

ผลสะสมของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลัง
ที่ปลูกในชุดดินยโสธร และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน
Cumulative Effect of Phosphorus Fertilizer on Yield and Major Nutrient
Uptake of Cassava Planted in Yasothon Soil Series and Soil Property Changes

พรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย¹ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม^{1,*} ศุภิมา ธนะจิตต์¹ เอิบ เขียวรุ่มรณม¹ และ มัชฌิมา พันธุ์เอี่ยม¹
Pornchai Uppapanpongchai¹, Somchai Anusontpornperm^{1,*}, Suphicha Thanachit¹,
Irb Kheoruenromne¹ and Mutchima Phun-iam¹

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

รับเรื่อง: 8 กรกฎาคม 2565 Received: 8 July 2022

ปรับแก้ไข: 16 สิงหาคม 2565 Revised: 16 August 2022

รับตีพิมพ์: 22 สิงหาคม 2565 Accepted: 22 August 2022

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

ABSTRACT: Proper phosphorus (P) fertilizer management can increase cassava yield in upland sandy soils of northeast Thailand. A study was conducted in a farmer field in Nakhon Ratchasima province to investigate the cumulative effect of P fertilizer applied for 3-consecutive years on yield and major nutrient uptake of cassava, Huay Bong 80 variety in Yasothon soil series, and soil property changes. The experimental design was arranged in a randomized complete block with four replications. Six rates of P fertilizer: 0, 12.5, 25, 37.5, 50 and 62.5 kg P₂O₅/ha were compared. The results showed that P fertilization at the rate of 50 and 62.5 kg P₂O₅/ha significantly induced greater fresh tuber yield, starch yield, and aboveground biomass than did the control without P application ($P < 0.05$) in the 1st and 3rd cropping seasons whereas there was no statistical difference among different rates of P in the 2nd cropping season. The application of P fertilizer at all rates for 3-consecutive years resulted in higher total nitrogen content in the topsoil (0.31–0.36 g/kg) and subsoil (0.26–0.35 g/kg) than did the control with no P addition (0.16 and 0.13 g/kg, respectively). The application at the rate of 62.5 kg P₂O₅/ha promoted the highest available P content of 12.90 and 7.96 mg/kg in respective topsoil and subsoil, and also the highest available K content of 42.23 and 11.73 mg/kg, respectively. This indicated that the continuous application of P fertilizer for cassava cultivation not only improved the yield of the plant but also increased the accumulation of primary plant nutrients in the soil.

Keywords: Cassava, P fertilizer management, sandy soil, nutrient uptake, soil property changes

Agricultural Sci. J. (2022) Vol. 53(2): 188–208

ว. วิทย. กษ. (2565) 53(2): 188–208

บทคัดย่อ

การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมมีส่วนช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังในดินเหนียวทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทำการศึกษาในแปลงเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา เพื่อทดสอบผลสะสมของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ต่อเนื่อง 3 ปี ต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันเป็นสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ในชุดดินยโสธร และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบปุ๋ยฟอสฟอรัส 6 อัตรา คือ 0, 12.5, 25, 37.5, 50 และ 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 50 และ 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้ง และชีวมวลส่วนเหนือดินสูงกว่าค่าควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 3 แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่ารับการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสติดต่อกัน 3 ปี ในทุกอัตราทำให้มีปริมาณไนโตรเจนรวมในดินบน (0.31–0.36 กรัมต่อกิโลกรัม) และดินล่าง (0.26–0.35 กรัมต่อกิโลกรัม) สูงกว่าค่าควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (0.16 และ 0.13 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ดินบนและดินล่างมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดเท่ากับ 12.90 และ 7.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่มีปริมาณเท่ากับ 42.23 และ 11.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องสำหรับการปลูกมันสำปะหลังนอกจากจะช่วยส่งเสริมผลผลิตแล้วยังทำให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารหลักสะสมเพิ่มขึ้นด้วย

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง, การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัส, ดินทราย, การดูดใช้ธาตุอาหาร, การเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน

บทนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2563 ผลผลิตมันสำปะหลังมีการส่งออกสูงเป็นลำดับที่ 3 รองจากยางพาราและข้าว (Office of Agricultural Economics, 2020) มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คือ นครราชสีมา (Office of Agricultural Economics, 2022) ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเนื้อเป็นดินร่วนปนทรายถึงหยาบ ส่วนใหญ่มีศักยภาพทางการเกษตรต่ำ เนื่องจากมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ ดินมีโครงสร้างไม่แข็งแรง การระบายน้ำปานกลางถึงดีเกินไปทำให้มีอัตราการชะละลายค่อนข้างสูง ดินเหล่านี้จึงสูญเสียผลิตภาพได้รวดเร็ว (Howeler, 1981; Ratanawaraha *et al.*, 2000; Anusontpornperm *et al.*, 2009; Boonrawd *et al.*, 2021)

มันสำปะหลังค่อนข้างไวต่อการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไปโดยเฉพาะไนโตรเจน ทำให้มีการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินมากเกินไปแทนที่จะไปสร้างส่วนหัวใต้ดิน และการใส่ปุ๋ยบางชนิดมากเกินไป ความจำเป็นอาจทำให้มันสำปะหลังแสดงอาการขาดธาตุอาหารอื่นได้ (Howeler, 2012) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชรองจากไนโตรเจน และพืชมีความต้องการในปริมาณที่เฉพาะเจาะจง โดยมีความสำคัญในด้านการให้พลังงานและสังเคราะห์สารชีวเคมีในพืช (Omondi *et al.*, 2019) ในดินทุ่งหญ้าเขตร้อนที่มีพีเอชต่ำและความอุดมสมบูรณ์ลดลง ฟอสฟอรัสมักจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Sanchez, 2019) ดังนั้น การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอเป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะสำหรับการสังเคราะห์แป้งและการเจริญของรากสะสมอาหาร มีรายงานว่ามันสำปะหลังที่ปลูกในดินอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) ในประเทศบราซิลและโคลัมเบียแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสอย่างรุนแรงเพราะดินนี้มีความ

สามารถในการตรึงฟอสฟอรัสได้มาก และมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดโดยน้ำยา Bray II หรือ Mehlich I อยู่เพียง 1–2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Howeler, 2014) ในฤดูปลูกแรก มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน แต่เมื่อปลูกต่อเนื่องหลายปีในพื้นที่เดิม การตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสจะเริ่มลดน้อยลง เนื่องจากเกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินจากการใส่ปุ๋ยนี้ในปีก่อนหน้า (Kabeerathumma *et al.*, 1988; Nair *et al.*, 1988; Howeler and Cadavid, 1990) โดยการศึกษาในดินที่มีฟอสฟอรัสต่ำที่รัฐเกรละ (Kerala) ประเทศอินเดีย แสดงให้เห็นว่า มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 100 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ในปีแรก ๆ และเริ่มตอบสนองต่ออัตราที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในเอเชีย พบว่า มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสชัดเจนที่สุดในที่ราบ Jars จังหวัด Xieng Khouang ทางตะวันออกเฉียงเหนือของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดโดยน้ำยา Bray II อยู่เพียง 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2007) ซึ่งการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับระดับของฟอสฟอรัสในดิน จำนวนประชากรไมคอร์ไรซา และพันธุ์มันสำปะหลัง (Howeler, 1990) Vander Zaag *et al.* (1979) รายงานว่า มันสำปะหลังพันธุ์ Ceiba ให้ผลผลิตสูงถึง 42 ตันต่อเฮกตาร์ เมื่อปลูกในดินอันดับออกซิซอลส์ (Oxisols) ที่รัฐฮาวาย ซึ่งมีฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยา $NaHCO_3$ อยู่เพียง 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ พันธุ์อื่นให้ผลผลิตสูงถึง 40–50 ตันต่อเฮกตาร์ ในดินที่มีฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยา Bray II อยู่เพียง 4.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ในทางตรงข้าม มันสำปะหลังกลับตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจนในดินอื่นที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินใกล้เคียงกัน แต่มีประชากรไมคอร์ไรซา

ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า โดยตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตราสูงถึง 200–400 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ เมื่อปลูกในดินอันดับออกซิซอลส์ในที่ราบทางตะวันออกของประเทศโคลัมเบีย ซึ่งมีฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยา Bray II อยู่เพียง 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1988) ทั้งนี้ Nair *et al.* (1988) พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 45 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุดสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในทวีปเอเชีย ขณะที่ Wargiono *et al.* (2000) แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ช่วยทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับในประเทศไทย Sittibusaya (1996) ได้ทำแปลงทดสอบปุ๋ยสำหรับมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก และแนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ เมื่อปลูกมันสำปะหลังในดินดอนเนื้อหยาบอันดับอัลทิซอลส์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดด้วยน้ำยา Bray II ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังหลังในประเทศไทยมีการใช้มันสำปะหลังที่แตกต่างไปจากในอดีต อาทิ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) และหัวยบง 80 (HB80) ฯลฯ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงดำเนินการเพื่อตรวจสอบการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์หัวยบง 80 ต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ต่อเนื่อง 3 ปี ในอัตราที่แตกต่างกัน โดยดำเนินการในแปลงเกษตรกรที่เป็นชุดดินยโสธร ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบที่เกิดจากหินทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และมีสีแดงที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน (Havlin *et al.*, 2013) ได้สูงในระดับหนึ่ง ผลการศึกษาน่าจะเกิดประโยชน์ต่อการปรับใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อการถ่ายทอดแนวทางการจัดการปุ๋ยให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

แปลงทดลอง

ดำเนินการทดลองต่อเนื่อง 3 ปี ระหว่างเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563 ในแปลงเกษตรกรรม บ้านดงกระสัง ตำบลตะเคียน อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา (15° 6'49.88" N 101°45'40.15" E) ดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง คือ ชุดดิน ยโสธร (Yasothon soil series; Yt) จำแนกในระบบอนุกรมวิธานดินได้เป็น fine-loamy, siliceous,

isohyperthermic, Typic Paleustults ผลการวิเคราะห์สมบัติดินบน (0–20 เซนติเมตร) และดินล่าง (20–60 เซนติเมตร) ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองในปีแรก พบว่า ดินเป็นกรดจัดถึงกรด มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 5.10–5.19 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก และมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินต่ำมาก ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำ ปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และปริมาณเบสรวมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมาก (Table 1)

Table 1 Properties of soil prior to conducting the experiment in the first year

Property	Topsoil (0–20 cm)	Subsoil (20–60 cm)
Texture ¹	Sandy loam	Sandy loam
pH _w ² (1:1 H ₂ O)	5.19	5.10
Organic matter ³ (g/kg)	3.67	3.46
Cation exchange capacity ⁴ (cmol _c /kg)	1.38	1.25
Total N ⁵ (g/kg)	0.14	0.12
Available P ⁶ (mg/kg)	3.23	3.09
Available K ⁷ (mg/kg)	15.23	13.48
Extractable Ca ⁷ (cmol _c /kg)	0.93	1.02
Extractable Mg ⁷ (cmol _c /kg)	0.28	0.32
Extractable K ⁷ (cmol _c /kg)	0.05	0.04
Extractable Na ⁷ (cmol _c /kg)	0.04	0.02
Available Fe ⁸ (mg/kg)	3.59	3.28
Available Mn ⁸ (mg/kg)	35.98	49.17
Available Zn ⁸ (mg/kg)	0.36	0.32
Available Cu ⁸ (mg/kg)	0.06	0.05

¹ Texture measured by pipette method (Kilmer and Alexander, 1949), ² pH_w (1 : 1 H₂O) analyzed by pH meter (National Soil Survey Center, 1996), ³ organic matter estimated by Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934), ⁴ cation exchange capacity measured by saturating the exchange site and displacing by 1 M NH₄OAc at pH 7.0 (Chapman, 1965), ⁵ total nitrogen measured by Kjeldahl method (Jackson, 1965), ⁶ available phosphorus analyzed by Bray II extraction (Bray and Kurtz, 1945), ⁷ available potassium, extractable calcium, magnesium, potassium and extractable sodium extracted with 1 M NH₄OAc at pH 7.0 and analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS; Thomas, 1982), ⁸ available iron, manganese, zinc, and copper extracted with 0.005 M DTPA at pH 7.3 and analyzed by AAS (Lindsay and Norvell, 1978).

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) มี 6 ดำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดดำรับการทดลอง ดังนี้ P_0 = ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ควบคุม) P_1 = ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12.5 กิโลกรัม P_{2O_5} ต่อเฮกตาร์ P_2 = ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25 กิโลกรัม P_{2O_5} ต่อเฮกตาร์ P_3 = ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 37.5 กิโลกรัม P_{2O_5} ต่อเฮกตาร์ P_4 = ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 50 กิโลกรัม P_{2O_5} ต่อเฮกตาร์ และ P_5 = ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 62.5 กิโลกรัม P_{2O_5} ต่อเฮกตาร์ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามดำรับการทดลองดำเนินการเหมือนกันทั้ง 3 ปี ทั้งนี้ อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้อยู่ตามค่าวิเคราะห์ดินที่แนะนำโดย Sittibusay (1996) สำหรับดินดอนเนื้อหยาบอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยอัตราแนะนำเท่ากับ 50 กิโลกรัม P_{2O_5} ต่อเฮกตาร์ สำหรับดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมใส่ในอัตรา 1.2 เท่าของอัตราแนะนำ หรือเท่ากับ 120:120 กิโลกรัม $N:K_2O$ ต่อเฮกตาร์ ในทุกดำรับการทดลอง 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 เหมาะสมกับการปลูกของเกษตรกร ตลอดจนผลผลิตหัวสดเหมาะสมกับการใช้แปรรูปเป็นมันเส้น แป้ง และเอทานอล แต่ไม่เหมาะกับการบริโภคโดยตรงเนื่องจากมีปริมาณไซยาไนด์สูง (Thai Tapioca Development Institute, 2020)

การจัดการแปลงทดลองในแต่ละปีที่ทำการศึกษาภาคสนามดำเนินการเหมือนกัน เริ่มจากการ

เตรียมดินโดยการไถเปิดดินด้วยไถจานผาล 3 ทั้งพื้นที่ไว้ 2 สัปดาห์ แล้วจึงไถพรวนดินด้วยไถจานผาล 7 จากนั้น ยกร่องที่มีระยะระหว่างร่องเท่ากับ 120 เซนติเมตร ปลูกมันสำปะหลังบนสันร่อง โดยมีระยะปลูกระหว่างต้นเท่ากับ 80 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามดำรับการทดลองเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือน โดยชุดหลุมใส่แล้วกลบบนสันร่องตรงกึ่งกลางระหว่างต้นมันสำปะหลังปุ๋ยเคมีที่ใช้ประกอบด้วยปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) การกำจัดวัชพืชดำเนินการโดยใช้แรงงานคนร่วมกับการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชตามความรุนแรงของการระบาด งานทดลองนี้เป็นการศึกษาภายใต้สภาพน้ำฝน (Rainfed condition)

การบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บเกี่ยวผลผลิตและเก็บข้อมูลองค์ประกอบพืชเมื่อมันสำปะหลังอายุ 10 เดือน ได้แก่ ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้งซึ่งคำนวณจากน้ำหนักสดคูณด้วยร้อยละการสะสมแป้ง ร้อยละการสะสมแป้งและชีวมวลส่วนเนื้อดินซึ่งเป็นน้ำหนักสดรวมของส่วนเนื้อดินที่ประกอบด้วยหัว เหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบ เก็บตัวอย่างพืชแบบแยกส่วนประกอบด้วยหัว เหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช ประกอบด้วย ไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl (Jackson, 1965) ฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธี Vanado-molybdeyellow (Westerman *et al.*, 1990) และวัดปริมาณโดยเครื่อง spectrophotometry (Murphy and Riley, 1962) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดโดยการย่อยตัวอย่างในกรดรวม ($HNO_3-Se-HClO_4$) แล้ววัดปริมาณโดยใช้เครื่อง atomic adsorption spectrophotometry (Bardsley and Lancaster, 1965; Westerman, 1990) เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงทั้งหมดโดยการย่อยด้วยกรดรวม (HNO_3-HClO_4) แล้ววัดปริมาณโดยใช้เครื่อง atomic adsorption spectrophotometry (Johnson and

Ulrich, 1959; Westerman, 1990) จากนั้น นำความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชไปใช้ในการคำนวณปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยคำนวณจากความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชกับน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังข้างต้น ซึ่งคิดปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ ต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ นอกจากนี้ ยังได้เก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงย่อยตามดำรับการทดลองที่ 2 ที่ระดับความลึก 0–30 และ 30–45 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บ 3 บริเวณ ในแต่ละแปลงย่อย ก่อนนำมาคลุกเคล้ากันสำหรับใช้เป็นตัวแทนของดินในแต่ละแปลงย่อย เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพีเอชด้วยเครื่อง pH meter โดยใช้สัดส่วนระหว่างดินกับน้ำเท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996) ปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934) ไนโตรเจนรวมโดยวิธี Kjeldahl (Jackson, 1965) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยใช้น้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์โดยการสกัดด้วย 1 M NH_4OAc at pH 7.0 ก่อนวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometry (Thomas, 1982) เพื่อศึกษาผลสะสมของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ต่อเนื่อง 3 ปี ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินดังกล่าว นำข้อมูลผลผลิตจากแปลงทดลองภาคสนาม ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินที่ได้รับผลจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่อง 3 ปี มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม SPSS และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของดำรับการทดลองแบบเป็นกลุ่มด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและชีวมวลส่วนเหนือดินของมันสำปะหลัง

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ส่งผลทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังแตกต่างกันในฤดูปลูกที่ 1

และ 3 ($P < 0.05$) ส่วนในฤดูปลูกที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลอง โดยในฤดูปลูกที่ 1 มันสำปะหลังตอบสนองด้านผลผลิตหัวมันสำปะหลังสถิติที่สุดต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 50 และ 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ โดยให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 10.07 และ 11.34 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ($P < 0.05$) ขณะที่ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 12.5 และ 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเท่ากัน คือ 5.03 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งปริมาณดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติกับผลผลิตในดำรับควบคุมที่ไม่มีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส ซึ่งให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเฉลี่ย 3.28 ตันต่อเฮกตาร์ (Figure 1A) ส่วนในฤดูปลูกที่ 2 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลอง โดยมีปริมาณอยู่ในพิสัย 8.23–9.69 ตันต่อเฮกตาร์ สำหรับในฤดูปลูกที่ 3 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดให้ผลค่อนข้างคล้ายคลึงกับในฤดูปลูกแรก โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 23.38 ตันต่อเฮกตาร์ ($P < 0.05$) แต่ผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยนี้ตามอัตราแนะนำ (50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์) ที่ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเฉลี่ย 22.57 ตันต่อเฮกตาร์ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 12.5, 25 และ 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ซึ่งให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดอยู่ในพิสัย 18.81–20.49 ตันต่อเฮกตาร์ ไม่เพียงพอที่จะทำให้ผลผลิตที่ได้มีค่าสูงกว่าการปลูกมันสำปะหลังในดินนี้โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งให้ผลผลิตส่วนนี้เท่ากับ 18.32 ตันต่อเฮกตาร์ สำหรับในฤดูปลูกที่ 2 ผลผลิตลดลงต่ำกว่าฤดูปลูกที่ 1 อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนต่อปีที่ลดลง โดยในฤดูปลูกที่ 2 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 793.3 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนในปีแรกมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,307.5 มิลลิเมตรต่อปี และในฤดูปลูกที่ 3 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 948.2 มิลลิเมตรต่อปี (Thai Meteorological Department, 2019)

ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสดที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติในทั้ง 3 ฤดูปลูก ($P < 0.05$) แต่ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 ค่าที่แตกต่างกันไม่มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยในฤดูปลูกที่ 1 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้มันสำปะหลังมีร้อยละการสะสมแป้งต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 24.48 ($P < 0.05$) ส่วนการใส่ในอัตราที่เหลือให้ค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 26.01–27.40 (Figure 1B) ส่วนในฤดูปลูกที่ 2 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 25.0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ร้อยละการสะสมแป้งสูงที่สุดเท่ากับ

20.02 โดยมีค่าสูงกว่าค่าควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ การใส่ในอัตราที่สูงกว่านี้กลับไม่ทำให้ร้อยละการสะสมแป้งเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด สำหรับฤดูปลูกที่ 3 พบว่า ร้อยละการสะสมแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น โดยการใส่ในอัตรา 37.5, 50 และ 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 25.35–26.01 ($P < 0.05$) ส่วนค่าควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตลอด 3 ปีของการศึกษามีร้อยละการสะสมแป้งต่ำที่สุดเท่ากับ 22.93

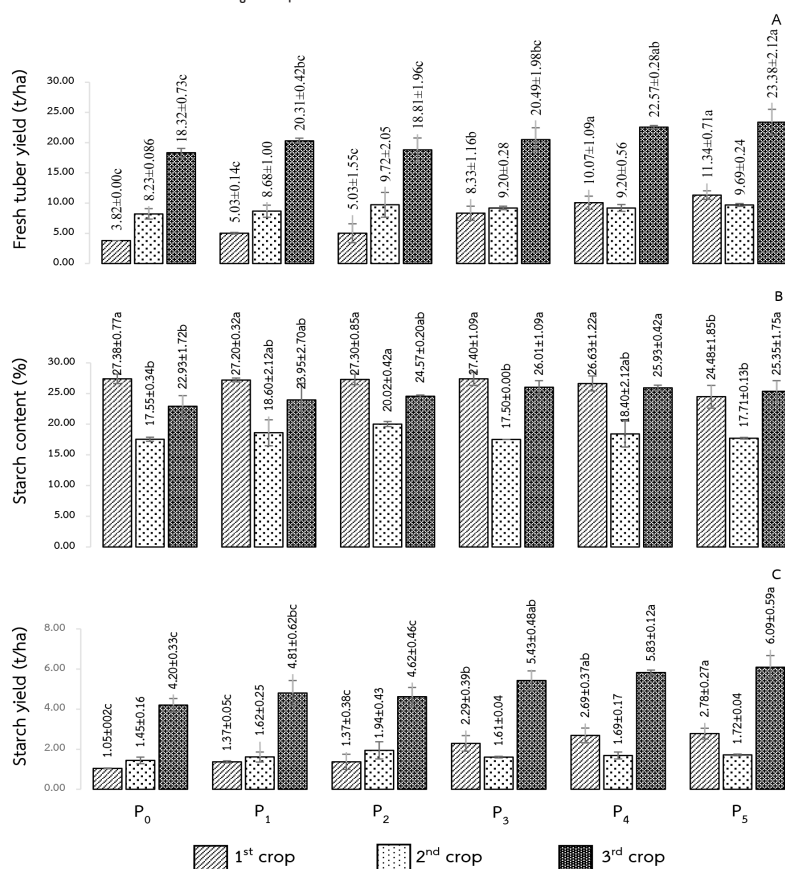


Figure 1 Effect of phosphorus fertilizer on fresh tuber yield (A), starch content (B) and starch yield (C) of cassava. P_0 = 0 kg/ha of P_2O_5 , P_1 = 12.5 kg/ha of P_2O_5 , P_2 = 25 kg/ha of P_2O_5 , P_3 = 37.5 kg/ha of P_2O_5 , P_4 = 50 kg/ha of P_2O_5 , P_5 = 62.5 kg/ha of P_2O_5 . Different lowercase letters on bars grouped within the same cropping season are significantly different at $P < 0.05$.

ปุ๋ยฟอสฟอรัสยังส่งผลชัดเจนต่อผลผลิตแป้ง โดยเฉพาะในฤดูปลูกที่ 1 และ 3 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในฤดูปลูกที่ 1 ในอัตราตั้งแต่ 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ หรือมากกว่าทำให้ได้ผลผลิตแป้งสูงกว่าค่ารับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการใส่ที่อัตรา 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ผลผลิตแป้งสูงสุดเท่ากับ 2.78 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนค่ารับควบคุมมีปริมาณผลผลิตแป้งเฉลี่ย 1.05 ตันต่อเฮกตาร์ (Figure 1C) ส่วนฤดูปลูกที่ 2 ค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสยังคงมีผลผลิตแป้งต่ำที่สุดเท่ากับ 1.45 ตันต่อเฮกตาร์ แต่แตกต่างจากค่ารับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่มีผลผลิตแป้งอยู่ในพิสัย 1.61–1.94 ตันต่อเฮกตาร์ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องเป็นปีที่ 3 เริ่มส่งผลชัดเจนต่อผลผลิตแป้ง โดยการใส่ในอัตรา 50 และ 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ผลผลิตแป้งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 5.83 และ 6.09 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ($P < 0.05$) การใส่ปุ๋ยนี้ในอัตรา 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ก็ให้ผลใกล้เคียงกัน (5.43 ตันต่อเฮกตาร์) และไม่แตกต่างกันทางสถิติ

กับการใส่ในอัตราที่ให้ค่าสูงสุด อย่างไรก็ตาม ค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตลอดระยะเวลา 3 ปีของการทดลองให้ผลผลิตแป้งต่ำที่สุดเท่ากับ 4.20 ตันต่อเฮกตาร์ แต่ปริมาณดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ที่อัตรา 12.5 และ 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์

ด้านการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของมันสำปะหลัง การทดสอบปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ส่งผลให้มีความแตกต่างของชีวมวลส่วนเหนือดินเฉพาะในฤดูปลูกที่ 1 โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตั้งแต่ 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ขึ้นไป ทำให้ได้น้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินอยู่ในพิสัย 7.94–8.85 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าค่ารับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสได้น้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินเพียง 3.82 ตันต่อเฮกตาร์ สำหรับในฤดูปลูกที่ 2 และ 3 ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณชีวมวลส่วนเหนือดิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่ารับการทดลอง พบน้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินในทุกค่ารับการทดลองมีค่าอยู่ในพิสัย 9.20–11.37 และ 12.11–16.49 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Figure 2)

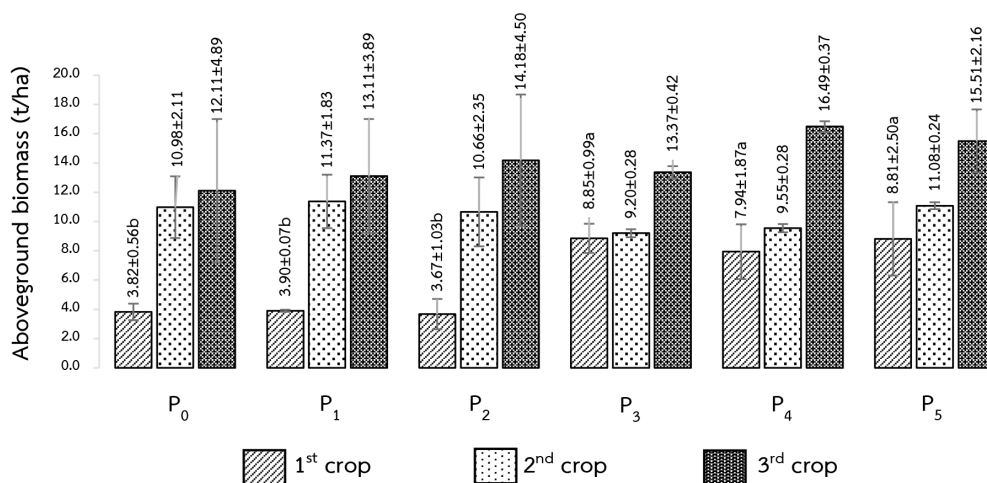


Figure 2 Effect of phosphorus fertilizer on aboveground biomass of cassava. P_0 = 0 kg/ha of P_2O_5 , P_1 = 12.5 kg/ha of P_2O_5 , P_2 = 25 kg/ha of P_2O_5 , P_3 = 37.5 kg/ha of P_2O_5 , P_4 = 50 kg/ha of P_2O_5 , P_5 = 62.5 kg/ha of P_2O_5 . Different lowercase letters on bars grouped within the same cropping season are significantly different at $P < 0.05$.

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชรองจากไนโตรเจน ถึงแม้ว่ามันสำปะหลังจะมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสน้อยกว่าโพแทสเซียมก็ตาม และพืชมีความต้องการในปริมาณที่เฉพาะเจาะจง ธาตุนี้ยังคงมีความสำคัญในด้านการให้พลังงานและสังเคราะห์สารชีวเคมีในพืช (Omondi *et al.*, 2019) ผลการศึกษา พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินยโสธรที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสค่อนข้างชัดเจน โดยการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่แนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินซึ่งเท่ากับ 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ เมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Sittibusaya, 1996) หรือในอัตราที่สูงกว่า (62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์) มันสำปะหลังยังคงให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และผลผลิตแป้งสูงกว่าอัตราอื่นโดยเฉพาะในฤดูปลูกที่ 1 และ 3 ทั้งนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่ำกว่าอัตราแนะนำให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการไม่ใส่ปุ๋ยนี้ ยกเว้นในกรณีของการใส่ที่อัตรา 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ในฤดูปลูกแรก แสดงให้เห็นว่า ชุดดินยโสธรที่มีสีแดงและมีพีเอชดินเป็นกรดจัด ซึ่งจัดได้ว่าเป็นดินที่มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสสูง (Havlin *et al.*, 2013) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องในดินนี้เป็นระยะเวลา 3 ปี ยังไม่ส่งผลสะสมมากพอที่จะทำให้มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยนี้ในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งเป็นเรื่องปกติ เนื่องจากในดินทุ่งหญ้าเขตร้อนที่มีพีเอชต่ำและความอุดมสมบูรณ์ลดลง ฟอสฟอรัสมักจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Sanchez, 2019) ดังนั้น การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะสำหรับการสังเคราะห์แป้งและการเจริญของรากสะสมอาหาร นอกจากนี้ ผลการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในการศึกษานี้มีความใกล้เคียงกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 45 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุดสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในทวีปเอเชีย (Nair *et al.*, 1988) ขณะที่ Wargiono *et al.* (2000) แสดง

ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ช่วยทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ผลสะสมของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลัง

การศึกษาผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ดำเนินการในทั้ง 3 ปี ของการศึกษา โดยแบ่งออกเป็นการดูดใช้ธาตุอาหารเหล่านี้ในส่วนหัวเหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบ โดยภาพรวมในทุกฤดูปลูก มันสำปะหลังดูดใช้ในโตรเจนในส่วนกิ่งก้านใบมากที่สุด ขณะที่ ปริมาณการดูดใช้ในส่วนอื่นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่น้อยกว่าส่วนกิ่งก้านใบค่อนข้างมาก การดูดใช้ฟอสฟอรัสในฤดูปลูกที่ 1 และ 3 มันสำปะหลังดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนหัวและกิ่งก้านใบใกล้เคียงกันและมีความสูงสุด ส่วนในฤดูปลูกที่ 2 มีการดูดใช้ธาตุนี้ในส่วนกิ่งก้านใบมากที่สุด สำหรับโพแทสเซียม มันสำปะหลังดูดใช้สูงสุดในส่วนหัวในฤดูปลูกที่ 1 และ 3 ส่วนในฤดูปลูกที่ 2 มีการดูดใช้สูงสุดในส่วนกิ่งก้านใบ โดยเฉลี่ยของการดูดใช้ทั้งหมด มันสำปะหลังมีการดูดใช้ในโตรเจนมากที่สุด รองลงมาคือ โพแทสเซียม ขณะที่ ฟอสฟอรัสถูกดูดใช้โดยมันสำปะหลังน้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียมมาก

ไนโตรเจน

ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังแสดงไว้ใน Table 2 อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนหัวไม่ค่อยชัดเจนนักในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 ส่วนในฤดูปลูกที่ 3 พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนหัวอยู่ในพิสัย 16.72–19.61 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีค่าการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 13.33 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในเหง้าของมันสำปะหลัง พบว่า

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเกือบทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนนี้สูงกว่าค่ารับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่ผลไม่ค่อยชัดเจนในฤดูปลูกที่ 2 สำหรับฤดูปลูกที่ 3 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกอัตราส่งเสริมให้มีการดูดใช้ในโตรเจนในเหง้า (12.09–16.80 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) สูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยนี้ (10.40 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในส่วนลำต้น การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 50 และ 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้มีการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนนี้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 7.42 และ 7.14 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในฤดูปลูกที่ 1 ($P < 0.01$) ในฤดูปลูกที่ 2 ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ในอัตราต่าง ๆ ไม่ส่งผลชัดเจนต่อการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนลำต้น สำหรับในฤดูปลูกที่ 3 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตั้งแต่ 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ มีแนวโน้มทำให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าค่ารับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในส่วนกิ่งก้านใบ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในฤดูปลูกที่ 1 และ 2 ไม่ส่งผลชัดเจนต่อการดูดใช้ในโตรเจนในส่วนเรือนยอดนี้ของมันสำปะหลังถึงแม้ว่าปริมาณการดูดใช้จะมีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม อย่างไรก็ตาม ในฤดูปลูกที่ 3 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเกือบทุกอัตราส่งผลทำให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ในโตรเจนในกิ่งก้านใบสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) จากการที่ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ และการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ดังนั้น จึงช่วยส่งเสริมให้พืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น ๆ โดยเฉพาะไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นได้ (Havlin *et al.*, 2013)

ฟอสฟอรัส

ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังแสดงไว้ใน Table 3 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลค่อนข้างชัดเจนต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเกือบทุกส่วนของมันสำปะหลังในทุกฤดูปลูก ในส่วนหัว ยกเว้นในฤดูปลูกที่ 2 ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่ารับการทดลอง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกอัตราทำให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนหัวสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในส่วนเหง้า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกอัตรายังคงทำให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหง้าสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในฤดูปลูกแรก ในฤดูปลูกที่ 2 มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ปริมาณการดูดใช้ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ส่วนในฤดูปลูกที่ 3 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตั้งแต่ 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ขึ้นไป ส่งเสริมให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเหง้าสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในส่วนลำต้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลชัดเจนต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในฤดูปลูกแรก โดยการใส่ในทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้อยู่ในพิสัย 0.61–1.30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าค่ารับควบคุมที่มีปริมาณการดูดใช้เท่ากับ 0.36 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) อย่างไรก็ตาม ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสกลับไม่ค่อยชัดเจนนักในฤดูปลูกที่ 2 และ 3 ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่ารับการทดลองก็ตาม ทั้งนี้ การดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนกิ่งก้านใบให้ผลคล้ายคลึงกับการดูดใช้ในส่วนของลำต้น โดยมีเฉพาะฤดูปลูกแรกที่พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราตั้งแต่ 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ขึ้นไป ทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

Table 2 Effect of phosphorus fertilizer on the uptake of nitrogen (kg/ha) in different plant parts of cassava

Treatment	Tuber	Stem base	Stem	Leaf and branch
1st crop				
P ₀	9.46 ± 1.28 ^c	2.97 ± 1.23 ^d	6.03 ± 0.77 ^c	35.87 ± 7.80 ^{abc}
P ₁	14.28 ± 1.54 ^a	4.39 ± 1.38 ^c	4.88 ± 0.00 ^d	29.77 ± 10.11 ^c
P ₂	9.23 ± 1.66 ^c	3.14 ± 0.99 ^d	4.18 ± 0.00 ^d	34.54 ± 7.43 ^{bc}
P ₃	9.44 ± 2.04 ^c	6.29 ± 0.44 ^a	6.29 ± 0.84 ^{bc}	37.23 ± 0.00 ^{ab}
P ₄	9.81 ± 2.25 ^c	6.47 ± 0.71 ^a	7.42 ± 0.91 ^a	41.07 ± 9.92 ^a
P ₅	11.89 ± 1.79 ^b	5.49 ± 0.37 ^b	7.14 ± 0.00 ^{ab}	42.01 ± 4.58 ^a
F-test	**	**	**	**
SD	3.27	1.07	1.43	10.50
CV (%)	30.83	22.20	30.07	27.80
2nd crop				
P ₀	19.79 ± 0.76	10.77 ± 0.25 ^d	17.43 ± 0.63 ^c	132.69 ± 3.89 ^b
P ₁	22.28 ± 1.34	14.94 ± 1.76 ^a	22.19 ± 2.11 ^a	144.93 ± 13.81 ^a
P ₂	20.98 ± 4.92	14.91 ± 0.97 ^a	19.19 ± 2.10 ^b	115.23 ± 13.09 ^c
P ₃	20.70 ± 2.06	13.63 ± 0.92 ^b	13.38 ± 1.20 ^d	98.42 ± 4.48 ^d
P ₄	19.56 ± 2.75	11.93 ± 0.30 ^c	13.18 ± 0.54 ^d	100.77 ± 5.04 ^d
P ₅	20.19 ± 1.76	9.89 ± 0.10 ^d	13.40 ± 1.74 ^d	86.49 ± 13.92 ^e
F-test	ns	**	**	**
SD	4.47	3.28	3.32	12.37
CV (%)	26.75	14.95	15.93	17.50
3rd crop				
P ₀	13.33 ± 2.62 ^d	10.40 ± 2.76 ^d	9.19 ± 0.97 ^c	72.83 ± 0.63 ^d
P ₁	16.72 ± 1.22 ^c	12.09 ± 5.37 ^c	9.36 ± 0.00 ^c	86.95 ± 1.23 ^{bc}
P ₂	18.72 ± 1.81 ^{ab}	14.13 ± 2.99 ^b	12.86 ± 0.67 ^a	75.59 ± 0.53 ^{cd}
P ₃	17.30 ± 0.59 ^{bc}	16.80 ± 2.66 ^a	9.53 ± 0.79 ^{bc}	98.70 ± 0.77 ^b
P ₄	19.61 ± 0.78 ^a	16.27 ± 3.00 ^a	10.49 ± 0.53 ^b	120.25 ± 1.61 ^a
P ₅	19.02 ± 1.47 ^{ab}	15.74 ± 0.00 ^a	10.56 ± 1.58 ^b	90.33 ± 1.44 ^b
F-test	**	**	**	**
SD	2.94	3.56	1.78	2.34
CV (%)	17.35	16.82	17.96	22.75

P₀ = 0 kg/ha of P₂O₅, P₁ = 12.5 kg/ha of P₂O₅, P₂ = 25 kg/ha of P₂O₅, P₃ = 37.5 kg/ha of P₂O₅, P₄ = 50 kg/ha of P₂O₅, P₅ = 62.5 kg/ha of P₂O₅, SD = standard deviation, CV = coefficient of variation. ns = not significant, ** significantly different according to F-test at P < 0.01.

โพแทสเซียม

ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังแสดงไว้ใน Table 4 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่ส่งผลชัดเจนต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในหัวมันสำปะหลังทั้ง 3 ถดปลูก โดยความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลองไม่มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ทดสอบ ในส่วนเหง้า ยกเว้นในถดปลูกที่ 2 ที่อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้โพแทสเซียมไม่มีความชัดเจน ในถดปลูกแรก การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้โพแทสเซียมในเหง้าอยู่ในพิสัย 3.14–6.80 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าดำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีค่าเท่ากับ 2.43 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งในถดปลูกที่ 3 ยังคงให้ผลไปในทิศทางเดียวกับถดปลูกก่อนหน้า ในส่วนลำต้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลชัดเจนต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในถดปลูกแรก โดยการใส่ในอัตราตั้งแต่ 37.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ขึ้นไป ทำให้มีการดูดใช้อยู่ในพิสัย 5.34–5.98 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าดำรับควบคุมที่มีปริมาณการดูดใช้เท่ากับ 3.65 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) อย่างไรก็ตาม ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสกลับไม่ค่อยชัดเจนนักในถดปลูกที่ 2 และ 3 ในส่วนกิ่งก้านใบ พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่ส่งผลชัดเจนต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนนี้ของมันสำปะหลัง ถึงแม้ว่าจะพบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลองก็ตาม แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่แต่อย่างใด

โดยทั่วไป มันสำปะหลังดูดใช้ธาตุอาหารหลักเป็นจำนวนมาก โดยดูดใช้โพแทสเซียมมากที่สุด รองลงมาคือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Imas and John, 2013) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่กลับพบว่า โดยภาพรวมตลอดทั้ง 3 ปี ของการศึกษาในภาคสนาม การดูดใช้ธาตุอาหารหลักรวมทั้งหมดในทุกส่วนของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 พบว่า มีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าโพแทสเซียม ขณะที่ ฟอสฟอรัสถูกดูดใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าธาตุทั้งสองมาก นอกจากนี้ Vanlauwe *et al.* (2008) และ Chaem-Ngern *et al.* (2020) รายงานว่า สัดส่วนการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ที่ 5:1:10 ขณะที่ สัดส่วนเท่ากับ 6:2:9 สามารถพบได้ในมันสำปะหลังที่ปลูกในดิน Typic Paleustults ที่มีเนื้อหยาบ (Prombut *et al.*, 2022) แต่สัดส่วนการดูดใช้ธาตุอาหารหลักที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าอยู่ที่ประมาณ 6:1:5 ทั้งที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในปริมาณ 1.2 เท่าของอัตราแนะนำคือ 120 กิโลกรัม K_2O ต่อเฮกตาร์ จึงมีความเป็นไปได้ที่ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมของมันสำปะหลังในชุดดินยโสธรนี้ยังไม่ดีมากนัก เนื่องจากดินนี้มีเนื้อหยาบที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำมาก ทำให้โพแทสเซียมสูญหายไปกับการชะละลายได้ง่าย โดยเฉพาะการดูดใช้ในส่วนหัว ซึ่งต่ำกว่าการศึกษาในชุดดินเดียวกันที่มีการรายงานมาก่อนหน้า (Klongtham *et al.*, 2020; Senachai *et al.*, 2020) การดูดใช้โพแทสเซียมในสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อยนี้อาจส่งผลต่อการให้ผลผลิตของมันสำปะหลังก็เป็นได้

Table 3 Effect of phosphorus fertilizer on the uptake of phosphorus (kg/ha) in different plant parts of cassava

Treatment	Tuber	Stem base	Stem	Leaf and branch
1st crop				
P ₀	2.18 ± 0.40 ^c	0.31 ± 0.12 ^e	0.36 ± 0.04 ^d	1.79 ± 0.38 ^c
P ₁	3.83 ± 0.37 ^a	0.57 ± 0.09 ^d	0.61 ± 0.00 ^c	1.81 ± 0.52 ^c
P ₂	2.77 ± 0.44 ^b	0.56 ± 0.10 ^d	0.67 ± 0.00 ^c	2.14 ± 0.36 ^{bc}
P ₃	3.47 ± 0.70 ^a	0.79 ± 0.04 ^c	1.05 ± 0.07 ^b	2.41 ± 0.00 ^{ab}
P ₄	3.27 ± 0.54 ^{ab}	1.16 ± 0.10 ^a	1.28 ± 0.11 ^a	2.59 ± 0.61 ^a
P ₅	3.80 ± 0.54 ^a	0.89 ± 0.06 ^b	1.30 ± 0.00 ^a	2.68 ± 0.27 ^a
F-test	**	**	**	**
SD	0.82	0.14	0.28	0.53
CV (%)	29.45	27.74	31.94	26.50
2nd crop				
P ₀	3.34 ± 0.06	2.73 ± 0.08 ^a	3.58 ± 0.08 ^c	8.72 ± 0.34 ^b
P ₁	3.33 ± 0.10	2.87 ± 0.22 ^a	4.99 ± 0.34 ^a	10.44 ± 0.90 ^a
P ₂	3.54 ± 0.55	2.72 ± 0.12 ^a	3.95 ± 0.27 ^b	8.66 ± 1.04 ^b
P ₃	3.15 ± 0.39	2.41 ± 0.18 ^b	2.86 ± 0.23 ^d	7.50 ± 0.31 ^c
P ₄	3.70 ± 0.79	2.33 ± 0.13 ^b	3.24 ± 0.11 ^c	7.54 ± 0.37 ^c
P ₅	3.40 ± 0.35	1.99 ± 0.07 ^c	3.26 ± 0.33 ^c	6.86 ± 1.05 ^c
F-test	ns	**	**	**
SD	0.56	0.15	0.46	0.88
CV (%)	26.54	15.77	15.34	17.86
3rd crop				
P ₀	6.69 ± 0.92 ^c	2.04 ± 0.35 ^c	3.45 ± 0.28 ^{cd}	9.73 ± 0.08 ^c
P ₁	7.86 ± 0.53 ^b	2.28 ± 1.67 ^c	4.09 ± 0.00 ^b	10.64 ± 0.13 ^{bc}
P ₂	9.16 ± 0.79 ^a	2.72 ± 1.52 ^b	5.06 ± 0.26 ^a	9.36 ± 0.07 ^c
P ₃	7.90 ± 0.37 ^b	3.28 ± 0.90 ^a	3.11 ± 0.18 ^d	11.76 ± 0.13 ^b
P ₄	9.51 ± 0.37 ^a	3.17 ± 0.84 ^a	3.97 ± 0.20 ^b	13.83 ± 0.20 ^a
P ₅	8.69 ± 0.66 ^{ab}	2.73 ± 0.00 ^b	3.75 ± 0.77 ^{bc}	9.86 ± 0.16 ^c
F-test	**	**	**	**
SD	1.02	1.81	0.94	0.36
CV (%)	17.52	17.65	20.31	23.08

P₀ = 0 kg/ha of P₂O₅, P₁ = 12.5 kg/ha of P₂O₅, P₂ = 25 kg/ha of P₂O₅, P₃ = 37.5 kg/ha of P₂O₅, P₄ = 50 kg/ha of P₂O₅, P₅ = 62.5 kg/ha of P₂O₅, SD = standard deviation, CV = coefficient of variation. ns = not significant, ** significantly different according to F-test at P < 0.01.

Table 4 Effect of phosphorus fertilizer on the uptake of potassium (kg/ha) in different plant parts of cassava

Treatment	Tuber	Stem base	Stem	Leaf and branch
1st crop				
P ₀	20.89 ± 3.81 ^d	2.43 ± 0.91 ^e	3.65 ± 0.56 ^b	8.95 ± 2.19 ^{bc}
P ₁	36.18 ± 3.69 ^a	4.42 ± 0.95 ^c	4.29 ± 0.00 ^b	8.12 ± 2.62 ^c
P ₂	23.46 ± 3.86 ^{cd}	3.14 ± 0.63 ^d	2.83 ± 0.00 ^c	8.24 ± 1.43 ^c
P ₃	26.58 ± 6.28 ^{bc}	5.34 ± 0.30 ^b	5.34 ± 0.57 ^a	9.66 ± 0.00 ^{abc}
P ₄	24.64 ± 4.42 ^{bcd}	6.80 ± 0.89 ^a	5.98 ± 0.94 ^a	10.22 ± 2.90 ^{ab}
P ₅	29.46 ± 4.24 ^b	5.18 ± 0.37 ^b	5.28 ± 0.00 ^a	10.69 ± 1.16 ^a
F-test	**	**	**	**
SD	8.48	1.21	1.52	3.06
CV (%)	30.12	23.39	29.38	27.34
2nd crop				
P ₀	26.22 ± 0.71	10.14 ± 0.24 ^b	17.04 ± 0.33 ^b	77.03 ± 2.69 ^b
P ₁	26.09 ± 1.15	11.31 ± 0.79 ^a	18.73 ± 1.41 ^a	86.63 ± 9.63 ^a
P ₂	24.43 ± 6.73	9.19 ± 0.40 ^c	16.73 ± 1.35 ^b	61.63 ± 7.17 ^c
P ₃	25.64 ± 3.84	8.80 ± 0.55 ^c	11.75 ± 1.25 ^c	61.63 ± 2.45 ^c
P ₄	26.38 ± 6.79	9.05 ± 0.62 ^c	13.13 ± 0.56 ^c	58.88 ± 2.72 ^c
P ₅	24.03 ± 2.55	8.33 ± 0.38 ^c	13.02 ± 1.26 ^c	57.87 ± 8.31 ^c
F-test	ns	**	**	**
SD	5.29	1.13	1.81	9.37
CV (%)	26.17	16.03	15.91	18.12
3rd crop				
P ₀	48.62 ± 6.12 ^{bc}	8.15 ± 1.50 ^d	15.08 ± 1.40 ^b	32.34 ± 0.35 ^c
P ₁	45.97 ± 4.56 ^c	9.48 ± 2.65 ^c	17.08 ± 0.00 ^a	37.96 ± 0.67 ^b
P ₂	52.98 ± 7.02 ^b	11.48 ± 2.24 ^b	18.49 ± 2.29 ^a	31.30 ± 0.44 ^c
P ₃	49.44 ± 3.60 ^{bc}	11.98 ± 3.20 ^b	10.70 ± 0.83 ^d	37.37 ± 0.34 ^b
P ₄	59.48 ± 3.12 ^a	13.59 ± 2.95 ^a	12.01 ± 0.58 ^{cd}	45.15 ± 0.71 ^a
P ₅	50.22 ± 5.09 ^{bc}	11.61 ± 0.00 ^b	12.70 ± 1.20 ^c	32.02 ± 0.88 ^c
F-test	**	**	**	**
SD	4.54	3.29	2.87	1.99
CV (%)	16.38	17.24	19.87	22.58

P₀ = 0 kg/ha of P₂O₅, P₁ = 12.5 kg/ha of P₂O₅, P₂ = 25 kg/ha of P₂O₅, P₃ = 37.5 kg/ha of P₂O₅, P₄ = 50 kg/ha of P₂O₅, P₅ = 62.5 kg/ha of P₂O₅, SD = standard deviation, CV = coefficient of variation. ns = not significant, ** significantly different according to F-test at P < 0.01.

ผลสะสมของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินบางประการ

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่อง 3 ปี พบว่า ไม่ส่งผลทำให้ค่าพีเอชของดินบน (0–30 เซนติเมตร) และดินล่าง (30–45 เซนติเมตร) มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลอง (Figure 3A) โดยพีเอชดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 5.12–5.21 ส่วนดินล่างมีค่าอยู่

ในพิสัย 5.08–5.22 เช่นเดียวกัน การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ไม่ส่งผลทำให้ดินทั้ง 2 ระดับความลึกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลอง (Figure 3B) โดยดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในพิสัย 3.48–3.68 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินล่างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในพิสัย 3.01–3.20 กรัมต่อกิโลกรัม

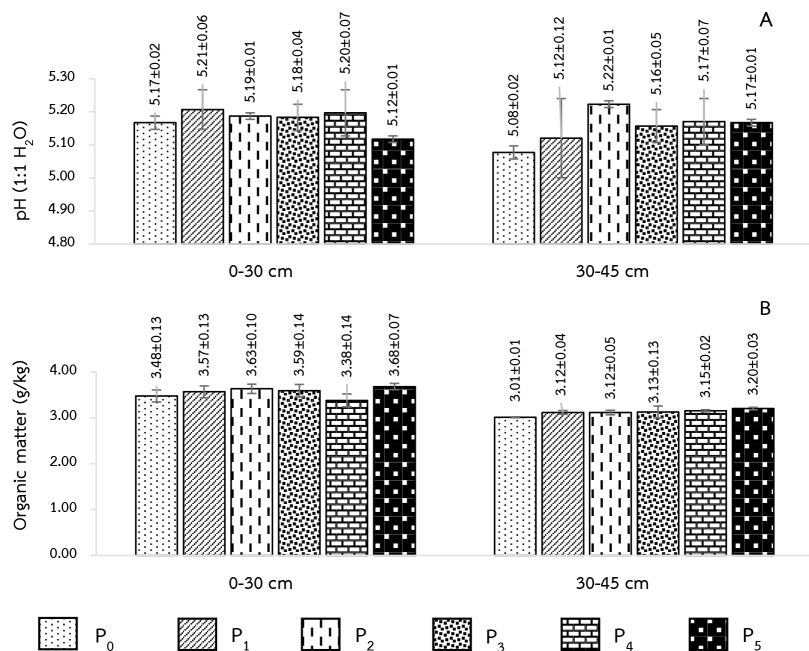


Figure 3 Cumulative effect of phosphorus fertilizer on pH (A) and organic matter (B) in the soil after the 3rd cropping season. P₀ = 0 kg/ha of P₂O₅, P₁ = 12.5 kg/ha of P₂O₅, P₂ = 25 kg/ha of P₂O₅, P₃ = 37.5 kg/ha of P₂O₅, P₄ = 50 kg/ha of P₂O₅, P₅ = 62.5 kg/ha of P₂O₅.

ในกรณีของปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกอัตราส่งผลสะสมทำให้ดินบนมีปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในพิสัย 0.31–0.36 กรัมต่อกิโลกรัม และดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.26–0.35 กรัมต่อกิโลกรัม (Figure 4A) ซึ่งสูงกว่าที่พบในดำรับควบคุม ซึ่งไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตลอด 3 ฤดูปลูก ที่มีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย 0.16 และ 0.13 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 50 และ 62.5 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อเฮกตาร์ ส่งผลสะสมทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบนมีค่าเท่ากับ 8.41 และ 12.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าดำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 3 ปี ที่ทำการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 4.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Figure 4B) สำหรับในดินล่าง พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ทุกอัตราส่งผลสะสมทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (6.10–7.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (4.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่ส่งผลสะสมชัดเจนมากนักต่อปริมาณของธาตุนี้ในดินบนหลังเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในฤดูปลูกที่ 3 แต่การใส่ในอัตรา 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 42.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.05$) และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราดังกล่าวยังทำให้ดินล่างมีปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 11.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.05$; Figure 4C)

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี ไม่ส่งผลทำให้ดินมีพีเอชดินลดลงแตกต่างกับค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยนี้แต่อย่างใด ถึงแม้ว่าปุ๋ยเคมีที่ใช้อยู่ในรูปโปแตสเซียมฟอสเฟตที่มีฤทธิ์ตกค้างเป็นกรดก็ตาม แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยเคมีในปริมาณตามอัตราแนะนำหรือสูงกว่าเล็กน้อยไม่ชักนำให้ดินที่ก่อนเริ่มการทดลองมีพีเอชเป็นกรดจัด (Table 1) เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยพีเอชดินบน (0–30 เซนติเมตร) และดินล่าง (30–45 เซนติเมตร) ในค่ารับควบคุมที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ยังคงเป็นกรดจัดเช่นเดียวกับพีเอชดินบนของค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยนี้ ขณะที่ พีเอชดินล่างของค่ารับควบคุมกลับเปลี่ยนเป็นกรดรุนแรงมาก ในกรณีของไนโตรเจนรวม พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกอัตราส่งผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทั้งในดินบนและดินล่างเมื่อเปรียบเทียบกับค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลจากการที่การใส่ปุ๋ยนี้ส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีการสร้างชีวมวลส่วนเหนือดินสูงกว่าการไม่ใส่ เมื่อมีการไถกลบโดยเฉพาะเหง้าและกิ่งก้านใบลงไปในดินเมื่อมีการย่อยสลายอย่างช้า ๆ จึงทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงกว่า ทั้งนี้ ในกรณีของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์น่าจะเป็นเพราะเหตุผลเดียวกัน แต่ไม่ชัดเจนเท่าไนโตรเจนรวม อย่างไรก็ตาม

ก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นชัดเจนว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องส่งเสริมให้ดินบนและดินล่างมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสซึ่งยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้งในดินบนและดินล่างอยู่ในระดับต่ำมากเช่นเดียวกับปริมาณในดินก่อนการทดลองในปีแรก ทั้งนี้ มีรายงานว่ามันสำปะหลังที่ปลูกในดินอันดัลติซอลส์ (Ultisols) ในประเทศบราซิลและโคลัมเบียแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสอย่างรุนแรงเพราะดินนี้มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสได้มาก และมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดโดยน้ำยา Bray II หรือ Mehlich I อยู่เพียง 1–2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Howeler, 2014) ในฤดูปลูกแรก มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน แต่เมื่อปลูกต่อเนื่องหลายปีในพื้นที่เดิม การตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสจะเริ่มลดน้อยลง เนื่องจากเกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินจากการใส่ปุ๋ยนี้ในปีก่อนหน้านี้ (Kabeerathumma *et al.*, 1988; Nair *et al.*, 1988; Howeler and Cadavid, 1990) โดยการศึกษาในดินที่มีฟอสฟอรัสต่ำที่ Kerala ประเทศอินเดีย แสดงให้เห็นว่า มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 100 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ในปีแรก ๆ และเริ่มตอบสนองต่ออัตราที่ต่ำลงเมื่อเวลาผ่านไป ในเอเชียพบว่า มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสชัดเจนที่สุดในที่ราบ Jars จังหวัด Xieng Khouang ทางตะวันออกเฉียงเหนือของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดโดยน้ำยา Bray II เพียง 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2007) ซึ่งการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับระดับของฟอสฟอรัสในดิน จำนวนประชากรไม่คอร์โรซา และพันธุ์มันสำปะหลัง (Howeler, 1990) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้งในดินบนและดินล่างที่เพิ่มสูงขึ้นในค่ารับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แนะนำ

ตามคำวิเคราะห์ดินโดย Sittibusaya (1996) ที่แนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียง 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ หากดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี มีแนวโน้มที่สามารถลดปุ๋ยฟอสฟอรัสลงได้เมื่อมีการปลูกมันสำปะหลังต่อเนื่องในปีที่ 4 ซึ่งหากมันสำปะหลังตอบสนองเชิงบวกกับอัตราที่ลดลง จะเป็นการลดต้นทุนด้านปุ๋ยเคมีลงได้ในระดับหนึ่ง

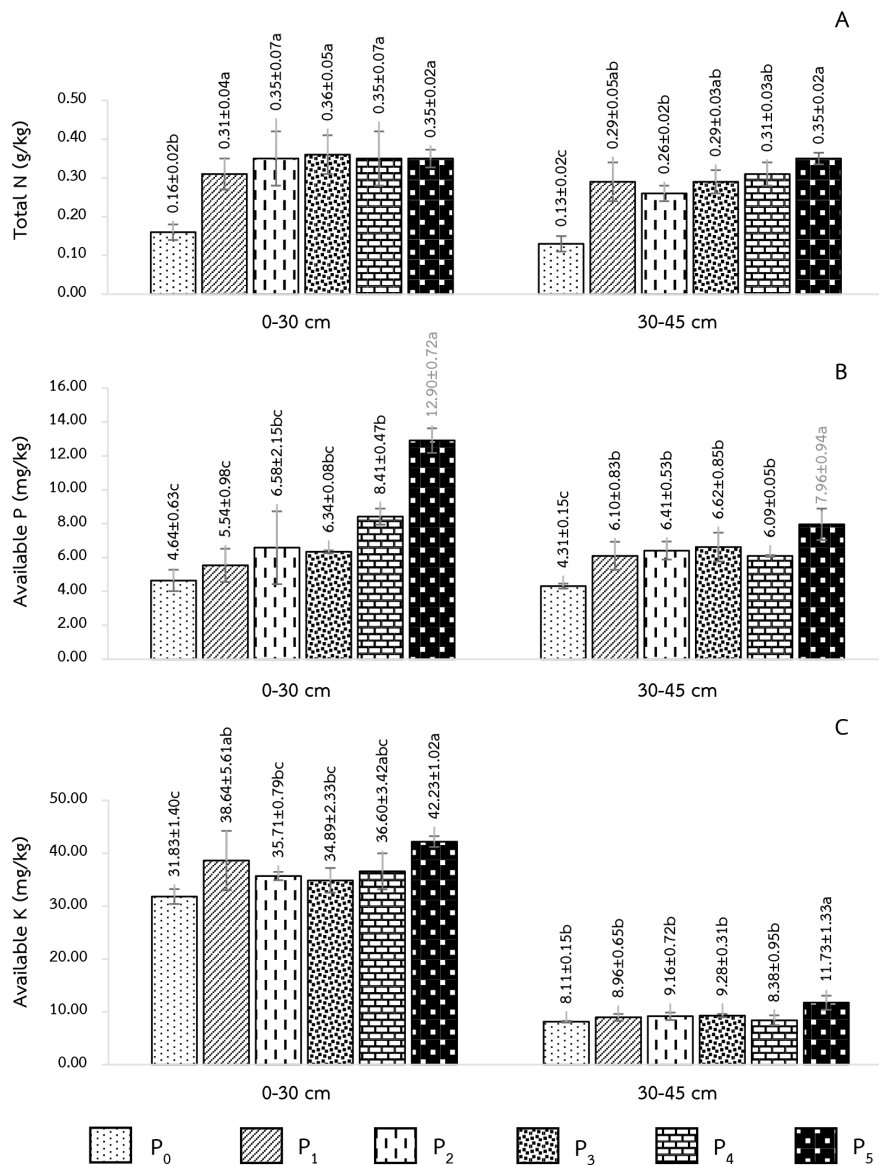


Figure 4 Cumulative effect of phosphorus fertilizer on total nitrogen, available phosphorus, and available potassium in the soil after the 3rd cropping season. P₀ = 0 kg/ha of P₂O₅, P₁ = 12.5 kg/ha of P₂O₅, P₂ = 25 kg/ha of P₂O₅, P₃ = 37.5 kg/ha of P₂O₅, P₄ = 50 kg/ha of P₂O₅, P₅ = 62.5 kg/ha of P₂O₅. Different lowercase letters on bars grouped within the same soil depth are significantly different at P < 0.05.

สรุป

มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 เมื่อปลูกในชุดดินยโสธรที่มีสีแดงและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยภาพรวมของการศึกษา 3 ปียังคงตอบสนองด้านผลผลิตดีที่สุดต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินคือ 50 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ หรือในอัตราที่สูงกว่าเล็กน้อย (62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์) แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องยังไม่ส่งผลสะสมต่อผลผลิตมันสำปะหลัง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลังส่งผลทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังและผลผลิตแป้งลดลงอย่างชัดเจน การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเกือบทุกอัตรายังส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัว เหง้า ลำต้น และกิ่งก้านใบเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในฤดูปลูกที่ 1 และ 3 นอกจากนี้ ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ที่ใส่ต่อเนื่องโดยเฉพาะที่อัตรา 62.5 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ ยังส่งผลสะสมทำให้ดินบนและดินล่างมีปริมาณไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสและ

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่ทำให้ค่าพีเอชดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี ส่งผลทำให้ดินมีการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้เหลือเพียง 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกต่อเนื่องในปีที่ 4 ผลการศึกษาเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังในดินนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาวะปัจจุบันที่ปุ๋ยเคมีมีราคาสูงมาก

กิตติกรรมประกาศ

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

เอกสารอ้างอิง

- 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: 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.
- 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.
- 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.

- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1988. Cassava Program. Annual Report for 1985. Working Document No. 38. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 2007. Annual Report for 2007. 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.
- Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson and J.D. Beaton. 2013. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management.* 8th edition. Pearson Education, Inc., New Jersey, USA.
- Howeler, R.H. 1981. Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava. Centro Internacional De Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Howeler, R.H. 1990. Phosphorus requirements and management 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. Los Baños, Philippines.
- Howeler, R.H. 2012. Short-and long-term N, P and K requirements of cassava, pp. 429–454. *In* R.H. Howeler, ed. *The Cassava Handbook: A Reference Manual Based on the Asian Regional Cassava Training Course Held in Thailand.* Centro Internacional de Agricultura Tropical, Bangkok, Thailand.
- 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.
- 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. *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. 1988. 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)
- 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)
- 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.
- Nair, P.G., B. Mohankumar, M. Prabhakar and A. 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.
- Office of Agricultural Economics. 2020. Agricultural Statistics of Thailand 2019. Division of Information Management under Center for Agricultural Information, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok, Thailand.
- Office of Agricultural Economics. 2022. Cassava production data in 2021. Available Sources: http://thaisdi.gistda.or.th/dataset/oe13_04, June 30, 2022. (in Thai)
- 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.
- Prombut, N., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and M. Phun-lam. 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.
- Ratanawaraha, C., N. Senanarong and P. Suriyapan. 2000. Status of cassava in Thailand: implications for future research and development, pp. 63–102. *In* Proc. the Validation Forum on the Global Cassava Development Strategy, 26–28 April 2000. Rome, Italy.

- Sanchez, P.A. 2019. Properties and Management of Soils in the Tropics. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 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)
- Thai Meteorological Department. 2019. Climate Nakhon Ratchasima in 2019. Thai Meteorological Department, Ministry of Information and Communication Technology, 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/, May 20, 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.
- 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.
- Vanlauwe, B., P. Pypers and N. Sanginga. 2008. The potential of integrated soil fertility management to improve the productivity of cassava-based systems. *In* Proc. the First Scientific Meeting of the Global Cassava Partnership. Cassava: Meeting of the Challenges of the New Millennium, 21–25 July 2008, Ghent, Belgium.
- 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. 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.