ผลของกากแป้งมันสำปะหลังและถ่านแกลบชีวมวลต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด

Effect of Cassava Starch Waste and Rice Husk Biochar on Khao Dawk Mali 105 Rice (KDML 105) Planted in Roi Et Soil Series

อริศรา พันยะฤทธิ์[1], สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม[1*], ศุภิฌา ธนะจิตต์[1] และ เอิบ เขียวรื่นรมณ์[1]

Arissara Phunyalit[1], Somchai Anusontpornperm[1*], Suphicha Thanachit[1] and Irb Kheoruenromne[1]

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของกากแป้งมันสำปะหลังและถ่านแกลบชีวมวลต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด แปลงเกษตรกรบ้านขี้เหล็ก ตำบลนาดี อำเภอนาเยีย จังหวัดอุบลราชธานี วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 10 ตำรับทดลอง ได้แก่ ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน (T1 และ T2) ใส่กากแป้งมันสำปะหลัง (T3-T6) และใส่ถ่านแกลบชีวมวล (T7-T10) ทั้งสองวัสดุใส่ในช่วงการเตรียมดินในอัตรา 500, 1,000, 2,000 และ 4,000 กก./ไร่ตามลำดับ ในทุกตำรับทดลองใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ยกเว้นตำรับ T2 ที่ใส่ในอัตรา 1.5 เท่าของอัตราแนะนำ ผลการศึกษา พบว่า การใส่กากแป้งมันสำปะหลังและถ่านแกลบชีวมวลมีผลต่อความสูงของต้นข้าว และน้ำหนักตอซังข้าว การใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตรา 4,000 กก./ไร่ (T10) มีผลให้ความสูงของต้นข้าว และน้ำหนักตอซังข้าวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 124 ซม. และ 568.3 กก./ไร่ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใส่ถ่านแกลบชีวมวล มีผลให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าการใส่กากแป้งมันสำปะหลัง และการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การใส่กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราต่าง ๆ มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในเมล็ดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตราต่าง ๆ มีผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในตอซังสูงกว่า ทั้งยังทำให้ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในเมล็ด และโพแทสเซียมในตอซังสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ข้าวหอมมะลิ, กากแป้งมันสำปะหลัง, ถ่านแกลบชีวมวล, วัสดุปรับปรุงดิน, ชุดดินร้อยเอ็ด

ABSTRACT: A study on the effect of cassava starch waste and rice husk biochar on Khao Dawk Mali 105 rice (KDML 105) planted in Roi Et soil series (Re) was conducted in a farmer field at Ban Khee Lek, Na Di subdistrict, Na Yia district, Udon Ratchathani province. The experimental design was arranged in a randomized complete block (RCB) with three replications. There were 10 treatments, comprising: T1 and T2 with no soil amendment application, the application of cassava starch waste (T3-T6) and rice husk biochar (T7-T10) at respective rates of 500, 1,000, 2,000 and 4,000 kg/rai during land preparation. All treatments were applied with chemical fertilizer at the recommended rate basing on soil analytical data with the exception of T2 that 1.5 time of the recommended rate was added. Result showed that cassava starch waste and rice husk biochar the effect on plant height and stover weight. The application of rice husk biochar at the rate of 4,000 kg/rai (T10) significantly induced the greatest plant height and stover weight of 124 cm and 568.3 kg/rai, respectively. However, the addition of rice husk biochar gave greater rice grain yield than did the application of cassava starch waste and those with no soil amendmentadded but with no statistical difference. The application of cassava starch waste at various rates significantly promoted greater nitrogen concentration in rice grain while the addition of rice husk biochar at different rates stimulated significantly higher phosphorus and potassium concentration in rice stover, and also promoted higher uptake of potassium and magnesium in rice grain, and potassium in the stove.

Key words: jasmine rice, cassava starch waste, rice husk biochar, soil amendment, Roi Et soil series

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 THAILAND

* Corresponding author: somchai.a@ku.ac.th

บทนำ

ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) และ กข15 พื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิประมาณร้อยละ 85 อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินส่วนใหญ่ที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิเป็นดินนาดอน มีเนื้อค่อนข้างหยาบถึงปานกลางที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ รวมทั้งดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ เช่น ชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินกุลาร้องไห้ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) จึงอาจเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ผลผลิตข้าวหอมมะลิไม่ค่อยสูง อีกทั้งข้าวหอมมะลิเป็นข้าวพื้นเมืองไวแสงจึงไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยเคมี ถึงแม้ว่าจะมีการใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำ แต่ผลผลิตข้าวไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก (ประเทศ และคณะ, 2530)

ประเทศไทยมีโรงงานผลิตเอทานอลและโรงงานแป้งที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มีเศษเหลือทิ้ง อาทิ กากแป้ง แกลบเผา และแกลบชีวมวลเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก กากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่สูง เช่นเดียวกับปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน 3.83% ฟอสฟอรัส 1.51% และโพแทสเซียม 0.06%) ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมที่มีอยู่ค่อนข้างสูง (สุกัญญา และวราพันธุ์, 2552) Horsfall et al. (2003) รายงานว่า กากแป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซับธาตุอาหารเสริมได้ดี เนื่องจากมีค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกค่อนข้างสูง ส่วนถ่านแกลบชีวมวลได้จากการเผาในสภาพไร้อากาศ มีความคงตัวสูง มีรูพรุน และพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ ได้มากกว่าวัสดุอินทรีย์ทั่วไป (Lehmann et al., 2003; Blackwell et al., 2009) สามารถเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ เพิ่มค่าพีเอชของดิน ลดความเข้มข้นของโลหะหนักได้ (Williams et al., 1972) ช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก (Weil and Brady, 2017) ช่วยในการหมุนเวียนธาตุอาหาร และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ช่วยรักษาความชื้น ลดการสะสมของเกลือในเขตรากพืชในช่วงการเจริญเติบโตได้ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน จึงส่งผลเพิ่มประสิทธิของการผลิตพืช และการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินได้ (สมศรี, 2539; เสาวคนธ์, 2556; Arunin, 1992; Weil and Brady, 2017) ด้านธาตุอาหารพืช ถ่านแกลบชีวมวลมีความเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.5) ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.74, 1.51 และ 7.55 ก./กก. ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 132:1 (สุวิภาภรณ์, 2557) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีให้สูงขึ้น ทำให้ประหยัดการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน เพิ่มรายได้ และผลผลิตพืช (ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ เสาวคนธ์ (2557) ที่พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และผลผลิตข้าวได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวเพียงอย่างเดียว

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการศึกษาการใช้วัสดุทั้งสองชนิดในการปรับปรุงดินเพื่อการปลูกข้าวหอมมะลิในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังมีอยู่น้อยมาก ดังนั้นการศึกษานี้จึงดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลของวัสดุปรับปรุงดินอินทรีย์ที่หาได้ง่ายในพื้นที่ ได้แก่ กากแป้งมันสำปะหลัง และถ่านแกลบชีวมวลที่ใส่ในอัตราต่าง ๆ เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา คุณสมบัติของดินก่อนปลูก และคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดิน

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกร บ้านขี้เหล็ก ตำบลนาดี อำเภอนาเยีย จังหวัดอุบลราชธานี ดินในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ชุดดินร้อยเอ็ด (Aeric Paleaquult) ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) เป็นกรดจัดมาก (pH 4.18) มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ (9.98 ก./กก.) ไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำ (0.15 ก./กก.) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (7.56 มก./กก.) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมาก (12.7 มก./กก.) และมีค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ (4.75 เซนติโมล/กก.) (Table 1) สำหรับสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ใน Table 2

การเตรียมดิน

คัดเลือกแปลงทดลองแล้วทำการปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง ไถพรวนดิน 2 ครั้ง ก่อนที่จะทำคันดินกั้นระหว่างแปลงย่อยที่มีขนาดกว้าง 2 ม. ยาว 2 ม. ระยะห่างระหว่างแปลงย่อย เท่ากับ 0.5 ม. โดยทำคันดินสูง 50 ซม. กั้นแต่ละแปลงย่อย และทำคันดินรอบแปลงใหญ่เพื่อป้องกันน้ำไหลข้ามแปลง เมื่อเตรียมแปลงทดลองเรียบร้อยแล้วจึงใส่วัสดุปรับปรุงดิน คลุกเคล้าลงในดินแล้วทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ก่อนทำการปักดำข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 10 ตำรับทดลอง ได้แก่ ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน (T1 และ T2) ใส่กากแป้งมันสำปะหลัง (T3-T6) และใส่ถ่านแกลบชีวมวล (T7-T10) ทั้งสองวัสดุใส่ในช่วงการเตรียมดินในอัตรา 500 1,000 2,000 และ 4,000 กก./ไร่ ตามลำดับ ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 5.6:5.6:2.8 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ ในครั้งแรกเป็นปุ๋ยรองพื้น และครั้งที่ 2 ใส่ในปริมาณ 4.6 กก. N/ไร่ ในระยะที่ข้าวเริ่มตั้งท้อง โดยตำรับที่ 2 (T2) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 1.5 เท่าของปริมาณที่ใส่ข้างต้น ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต และเก็บข้อมูลองค์ประกอบพืช เมื่อข้าวมีอายุได้ 132 วัน

การเก็บตัวอย่างข้อมูล

ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง (หลังจากแบ่งแปลงย่อยแล้ว แต่ยังไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน) ดินบนเก็บที่ระดับความลึก 0-30 ซม. และดินล่างเก็บที่ระดับความลึก 30-60 ซม. โดยทำการเก็บดินแบบ composite sample สำหรับข้อมูลองค์ประกอบพืช ประกอบด้วย ความสูงของต้นข้าว ผลผลิตเมล็ดข้าวที่ความชื้นร้อยละ 14 โดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวทั้งหมดก่อนนำตัวอย่างส่วนหนึ่งมาชั่งน้ำหนักก่อนนำไปอบเพื่อหาปริมาณความชื้น แล้วคำนวณผลผลิตเมล็ดข้าวที่ความชื้นดังกล่าว น้ำหนักตอซังแห้ง จำนวนรวง/กอ น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด และร้อยละของเมล็ดดี

การวิเคราะห์ดินและพืช

นำตัวอย่างดินที่ได้ไปผึ่งให้แห้งในร่ม นำเศษซากพืชออกจากดิน บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การแจกกระจายขนาดอนุภาคดิน (Soil particle size distribution) โดยวิธีไปเปตต์ (pipette method) (Day, 1965; Kilmer and Alexander, 1949) แล้วนำผลมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) ตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993) พีเอชดิน (soil pH) วัดโดยใช้เครื่อง pH meter ใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996) สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: ECe) วัดในสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation extract) ด้วยเครื่อง electrical conductivity bridge (Richards, 1954) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (Sodium adsorption ratio: SAR) โดยหาปริมาณโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมจากสารละลายในดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (US Salinity Laboratory Staff, 1954) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity: CEC) โดยวิธี 1 M NH_4OAc (pH 7.0) replacement method(Chapman, 1965) คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934) ไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) สกัดโดยใช้น้ำยา Bray II แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (Bray and Kurzt, 1945) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available potassium) สกัดโดยวิธี 1 M NH_4OAc (pH 7.0) (Pratt, 1965) แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer เบสรวมที่สกัดได้ (Extractable bases) ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม โดยสกัดด้วยสารละลาย 1 M NH_4OAc (pH 7.0) (Peech, 1945) และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Thomas, 1982) สังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส

ที่เป็นประโยชน์ โดยการสกัดดินด้วยสารละลาย 0.005 M DTPA pH 7.3 (Lindsay and Norvell, 1978) แล้ววิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer กำมะถันทั้งหมด (Total sulfur) ด้วยวิธี Turbidimetric method โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร (Reisenauer et al., 1973)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช และการดูดใช้จะวัดในส่วนของเมล็ดข้าวและตอซัง โดยนำตัวอย่างตอซังข้าวอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 วัน จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างพืชคงที่ จากนั้นบดตัวอย่างแยกส่วนระหว่างเมล็ดข้าว และตอซังให้ละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ ดังนี้ ไนโตรเจนทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดยวิธีการกลั่น (Kjeldahl method) (Jackson, 1965) ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย tri-acid mixture (HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$ acid mixture) (Johnson and Ulrich, 1959) ทำการวิเคราะห์โดยวิธีการเทียบสี (Vanado-molybdate yellow color method) (Westerman, 1990) และวัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1962) โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วยสาร digestion mixture (HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$ acid mixture) (Johnson and Ulrich, 1959) แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Westerman, 1990) กำมะถันทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture (HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$ acid mixture) (Johnson and Ulrich, 1959) วิเคราะห์โดยวิธีการวัดความขุ่น (Turbidity method) ของตะกอน $BaSO_4$ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวช่วงคลื่น 450 นาโนเมตร (Bardsley and Lancaster, 1965)

การวิเคราะห์สถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยวิธี ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขึ้นไป โดยใช้โปรแกรม SPSS version 22

Table 1 Properties of soil prior to conducting the experiment.

Properties	Topsoil 0-33 cm	Subsoil 33-60 cm
pH (1:1), water	4.18	4.21
Organic matter (g/kg)	9.98	4.11
Electrical conductivity (ds/m)	0.16	0.05
Cation exchange capacity ($cmol_c$/kg)	4.75	8.25
Texture	Loam	Loam
Sodium adsorption ratio	0.88	1.18
Total N (g/kg)	0.15	0.06
Available P (mg/kg)	7.56	5.87
Available K (mg/kg)	12.7	15.0
Available S (mg/kg)	37.6	3.05
Exchangeable K ($cmol_c$/kg)	0.03	0.03
Exchangeable Ca ($cmol_c$/kg)	0.98	0.54
Exchangeable Mg ($cmol_c$/kg)	0.12	0.06
Exchangeable Na ($cmol_c$/kg)	0.44	0.05
Available Zn (mg/kg)	0.30	0.16
Available Fe (mg/kg)	179.6	90.1
Available Mn (mg/kg)	5.72	1.94
Available Cu (mg/kg)	0.52	0.37

Table 2 Properties of soil amendments used in the experiment.

Properties	Cassava starch waste	Rice husk biochar
pH (1:5)	6.52	9.96
Electrical conductivity (ds/m)	0.56	1.13
Organic carbon (g/kg)	22.9	9.4
Cation exchange capacity ($cmol_c$/kg)	28.8	14.8
Total N (g/kg)	2.86	0.76
Total P (g/kg)	0.43	3.16
Total K (g/kg)	1.97	10.95
Total Ca (g/kg)	6.73	32.48
Total Mg (g/kg)	1.43	4.59
Total Na (g/kg)	0.27	0.33
Total S (g/kg)	0.35	0.74
Total Zn (mg/kg)	14.58	56.04
Total Fe (mg/kg)	8,804	11,790
Total Cu (mg/kg)	5.83	12.29
Total Mn (mg/kg)	78	1,152
Moisture (%)	74.2	36.18

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1.ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ผลของการใส่ปุ๋ยและวัสดุปรับปรุงดินต่อความสูงของต้นข้าว ผลผลิตและองค์ประกอบของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด พบว่า การใส่กากแป้งมันสำปะหลังและถ่านแกลบชีวมวลส่งผลต่อความสูงของต้นข้าว และน้ำหนักตอซังข้าว กล่าวคือการใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตรา 4,000 กก./ไร่ ทำให้ความสูงของต้นข้าวสูงที่สุด (124 ซม.) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และให้น้ำหนักตอซังข้าวสูงสุด (568.32 กก./ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นที่น่าสังเกตว่า ความสูงของต้นข้าวเพิ่มขึ้นตามอัตราของถ่านแกลบชีวมวล (T7-T10) แต่การใส่กากแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น (T3-T6) กลับไม่ทำให้ความสูงของต้นข้าวเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในตำรับที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 1.5 เท่าของอัตราแนะนำ (T2) ซึ่งให้ความสูงของข้าวใกล้เคียงกับการใส่ตามอัตราแนะนำ ขณะที่น้ำหนักตอซังตอบสนองในทิศทางเดียวกับความสูงของต้นข้าว นอกจากนี้ การใส่ถ่านแกลบชีวมวลทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม ถึงแม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม โดยการใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตรา 4,000 กก./ไร่ ได้ผลผลิตเมล็ดข้าวสูงที่สุด 770 กก./ไร่ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างอิทธิพลของถ่านแกลบชีวมวลกับกากแป้งมันสำปะหลังถ่านแกลบ

ชีวมวลมีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่า (Table 3) ผลการทดลองค่อนข้างสอดคล้องกับการทดลองของ เกศศิรินทร์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส พบว่า ถ่านชีวภาพในอัตรา 2,000 กก./ไร่ สามารถให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้น จำนวนใบต่อต้น และผลผลิตของผักสลัดกรีนคอสดีที่สุด และเสาวคนธ์ (2557) รายงานว่า การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และผลผลิตข้าวได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าร้อยละเมล็ดดีในตำรับการทดลองทั้งหมดมีค่าอยู่ในระดับต่ำที่พิสัย ร้อยละ 53.0-82.3 ซึ่งสาเหตุน่าจะเกิดจาก 1) สมดุลของธาตุอาหารหลักอาจไม่เหมาะสม และ/หรือ 2) ปริมาณฝนในช่วงการทดลองภาคสนามค่อนข้างต่ำ ซึ่งในกรณีหลังส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละตำรับการทดลองที่อยู่ต่างบล็อกมีการเจริญเติบโตไม่ค่อยสม่ำเสมอ

Table 3 Effect of soil amendments on KDML 105 rice planted in Roi Et soil series.

Treatment	Plant height (cm)	Panicle (No./hill)	Stover (kg/rai)	Grain yield (kg/rai)	100-grain weight (g)	Filled grain (%)
T1	95.7d	10.0	276.5b	536.8	1.95	69.0
T2	97.0cd	11.7	276.5b	500.5	19.5	76.3
T3	103.9bcd	9.7	327.7b	499.0	1.81	78.7
T4	94.4d	10.3	250.9b	362.1	1.98	80.3
T5	107.6bcd	10.5	297.0b	452.4	1.79	53.0
T6	93.3d	10.5	220.2b	311.9	1.84	72.5
T7	111.8abc	10.0	317.4b	716.7	1.71	75.7
T8	116.4ab	12.3	317.4b	542.8	1.78	74.3
T9	115.0ab	12.0	373.7b	687.5	2.29	82.3
T10	124.0a	10.0	568.3a	769.7	1.95	78.3
F-test	**	ns	*	ns	ns	ns
%CV	6.0	13.8	22.4	46.5	17.7	16.3

ns = not significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$ and 0.01.

T1 and T2 = no soil amendment application; T3-T6 = cassava starch wastes at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; T7-T10 = rice husk biochar at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; all treatments used 5.6:5.6:2.8 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O as basal application and 4.6 kg/rai of N as top dressing application at booting stage while 1.5 time of this rate being applied for T2.

2. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช

2.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเมล็ดข้าว

การใส่กากแป้งมันสำปะหลังและถ่านแกลบชีวมวล ส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในเมล็ดข้าวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด ยกเว้น การใส่กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราต่าง ๆ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับที่มีการใส่กากแป้งมันสำปะหลังในอัตรา 4,000 กก./ไร่ ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุด 17 ก./กก. (**Table 4**) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุเหลือทิ้งทั้งสองชนิด กากแป้งมันสำปะหลังส่งเสริมให้มีการสะสมไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเฉลี่ยสูงกว่าถ่านแกลบชีวมวล ทั้งนี้เนื่องจากกากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณธาตุอาหารสะสมอยู่มาก (สุกัญญา และวราพันธุ์, 2552) โดยเฉพาะในกรณีของไนโตรเจน (**Table 2**) และเป็นที่น่าสังเกตว่า ถ่านแกลบชีวมวลซึ่งมีโพแทสเซียม และแคลเซียมอยู่ในปริมาณมาก (10.95 และ 32.48 ก./กก. ตามลำดับ) แต่ความเข้มข้นของทั้งสองธาตุในเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิไม่แตกต่างกับตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่ถ่านแกลบชีวมวล และตำรับการทดลองที่ใส่กากแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีธาตุทั้งสองเป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อยกว่า

Table 4 Effect of soil amendments on major and minor plant nutrient concentration in rice grain.

Treatments	Plant nutrient concentration (g/kg)					
	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S
T1	15.5ab	2.06	0.93	0.08	0.40	12.9
T2	15.4ab	1.93	0.90	0.08	0.37	11.8
T3	16.6b	2.13	1.00	0.08	0.42	9.44
T4	15.6ab	1.80	0.97	0.07	0.40	6.70
T5	16.6a	2.38	2.05	0.18	0.92	11.0
T6	17.0a	2.04	0.95	0.09	0.34	13.2
T7	12.7b	1.88	1.17	0.20	0.54	10.7
T8	16.0a	2.18	1.10	0.12	0.47	11.1
T9	13.9ab	2.18	1.13	0.07	0.55	8.52
T10	12.5b	2.03	1.10	0.05	0.49	10.3
F-test	*	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	10.7	17.6	33.9	62.0	38.6	37.1

ns = not significant; * significantly different at 0.05 probability level, respectively; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

T1 and T2 = no soil amendment application; T3-T6 = cassava starch wastes at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; T7-T10 = rice husk biochar at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; all treatments used 5.6:5.6:2.8 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O as basal application and 4.6 kg/rai of N as top dressing application at booting stage while 1.5 time of this rate being applied for T2.

2.2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในตอซังข้าว

การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง และถ่านแกลบชีวมวล ส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในตอซังข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด ยกเว้นการใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตราต่าง ๆ มีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสในตอซังข้าวสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตรา 500 กก./ไร่ (T7) ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวสูงสุด 2.89 ก./กก. แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในถ่านแกลบชีวมวลซึ่งมีอยู่ถึง 3.16 ก./กก. ถูกปลดปล่อยออกมาให้ข้าวได้ใช้เป็นบางส่วน (**Table 5**) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุวิภาภรณ์ (2557) ซึ่งได้ศึกษาการตอบสนองของข้าวหอมมะลิที่ปลูกบนดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือต่อวัสดุปรับปรุงดิน โดยพบว่า การใส่ถ่านแกลบชีวมวลอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ ในดินเค็มโซดิกและดินโซดิกมีแนวโน้มส่งผลให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในตอซังสูงที่สุด 2.07 และ 1.5 ก./กก. ตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นของโพแทสเซียม การใส่ถ่านแกลบชีวมวลส่งผลให้ความเข้มของธาตุสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ที่อัตรา 1,000 กก./ไร่ (T8) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.90 ก./กก. แสดงว่า โพแทสเซียมในถ่านแกลบชีวมวลซึ่งมีอยู่สูงมาก (10.95 ก./กก.) ถูกปลดปล่อยออกมา และถูกใช้ไปบางส่วนในช่วงที่ข้าวเจริญเติบโต ทั้งนี้โดยเฉลี่ยการใส่ถ่านแกลบชีวมวลมีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุทั้งสองในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่กากแป้งมันสำปะหลัง (**Table 5**)

Table 5 Effect of soil amendments on plant major and minor nutrient concentration in rice straw.

Treatments	Plant nutrient concentration (g/kg)					
	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S
T1	6.37	2.00abc	8.33b	1.57	1.37	7.09
T2	7.80	1.62bc	8.90b	1.40	0.83	6.82
T3	6.77	1.47bcd	8.83b	1.63	1.07	5.32
T4	6.43	1.19cd	10.06ab	1.57	0.97	7.73
T5	8.00	1.60bc	8.65b	1.45	0.90	11.43
T6	7.10	0.46d	10.60ab	2.05	0.75	8.52
T7	8.00	2.89a	10.12ab	1.50	1.83	12.88
T8	7.77	1.91abc	12.90a	1.63	1.60	7.33
T9	5.67	2.39ab	11.38ab	1.03	1.13	5.35
T10	5.80	2.11abc	12.75a	1.20	1.63	6.76
F-test	ns	**	*	ns	ns	ns
%CV	18.4	33.3	17.6	20.7	42.6	43.3

ns = not significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$ and 0.01.

T1 and T2 = no soil amendment application; T3-T6 = cassava starch wastes at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; T7-T10 = rice husk biochar at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; all treatments used 5.6:5.6:2.8 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O as basal application and 4.6 kg/rai of N as top dressing application at booting stage while 1.5 time of this rate being applied for T2.

3. การดูดใช้ธาตุอาหาร

3.1 การดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในเมล็ดข้าว

การใส่กากแป้งมันสำปะหลังและถ่านแกลบชีวมวล มีผลต่อการดูดใช้ของโพแทสเซียม และแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับที่มีการใส่ถ่านแกลบชีวมวลในทุกอัตราทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียม และแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวมากกว่าในตำรับควบคุมและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.5 เท่าของอัตราแนะนำ (T2) ซึ่งตำรับที่มีการใส่ถ่านแกลบชีวมวลอัตรา 4,000 กก./ไร่ (T10) ทำให้มีการดูดใช้โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.7 และ 0.32 กก./ไร่ ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใส่ที่อัตรา 500 กก./ไร่ (T7) ในกรณีของการดูดใช้แมกนีเซียมในเมล็ดข้าว (0.32 กก./ไร่) (**Table 6**) และเมื่อพิจารณาโดยภาพรวม การใส่ถ่านแกลบชีวมวลเพื่อปรับปรุงดินมีแนวโน้มที่จะทำให้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีการดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสูงกว่าการใส่กากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งตรงกับรายงานการใช้ถ่านแกลบชีวมวลจะสามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Milla and Huang, 2010; Prakongkep et al., 2013)

Table 6 Effect of soil amendments on plant major and minor nutrient uptake in rice grain.

Treatments	Plant nutrient uptake (kg/rai)					
	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S
T1	7.16	0.95	0.48ab	0.037	0.20ab	5.44
T2	6.76	0.88	0.36ab	0.027	0.17ab	5.32
T3	7.15	0.96	0.43ab	0.037	0.19ab	4.51
T4	4.63	0.56	0.30b	0.027	0.13b	2.19
T5	6.27	0.86	0.70a	0.060	0.31a	3.67
T6	4.48	0.54	0.25b	0.027	0.09b	3.78
T7	7.89	1.15	0.67a	0.057	0.32a	6.20
T8	7.64	0.98	0.46ab	0.047	0.21ab	4.53
T9	8.11	1.31	0.66a	0.047	0.31a	5.17
T10	8.37	1.36	0.70a	0.033	0.32a	6.65
F-test	ns	ns	*	ns	*	ns
%CV	46.6	47.7	36.0	7.1	42.2	51.7

ns = not significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$ and 0.01.

T1 and T2 = no soil amendment application; T3-T6 = cassava starch wastes at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; T7-T10 = rice husk biochar at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; all treatments used 5.6:5.6:2.8 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O as basal application and 4.6 kg/rai of N as top dressing application at booting stage while 1.5 time of this rate being applied for T2.

3.2 การดูดใช้ของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในตอซังข้าว

การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง และถ่านแกลบชีวมวลมีผลต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในตอซังข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ถ่านแกลบชีวมวลอัตรา 4,000 กก./ไร่ (T10) ทำให้มีการดูดใช้โพแทสเซียมในตอซังข้าวสูงที่สุด 6.34 กก./ไร่ (**Table 7**) อย่างไรก็ตาม การใส่ถ่านแกลบชีวมวลอัตรา 4,000 กก./ไร่ มีแนวโน้มทำให้มีการดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในตอซังข้าวมากกว่าในตำรับที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดินแต่ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (T1) และใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.5 เท่าของอัตราแนะนำ (T2) เนื่องจากถ่านชีวมวลมีสมบัติทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น มีรูพรุน และพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูง ทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารต่างๆ ได้มากกว่าสารอินทรีย์ทั่วไป (Blackwell et al., 2009) และยังมีปริมาณธาตุอาหารส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบอยู่มาก (**Table 2**) โดยเมื่อพิจารณาในภาพรวม การใช้ถ่านแกลบชีวมวลในทุกอัตรามีแนวโน้มทำให้ข้าวขาวดอกมะลิดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสูงกว่าการใช้กากแป้งมันสำปะหลังเพื่อปรับปรุงดิน และการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากสภาพฝนแล้งในช่วงฤดูปลูกทำให้ข้อมูลที่ได้รับมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง จึงไม่แสดงผลแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Table 7 Effect of soil amendments on plant major and minor nutrient uptake in rice stover.

Treatments	Plant nutrient uptake (kg/rai)					
	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S
T1	1.97	0.64	2.52b	0.49	0.44	2.30
T2	2.26	0.50	2.61b	0.42	0.29	1.88
T3	1.67	0.39	2.23b	0.42	0.29	1.40
T4	1.35	0.30	2.16b	0.34	0.22	1.90
T5	1.90	0.38	2.07b	0.36	0.21	2.58
T6	1.58	0.10	2.24b	0.44	0.15	1.85
T7	3.11	1.17	3.89ab	0.59	0.65	5.28
T8	3.02	0.72	4.69ab	0.59	0.67	2.45
T9	2.25	0.95	4.74ab	0.41	0.44	2.04
T10	2.87	1.07	6.34a	0.59	0.83	3.49
F-test	ns	ns	*	ns	ns	ns
%CV	43.7	63.2	41.2	43.6	70.1	67.2

ns = not significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$ and 0.01.

T1 and T2 = no soil amendment application; T3-T6 = cassava starch wastes at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; T7-T10 = rice husk biochar at respective rates of 500 1,000 2,000 and 4,000 kg/rai; all treatments used 5.6:5.6:2.8 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O as basal application and 4.6 kg/rai of N as top dressing application at booting stage while 1.5 time of this rate being applied for T2.

สรุป

การใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตรา 4,000 กก./ไร่ ทำให้ความสูงของต้นสูงที่สุด และให้น้ำหนักตอซังมากที่สุด ทั้งยังมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวทั้งในอัตราแนะนำ และ 1.5 เท่าของอัตราแนะนำ โดยไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน การปรับปรุงดินด้วยถ่านแกลบชีวมวลมีแนวโน้มให้ผลดีกว่าการใช้กากแป้งมันสำปะหลัง การใส่กากแป้งมันสำปะหลังในอัตราต่าง ๆ มีผลทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ส่วนการใส่ถ่านแกลบชีวมวลในอัตราต่าง ๆ ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในตอซังเพิ่มขึ้น และช่วยเพิ่มปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวเช่นเดียวกับโพแทสเซียมในตอซังข้าว

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สวก.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย บริษัทอุบลเกษตรพลังงาน จำกัดที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับงานแปลงทดลองภาคสนาม รวมถึงกากแป้งมันสำปะหลัง และถ่านแกลบชีวมวลสำหรับงานทดลอง

เอกสารอ้างอิง

เกศศิรินทร์ แสงมณี, ธีระรัตน์ ชิณแสน และณัฐพงษ์ พันธุภา. 2558. การศึกษาอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินปลูก การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส (Lactuca sativa L. cv. Green Cos). น. 746-752. ใน: การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 53 วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร. 2558. ถ่านชีวภาพ. แหล่งข้อมูล: https://goo.gl/DLnFVb. ค้นเมื่อ 6 กันยายน 2559.

ประเทศ สิทธิยศ, งามชื่น คงเสรี, เดชา ตุนา, สิริ สุวรรณเขตนิคม และแพรวพรรณ กุลนทีทิพย์. 2530. อิทธิพลของวันปลูกและปุ๋ยเคมีที่มีต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105. ใน: ผลการวิจัยข้าวและธัญพืชเมืองหนาวประจำปี 2530. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สมศรี อรุณินท์. 2539. ดินเค็มในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และวราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2552. การใช้ประโยชน์เศษเหลือจากมันสำปะหลัง. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สุวิภาภรณ์ เจดรัม. 2557. การตอบสนองของข้าวหอมมะลิที่ปลูกบนดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือต่อวัสดุปรับปรุงดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2555. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2556. ถ่านชีวภาพ: การกักเก็บคาร์บอน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 31(1): 104-113.

เสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2557. ผลของถ่านจากไม้ไผ่ และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.16 (1): 69-75.

Arunin, S. 1992. Strategies for utilizing salt-affected lands in Thailand. pp. 26-37. In: Proceedings of the International Symposium on Strategies for Utilizing Salt Affected Lands, February 17-19 1992, Bangkok, Thailand.

Bardsley, C.E., and J.D. Lancaster. 1965. Sulfur. pp. 1102-1166. In: C.A. Black, ed. Method of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. of Agron.Inc., Madison, Wisconsin.

Blackwell, P., G. Riethmuller, and M. Collins. 2009. Biochar Application to Soil. pp. 207-222. In: J. Lehman and S. Joseph, eds. Biochar for Environment Management. Science and Technology, UK.

Bray, R.A., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 39-45.

Chapman, H.D. 1965. Cation Exchange Capacity. pp. 891-901. In: C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. of Agro. Inc., Madison, Wisconsin.

Day, P.R. 1965. Particle Fraction and Particle Size Analysis. pp. 545-567. In: C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Vol. 9. American Society Agronomy, Madison, Wisconsin.

Horsfall, M. Jnr, A.A. Abia and A.I. Spiff. 2003. Removal of Cu (II) and Zn (II) ions from wastewater by cassava (Manihot esculenta Cranz) waste biomass. African J. Biotech. 2(10): 360-364.

Jackson, M.L. 1965. Soil Chemical Analysis-Advanced Course. Department of Soils, University of Wisconsin, Wisconsin.

Johnson, C.M., and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Calif. Agri. Exp. Stat. Bull. 767: 25-78.

Kilmer, V.J., and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 15-24.

Lehmann, J., J.P. Silva, 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 amendment. Plant and Soil. 249: 343-357.

Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-4.

Milla, O.V. and W.J. Huang. 2010. Effects of Rice Husk Biochar Produced under Slow Pyrolysis on Growth of Water Spinach (Ipomoea aquatic). National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan.

Murphy, J., and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal.Chim. Acta. 27: 31-36.

National Soil Survey Center. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigation Report No. 42, Version 3.0, Natural Conservation Service, USDA, Wisconsin.

Peech, M. 1945. Determination of exchangeable cation and exchange capacity of soils-rapid micromethods utilizing centrifuge and spectrophotometer. Soil Sci. 59: 25-38.

Pratt, P.E. 1965. Potassium. pp. 1023-1031. In: C.A. Black, ed. Method of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties, Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agro. Inc., Madison, Wisconsin.

Prakongkep, N., R.J. Gilkes, W. Wiriyakitnateekul, A. Duangchan, and T. Darunsontaya. 2013. The Effects of Pyrolysis Conditions on the Chemical and Physical Properties of Rice Husk Biochar. Int. J. Material Sci. 3(3): 97-103.

Reisenauer, H.M., L.M. Walsh, and R.G. Hoeft. 1973. Testing Soil for Sulphur, Boron, Molybdenum, and chlorine. pp. 173-181. In: Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Richards, L.M. 1954. Diagnostic and Improvement of Saline Alkali in Soil. U.S. Salinity Laboratory Staff, Dept. Agric., Washington D.C.

Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. US. Dep. Agr.Handbook No. 18, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cation. pp. 159-166. In: A.L. Page, ed. Method of Soil Analysis. 2nd Edition. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Department of Agriculture, Washington, D.C.

Walkley, A. and C.A. Black. 1934. Anexamination of Degtjareff Method for determining soil organic matter: a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. Soc. Am. J. 37: 29-35.

Weil, R.R., and N.C. Brady. 2017. Nature and Properties of Soils. 15th ed. Pearson Education. Inc., New Jersey.

Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3nd ed. Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin.

Williams, N.A., N.D. Morse and J.F. Buckman. 1972. Burning vs incorporation of rice crop residues. Agron. J. 64: 467-468.