ผลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและคุณภาพแป้งของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินร่วนปนทราย จังหวัดกำแพงเพชร

Effect of Potassium Fertilizer on Yield and Starch Quality of Cassava in Sandy Loam Soil at Kamphaeng Phet Province

สายน้ำ อุดพ้วย[1*], จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข[2] และ วลัยพร ศะศิประภา[3]

Sainam Udpuay[1*], Jinnaja Hansethasuk[2] and Walaiporn Sasiprapa[3]

[1]กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

[1]Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

[2]ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร ระยอง 21150

[2]Rayong Field Crops Research Center, Department of Agriculture, Rayong, 21150

[3]ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

[3] Information and Communication Technology Center, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

*Corresponding author: sainam.udpuay@gmail.com

Received: 1 April 2024; Accepted: 23 May 2024; Published: 1 June 2024

บทคัดย่อ

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการขนส่งคาร์โบไฮเดรต การเพิ่มปริมาณแป้งช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและคุณภาพแป้งของมันสำปะหลังในดินร่วนปนทราย อำเภอขาณุวรลักษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCB จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ พันธุ์มันสำปะหลัง ได้แก่ (1) สายพันธุ์ CMR 53–106–24 และ (2) พันธุ์ระยอง 15 ปัจจัยรอง คือ อัตราปุ๋ยโพแทสเซียม ได้แก่ (1) 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (อัตราปุ๋ยโพแทสเซียม 1 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินเป็นกรรมวิธีควบคุม) (2) 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ และ (3) 32 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสฟอรัสตามค่าวิเคราะห์ดิน คือ 16 กิโลกรัม N ต่อไร่ และ 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ในทุกกรรมวิธี ผลการศึกษา พบว่า พันธุ์มันสำปะหลังไม่มีปฏิสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและคุณภาพแป้ง แต่การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตแป้งและดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตแป้ง และดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุด และเมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจหลังหักค่าปุ๋ยแล้ว พบว่า มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 53–106–24 และพันธุ์ระยอง 15 ควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ในอัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ดังนั้น การปลูกมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 53–106–24 และพันธุ์ระยอง 15 การใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำในอัตรา 16–8–24 กิโลกรัม $N–P_2O_5–K_2O$ ต่อไร่ เป็นวิธีการที่เหมาะสมต่อการผลิตมันสำปะหลังในดินร่วนปนทราย จังหวัดกำแพงเพชร

คำสำคัญ: ธาตุโพแทสเซียม; พันธุ์ระยอง 15; อัตราปุ๋ยตามคำแนะนำ; ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

ABSTRACT

Potassium plays a crucial role as a macronutrient in facilitating carbohydrate transport, enhancing the starch content, and promoting cassava yield. The objective of this study was to investigate the effect of potassium fertilizer on yield and starch content of cassava in sandy

loam soil at Kamphaeng Phet province. The experimental design was split plot in RCB with 4 replications. Main plots comprised of CMR 53–106–24 and Rayong 15 cassava varieties. Sub plots were three levels of potassium fertilizers base on soil test: (1) 16 kg K_2O/rai (the recommended rate based on soil test as control treatment) (2) 24 kg K_2O/rai and (3) 32 kg K_2O/rai, and all treatment were applied to nitrogen and phosphorus fertilizer based on soil test at 16 kg N/rai and 8 kg P_2O_5/rai, respectively. The result showed that the interaction effect of cassava variety and potassium fertilizer was not significant on yield and starch quality. The application of 24 kg K_2O/rai of potassium fertilizer resulted in the highest yields of fresh tubers, starch yield, and harvest index. To achieve a favorable yield while taking into account the cost of fertilizer, it is recommended to apply potassium fertilizer at a rate of 24 kg K_2O/rai to the cassava varieties CMR 53–106–24 and Rayong 15. Therefore, growing of CMR 53–106–24 and Rayong 15 and fertilizing at the recommended rate of 16–8–24 kg N–P_2O_5–K_2O/rai was suitable practice for cassava production in sandy loam soil at Kamphaeng Phet province.

Keywords: Potassium; Rayong 15; Fertilizer recommended rate; Economic return

คำนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz*)* เป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยผลผลิตมันสำปะหลังเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง มันเส้นและเอทานอล เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง จากสถิติการเกษตรของประเทศไทยของ Office of Agricultural Economics (2023) พบว่า ปีเพาะปลูก 2564/2565 พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศ 9.9 ล้านไร่ มีผลผลิต เฉลี่ย 3,434 กิโลกรัมต่อไร่ และคิดเป็นผลผลิตหัวสดรวมทั้งสิ้น 34.07 ล้านตัน โดยจังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ นครราชสีมา กำแพงเพชร ชัยภูมิ กาญจนบุรี และอุบลราชธานี ตามลำดับ ซึ่งจังหวัดกำแพงเพชรเป็นหนึ่งในจังหวัดที่เป็นแหล่งผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญ จัดอยู่ในอันดับ 2 ของประเทศ รองจากจังหวัดนครราชสีมา มีเนื้อที่เพาะปลูก 0.76 ล้านไร่ และให้ผลผลิตหัวสดรวมทั้งสิ้น 2.54 ล้านตัน โดยเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดกำแพงเพชร นิยมปลูกพันธุ์ห้วยบง 90 ระยอง 9 และระยอง 15 เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์แป้ง และให้ผลผลิตต่อไร่สูง ซึ่ง Department of Agriculture (2020) ได้รับรองมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 15 เมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2562 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 8 เดือน โดยให้ผลผลิตหัวสด เฉลี่ย 4,600 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณแป้ง เฉลี่ย 29.2 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตแป้ง เฉลี่ย 1,300 กิโลกรัมต่อไร่

ปัจจุบันเกษตรกรต้องการผลิตมันสำปะหลังให้มีคุณภาพและให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น ซึ่งศักยภาพในการผลิตมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สภาพอากาศ วันปลูก ลักษณะเฉพาะของพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Howeler, 2002; Hinthong and Banterng, 2012) และการจัดการ (การจัดหาแหล่งน้ำและการจัดการปุ๋ย) จะเห็นว่า พันธุ์และการจัดการปุ๋ย เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง โดยลักษณะของพันธุ์มันสำปะหลังมีผลต่อคุณภาพแป้ง (Masari *et al*., 2007) เมื่อมันสำปะหลังมีผลผลิตที่ดีและมีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าในสภาวะทางเศรษฐกิจที่ปุ๋ยมีราคาแพงในปัจจุบัน การปลูกมันสำปะหลังให้ได้ผลผลิตสูงนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการปุ๋ยให้เหมาะสม โดยสภาพพื้นที่และสมบัติของดินที่เหมาะสมกับมันสำปะหลังนั้น ควรเป็นพื้นที่ที่มีการระบายน้ำดี ลักษณะดินควรมีเนื้อดินหยาบ ได้แก่ ดินทราย ดินร่วน ดินร่วนปนทราย ความเป็นกรด–ด่างของดิน (pH) 5.0–6.5 เป็นกรดจัดมากถึงกรดเล็กน้อย อินทรียวัตถุ 0.65–2.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 5–15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ 38–64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Department of Agriculture, 2021) สำหรับลักษณะเนื้อดินร่วนปนทราย (sandy loam) เป็นดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียว 7–20 เปอร์เซ็นต์ มีอนุภาคทรายมากกว่า 52 เปอร์เซ็นต์ (Office of the Royal Society, 2019) ซึ่งเป็นดินที่มีการระบายน้ำดี ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เมื่อให้น้ำจะไหลผ่านได้ง่าย จึงทำให้ความสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชต่ำ เมื่อมีการปลูกมันสำปะหลังต่อเนื่องในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยให้เพียงพอ จะส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผลผลิตลดลงตามไปด้วย เนื่องจากการสูญเสียธาตุอาหารโดยติดไปกับผลผลิตทุกปีและจากการชะล้างของหน้าดิน (Pongsivapai *et al.*, 2016) Howeler (1991) รายงานว่า เพื่อรักษาหรือเพิ่มระดับผลผลิตมันสำปะหลังในดินร่วนปนทราย จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีและจัดการดินอย่างเหมาะสม

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ต้องการธาตุโพแทสเซียม (K) ในปริมาณมาก ซึ่งโดยปกติแล้วพืชหัวต้องการธาตุโพแทสเซียมมากกว่าพืชที่ผลิตโปรตีน (Chaem–Ngern *et al*., 2020) เนื่องจากธาตุโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการขนส่งคาร์โบไฮเดรตไปยังราก เพื่อเพิ่มปริมาณแป้งของราก (Lenis *et al.* 2006) ช่วยกระตุ้นกิจกรรมชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ต่าง ๆ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการสะสมธาตุอาหาร (Trakoonyingcharoen, 2022) นอกจากนั้นการให้ธาตุโพแทสเซียมไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มผลผลิตหัวเท่านั้น แต่ยังปรับปรุงคุณภาพของหัวอีกด้วย (Chaem-Ngern *et al*., 2020) โดยดินของประเทศไทย พบว่า มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงระดับต่ำ (<60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Land Development Department, 2015) ซึ่งลักษณะดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำนั้น การใส่ปุ๋ยจะสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างเด่นชัด โดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อดินร่วนปนทรายมีความสามารถในการดูดซับธาตุโพแทสเซียมได้น้อย เนื่องจากมีการชะล้างจากปริมาณน้ำฝน อย่างไรก็ตามการขาดธาตุโพแทสเซียมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตพืชต่ำ เมื่อมันสำปะหลังขาดธาตุโพแทสเซียม จะแสดงอาการ คือ การเจริญเติบโตจะลดลง มีการแตกแขนงมากเกินไปจนทำให้ต้นมันสำปะหลังทอดนอนไปกับดิน ใบมีขนาดเล็ก ใบซีดเหลือง ลำต้นหนา มีปล้องสั้น ในบางสายพันธุ์ขอบใบล่างโค้งงอขึ้น คล้ายกับอาการเครียดจากภาวะแล้ง (Howeler, 2002) ดังนั้น การปลูกมันสำปะหลังในดินร่วนปนทราย จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มด้วยเสมอ เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของมันสำปะหลัง ปัจจุบันอัตราปุ๋ยที่แนะนำให้ใช้กับมันสำปะหลังในกรณีดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ระดับต่ำ คือ 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (Department of Agriculture, 2021) โดยการผลิตมันสำปะหลังผลผลิตหัวสด 5,712 กิโลกรัมต่อไร่ มีความต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 9–2–18 กิโลกรัม N–P–K ต่อไร่ เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี 9–5–22 กิโลกรัม N–P_2O_5–K_2O ต่อไร่ (Howeler, 2002) จะเห็นว่าถ้าดินที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การให้ปุ๋ยในอัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ไม่เพียงพอเมื่อเทียบเท่ากับความต้องการธาตุโพแทสเซียม เพื่อให้ได้ผลผลิต 5,712 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้น ธาตุโพแทสเซียมจึงเป็นตัวจำกัดผลผลิตพืชธาตุหนึ่ง อีกทั้งปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียมในสายพันธุ์ CMR 53–106–24 และพันธุ์ระยอง 15 ซึ่งเป็นพันธุ์ใหม่ที่เก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็ว เหมาะกับความต้องการของเกษตรกร ในการสร้างรายได้เร็วขึ้น จึงทำการศึกษาทั้งสองพันธุ์นี้ อีกทั้งยังขาดข้อมูลอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์ในดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งการผลิตมันสำปะหลังที่ถูกต้องและเหมาะสม จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้ได้ผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด (Ratanasriwong *et al.*, 2010) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมตามค่าวิเคราะห์ดินและในอัตราที่สูงขึ้นต่อผลผลิตหัวสดและคุณภาพแป้งของมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ CMR 53–106–24 และ พันธุ์ระยอง 15 ที่ปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร นอกจากนี้ ผลการศึกษาที่ได้สามารถแนะนำให้กับเกษตรกรเพื่อนำไปใช้เป็นเทคโนโลยีการผลิตในการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่เหมาะสมกับพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่อื่นได้

อุปกรณ์และวิธีการ

สมบัติของดินก่อนการทดลอง

ดำเนินการทดลองที่ไร่เกษตรกร อำเภอขาณุวรลักษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร ปลูกมันสำปะหลังในสภาพอาศัยน้ำฝน ระหว่างวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2563 – 23 มีนาคม พ.ศ. 2564 แปลงทดลองตั้งอยู่ในพิกัดละติจูด 16°0'57.40" และลองจิจูด 99°40'44.23" ซึ่งเป็นชุดดินขาณุ (Fine-loamy, mixed, isohyperthermic Typic *Paleustults*) กลุ่มดิน *Paleustults* นี้มีศักยภาพการผลิตทางการเกษตรต่ำ เนื่องจากมีเนื้อดินปานกลางถึงหยาบ มีการระบายน้ำอย่างรวดเร็ว ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ต่ำ ส่งผลให้สูญเสียความชื้นในดินและธาตุอาหารในดินง่าย (Chaem-Ngern *et al*., 2020) สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0–20 และ 20–50 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน โดยวิเคราะห์เนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer ความเป็นกรด–ด่างของดิน (ค่าพีเอช) อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ตามวิธีของ Department of Agriculture (2001) พบว่า ดินมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย โดยมีค่า pH (ดิน:น้ำ 1:1) เท่ากับ 5.0–5.1 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ค่าการนำไฟฟ้า (EC 1:5) เท่ากับ 0.02–0.03 เดซิซีเมนต่อเมตร อยู่ในระดับเค็มเล็กน้อย (Table 1) ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ เท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ระหว่าง 2.0–3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ระหว่าง 24.1–29.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังดัดแปลงจาก Land Development Department (1980) ดินก่อนปลูกมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เมื่อพิจารณาอัตราปุ๋ยแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน สามารถประเมินการใช้ปุ๋ย สำหรับมันสำปะหลัง เป็น 16–8–16 กิโลกรัม N–P_2O_5–K_2O ต่อไร่ (Department of Agriculture, 2021)

Table 1 Chemical and physical properties of soil before cassava planting at Kamphaeng Phet province

Soil depth (cm)	pH (1:1)	EC[1/] (1:5) (dS/m)	OM[1/] (%) (Walkley and Black)	Avail. P[1/] (mg/kg) (Bray II)	Extr. K[1/] (mg/kg) (NH_4OAc pH7)	Texture (Hydrometer method)
0-20	5.1	0.03	0.5	3.9	29.0	Sandy loam
20-50	5.0	0.02	0.5	2.0	24.1	Sandy loam
Optimum rage[2/]	5.0-6.5	<0.5	0.65-2.0	>7	>30	Sandy, Loam and Sandy loam

[1/]EC = Electrical conductivity; OM = Organic matter; Avail. P = Available phosphorus; Extr. K = Extractable potassium

[2/]source: Department of Agriculture (2021)

วิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCB มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย ปัจจัยหลัก (Main plot) คือ พันธุ์มันสำปะหลัง จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ 1) สายพันธุ์ CMR 53–106–24 และ 2) พันธุ์ระยอง 15 ปัจจัยรอง (Subplot) คือ อัตราปุ๋ยโพแทสเซียม (K) มี 3 ระดับ ได้แก่ 1) 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมตามค่าวิเคราะห์ดินเป็นกรรมวิธีควบคุม; 1K), 2) 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (ปุ๋ยโพแทสเซียม 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน; 1.5K) และ 3) 32 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (ปุ๋ยโพแทสเซียม 2 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน; 2K) โดยทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสฟอรัสตามค่าวิเคราะห์ดิน ในอัตรา 16 กิโลกรัม N

ต่อไร่ และ 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ขนาดแปลงย่อย 8.4 × 6.4 เมตร รวมทั้งสิ้น 24 แปลงย่อย เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 2 เมตร ปลูกหลุมละ 1 ต้น ก่อนปลูกมีการยกร่องโดยใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 1.2 เมตร ระยะระหว่างต้น 0.8 เมตร ปักท่อนพันธุ์แบบตั้งตรง ท่อนพันธุ์ยาว 20 เซนติเมตร เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2563 ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำของ Department of Agriculture (2021) โดยแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง สำหรับดินทราย คือ ครั้งที่ 1 ใส่เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือน ด้วยปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยโพแทสเซียมครึ่งอัตราที่กำหนด ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสใส่ครั้งเดียวเต็มอัตรา ครั้งที่ 2 เมื่อมันสำปะหลัง อายุประมาณ 2 เดือน เมื่อดินมีความชื้นพอเหมาะใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหลือครึ่งอัตรา โรยข้างแถวปลูก พรวนดินกลบ (Department of Agriculture, 2021) โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย (46 เปอร์เซ็นต์ N) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (46 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 เปอร์เซ็นต์ K_2O) จากนั้นเก็บเกี่ยวผลผลิต วันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2564 ที่อายุ 9 เดือน พื้นที่เก็บเกี่ยว 6 × 3.2 เมตรต่อแปลงย่อย (จำนวน 20 ต้น)

ดำเนินการบันทึกข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพ ได้แก่ น้ำหนักต้นสดต่อไร่ น้ำหนักเหง้าสดต่อไร่ ผลผลิตหัวสดต่อไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง ผลผลิตแป้งต่อไร่ และดัชนีเก็บเกี่ยว (Department of Agriculture, 2019) โดยชั่งน้ำหนักหัวสด น้ำหนักต้นสดและน้ำหนักเหง้าสดรวมกัน นำไปคำนวณดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index, HI) คำนวณจากสูตร (Malipan and Sittinam, 2011) ดังนี้

$$\text{ดัชนีเก็บเกี่ยว} = \frac{\text{น้ำหนักหัวสด (กิโลกรัมต่อไร)}}{\text{น้ำหนักหัวสด} + \text{น้ำหนักต้นสด} + \text{น้ำหนักเหง้าสด (กิโลกรัมต่อไร่)}}$$

สำหรับปริมาณแป้งในหัวสด สุ่มจากหัวสดในพื้นที่เก็บเกี่ยว สับหัวสดเป็นท่อนยาวประมาณ 5–7 เซนติเมตร ใช้ตัวอย่างหัวสด 5 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย วัดด้วยเครื่องชั่ง Reiman scale ภายในวันที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตหัวสด และผลผลิตแป้ง นำมาคำนวณโดยการใช้สูตร ดังนี้

$$\text{ผลผลิตแป้ง (กิโลกรัมต่อไร่)} = \frac{\text{ผลผลิตหัวสด (กิโลกรัมต่อไร่)} \times \text{ปริมาณแป้งในหัวสด (เปอร์เซ็นต์)}}{100}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS trial version และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คำนวณวิเคราะห์ผลตอบแทนหลังหักค่าปุ๋ย (บาทต่อไร่) คือ มูลค่าของผลผลิต (บาทต่อไร่) หักลบมูลค่าปุ๋ย (บาทต่อไร่) (Kunlanit and Sriboonrote, 2017)

ผลการทดลองและวิจารณ์

สภาพภูมิอากาศฤดูปลูกมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังในระยะตั้งตัวที่อายุ 0–60 วัน ได้รับปริมาณน้ำฝน 208 มิลลิเมตร เฉลี่ย 3.5 มิลลิเมตรต่อวัน โดยมันสำปะหลังระยะนี้มีความต้องการน้ำ เฉลี่ย 1.2 มิลลิเมตรต่อวัน เมื่อมันสำปะหลังเข้าสู่ระยะพัฒนาทรงพุ่มที่อายุ 61–150 วัน ได้รับน้ำฝน 374 มิลลิเมตร เฉลี่ย 4.16 มิลลิเมตรต่อวัน ในระยะนี้มันสำปะหลังต้องการน้ำมากขึ้น เฉลี่ย 1.9 มิลลิเมตรต่อวัน เนื่องจากมันสำปะหลังในระยะนี้มีพื้นที่ที่จะสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น

สำหรับมันสำปะหลังระยะพัฒนารากและสะสมอาหาร ที่อายุ 151–300 วัน ได้รับน้ำฝน 4.6 มิลลิเมตร เฉลี่ย 0.03 มิลลิเมตรต่อวัน แต่ในระยะนี้มันสำปะหลังมีความต้องการน้ำในปริมาณมาก เฉลี่ย 3.6 มิลลิเมตรต่อวัน เพราะอัตราการสะสมอาหารที่รากในระยะนี้จะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว จะเห็นว่าตลอดอายุการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง มีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการน้ำของมันสำปะหลัง โดยปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว เท่ากับ 587 มิลลิเมตร ซึ่งปริมาณความต้องการน้ำของมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ย 853 มิลลิเมตรต่อฤดูปลูก ดังนั้นผลผลิตหัวมันสดอาจลดลง เพราะน้ำจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังทั้งทางต้นและหัวและลำเลียงธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (Yongprayoon *et al.*, 2015) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 36.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.4 องศาเซลเซียส (Figure 1) ทั้งนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง อยู่ในช่วง 25–29 องศาเซลเซียส (Department of Agriculture, 2021)

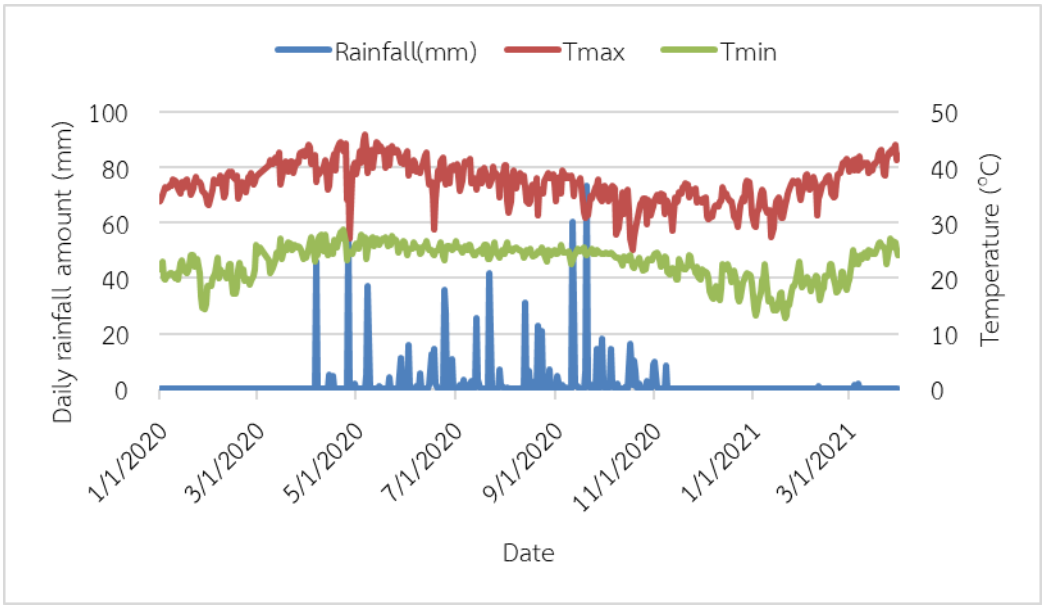

Figure 1 Daily rainfall and temperature from automatic weather station at Tambol Wang Chaphlu, Khanu Woralaksaburi district, Kamphaeng Phet province from January 2020 – March 2021.

ผลผลิตหัวสด องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพแป้ง และดัชนีการเก็บเกี่ยว

มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 53–106–24 และพันธุ์ระยอง 15 ให้ผลผลิตหัวสด องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพแป้ง และดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 15 ให้น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักเหง้าสด เฉลี่ย 2,839 และ 602 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 53-106-24 ให้น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักเหง้าสด เฉลี่ย 2,589 และ 565 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ขณะที่เปอร์เซ็นต์แป้ง พบว่า มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 53-106-24 ให้ปริมาณแป้งในหัวมากกว่าพันธุ์ระยอง 15 เฉลี่ย 27.30 เปอร์เซ็นต์ และ 26.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตราต่างกันไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติในน้ำหนักต้นสด น้ำหนักเหง้าสด และเปอร์เซ็นต์แป้ง และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และปุ๋ย แต่อัตราการใส่ปุ๋ยมีผลต่อผลผลิตหัวสด ผลผลิตแป้ง และดัชนีเก็บเกี่ยว โดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรืออัตราเพิ่มปุ๋ย

โพแทสเซียม 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตหัวสดต่อไร่ เฉลี่ยสูงสุด 5,129 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาเป็นการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 32 และ 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ให้ผลผลิตหัวสด เฉลี่ย 4,077 และ 3,603 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่า การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่สูงกว่าค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตหัวสดต่อไร่ เพิ่มขึ้น 13 ถึง 42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 1 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (กรรมวิธีควบคุม) เนื่องจากการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตมันสำปะหลัง (Adekayode and Adeola, 2009) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wilson and Ovid (1994) รายงานถึง การตอบสนองเชิงบวกของผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลัง เมื่อดินมีสภาพเป็นดินเหนียวและมีระดับธาตุโพแทสเซียมต่ำ (46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในหมู่เกาะเวสต์อินดีย์ การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 32 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ให้ผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้นสามเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย และ Jitkhamen *et al.,* (2021) รายงานว่า การปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ในดินร่วนปนทรายชุดดินวาริน ที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในระดับต่ำ (15.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พื้นที่จังหวัดนครราชสีมา พบว่า มันสำปะหลังมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ อัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่

จากผลการทดลองยังพบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ให้ผลผลิตแป้งสูงที่สุด 1,328 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ในอัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ คิดเป็น 37 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการให้ปุ๋ยในอัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (1 เท่าของ K ตามค่าวิเคราะห์ดิน) ดินยังคงมีธาตุโพแทสเซียมที่จำกัด เมื่อนำมาคำนวณเป็นผลผลิตแป้งต่อไร่ จึงทำให้ได้ผลผลิตแป้งที่ต่ำ (Havlin *et al*. 2013) เช่นเดียวกับดัชนีการเก็บเกี่ยว การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุด 0.59 สูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ และ 32 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ที่ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว ระหว่าง 0.52–0.56 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 5 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) ชี้ให้เห็นว่า ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสามารถเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้ปุ๋ยสูงกว่าคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 1 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่) ที่ปลูกในดินร่วนปนทราย มันสำปะหลังให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตแป้ง และดัชนีเก็บเกี่ยวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราต่าง ๆ ในระดับที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่มีประสิทธิภาพจะต้องใส่ในอัตราที่เหมาะสมตามสมบัติดินและลักษณะเฉพาะของพันธุ์มันสำปะหลัง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด หากใส่ปุ๋ยน้อยเกินไปอาจไม่พอเพียงต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช ขณะที่การใส่ปุ๋ยมากเกินไปก็อาจเกิดความเป็นพิษต่อพืชและเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมได้ รวมถึงเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้นอีกด้วย

Table 2 Yield and Yield components of cassava under different rates of potassium fertilizer in sandy loam soil at Kamphaeng Phet province

Treatments	Fresh stalk weight (kg/rai)	Fresh rhizome weight (kg/rai)	Fresh tuber yield (kg/rai)	Starch content (%)	Starch yield (kg/rai)	Harvest index
Variety (V)						
CMR 53–106–24	2,589±143	565±28	4,133±345	27.30±0.34	1,123±93	0.56±0.02
Rayong 15	2,839±143	602±33	4,407±324	26.36±0.76	1,155±82	0.56±0.01
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	14.1	22.9	27.0	8.0	20.0	8.0
Potassium fertilizer (F)						
16 kg K_2O/rai	2,636±210	537±34	3,603±379^{b}	27.10±0.91	970±105^{b}	0.52±0.02^{b}
24 kg K_2O/rai	2,948±112	634±38	5,129±229^{a}	26.03±0.58	1,328±43^{a}	0.59±0.01^{a}
32 kg K_2O/rai	2,558±185	580±36	4,077±407^{ab}	27.36±0.64	1,119±119^{ab}	0.56±0.01^{ab}
F-test	ns	ns	**	ns	*	*
CV (%)	17.3	12.8	20.4	7.4	5.3	8.0

Means ± SE within a column followed by the same letter is not significantly different based on Tukey' s honest significant difference test at $p \leq 0.05$; **, * and ns indicate $p \leq 0.01$, $p \leq 0.05$ and not significant, respectively

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ปุ๋ยในการผลิตมันสำปะหลัง

เมื่อพิจารณาถึงผลตอบแทนหลังหักค่าปุ๋ยในการผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในดินร่วนปนทราย อำเภอขาณุวรลักษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร พบว่า การปลูกมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 53–106–24 กับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือ 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลตอบแทนสูงที่สุดภายหลังหักค่าปุ๋ย เป็นเงิน 12,371 บาทต่อไร่ แต่เมื่อเพิ่มการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเป็นอัตรา 32 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลตอบแทนเป็นเงิน 9,800 บาทต่อไร่ หรือผลตอบแทนลดลง 5.3 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) ในทำนองเดียวกัน พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 15 กับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ระดับเพิ่มขึ้นเป็นอัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือ 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลตอบแทนเพิ่มขึ้น 36.2 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังหักค่าปุ๋ย เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือตามค่าวิเคราะห์ดิน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่เพิ่มขึ้นเป็น 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือ 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้ธาตุโพแทสเซียมในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นและเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของมันสำปะหลังทั้งสองพันธุ์ จึงส่งผลให้ได้ผลตอบแทนหลังหักค่าปุ๋ยสูงขึ้นไปด้วย แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้นจนเกินความต้องการของพืช กลับเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้น จึงทำให้การใส่ปุ๋ยในอัตรา 32 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือ 2 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินในมันสำปะหลังทั้งสองพันธุ์ให้ผลตอบแทนลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง การลดต้นทุนการผลิตและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแล้ว สามารถแนะนำได้ว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือ 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินเป็นระดับการใส่ปุ๋ยที่เพียงพอและมีความเหมาะสมต่อผลตอบแทนที่ได้รับในการผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในดินร่วนปนทราย

Table 3 Economic return of cassava under different rates of potassium fertilizer in sandy loam soil at Kamphaeng Phet province

Variety	Potassium fertilizer (kg K_2O/rai)	Fertilizer cost (THB/rai)	Fresh tuber yield (kg/rai)	Income (THB/rai)	Economic return over fertilizer cost (THB/rai)	Increasing (%)
CMR 53–106–24	16	748	3,687	9,033	12.1	-
	24	911	5,050	12,371	13.6	38.3%
	32	1,074	4,000	9,800	9.1	5.3%
Rayong 15	16	748	3,857	9,450	12.6	-
	24	911	5,209	12,762	14.0	36.2%
	32	1,074	4,154	10,177	9.5	4.6%

Fertilizer price in June 2020: 46–0–0 (9.87 Baht/kg), 18–46–0 (14.87 Baht/kg), 0–0–60 (12.22 Baht/kg) and yield price: 2.45 Baht/kg. Nitrogen and phosphate fertilizer were applied at 16 kg N/rai and 8 kg P_2O_5/rai, respectively.

Source: Office of Agricultural Economics (2020)

สรุป

การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในการผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ดินร่วนปนทราย อำเภอขาณุวรลักษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร ที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (24.1–29.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สามารถสรุปได้ว่า มันสำปะหลังทั้งสองพันธุ์ คือ สายพันธุ์ CMR 53–106–24 และพันธุ์ระยอง 15 ให้ผลผลิตหัวสด องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพแป้ง และดัชนีการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกัน การปลูกมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์กับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ หรือ 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน เป็นกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ดินร่วนปนทราย เนื่องจากให้ผลผลิตที่สูงและให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าแก่การลงทุน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ทุนสนับสนุนมูลฐาน (fundamental fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และได้รับการสนับสนุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์ และยานพาหนะสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานวิจัยจากกรมวิชาการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

Adekayode, F. O. and O. F. Adeola. 2009. The response of cassava to potassium fertilizer treatments. Int. j. agric. env. sci. 7:279–82.

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

Department of Agriculture. 2001. Soil and plant analysis manual. Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai).

Department of Agriculture. 2019. Manual for data collection on field crops and renewable energy crops.. Field and renewable energy crops research institute, Department of agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai).

Department of Agriculture. 2020. Research papers of field and renewable energy crops 2020. Field and renewable energy crops research institute, Department of agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai).

Department of Agriculture. 2021. Recommendations for the use of fertilizers based on soil analysis values for economic field crops. Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai).

Havlin, J. L., S. L. Tisdale, W. L. Nelson and J. D. Beaton. 2013. Soil fertility and fertilizer: An introduction to nutrient management. 8th ed. Upper Saddle, NJ, USA: earson Prentice Hall Inc.

Hinthong, Y. and P. Banterng. 2012. Growth rate and yield of cassava in different planting dates. Khon Kaen Agr. J. 40 Supplement: 394-398. (in Thai)

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

Howeler, R. H. 2002. Cassava mineral nutrition and fertilization. In R.J. Hillocks, J.M. Thresh and A.C. Bellotti (Eds.),Cassava: Biology, Production and Utilization (pp. 115-147). CAB international.

Jitkhamen, S., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and M. Phun-iam. 2021. Response of cassava, Huay Bong 80 variety, to potassium fertilizer in Warin soil series amended with cassava tails and stalk for 2 consecutive years. Agricultural Sci. J. 52(2): 164-184. (in Thai)

Kunlanit, B. and W. Sriboonrote. 2017. Fertilizer management on growth, yield and economic return of rice cv. Khao Dawk Mali 105 production. Prawarun Agr. J.14:61-70. (in Thai)

Land Development Department. 1980. Manual for classifying land suitability for economic crops, Volume 28. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai).

Land Development Department. 2015. State of soil and land resources of Thailand. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai).

Lenis, J. I., F. Calle, G. Jaramillo, J. C. Prerez, H. Ceballos, and J. H. Cock. 2006. Leaf retention and cassava productivity. Field Crops Res. 95 (2–3):126–34.

Malipan, A. and T. Sittinam. 2011. Effect of harvesting times after stem cutting on yield and starch of 4 cassava (Mahihot esculenta Crantz) cultivars in Red-brown clayey loam soil in Lopburi province. Thai Agric. Res J. 29: 131-146. (in Thai)

Masari, A., W. Thanomsub, J. Phoomthaisong and C. Phruetthithep. 2007. Yield and starch qualities of 4 cassava varieties on Roiet soil series in Uthaithani province. Khon Kaen Agr. J. 35 Supplement: 57-63. (in Thai)

Office of Agricultural Economics. 2020. Monthly retail price of chemical fertilizers. Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. https://www.oae.go.th/, 29 January 2024. (in Thai)

Office of Agricultural Economics. 2023. Agricultural economic information by product for the year 2022. Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)

Office of the Royal Society. 2019. Dictionary of soil science. Bangkok. (in Thai).

Pongsivapai, P., C. Thongjoo, J. Romkaew and T. Inboonchuay. 2016. Effect of fertilizer management in combination with soil conditioner on yield of cassava cultivated on coarse-textured soil in Thailand. Mod. Appl. Sci.10:239-247.

Ratanasriwong, S., V. Sarawat, W. Sasiprapa, N. Wanasai and S. Somkid. 2010. Application of cassava model for assessment of site specific technology. Thai Agric. Res J. 28:144-156. (in Thai)

Trakoonyingcharoen, P. 2022. Potassium for plant growth. Thai Journal of soil and fertilizers. 43:10-27. (in Thai)

Wilson, H. and A. Ovid. 1994. Influence of fertilizers on cassava production under rainfed conditions. J. Plant Nutr. 17(7): 1127-1135.

Yongprayoon, P., P. Kongsil, N. Pummee and P. Tongpitak. 2015. Growth of cassava Kasetsart 50 variety in drought area of Kanchanaburi province. Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics. 523-530. The Thailand Research Fund, Bangkok (in Thai).