KHON KAEN AGR. J. 48 (6): 1254-1265 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020.111.

การตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยเคมีในชุดดินยโสธรที่ถูกปรับปรุงด้วยกากแป้งมันสำปะหลังและหินปูนบดต่อเนื่อง 5 ปี

Response of cassava to chemical fertilizer in Yasothon soil series amended with cassava starch waste and ground limestone for 5 consecutive years

วรรณภา เสนาชัย[1], สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม[1*], ศุภิฌา ธนะจิตต์[1] และเอิบ เขียวรื่นรมณ์[1]

Wannapa Senachai[1], Somchai Anusontpornperm[1*], Suphicha Thanachit[1] and Irb Kheoruenromne[1]

บทคัดย่อ: ศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ต่อปุ๋ยเคมีในชุดดินยโสธรที่ปรับปรุงด้วยกากแป้งมันสำปะหลังและหินปูนบดต่อเนื่องเป็นเวลา 5 ปีในแปลงเกษตรกร จ.นครราชสีมา วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 4 ซ้ำ แปลงหลักเป็นวัสดุปรับปรุงดิน 8 ตำรับการทดลอง ส่วนแปลงรองเป็นปุ๋ยเคมี 4 อัตรา การใส่วัสดุปรับปรุงดินทั้งหมดทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งสูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 1,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 3.92 และ 0.94 ตัน/ไร่ตามลำดับ มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยเคมีอัตรา 32:16:32 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ ดีที่สุดโดยให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และแป้งสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.83 และ 0.88 ตัน/ไร่ตามลำดับแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับอัตราแนะนำ (16:8:16 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่) ทั้งนี้ ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปรับปรุงดินกับอัตราของปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง โดยการใส่กากแป้งอัตรา 500 กก./ไร่ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ และปุ๋ยเคมีอัตรา 32:16:32 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดเท่ากับ 4.55 ตัน/ไร่ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่น นอกจากนี้ ตำรับการทดลองเกือบทั้งหมดที่มีการใส่กากแป้งมันสำปะหลังทุกอัตราโดยเฉพาะที่ใส่ร่วมกับหินปูนบดส่งผลให้ดินที่ระดับความลึก 0-15, 15-30 และ 30-45 ซม. มีค่าพีเอช ปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น การปลูกมันสำปะหลังในชุดดินยโสธรควรมีการปรับปรุงดินด้วยกากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 1,000 กก./ไร่ และหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ ต่อเนื่องร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 16:8:16 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุดและช่วยให้คุณภาพดินดีขึ้น

คำสำคัญ: กากแป้งมันสำปะหลัง, หินปูนบด, วัสดุปรับปรุงดิน ปุ๋ยเคมี, มันสำปะหลัง

Received April 13, 2020

Accepted June 5, 2020

1 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

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

* Corresponding author: agrsca@ku.ac.th

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6: 1254-1265 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.111.

ABSTRACT: The response of cassava, Huay Bong 80 variety, to chemical fertilizer in Yasothon soil series amended with cassava starch waste and ground limestone for five consecutive years was carried out in a farmer field, Nakhon Ratchasima province. Experimental design was arranged in split plot with four replications. Main plot consisted of eight treatments of soil amendment, while subplot comprising four rates of chemical fertilizer. Result revealed that the application of all soil amendments significantly resulted in greater fresh tuber yield and starch yield than did the control plot with no addition of which the application of cassava starch waste at the rate of 2,000 kg/rai together with 200 kg/rai of ground limestone gave the highest amounts of 3.92 and 0.94 t/rai, respectively. Cassava significantly responded best to 32:16:32 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O chemical fertilizer, producing the highest fresh tuber yield and starch yield of 3.83 and 0.88 t/rai, respectively, but with no statistical difference to that of the recommended rate (16:8:16 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O). Nonetheless, there was no interactive effect between soil amendment and rate of chemical fertilizer on cassava yield of which combined application between 500 kg/rai of cassava starch waste and 200 kg/rai of ground limestone along with 32:16:32 kg/rai of N:P_2O_5:K_2O chemical fertilizer gave the highest fresh tuber yield of 4.55 t/rai but with no statistical difference to other treatment combinations. In addition, almost all treatments involving cassava starch waste at all rates, especially with ground limestone, significantly resulted in greater soil pH, total nitrogen, available phosphorus and potassium in soil at 0-15, 15-30 and 30-45 cm depths than did the control plot. Thus, growing cassava in Yasothon soil series should continuously be applying cassava starch waste at the rate of 1,000 kg/rai and ground limestone at the rate of 200 kg/rai together with chemical fertilizer at the rate of 16:8:16 kg N:P_2O_5:K_2O/rai which is economical sound and can improve soil quality.
Keywords: cassava starch waste, ground limestone, soil amendment, chemical fertilizer, cassava

บทนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกอันดับ 1 ของโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ถึงแม้ว่ามันสำปะหลังจะเป็นพืชที่ทนแล้งและปรับตัวได้ดีในเกือบทุกสภาพแวดล้อม (Howeler, 2014) แต่ผลผลิตเฉลี่ยมันสำปะหลังของประเทศไทยต่ำกว่าศักยภาพของพันธุ์ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการจัดการที่ไม่เหมาะสม ประกอบกับดินที่ใช้ปลูกส่วนใหญ่เป็นกลุ่มดินหลัก Paleustults ที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบ ได้แก่ ชุดดินโคราช วาริน ยโสธร และสตึก (สมพงษ์ และ อนุชิต, 2547; Duangpatra, 1988) ดินเป็นกรดจัด มักมีความอุดมสมบูรณ์ ปริมาณอินทรียวัตถุ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ สามารถอุ้มน้ำและดูดจับธาตุอาหารได้ต่ำ ทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากเขตรากพืชได้อย่างรวดเร็ว เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการกร่อนดิน และพบปัญหาชั้นดานไถพรวน (เอกราช และคณะ, 2553; Anusontpornperm et al., 2009; 2015) การรักษาระดับผลผลิตให้คงเดิมหรือเพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมี และการจัดการที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการให้ผลผลิต (Howeler, 1991) การศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การใช้วัสดุปรับปรุงดินหลาย ๆ ชนิด เช่น มูลไก่แกลบ (สัมฤทธิ์ และคณะ, 2553; Phuniam et al., 2012; Plengsuntia et al., 2012; Nilnoree et al., 2016) หินปูนบดโดโลไมต์ เบนทอไนต์ ยิปซัม และเพอร์ไลต์ (Kanjana et al., 2012; Lunlio et al., 2017) แกลบเผา (Kerdchana et al., 2014) เปลือกดินมันสำปะหลัง และไบโอชาร์ (Yimnoi et al., 2014; Sriket et al., 2015) และกากแป้งมันสำปะหลัง (Phun-iam et al., 2018) สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตให้แก่มันสำปะหลังได้ในระดับหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกโดยไม่มีการใช้วัสดุปรับปรุงดิน

หินปูนบดเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและใช้แก้ไขความเป็นกรดของดินโดยทั่วไป มักมีแคลเซียมเป็น

องค์ประกอบหลัก และมีแมกนีเซียมอยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งจะส่งเสริมให้เม็ดดินเกาะตัวกัน จึงทำให้ดินร่วนซุยและมีโครงสร้างที่ดีขึ้น (ปิยะ, 2553; Brady and Weil, 2016) Kanjana et al. (2012) ทำการใส่หินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ในชุดดินยโสธร ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งสูงสุดเท่ากับ 3.92 และ 1.20 ตัน/ไร่ตามลำดับ เรณู และอัศจรรย์ (2551) รายงานว่า การใส่หินปูนบดในอัตรา 50-200 กก./ไร่จะเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้ 1-2 ตัน/ไร่ แต่เมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีผลผลิตจะเพิ่มขึ้นถึง 2-4 ตัน/ไร่ Yimnoi et al. (2014) พบว่า การใส่เปลือกล้างมันสำปะหลัง และโดโลไมต์ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50-100 กก./ไร่ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสูงที่สุดเท่ากันและสูงกว่าตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน หินปูนบด และวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังยังช่วยทำให้ดินมีเม็ดดินเสถียรน้ำเพิ่มขึ้น (พุทธรักษา และคณะ, 2560) การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 2,000 กก./ไร่ร่วมกับการใส่หินปูนบดทำให้ได้ผลผลิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 3.39 ตัน/ไร่ เนื่องจากวัสดุอินทรีย์ที่ใช้มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูง เมื่อใส่ลงไปในดินจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดจับธาตุอาหารพืชและกักเก็บความชื้น อีกทั้งทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีและร่วนซุย (Komariah et al., 2008; Okonkwo et al., 2011) ขณะที่ แคลเซียมที่มีอยู่มากในหินปูนบด ซึ่งมีส่วนช่วยในการทำให้เม็ดดินเกิดการจับตัวเป็นก้อน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย รากพืชสามารถชอนไชหาอาหารและน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปผลของวัสดุปรับปรุงดินเหล่านี้มักจะส่งผลชัดเจนขึ้นเมื่อใส่ต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ปี (พุทธรักษา และคณะ, 2560) การศึกษานี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ปีเพื่อตรวจสอบผลสะสมของกากแป้งมันสำปะหลัง และหินปูนบด โดยทำการทดสอบร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่าง ๆ ต่อมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินยโสธร รวมถึงผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองในพื้นที่แปลงปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร บ้านดงกระสังข์ ตำบลตะเคียน อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ในชุดดินยโสธร (Yasothon Soil Series) จำแนกในระบบอนุกรมวิธานดินได้เป็น Typic Paleustults ดินนี้เป็นดินเป็นกรดจัดและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 4 ซ้ำ แปลงหลักประกอบด้วยตำรับควบคุมไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน (T1) ตำรับที่เหลือทำการใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 500, 1,000 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T2, T3 และ T4 ตามลำดับ) หินปูนบดอัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ (T5) และกากแป้งมันสำปะหลังทุกอัตราร่วมกับการใส่หินปูนบด 200 กิโลกรัมต่อไร่ (T6, T7 และ T8 ตามลำดับ) โดยสมบัติและองค์ประกอบของวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้แสดงใน **Table 1** แปลงรองเป็นการทดสอบปุ๋ยเคมี 4 อัตรา ได้แก่ F0 = 0:0:0; F1 = 8:4:8; F2= 16:8:16 (อัตราแนะนำ) และ F3 = 32:16:32 กก. $N:P_2O_5:K_2O$/ไร่

การใส่วัสดุปรับปรุงดินตามตำรับการทดลองดำเนินการโดยหว่านทั่วแปลงหลักก่อนไถกลบด้วยไถจานผาล 3 ทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงทำการพรวนดินด้วยไถจานผาล 7 ก่อนทำการยกร่องขวางความลาดเทโดยใช้ระยะห่างระหว่างร่องเท่ากับ 120 ซม. ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 บนสันร่องโดยใช้ระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 80 ซม. ใส่ปุ๋ยเคมีตามตำรับการทดลองเมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือน โดยขุดหลุมใส่บนสันร่องระหว่างต้นมันสำปะหลังพร้อมกลบปุ๋ย เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุ 10 เดือน ทำการบันทึกน้ำหนักผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน (เหง้า ต้น และกิ่งก้านใบ) และร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังโดยใช้เครื่อง Reimann scale

การเก็บตัวอย่างดิน ประกอยด้วย 1) ก่อนทำการทดลองในปีแรกแบบ composite sample ที่ 2 ระดับความลึกได้แก่ ดินบนซึ่งมีความลึกประมาณ 0-30 ซม. และดินล่างที่ระดับความลึก 30-60 ซม. เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติดินก่อนทำการทดลอง และ 2) เก็บตัวอย่างดินจากแปลงหลักในช่วงการเก็บเกี่ยวในปีที่ 5 ที่ 3 ระดับ คือ 0-15, 15-30 และ 30-45 ซม. เพื่อ

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6: 1254-1265 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.111.

นำมาวิเคราะห์สมบัติดินสำหรับการศึกษาผลสะสมของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน ประกอบด้วยพีเอชดิน (National Soil Survey Center, 1996) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (Walkley and Black, 1934; Nelson and Sommers, 1996) ไนโตรเจนรวม (Bremner, 1996) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Pratt, 1965) ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS version 22 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองโดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะและสมบัติดินในพื้นที่ทดลอง

ดินตัวแทนพื้นที่ทดลองเป็นชุดดินยโสธร จำแนกในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Typic Paleustult (Soil Survey Division Staff, 2014) ดินนี้เป็นดินลึก มีเนื้อดินเป็นทรายร่วนตลอดหน้าตัดดิน มีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงปานกลาง โดยดินชั้นไถพรวนมีสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวอยู่ในระดับเร็ว แสดงให้เห็นว่าน้ำซึมลงในแนวดิ่งได้เร็วซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดปัญหาการขาดน้ำในช่วงฤดูปลูก ผลการวิเคราะห์ดินทำการทดลอง แสดงไว้ใน Table 2

Table 1 Properties of cassava starch waste and ground limestone

Property	CSW	GL	Property	CSW	GL
pH (1:5 H_2O)	5.8	8.9	Total Ca (g/kg)	5.6	359
Electrical conductivity (dS/m, 1:5 H_2O)	0.62	0.07	Total Mg (g/kg)	1.4	53.6
Organic carbon (g/kg)	433	1.0	Total Zn (mg/kg)	21	170
Cation exchange capacity ($cmol_c$/kg)	0.62	nd*	Total Fe (mg/kg)	71	0.41
Total N (g/kg)	3.5	0.1	Total Cu (mg/kg)	0.44	217
Total P (g/kg)	0.94	3.7	Total Mn (mg/kg)	1.4	nd**
Total K (g/kg)	2.8	0.3			

nd* = not detected; nd** = non-detectable; CSW = cassava starch waste; GL = ground limestone.

Table 2 Properties of soil prior to conducting the experiment in the first year.

Soil property	Topsoil (0-30 cm)	Subsoil (30-60 cm)
pH_w (1:1)	5.74	5.07
Organic matter (g/kg)	3.46	3.13
Cation exchange capacity ($cmol_c$/kg)	2.00	2.30
Total N (g/kg)	0.16	0.16
Available P (mg/kg)	3.22	2.03
Available K (mg/kg)	34.1	15.1
Extractable Ca ($cmol_c$/kg)	0.66	1.05
Extractable Mg ($cmol_c$/kg)	2.32	0.39
Extractable Na ($cmol_c$/kg)	0.41	0.26

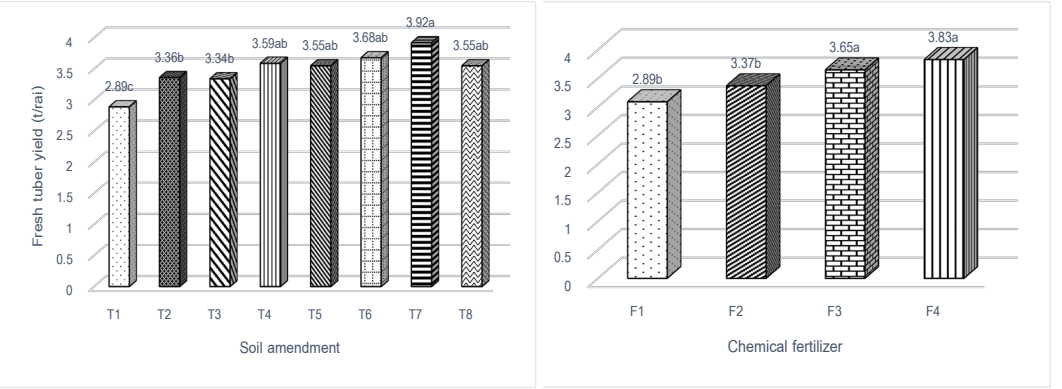
การตอบสนองของมันสำปะหลังต่อกากแป้งมันสำปะหลัง และหินปูนบด

การใส่กากแป้งมันสำปะหลังและหินปูนบดในอัตราต่าง ๆ ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 ปีส่งผลทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเพิ่มสูงขึ้นกว่าตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน (Figure 1) การใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 1,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบด 200 กก./ไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งสูงสุดเท่ากับ 3.92 และ 0.94 ตัน/ไร่ ตามลำดับแต่ไม่แตกต่างกับการใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และหินปูนบด 200 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว การใส่กากแป้งมันสำปะหลังร่วมกับหินปูนบดทั้ง 2 อัตรา โดยตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดินมาโดยตลอดให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่ำที่สุดเท่ากับ 2.89 ตัน/ไร่ (Figure 1a) วัสดุปรับปรุงดินไม่มีผลทำให้ร้อยละการสะสมแป้งแตกต่างกัน (Table 3) สำหรับผลผลิตแป้งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (Table 3) ในกรณีของชีวมวลส่วนเหนือดิน การใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 2,000 กก./ไร่ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ทำให้ได้ค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 2.79 ตัน/ไร่

มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยเคมีชัดเจนทั้งในด้านผลผลิตและองค์ประกอบพืช การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 32:16:32 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ ส่งผลให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดเท่ากับ 3.83 ตัน/ไร่ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 16:8:16 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ ซึ่งให้ผลผลิตในส่วนนี้เท่ากับ 3.65 ตัน/ไร่ (Figure 1b) ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 8:4:8 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ซึ่งเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำกลับให้ผลไม่แตกต่างกับตำรับควบคุมโดยให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเท่ากับ 3.37 และ 3.09 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ในกรณีของผลผลิตแป้งก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (Table 3) ทั้งนี้ ปุ๋ยเคมีที่ใส่ในอัตราแตกต่างกันไม่ทำให้ร้อยละการสะสมแป้งแตกต่างกัน นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 16:8:16 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ยังทำให้ได้ชีวมวลส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 2.76 ตัน/ไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี 2 เท่าของอัตราดังกล่าว การปลูกมันสำปะหลังโดยไม่ใส่ปุ๋ยเคมีเลยให้น้ำหนักลำต้นน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.58 ตัน/ไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีในทุกตำรับการทดลองให้น้ำหนักลำต้นอยู่ในพิสัย 0.67-0.75 ตัน/ไร่ (Table 3) อย่างไรก็ตาม ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปรับปรุงดินกับปุ๋ยเคมี โดยการใส่การใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 500 กก./ไร่และหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 32:16:32 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และผลผลิตแป้งสูงสุดเท่ากับ 4.55 และ 1.07 ตัน/ไร่ ตามลำดับโดยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่น

การใช้กากแป้งมันสำปะหลังเพื่อปรับปรุงดินส่งผลดีต่อการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังโดยเฉพาะเมื่อใส่ในอัตราสูงตั้งแต่ 2 ตันต่อไร่ขึ้นไปในชุดดินโคราช (Phun-iam et al., 2018) การใส่ในปริมาณน้อยให้ผลไม่ชัดเจนเท่าดังผลการศึกษาในชุดดินสตึก (พรชัย และคณะ, 2560) เนื่องจาก กากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณธาตุอาหารน้อย และมีความชื้นค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับมูลสัตว์อื่น ๆ การใส่หินปูนบดในปริมาณ 200 กก./ไร่ ช่วยเพิ่มผลผลิตได้ในระดับหนึ่งโดยเฉพาะในดินยโสธรเมื่อมีการใส่ต่อเนื่องเป็นเวลา 1-3 ปี (จีรวรรณ และคณะ, 2555; Kanjana et al., 2012) อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาที่พบว่าการใส่เศษเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้ร่วมกับกับวัสดุปูนมักจะให้ผลดีกว่า (พรชัย และคณะ, 2560; ยศ และคณะ, 2560; Yimnoi et al., 2514) ผลการศึกษาในพื้นที่เดียวกัน พบว่า ไม่ส่งผลชัดเจนในปีแรก แต่เมื่อใส่ต่อเนื่อง 2 ปี การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 2,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบดทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.39 ตัน/ไร่ (พุทธรักษา และคณะ, 2560) ซึ่งการศึกษานี้ก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากกากแป้งมันสำปะหลังช่วยให้อินทรียวัตถุแก่ดินโดยจะไปช่วยปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดินนี้ซึ่งมีปัญหาแน่นทึบได้ง่ายให้ดีขึ้น (เอกราช และคณะ, 2553; สัมฤทธิ์ และคณะ, 2553; Anusontpornperm et al., 2009) รวมถึงให้ธาตุอาหารบางส่วนโดยเฉพาะในกลุ่มจุลธาตุอาหาร (Table 1) ขณะที่หินปูนบดมีส่วนช่วยในเพิ่มพีเอชดิน ซึ่งชุดดินยโสธรที่เป็นดินตัวแทนพื้นที่ทดลองเป็นดินที่เป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้ธาตุอาหารต่าง ๆ เป็นประโยชน์มากขึ้น และยังให้แคลเซียม และแมกนีเซียมซึ่งมีอยู่น้อยในดินนี้ให้กับพืชปลูก

สำหรับการตอบสนองต่อปุ๋ยเคมี จะเห็นได้ว่า การปลูกมันสำปะหลังในดินนี้โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีจะให้ผลผลิตต่ำมากและการใส่เพียงครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำ (Sittibusaya, 1996) ไม่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้ชัดเจน การใส่ตามอัตราแนะนำยังคงให้ผลดีถึงแม้ว่าจะได้ผลผลิตน้อยกว่าการใส่ในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ แต่ในกรณีหลังปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจะไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนั้น การใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำจึงเหมาะสมที่สุด



(a) (b)

Figure 1 Effect of soil amendments (a) and chemical fertilizer (b) on fresh tuber yield of cassava grown in Yasothon soil series

T1= no soil amendment application; T2 = CSW 500 kg/rai; T3 = 1,000 kg/rai; T4 = 2,000 kg/rai; T5 = GL 200 kg/rai; T6= CSW 500 kg/rai + GL 200 kg/rai; T7 = CSW 1,000 kg/rai + GL 200 kg rai^{-1}; T8 = CSW 2,000 kg/rai + GL 200 kg/rai

F0= 0:0:0 kg N:P_2O_5:K_2O/rai; F1 = 8:4:8 kg N:P_2O_5:K_2O/rai; F2 = 16:8:16 kg N:P_2O_5:K_2O/rai; F3 = 32:16:32 kg N:P_2O_5:K_2O/rai

CSW = cassava starch waste; GL = ground limestone

ผลสะสมของของกากแป้งมันสำปะหลัง และหินปูนบดต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

การใส่กากแป้งมันสำปะหลังและหินปูนบดต่อเนื่องเป็นเวลา 5 ปีส่งผลทำให้สมบัติทางเคมีของดินที่ 3 ระดับความลึกได้แก่ 0-15, 15-30 และ 30-45 ซม. เปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน ดังนี้ พีเอชดิน การใส่หินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ ต่อเนื่องส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของพีเอชดินทั้ง 3 ระดับความลึกอย่างชัดเจน โดยตำรับที่มีการใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียว และที่ใส่ร่วมกับกากแป้งมันสำปะหลัง (T5-T8) มีค่าพีเอชสูงกว่าตำรับการทดลองที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 5.65-6.09, 5.77-6.21 และ 5.90-6.16 ในดินที่ระดับความลึก 0-15, 15-30 และ 30-45 ซม. ตามลำดับ ทั้งนี้ การใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 2,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ ดินจะมีค่าพีเอชสูงสุดทั้ง 3 ระดับความลึก (Figure 2a)

ปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่า มีความแตกต่างที่ระดับความลึก 0-15 และ 30-45 ซม. โดยที่ระดับความลึก 0-15 ซม. การใส่หินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ต่อเนื่องทำให้ดินมีอินทรียวัตถุลงเหลืออยู่น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.15 ก./กก. ส่วนตำรับการทดลองที่เหลือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนที่ความลึก 30-45 ซม. การใส่หินปูนบดเพียงอย่างเดียวยังคงให้ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (3.15 ก./กก.) ส่วนตำรับการทดลองที่มีการใส่กากแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุหลงเหลืออยู่มากกว่าเล็กน้อย (Figure 2b) อย่างไรก็ตาม ปริมาณอินทรียวัตถุในทุกตำรับการทดลองที่ทุกระดับความลึกยังคงพบอยู่ในระดับต่ำมาก

Table 3 Effect soil amendments and chemical fertilizer on plant parameters of cassava grown in Yasothon soil series

Treatment	Starch content	Starch yield	Aboveground biomass	Leaf and branch	Stem	Stem base
	(%)	(----------t/rai----------)				
Main plot: soil amendment						
T1	23.18	0.66^{c}	2.18^{b}	1.09	0.56^{d}	0.52^{c}
T2	22.91	0.77^{bc}	2.76^{a}	1.42	0.70^{abc}	0.63^{ab}
T3	23.24	0.77^{bc}	2.36^{b}	1.20	0.65^{bcd}	0.50^{c}
T4	22.39	0.80^{b}	2.50^{ab}	1.13	0.75^{ab}	0.60^{abc}
T5	23.79	0.84^{ab}	2.52^{ab}	1.25	0.73^{abc}	0.54^{bc}
T6	23.63	0.87^{ab}	2.45^{ab}	1.23	0.68^{a-d}	0.53^{c}
T7	24.13	0.94^{a}	2.18^{b}	1.07	0.62^{cd}	0.49^{c}
T8	22.78	0.81^{b}	2.79^{a}	1.32	0.79^{a}	0.67^{a}
F-test	ns	**	**	ns	**	**
Subplot: chemical fertilizer						
F0	23.43	0.72^{c}	2.13^{c}	1.05^{c}	0.58^{c}	0.50^{c}
F1	23.20	0.78^{bc}	2.38^{bc}	1.17^{bc}	0.67^{b}	0.54^{bc}
F2	23.28	0.85^{ab}	2.76^{a}	1.36^{a}	0.75^{a}	0.64^{a}
F3	23.12	0.88^{a}	2.60^{ab}	1.27^{ab}	0.75^{ab}	0.58^{ab}
F-test	ns	**	**	**	**	**
%CV	8.6	18.6	20.5	27.7	24.2	24.4

ns = not significant; ** significantly different at 0.01 probability level; means with different superscript lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.
There are some interactions between soil amendment and chemical fertilizer in starch content and number of stems but irrelevant to treatments, thus results of the combination are not shown in the table
T1= no soil amendment application; T2 = CSW 500 kg/rai; T3 = CSW 1,000 kg/rai; T4 = CSW 2,000 kg/rai; T5 = GL 200 kg/rai; T6= CSW 500 kg/rai + GL 200 kg/rai; T7 = CSW 1,000 kg/rai + GL 200 kg rai^{-1}; T8 = CSW 2,000 kg/rai + GL 200 kg/rai
F0= 0:0:0 kg N:P_2O_5:K_2O/rai; F1 = 8:4:8 kg N:P_2O_5:K_2O/rai; F2 = 16:8:16 kg N:P_2O_5:K_2O/rai; F3 = 32:16:32 kg N:P_2O_5:K_2O/rai
CSW = cassava starch waste; GL = ground limestone

ปริมาณไนโตรเจนรวมทั้ง 3 ระดับความลึกมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 2,000 กก./ไร่ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ ทำให้ดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 30-45 ซม. มีปริมาณไนโตรเจนรวมหลงเหลืออยู่สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 0.36 และ 0.32 ก./กก ตามลำดับ ขณะที่ระดับความลึก 15-30 ซม. การใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 500-2,000 กก./ไร่ มีปริมาณไนโตรเจนหลงเหลือในดินสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 0.34 ก./กก และตำรับที่ใส่หินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่เพียงอย่างเดียว มีปริมาณหลงเหลืออยู่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.20 ก./กก ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่ระดับความลึก 30-45 ซม. (**Figure 2c**) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนรวมในทุกตำรับการทดลองที่ทุกระดับความลึกยังคงพบอยู่ในระดับต่ำมาก

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า การใส่วัสดุปรับปรุงดินมีผลเชิงบวกต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุนี้ในดินในทั้ง 3 ระดับความลึก โดยการใส่กากแป้งมันสำปะหลังที่อัตรา 2,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบด 200 กก./ไร่ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลงเหลือในดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 30-45 ซม. สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 10.52 และ 6.45 มก./กก. ตามลำดับ การใส่หินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่เพียงอย่างเดียทำให้ดินที่ระดับความลึก 15-30 ซม. มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลงเหลืออยู่สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 14.07 ก./กก แต่ไม่แตกต่างกันกับการใส่ร่วมกากแป้งมันสำปะหลังที่อัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่ระดับความลึก 15-30 ซม. (12.90 มก./กก.) ขณะที่ตำรับควบคุมมีอยู่ในระดับต่ำทั้ง 3 ระดับความลึกโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 4.93-4.86 มก./กก. (**Figure 2d**) ส่วนตำรับที่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดินมีค่าอยู่ในระดับต่ำปานกลางถึงปานกลาง

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 500 กก./ไร่ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์หลงเหลืออยู่ในดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 40.03 มก./กก. ส่วนที่ระดับความลึก 30-45 ซม. ปริมาณสูงสุดพบในตำรับการทดลองที่มีการใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 1,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ (27.21 มก./กก.) เป็นที่น่าสังเกตว่า การใส่แต่หินปูนบดต่อเนื่องมีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินหลงเหลืออยู่น้อยกว่า โดยพบค่าต่ำสุด (18.31 มก./กก.) ที่ระดับความลึก 15-30 ซม. และเกือบจะต่ำสุด (16.75 มก./กก.) ที่ระดับความลึก 30-45 ซม. (**Figure 2e**) ทั้งนี้ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในเกือบทุกตำรับการทดลองยังคงมีอยู่ในระดับต่ำมาก ส่วนปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองและในทุกระดับความลึกยังคงอยู่ในระดับต่ำมาก

สมบัติทางเคมีของดินที่ 3 ระดับความลึกหลังมีการใส่วัสดุปรับปรุงดินต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ปี แสดงให้เห็นว่า การใส่หินปูนบดร่วมส่งผลทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเป็นกรดปานกลางค่อนไปทางเป็นกรดเล็กน้อยโดยเฉพาะที่ระดับความลึก 15-45 ซม. ซึ่งปกติการใส่วัสดุปูนในปริมาณ 100-200 กก./ไร่เพียง 1-2 ปี จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินในกลุ่มนี้ (พรชัย และคณะ, 2560; Yimnoi et al., 2014) ขณะที่การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง และตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดินมีแนวโน้มเป็นกรดมากกว่าอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกรณีของตำรับควบคุมที่ดินมีพีเอชเป็นกรดจัดมากทั้ง 3 ระดับความลึกซึ่งจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน หรือการจัดการปุ๋ยโดยเฉพาะในกรณีของฟอสฟอรัสที่จะถูกตรึงได้ง่ายโดยเหล็กและอะลูมิเนียมในสภาพที่ดินมีพีเอชต่ำกว่า 6 (Havlin et al., 2013; Brady and Weil, 2016) สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุซึ่งการใส่กากแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุหลงเหลืออยู่มากกว่าเล็กน้อย ถึงแม้ว่าเศษเหลือนี้จะมีอินทรีย์คาร์บอนสูงถึง 433 ก./กก. แต่เนื่องจากชุดดินยโสธรในพื้นที่ทดลองเป็นดินเขตร้อนเนื้อค่อนข้างหยาบ ดินมีการระบายน้ำดี และพบในสภาพที่ดอนจึงส่งเสริมให้เกิดการสลายตัวของอินทรียวัตถุได้อย่างรวดเร็ว (Virgo and Holmes, 1977; Sanchez, 2019) การไถพรวนทุกปียังส่งเสริมให้อินทรียวัตถุสลายตัวได้ดียิ่งขึ้นด้วย (Yan et al., 2007) ทั้งนี้รวมถึงการสูญหายไปกับการชะละลาย (Musyoka et al., 2019) ซึ่งในกรณีของไนโตรเจนรวมก็จะคล้ายคลึงกัน โดยบางส่วนที่เพิ่มขึ้นจะมาจากการสลายตัวของกากแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีไนโตรเจนเป็นเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 3.5 ก./กก. และอินทรียวัตถุในดิน เป็นที่น่าสังเกตว่า การใส่วัสดุปรับปรุงดินต่อเนื่องเป็นเวลา 5 ปีส่งเสริมให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น

สาเหตุหลักไม่น่ามาจากปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในวัสดุปรับปรุงดินเนื่องจากมีอยู่เพียงเล็กน้อย แต่การเพิ่มขึ้นของพีเอชโดยเฉพาะการใส่หินปูนบดร่วมเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้ฟอสฟอรัสในดินสีแดงเปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น ทั้งนี้เพราะว่า วัสดุปูนจะไปช่วยทำให้เกิดการตกผลึกของอะลูมิเนียมไฮดรัสออกไซด์ซึ่งจะไปช่วยลดการดูดซับฟอสฟอรัสในดิน (Anjos and Rowell, 1987) ส่วนในกรณีของโพแทสเซียมจะให้ผลในทางตรงกันข้าม คือ การใส่วัสดุปูนจะส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียโพแทสเซียมออกไปจากระบบดิน เนื่องจาก แคลเซียมจะไปแทนที่โพแทสเซียมที่ผิวคอลลอยด์ดินก่อนที่โพแทสเซียมจะสูญหายออกไปจากระบบดินโดยการชะละลาย (Bekker et al., 1994) ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดได้ง่ายในดินที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำมากดังดินในพื้นที่ทดลองนี้ สำหรับตำรับการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการใส่กากแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จะมีมากกว่า เนื่องจาก ธาตุนี้เป็นองค์ประกอบในเศษเหลืออยู่ถึง 2.28 ก./กก. ขณะที่การสลายตัวของเศษเหลือที่ช่วยปลดปล่อยธาตุนี้ออกมาอย่างช้า ๆ และการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุ และการสร้างตัวของเม็ดดิน (พุทธรักษา และคณะ, 2560) จะช่วยให้โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์หลงเหลืออยู่ในดินได้มากกว่า

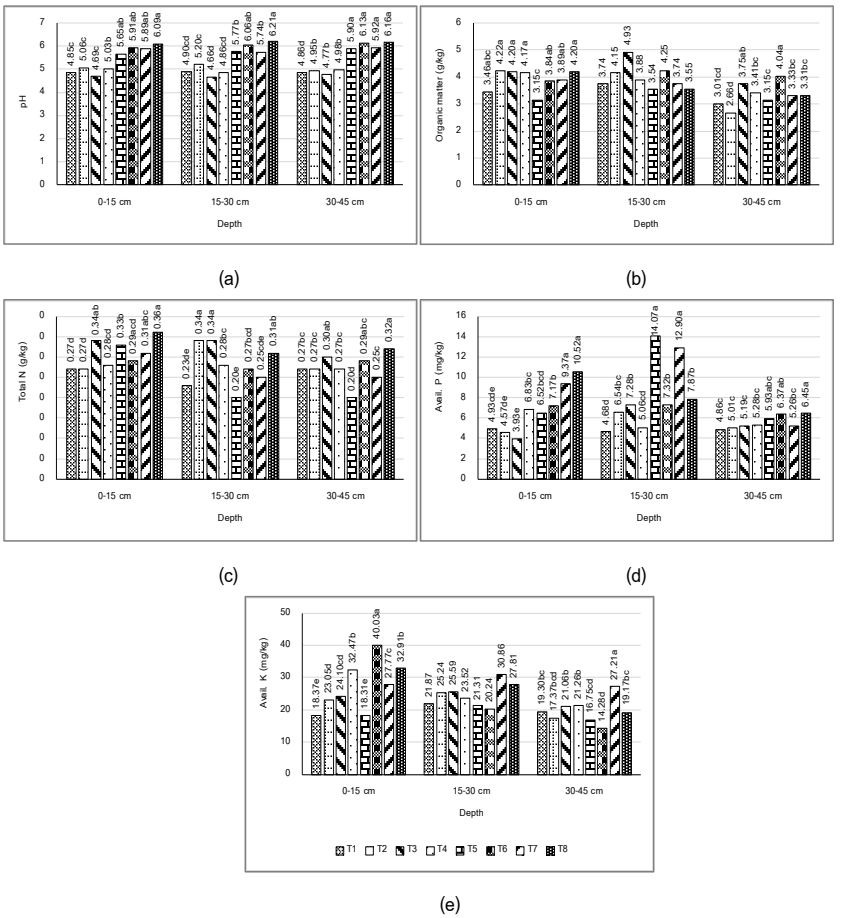


Figure 2 Effect of soil amendments on: (a) soil pH; (b) organic matter; (c) total nitrogen; (d) available phosphorus; (e) available potassium; (f) extractable calcium and (g) extractable magnesium after growing cassava for 5 consecutive crops. Different lowercase letters on bars grouped within the same depth are significantly different ($p \leq 0.05$)

T1= no soil amendment application; T2 = CSW 500 kg/rai; T3 = CSW 1,000 kg/rai; T4 = CSW 2,000 kg/rai; T5 = GL 200 kg/rai; T6= CSW 500 kg/rai + GL 200 kg/rai; T7 = CSW 1,000 kg/rai + GL 200 kg rai^{-1}; T8 = CSW 2,000 kg/rai + GL 200 kg/rai

สรุป

มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินยโสธรที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำซึ่งได้รับการปรับปรุงดินด้วยกากแป้งมันสำปะหลัง และหินปูนบดต่อเนื่องเป็นเวลา 5 ปียังคงตอบสนองด้านผลผลิตดีที่สุดต่อปุ๋ยเคมีอัตราสูง คือ 32:16:32 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ แต่การใส่ตามอัตราแนะนำ คือ 16:8:16 กก. N:P_2O_5:K_2O/ไร่ จะให้ผลตอบแทนสูงกว่าเมื่อพิจารณาจากผลผลิตที่ได้ ขณะที่การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 1,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบด 200 กก./ไร่ ส่งผลให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งสูงที่สุด กากแป้งมันสำปะหลังเมื่อใส่ร่วมกับหินปูนบดส่งผลบวกต่อการเพิ่มขึ้นของพีเอชดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ แต่โดยภาพรวมแล้วดินยังคงมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำจึงจำเป็นต้องใส่วัสดุปรับปรุงดินเหล่านี้ต่อเนื่อง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกสรศาสตร์ (สวพ.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. สารปรับปรุงดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, ศุภิฌา ธนะจิตต์, ดาวจรัส เกตุโรจน์ และปรีชา เพชรประไพ. 2560. ผลของกากแป้งมันสำปะหลัง หินปูนบด และโดโลไมต์ต่อสมบัติดินและมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินสตึก. วารสารแก่นเกษตร 45: 25-34.

พุทธรักษา เสรี, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และศุภิฌา ธนะจิตต์. 2560. ผลของการไถพรวนและวัสดุปรับปรุงดินต่อความเสถียรของเม็ดดินในชุดดินยโสธรที่ปลูกมันสำปะหลัง. วารสารแก่นเกษตร 45: 227-238.

เรณู ขำเลิศ และอัศจรรย์ สุขธำรง. 2551. เศรษฐกิจพอเพียงของผู้ปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมาจากการใช้หินฝุ่นทดแทนปุ๋ยเคมี. แหล่งที่มา: http://www.clinictech.most.go.th. ค้นเมื่อ วันที่ 18 มกราคม 2562.

สมพงษ์ กาทอง และอนุชิต ทองกล่ำ. 2547. การปลูกและการดูแลรักษา, น. 15-17. ใน เอกสารวิชาการ มันสำปะหลัง ลำดับที่ 7/2547. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สัมฤทธิ์ ริยาพันธ์, ศุภิฌา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, อัญชลี สุทธิประการ และปรีชา เพชรประไพ. 2553. การแก้ไขปัญหาชั้นดานไถพรวนเพื่อการปลูกมันสำปะหลัง. วารสารแก่นเกษตร 38: 191-204.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. มันสำปะหลัง. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th. ค้นเมื่อ 22 มกราคม 2562.

เอกราช มีวาสนา, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, เอิบ เขียวรื่นรมย์ และอัญชลี สุทธิประการ. 2553. ลักษณะของชั้นดานไถพรวนในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา. วารสารแก่นเกษตร 38: 205-214.

Anjos, J.T., and D.L. Rowell. 1987. The effect of lime on phosphorus adsorption and barley growth in three acid soils. Plant Soil 103: 75–82.

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.) 043 : 9-18.

Anusontpornperm, S., S. Thanachit, A. Suddhiprakarn, and I. Kheoruenromne. 2015. Is Rippering the Effective Solution to Alleviating Plough Pan Problem? Proceeding of the International Conference of Agricultural Engineering, 6-10 July 2014. Zurich, Switzerland.

Bekker, A.W., N.V. Hue, and R.G. Chase. 1994. Effects of liming, K fertilization and leaching on K retention, nutrient uptake and dry matter production of maize

grown on a Samoan Oxic Inceptisol. Fertilizer Res. 38: 123–130.

Brady, N.C., and R.C. Weil. 2016. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Pearson Education, Inc., NJ, USA.

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

Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total, pp. 1085-1122. In D.L. Sparks, ed. Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America. Inc. Publisher., Madison, WI, USA.

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. 2nd Regional Cassava Workshop, held in Rayong, Thailand, Oct 26–28, 1987. Rayong, Thailand.

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

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

Howeler, R.H. 2014. Sustainable soil and crop management of cassava in Asia. International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia.

Kanjana, D., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, and A. Suddhiprakarn. 2012. Effects of soil conditioners on yield and starch content of cassava grown on a degraded Yasothon soil. The 38th Congress on Science and Technology of Thailand (STT38), October 17-19, 2012, Chiang Mai, Thailand.

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

Komariah, K. Ito, M. Senge, J. Adomako, and Afandi. 2008. Amendmet of soil physical and biological properties using rice husk and tapioca wastes. J. Japanese Soc. Soil Phys. 108: 81-90.

Lunlio, P., S. Anusontpornperm, S Thanachit, and I. Kheoruenromne. 2017. The impact of tillage, soil conditioners, and chemical fertilizer on yield of cassava in Yasothon Soil Series (Typic Paleustult), relationship between nutrient concentration and cassava yield components, and soil property. Khon Kean Agr. J. 45: 373-382.

Musyoka, M.W., N. Adamtey, A.W. Muriuki, D. Bautze, E.N. Karanja, M. Mucheru-Muna, K.K.M. Fiaboe, and G. Cadisch. 2019. Nitrogen leaching losses and balances in conventional and organic farming systems in Kenya. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 114: 237–260.

National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, USDA, Washington, DC, USA.

Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, total organic carbon, and organic matter, pp. 961-1010. In A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. Method of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. American Society of Agronomy. Inc. Publisher, Madison, WI, USA.

Nilnoree, T., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne, and P. Petprapai. 2016. Effect of chicken manure and organic wastes from cassava starch manufacturing plant on cassava Grown

on Dan Khun Thot soil. Khon Kaen Agr. J. 44: 167-178.

Okonkwo, C., I. Onyibe, and C.N. Mbah. 2011. Influence of different forms of cassava peel on physicochemical properties of an Ultisoil and yield of Maize (*Zea mays* L.) in Abakaliki south eastern Nigeria. J. Agri. Biol. Sci. 2: 78-83.

Phuniam, M., S. Anusontpornperm, and S. Thanachit. 2012. Response of cassava grow on a Warin soil to perlite and chicken manure combined with Zn foliar application. The 38th Congress on Science and Technology of Thailand (STT38), October 17-19, 2012, Chiang Mai, Thailand.

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

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

Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1023-1031. In C.A. Black, ed. Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Series. No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc. Publ., Madison, WI, USA.

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

Soil Survey Division Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed. Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington, D.C., USA.

Sriket, S., S. Thanachit, and S. Anucontpornperm. 2015. Effect of fertilizer rates on cassava grown on Yasothon soil amended with cassava stem base biochar and wastes from cassava starch manufacturing plant. Khon Kean Agr. J. 43: 755-762.

Virgo, K.J., and D.A. Holmes. 1977. Soil and landform features of mountainous terrain in South Thailand. Geoderma. 18: 207-225.

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

Yan H., M. Cao, J. Liu, and B. Tao. 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. Agr. Ecos. Envir.121: 325-335.

Yimnoi, N., S. Anusontpornperm, and S. Thanachit. 2014. Effect of Lime Materials and Cassava Peel on Cassava Grown on a Satuk Soil. The 40th Congress on Science and Technology of Thailand (STT40). December 2-4, Hotel Pullman Khon Kaen Raja Orchid, Khon Kaen, Thailand.