไม่มีผลต่อระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน สำหรับผู้ที่ยังไม่นำไปปฏิบัติจริงพบว่ามีสาเหตุมาจากการขาดอุปกรณ์ในการผลิตถ่านชีวภาพ

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ ปุ๋ยคอก การปรับปรุงดิน ผักคะน้า

---

* บทความนี้เรียบเรียงจากวิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์การวางแผนพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** นิสิตปริญญาโท สาขาภูมิศาสตร์การวางแผนพัฒนา ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน สำหรับผู้ที่ยังไม่นำไปปฏิบัติจริงพบว่ามีสาเหตุมาจากขาดอุปกรณ์ในการผลิตถ่านชีวภาพ

Abstract

This research aimed to assess an application of biochar to soil improvement and to assess the satisfaction level of farmers and municipal authorities for their participations in the experiments and in the seminar of using biochar mixed with organic composts as soil improver. Moreover, it also assessed the adoption level of participants on biochar application to soil and to establish the relationship between the participants' previous experiences relating to soil improvement and the adoption level. The approach used in this research was participatory experiments with farmers in planting the Chinese kales using different ratio of organic composts to biochar as follows: 0:0, 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100 in the demonstration and training farms. The plant yields measured by the average of the Chinese kales' height and weight were indicators for evaluating which ratio was the most effective. The properties of biochar and soils were examined in the laboratory before and after the field experiments. Questionnaires were used for collecting the data of satisfaction and adoption of the participants after joining the activities. Techniques for statistical analyses were descriptive, two-step cluster and Chi-square. It was found that the average height and weight of the Chinese kales in the 25:75 plot were greater than those in other plots. However, only the average weight of the Chinese kales in this plot was different from the others at the 0.05 statistical significance level. The participants were found to be very satisfied in the activities' participations. The monitoring after the activities about one month showed that 57% of the participants adopted biochar application to soil at the practice level while there was no relationship between the participants' previous experiences relating to soil improvement and the adoption level. For those who had not yet adopted in practice was because they lacked stoves for biochar production.

Keywords: biochar, organic composts, soil improver, Chinese kale

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่เกษตรกรรมเป็นอันดับ 2 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (The World Bank, 2009) โดยมีพื้นที่การเกษตรคิดเป็นร้อยละ 47 ของพื้นที่ทั้งประเทศ อย่างไรก็ดี ผลผลิตการเกษตรยังอยู่ในระดับต่ำเนื่องจากมีปัญหาดินเสื่อมในระดับรุนแรงและระดับวิกฤตรวมกัน 36 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.2 ของพื้นที่ประเทศ และปัญหาดินเสื่อมมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 1 ล้านไร่ เป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ถูกต้องตามสมรรถนะของดิน ซึ่งจะส่งผลกระทบ

ต่อภาคเกษตรกรรม (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554) หากยังคงปล่อยให้อยู่ในสภาพเช่นนี้ จะส่งผลให้การเกษตรของประเทศไทยขาดความยั่งยืน นอกจากนี้ยังพบว่าภาคการเกษตรยังเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อน กล่าวคือมีการระบุในรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยว่าภาคการเกษตรปล่อยก๊าซเรือนกระจก คิดเป็นร้อยละ 22.60 ของปริมาณการปล่อยทั้งหมดของประเทศ รองจากภาคพลังงานซึ่งมีการปล่อยถึงร้อยละ 69.60 (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) เนื่องจากภาคการเกษตรมีการใช้ปุ๋ยเคมีและมีการไถกลับหน้าดินในการทำการเกษตรแต่ละฤดู ส่งผลให้ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้น การเผาเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวหรือการปล่อยให้สลายโดยธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดียังพบว่าประเทศไทยมีชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในปี 2554 มากถึง 102 ล้านตัน และยังไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือมีการจัดการที่ดีถึง 64.74 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) ขณะนี้พบว่ามีเทคโนโลยีที่สามารถนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาเปลี่ยนสภาพให้เป็นถ่านชีวภาพเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินเป็นประโยชน์ต่อภาคการเกษตรและเป็นการกักเก็บคาร์บอนลงดินช่วยลดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อน คือ เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ (อรสา สุกสว่าง, 2552; Biopact, 2007; IBI, 2009)

เทคโนโลยีถ่านชีวภาพเป็นเทคโนโลยีลดคาร์บอน หมายถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนผลิตถ่านชีวภาพด้วยวิธีการแยกสลายด้วยความร้อนหรือเรียกว่า ไพโรไรซิส (pyrolysis) ซึ่งจะได้น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ (syngas) ได้แก่ H_2, CO และ CH_4 รวมกัน 20% และเป็นถ่านชีวภาพ 20% ซึ่งถ่านชีวภาพที่ได้จะมีสมบัติเป็นรูพรุน และประกอบด้วยธาตุ C, H, O, N, S และขี้เถ้า โครงสร้างจะเปลี่ยนไปตามประเภทของชีวมวล (Suksawang, 2010; Winsley, 2007; Zafar, 2009) โดยเฉพาะธาตุคาร์บอน 100% ที่อยู่ในชีวมวลจะกักเก็บอยู่ในถ่านชีวภาพ 50% เมื่อนำถ่านชีวภาพมาลงดินจะเป็นการกักเก็บคาร์บอนลงดินแทนการแพร่กระจายสู่ชั้นบรรยากาศ จากการทบทวนเอกสาร พบว่าถ้านำชีวมวลมาเผาจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วเหลือคาร์บอนเพียง 3% ขณะที่การย่อยสลายโดยธรรมชาติเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 5-10 ปี จะเหลือคาร์บอนต่ำกว่า 20% (Lehmann, 2006)

นอกจากนี้พบว่าถ่านชีวภาพสามารถให้ประโยชน์ได้หลายอย่างในเวลาเดียวกัน คือ 1) ช่วยปรับปรุงดิน 2) ลดก๊าซเรือนกระจก 3) ผลิตพลังงานทางเลือก 4) การจัดการของเสียซึ่งได้แก่ชีวมวล เนื่องจากถ่านชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนซึ่งมีข้อดีคือให้พลังงานควบคู่ไปกับช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุนั้น และ 5) การแก้ปัญหาความยากจน เช่น ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและเพิ่มรายได้จากการเพิ่มผลผลิตการเกษตร (อรสา สุกสว่าง, 2552; Lehmann, 2006; Starke, 2009) อุทัย อารมณ์รัตน์ (2536) และเสาวคนธ์ เหมวงษ์ (2554) ได้วิจัยเกี่ยวกับประโยชน์ของถ่านชีวภาพต่อการปลูกพืช หากนำถ่านชีวภาพมาใช้ประโยชน์ดังกล่าวข้างต้น จะช่วยสนับสนุนนโยบายในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 ในเรื่องการแก้ปัญหาเรื่องดินเสื่อม การพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจากพืชแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และความยากจน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554)

งานวิจัยนี้สนใจในการนำถ่านชีวภาพมาใช้เพื่อปรับปรุงดินร่วมกับปุ๋ยคอกในการปลูกผักคะน้า เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายทนต่ออากาศร้อน ปลูกได้ทุกฤดูและใช้เวลาในการเพาะปลูกเพียง 45 ถึง 60 วัน โดยทำการทดลองร่วมกับเกษตรกรเพื่อให้เกษตรกรมีส่วนร่วมในการเรียนรู้และยอมรับในการประยุกต์ถ่านชีวภาพมาช่วยเรื่องการปรับปรุงดิน ไปพร้อมๆ กับการกักเก็บคาร์บอนลงดินเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก วัตถุประสงค์ในการทดลองคือต้องการตอบคำถามว่าถ้าใช้ถ่านชีวภาพมาแทนปุ๋ยคอก คุณภาพดินเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยคอกอย่างเดียวที่เกษตรกรเคยทำอยู่จะส่งผลให้คุณภาพดินลดลงหรือไม่ และควรใช้ถ่านชีวภาพมาแทนปุ๋ยคอกในอัตราส่วนเท่าใดจึงจะมีประโยชน์ต่อการปลูกผักคะน้ามากที่สุด เพราะถ้าคุณภาพดินยังคงเดิม จะมีโอกาสเปลี่ยนพฤติกรรมของเกษตรกรในการปลูกผักคะน้าที่ใช้ปริมาณปุ๋ยคอกลดลงและยังช่วยลดก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินและประเมินระดับความพึงพอใจของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เทศบาลต่อการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลองและการสัมมนาเรื่องการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกเพื่อการปรับปรุงดิน
2. เพื่อประเมินระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินและหาความสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินกับระดับการยอมรับของผู้เข้าร่วมกิจกรรม

ขอบเขตการวิจัย

เนื้อหาในการวิจัยครอบคลุมการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินโดยมีการทดลองร่วมกับเกษตรกรใน “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” และการสัมมนาร่วมกับเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพและดินที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ การประเมินระดับความพึงพอใจและระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินของผู้ได้เข้าร่วมกิจกรรมหลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรม ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัยรวม 1 ปีระหว่างเดือนตุลาคม 2554 และเดือนตุลาคม 2555 สำหรับพื้นที่วิจัยเป็นพื้นที่นาอยู่ในเขตตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยประกอบด้วย 1) การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการโดยใช้วิธีการทดลองร่วมกับเกษตรกรในการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกเพื่อการปรับปรุงดินใน “แปลงสาธิต” เพื่อใช้เป็นแปลงตัวอย่างสำหรับดูงานในการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างใน “แปลงฝึกอบรม” โดยมีอาสาสมัครที่ผ่านการฝึกปฏิบัติใน “แปลงสาธิต” มาเป็นผู้ช่วยฝึกอบรม 2) การสัมมนาเรื่องการประยุกต์ถ่าน

ชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินให้กับเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยใช้องค์ความรู้จากกิจกรรมการทดลองทั้งใน “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” เป็นเนื้อหาในการสัมมนาเพื่อให้เจ้าหน้าที่ฝ่ายปกครองมีความรู้และเห็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพในการวางแผนพัฒนาด้านการเกษตร 3) การประเมินในการวิจัย ประกอบด้วยการประเมินการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินจากการปลูกผักคะน้าในแปลงทดลอง การประเมินคุณสมบัติของถ่านชีวภาพและดินในห้องปฏิบัติการครอบคลุมก่อนและหลังการทดลองทั้งใน “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” การประเมินระดับความพึงพอใจของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต่อการมีส่วนร่วมในกิจกรรม และการประเมินระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินของผู้ได้เข้าร่วมกิจกรรมหลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรมแล้ว 1 เดือน

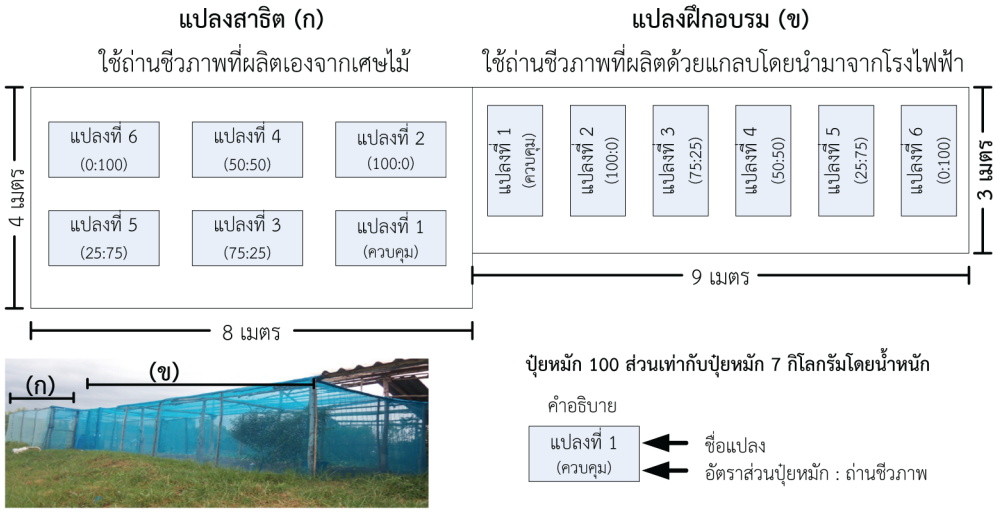
การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเกษตรกรประกอบด้วยเกษตรกรที่ร่วมทดลองใน “แปลงสาธิต” จำนวน 1 รายซึ่งเป็นอาสาสมัครที่สนใจและยินดีให้ใช้พื้นที่ทำ “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” รวมพื้นที่ประมาณ 70 ตารางเมตร (กว้าง 4 เมตร ยาว 17 เมตร) และเกษตรกรที่ร่วมทดลองใน“แปลงฝึกอบรม” ซึ่งคัดเลือกจากเกษตรกรที่อยู่ในละแวกรัศมี 1 กิโลเมตรห่างจากบ้านนักวิจัยในหมู่ที่ 6 ของเทศบาลตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด และมีความสนใจเข้าร่วมกิจกรรมจำนวน 18 คน การทดลองใช้เวลา 50 วันต่อรุ่น การมีส่วนร่วมของเกษตรกรในกิจกรรมการทดลองประกอบด้วยการร่วมกันผลิตถ่านชีวภาพ การนำถ่านชีวภาพไปใช้ปรับปรุงดินร่วมกับปุ๋ยคอก การนำกล้าคะน้าที่นักวิจัยได้เตรียมไว้ลงแปลงทดลอง และการดูแลด้วยการรดน้ำวันละ 2 ครั้งเช้า-เย็น การกำจัดศัตรูพืชและการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผักคะน้าตลอดการทดลอง

กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมสัมมนาคัดเลือกจากเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนพัฒนา จำนวน 12 คน โดยใช้เวลาในการสัมมนา 1 วัน แบ่งเป็นภาคบรรยายในช่วงเช้าและการดูงานใน “แปลงฝึกอบรม” ในช่วงบ่าย

อุปกรณ์และวัสดุในการทดลอง

อุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วย “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” อย่างละ 6 แปลง ดังภาพที่ 1 โดยแต่ละแปลงมีพื้นที่เพาะปลูก 2 ตารางเมตรขนาดกว้าง 1 เมตรและยาว 2 เมตร กำหนดให้แปลงที่หนึ่งเป็นแปลงควบคุมไม่มีการใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพ ขณะที่แปลงที่ 2-6 จะเป็นการทดลองนำถ่านชีวภาพมาแทนปุ๋ยคอกที่เกษตรกรเคยใช้เพียงอย่างเดียว โดยใช้อัตราส่วนปุ๋ยคอกต่อถ่านชีวภาพดังต่อไปนี้ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 เรียงตามลำดับ ถ่านชีวภาพสำหรับ “แปลงสาธิต” ใช้ถ่านที่ผลิตเองจากเศษวัสดุเหลือใช้ที่เป็นเศษไม้ทิ้งอยู่รอบที่นา ขณะที่ “แปลงฝึกอบรม” ใช้ถ่านชีวภาพซึ่งนำมาจากโรงไฟฟ้าเพื่อใช้เปรียบเทียบผลผลิตของผักคะน้าในการทดลอง อุปกรณ์ในการสัมมนาเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลเมืองบัว ประกอบด้วยวีดีโอซึ่งถ่ายทำกระบวนการทดลองใน “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” โปสเตอร์ผลการวิจัย และเอกสารประกอบการบรรยาย



ภาพที่ 1 ภาพแปลงสาธิตและส่วนขยายเป็นแปลงฝึกอบรม
ที่มา: การทดลองภาคสนามระหว่างเดือนเมษายน-เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555

วิธีการเก็บข้อมูล

วิธีการเก็บข้อมูลสำหรับประเมินการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน ใช้วิธีการวัดความสูงและการชั่งน้ำหนักผักคะน้าหลังเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละรุ่นซึ่งผักคะน้ามีอายุครบ 50 วัน ข้อมูลคุณสมบัติดินและถ่านชีวภาพใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ข้อมูลความพึงพอใจและการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลเมืองบัวต่อการมีส่วนร่วมในกิจกรรมใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวม โดยแบ่งระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ มากที่สุด (5 คะแนน) มาก(4 คะแนน) ปานกลาง(3 คะแนน) น้อย(2 คะแนน) และน้อยที่สุด(1 คะแนน) และแบ่งระดับการยอมรับเป็น 2 ระดับ คือการยอมรับในระดับแนวคิดและระดับนำไปปฏิบัติจริง

เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูล

เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติได้แก่ สถิติเชิงพรรณนาสำหรับการอธิบายระดับความพึงพอใจในการเข้าร่วมกิจกรรมและการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินของผู้ได้เข้าร่วมกิจกรรม การจัดกลุ่มแบบสองขั้น (TwoStep Cluster) สำหรับวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มผู้เข้าร่วมกิจกรรมด้วยตัวแปรความรู้เดิมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินก่อนเข้าร่วมกิจกรรม (จำนวน 14 ตัวแปร) เทคนิคไค-สแควร์ สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้เดิมด้านการปรับปรุงดินของผู้เข้าร่วมกิจกรรมกับระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน

ผลการวิจัย

1) ผลการประเมินการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินและการประเมินระดับความพึงพอใจของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เทศบาลต่อการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลองและการสัมมนาเรื่องการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอกเพื่อการปรับปรุงดิน

ผลการประเมินการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน

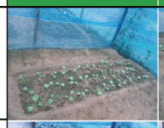
การทดสอบในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินที่มีการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอก (การใช้ถ่านชีวภาพมาแทนบางส่วนของปุ๋ยคอก) เปรียบเทียบกับดินที่มีการใช้ปุ๋ยคอกอย่างเดียวล้วนๆ หลังการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน หมายความว่าอาหารในดินไม่ได้ลดลงแม้ว่าจะมีการเอาปุ๋ยคอกบางส่วนออกไป และถ่านชีวภาพที่เข้ามาแทนที่ปุ๋ยมีส่วนทำให้อาหารในดินเพิ่มขึ้น แสดงว่าการใช้ถ่านชีวภาพมาแทนปุ๋ยคอกบางส่วนสามารถทำได้ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปุ๋ยคอกต่อถ่านชีวภาพพบว่าอัตราส่วน 25:75 ในการทดลองเป็นอัตราส่วนที่ทำให้ผักคะน้ามีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าแปลงอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ดีถ้าใช้เฉพาะการสังเกตด้วยสายตาและวัดด้วยมือจะพบว่าผักคะน้าในแปลงนี้มีความสูงเฉลี่ยมากกว่าแปลงอื่นๆ ด้วย (ภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3)

อายุผัก (วัน)	อัตราส่วน (ร้อยละ) ปุ๋ยหมัก : ถ่านชีวภาพ					
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	แปลงที่ 4	แปลงที่ 5	แปลงที่ 6
	0 : 0	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100
30						
37						
44						
51						
ความสูงเฉลี่ย(ซม.)	32.07	36.27	35.77	36.17	**37.37**	33.60
น้ำหนักเฉลี่ย(กรัม)	58.43	67.83	79.27	76.73	**100.17**	75.57

เก็บเกี่ยวเมื่ออายุผัก 51 วัน (สุ่มเลือกแปลงละ 30 ต้น)

ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในแปลงสาธิต

ที่มา: การทดลองภาคสนามระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ. 2555

อายุผัก (วัน)	อัตราส่วน (ร้อยละ) ปุ๋ยหมัก : ถ่านชีวภาพ					
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	แปลงที่ 4	แปลงที่ 5	แปลงที่ 6
	0 : 0	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100
30						
37						
44						
51						
ความสูงเฉลี่ย(ซม.)	26.53	29.17	26.03	28.60	**35.00**	29.05
น้ำหนักเฉลี่ย(กรัม)	30.43	45.90	35.97	40.33	**61.50**	41.21

เก็บเกี่ยวเมื่ออายุผัก 51 วัน (สุ่มเลือกแปลงละ 30 ต้น)

ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในแปลงฝึกอบรม
ที่มา: การทดลองภาคสนามระหว่างเดือนพฤษภาคม-เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555

จากการตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตเองจากเศษกิ่งไม้กับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากแกลบที่ได้จากโรงไฟฟ้าพบว่าถ่านชีวภาพจากกิ่งไม้มีธาตุอาหารมากกว่าแต่มีความเป็นด่างน้อยกว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากแกลบของโรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลมาจากวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพแตกต่างกันและอุณหภูมิในการแยกสลายธาตุของชีวมวลในโรงไฟฟ้า (ประมาณ 1000 องศาเซลเซียส) จะสูงกว่าการผลิตเอง (350-500 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ดีพบว่าถ่านชีวภาพช่วยลดความเป็นกรดในดินของ (pH) ทั้งสองชุดการทดลอง

ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของเกษตรกรต่อการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลอง

การประเมินระดับความพึงพอใจของเกษตรกรทั้งใน “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” เป็นการประเมินความพึงพอใจการเข้าร่วมกิจกรรมของเกษตรกรจำนวนรวม 18 คน ในด้านเนื้อหาสาระของการอบรม ประโยชน์ที่ได้รับและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้หลังจากผ่านการอบรม วิธีการถ่ายทอดทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในขณะรับการอบรม พบว่าร้อยละ 50 (9 คน) ของผู้เข้าร่วมรับการอบรมทั้งหมดมีความพึงพอใจในภาพรวมของประเด็นข้างต้นโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ร้อยละ 38.89 และ 11.11 มีความพึงพอใจรองลงมาอยู่ในระดับมากและปานกลางเรียงตามลำดับ โดยสรุปผู้เข้าร่วมกิจกรรมทั้งหมดให้คะแนนความพึงพอใจในภาพรวมโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (4.18 คะแนน) เนื่องจาก

ผู้เข้าอบรมทั้งหมดยังไม่เคยมีความรู้เรื่องการผลิตถ่านชีวภาพและการนำถ่านชีวภาพไปลงดินมาก่อน เคยมีความรู้เฉพาะเรื่องการผลิตถ่านที่นำไปเป็นเชื้อเพลิง จึงเป็นเรื่องใหม่ของผู้เข้าอบรม อย่างไรก็ดี พบว่าร้อยละ 50 ของผู้เข้าอบรมเคยมีความรู้เรื่องการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมัก ปุ๋ยน้ำชีวภาพ การปลูกพืชหมุนเวียน และการใช้วัสดุที่เกิดจากแหล่งธรรมชาติ (ปุ๋ยมาร์ล, โดโลไมท์, หินฟอสเฟส, แร่ยิบซัมฯ) เป็นสารปรับปรุงดิน

ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่เทศบาลในการสัมมนา

ระหว่างกิจกรรมการอบรมเกษตรกรใน “แปลงสาธิต” และ “แปลงฝึกอบรม” ได้มีการบันทึกกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพและการนำถ่านชีวภาพลงดินในรูปของวีดีทัศน์เพื่อใช้เป็นสื่อในการจัดสัมมนาร่วมกับเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลเมืองบัวเพื่อขยายเครือข่ายการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน (ภาพที่ 4) จากการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมกิจกรรมสัมมนาในด้านเนื้อหาสาระ ประโยชน์ที่ได้รับและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้หลังจากผ่านการสัมมนา วิธีการถ่ายทอดความรู้จากการบรรยายโดยใช้สื่อประกอบและการดูงานในภาคสนาม พบว่าผู้เข้าร่วมสัมมนาทั้งหมดมีความพึงพอใจโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (4.13 คะแนน) แยกเป็นร้อยละ 66.67 มีความพึงพอใจมากที่สุดและร้อยละ 33.33 มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดในประเด็นเรื่องที่นักวิจัยมีการทดลองร่วมกับเกษตรกร และการได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการผลิตและการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน

ภาพที่ 4 การจัดอบรมกลุ่มเกษตรกรและการจัดสัมมนาร่วมกับเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลเมืองบัว

2. ผลการประเมินระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินและหาความสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินกับระดับการยอมรับของผู้เข้าร่วมกิจกรรม

จากการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มแบบสองขั้นจัดกลุ่มผู้ผ่านการเข้าร่วมกิจกรรมอบรม (18 คน) และสัมมนา (12 คน) รวมทั้งหมดจำนวน 30 คน ด้วยประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินก่อนเข้าร่วมกิจกรรมซึ่งวัดด้วยตัวแปร 14 ตัวพร้อมกัน สามารถจัดกลุ่มได้สองกลุ่มโดยแต่ละกลุ่มมีลักษณะดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีจำนวนสมาชิก 19 คน ประกอบด้วยสมาชิกที่มีและไม่มีความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพมาก่อน คนส่วนใหญ่มีความรู้ในทุกหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดิน สมาชิกมากกว่าร้อยละ 50 มีความรู้เรื่องการผลิตถ่านทั่วไปสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง การใช้ระบบพืช (พืชผสมผสาน/พืชหมุนเวียน/พืชคลุมดิน) การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การผลิตปุ๋ยหมัก การใช้จุลินทรีย์ (ปุ๋ยน้ำชีวภาพ) การไถพรวนและตากหน้าดินเพื่อกำจัดตัวอ่อนแมลง การปรับปรุงดินโดยใช้ไส้เดือน และการใช้ถ่าน

กลุ่มที่ 2 มีจำนวนสมาชิก 11 คน ประกอบด้วยสมาชิกที่ไม่มีความรู้เรื่องถ่านชีวภาพมาก่อนทั้งหมด มีจำนวนสมาชิกที่รู้หัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินเพียง 1 คน สมาชิกมากกว่าร้อยละ 50 มีความรู้เรื่องการผลิตถ่านทั่วไปสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น

การประเมินระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรแบ่งเป็น 2 ระดับคือ 1) ระดับแนวคิดหมายถึงยอมรับว่าถ่านชีวภาพมีประโยชน์ในการปรับปรุงดินแต่ยังไม่ได้นำไปปฏิบัติจริง และ 2) ระดับปฏิบัติ หมายถึงมีการยอมรับและนำไปปฏิบัติจริง จากการสำรวจการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินพบว่าร้อยละ 57 (17 คน) ของผู้เข้าร่วมกิจกรรมทั้งหมดมีการยอมรับในระดับปฏิบัติคือนำไปปฏิบัติจริงแยกเป็นเกษตรกร 10 คน และเจ้าหน้าที่เทศบาล 7 คน คิดเป็นร้อยละ 56 ของเกษตรกรที่เข้าร่วมกิจกรรม และร้อยละ 58 ของเจ้าหน้าที่เทศบาลที่เข้าร่วมกิจกรรมเรียงตามลำดับ เมื่อพิจารณาระดับการยอมรับ แยกตามกลุ่มที่แบ่งตามความรู้เดิมก่อนเข้าร่วมกิจกรรม พบว่ากลุ่มที่ 1 สมาชิกจำนวน 19 คน มีการยอมรับในระดับปฏิบัติคิดเป็นร้อยละ 58 (11 คน) แยกเป็นเกษตรกร 4 คน และเจ้าหน้าที่เทศบาล 7 คน ขณะที่กลุ่มที่ 2 สมาชิกจำนวน 11 คน มีการยอมรับในระดับปฏิบัติคิดเป็นร้อยละ 55 (6 คน) เป็นเกษตรกรทั้งหมด (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ผ่านการเข้าร่วมกิจกรรมแยกตามระดับการยอมรับและกลุ่มที่แบ่งด้วยประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินก่อนเข้าร่วมกิจกรรม

ระดับ	กลุ่มผู้เข้าร่วมกิจกรรม (A)		รวมทั้งหมด
การยอมรับ (B)	กลุ่มที่ 1 จำนวนคน (%)	กลุ่มที่ 2 จำนวนคน (%)	จำนวนคน (%)
ระดับแนวคิด	8 (42)	5 (45)	13 (43)
ระดับนำไปปฏิบัติ	11 (58)	6 (55)	17 (57)
รวม (คน)	19 (100)	11 (100)	30 (100)
ค่าไค-สแควร์ที่ได้จากการวิเคราะห์= 0.032		ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ=0.859	

สมมติฐานทางสถิติ H_0 : (A) และ (B) ไม่มีความสัมพันธ์กัน
H_1 : (A) และ (B) มีความสัมพันธ์กัน
ระดับนัยสำคัญทางสถิติ = 0.05

เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินและระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินของผู้ผ่านการเข้าร่วมกิจกรรมด้วยเทคนิคไค-สแควร์ พบว่าค่า ไค-สแควร์ ที่คำนวณได้ (0.032) มีค่าน้อยกว่าไค-สแควร์ ในตาราง (3.841) และมีระดับนัยสำคัญทางสถิติเกินกว่าระดับทดสอบ ส่งผลให้มีการยอมรับ H_0 กล่าวคือความรู้หรือประสบการณ์เดิมในเรื่องการปรับปรุงดินของผู้เข้าร่วมกิจกรรมไม่มีผลต่อระดับการยอมรับการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การทดลองใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในการปลูกผักคะน้าสำหรับงานวิจัยนี้ใช้ประสบการณ์ของเกษตรกรที่เคยใช้ปุ๋ยคอกอย่างเดียวเป็นเกณฑ์แล้วจึงลดปริมาณปุ๋ยคอกออกเพื่อแทนด้วยถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราส่วนระหว่างปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพเท่ากับ 25:75 เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ผักคะน้ามีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าอัตราส่วนอื่น อัตราส่วนผสมที่แนะนำว่าเหมาะที่สุดในเว็บไซต์ของกลุ่มที่ใช้ถ่านชีวภาพคือ 50:50 (Biochar Discussion Lists and Terra Preta Website, 2012) ความเหมาะสมของอัตราส่วนผสมอาจมีความแตกกันในแต่ละพื้นที่เนื่องจากชนิดของดิน ระยะเวลาที่ใช้ถ่านชีวภาพ สภาพภูมิอากาศ และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพอาจมีความแตกต่างกัน ดินในพื้นที่ศึกษาที่ใช้ในการทดลองเป็นชุดดินร้อยเอ็ด มีลักษณะเป็นดินปนทราย มีสภาพเป็นกรดจัดซึ่งเป็นอุปสรรคในการเติบโตของพืช มีอินทรียวัตถุในดินน้อย สภาพภูมิอากาศแห้งแล้ง (เทศบาลตำบลเมืองบัว, 2553) ในการทดลองนี้ใช้เวลาเพียง 50 วันหรือวัดการเติบโตของพืชเพียงรุ่นเดียว จึงยังไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุ (organic matter) ในดินชัดเจน ซึ่ง Fontaine (2004) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินสำหรับการเกษตรและการสะสมคาร์บอนในดินพบว่าต้องใช้ระยะเวลามากกว่า 5 ปีขึ้นไป จึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านอินทรียวัตถุและการส่งผลต่อการเติบโตของพืชซึ่งสามารถระบุการเพิ่มผลผลิตของพืชได้ชัดเจน อย่างไรก็ดีข้อมูลที่แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในการทดลองครั้งนี้คือถ่านชีวภาพช่วยทำให้ความเป็นกรดของดินลดลง และในการศึกษาครั้งนี้เน้นการทดลองเพื่อให้เกษตรกรเปลี่ยนพฤติกรรมจากการใช้ปุ๋ยคอกอย่างเดียวในการปรับปรุงดินเป็นการใช้ถ่านชีวภาพร่วมด้วยเพื่อการปรับปรุงดินและกักเก็บคาร์บอนในดินเพื่อลดโลกร้อนไปพร้อมๆ กัน ซึ่งประสบผลสำเร็จเพราะเกษตรกรได้ร่วมทดลองด้วยตนเองและมีหลักฐานยืนยันจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการว่าการลดปุ๋ยคอกเพื่อถ่านชีวภาพไม่ได้ทำให้อาหารในดินลดลง แต่กลับทำให้ผลผลิตของผักคะน้ามากกว่าที่เกษตรกรเคยใช้ปุ๋ยคอกอย่างเดียว

ซึ่งตรงข้ามกับการคาดการณ์ของเกษตรกรที่มีส่วนร่วมในการทดลอง กล่าวคือเกษตรกรคาดการณ์ว่าแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียว จะให้ผลผลิตดีที่สุด จากผลการมีส่วนร่วมในการทดลองครั้งนี้ส่งผลให้เกษตรกรมีความเชื่อมั่นในการยอมรับในระดับปฏิบัติจริง ทำให้ได้ข้อสรุปว่าการเรียนรู้ที่เกิดจากการมีส่วนร่วมของเกษตรกร จะทำให้เกษตรกรเกิดการยอมรับในระดับปฏิบัติจริงด้วยความเชื่อมั่นและมีแนวทางในการพัฒนาด้วยตนเองต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการมีส่วนร่วมของเกษตรกรของภาสกร นันทพานิช (2553) และ วิฑูรย์ เรืองเลิศปัญญากุล (2551)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าผู้เข้าร่วมกิจกรรมทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลได้ให้การยอมรับว่าถ่านชีวภาพมีประโยชน์ในการปรับปรุงดินและเกิดผลพลอยได้คือช่วยลดโลกร้อนในเวลาเดียวกันด้วย อย่างไรก็ดีผู้ผ่านการเข้าร่วมกิจกรรมเกือบครึ่งหนึ่งยังไม่ได้นำไปปฏิบัติจริง สาเหตุมาจากการขาดความพร้อมในอุปกรณ์การผลิตถ่านชีวภาพ จึงเสนอแนะให้เทศบาลตำบลเมืองบัวมีแผนไปช่วยให้ความรู้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ และให้การสนับสนุนอย่างต่อเนื่องกับกลุ่มที่นำไปปฏิบัติจริงเพื่อพัฒนาเป็นบุคลากรในการสาธิตเพื่อขยายเครือข่ายการประยุกต์ถ่านชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดินต่อไป

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรกำหนดแผนการทดลอง ให้มีการทดลองซ้ำ อย่างน้อย 3 ชุด และควรทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อเปรียบเทียบผลผลิตในระยะยาว
2. ควรมีการวิจัยต่อยอดจากการวิจัยในครั้งนี้ โดยเพิ่มชนิดของพืชอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุญาตให้ใช้เตาผลิตถ่านชีวภาพด้วยวิธีการแยกสลายด้วยความร้อน อนุสิทธิบัตรเลขที่ 5667 ปี พ.ศ. 2553 ซึ่งประดิษฐ์โดยนางอรสา สุกสว่าง

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. **รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2554** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.dede.go.th/dede/ images/ stories/stat_dede/alternative_54/alternative_54.pdf. (วันที่เข้าถึง 14 ตุลาคม 2555).

เทศบาลตำบลเมืองบัว. 2553. **แผนพัฒนาเทศบาลสามปี พ.ศ. 2554-2556**. ร้อยเอ็ด : สำนักงานเทศบาลตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด.

ภาสกร นันทพานิช. "การส่งเสริมการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมเพื่อเข้าสู่การปฏิบัติตามแนวทางเกษตรอินทรีย์สำหรับเกษตรกรในจังหวัดศรีสะเกษ." **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคห-กรรมศาสตร์**, (กุมภาพันธ์ 2553) : 154-162.

วิฑูรย์ เรืองเลิศปัญญากุล. "ศูนย์การเรียนรู้เกษตรอินทรีย์โสธร." **วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สังคมศาสตร์)** 40, 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม 2551) : 125-139.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2554. **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555–2559)** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.nesdb.go.th/Default.aspx?tabid=395. (วันที่เข้าถึง 14 ตุลาคม 2555).

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. **รายงานฉบับสมบูรณ์ การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ. : 143 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. **ข้อมูลพื้นฐาน เศรษฐกิจการเกษตร ปี 2554** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th/download/download_ journal/fundamation-2554.pdf. (วันที่เข้าถึง 22 กันยายน 2555).

เสาวคนธ์ เหมวงษ์ และศศิธร เชื้อกุณะ. "การใช้ถ่านปรับปรุงดินเพื่อปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน." **วารสารเกษตร** 27, 3 (ตุลาคม 2554) : 259-266.

อรสา สุกสว่าง. "แบบจำลองการประเมินศักยภาพของชุมชนด้านความเข้มแข็งและความยากจน" **วารสารสังคมศาสตร์และมนุษย์ศาสตร์** 31, 1 (มกราคม-มิถุนายน 2548) : 75-95.

_____. "เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ: วิธีแก้ปัญหาโลกร้อน ดิน และความยากจนในภาคเกษตรกรรม." **การประชุมวิชาการเรื่อง สภาวะโลกร้อน: ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน**. (พฤศจิกายน 2552) : 172-184.

_____. 2553. **เตาผลิตถ่านชีวภาพด้วยวิธีการแยกสลายมวลชีวภาพด้วยความร้อน.** เลขที่อนุสิทธิบัตร 5667 ลงวันที่ 1 ตุลาคม 2553.

อุทัย อารมณ์รัตน์, วรวิชญ์ รุ่งรัตนกสินและ สมศักดิ์ อิทธิพงษ์. 2536. "การปรับปรุงดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยการใช้ถ่านแกลบ." **วารสารการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืนของการเกษตร และสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**, (2536) : 302-314.

Biochar Discussion Lists and Terra Preta Website. 2012. **Using Biochar in Soil** (Online). Available:http://terrapreta.bioenergylists.org/content/using-biochar-soil. (Accessed 20 Jan. 2013).

Biopact. 2007. **Towards carbon-negative bioenergy; U.S Senator introduces biochar legislation** (Online). Available:http://wwww.news.mongabay.com/bioenergy/. (Accessed 20 Oct.2012).

Fontaine, S., G. Bardoux, L. Abbadie and A. Mariotti. 2004. **Carbon input to soil may decrease soil carbon content**. Ecology Letters 7,4 : 314-320.

IBI. 2009. **Negotiating Text for the Ad Hoc Working Group on Long-Term Cooperative Action Under the Convention** (Online). Available:http://www.biochar-international.org/press#May21. (Accessed 5 Nov.2012).

Lehmann, J. 2006; "Black is the new green". **NATURE**, 442 : 624-626.

Orasa Suksawang. 2010**. Biochar : Carbon Negative Technology, A Solution for Solving Global Warming, Soil and Poverty**. Fostering Economic Growth through Low Carbon Initiatives in Thailand 25-26 Feb. 2010

Starke, L. 2009. **State of World into a Warming World : A Wordwatch Institue Report on Progress Toward a Sustainable Society** (Online). Available:http://www.wordwatch.org. (Accessed 5 Nov.2012).

The World Bank. 2009. **Agricultural land (% of land area)** (Online). Available:http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS/countries/1W?display=graph. (Accessed 21 Feb.2013).

Winsley, P. 2007. "Biochar and bioenergy production for climate change mitigation." **New Zealand Science Review**, 64,1 : 5-10.

Zafar, S. 2008. **Biochar and its Role in Mitigating Climate Change** (Online). Available: http://news.mongabay.com/2008/1217-zafar_biochar.html. (Accessed 20 Jan.2013).