ผลสะสมของแกลบเผาที่ใส่ต่อเนื่อง 3 ปี และปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อสมบัติทางเคมีดินและมันสำปะหลังที่ปลูกในดินเนื้อหยาบสีแดง

Cumulative Effect of Burnt Rice Husk Applied for 3-consecutive Years and Phosphorus Fertilizer on Soil Chemical Property and Cassava Planted in a Reddish Sandy Soil

ธีรนุช โอภาชาติ[1] สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม[1,*] ศุภิฌา ธนะจิตต์[1] เอิบ เขียวรื่นรมณ์[1] และ มัชฌิมา พันธุ์เอี่ยม[1]

Teeranuch Opachat[1], Somchai Anusontpornperm[1,*], Suphicha Thanachit [1], Irb Kheoruenromne[1] and Mutchima Phun-iam[1]

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 15 กรกฎาคม 2565 Received: 15 July 2022

ปรับแก้ไข: 14 กันยายน 2565 Revised: 14 September 2022

รับตีพิมพ์: 21 กันยายน 2565 Accepted: 21 September 2022

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

ABSTRACT: Growing cassava in coarse-textured soils essentially requires proper soil amendment and phosphorus (P) fertilizer management. The cumulative effect of burnt rice husk (BRH) and P fertilizer applied for 3 consecutive years on yield and nutrient uptake of cassava, Huay Bong 80 variety, and soil property changes was carried out in Yasothon soil series (Typic Paleustults). The split plot design with 4 replications was employed with main plot having five rates of BRH and subplot comparing six rate of P fertilizer. Results in the 3rd cropping season showed that BRH addition at the rate of 25 t/ha highly significantly gave the highest fresh tuber yield of 27.8 t/ha ($P < 0.01$). All rates of P fertilizer highly significantly induced greater fresh tuber yield than did zero-P application ($P < 0.01$). The addition of BRH and P fertilizer at all rates each stimulated the greatest P uptake in tuber and the addition of BRH at the rate of 25 t/ha with 25 kg P_2O_5/ha of P fertilizer highly significantly induced the highest uptake of P in whole aboveground plant parts of cassava of 14.73 kg/ha ($P < 0.05$). The addition of BRH, particularly at the rate of 12.5 and 25 t/ha resulted in topsoil after harvesting cassava in the 3rd cropping season having greater pH and content of most plant nutrients (Except available sulfur, iron and copper), and organic matter than that in non-amended plot. The results indicated that P fertilizer at the rate of 12.5 kg P_2O_5/ha was sufficient for increasing cassava yield and BRH not only increased the yield of cassava but also improved most soil chemical properties.

Keywords: Cassava, P fertilizer management, coarse-textured soil, agricultural waste, soil property changes

Agricultural Sci. J. (2022) Vol. 53(3): 271–294 ว. วิทย. กษ. (2565) 53(3): 271–294

บทคัดย่อ

การปลูกมันสำปะหลังในดินเนื้อหยาบจำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินและการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสม จึงทำการทดสอบผลสะสมของแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ต่อเนื่อง 3 ปี ต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ในชุดดินยโสธร (Typic Paleustults) และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน วางแผนการทดลองแบบ split plot จำนวน 4 ซ้ำ แปลงหลัก (Main plot) เปรียบเทียบแกลบเผา 5 อัตรา ส่วนแปลงรอง (Subplot) ทดสอบปุ๋ยฟอสฟอรัส 6 อัตรา ผลการศึกษาในฤดูปลูกที่ 3 พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) เท่ากับ 27.8 ตันต่อเฮกตาร์ ปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกอัตราให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงกว่าการไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) การใส่แกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกอัตราต่างทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวมันสำปะหลังสูงสุด และการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีอิทธิพลร่วมทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 14.73 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.05$) การใส่แกลบเผาโดยเฉพาะที่อัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ดินบนหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังในฤดูปลูกที่ 3 มีค่าพีเอช ปริมาณธาตุอาหารส่วนใหญ่ (ยกเว้น กำมะถัน เหล็ก และทองแดงที่เป็นประโยชน์) และอินทรียวัตถุสูงกว่าในตำรับควบคุม แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ เพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง นอกจากนี้ แกลบเผายังช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังและช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินส่วนใหญ่ให้ดีขึ้น

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง, การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัส, ดินทราย, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, การเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน

บทนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพืชอาหารที่สำคัญของโลก มันสำปะหลังมีการสะสมแป้งในส่วนหัวประมาณร้อยละ 85 ของน้ำหนักแห้ง (Sarma and Kunchai, 1991) ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของโลกในปี ค.ศ. 2015 เพิ่มขึ้นจาก 291 ล้านตัน เป็น 303 ล้านตัน ในปี ค.ศ. 2019 (FAOSTAT, 2021) มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ในเขตร้อนและร้อนชื้น มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและเป็นกรด ภายใต้สภาพฝนน้อยและไม่แน่นอน โดยต้องการการดูแลและใช้ปัจจัยในการปลูกน้อย (Howeler, 2014) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันมากในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากการจัดการธาตุอาหารไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Byju and Suja, 2020) ทั้งนี้ รวมถึงการปลูกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เดิมโดยขาดการปรับปรุงบำรุงดินที่เหมาะสม ทำให้ธาตุอาหารในดินขาดแคลน ดินเสื่อมโทรมลง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลง (Howeler, 1991)

ปัจจุบันหลายประเทศมีการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกันอย่างกว้างขวาง โดยในแต่ละปีวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ถูกผลิตขึ้นเกือบหนึ่งพันล้านตัน (Mymrin *et al*., 2018) วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งสามารถใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการอนุรักษ์ดินในระยะยาว และช่วยฟื้นฟูสภาพดินสำหรับการผลิตทางการเกษตรอย่างยั่งยืน เนื่องจากสามารถช่วยปรับสภาพทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดินให้ดีขึ้นได้ เพราะมีคาร์บอนอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก มีพีเอชที่เหมาะสม และมีธาตุอาหารพืชอยู่พอสมควร ในประเทศไทย วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเพื่อปรับปรุงดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำโดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Anusontpornperm *et al*., 2009; Boonrawd

et al., 2021) การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าส่งผลบวกต่อผลผลิตพืช โดยเฉพาะในกรณีของวัสดุอินทรีย์ อาทิ มูลไก่แกลบ แกลบเผา และเศษเหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และเอทานอล (Zhang and Tang, 2009; Adeleye *et al*., 2010; Nopphan *et al*., 2017; Biratu *et al.*, 2018) การศึกษาในระยะสั้นเพียง 1–2 ปี ในประเทศไทย (Plengsuntia *et al*., 2012; Surin *et al*., 2013; Kaewkamthong *et al*., 2014; Kerdchana *et al*., 2014; Nilnoree *et al*., 2016; Phun-iam *et al.,* 2018) แสดงให้เห็นว่า วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินช่วยรักษาระดับหรือเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของดินบางประการ เช่น ความหนาแน่นรวมและสภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว เป็นต้น

แกลบเป็นวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งที่มีปริมาณมากในประเทศไทย ส่วนใหญ่แกลบสดจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มขนาดเล็กในโรงสีข้าว (Kumar *et al.,* 2013) เศษเหลือทิ้งที่ได้ คือ แกลบเผา (Burnt rice husk) ที่มีการสะสมในปริมาณมาก หากมีการจัดเก็บไม่ดีจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กและเบา (Santasnachok *et al*., 2015) อย่างไรก็ตาม แกลบเผาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ การศึกษาระยะสั้นที่ผ่านมา พบว่า การใช้แกลบเผาเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่อัตรา 12.5–25 ตันต่อเฮกตาร์ ช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังและอ้อยได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังทำให้สมบัติทางเคมีของดินบางประการดีขึ้น อาทิ ทำให้พีเอชดินเพิ่มขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และจุลธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น (Kerdchana *et al*., 2014; Puengkasem *et al.*, 2018; Ruenchan *et al*., 2018; Insixiengmay *et al*., 2019; Prombut *et al*., 2022)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังถึงแม้ว่ามันสำปะหลังจะใช้ธาตุนี้น้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียมมากก็ตาม แต่หากมันสำปะหลังได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอผลผลิตที่ได้จะน้อยกว่าปกติ เนื่องจากธาตุนี้มีความสำคัญในด้านการให้พลังงานและสังเคราะห์สารชีวเคมีในพืช (Omondi *et al*., 2019) มันสำปะหลังสามารถปรับตัวเข้ากับดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยสกัดด้วยน้ำยา Bray II ต่ำถึง 4–6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Howeler, 1990) มันสำปะหลังแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่แตกต่างกัน (Pellet and El-Sharkawy, 1993) รูปของฟอสฟอรัสในดินขึ้นอยู่กับสมบัติดิน อาทิ พีเอชดิน ปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และแคลเซียมในดิน (Havlin *et al*., 2013) ในดินทุ่งหญ้าเขตร้อนที่มีพีเอชต่ำและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ฟอสฟอรัสมักจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Sanchez, 2019) ปุ๋ยฟอสฟอรัสมักจะมีผลตกค้างในดิน การใส่ต่อเนื่องหลาย ๆ ปี จะส่งผลทำให้มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยนี้ในอัตราที่ลดลง (Nair *et al*., 1988; Howeler and Cadavid, 1990; Kabeerathumma *et al*., 1990) อัตราแนะนำสำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละดินจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และน้ำยาที่ใช้ในการสกัด (Vander Zaag *et al*., 1979; Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1988; Nair *et al*., 1988; Wargiono *et al*., 2000) สำหรับมันสำปะหลังในประเทศไทยมีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ เมื่อปลูกมันสำปะหลังในดินดอนเนื้อหยาบอันดับอัลทิซอลส์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดด้วยน้ำยา Bray II ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Sittibusaya, 1996) การศึกษาด้านการใช้วัสดุปรับปรุงดินและงานทดลองปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยเฉพาะกับมันสำปะหลังพันธุ์ค่อนข้างใหม่ เช่น พันธุ์ห้วยบง 80 ที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในภาคสนามเพียง 1–2 ปี เท่านั้น ดังนั้น การศึกษานี้จึงดำเนินการในภาคสนามต่อเนื่อง 3 ปี เพื่อตรวจสอบผลสะสมของแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 การดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังที่ปลูกในฤดูปลูกที่ 3 และ

ผลสะสมของแกลบเผาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของดินบน ผลการศึกษาน่าจะนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงดินดอนเสื่อมโทรมร่วมกับการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อยกระดับผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

แปลงทดลอง

ดำเนินการทดลองต่อเนื่อง 3 ปี ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ในแปลงเกษตรกร บ้านทรัพย์พลูน้อย ตำบลห้วยบง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา (15°10’35.83” N 101°12’17.09” E) ดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง คือ ชุดดินยโสธร (Yasothon soil series, Yt) จำแนกในระบบอนุกรมวิธานดินได้เป็น Fine-loamy, Siliceous, Isohyperthermic, Typic Paleustults (Soil Survey Staff, 1999) สมบัติดินบน (0–25 เซนติเมตร) และดินล่าง (25–60 เซนติเมตร) ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองในปีแรก (Table 1) พบว่า ทั้งดินบนและดินล่างเป็นกรดจัด มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 5.37–5.45 ทั้ง 2 ชั้นดิน มีปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำมาก และมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในระดับต่ำมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินนี้มีความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารได้ต่ำ

Table 1 Property of soil prior to conducting the experiment in the 1st cropping season

Property	Topsoil (0–25 cm)	Subsoil (25–60 cm)
Textural class[1]	Loamy sand	Sandy loam
pH[2] (1:1 H_2O)	5.37 (strongly acid)	5.45 (strongly acid)
Cation exchange capacity[3] ($cmol_c/kg$)	1.30 (very low)	1.50 (very low)
Organic matter[4] (g/kg)	2.75 (very low)	3.44 (very low)
Total N[5] (g/kg)	0.07 (very low)	0.07 (very low)
Available P[6] (mg/kg)	2.28 (very low)	0.94 (very low)
Available K[7] (mg/kg)	16.65 (very low)	25.96 (very low)
Extractable Ca[7] ($cmol_c/kg$)	0.48 (very low)	0.56 (very low)
Extractable Mg[7] ($cmol_c/kg$)	0.09 (very low)	0.15 (very low)
Extractable Na[7] ($cmol_c/kg$)	0.15 (low)	0.67 (moderate)

[1] Texture measured by pipette method (Kilmer and Alexander, 1949), [2] pH (1:1 H_2O) analyzed by pH meter (National Soil Survey Center, 1996), [3] cation exchange capacity measured by saturating the exchange site and displacing by 1 M NH_4OAc at pH 7.0 (Chapman, 1965), [4] organic matter estimated by Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934), [5] total nitrogen (N) measured by Kjeldahl method (Jackson, 1965), [6] available phosphorus (P) analyzed by Bray II extraction (Bray and Kurtz, 1945), [7] available potassium (K), extractable calcium (Ca), magnesium (Mg) and sodium (Na) extracted with 1 M NH_4OAc at pH 7.0 and analyzed by atomic absorption spectrometry (Thomas, 1982).

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ split plot จำนวน 4 ซ้ำ แปลงหลัก (Main plot) เป็นการเปรียบเทียบแกลบเผา (Burnt rice hush: BRH) 6 อัตรา ส่วนแปลงรอง (Subplot) เป็นการทดสอบปุ๋ยฟอสฟอรัส 6 อัตรา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

แปลงหลัก

BRH_0 ไม่มีการใส่แกลบเผา (ควบคุม)
$BRH_{3.125}$ ใส่แกลบเผาอัตรา 3.125 ตันต่อเฮกตาร์
$BRH_{6.25}$ ใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์
$BRH_{12.5}$ ใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ตันต่อเฮกตาร์
BRH_{25} ใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์

แปลงรอง

P_0 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์
$P_{12.5}$ ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์
P_{25} ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์
$P_{37.5}$ ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์
P_{50} ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์
$P_{62.5}$ ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์

การใส่แกลบเผาในแปลงหลักและปุ๋ยฟอสฟอรัสในแปลงรองตามตำรับการทดลองดำเนินการเหมือนกันทั้ง 3 ปี ทั้งนี้ อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้อิงตามค่าวิเคราะห์ดินที่แนะนำโดย Sittibusaya (1996) สำหรับดินดอนเนื้อหยาบอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยอัตราแนะนำเท่ากับ 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ สำหรับดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในดินก่อนดำเนินการทดลองนี้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบนอยู่เพียง 2.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1) ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมใส่ในอัตรา 1.2 เท่าของอัตราแนะนำ หรือเท่ากับ 120:120 กิโลกรัม $N:K_2O$ ต่อเฮกตาร์ ในทุกตำรับการทดลองของแปลงย่อย พืชทดสอบ ได้แก่ มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ซึ่งเป็นพันธุ์มันสำปะหลังที่ได้รับการผสมใหม่ในปี พ.ศ. 2535 เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 5 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 พันธุ์นี้มีลักษณะเด่นที่มีร้อยละการสะสมแป้งเฉลี่ยสูงถึง 27.3 ซึ่งสูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 60 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดใกล้เคียงกับพันธุ์ห้วยบง 60 แต่สูงกว่าเกษตรศาสตร์ 50 มีลักษณะทรงต้นสูง แตกกิ่งน้อย เหมาะแก่การปฏิบัติงานของเกษตรกร (Thai Tapioca Development Institute, 2020)

การจัดการแปลงทดลองดำเนินการเหมือนกันในแต่ละปีที่ทำการศึกษาภาคสนาม โดยเริ่มจากการโรยแกลบเผาตามตำรับการทดลองก่อนกลบด้วยการไถเปิดดินแบบไถลึก (Deep tillage) ซึ่งมีความลึกของรอยไถประมาณ 40–45 เซนติเมตร โดยใช้ไถจานผาล 3 ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางจานไถเท่ากับ 28 นิ้ว ทิ้งพื้นที่ไว้ 2 สัปดาห์ แล้วจึงไถพรวนดินด้วยไถจานผาล 7 จากนั้นทำการยกร่องที่มีระยะระหว่างร่องเท่ากับ 120 เซนติเมตร แล้วปลูกมันสำปะหลังบนสันร่องโดยใช้ระยะปลูกระหว่างต้นเท่ากับ 80 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ยดำเนินการใส่ฟอสฟอรัสตามตำรับการทดลองพร้อมกับปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือน โดยขุดหลุมใส่แล้วกลบบนสันร่องตรงกึ่งกลางระหว่างต้นมันสำปะหลัง ปุ๋ยเคมีที่ใช้ประกอบด้วยปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) การกำจัดวัชพืชดำเนินการโดยใช้แรงงานคนร่วมกับการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการระบาด สมบัติของแกลบเผาที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ใน Table 2

Table 2 Property of burnt rice husk used in the experiment

Property	Burnt rice husk
pH[1] (1:5 H_2O)	7.80
Cation exchange capacity[2] ($cmol_c/kg$)	10.00
Organic carbon[3] (g/kg)	96.70
Total N[4] (g/kg)	0.26
Total P[5] (g/kg)	0.57
Total K[6] (g/kg)	2.58
Total Ca[6] (g/kg)	1.24
Total Mg[6] (g/kg)	0.38
Total Fe[7] (mg/kg)	239.00
Total Mn[7] (mg/kg)	255.00
Total Zn[7] (mg/kg)	17.50
Total Cu[7] (mg/kg)	5.30
Electrical conductivity[8] (dS/m, 1:5 H_2O)	0.05

[1] pH (1:5 H_2O) analyzed by pH meter (National Soil Survey Center, 1996), [2] cation exchange capacity measured by saturating the exchange site and displacing by 1M NH_4OAc at pH 7.0 (Chapman, 1965), [3] organic carbon estimated by Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934), [4] total nitrogen (N) measured by Kjeldahl method (Jackson, 1965), [5] total phosphorus (P) analyzed by Vanado-molybyellow method (Westerman, 1990) and measured using atomic absorption spectrometry (AAS) (Murphy and Riley, 1962), [6] total potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) analyzed by digesting in acid mixture (HNO_3-Se-$HClO_4$) and measured by AAS (Bardsley and Lancaster, 1965; Westerman, 1990), [7] total iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn) and copper (Cu) analyzed by digesting in acid mixture (HNO_3-$HClO_4$) and measured by AAS (Johnson and Ulrich, 1959; Westerman, 1990), [8] electrical conductivity measured by saturation extract (United States Salinity Laboratory Staff, 1954).

การบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลในการศึกษานี้เป็นข้อมูลในการทดลองปีที่ 3 เก็บเกี่ยวผลผลิตและเก็บข้อมูลองค์ประกอบพืชเมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 เดือน ได้แก่ ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ร้อยละการสะสมแป้ง ผลผลิตแป้งซึ่งคำนวณจากน้ำหนักสดของหัวมันสำปะหลัง (Fresh cassava tuber weight) คูณด้วยร้อยละการสะสมแป้ง (Starch content) และชีวมวลส่วนเหนือดินซึ่งเป็นน้ำหนักสดรวมของส่วนเหนือดินที่ประกอบด้วย เหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบ ในระหว่างการเก็บเกี่ยวผลผลิตทำการเก็บตัวอย่างพืชแบบแยกส่วนประกอบด้วย หัว เหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืชโดยวิธี Vanado-molybyellow (Westerman, 1990) และวัดปริมาณโดยเครื่อง spectrophotometry (Murphy and Riley, 1962) และนำความเข้มข้นของฟอสฟอรัสไปใช้ในการคำนวณปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง โดยคำนวณจากความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชกับน้ำหนักแห้งแยกส่วนของมันสำปะหลังข้างต้น ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส

คำนวณเป็นต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ นอกจากนี้ ยังได้ทำการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงหลักตามตำรับการทดลองที่ระดับความลึก 0–30 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บ 3 บริเวณ ในแต่ละตำรับการทดลองในแปลงหลักก่อนนำมาคลุกเคล้ากันสำหรับใช้เป็นตัวแทนของดินหลัง การเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังฤดูปลูกที่ 3 ของแต่ละตำรับการทดลองในแปลงหลัก ตัวอย่างดินดังกล่าวนำมาวิเคราะห์ค่าพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ โดยใช้สัดส่วนระหว่างดินกับน้ำเท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996) ปริมาณอินทรียวัตถุโดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934) ไนโตรเจนรวมโดยวิธี Kjeldahl (Jackson, 1965) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยใช้น้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์โดยการสกัดด้วย 1 M NH_4OAc ที่ pH 7.0 ก่อนวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometry (Thomas, 1982) กำมะถันที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี Turbidity ก่อนนำไปวัดด้วยเครื่อง spectrophotometry (Bardsley and Lancaster, 1965) เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่เป็นประโยชน์ สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA ที่ pH 7.3 ก่อนนำไปวัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometry (Lindsay and Norvell, 1978) ผลการวิเคราะห์นำมาศึกษาผลสะสมของแกลบเผาที่ใส่ต่อเนื่อง 3 ปี ในแปลงหลักต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินดังกล่าว นำข้อมูลผลผลิตจากแปลงทดลองภาคสนาม ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินที่ได้รับผลจากการใส่แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินต่อเนื่อง 3 ปี มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม SPSS และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตำรับการทดลองแบบเป็นกลุ่มโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลสะสมของแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและชีวมวลส่วนเหนือดินของมันสำปะหลัง

ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด

การใส่แกลบเผาต่อเนื่อง 3 ปี เพื่อปรับปรุงดินส่งผลสะสมชัดเจนต่อองค์ประกอบพืชและผลผลิตมันสำปะหลัง การใส่แกลบเผาอัตราตั้งแต่ 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ขึ้นไป ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดอยู่ในพิสัย 24.1–27.8 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าการปลูกมันสำปะหลังโดยไม่ใส่แกลบเผาที่ได้เพียง 21.7 ตันต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$; Table 3) โดยการใส่ในอัตรา 25 ตันต่อไร่ ให้ผลผลิตส่วนนี้สูงสุด ขณะที่ การใส่ในอัตรา 3.125 ตันต่อเฮกตาร์ ให้ผลไม่แตกต่างกับตำรับควบคุมที่ไม่ใส่แกลบเผา ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลชัดเจนต่อผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเช่นกัน โดยการใส่ในทุกอัตรายกเว้น 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดใกล้เคียงกันอยู่ในพิสัย 24.4–25.8 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าปริมาณที่ได้จากตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยนี้ (21.8 ตันต่อเฮกตาร์) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) อย่างไรก็ตาม กลับไม่พบว่าแกลบเผามีอิทธิพลร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสในการส่งผลต่อผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด

ร้อยละการสะสมแป้ง

การใส่แกลบเผาไม่ส่งผลต่อร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลัง เช่นเดียวกับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ แต่กลับพบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผากับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ร้อยละการสะสมแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$; Table 3) อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการใส่ของวัสดุทั้งสอง โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 3.125 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ร้อยละการสะสมแป้งสูงที่สุด เท่ากับ 29.5 แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ร่วมกันในหลาย ๆ ตำรับการทดลอง

Table 3 Cumulative effect of burnt rice husk and phosphorus fertilizer on cassava yield and plant components

Treatment	Fresh tuber yield (t/ha)	Starch content (%)	Starch yield (t/ha)	Stem base (t/ha)	Stem (t/ha)	Leaf and branch (t/ha)	Aboveground biomass (t/ha)
Main plot: burnt rice husk							
BRH_0	21.7 ± 3.98^{c}	27.4 ± 2.76	5.97 ± 1.39^{c}	3.59 ± 0.47^{d}	4.10 ± 0.77^{c}	2.82 ± 0.77^{c}	10.5 ± 1.43^{c}
$BRH_{3.125}$	23.1 ± 4.89^{bc}	27.9 ± 2.29	6.49 ± 1.66^{bc}	3.86 ± 0.70^{c}	3.90 ± 0.96^{c}	3.19 ± 1.11^{b}	11.0 ± 2.50^{c}
$BRH_{6.25}$	24.1 ± 5.20^{b}	28.3 ± 1.74	6.86 ± 1.73^{b}	3.47 ± 0.84^{d}	4.00 ± 1.00^{c}	3.17 ± 1.00^{b}	10.6 ± 2.51^{c}
$BRH_{12.5}$	24.3 ± 4.04^{b}	27.2 ± 2.67	6.65 ± 1.49^{b}	4.19 ± 0.57^{b}	4.45 ± 0.75^{b}	3.20 ± 0.81^{b}	11.8 ± 1.65^{b}
BRH_{25}	27.8 ± 5.04^{a}	28.1 ± 3.23	7.83 ± 1.75^{a}	4.51 ± 0.39^{a}	5.19 ± 0.62^{a}	3.85 ± 0.87^{a}	13.6 ± 1.54^{a}
F-test	**	ns	**	**	**	**	**
Subplot: phosphorus fertilizer							
P_0	21.8 ± 3.88^{c}	28.0 ± 2.55	6.13 ± 1.41^{c}	3.48 ± 0.81^{b}	4.13 ± 0.97	2.51 ± 0.77^{c}	10.1 ± 2.40^{c}
$P_{12.5}$	25.7 ± 5.10^{a}	27.8 ± 2.63	7.18 ± 1.83^{a}	3.90 ± 0.77^{a}	4.40 ± 1.14	2.94 ± 0.71^{b}	11.2 ± 2.24^{b}
P_{25}	24.7 ± 5.33^{ab}	27.9 ± 2.99	6.93 ± 1.80^{ab}	4.02 ± 0.67^{a}	4.52 ± 0.92	2.73 ± 1.05^{bc}	11.3 ± 2.30^{b}
$P_{37.5}$	24.4 ± 4.32^{ab}	27.8 ± 1.99	6.79 ± 1.46^{abc}	4.06 ± 0.73^{a}	4.31 ± 1.03	3.80 ± 0.90^{a}	12.2 ± 2.37^{a}
P_{50}	25.8 ± 6.02^{a}	27.6 ± 2.94	7.17 ± 2.09^{a}	4.02 ± 0.60^{a}	4.37 ± 0.93	3.61 ± 0.76^{a}	12.0 ± 2.08^{ab}
$P_{62.5}$	23.0 ± 4.45^{bc}	27.6 ± 2.42	6.36 ± 1.41^{bc}	4.06 ± 0.62^{a}	4.23 ± 0.68	3.88 ± 0.62^{a}	12.2 ± 1.58^{a}
F-test	**	ns	*	**	ns	**	**
Interaction: burnt rice husk × phosphorus fertilizer							
BRH_0P_0	20.9 ± 4.62	29.2 ± 0.71^{ab}	6.09 ± 1.54	3.18 ± 0.60^{lm}	4.11 ± 0.57^{e-l}	2.17 ± 0.32^{ij}	9.46 ± 1.35^{klm}
$BRH_0P_{12.5}$	23.2 ± 3.47	28.7 ± 2.44^{ab}	6.68 ± 1.36	3.86 ± 0.51^{d-l}	4.01 ± 0.92^{g-l}	2.59 ± 0.72^{f-j}	10.46 ± 2.08^{g-l}
BRH_0P_{25}	24.6 ± 5.44	26.5 ± 1.93^{bcd}	6.52 ± 1.88	3.74 ± 0.91^{f-l}	5.05 ± 0.63^{a-f}	2.05 ± 0.79^{j}	10.84 ± 2.30^{f-l}
$BRH_0P_{37.5}$	20.8 ± 4.60	27.4 ± 3.33^{abcd}	5.73 ± 1.71	3.28 ± 1.10^{j-m}	3.20 ± 0.52^{l}	3.05 ± 0.55^{d-i}	9.53 ± 2.00^{klm}
BRH_0P_{50}	21.1 ± 1.76	25.5 ± 2.19^{cd}	5.40 ± 0.88	3.94 ± 0.29^{d-j}	4.17 ± 1.15^{d-l}	3.40 ± 0.50^{b-f}	11.50 ± 1.92^{d-k}
$BRH_0P_{62.5}$	20.0 ± 4.16	26.8 ± 1.46^{abcd}	5.37 ± 1.35	3.53 ± 0.39^{g-m}	4.05 ± 0.43^{g-l}	3.70 ± 0.38^{a-e}	11.29 ± 1.18^{d-k}
$BRH_{3.125}P_0$	20.2 ± 3.61	28.2 ± 3.55^{abc}	5.74 ± 1.61	2.95 ± 0.57^{m}	3.44 ± 0.80^{kl}	1.88 ± 0.70^{j}	8.28 ± 1.95^{m}
$BRH_{3.125}P_{12.5}$	22.8 ± 6.25	25.5 ± 1.70^{cd}	5.88 ± 2.27	3.53 ± 1.07^{g-m}	3.44 ± 1.15^{kl}	3.21 ± 0.70^{c-h}	10.19 ± 2.75^{h-m}
$BRH_{3.125}P_{25}$	21.8 ± 3.45	27.5 ± 0.73^{abcd}	6.01 ± 1.07	3.89 ± 0.39^{d-k}	4.08 ± 0.38^{f-l}	2.19 ± 0.41^{ij}	10.16 ± 0.76^{h-m}
$BRH_{3.125}P_{37.5}$	26.5 ± 2.94	27.6 ± 3.86^{abcd}	7.34 ± 1.97	4.20 ± 0.47^{b-g}	4.25 ± 0.70^{c-k}	3.99 ± 1.20^{abc}	12.44 ± 2.37^{b-g}
$BRH_{3.125}P_{50}$	26.7 ± 3.64	29.5 ± 1.78^{a}	7.93 ± 1.22	4.46 ± 0.47^{a-e}	4.46 ± 0.80^{b-j}	4.08 ± 0.43^{abc}	12.99 ± 1.62^{a-e}
$BRH_{3.125}P_{62.5}$	20.6 ± 4.06	29.2 ± 0.85^{ab}	6.01 ± 1.25	4.17 ± 0.54^{b-g}	3.70 ± 0.86^{h-l}	3.76 ± 0.25^{a-e}	11.63 ± 1.62^{d-j}
$BRH_{6.25}P_0$	22.0 ± 5.76	28.0 ± 2.20^{abcd}	6.21 ± 2.12	3.24 ± 0.89^{klm}	3.41 ± 1.09^{kl}	2.34 ± 0.92^{hij}	9.00 ± 2.76^{lm}
$BRH_{6.25}P_{12.5}$	23.5 ± 1.24	29.1 ± 4.37^{ab}	6.90 ± 1.29	3.18 ± 0.05^{lm}	3.62 ± 0.20^{i-l}	2.95 ± 0.89^{e-i}	9.75 ± 1.00^{j-m}
$BRH_{6.25}P_{25}$	22.9 ± 7.89	29.0 ± 4.79^{ab}	6.73 ± 2.48	3.47 ± 0.19^{h-m}	4.63 ± 0.19^{b-h}	2.58 ± 0.27^{f-j}	10.68 ± 0.63^{g-l}
$BRH_{6.25}P_{37.5}$	23.9 ± 4.82	28.2 ± 3.29^{abc}	6.72 ± 1.78	3.40 ± 0.27^{i-m}	3.86 ± 0.33^{h-l}	3.94 ± 0.63^{a-d}	11.19 ± 1.04^{e-k}
$BRH_{6.25}P_{50}$	27.8 ± 4.20	27.9 ± 1.07^{abcd}	7.79 ± 1.45	3.47 ± 0.55^{h-m}	4.31 ± 0.92^{c-k}	3.44 ± 0.93^{b-f}	11.23 ± 2.13^{e-k}
$BRH_{6.25}P_{62.5}$	24.5 ± 3.82	27.7 ± 1.20^{abcd}	6.80 ± 0.09	4.05 ± 0.48^{c-i}	4.17 ± 1.00^{d-l}	3.78 ± 1.18^{a-e}	12.00 ± 2.65^{c-i}
$BRH_{12.5}P_0$	22.6 ± 2.93	25.2 ± 2.81^{d}	5.75 ± 1.16	3.78 ± 0.25^{e-l}	4.59 ± 0.98^{b-i}	2.70 ± 0.19^{f-j}	11.07 ± 1.25^{e-k}
$BRH_{12.5}P_{12.5}$	27.2 ± 4.97	27.9 ± 1.74^{abcd}	7.59 ± 1.87	4.48 ± 0.29^{a-d}	5.17 ± 0.38^{abc}	3.24 ± 0.85^{b-g}	12.89 ± 1.51^{a-f}
$BRH_{12.5}P_{25}$	24.3 ± 1.65	27.7 ± 4.81^{abcd}	6.76 ± 1.32	4.13 ± 0.33^{b-h}	3.55 ± 0.33^{jkl}	2.39 ± 0.22^{g-j}	10.07 ± 0.87^{i-m}

Table 3 Cont.

Treatment	Fresh tuber yield (t/ha)	Starch content (%)	Starch yield (t/ha)	Stem base (t/ha)	Stem (t/ha)	Leaf and branch (t/ha)	Aboveground biomass (t/ha)
$BRH_{12.5}P_{37.5}$	24.2 ± 8.24	27.5 ± 1.39^{abcd}	6.66 ± 2.68	4.75 ± 0.76^{ab}	5.09 ± 1.64^{a-e}	3.47 ± 1.21^{b-f}	13.31 ± 3.46^{a-d}
$BRH_{12.5}P_{50}$	24.9 ± 6.08	28.1 ± 1.76^{abc}	7.04 ± 2.02	4.09 ± 0.78^{b-h}	4.05 ± 1.41^{g-l}	3.36 ± 1.08^{b-f}	11.50 ± 2.93^{d-k}
$BRH_{12.5}P_{62.5}$	22.5 ± 7.33	27.0 ± 1.08^{abcd}	6.10 ± 2.27	3.90 ± 0.39^{d-k}	4.24 ± 0.43^{c-k}	4.01 ± 0.62^{abc}	12.15 ± 1.42^{c-h}
$BRH_{25}P_{0}$	23.2 ± 4.67	29.4 ± 3.74^{a}	6.83 ± 1.93	4.23 ± 0.33^{a-f}	5.09 ± 0.19^{a-e}	3.47 ± 0.29^{b-f}	12.79 ± 0.73^{a-f}
$BRH_{25}P_{12.5}$	31.6 ± 4.80	27.8 ± 1.27^{abcd}	8.84 ± 1.45	4.46 ± 0.36^{a-e}	5.76 ± 0.95^{a}	2.72 ± 0.82^{f-j}	12.93 ± 1.76^{a-e}
$BRH_{25}P_{25}$	30.0 ± 0.95	28.9 ± 1.96^{ab}	8.62 ± 0.53	4.89 ± 0.19^{a}	5.30 ± 0.19^{ab}	4.44 ± 0.24^{a}	14.62 ± 0.61^{a}
$BRH_{25}P_{37.5}$	26.5 ± 5.20	28.2 ± 2.20^{abc}	7.50 ± 1.75	4.71 ± 1.09^{abc}	5.13 ± 0.68^{a-d}	4.55 ± 0.61^{a}	14.39 ± 2.08^{ab}
$BRH_{25}P_{50}$	28.4 ± 2.97	27.0 ± 2.64^{abcd}	7.68 ± 1.39	4.13 ± 0.27^{b-h}	4.86 ± 0.29^{a-g}	3.78 ± 1.04^{a-e}	12.77 ± 1.49^{a-f}
$BRH_{25}P_{62.5}$	27.3 ± 4.17	27.6 ± 3.87^{abcd}	7.50 ± 1.27	4.67 ± 0.24^{abc}	4.98 ± 0.53^{a-g}	4.13 ± 0.20^{ab}	13.77 ± 0.95^{abc}
F-test	ns	**	ns	**	**	**	**
SD	5.01	2.56	1.70	0.96	0.94	0.72	2.25
CV (%)	15.5	5.9	16.4	16.4	13.4	10.4	10.5

ns = not significant. *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Means with different lowercase superscript letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$. SD = standard deviation, CV = coefficient of variation
BRH = burnt rice husk, BRH_0 = 0 t/ha, $BRH_{3.125}$ = 3.125 t/ha, $BRH_{6.25}$ = 6.25 t/ha, $BRH_{12.5}$ = 12.5 t/ha, BRH_{25} = 25 t/ha, P = P fertilizer, P_0 = 0 kg/ha of P_2O_5, $P_{12.5}$ = 12.5 kg/ha of P_2O_5, P_{25} = 25 kg/ha of P_2O_5, $P_{37.5}$ = 37.5 kg/ha of P_2O_5, P_{50} = 50 kg/ha of P_2O_5, $P_{62.5}$ = 62.5 kg/ha of P_2O_5

ผลผลิตแป้ง

การใส่แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินต่อเนื่อง 3 ปี ส่งผลสะสมต่อผลผลิตแป้งในทิศทางที่คล้ายคลึงกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด โดยการใส่ในอัตรา 6.25–25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ผลผลิตแป้งอยู่ในพิสัย 6.65–7.83 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา ซึ่งมีผลผลิตแป้งเฉลี่ย 5.97 ตันต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกอัตรามีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตแป้งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยนี้ ซึ่งได้ผลผลิตแป้งเท่ากับ 6.13 ตันต่อเฮกตาร์ (Table 3) การใส่ในอัตรา 12.5 และ 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้ได้ผลผลิตแป้งสูงสุดใกล้เคียงกันเท่ากับ 7.18 และ 7.17 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ทั้งนี้ ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ผลผลผลิตแป้งมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง

น้ำหนักเหง้าสด

การใส่แกลบเผาในทุกอัตรา ยกเว้น 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งผลสะสมทำให้ได้น้ำหนักเหง้าสดของมันสำปะหลังสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกอัตราทำให้ได้น้ำหนักเหง้าสดของมันสำปะหลังสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$; Table 3) ขณะที่ การใส่แกลบเผายังมีอิทธิพลร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อน้ำหนักเหง้าสด ($P < 0.01$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา

25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้น้ำหนักเหง้าสดสูงที่สุด เท่ากับ 4.89 ตันต่อเฮกตาร์

น้ำหนักลำต้นสด

การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 และ 50 ตันต่อเฮกตาร์ ต่อเนื่อง 3 ปี ส่งผลสะสมทำให้ได้น้ำหนักลำต้นสดของมันสำปะหลังเท่ากับ 4.45 และ 5.19 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา (4.10 ตันต่อเฮกตาร์) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่พบว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่ทำให้น้ำหนักลำต้นสดมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง (Table 3) สำหรับอิทธิพลร่วม พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตั้งแต่ 0–62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีแนวโน้มทำให้ได้น้ำหนักลำต้นสดสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นเกือบทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยน้ำหนักลำต้นสดสูงสุด (5.76 ตันต่อเฮกตาร์) พบในตำรับการทดลองที่มีการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์

น้ำหนักกิ่งก้านใบสด

การใส่แกลบเผาทุกอัตราต่อเนื่อง 3 ปี ส่งผลสะสมชัดเจนต่อการสร้างกิ่งก้านใบของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการปลูกโดยไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินนี้ให้น้ำหนักกิ่งก้านใบสดเพียง 2.82 ตันต่อเฮกตาร์ เปรียบเทียบกับค่าในพิสัย 3.17–3.85 ตันต่อเฮกตาร์ ที่ได้จากแปลงที่มีการปรับปรุงดินด้วยแกลบเผาอัตราต่าง ๆ (Table 3) ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลชัดเจนเช่นกัน โดยการใส่ในทุกอัตรา ยกเว้น ที่อัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้น้ำหนักกิ่งก้านใบสดสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อน้ำหนักกิ่งก้านใบสด ($P < 0.01$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 และ 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้น้ำหนักกิ่งก้านใบสดสูงที่สุด เท่ากับ 4.44 และ 4.55 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

ปริมาณชีวมวลส่วนเหนือดิน

ผลรวมของน้ำหนักสดเหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบแสดงให้เห็นชัดเจนว่า แกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลต่อการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของมันสำปะหลัง ($P < 0.01$; Table 3) การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ต่อเนื่อง 3 ปี ส่งผลสะสมทำให้ชีวมวลส่วนเหนือดินเท่ากับ 11.8 และ 13.6 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกอัตราทำให้มีชีวมวลส่วนเหนือดินอยู่ในพิสัย 11.2–12.2 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีปริมาณเท่ากับ 10.1 ตันต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) นอกจากนี้ การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ยังมีอิทธิพลร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ชีวมวลส่วนเหนือดินสูงที่สุด เท่ากับ 14.62 ตันต่อเฮกตาร์ โดยปริมาณสูงสุดดังกล่าวไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่แกลบเผาที่อัตราเดียวกันแต่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือใส่ในอัตราอื่น

การใส่แกลบเผาต่อเนื่อง 3 ปี เพื่อปรับปรุงดินชุดดินยโสธร พบว่า การใส่ในอัตรา 3.125 ตันต่อเฮกตาร์ ไม่เพียงพอที่จะเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกโดยไม่มีการใส่แกลบเผา การใส่ในอัตรา 6.25 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งใกล้เคียงกัน คือ มีค่าสูงกว่าการไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินร้อยละ 11.1 และ 12.0 ในกรณีของผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และร้อยละ 14.9 และ 11.4 ในกรณีของผลผลิตแป้ง ตามลำดับ ส่วนการใส่ในอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ มีผลสะสมทำให้ผลผลิตทั้งสองส่วนสูงกว่าการไม่ใส่ถึงร้อยละ 28.1 และ 31.2 ตามลำดับ นอกจากนี้ การใส่ในอัตรา

ดังกล่าวยังส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีการสร้างส่วนเหนือดินได้ดีกว่าการไม่ใส่อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าแกลบเผาซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่ายในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินทรายได้ดีในระดับหนึ่ง ซึ่งการศึกษาเปรียบเทียบที่อัตราเดียวกันในชุดดินยโสธร Ruenchan *et al*. (2018) รายงานผลการศึกษาใน 1 ฤดูปลูก พบว่า การใส่ในอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ เท่านั้นที่ช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้มากกว่าแปลงที่ไม่ใส่แกลบเผา ขณะที่ Puengkasem *et al.* (2018) ดำเนินการศึกษาในลักษณะเดียวกันในชุดดินสตึก (Typic Paleustults) พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ตันต่อเฮกตาร์ เพียงครั้งเดียวส่งเสริมให้ได้ผลผลิตสูงสุด Prombut *et al*. (2022) ศึกษาการใส่แกลบเผาต่อเนื่อง 2 ปี ในชุดดินเดียวกัน พบว่า การใส่ในอัตรา 12.5 ตันต่อเฮกตาร์ ยังคงให้ผลผลิตสูงสุด ขณะที่ การใส่ในอัตราอื่น (3.125, 6.25 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์) ให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ นอกจากนี้ ชนิดของดินยังมีผลต่อปริมาณการใช้ด้วย ซึ่งชุดดินสตึกกับชุดดินยโสธรเป็นดินเนื้อหยาบที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเหมือนกัน แต่ชุดดินสตึกที่พบในสภาพภูมิประเทศที่ต่ำกว่าจึงมีความชื้นหลงเหลือในเขตรากพืชได้ยาวนานกว่าชุดดินยโสธร (Anusontpornperm *et al*., 2009) โดยแกลบเผามีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์อยู่สูง (Table 2) เป็นวัสดุที่มีรูพรุน จึงมีคุณสมบัติในการช่วยกักเก็บความชื้นได้ดี (Ogbodo, 2009) มันสำปะหลังจึงตอบสนองต่อแกลบเผาในอัตราที่สูงกว่าเมื่อปลูกในชุดดินยโสธร

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญในด้านการให้พลังงานและสังเคราะห์สารชีวเคมีในพืช (Omondi *et al.*, 2019) ผลการศึกษา พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินยโสธรที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสค่อนข้างชัดเจน แต่เนื่องจากผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดที่ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตั้งแต่ 12.5–50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ โดยอัตรา 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ เป็นอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินเมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Sittibusaya, 1996) แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องหลายปีทำให้เกิดผลสะสม ด้วยเหตุนี้มันสำปะหลังจึงตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่ต่ำลง ซึ่งตรงกับรายงานที่ผ่านมา คือ ปุ๋ยฟอสฟอรัสมักจะมีผลตกค้างที่ทำให้มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยนี้ในระดับที่น้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป (Nair *et al.*, 1988; Howeler and Cadavid, 1990; Kabeerathumma *et al.*, 1990) ซึ่งการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่ต่ำลงจะส่งผลดีต่อผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจโดยเฉพาะในสภาวะที่ปุ๋ยเคมีมีราคาแพง อย่างไรก็ตาม จากการที่ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผากับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อผลผลิตมันสำปะหลังจึงยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่า แกลบเผาสามารถใส่หรือมีผลตกค้างเพื่อทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสได้หรือไม่ แต่มีแนวโน้มว่าจะช่วยเสริมให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากใส่ต่อเนื่องไปอีกระยะหนึ่ง โดยสังเกตได้จากผลการศึกษาที่พบว่า การใส่แกลบเผาต่อเนื่อง 3 ปี ร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสุดสูงถึง 31.6 ตันต่อเฮกตาร์ ถึงแม้ว่าจะไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่นก็ตาม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาต่อเนื่องเพื่อตรวจสอบผลการตอบสนองนี้

ผลสะสมของแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลัง

การใส่แกลบเผาทุกอัตราต่อเนื่อง 3 ปี ส่งเสริมให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวมันสำปะหลังอยู่ในพิสัย 7.69–9.96 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าตำรับที่ไม่มีการใส่แกลบเผา ซึ่งมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 6.77 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกอัตราให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยการไม่ใส่ปุ๋ยนี้ทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัส

ต่ำที่สุดเท่ากับ 6.87 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่วนการใส่อัตราตั้งแต่ 12.5–62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวมันสำปะหลัง (8.85–9.39 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$; Table 4) อย่างไรก็ตาม ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง

Table 4 Cumulative effect of burnt rice husk and phosphorus fertilizer on phosphorus uptake in cassava in the 3rd cropping season

Treatment	Cassava's plant part (kg/ha)			
	Tuber	Stem base	Stem	Leaf and branch
Main plot: rate of BRH				
BRH_0	6.77 ± 1.35^{d}	3.26 ± 0.61^{d}	2.15 ± 0.47^{e}	2.74 ± 0.85^{d}
$BRH_{3.125}$	7.69 ± 1.70^{c}	3.70 ± 0.81^{c}	2.42 ± 0.65^{d}	3.88 ± 1.52^{b}
$BRH_{6.25}$	9.26 ± 2.17^{ab}	3.21 ± 0.74^{d}	2.85 ± 0.66^{c}	3.36 ± 1.09^{c}
$BRH_{12.5}$	8.98 ± 1.70^{b}	4.02 ± 0.63^{b}	3.79 ± 0.75^{b}	3.85 ± 1.04^{b}
BRH_{25}	9.96 ± 2.11^{a}	4.46 ± 0.52^{a}	4.27 ± 0.84^{a}	4.52 ± 1.19^{a}
F-test	**	**	**	**
Subplot: rate of P fertilizer				
P_0	6.87 ± 1.31^{c}	3.14 ± 0.90^{b}	3.01 ± 1.18^{bc}	2.60 ± 0.83^{c}
$P_{12.5}$	8.85 ± 1.80^{ab}	3.71 ± 0.78^{a}	3.28 ± 1.42^{ab}	3.22 ± 0.88^{b}
P_{25}	8.81 ± 2.02^{ab}	3.94 ± 0.82^{a}	3.37 ± 0.77^{a}	3.03 ± 1.27^{b}
$P_{37.5}$	8.99 ± 2.03^{ab}	3.96 ± 0.71^{a}	2.86 ± 1.03^{c}	4.52 ± 1.32^{a}
P_{50}	9.39 ± 2.66^{a}	3.84 ± 0.72^{a}	3.14 ± 0.92^{abc}	4.18 ± 1.12^{a}
$P_{62.5}$	8.28 ± 2.05^{b}	3.81 ± 0.72^{a}	2.92 ± 0.94^{c}	4.48 ± 0.86^{a}
F-test	**	**	**	**
Interaction: burnt rice husk × phosphorus fertilizer				
BRH_0P_0	6.01 ± 1.33	2.19 ± 0.41^{m}	1.75 ± 0.24^{j}	1.99 ± 0.29^{j}
$BRH_0P_{12.5}$	7.63 ± 1.37	3.37 ± 0.34^{h-k}	1.94 ± 0.21^{ij}	2.44 ± 0.36^{hij}
BRH_0P_{25}	7.92 ± 1.17	3.79 ± 0.47^{e-i}	2.80 ± 0.44^{d-i}	1.94 ± 0.40^{j}
$BRH_0P_{37.5}$	6.20 ± 1.44	3.41 ± 0.28^{h-k}	1.81 ± 0.19^{j}	2.89 ± 0.60^{f-j}
BRH_0P_{50}	6.47 ± 0.51	3.55 ± 0.30^{f-k}	2.36 ± 0.19^{e-j}	3.30 ± 0.21^{e-i}
$BRH_0P_{62.5}$	6.40 ± 1.54	3.26 ± 0.33^{h-l}	2.27 ± 0.53^{f-j}	3.91 ± 0.87^{c-f}
$BRH_{3.125}P_0$	6.49 ± 1.11	2.70 ± 0.47^{lm}	2.06 ± 0.55^{hij}	2.18 ± 0.84^{j}
$BRH_{3.125}P_{12.5}$	7.42 ± 1.17	3.35 ± 0.54^{h-k}	2.08 ± 0.49^{hij}	3.67 ± 0.80^{d-g}
$BRH_{3.125}P_{25}$	7.00 ± 1.30	3.42 ± 0.47^{g-k}	3.15 ± 0.66^{def}	2.42 ± 0.28^{ij}
$BRH_{3.125}P_{37.5}$	9.01 ± 1.43	3.75 ± 0.54^{e-j}	2.53 ± 0.55^{e-j}	5.24 ± 1.22^{ab}
$BRH_{3.125}P_{50}$	9.06 ± 2.79	4.69 ± 0.47^{ab}	2.48 ± 0.91^{e-j}	5.29 ± 1.57^{ab}
$BRH_{3.125}P_{62.5}$	7.13 ± 0.33	4.27 ± 0.50^{b-e}	2.21 ± 0.11^{g-j}	4.47 ± 0.28^{bcd}

Table 4 Cont.

Treatment	Cassava's plant part (kg/ha)			
	Tuber	Stem base	Stem	Leaf and branch
$BRH_{6.25}P_{0}$	7.52 ± 1.86	3.19 ± 0.81^{i-l}	2.89 ± 0.53^{d-h}	2.33 ± 0.79^{ij}
$BRH_{6.25}P_{12.5}$	9.31 ± 2.48	3.07 ± 0.19^{kl}	2.75 ± 0.87^{e-i}	3.29 ± 0.78^{e-i}
$BRH_{6.25}P_{25}$	9.61 ± 2.41	3.18 ± 0.89^{i-l}	3.09 ± 0.73^{d-g}	2.83 ± 1.01^{g-j}
$BRH_{6.25}P_{37.5}$	9.41 ± 1.50	3.25 ± 1.03^{h-l}	2.62 ± 0.68^{e-j}	4.34 ± 1.30^{bcd}
$BRH_{6.25}P_{50}$	11.06 ± 2.42	3.11 ± 0.82^{jkl}	2.95 ± 0.96^{d-h}	3.45 ± 1.08^{d-h}
$BRH_{6.25}P_{62.5}$	8.65 ± 1.84	3.46 ± 0.46^{g-k}	2.77 ± 0.45^{e-i}	3.95 ± 0.63^{cde}
$BRH_{12.5}P_{0}$	7.24 ± 1.47	3.76 ± 0.70^{e-i}	4.00 ± 0.45^{bc}	2.86 ± 0.58^{g-j}
$BRH_{12.5}P_{12.5}$	10.33 ± 1.31	4.45 ± 0.93^{bcd}	4.52 ± 0.33^{ab}	3.75 ± 0.48^{c-g}
$BRH_{12.5}P_{25}$	9.23 ± 0.47	4.16 ± 1.09^{b-f}	3.26 ± 0.18^{cde}	2.93 ± 1.09^{e-j}
$BRH_{12.5}P_{37.5}$	9.86 ± 1.19	4.61 ± 0.39^{abc}	4.47 ± 0.86^{ab}	4.40 ± 0.24^{bcd}
$BRH_{12.5}P_{50}$	9.03 ± 2.66	3.77 ± 0.05^{e-i}	3.68 ± 0.39^{bcd}	4.39 ± 0.81^{bcd}
$BRH_{12.5}P_{62.5}$	8.22 ± 1.09	3.36 ± 0.24^{h-k}	2.82 ± 0.19^{d-i}	4.75 ± 1.23^{bc}
$BRH_{25}P_{0}$	7.08 ± 0.54	3.86 ± 0.26^{d-h}	4.34 ± 0.98^{ab}	3.65 ± 0.52^{d-g}
$BRH_{25}P_{12.5}$	9.56 ± 0.89	4.29 ± 0.45^{b-e}	5.11 ± 0.62^{a}	2.94 ± 1.30^{e-j}
$BRH_{25}P_{25}$	10.30 ± 2.70	5.12 ± 0.20^{a}	4.55 ± 0.17^{ab}	5.05 ± 0.31^{ab}
$BRH_{25}P_{37.5}$	10.47 ± 1.96	4.76 ± 0.29^{ab}	2.88 ± 0.21^{d-h}	5.73 ± 1.07^{a}
$BRH_{25}P_{50}$	11.32 ± 1.86	4.05 ± 0.33^{c-g}	4.21 ± 0.16^{b}	4.46 ± 0.34^{bcd}
$BRH_{25}P_{62.5}$	11.02 ± 1.68	4.68 ± 0.24^{ab}	4.54 ± 0.48^{ab}	5.31 ± 0.25^{ab}
F-test	ns	**	**	**
SD	2.14	0.81	1.06	1.29
CV (%)	15.9	10.3	13.2	16.8

ns = not significant, ** significantly different at 0.01 probability level. Means with different lowercase superscript letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$. SD = standard deviation, CV = coefficient of variation

BRH = burnt rice husk, BRH_{0} = 0 t/ha, $BRH_{3.125}$ = 3.125 t/ha, $BRH_{6.25}$ = 6.25 t/ha, $BRH_{12.5}$ = 12.5 t/ha, BRH_{25} = 25 t/ha, P = P fertilizer, P_{0} = 0 kg/ha of P_2O_5, $P_{12.5}$ = 12.5 kg/ha of P_2O_5, P_{25} = 25 kg/ha of P_2O_5, $P_{37.5}$ = 37.5 kg/ha of P_2O_5, P_{50} = 50 kg/ha of P_2O_5, $P_{62.5}$ = 62.5 kg/ha of P_2O_5

เหง้ามันสำปะหลัง

การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งผลชัดเจนต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเหง้า โดยมีค่าเท่ากับ 4.02 และ 4.46 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตั้งแต่ 12.5–62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเหง้าอยู่ในพิสัย 3.71–3.96 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างอัตราที่ใส่ แต่มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเหง้าสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตลอด 3 ปีของการศึกษา ($P < 0.01$; Table 4) ขณะ

ที่ การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ยังมีอิทธิพลร่วมทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเหง้าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) เท่ากับ 5.12 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

ลำต้นมันสำปะหลัง

การดูดใช้ฟอสฟอรัสในลำต้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราแกลบเผาที่ใส่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินมีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในลำต้นของมันสำปะหลังต่ำที่สุด เท่ากับ 2.15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่วนตำรับการทดลองที่มีการปรับปรุงดินด้วยแกลบเผามีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในลำต้นของมันสำปะหลังอยู่ในพิสัย 2.42–4.27 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (Table 4) อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยฟอสฟอรัสกลับไม่ส่งชัดเจนต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในลำต้นเท่าแกลบเผา โดยมีเพียงการใส่ในอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ที่ทำให้ปริมาณการดูดใช้สูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ($P < 0.01$) ทั้งนี้ การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ และปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีอิทธิพลร่วมทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในลำต้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 5.11 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ขณะที่ การใส่ในอัตราที่สูงกว่านี้กลับทำให้ปริมาณการดูดใช้ลดลง

กิ่งก้านใบมันสำปะหลัง

การใส่แกลบเผาทุกอัตราต่อเนื่อง 3 ปี ยังคงส่งผลเชิงบวกต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในกิ่งก้านใบของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมีการดูดใช้อยู่ในพิสัย 3.36–4.52 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เปรียบเทียบกับ 2.74 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา (Table 4) ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ในทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในกิ่งก้านใบของมันสำปะหลัง (3.03–4.52 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) สูงกว่าการไม่ใส่ (2.60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ กับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีอิทธิพลร่วมทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในกิ่งก้านใบสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เท่ากับ 5.73 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

ส่วนเหนือดินทั้งหมดของมันสำปะหลัง

การใส่แกลบเผาทุกอัตราส่งผลทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินทั้งหมดรวมสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 9.42–13.25 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เปรียบเทียบกับ 8.16 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในตำรับควบคุม (Figure 1A) ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกับการใส่ปุ๋ยฟอสอรัส กล่าวคือ การใส่ในทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินทั้งหมดของมันสำปะหลังรวมอยู่ในพิสัย 10.20–11.34 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (8.75 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$; Figure 1B) นอกจากนี้ ยังพบว่าการปรับปรุงดินด้วยแกลบเผาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสยังส่งเสริมให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น โดยพบอิทธิพลร่วมระหว่างการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ กับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ที่ทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 14.73 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยเป็นที่น่าสังเกตว่า การดูดใช้จะเพิ่มขึ้นตามอัตราของการใส่แกลบเผาที่เพิ่มขึ้น และในแปลงหลัก (Main plot) ของแกลบเผาแต่ละอัตรา การดูดใช้ฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่เพิ่มขึ้น (Figure 1C)

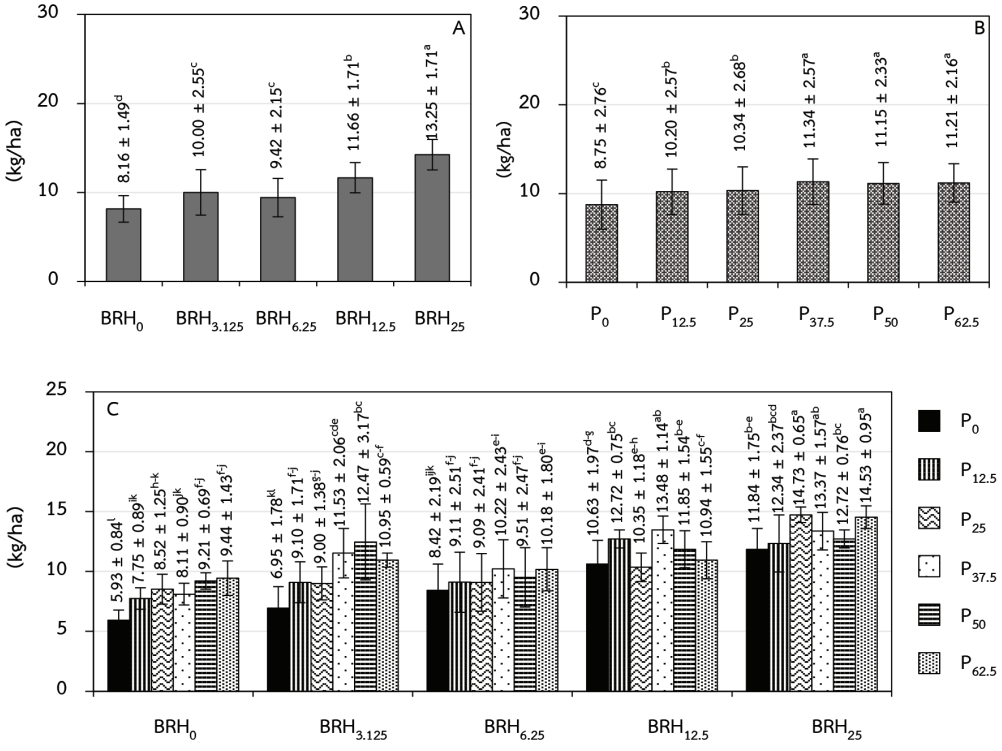

Figure 1 Cumulative effect of burnt rice husk (A), phosphorus fertilizer (B) and their interaction (C) on phosphorus uptake in aboveground plant part of cassava. Different superscript lowercase letters on bars are significantly different at $P < 0.05$. BRH = burnt rice husk, BRH_0 = 0 t/ha, $BRH_{3.125}$ = 3.125 t/ha, $BRH_{6.25}$ = 6.25 t/ha, $BRH_{12.5}$ = 12.5 t/ha, BRH_{25} = 25 t/ha, P = P fertilizer, P_0 = 0 kg/ha of P_2O_5, $P_{12.5}$ = 12.5 kg/ha of P_2O_5, P_{25} = 25 kg/ha of P_2O_5, $P_{37.5}$ = 37.5 kg/ha of P_2O_5, P_{50} = 50 kg/ha of P_2O_5, $P_{62.5}$ = 62.5 kg/ha of P_2O_5.

มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสน้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียมค่อนข้างมาก (Imas and John, 2013; Phun-iam *et al*., 2018; Chaem-ngern *et al*., 2020; Prombut *et al*., 2022) อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบว่า การใส่แกลบเผาทุกอัตราเพื่อปรับปรุงดินมีส่วนช่วยให้มันสำปะหลังดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมยังส่วนต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ การใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงกว่า 12.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ไม่ได้ทำให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นชัดเจนนัก โดยพบว่า การใส่แกลบเผามีผลส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้นตามอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในส่วนเหนือดินทั้งหมด และโดยภาพรวม มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเฉลี่ยในส่วนหัวน้อยกว่าในส่วนเหนือดิน (เหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบ) เล็กน้อยในสัดส่วนประมาณ 2:3 โดยมีปริมาณการดูดใช้ทั้งหมดโดยประมาณอยู่ในพิสัย 11–25 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราแนะนำที่ 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ซึ่งฟอสฟอรัสบางส่วนได้มาจากการปลดปล่อยจากแกลบเผาในช่วงที่มีการย่อยสลายของวัสดุปรับปรุงดิน (Utami *et al*.,

2012; Opachat *et al*., 2018; Insixiengmay *et al*., 2019) แสดงให้เห็นว่า ฟอสฟอรัสบางส่วนเหลือตกค้างในดิน โดยเฉพาะในกรณีของชุดดินยโสธรที่เป็นดินกรดสีแดงที่มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง ซึ่งโดยทั่วไป ดินในเขตร้อนที่มีสีแดงมักจะมีเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง ทำให้มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสได้ค่อนข้างมาก (Havlin *et al*., 2013; Sanchez, 2019) ประกอบกับฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังซึ่งมีอยู่ถึง 3 ใน 5 ส่วนของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดใช้ทั้งหมดจะถูกคืนกลับสู่ดินเกือบทั้งหมด เมื่อเศษเหลือของมันสำปะหลัง อาทิ เหง้า ลำต้นบางส่วน และกิ่งก้านใบถูกไถกลบลงสู่ดินในช่วงการเตรียมดินสำหรับการปลูกในฤดูถัดไป ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้สูงที่การปลูกมันสำปะหลังโดยมีการปรับปรุงดินด้วยแกลบเผาต่อเนื่องร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะสามารถลดปริมาณการใช้ฟอสฟอรัสลงได้ในระยะยาว

ผลสะสมของแกลบเผาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของดินบน

การใส่แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินต่อเนื่อง 3 ปี ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการในดินบนหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังในฤดูปลูกที่ 3 (Table 5) โดยพบว่า การใส่แกลบเผาในอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ดินมีค่าพีเอชสูงขึ้น เท่ากับ 5.96 ซึ่งมีค่าสูงกว่าตำรับที่มีการใส่ในอัตราที่ต่ำกว่า (3.125, 6.25 และ 12.5 ตันต่อเฮกตาร์) และไม่มีการใส่แกลบเผาตลอดการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) อย่างไรก็ตาม การใส่แกลบเผาไม่ส่งผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุ กำมะถัน เหล็ก และทองแดงที่เป็นประโยชน์ในดินบนมีความแตกต่างกัน แต่ทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา โดยการใส่ในเกือบทุกอัตรายกเว้น 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในพิสัย 0.33–0.38 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ ในตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 5.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแปลงที่มีการใส่แกลบเผาในทุกอัตราอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 7.00–13.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่แกลบเผาในอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ดินบนมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุดเท่ากับ 29.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้ดินมีการสะสมแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (125 และ 122 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) สูงกว่าตำรับที่ไม่มีการใส่แกลบเผา แต่การใส่ในอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา (105 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินบนให้ผลคล้ายคลึงกับแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ โดยการใส่ทั้ง 2 อัตราดังกล่าว ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่เท่ากับ 23.6 และ 24.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา (20.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25–25 ตันต่อเฮกตาร์ ยังส่งเสริมให้ดินบนมีปริมาณแมงกานีสและสังกะสีที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยในกรณีของแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ การใส่แกลบเผาที่อัตรา 6.25, 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้มีปริมาณแมงกานีสที่เป็นประโยชน์อยู่ในพิสัย 13.4–15.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าในแปลงควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา (11.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในตำรับการทดลองที่ใส่แกลบเผาที่สามอัตราดังกล่าวมีค่าอยู่ในพิสัย 0.15–0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าที่วิเคราะห์ได้จากดินในตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผาตลอดทั้ง 3 ปีของการศึกษา (0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

Table 5 Cumulative effect of 3-year continuous application of burnt rice husk on some chemical properties of topsoil after harvesting cassava in the 3rd cropping season

Treatment	pH (1:1, soil: water)	Organic matter (g/kg)	Total N (g/kg)	Available P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	Available Ca (mg/kg)
BRH_0	5.53 ± 0.39^{b}	2.56 ± 0.83	0.21 ± 0.11^{b}	5.31 ± 1.98^{d}	19.3 ± 4.57^{bc}	105 ± 15^{b}
$BRH_{3.125}$	5.67 ± 0.38^{b}	2.54 ± 0.47	0.34 ± 0.13^{a}	7.00 ± 2.52^{c}	16.3 ± 6.08^{c}	109 ± 13^{bc}
$BRH_{6.25}$	5.51 ± 0.34^{b}	2.82 ± 0.55	0.24 ± 0.11^{b}	7.42 ± 2.56^{c}	21.0 ± 8.45^{b}	116 ± 16^{abc}
$BRH_{12.5}$	5.65 ± 0.45^{b}	2.78 ± 0.92	0.38 ± 0.14^{a}	9.12 ± 2.92^{b}	19.7 ± 7.68^{bc}	125 ± 24^{a}
BRH_{25}	5.96 ± 0.30^{a}	3.04 ± 0.84	0.33 ± 0.19^{a}	13.30 ± 3.91^{a}	29.6 ± 8.07^{a}	122 ± 19^{ab}
F-test	**	ns	**	**	**	*
SD	0.40	0.75	0.15	3.89	8.29	19.08
CV (%)	6.75	29.50	33.22	26.71	29.08	17.45

Treatment	Available Mg (mg/kg)	Available S (mg/kg)	Available Fe (mg/kg)	Available Mn (mg/kg)	Available Zn (mg/kg)	Available Cu (mg/kg)
BRH_0	20.8 ± 3.17^{c}	4.76 ± 1.12	100 ± 22	11.6 ± 2.83^{c}	0.13 ± 0.03^{c}	0.04 ± 0.01
$BRH_{3.125}$	22.1 ± 2.87^{bc}	6.07 ± 2.26	106 ± 23	11.6 ± 1.83^{c}	0.12 ± 0.02^{c}	0.03 ± 0.02
$BRH_{6.25}$	22.1 ± 2.38^{bc}	5.61 ± 1.43	101 ± 15	15.1 ± 1.99^{a}	0.15 ± 0.03^{b}	0.03 ± 0.02
$BRH_{12.5}$	23.6 ± 2.80^{ab}	4.92 ± 1.38	103 ± 17	13.7 ± 3.24^{ab}	0.16 ± 0.02^{b}	0.04 ± 0.02
BRH_{25}	24.7 ± 3.47^{a}	5.04 ± 3.07	94.2 ± 23	13.4 ± 0.03^{b}	0.18 ± 0.03^{a}	0.04 ± 0.02
F-test	**	ns	ns	**	**	ns
SD	3.20	1.36	20.30	2.97	0.03	0.02
CV (%)	12.95	36.78	26.98	17.89	0.00	0.00

ns = not significant, ** significantly different at 0.01 probability level. Means with different lowercase superscript letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$. SD = standard deviation, CV = coefficient of variation

BRH = burnt rice husk, BRH_0 = 0 t/ha, $BRH_{3.125}$ = 3.125 t/ha, $BRH_{6.25}$ = 6.25 t/ha, $BRH_{12.5}$ = 12.5 t/ha, BRH_{25} = 25 t/ha.

สมบัติดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังในฤดูปลูกที่ 3 แสดงให้เห็นว่า แกลบเผาซึ่งมีพีเอชเป็นด่าง (Table 2) หากใส่ในอัตราที่สูงมากพอสามารถช่วยเพิ่มพีเอชในดินเนื้อหยาบนี้ได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Puengkasem *et al*. (2018) ที่พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์เพียงหนึ่งครั้ง ทำให้พีเอชดินบนของชุดดินสตึกมีค่าสูงกว่าการไม่ใส่แกลบเผาอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ปริมาณอินทรียวัตถุในดินบนไม่ได้เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีการใส่แกลบเผาซึ่งมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ 96.7 กรัมต่อกิโลกรัม (Table 2) ในอัตราสูงถึง 25 ตันต่อเฮกตาร์ แสดงให้เห็นว่า อัตราการย่อยสลายของแกลบเผาและการชะละลายที่เกิดได้รวดเร็วและรุนแรงในดินเนื้อหยาบไม่ส่งเสริมให้เกิดการสะสม

อินทรียวัตถุในดินบน ซึ่งจากการศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์หลายชนิดในดินเนื้อหยาบทั้งในระยะสั้นและระยะยาวก็พบว่าไม่สามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุได้อย่างชัดเจน (Puengkasem *et al*., 2018; Chaemngern *et al*., 2020; Klongtham *et al*., 2020; Senachai *et al*., 2020; Prombut *et al*., 2022) สำหรับปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในแปลงที่มีการปรับปรุงดินด้วยแกลบเผาอัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ เป็นผลมาจากการปลดปล่อยจากการย่อยสลายของแกลบเผา (Opachat *et al*., 2018; Insixiengmay *et al*., 2019) และเศษเหลือส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังที่ถูกไถกลบในปีก่อนหน้า ซึ่งการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ประกอบกับการตอบสนองของมันสำปะหลังต่ออัตราปุ๋ยที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำ น่าจะส่งผลต่อการปรับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสในฤดูปลูกถัดไปดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับปริมาณโพแทสเซียมที่เพิ่มสูงขึ้นอาจจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมในฤดูปลูกถัดไป เนื่องจากยังมีปริมาณต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Sittibusaya, 1996) สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นจากอิทธิพลของการใส่แกลบเผา มีแนมโน้มส่งเสริมให้ผลผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกในฤดูถัดไปเพิ่มมากขึ้นได้ เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้า พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 เมื่อปลูกในดินเนื้อหยาบภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการตอบสนองด้านผลผลิตต่อปุ๋ยแคลเซียม (Kardudom *et al*., 2018; Somngam *et al*., 2018) แมกนีเซียม (Charoenphon *et al*., 2018) และสังกะสี (Chuensombat *et al*., 2021)

สรุป

การใส่แกลบเผาต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี มีผลสะสมต่อผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินยโสธรที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยการใส่ที่อัตรา 6.25–25 ตันต่อเฮกตาร์ ขณะที่มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสดีที่สุดใกล้เคียงกันเมื่อใส่ในอัตรา 12.5–50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ การใส่แกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกอัตราต่างทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวมันสำปะหลังสูงสุด และการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินรวมสูงสุด การใส่แกลบเผาโดยเฉพาะที่อัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ดินบนหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังในฤดูปลูกที่ 3 มีค่าพีเอช ปริมาณธาตุอาหารส่วนใหญ่ยกเว้น กำมะถัน เหล็ก และทองแดงที่เป็นประโยชน์และอินทรียวัตถุสูงกว่าแปลงที่ไม่มีการใส่แกลบเผา ผลสะสมของแกลบเผาและปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ต่อเนื่อง 3 ปี แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ เพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง และแกลบเผานอกจากช่วยเพิ่มผลผลิตแล้วยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินส่วนใหญ่ให้ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สวพ.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และบริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์แม่ปุ๋ยเคมีสำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Adeleye, E.O., L.S. Ayeni and S.O. Ojeniyi. 2010. Effect of poultry manure on soil physico-chemical properties, leaf nutrient contents and yield of yam (*Dioscorea rotundata*) on Alfisol in southwestern Nigeria. J. Am. Sci. 6(10): 871–878.

Anusontpornperm, S., S. Nortcliff and I. Kheoruenromne. 2009. Interpretability comparison between soil taxonomic and fertility capability classification units: a case of some major cassava soils in northeast, Thailand. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 43(5): 9–18.

Bardsley, C.E. and J.D. Lancaster. 1965. Sulfur, pp. 1102–1116. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Biratu, G.K., E. Elias, P. Ntawuruhunga and G.W. Sileshi. 2018. Cassava response to the integrated use of manure and NPK fertilizer in Zambia. Heliyon 4(8): e00759.

Boonrawd, S., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and N. Janjirawuttikul. 2021. Characteristics and fertility capability of cassava growing soils under different annual rainfall conditions in Northeast Thailand. Khon Kaen Agr. J. 49(4): 1034–1046.(in Thai)

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59(1): 39–45.

Byju, G. and G. Suja. 2020. Mineral nutrition of cassava, pp. 169-235. *In* D. Sparks, ed. Advances in Agronomy. Volume 159. 1st edition. Academic Press, Massachusetts, USA.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1988. Cassava Program. Annual Report for 1985. Working Document No. 38. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Chaem-Ngern, C., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2020. Response of cassava, Huay Bong 80 variety, grown in an Ustic Quartzipsamment, to chicken manure and potassium fertilizer. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 51(22): 2765–2777.

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. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Charoenphon, A., S. Thanachit, S. Anusontpornperm and I. Kheoruenromne. 2018. Response of cassava to different rate and type of magnesium sources in Satuk soil series, pp. 73–77. *In* Proc. the 44th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 44), 29–31 October 2018. Bangkok, Thailand.

Chuensombat, W., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2021. Cumulative effect of perlite and chicken manure on chemical fertilizer and Zn foliar application rates used for cassava in Warin soil series. Khon Kaen Agr. J. 49(6): 1515–1529. (in Thai)

FAOSTAT. 2021. Production and yield qualities of cassava in the world. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available Sources: http://www.fao.org/faostat/en/#home, June 14, 2021.

Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson and J.D. Beaton. 2013. Soil Fertility and Fertilizers. 8th edition. Pearson Education Inc., New Jersey, USA.

Howeler, R.H. 1990. Phosphorus requirements and managements of tropical root and tuber crops, pp. 427–444. *In* Proc. the Symposium on Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania, 6–10 March 1989. Manila, The Philippines.

Howeler, R.H. 1991. Long-term effect of cassava cultivation on soil productivity. Field Crops Res. 26(1): 1–18.

Howeler, R.H. 2014. Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia: A Reference Manual. CIAT Publication No. 389. The International Center for Tropical Agriculture (CIAT), The Nippon Foundation, Cali, Colombia.

Howeler, R.H. and L.F. Cadavid. 1990. Short-and long-term fertility trials in Colombia to determine the nutrient requirements of cassava. Fertil. Res. 26(1–3): 61–80.

Imas, P. and K.S. John. 2013. Potassium nutrition of cassava. e-ifc No. 34. International Potash Institute, Zug, Switzerland.

Insixiengmay, S., S. Thanachit, S. Anusontpornperm and I. Kheoruenromne. 2019. Effect of P fertilizer on virgin cane in Satuk soil series amended with different rates of rice husk ash. Khon Kaen Agr. J. 47(1): 73–82. (in Thai)

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

Johnson, C.M. and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis, pp. 26–78. *In* Bulletin of the California Agricultural Experiment Station No. 766. Berkeley, California, USA.

Kabeerathumma, S., B. Mohankumar, C.R. Mohankumar, G.M. Nair, M. Prabhakar and N.G. Pillai. 1990. Long range effect of continuous cropping and manuring on cassava production and fertility status, pp. 259–269. *In* R.H. Howeler, ed. Proc. the 8th Symposium of the International Society for Tropical Root Crops: Tropical Root and Tuber Crops Changing Role in a Modern World, 30 October–5 November 1988. Bangkok, Thailand. (in Thai)

Kaewkamthong, Y., S. Thanachit, S. Anusontpornperm and W. Wiriyakitnateekul. 2014. Alleviation of soil compaction problem for growing cassava on a Typic Paleustult, Northeast Thailand. Asian J. Crop Sci. 6(4): 334–344.

Kardudom, T., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2018. Response of cassava, KU 50 and Huay Bong 80 varieties, grown in Satuk soil series to calcium and nitrogen, pp. 95–101. *In* Proc. the 44th Congress on Science and Technology of Thailand (STT44), 29–31 October 2018. Bangkok, Thailand.

Kerdchana, C., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and W. Wiriyakitnateekul. 2014. Effect of gypsum, dolomite, burnt rice husk from ethanol plant and rates of chemical fertilizer on cassava grown on a Korat soil. *In* Proc. the 40th Congress on Science and Technology of Thailand (STT40), 2–4 December 2014. Khon Kaen, Thailand.

Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Methods of making mechanical analyses of soils. Soil Sci. 68(1): 5–24.

Klongtham, R., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2020. Cumulative effect of chicken manure, cassava starch manufacturing wastes and chemical fertilizer on cassava grown in Yasothon soil series. Khon Kaen Agr. J. 48(6): 1292-1303. (in Thai)

Kumar, S., P. Sangwan, R.M.V. Dhankhar and S. Bidra. 2013. Utilization of rice husk and their ash: a review. Res. J. Chem. Env. Sci. 1(5): 126–129.

Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42(3): 421–428.

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.

Mymrin, V., D.E. Pedroso, C. Pedroso, K. Alekseev, M.A. Avanci, E. Winter Jr, L. Cechin, P.H.B. Rolim, A. Iarozinski and R.E. Catai. 2018. Environmentally clean composites with hazardous aluminum anodizing sludge, concrete waste, and lime production waste. J. Clean. Prod. 174: 380–388.

Nair, P.G., B. Mohankumar, M. Prabhakar and S. Kabeerathumma. 1988. Response of cassava to graded doses of phosphorus in acid lateritic soils of high and low-P status. J. Root Crops 14(2): 1–9.

National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42 Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.

Nilnoree, T., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and P. Petprapai. 2016. Effect of chicken manure and organic wastes from cassava starch manufacturing plant on cassava grown on Dan Khun Thot soil. Khon Kaen Agr. J. 44(1): 167–178.(in Thai)

Nopphan, C., S. Thanachit, S. Anusontpornperm and I. Kheoruenrpmne. 2017. Effects of deep placement organic soil conditioners on soil aggregate distribution, carbon sequestration, and yield of cassava in a Yasothon soil. Khon Kaen Agr. J. 45(1): 57–70. (in Thai)

Ogbodo, E.N. 2009. Changes in the properties of an acid soil amended with burnt rice husk and the effect on the growth and yield of pepper at Abakaliki South Eastern Nigeria. Am. Eurasian J. Sustain. Agric. 3(3): 579–586.

Omondi, J.O., N. Lazarovitch, S. Rachmilevitch and U. Yermiyahu. 2019. Phosphorus affects storage root yield of cassava through root numbers. J. Plant Nutr. 42(17): 2070–2079.

Opachat, T., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2018. Major plant nutrient release in Jasmine rice growing soils amended with biochar and organic wastes: an incubation study. Int. J. Soil Sci. 13(1): 9–17.

Pellet, D. and M.A. El-Sharkawy. 1993. Cassava varietal response to phosphorus fertilization. II. Phosphorus uptake and use efficiency. Field Crops Res. 35(1): 13–20.

Phun-iam, M., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2018. Yield response of cassava Huay Bong 80 variety grown in an Oxyaquic Paleustult to cassava starch waste and nitrogen fertilizer. Agr. Nat. Resour. 52: 573–580.

Plengsuntia, P., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2012. Root yield and starch content of cassava as affected by different fertilizer formulas and chicken manure. *In* Proc. the 38th Congress on Science and Technology of Thailand (STT38), 17–19 October 2012. Chiang Mai, Thailand.

Prombut, N., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and M. Phun-iam. 2022. Response of cassava to potassium fertilization in a tropical sandy Typic Paleustult amended with burnt rice husk for two-consecutive years. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 53(14): 1823–1840.

Puengkasem, K., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and P. Petprapai. 2018. Effect of rice husk ash and potassium on soil properties and cassava, Huay Bong 80 variety, grown in Satuk soil series. Khon Kaen Agr. J. 46(5): 911–920. (in Thai)

Ruenchan, P., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2018. Effect of rice husk ash and nitrogen on growth and yield of cassava, Huay Bong 80 variety, in Yasothon soil series, pp. 78–84. *In* Proc. the 44th Congress on Science and Technology of Thailand (STT44), 29–31 October 2018. Bangkok, Thailand.

Sanchez, P.A. 2019. Properties and Management of Soils in the Tropics. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Santasnachok, C., W. Kurniawan and H. Hinode. 2015. Characterization of Thailand rice husk ash from biomass power plant and synthesized zeolite. J. Life Sci. 9: 127–130.

Sarma, J.S. and D. Kunchai. 1991. Trends and Prospects for Cassava in the Developing World. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C., USA. 64 pp.

Senachai, W., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2020. Response of cassava to chemical fertilizer in Yasothon soil series amended with cassava starch waste and ground limestone for 5 consecutive years. Khon Kaen Agr. J. 48(6): 1254-1265. (in Thai)

Sittibusaya, C. 1996. Strategies of Developing Fertilizer Recommendations for Field Crops. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd edition. Agricultural Handbook No. 436. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA. 869 pp.

Somngam, N., S. Thanachit, S. Anusontpornperm and I. Kheoruenromne. 2018. Effect of calcium from different sources on cassava grown in Warin soil series, pp. 67–72. *In* Proc. the 44th Congress on Science and Technology of Thailand (STT44), 29–31 October 2018. Bangkok, Thailand.

Surin, S., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and W. Witsawapipat. 2013. Response of cassava grown on a Warin soil to tillage and soil amendments. *In* Proc. the 39th Congress on Science and Technology of Thailand (STT39), 21–23 October 2013, Bangkok, Thailand.

Thai Tapioca Development Institute. 2020. Huay Bong 80 (HB 80). Thai Tapioca Development Institute. Available Source: https://www.tapiocathai.org/English/K4_e.html/, 20 June 2022.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 159–165. *In* A.L. Page, ed. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd edition. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

United States Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soil. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.

Utami, S.R., S. Kurniawan, B. Situmorang and N.D. Rositasari. 2012. Increasing P-availability and P-uptake using sugarcane filter cake and rice husk ash to improve Chinese cabbage (*Brassica* sp.) growth in Andisol, East Java. J. Agric. Sci. 4(10): 153–160.

Vander Zaag, P., R.L. Fox, R.S. De La Pena and R.S. Yost. 1979. P nutrition of cassava, including mycorrhizal effects on P, K, S, Zn and Ca uptake. Field Crops Res. 2: 253–263.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37(1): 29–38.

Wargiono, J., Y. Widodo and W.H. Utomo. 2000. Cassava agronomy research and adoption of improved practices in Indonesia: major achievements during the past 20 years, pp. 259–278. *In* R.H. Howeler and S.L. Tan, eds. Proc. the 6th Regional Workshop: Cassava's Potential in Asia in the 21st Century: Present Situation and Future Research and Development Needs, 21–25 February 2000. Ho Chi Minh, Vietnam.

Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Zhang, C. and H. Tang. 2009. Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering. Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS. Volume 1. Springer, Berlin, Germany.