

# ผลของปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่ใส่ต่อเนื่องสามปีต่อมันสำปะหลัง ที่ปลูกในชุดดินยโสธร

## Effect of 3-Year NPK Continuous Fertilization on Cassava Grown in Yasothon Soil Series

กาญจนา โสปัญหิ<sup>1</sup> ศุภิมา ธนะจิตต์<sup>1,\*</sup> สมชัย อานุสนธิ์พรเพิ่ม<sup>1</sup> และ เอิบ เขียวรีนรมณ์<sup>1</sup>  
Karnjana Sopanhari<sup>1</sup>, Suphicha Thanachit<sup>1,\*</sup>, Somchai Anusontpornperm<sup>1</sup>  
and Irb Kheoruenromne<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>1</sup> Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 1 มิถุนายน 2565 Received: 1 June 2022

ปรับแก้ไข: 10 กรกฎาคม 2565 Revised: 10 July 2022

รับตีพิมพ์: 16 กรกฎาคม 2565 Accepted: 16 July 2022

\* Corresponding author: agrspc@ku.ac.th

**ABSTRACT:** Appropriate amounts of fertilizers are required for boosting cassava production, therefore a response of cassava, Huay Bong 80 variety to chemical fertilizers in Yasothon soil series was conducted for 3-consecutive crops. A randomized complete block design was employed, having eight treatments as follows: fertilizing with 20:10:20 kg N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O/rai (NPK), NPK without nitrogen (–N), phosphorus (–P) nor potassium (–K), NPK with half of N (–½N), P (–½P), and K (–½K), and no NPK (–NPK). Results showed that –NPK treatment significantly gave the lowest amount of all yield components in all cropping seasons ( $P < 0.01$ ). Fresh tuber yield (3.32–6.17 t/rai) and starch yield (0.89–1.71 t/rai) were the highest amounts with no statistical difference among treatments received chemical fertilizers, except –K treatment that gave unidentical quantities to that of –NPK in the 1<sup>st</sup> cropping season. In the 2<sup>nd</sup> cropping season, –N treatment similarly gave low yields to –K and –NPK while NPK, –½N and –½P treatments produced the highest fresh tuber yield and starch yield ( $P < 0.01$ ) in the ranges of 3.66–4.39 and 1.09–1.25 t/rai, respectively. Fertilization in NPK treatment induced the highest major nutrient uptake in most plant parts of cassava. Potassium was lost through crop removal in the greatest amount. After harvesting the 3<sup>rd</sup> crop, the highest soil total N and available K were observed from the plots fertilized with the highest rate of respective N and K fertilizers ( $P < 0.01$ ), nonetheless, available P showed no relation to P fertilizer applied. The results indicated full rate of NPK or half rate of either primary plant nutrients is the suitable rate for cassava grown in this soil.

**Keywords:** Loamy sand soil, chemical fertilizer, low fertile soil

## บทคัดย่อ

การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมจึงได้ทำการศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ต่อปุ๋ยเคมีในชุดดินยโสธรต่อเนื่อง 3 ฤดูกาลเพาะปลูก ใช้แผนทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์จำนวน 8 ดำรับการทดลอง คือ ใส่ปุ๋ย 20:10:20 กิโลกรัม  $N:P_2O_5:K_2O$  ต่อไร่ (NPK) ใส่ปุ๋ยดำรับ NPK แต่ไม่ใส่ไนโตรเจน (-N) ฟอสฟอรัส (-P) และโพแทสเซียม (-K) ใส่ปุ๋ยในดำรับ NPK แต่ลดปุ๋ยไนโตรเจน (-1/2N) ฟอสฟอรัส (-1/2P) และโพแทสเซียม (-1/2K) ลงครึ่งหนึ่ง และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (-NPK) ผลการศึกษา พบว่า ดำรับ -NPK ให้ผลผลิตมันสำปะหลังทุกส่วนต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกฤดูปลูก ( $P < 0.01$ ) ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (3.32–6.17 ตันต่อไร่) และผลผลิตแป้ง (0.89–1.71 ตันต่อไร่) มีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อมีการใส่ปุ๋ย ยกเว้นดำรับ -K ที่ให้ผลไม่แตกต่างจากดำรับ -NPK ในฤดูปลูกที่ 1 ในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ดำรับ -N ให้ผลผลิตต่ำไม่แตกต่างกับดำรับ -K และ -NPK ส่วนดำรับ NPK, -1/2N และ -1/2P ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งสูงสุด ( $P < 0.01$ ) ในพิสัย 3.66–4.39 และ 1.09–1.25 ตันต่อไร่ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีดำรับ NPK ทำให้มีการดูดใช้ธาตุอาหารหลักในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังส่วนใหญ่สูงสุด โพแทสเซียมสูญเสียไปกับผลผลิตมากที่สุด ดินหลังเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในฤดูปลูกที่ 3 มีไนโตรเจนรวมและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารนั้นในอัตราสูงสุด ( $P < 0.01$ ) แต่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่มีความสัมพันธ์กับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยดำรับ NPK หรือการลดปริมาณธาตุอาหารหลักใดลงครึ่งหนึ่งต่างเป็นอัตราที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในดินนี้

**คำสำคัญ:** ดินทรายปนดินร่วน, ปุ๋ยเคมี, ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

## บทนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz; Cassava) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยพื้นที่เพาะปลูกแหล่งใหญ่อยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและปลูกอยู่บนดินในอันดับ Ultisols ซึ่งดินเหล่านี้มีลักษณะเด่น คือ เป็นดินลึก พัฒนาการสูง และชะละลายรุนแรง จึงมีฤทธิ์เป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ (Duangpatra, 1998; Anusontpornperm *et al.*, 2009) มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปรับตัวได้ดีในดินแทบทุกชนิดรวมถึงดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ถ้ามีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินในระดับที่เพียงพอจะส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลัง โดยมันสำปะหลังมีความต้องการไนโตรเจนและโพแทสเซียมใกล้เคียงกัน (Howeler, 1996; 2002) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและคลอโรฟิลล์ซึ่งใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Mengel and Kirkby, 1987) หากได้รับไม่เพียงพอ มันสำปะหลังจะชะงักการเจริญเติบโตและแคระแกร็น (Howeler, 2002; 2012) ส่วนโพแทสเซียมมีบทบาทในการสร้างและเคลื่อนย้ายแป้งไปสะสมในหัวมันสำปะหลังรวมถึงปริมาณไฮโดรไลยานิค (Obigbesan, 1977) จึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพของมันสำปะหลังอย่างชัดเจนหากได้รับไม่เพียงพอ (Howeler, 2002; 2017) ส่วนฟอสฟอรัสนั้นมีผลต่อการพัฒนาระบบราก (Mengel and Kirkby, 1987) โดยเฉพาะในช่วงแรกที่ช่วยให้มันสำปะหลังตั้งตัวได้ หากได้รับไม่เพียงพอจะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง (Howeler and Cadavid, 1990; Howeler, 2002) ดังนั้น การใส่ปุ๋ยเคมีจึงสามารถเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้ แต่อัตราที่มันสำปะหลังตอบสนองเชิงบวกจะแตกต่างกัน โดยการศึกษาของ Wargiono *et al.* (1998) ในประเทศอินโดนีเซีย พบว่าการใส่ปุ๋ย 32:8:16 กิโลกรัม  $N:P_2O_5:K_2O$  ต่อไร่ จะให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสูงที่สุด ส่วน Uwah *et al.* (2013)

พบว่า มันสำปะหลังตอบสนองดีที่สุดเมื่อใส่ไนโตรเจนในอัตรา 12.8–19.2 กิโลกรัมต่อไร่ หรือโพแทสเซียมในอัตรา 12.8 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ แต่ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างธาตุทั้งสองต่อมันสำปะหลัง

ในประเทศไทย พบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตรา 8–16 กิโลกรัม N ต่อไร่ 4–8 กิโลกรัม  $P_2O_5$  ต่อไร่ และ 8–16 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ เป็นอัตราที่แนะนำอย่างกว้าง ๆ สำหรับมันสำปะหลัง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินตามลำดับ (Sittibusaya, 1996) ขณะที่ การศึกษาของ Puengkasem (2017) พบว่า มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างชัดเจนเมื่อปลูกในชุดดินสตึกที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 47.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยจะให้ผลผลิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใส่ปุ๋ยอัตรา 20 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ ซึ่งเทียบเท่ากับ 1.25 เท่าของอัตราแนะนำ อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเดิมอย่างต่อเนื่องอาจมีผลตกค้างในดิน โดยเฉพาะฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นธาตุที่ถูกตรึงในดินได้ง่าย จึงอาจส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้ปุ๋ยในฤดูกาลถัดไปของมันเป็นสำปะหลัง ดังนั้น การปรับอัตราของธาตุปุ๋ยให้เหมาะสมกับพืชจึงมีความจำเป็น งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลระยะยาวของอัตราไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันเป็นสำปะหลังที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงตรวจสอบผลสะสมของปุ๋ยเคมีที่มีต่อสมบัติดินและธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ในดิน เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีความชัดเจนถึงอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมที่สามารถใช้เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมันเป็นสำปะหลังในภูมิภาคนี้ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### พื้นที่ทดลอง

พื้นที่ทดลองเป็นแปลงเกษตรกรที่บ้านซับพลูน้อย ตำบลห้วยยาง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา

สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชันร้อยละ 2 โดยดินในพื้นที่ทดลอง คือ ชุดดินยโสธร จำแนกอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Paleusult ซึ่งเป็นดินลึกที่มีพัฒนาการสูง มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินทรายและหินกรวดมน และใช้ปลูกมันเป็นสำปะหลังอย่างแพร่หลายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Duangpatra, 1998) จากการศึกษาสมบัติของดินบนก่อนดำเนินการทดลอง พบว่า ดินมีเนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน เป็นกรดจัดมาก (พีเอช 4.78) และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 2.75 กรัมต่อกิโลกรัม ไนโตรเจนรวม 0.07 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ 16.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 1.30 เซนติโมลต่อกิโลกรัม

### การวางแผนการทดลองและการปลูกมันเป็นสำปะหลัง

จัดทำแปลงทดลองมันสำปะหลังซึ่งดำเนินการต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก (พฤษภาคม พ.ศ. 2561–เมษายน พ.ศ. 2564) ในแต่ละปีดำเนินการวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ โดยอัตราปุ๋ยเป็นตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งอ้างอิงจากอัตราแนะนำ (16:8:16 กิโลกรัม  $N:P_2O_5:K_2O$  ต่อไร่) สำหรับมันเป็นสำปะหลังที่ปลูกในดินเนื้อหยาบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ (Sittibusaya, 1996) รวม 8 ดำรับการทดลอง ได้แก่ ดำรับการทดลองที่ 1 ใส่ปุ๋ย 1.25 เท่าของอัตราแนะนำเท่ากับ 20:10:20 กิโลกรัม  $N:P_2O_5:K_2O$  ต่อไร่ (NPK) ดำรับการทดลองที่ 2–4 ใส่ปุ๋ยในอัตราเดียวกับดำรับ NPK แต่ไม่ใส่ไนโตรเจน (–N) ฟอสฟอรัส (–P) และโพแทสเซียม (–K) ตามลำดับ ดำรับการทดลองที่ 5–7 ใส่ปุ๋ยในอัตราเดียวกับดำรับ NPK แต่ลดปุ๋ยไนโตรเจน (–½N) ฟอสฟอรัส (–½P) และโพแทสเซียม (–½K) ลงครึ่งหนึ่ง ตามลำดับ และดำรับการทดลองที่ 8 ไม่ใส่ปุ๋ย (–NPK; ควบคุม)

แปลงทดลองมีขนาด 9 × 5 เมตร การเตรียมดินเริ่มต้นในเดือนพฤษภาคมในแต่ละปี โดยไถพรวนดิน

ด้วยไถงานผาล 3 ลึก 30 เซนติเมตร ตากดิน 2 สัปดาห์ แล้วไถพรวนดินด้วยไถงานผาล 7 และยกร่องขวาง ความลาดเทที่มีระยะห่างเท่ากับ 120 เซนติเมตร ปลูกลำไยพันธุ์ห้วยบง 80 บนสันร่อง โดยใช้ระยะปลูกเท่ากับ 80 เซนติเมตร ในทุกปีของการทดลอง ใส่ปุ๋ยให้แก้มันสำปะหลังครั้งเดียวตามตารางการทดลองที่อายุ 2 เดือน ในขณะที่ดินมีความชื้นพอเหมาะ โดยชุดหลุมใส่ทั้งสองข้างทรงพุ่มพร้อมกลบปุ๋ย

### การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในแต่ละปีที่อายุ 10 เดือน ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 13.44 ตารางเมตร และบันทึกข้อมูลผลผลิตพืช ประกอบด้วย น้ำหนักสดรวมส่วนเหนือดิน (ลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบ) น้ำหนักหัวมันสำปะหลังสด ร้อยละการสะสมแป้งโดยใช้เครื่อง Riemann scale และผลผลิตแป้ง ซึ่งคำนวณจากน้ำหนักสดคูณด้วยร้อยละการสะสมแป้ง

ตัวอย่างพืชที่อายุเก็บเกี่ยวในปีที่ 2 และ 3 แบบแยกส่วน ประกอบด้วย เหง้า ลำต้น กิ่งก้าน และใบ และหัวมันสำปะหลังซึ่งถูกนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารหลัก ได้แก่ การย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรด  $H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se$  เพื่อวัดปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965) การย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรด  $HNO_3 - H_2SO_4 - HClO_4$  (Johnson and Ulrich, 1959) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer และโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometry จากนั้น นำความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ได้และน้ำหนักแห้งของชิ้นส่วนในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังมาคำนวณเป็นปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักต่อพื้นที่ การสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตได้มาจากการคำนวณการดูดใช้ธาตุอาหารโดยหัวและลำต้นของมันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นส่วนที่ถูกนำออกไปจากพื้นที่ปลูก ขณะที่ กิ่งก้านใบและเหง้าของมันสำปะหลังเป็นส่วนที่หลงเหลือไว้ในแปลงปลูกหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้น ปริมาณ

การดูดใช้ธาตุอาหารของทั้งสองส่วนนี้ คือ ปริมาณการคืนธาตุอาหารลงสู่ดิน

เก็บตัวอย่างดินบนหรือชั้นดินไถพรวนซึ่งมีความลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวในปีที่ 3 แบบ composite sample โดยใช้ส่วนเจาะดินสุ่มเก็บตัวอย่างดินจำนวน 3 จุด ในแต่ละแปลงทดลอง นำตัวอย่างดินในแต่ละจุดที่ได้มาผสมคลุกเคล้าแล้วนำมาวิเคราะห์ค่าพีเอชในสัดส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 ด้วยเครื่อง pH meter (National Soil Survey Center, 1996) และปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนรวมด้วยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์โดยวิธี  $1N NH_4OAc$  at pH 7.0 (Thomas, 1982) จากนั้น นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ในแต่ละปีมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range tests ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป

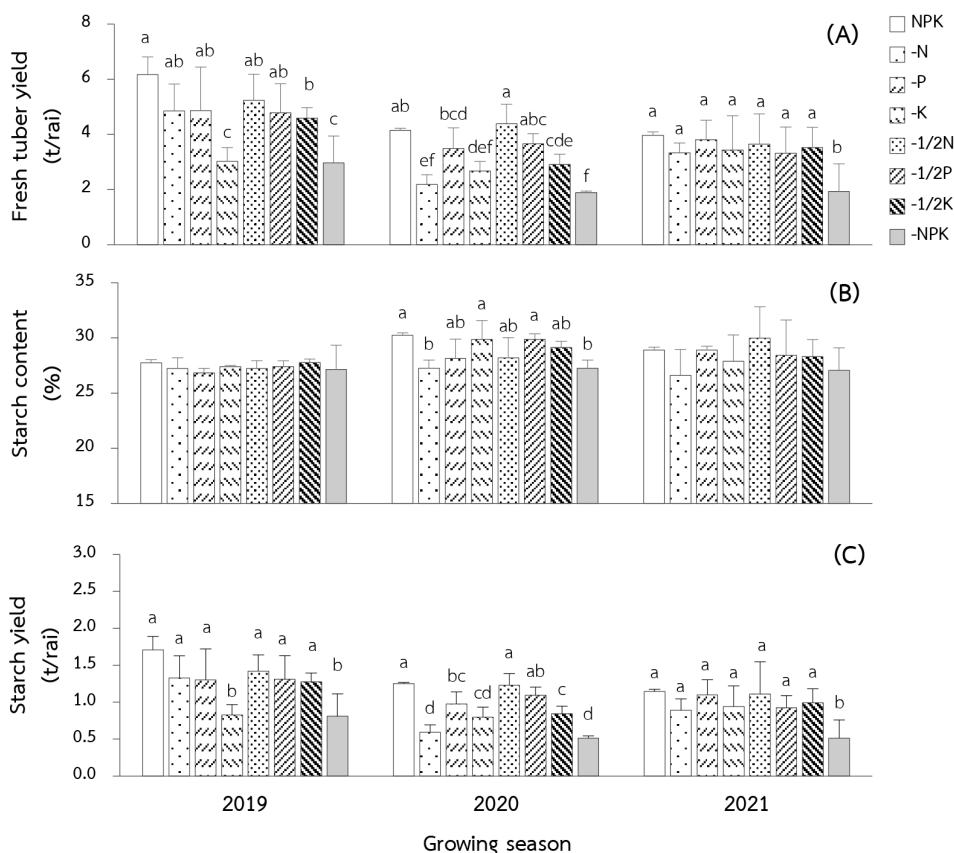
### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### ผลของอัตราปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินยโสธรตอบสนองเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการใส่ปุ๋ยเคมีในทั้งสามปีของการศึกษา (Figures 1–2) ยกเว้นร้อยละการสะสมแป้ง (ร้อยละ 26.6–30.2) (Figure 1B) ถึงแม้ว่า มันสำปะหลังจะเป็นพืชที่ปรับตัวได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ชุดดินยโสธรที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก รวมถึงปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จึงส่งผลให้ธาตุอาหารหลักทั้งสามในดินมีไม่เพียงพอสำหรับมันสำปะหลัง การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีจึงทำให้ได้ผลผลิตต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) โดยในแต่ละปี มีผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเฉลี่ย 2.96, 1.89 และ 1.93 ตันต่อไร่ และผลผลิตแป้งเท่ากับ 0.81, 0.52 และ 0.52

ต้นต่อไร่ ตามลำดับ ดังนั้น ผลผลิตและการเจริญเติบโตของสำปะหลังจึงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมี โดยการใส่ปุ๋ยเคมีในทุกตำรับการทดลองให้ผลผลิตมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอยู่ในพิสัยร้อยละ 55.0–108.5 ( $P < 0.01$ ) และ 61.2–115.5 ( $P < 0.01$ ) ในปีที่ 1 (ปี พ.ศ. 2562) และร้อยละ 71.9–105.1 ( $P < 0.01$ ) และ 72.5–122 ( $P < 0.05$ ) ในปีที่ 3 (ปี พ.ศ. 2564) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ยกเว้นตำรับ -K ที่ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (3.02 ต้นต่อไร่) และผลผลิตแป้ง (0.83 ต้นต่อไร่) ในปีที่ 1 ต่ำและไม่แตกต่างจากการไม่

ใส่ปุ๋ยเคมี ส่วนฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 (ปี พ.ศ. 2563) พบว่า การใส่ปุ๋ย NPK ในอัตรา 20:10:20 กิโลกรัม  $N:P_2O_5:K_2O$  ต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-1/2N$  หรือ  $-1/2P$  ต่างเป็นตำรับที่ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (3.66–4.39 ต้นต่อไร่) และผลผลิตแป้ง (1.09–1.25 ต้นต่อไร่) สูงสุดไม่แตกต่างกัน ( $P < 0.01$ ) ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่ปุ๋ยถึงร้อยละ 93.8–132.4 และ 112.2–143 ตามลำดับ แต่การใส่ปุ๋ยในตำรับ -N ทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งต่ำไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับตำรับ -K ( $P < 0.01$ ; Figures 1A–1B)

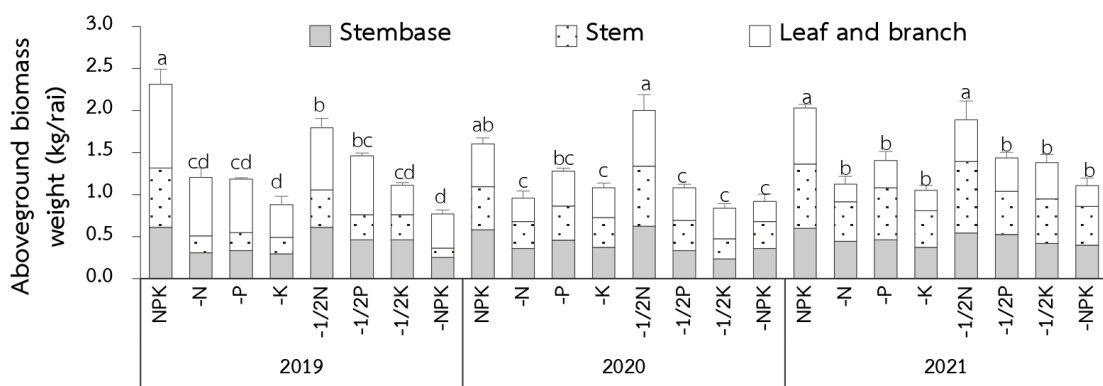


**Figure 1** Effect of chemical fertilizer on yield components: (A) fresh tuber yield, (B) starch content, and (C) starch yield of cassava in 2019 (1<sup>st</sup>), 2020 (2<sup>nd</sup>), and 2021 (3<sup>rd</sup>) growing season. Different lowercase letters on bars grouped within the same growing season are significantly different at  $P < 0.05$ . Error bars indicate standard deviation.

ผลการศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมและไนโตรเจนต่างส่งผลกระทบบเชิงลบต่อผลผลิตมันสำปะหลังมากกว่าฟอสฟอรัส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wargiono *et al.* (1998) และ Cuvaca *et al.* (2017) เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในพืช เช่น การหายใจ การสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์โปรตีนและแป้ง เป็นต้น (Mengel and Kirkby, 1987) จึงส่งผลกระทบบต่อมันสำปะหลังหากได้รับไม่เพียงพอ โดยมันสำปะหลังจะแคระแกร็น และการเจริญของรากลดลงเมื่อเทียบกับการเจริญทางด้านลำต้น (Howeler, 2002) ส่งผลให้ผลผลิตและร้อยละการสะสมแป้งลดลงอย่างชัดเจน (Obigbesan, 1977; Howeler, 2017) ส่วนไนโตรเจนจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต (Havlin *et al.*, 2005) ทำให้มันสำปะหลังตั้งตัวได้เร็ว ส่งผลให้มีการแทงหัวและขยายหัวได้เร็ว ผลผลิตที่ได้จึงสูงขึ้น (Ezui *et al.*, 2016; Phun-iam *et al.*, 2018) ในกรณีของมันสำปะหลังที่ไม่ค่อยตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส อาจเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้น้อยในดินจึงมักตกค้างในดินเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอย่างต่อเนื่อง (Weil and Brady, 2017)

ไมคอร์ไรซาที่รากของมันสำปะหลังจะช่วยละลายฟอสฟอรัสในดินเหล่านี้ให้เป็นประโยชน์ต่อพืช (Howeler, 2002; Nguyen *et al.*, 2002) จึงส่งเสริมการใช้ฟอสฟอรัสของมันสำปะหลัง (Howeler and Cadavid, 1990)

ผลของอัตราปุ๋ยเคมีต่อชีวมวลส่วนเหนือดินให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับผลผลิต โดยในปีที่ 1 การใส่ปุ๋ยในทุ้อตราให้น้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นได้ไม่แตกต่างอย่างชัดเจนกับตำรับควบคุม (1.11–1.20 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับ 0.77 ตันต่อไร่) ยกเว้นการใส่ปุ๋ยในตำรับ NPK ที่ให้ค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 2.31 ตันต่อไร่ ( $P < 0.01$ ) รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-1/2N$  หรือ  $-1/2P$  (1.46–1.80 ตันต่อไร่) ขณะที่ ในฤดูกาลเพาะปลูกที่เหลือนีมีเพียงการใส่ปุ๋ยในตำรับ NPK ที่ให้น้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินมีค่าสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย (1.60 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับ 0.92 ตันต่อไร่ ในปีที่ 2 และ 2.03 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับ 1.10 ตันต่อไร่ ในปีที่ 3) ซึ่งยังเป็นตำรับที่ให้ค่าสูงไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-1/2N$  ( $P < 0.01$ ; Figure 2)



**Figure 2** Effect of chemical fertilizer on aboveground biomass of cassava in 2019 (1<sup>st</sup>), 2020 (2<sup>nd</sup>), and 2021 (3<sup>rd</sup>) growing season. Different lowercase letters on bars grouped within same growing season are significantly different at  $P < 0.05$ . Error bars indicate standard deviation for total aboveground biomass.

## การดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลัง

ผลของปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง ได้แก่ หัวมันสำปะหลัง และส่วนเหนือดิน ซึ่งประกอบด้วย ลำต้น เหง้า และกิ่งก้านและใบแสดงใน Table 1 พบว่า คำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยทำให้มันสำปะหลังดูดใช้ธาตุอาหารหลักต่ำที่สุดในทุกส่วน การใส่ปุ๋ย NPK ในอัตรา 20:10:20 กิโลกรัม  $N:P_2O_5:K_2O$  ต่อไร่ ส่งผลให้มันสำปะหลังดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-\frac{1}{2}N$  ( $P < 0.01$ ) ยกเว้นการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยกิ่งก้านใบในปีที่ 2 และการดูดใช้โพแทสเซียมโดยหัวมันสำปะหลังในปีที่ 3 นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลังระหว่างการใส่ปุ๋ยที่มีและไม่มีไนโตรเจน ปุ๋ยที่มีและไม่มีฟอสฟอรัส และปุ๋ยที่มีและไม่มีโพแทสเซียม พบว่า ส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังส่วนใหญ่ดูดใช้ธาตุอาหารที่ไม่ได้ใส่นั้นต่ำกว่าการใส่ธาตุอาหารนั้นในอัตราลดลงมาครึ่งหนึ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ทำให้มันสำปะหลังดูดใช้ธาตุอาหารหลักต่ำไม่แตกต่างจากคำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยแต่อย่างใด

ในภาพรวมพบว่ามันสำปะหลังดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยมันสำปะหลังดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมรวมทุกส่วนเฉลี่ยในทั้งสองปีเท่ากับ 14.87, 3.12 และ 14.27 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อใส่ปุ๋ยครบสูตรในคำรับ NPK ขณะที่ การดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังลดลงอย่างชัดเจนเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีที่ให้ค่าเพียง 5.78, 1.09 และ 6.23 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งการดูดใช้ในโตรเจน (6.15 กิโลกรัม N ต่อไร่) และโพแทสเซียม (8.65 กิโลกรัม K ต่อไร่) มีค่าต่ำใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-\frac{1}{2}N$  อย่างไรก็ตาม ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าพิสัยที่รวบรวมโดย Howeler (2002) ซึ่งรายงานว่ามันสำปะหลังดูดใช้ฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 2.88–10.0

กิโลกรัมต่อไร่ แต่ดูดใช้โพแทสเซียมสูงใกล้เคียงกับไนโตรเจน โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 8.00–37.3 และ 10.0–29.9 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังมีความต้องการไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงกว่าฟอสฟอรัส เนื่องจากไนโตรเจนจะส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น ขณะที่โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในการสังเคราะห์แป้ง รวมถึงเคลื่อนย้ายแป้งไปสะสมยังราก (Havlin *et al.*, 2005) โดยมันสำปะหลังเป็นพืชหัวที่มีการสะสมแป้งจึงมีความต้องการโพแทสเซียมสูง (Obigbesan, 1977; Howeler, 1996)

โดยทั่วไปมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีชีวมวลต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่เศรษฐกิจอื่น ๆ เช่น อ้อย และข้าวโพด เป็นต้น (Howeler, 1991) เนื่องจากหัวมันสำปะหลังและลำต้นเป็นส่วนที่มีการนำออกไปจากพื้นที่ปลูกในรูปของผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและการนำไปขยายพันธุ์ในพื้นที่อื่น ตามลำดับ ขณะที่ มีเพียงกิ่งก้านใบและเหง้าเท่านั้นที่จะคงเหลือไว้ในแปลงปลูก จึงเป็นสาเหตุให้การคืนธาตุอาหารของพืชสู่ดินต่ำจากการศึกษาพบว่า การปลูกมันสำปะหลังที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี ( $P < 0.01$ ) ส่วนการใส่ปุ๋ยในทุกคำรับการทดลองทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมออกไปจากดินโดยเฉลี่ย 2.79–6.19, 1.27–2.33 และ 7.34–11.67 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ไปกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและลำต้นของมันสำปะหลังที่นำไปใช้ปลูกในฤดูกาลถัดไป (Figure 3) แสดงให้เห็นว่า ใน 1 ฤดูกาลเพาะปลูกจะเกิดการสูญเสียฟอสฟอรัสไปกับผลผลิตน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม ซึ่งสอดคล้องกับการรวบรวมเอกสารโดย Byju and Suja (2020) ที่รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนอยู่ในพิสัย 2.9–6.9 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 0.8–1.3 กิโลกรัม และโพแทสเซียมอยู่ในพิสัย 4.7–7.9 กิโลกรัม จะเกิดการสูญเสียไปกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดหนัก 1 ตัน

**Table 1** Effect of chemical fertilizer on nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by different plant parts of cassava in 2020 (2<sup>nd</sup>) and 2021 (3<sup>rd</sup>) growing season

| Nutrient   | Treatment | Nutrient uptake           |                            |                            |                           |                           |                           | Removal by whole plant   |                           |              |              |
|------------|-----------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|--------------|
|            |           | 2020                      |                            |                            | 2021                      |                           |                           |                          |                           |              |              |
|            |           | Tuber                     | Leaf and branch            | Stem                       | Stem base                 | Tuber                     | Leaf and branch           | Stem                     | Stem base                 | 2020         | 2021         |
| N (kg/rai) | NPK       | 4.49 ± 0.16 <sup>ab</sup> | 4.11 ± 0.30 <sup>ab</sup>  | 1.30 ± 0.18 <sup>b</sup>   | 1.97 ± 0.30 <sup>a</sup>  | 3.35 ± 0.15 <sup>a</sup>  | 8.72 ± 0.85 <sup>a</sup>  | 2.25 ± 0.14 <sup>a</sup> | 2.46 ± 0.18 <sup>a</sup>  | 11.87 ± 0.59 | 16.78 ± 1.00 |
|            | -N        | 1.89 ± 0.26 <sup>c</sup>  | 1.79 ± 0.72 <sup>c</sup>   | 0.75 ± 0.22 <sup>cd</sup>  | 0.93 ± 0.24 <sup>bc</sup> | 1.92 ± 0.21 <sup>bc</sup> | 2.56 ± 0.93 <sup>cd</sup> | 1.02 ± 0.20 <sup>b</sup> | 1.44 ± 0.37 <sup>b</sup>  | 5.36 ± 1.07  | 6.94 ± 1.52  |
|            | -P        | 3.73 ± 0.94 <sup>bc</sup> | 2.97 ± 0.57 <sup>abc</sup> | 1.08 ± 0.08 <sup>bc</sup>  | 1.29 ± 0.19 <sup>b</sup>  | 2.71 ± 0.49 <sup>ab</sup> | 4.17 ± 1.00 <sup>cd</sup> | 1.37 ± 0.24 <sup>b</sup> | 1.65 ± 0.42 <sup>b</sup>  | 9.07 ± 1.64  | 9.90 ± 1.89  |
|            | -K        | 2.58 ± 0.35 <sup>de</sup> | 2.40 ± 0.68 <sup>bc</sup>  | 0.89 ± 0.14 <sup>cd</sup>  | 1.08 ± 0.10 <sup>bc</sup> | 2.64 ± 1.02 <sup>ab</sup> | 3.34 ± 1.30 <sup>cd</sup> | 1.14 ± 0.16 <sup>b</sup> | 1.24 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 6.95 ± 1.01  | 8.36 ± 1.34  |
|            | -1/2N     | 5.12 ± 0.53 <sup>a</sup>  | 4.41 ± 0.75 <sup>a</sup>   | 1.84 ± 0.14 <sup>a</sup>   | 1.97 ± 0.37 <sup>a</sup>  | 3.15 ± 0.92 <sup>a</sup>  | 6.53 ± 0.30 <sup>b</sup>  | 2.26 ± 0.21 <sup>a</sup> | 2.28 ± 0.23 <sup>a</sup>  | 13.34 ± 1.50 | 14.22 ± 1.37 |
|            | -1/2P     | 4.45 ± 0.55 <sup>ab</sup> | 2.98 ± 0.75 <sup>abc</sup> | 0.99 ± 0.14 <sup>bcd</sup> | 1.22 ± 0.37 <sup>bc</sup> | 2.90 ± 0.92 <sup>ab</sup> | 5.43 ± 0.30 <sup>bc</sup> | 1.48 ± 0.21 <sup>b</sup> | 2.18 ± 0.23 <sup>a</sup>  | 9.64 ± 1.50  | 11.99 ± 1.37 |
|            | -1/2K     | 2.91 ± 0.21 <sup>cd</sup> | 2.59 ± 0.47 <sup>abc</sup> | 0.62 ± 0.13 <sup>d</sup>   | 0.85 ± 0.04 <sup>bc</sup> | 2.84 ± 0.58 <sup>ab</sup> | 5.36 ± 1.18 <sup>bc</sup> | 1.49 ± 0.28 <sup>b</sup> | 1.62 ± 0.08 <sup>b</sup>  | 6.97 ± 0.79  | 11.31 ± 1.71 |
|            | -NPK      | 1.72 ± 0.01 <sup>e</sup>  | 1.42 ± 0.38 <sup>c</sup>   | 0.62 ± 0.17 <sup>d</sup>   | 0.92 ± 0.23 <sup>c</sup>  | 1.05 ± 0.50 <sup>c</sup>  | 3.52 ± 1.49 <sup>d</sup>  | 1.03 ± 0.20 <sup>b</sup> | 1.27 ± 0.14 <sup>b</sup>  | 4.68 ± 0.76  | 6.87 ± 0.99  |
| F-test     |           | **                        | *                          | **                         | **                        | **                        | **                        | **                       | **                        |              |              |
| %CV        |           | 14.7                      | 35.6                       | 21.4                       | 16.6                      | 20.0                      | 22.7                      | 21.4                     | 13.3                      |              |              |
| P (kg/rai) | NPK       | 2.44 ± 0.03 <sup>a</sup>  | 0.54 ± 0.03 <sup>ab</sup>  | 0.39 ± 0.05 <sup>b</sup>   | 0.28 ± 0.03 <sup>a</sup>  | 1.20 ± 0.05 <sup>a</sup>  | 0.67 ± 0.05 <sup>a</sup>  | 0.35 ± 0.02 <sup>a</sup> | 0.36 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 3.65 ± 0.12  | 2.58 ± 0.13  |
|            | -N        | 1.28 ± 0.31 <sup>bc</sup> | 0.27 ± 0.11 <sup>b</sup>   | 0.25 ± 0.07 <sup>bc</sup>  | 0.16 ± 0.04 <sup>b</sup>  | 0.81 ± 0.10 <sup>b</sup>  | 0.19 ± 0.06 <sup>c</sup>  | 0.19 ± 0.04 <sup>b</sup> | 0.22 ± 0.06 <sup>cd</sup> | 1.96 ± 0.45  | 1.41 ± 0.17  |
|            | -P        | 1.56 ± 0.47 <sup>bc</sup> | 0.32 ± 0.05 <sup>b</sup>   | 0.29 ± 0.04 <sup>bc</sup>  | 0.19 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 0.53 ± 0.09 <sup>bc</sup> | 0.25 ± 0.05 <sup>c</sup>  | 0.25 ± 0.05 <sup>b</sup> | 0.21 ± 0.05 <sup>d</sup>  | 2.36 ± 0.54  | 1.24 ± 0.19  |
|            | -K        | 1.21 ± 0.17 <sup>bc</sup> | 0.33 ± 0.09 <sup>b</sup>   | 0.26 ± 0.04 <sup>bc</sup>  | 0.16 ± 0.03 <sup>b</sup>  | 0.64 ± 0.16 <sup>bc</sup> | 0.23 ± 0.10 <sup>c</sup>  | 0.19 ± 0.02 <sup>b</sup> | 0.18 ± 0.02 <sup>d</sup>  | 1.96 ± 0.24  | 1.24 ± 0.19  |
|            | -1/2N     | 2.49 ± 0.23 <sup>a</sup>  | 0.68 ± 0.10 <sup>a</sup>   | 0.54 ± 0.03 <sup>a</sup>   | 0.28 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 1.21 ± 0.40 <sup>a</sup>  | 0.49 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 0.41 ± 0.04 <sup>a</sup> | 0.33 ± 0.06 <sup>ab</sup> | 3.99 ± 0.35  | 2.44 ± 0.42  |
|            | -1/2P     | 2.49 ± 0.23 <sup>a</sup>  | 0.40 ± 0.10 <sup>abc</sup> | 0.27 ± 0.03 <sup>bc</sup>  | 0.17 ± 0.04 <sup>b</sup>  | 1.31 ± 0.40 <sup>a</sup>  | 0.49 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 0.25 ± 0.04 <sup>b</sup> | 0.34 ± 0.06 <sup>ab</sup> | 3.33 ± 0.35  | 2.39 ± 0.42  |
|            | -1/2K     | 1.45 ± 0.17 <sup>bc</sup> | 0.37 ± 0.08 <sup>b</sup>   | 0.19 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 0.14 ± 0.01 <sup>b</sup>  | 1.27 ± 0.23 <sup>a</sup>  | 0.44 ± 0.13 <sup>b</sup>  | 0.23 ± 0.04 <sup>b</sup> | 0.28 ± 0.02 <sup>bc</sup> | 2.15 ± 0.28  | 2.22 ± 0.29  |
|            | -NPK      | 0.78 ± 0.05 <sup>c</sup>  | 0.18 ± 0.05 <sup>c</sup>   | 0.22 ± 0.06 <sup>c</sup>   | 0.13 ± 0.05 <sup>b</sup>  | 0.32 ± 0.16 <sup>c</sup>  | 0.17 ± 0.06 <sup>c</sup>  | 0.16 ± 0.03 <sup>b</sup> | 0.21 ± 0.03 <sup>d</sup>  | 1.31 ± 0.16  | 0.86 ± 0.11  |
| F-test     |           | **                        | *                          | **                         | **                        | **                        | **                        | **                       | **                        |              |              |
| %CV        |           | 16.0                      | 39.3                       | 23.6                       | 16.8                      | 20.5                      | 22.7                      | 21.7                     | 11.9                      |              |              |

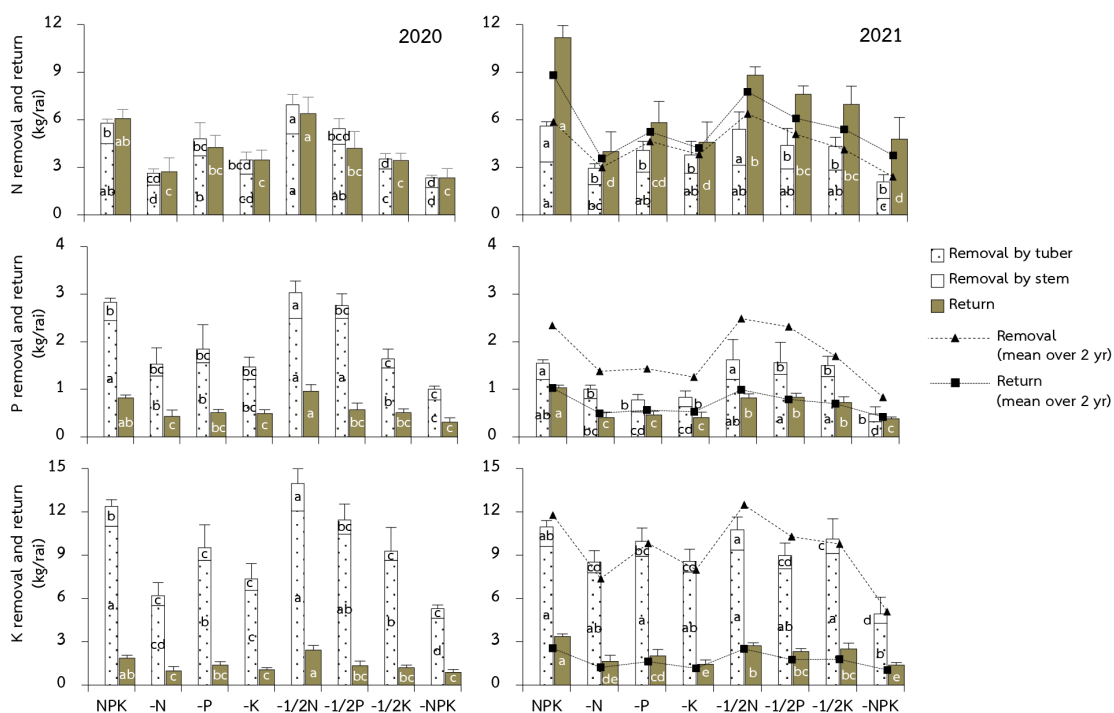
Table 1 Cont.

| Nutrient Treatment | Nutrient uptake            |                           |                          |                           |                          |                            | Removal by whole plant    |                            |              |              |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|--------------|
|                    | 2020                       |                           |                          | 2021                      |                          |                            |                           |                            |              |              |
|                    | Tuber                      | Leaf and branch           | Stem                     | Stem base                 | Tuber                    | Leaf and branch            | Stem                      | Stem base                  | 2020         | 2021         |
| K (kg/rai)         | 10.99 ± 0.40 <sup>a</sup>  | 0.91 ± 0.07 <sup>ab</sup> | 1.38 ± 0.19 <sup>b</sup> | 0.95 ± 0.12 <sup>a</sup>  | 9.61 ± 0.40 <sup>b</sup> | 1.89 ± 0.16 <sup>a</sup>   | 1.35 ± 0.08 <sup>ab</sup> | 1.46 ± 0.17 <sup>a</sup>   | 14.23 ± 0.39 | 14.31 ± 0.62 |
| -N                 | 5.50 ± 0.90 <sup>c</sup>   | 0.49 ± 0.19 <sup>b</sup>  | 0.68 ± 0.17 <sup>c</sup> | 0.49 ± 0.13 <sup>bc</sup> | 7.76 ± 0.82 <sup>b</sup> | 0.60 ± 0.23 <sup>cd</sup>  | 0.74 ± 0.13 <sup>cd</sup> | 1.04 ± 0.24 <sup>bcd</sup> | 7.16 ± 1.05  | 10.14 ± 1.16 |
| -P                 | 8.62 ± 1.50 <sup>b</sup>   | 0.71 ± 0.14 <sup>b</sup>  | 0.89 ± 0.08 <sup>c</sup> | 0.67 ± 0.10 <sup>b</sup>  | 8.92 ± 1.86 <sup>a</sup> | 1.02 ± 0.23 <sup>bcd</sup> | 1.04 ± 0.17 <sup>bc</sup> | 1.00 ± 0.24 <sup>cd</sup>  | 10.89 ± 1.74 | 11.98 ± 2.30 |
| -K                 | 6.57 ± 0.94 <sup>c</sup>   | 0.58 ± 0.16 <sup>b</sup>  | 0.77 ± 0.13 <sup>c</sup> | 0.48 ± 0.04 <sup>bc</sup> | 7.82 ± 2.90 <sup>b</sup> | 0.64 ± 0.27 <sup>cd</sup>  | 0.75 ± 0.08 <sup>cd</sup> | 0.79 ± 0.03 <sup>d</sup>   | 8.40 ± 1.15  | 10.00 ± 2.75 |
| -1/2N              | 12.05 ± 0.98 <sup>a</sup>  | 1.42 ± 0.22 <sup>a</sup>  | 1.92 ± 0.18 <sup>a</sup> | 0.99 ± 0.14 <sup>a</sup>  | 9.35 ± 1.81 <sup>a</sup> | 1.41 ± 0.07 <sup>ab</sup>  | 1.41 ± 0.12 <sup>a</sup>  | 1.30 ± 0.12 <sup>ab</sup>  | 16.38 ± 1.33 | 13.47 ± 1.89 |
| -1/2P              | 10.46 ± 0.98 <sup>ab</sup> | 0.86 ± 0.22 <sup>ab</sup> | 0.97 ± 0.18 <sup>c</sup> | 0.48 ± 0.14 <sup>bc</sup> | 8.04 ± 1.81 <sup>a</sup> | 1.11 ± 0.07 <sup>bc</sup>  | 0.93 ± 0.12 <sup>cd</sup> | 1.21 ± 0.12 <sup>abc</sup> | 12.77 ± 1.33 | 11.29 ± 1.89 |
| -1/2K              | 8.63 ± 1.47 <sup>b</sup>   | 0.84 ± 0.18 <sup>ab</sup> | 0.65 ± 0.17 <sup>c</sup> | 0.36 ± 0.02 <sup>bc</sup> | 9.12 ± 2.41 <sup>a</sup> | 1.45 ± 0.42 <sup>ab</sup>  | 1.00 ± 0.17 <sup>cd</sup> | 1.04 ± 0.04 <sup>bcd</sup> | 10.48 ± 1.82 | 12.61 ± 2.78 |
| -NPK               | 4.63 ± 0.21 <sup>c</sup>   | 0.38 ± 0.09 <sup>b</sup>  | 0.65 ± 0.18 <sup>c</sup> | 0.49 ± 0.13 <sup>c</sup>  | 4.28 ± 2.23 <sup>b</sup> | 0.57 ± 0.24 <sup>d</sup>   | 0.64 ± 0.15 <sup>d</sup>  | 0.81 ± 0.20 <sup>d</sup>   | 6.15 ± 0.42  | 6.30 ± 2.00  |
| F-test             | **                         | *                         | **                       | **                        | *                        | **                         | **                        | **                         |              |              |
| %CV                | 13.1                       | 39.9                      | 22.1                     | 16.3                      | 19.6                     | 24.7                       | 19.0                      | 13.1                       |              |              |

\*, \*\* Significant at 95% and 99% probability levels, respectively. Values (Mean ± standard deviation) followed by different superscript letters within the same column indicated significant difference based on Duncan's new multiple range test at  $P < 0.05$ . CV = coefficient of variation.

อย่างไรก็ตาม หากไถกลบเศษเหลือของ มันสํ้าปะหลัง ได้แก่ กิ่งก้านและใบและเหง้าของ มันสํ้าปะหลังลงไปดินจะทำให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมกลับคืนสู่ดินอยู่ในพิสัย 3.36–8.63, 0.42–0.92 และ 1.31–2.61 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (Figure 3) จะเห็นได้ว่า การไถกลบเศษเหลือทั้งหลายนี้สามารถ เพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินได้สูงกว่าการสูญเสียไนโตรเจน ไปกับผลผลิต ทั้งนี้ เนื่องจากไนโตรเจนมักสะสมอยู่ใน ที่เจริญโดยเฉพาะกิ่งก้านใบ ขณะที่ โพแทสเซียมมัก สะสมในส่วนหัวมันสํ้าปะหลัง จึงเกิดการสูญเสียไปกับ

ผลผลิตในปริมาณสูงแต่จะกลับคืนสู่ดินเพียงร้อยละ 17.81–22.37 จากปริมาณที่ถูกนำออกไปเท่านั้น ดังนั้น การปลูกมันสํ้าปะหลังอย่างต่อเนื่องจะทำให้ ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินลดลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะ โพแทสเซียม จึงทำให้โพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำกัดการ เจริญเติบโตและให้ผลผลิตของ มันสํ้าปะหลัง อย่างไรก็ตาม การไถกลบเศษเหลือของ มันสํ้าปะหลังโดยเฉพาะ กิ่งก้านและใบอาจทำให้เกิดปัญหาเรื่องวัชพืช ถึงแม้ จะสามารถคืนธาตุอาหารพืชบางส่วนให้แก่ดินรวมทั้ง เพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุก็ตาม



**Figure 3** Effect of chemical fertilizer on nutrients crop removal by cassava and nutrients return to the soil in 2020 (2<sup>nd</sup>) and 2021 (3<sup>rd</sup>) growing season. Different lowercase letters on bars grouped within the same legend are significantly different at  $P < 0.05$ . Error bars indicate standard deviation for total removal and return.

### ผลสะสมของปุ๋ยเคมีต่อสมบัติของดิน

ผลสะสมของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของชั้นดินบน โดยทำการวิเคราะห์หลังจากปลูกมันสำปะหลังไป 3 ฤดูกาล แสดงใน Table 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น (พีเอช 4.99–6.17) แต่ทำให้ธาตุอาหารหลักในดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนรวม (0.18 กรัมต่อกิโลกรัม) ฟอสฟอรัส

(5.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และโพแทสเซียม (12.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) ซึ่งให้ปริมาณไนโตรเจนรวมในดินมีค่าต่ำไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-1/2N$  เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่มีค่าต่ำไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-N$  และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินที่มีค่าต่ำไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-N$  หรือ  $-P$  หรือ  $-K$

**Table 2** Cumulative effect of NPK fertilizers on pH and major nutrients availability of the topsoil horizon (0–30 cm) after harvesting cassava in 2021 (3<sup>rd</sup>) growing season

| Treatment | Soil pH (1:1 H <sub>2</sub> O) | Total N (g/kg)             | Available P (mg/kg)        | Available K (mg/kg)         |
|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| NPK       | 5.59 ± 0.45                    | 0.39 ± 0.04 <sup>a</sup>   | 9.10 ± 0.85 <sup>cd</sup>  | 23.20 ± 0.11 <sup>ab</sup>  |
| -N        | 5.74 ± 0.43                    | 0.21 ± 0.01 <sup>cd</sup>  | 6.35 ± 1.35 <sup>de</sup>  | 18.03 ± 0.94 <sup>bcd</sup> |
| -P        | 5.63 ± 0.33                    | 0.28 ± 0.04 <sup>bc</sup>  | 10.16 ± 1.38 <sup>c</sup>  | 17.36 ± 2.55 <sup>cd</sup>  |
| -K        | 5.57 ± 0.16                    | 0.31 ± 0.02 <sup>b</sup>   | 13.34 ± 3.55 <sup>b</sup>  | 15.69 ± 2.83 <sup>d</sup>   |
| -1/2N     | 5.65 ± 0.26                    | 0.19 ± 0.06 <sup>d</sup>   | 20.79 ± 0.90 <sup>a</sup>  | 22.80 ± 5.54 <sup>ab</sup>  |
| -1/2P     | 5.58 ± 0.02                    | 0.25 ± 0.04 <sup>bcd</sup> | 11.91 ± 1.36 <sup>bc</sup> | 22.07 ± 1.26 <sup>abc</sup> |
| -1/2K     | 5.80 ± 0.02                    | 0.24 ± 0.04 <sup>bcd</sup> | 11.86 ± 1.36 <sup>bc</sup> | 23.95 ± 1.26 <sup>a</sup>   |
| -NPK      | 5.78 ± 0.41                    | 0.18 ± 0.04 <sup>d</sup>   | 5.57 ± 0.70 <sup>e</sup>   | 12.93 ± 0.31 <sup>d</sup>   |
| F-test    | ns                             | **                         | **                         | **                          |
| %CV       | 6.1                            | 17.5                       | 14.6                       | 14.3                        |

ns = not significant, \*, \*\* significant at 95% and 99% probability levels, respectively. Values (mean ± standard deviation) followed by different superscript letters within the same column indicate significant difference based on Duncan's new multiple range test at  $P < 0.05$ . CV = coefficient of variation.

การใส่ปุ๋ย NPK ในอัตรา 20:10:20 กิโลกรัม N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O ต่อไร่ ทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.39 กรัมต่อกิโลกรัม;  $P < 0.01$ ) รวมถึงปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ซึ่งให้ค่าสูงไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา  $-1/2N$  หรือ  $-1/2P$  หรือ  $-1/2K$  (22.07–23.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม;  $P < 0.01$ ) ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าการใส่ปุ๋ย

ในอัตราสูงจะทำให้มีไนโตรเจนและโพแทสเซียมจากปุ๋ยบางส่วนที่หลงเหลือจากการดูดใช้โดยพืช ส่วนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินกลับมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใส่ปุ๋ยในอัตรา  $-1/2N$  แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่หลงเหลือในดินไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ นอกจากนี้ ถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกันอย่างต่อเนื่อง

เนื่องแต่ยังคงให้ปริมาณไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่หลงเหลือในดินอยู่ในระดับต่ำมาก เนื่องจากชุดดินยโสธรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบและมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำมาก ส่งผลให้ความสามารถของดินในการดูดซับธาตุอาหารพืชต่ำ ธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ใส่จึงเกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการชะละลาย (Weil and Brady, 2017)

### สรุป

การปลูกมันสำปะหลังในชุดดินยโสธรที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องในทุกฤดูกาลเพาะปลูก โดยการใส่ปุ๋ยเคมีจะส่งเสริมการสร้างชีวมวลส่วนเหนือดินและการให้ผลผลิต แต่ไม่มีผลทำให้ร้อยละการสะสมแบ่งเพิ่มขึ้น ปริมาณโพแทสเซียมหรือไนโตรเจนที่ไม่เพียงพอจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลังลดลงอย่างชัดเจน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใส่ปุ๋ยครบสูตร โดยการใส่ปุ๋ยในอัตรา 20:10:20 กิโลกรัม  $N:P_2O_5:K_2O$  ต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราตั้งแต่ลดอัตราของไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียมลงมาครั้งหนึ่งต่างเป็นอัตราที่เพียงพอสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินนี้โดยให้ผลผลิตสูงไม่แตกต่างกัน การใส่ปุ๋ยเคมีส่งเสริมให้มันสำปะหลังดูดใช้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้น โดยหัว

มันสำปะหลังดูดใช้ธาตุอาหารมากกว่าส่วนอื่น ๆ จึงเกิดการสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตในปริมาณสูงโดยเฉพาะโพแทสเซียม การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ปี ทำให้ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์หลงเหลือในดินสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี แต่ปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้ที่คงอยู่ในดินยังคงมีอยู่น้อยมาก ซึ่งอาจไม่เพียงพอสำหรับการปลูกมันสำปะหลังในฤดูกาลถัดไปหากไม่ใส่ปุ๋ยเคมี แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยอย่างต่อเนื่องยังคงมีความจำเป็นสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินเนื้อหยาบที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะของดินที่พบเป็นพื้นที่กว้างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้อัตราของปุ๋ยตามที่แนะนำข้างต้นจะขึ้นอยู่กับผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจ

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนหลักจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (รหัสโครงการ ป-3.1(ด)242.61) และบางส่วนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (รหัสโครงการ อ-ภส-95-2563) และขอขอบคุณ คุณปรีชา เพชรประไพ เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนา มันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ที่ให้ความช่วยเหลือและดูแลแปลงทดลองเป็นอย่างดี

### 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.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39–45.
- Byju, G. and G. Suja. 2020. Mineral nutrition of cassava. *Adv. Agron.* 159: 169–235.

- Cuvaca, I.B., N.S. Eash, D.M. Lambert, F.R. Walker and W. Rustrick. 2017. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer effects on cassava tuber yield in the coastal district of Dondo, Mozambique. *Afr. J. Agric. Res.* 12(42): 3112–3119.
- Duangpatra, P. 1988. Soil and climatic characterization of major cassava growing areas in Thailand, pp. 157–184. *In* R.H. Howeler and K. Kawano, eds. *Cassava Breeding and Agronomy Research in Asia*. Proc. the 2<sup>nd</sup> Regional Cassava Workshop, 26–28 October 1987, Rayong, Thailand.
- Ezui, K.S., A.C. Franke, A. Mando, B.D.K. Ahiabor, F.M. Tetteh, J. Sogbedji, B.H. Janssen and K.E. Giller. 2016. Fertilizer requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. *Field Crop Res.* 185: 69–78.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005 *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Howeler, R.H. 1991. Long term effect of cassava cultivation on soil productivity. *Field Crop Res.* 26(1): 1–18.
- Howeler, R.H. 1996. Mineral nutrition of cassava, pp. 110–116. *In* E.T. Craswell, C.J. Asher and J.N. O’Sullivan, eds. *Mineral Nutrient Disorders of Root Crops in the Pacific*. Proc. Workshop, 17–20 April 1995, Nuku alofa, Kingdom of Tonga.
- Howeler, R.H. 2002. Cassava mineral nutrition and fertilization, pp. 115–147. *In* R.J. Hillocks, J.M. Thresh and A.C. Bellotti, eds. *Cassava: Biology, Production and Utilization*. CABI, New York, USA.
- Howeler, R.H. 2012. Diagnosis of nutritional problems of cassava, pp. 305–320. *In* R.H. Howeler, ed. *The Cassava Handbook. A Reference Manual Based on the Asian Regional Cassava Training Course*, Thailand. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Howeler, R.H. 2017. Addressing nutritional disorders in cassava cultivation, pp. 301–330. *In* C. Hershey, ed. *Achieving Sustainable Cultivation of Cassava. Cultivation Techniques*. Vol. 1. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
- 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: 61–80.
- 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.

- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4<sup>th</sup> edition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, United States Department of Agriculture, USA.
- Nguyen, H., J.J. Schoenau, D. Nguyen, K. Van Rees and M. Boehm. 2002. Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in North Vietnam. J. Plant Nutr. 25(3): 425–442.
- Obigbesan, G.O. 1977. Investigations on Nigerian root and tuber crops: effect of potassium on starch yield, HCN content and nutrient uptake of cassava cultivars (*Manihot esculenta*). J. Agric. Sci. 89(1): 29–34.
- 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(6): 573–580.
- 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)
- Sittibusaya, C. 1996. Strategies of Developing Fertilizer Recommendations for Field Crops. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 159–165. In A.L. Page, ed. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2<sup>nd</sup> edition. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Uwah, D.F., E.B. Effa, L.E. Ekpenyong and I.E. Akpan. 2013. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) performance as influenced by nitrogen and potassium fertilizers in Uyo, Nigeria. J. Anim. Plant Sci. 23(2): 550–555.
- Wargiono, J., S.H. Kushartoyo and B. Guritno. 1998. Recent progress in cassava agronomy research in Indonesia, pp. 307–330. In R.H. Howeler, ed. Cassava Breeding, Agronomy and Farmer Participatory Research in Asia. Proc. the 5<sup>th</sup> Regional Workshop, 3–8 November 1996, Hainan, China.
- Weil, R.R. and N.C. Brady. 2017. The Nature and Properties of Soils. 15<sup>th</sup> edition. Pearson, Massachusetts, USA.