

ผลสะสมของการไถพรวนและวัสดุปรับปรุงดินต่อมันสำปะหลังที่ปลูก ในชุดดินวาริน

Cumulative effect of tillage and soil conditioners on cassava grown in Warin soil series

ภัทริยา ประดิษฐ์¹, สมชัย อนุสนธิพรเพิ่ม^{1*}, สุภิฉา ธนะจิตต์¹ และ อีบ เขียวรีนรมณ์¹

Phattriya Pradit¹, Somchai Anusonpornperm^{1*}, Suphicha Thanachit¹
and Irb Kheoruenromne¹

บทคัดย่อ: การศึกษาผลสะสมของการไถพรวนและวัสดุปรับปรุงดินต่อมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินวารินที่พบชั้นดานไถพรวนในอำเภอสีกี้ว จังหวัดนครราชสีมา ดำเนินการ 2 ปีต่อเนื่อง โดยวางแผนการทดลอง Split Plot in Randomized Complete แปลงหลักเป็นการเปรียบเทียบการไถลึกกับการไถแบบปกติ แปลงย่อยเป็นการใส่วัสดุปรับปรุงดินต่างชนิดในอัตรา 200 กก./ไร่ ได้แก่ หินปูนบด โดโลไมต์ เพอร์ไลท์ และยิปซัมเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน ผลการศึกษา พบว่า การไถกลบวัสดุปรับปรุงดินในระดับความลึกที่แตกต่างกันในปีแรกไม่มีผลทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้งและชีวมวลส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 3.33-4.35, 0.84-1.08 และ 1.38-1.98 ตัน/ไร่ ตามลำดับ แต่เมื่อดำเนินการต่อเนื่องในปีที่ 2 พบว่า การไถลึกให้ร้อยละการสะสมแป้งสูงกว่าการไถแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.79 และ 23.27 ตามลำดับ แต่ยังคงไม่มีผลให้ผลผลิตและชีวมวลเหนือดินแตกต่างกัน การใส่เพอร์ไลท์ต่อเนื่อง 2 ปีให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้ง และชีวมวลส่วนเหนือรวมสูงที่สุดเท่ากับ 4.35, 1.09 และ 1.69 ตัน/ไร่ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่ยิปซัม ส่วนการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่ำสุดเท่ากับ 3.01 ตัน/ไร่ การไถลึกทำให้ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึก 30-45 ซม. ซึ่งเป็นช่วงชั้นความลึกที่พบชั้นดานไถพรวนมีค่าต่ำกว่าการไถแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (1.40 เปรียบเทียบกับ 1.70 เม.ก./ลบ.ม.) เช่นเดียวกับทำให้สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวเร็วกว่าทั้งสามระดับความลึกที่ทำการวัดโดยเฉพาะเมื่อทำการใส่ยิปซัมร่วม วัสดุปรับปรุงดินแต่ละชนิดจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารพืชต่างๆ หลงเหลืออยู่ในดินในปริมาณแตกต่างกันแต่มีค่าสูงกว่าตำรับควบคุมเป็นส่วนใหญ่

คำสำคัญ: การไถกลบลึก, ชั้นดานไถพรวน, วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดิน, มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80

ABSTRACT: A study on the cumulative effect of tillage and soil conditioner on cassava grown in Warin soil series with a presence of plough pan was conducted in Sikhio district, Nakhon Ratchasima province for two consecutive years. Experimental design was arranged in Split Plot in Randomized Complete Block. Main plot was designed to compare between deep tillage and conventional tillage. Subplot consisted of the application of different soil conditioners such as ground limestone, dolomite, perlite and gypsum at the rate of 200 kg/rai comparing to the control plot with no application of soil conditioner. Results showed that the incorporation of soil conditioners at different depths in the first year did not give any statistical difference in yield, starch yield and the aboveground biomass of cassava with the content in the ranges of 3.33-4.35, 0.84-1.08 and 1.38-1.98 t/rai, respectively. Deep tillage operated for two consecutive years, however, significantly induced higher starch content than did conventional tillage with

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

* Corresponding author: agrsca@ku.ac.th

the values of 24.79 and 23.27% respectively, but with no different effects on yield and aboveground biomass. The application of perlite for two consecutive years significantly promoted the highest cassava fresh tuber yield, starch yield and aboveground biomass of 4.35, 1.09 and 1.69 t/rai, respectively, nevertheless, with no difference from the use of gypsum, whereas the control with no application of soil conditioner gave the lowest fresh tuber yield of 3.01 t/rai. Deep tillage significantly contributed lower bulk density of soil at the depth between 30-45 cm, the depth where plough pan was found, than did conventional tillage (1.40 compared to 1.70 Mg/m³). This deep tillage also stimulated more rapid saturated hydraulic conductivity at all three depths measured especially when operated with the use of gypsum. Plant nutrient left in soils were statically different among the soil conditioners. Each soil conditioner enabled plant nutrients to remain in the soil in different amounts but mostly in greater quantity than that without soil conditioner added.

Keywords: Deep placement, Plough pan, Soil inorganic conditioner, Cassava Huay Bong 80 variety

บทนำ

ในประเทศไทย พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งในปีการเพาะปลูกปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมากที่สุดเท่ากับ 4.49 ล้านไร่ แต่ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ต่ำสุดเท่ากับ 3.50 ตัน/ไร่ (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2558) ทั้งนี้สาเหตุสำคัญเป็นผลมาจากปัญหาการเสื่อมโทรมทางฟิสิกส์ของดินโดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง โครงสร้างดินถูกทำลาย เกิดเป็นชั้นดินอัดแน่นรวมทั้งพบชั้นดานไถพรวน ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ธาตุอาหารและน้ำ และการขยายขนาดของหัวมันสำปะหลัง (เอกราช และคณะ, 2553; อรุณ และคณะ, 2553; Anusontpornperm et al., 2005) ทำให้ได้หัวมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็ก และผลผลิตต่ำ ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังให้สูงขึ้นจำเป็นต้องทำการฟื้นฟูสมบัติทางฟิสิกส์ของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตดินโดยเฉพาะในดินที่มีชั้นดานไถพรวน การไถระเบิดดานโดยใช้รีปเปอร์เป็นการทำลายชั้นดานให้แตกออกจากกันซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้ในระดับหนึ่ง (สัมฤทธิ์ และคณะ, 2553; ปิ่นทิพย์และคณะ, 2556; Suksawat et al., 2010; Kaewkamthong et al., 2014) อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องดำเนินการในช่วงที่ดินแห้งมาก ๆ อีกทั้งเป็นการแก้ไขได้เพียงช่วงเวลาสั้น ๆ เท่านั้นเนื่องจากดินเหล่านี้สามารถกลับมาอัดตัวแน่นเหมือนเดิมได้อีกในปีถัดไป (สัมฤทธิ์ และคณะ, 2553; Suksawat et al., 2010; Surin et al., 2013) การใช้วัสดุปรับปรุงดินเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น กล่าวคือ ดินจะถูกอัดแน่นได้ยาก

โดย Anikwe et al. (2016) พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลขาวลดความหนาแน่นของดินถึงร้อยละ 5 แต่เมื่อใส่ปุ๋ยมูลขาวร่วมกับยิปซัมจะลดความหนาแน่นดินได้ถึงร้อยละ 17 เช่นเดียวกับ Kaewkamthong et al. (2014) พบว่า การไถกลบยิปซัมในระดับลึกจะลดความหนาแน่นของดินที่ความลึก 20-30 ซม. ได้ดีกว่าการไถกลบหินปูนบดและมูลไก่แกลบ ส่วนการศึกษาของ Hall et al. (1994) พบว่าการใส่ยิปซัมอัตรา 5 ตัน/เฮกตาร์ร่วมกับการไถโดยใช้ผลหัวหมูจะเพิ่มปริมาณความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมที่มีอยู่ในยิปซัมจะส่งผลให้อนุภาคดินเกิดการรวมตัวกัน ความหนาแน่นรวมของดินจึงลดลง ขณะที่ความพรุนรวมและความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้น การซาบซึมน้ำดีขึ้น ทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่ลงไปยังดินล่างได้ง่ายขึ้น รากพืชจึงแทงลงไปใตดินได้ลึกมากขึ้น (Ahmad et al., 2009) ผลผลิตพืชจึงเพิ่มขึ้นดังแสดงในรายงานโดยจิรวรรณ และคณะ (2555) ที่พบว่า การใส่ยิปซัมอัตรา 100 กก./ไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด 4.29 ตัน/ไร่ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการใส่หินปูนบด และปูนโดโลไมต์ในอัตรา 300 กก./ไร่ที่ให้ค่าเท่ากับ 4.28 และ 4.11 ตัน/ไร่ ตามลำดับ นิภัทร์ และ คณะ (2557) พบว่า การใส่มูลไก่แกลบอัตรา 500 กก./ไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดเท่ากับ 3.59 ตัน/ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่เพอไลต์อัตรา 100 กก./ไร่ และการใส่วัสดุปรับปรุงดินทั้งสองร่วมกัน แต่สูงกว่าการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (2.87 ตัน/ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปิ่นทิพย์และคณะ (2556) พบว่า การใส่ยิปซัมในอัตรา 200 กก./ไร่ ในดินที่อัดแน่น (Fragic Natrustalf) ให้ผลผลิตของมันสำปะหลังเท่ากับ 4.3 ตัน/ไร่ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อทำการใส่หินปูนบดในอัตราเดียวกัน มูลโค

อัตรา 1,000 กก./ไร่ และไมคอร์ไรซาร์ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับการใช้รีปเปอร์เปิดดิน ดังนั้นการศึกษาถึงผลของการไถกลบวัสดุปรับปรุงดินต่างๆ ในระดับความลึกที่แตกต่างกันโดยความลึกของการไถอาจช่วยทำลายชั้นดานไถพรวน ส่วนวัสดุปรับปรุงดินมีบทบาทเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างดิน ซึ่งอาจทำให้ชั้นดานไม่เกิดขึ้นมาใหม่ภายในระยะเวลาอันสั้น จึงน่าจะเป็นแนวทางการแก้ไขชั้นดานไถพรวนแบบยั่งยืนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังในภูมิภาคนี้ การศึกษาค้นคว้าจึงมุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบผลของผลการไถพรวนร่วมกับวัสดุปรับปรุงดินต่อการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง รวมทั้งผลสะสมของการใส่วัสดุปรับปรุงดินเหล่านี้ที่มีต่อสมบัติดินชุดดินวารินที่พบชั้นดานไถพรวน

วิธีการศึกษา

พืชที่ใช้ในการศึกษา มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ได้มาจากการผสมระหว่างพันธุ์ระยะของ 5 กับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ในปี 2535 ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 4.9-5.5 ตัน/ไร่ ร้อยละการสะสมแป้งเฉลี่ย 27.3 มีลักษณะเฉพาะ คือ ลำต้นมีสีเขียวเงิน ทรงต้นสูง แตกกิ่งน้อยเพียง 1-3 ระดับ จึงง่ายต่อการเก็บเกี่ยว ยอดอ่อนเป็นสีเขียวอ่อน ใบอ่อนมีสีเขียวอ่อนและไม่มีขน ใบเป็นรูปหอก หัวไม่มีขั้ว สีเนื้อของหัวมีสีขาว เปลือกสีน้ำตาลอ่อน เป็นพันธุ์ที่ส่งเสริมให้ปลูกในดินเนื้อค่อนข้างหยาบโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (มูลนิธิพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2558)

พื้นที่ทดลองเป็นลูกคลื่นลอนลาดมีความลาดชันร้อยละ 4 ในบ้านโนนสมบูรณ์ ตำบลกฤษณา อำเภอ

สีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นบริเวณของชุดดินวาริน (Warin, Wn soil: Typic Paleusult) โดยดินเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 4.9-5.5) และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Table 1) นอกจากนี้พบชั้นดานไถพรวนที่ความลึก 46-75 ซม. เนื่องจากเป็นชั้นดินที่มีความหนาแน่นรวม (1.79 เม.ก/ม³) สูงกว่าชั้นดินบน และชั้นดินล่างอย่างชัดเจน (Table 1) ถึงแม้ว่าชั้นดานไถพรวนที่พบในดินอยู่ในระดับที่ลึกกว่าในรายงานโดย เอกราช และคณะ (2553), อรพิน และคณะ (2553) และ Anusontpornperm et al. (2005) ซึ่งเริ่มพบที่ความลึกประมาณ 25-35 ซม. แต่ชั้นดานไถพรวนที่พบยังคงเป็นปัญหาต่อการปลูกมันสำปะหลัง เนื่องจากชั้นดานไถพรวนขัดขวางการเคลื่อนที่ขึ้นของความชื้นในดินในลักษณะของน้ำแคพิลลารี พืชจึงเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ (เอกราช และคณะ, 2553; อรพิน และคณะ, 2553) ประกอบกับเนื้อดินบนของดินที่ทำการศึกษาเป็นทรายร่วนซึ่งมีความหนาถึง 46 ซม. (Table 1) ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่ำ มันสำปะหลังจึงเสี่ยงต่อการขาดน้ำได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในช่วงฝนทิ้งช่วง นอกจากนี้ในช่วงที่มีฝนตกหนัก ชั้นดานจะขัดขวางการเคลื่อนที่ลงของน้ำ (Mullins, 1989) ทำให้เกิดน้ำใต้ดินชั่วคราว โดยน้ำที่ขังอยู่ในเขตรากพืชจะทำให้พืชได้รับความเสียหายและตายในที่สุด โดยมันสำปะหลังในช่วงที่มีตัวงหัวและสะสมแป้งหากถูกน้ำท่วมขังเพียง 1 วัน จะส่งผลให้หัวมันสำปะหลังเน่า (Howeler, 1995) นอกจากนี้ชั้นดานไถพรวนในดินยังส่งเสริมให้เกิดการไหลบ่าของน้ำที่ผิวดิน และการกร่อนดิน (Mullins, 1989; Anusontpornperm et al., 2005)

Table 1 Physico-chemical properties of Wn soil series in the experimental area

Soil depth	Horizon	Particle size distribution			Textural class	BD (Mg/m ³)	Ksat (cm/hr)	Soil pH (1:1 H ₂ O)	CEC (cmol _c /kg)	OM (g/kg)	Available	
		Sand	Silt	Clay							P	K
		----- g/kg-----							-----mg/kg---			
0-22	Ap1	864	77	60	SL	1.48	3.51	5.5	9.4	4.91	6.17	18.5
22-46	Ap2	821	137	42	SL	1.58	3.14	5.5	10.81	4.79	4.17	14.8
46-75	Bt1	780	84	136	LS	1.79	4.10	5.4	8.68	1.92	1.47	46.3
75-100	Bt2	750	92	157	LS	1.64	8.20	5.2	14.38	1.88	1.32	34.3
100-129	Bt3	775	63	161	LS	1.67	6.87	5.2	11.11	1.47	1.17	26.5
129-152	Bt4	752	82	166	LS	1.67	6.64	5.1	9.98	1.43	1.02	25.3
152-170	Bt5	771	46	183	LS	1.65	4.53	4.9	12.64	1.39	0.87	23.3
170-200+	Bt6	687	168	145	LS	1.60	1.81	4.9	11.68	1.35	0.87	26.8

LS= loamy sand, SL = sandy loam, BD = bulk density, Ksat= Hydraulic conductivity; CEC = cation exchange capacity by NH₄OAc at pH 7.0 method; OM = organic matter; Available P = soil extracted by BrayII solution; Available K = soil extracted by 1 M NH₄OAc at pH 7.

จัดทำแปลงทดลองในสนามเป็นเวลา 2 ปี ต่อเนื่อง ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2556 ถึง พฤศจิกายน 2558 โดยมี ปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาของการทดลองเท่ากับ 976 และ 1,171 มม./ปี ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ย ประมาณ 28°C (กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยี สารสนเทศและการสื่อสาร, 2559) วางแผนการทดลอง Split Plot in Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ โดยแปลงหลัก (main plot) ประกอบด้วย การไถเปิดดินทั่วไปด้วยไถงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 นิ้ว ที่ความลึกประมาณ 25-30 ซม. (conventional tillage: C) และการไถลึกโดยใช้ไถงานขนาด 28 นิ้ว ที่ ระดับความลึกประมาณ 45-50 ซม. (deep tillage: D) แปลงย่อย (subplot) เป็นการใส่วัสดุปรับปรุงดิน จำนวน 5 ตำรับการทดลอง คือ ตำรับที่ 1 การไม่ใส่วัสดุ ปรับปรุงดินเป็นตำรับควบคุม และตำรับที่ 2-5 ใส่

หินปูนบด (T2) โดโลไมต์ (T3) เพอร์ไลต์ และ ยิปซัม (T4) ในอัตราละ 200 กก./ไร่ สมบัติของวัสดุปรับปรุง ดินที่ใช้ในการศึกษาแสดงใน Table 2 เริ่มต้นการ เตรียมดินโดยทำการใส่วัสดุปรับปรุงดินตามตำรับ ทดลองในแปลงย่อย จากนั้นใช้รถแทรกเตอร์ที่ติดตั้ง ไถงานผาล 3 ที่มีขนาดจานไถแตกต่างกันตามแปลง หลักในการเปิดหน้าดินและกลบวัสดุปรับปรุงดิน ปล่อยทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ พรวนดินด้วยไถงานผาล 7 จากนั้นทำการยกร่องขวางความลาดเท ปลูกมันสำปะหลัง บนสันร่องโดยใช้ระยะปลูกเท่ากับ 120×80 ซม. ใส่ปุ๋ย เคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ เมื่อมันสำปะหลัง อายุประมาณ 2 เดือน โดยการขุดหลุมใส่บริเวณข้าง ทรงพุ่มของต้นมันสำปะหลังในทุกแปลงย่อย ในปี ที่ 2 ของการศึกษาได้มีการปฏิบัติข้างต้นเช่นเดียวกันกับใน ปีแรก

Table 2 Properties of soil conditioners used in the experiment

Properties	Dolomite	Ground limestone	Gypsum	Perlite
pH(1:1 H ₂ O)	7.8	8.9	8.9	7.7
OM (g/kg)	0.55	1.00	0.85	0.60
Total N (g/kg)	0.2	nd	nd	nd
Total P (g/kg)	0.5	nd	nd	nd
Total K (g/kg)	0.1	0.3	0.1	2.8
Total Ca (g/kg)	234	359	245	1.2
Total Mg (g/kg)	91	54	3.0	1.0
Total S (g/kg)	0.1	0.9	131	2.2
Total Fe (mg/kg)	2,574	100	235	200
Total Zn (mg/kg)	nd	170	2.7	400
Total Cu (mg/kg)	nd	217	5.3	100
Total Mn(mg/kg)	193	222	9.3	300
CEC (cmol /kg)	nd	nd	1.5	20.1

nd = not determined

การเก็บข้อมูลประกอบด้วย 1) การเก็บเกี่ยวมัน สำปะหลังที่อายุ 10 เดือน โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวเท่ากับ 16.8 ม² ประกอบด้วยน้ำหนักหัวมันสำปะหลังสด ร้อยละการสะสมแป้ง และชีวมวลส่วนเหนือดิน (ลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบ) 2) เก็บตัวอย่างดินในทุกแปลง ทดลองย่อยที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-15, 15-30 และ 30-45 ซม. ในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ปีที่ 2 เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ ความหนา

แน่นรวม สภาพพืชน้ำของดินขณะอิมตัว พีเอชดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินโดยวิธีมาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996) และ 3) การ วิเคราะห์สถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's Multiple Range Tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 21

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการไถพรวนและวัสดุปรับปรุงดินต่อ มันสำปะหลัง

การไถกลบหินปูนบด โดโลไมต์ เพอร์ไลต์ และ ยิปซัมในระดับความลึกที่แตกต่างกัน ในปีแรกไม่มีผลทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้งและชีวมวลส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 3.33-4.35, 0.84-1.08 และ 1.38-1.98 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Table 3) แต่เมื่อดำเนินการต่อเนื่องในปีที่ 2 พบว่า การไถลึกให้ร้อยละการสะสมแป้งสูงกว่าการไถแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.79 และ 23.27 ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.6 แต่ยังคงไม่มีผลต่อการสร้างผลผลิตและชีวมวลของมันสำปะหลัง (Table 3) ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าการไถลึกโดยใช้ไถจานขนาดใหญ่อาจทำลายชั้นดินใต้ระดับหนึ่ง ทำให้ความชื้นมีความต่อเนื่องและไม่เป็นข้อจำกัดการแทงหัวของมันสำปะหลัง แต่อาจเป็นการนำเอาชั้นดินล่างซึ่งเป็นกรดมากกว่า และมีความร่วนซุยน้อยกว่าเนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า ขึ้นมาปะปนในดินบน จึงส่งผลทำให้สภาพทางฟิสิกส์และเคมีไม่ค่อยเหมาะสมจึงทำให้ผลผลิตถึงแม้ว่าจะสูงกว่าในทั้งสองปีที่ทำการเก็บข้อมูล แต่ไม่แสดงผลต่างทางสถิติแต่อย่างใด

การใส่วัสดุปรับปรุงดินอย่างต่อเนื่องในปีที่ 2 ทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลัง ผลผลิตแป้ง และชีวมวลส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นจากค่าควบคุมที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) โดยผลผลิต และผลผลิตแป้งเพิ่มขึ้นในพิสัยร้อยละ 13.3-39.3 และ 8.2-45.6 ตามลำดับ การใส่เพอร์ไลต์อัตรา 200 กก./ไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้ง และชีวมวลส่วนเหนือรวมสูงที่สุดเท่ากับ 4.35, 1.09 และ 1.69 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Table 3) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ นิภัทร์ และ คณะ (2557) เนื่องจาก 1) เพอร์ไลต์มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่าวัสดุ

ปรับปรุงดินชนิดอื่น (Table 2) จึงน่าจะมีส่วนช่วยในการดูดซับธาตุอาหารพืช 2) มีผลลดอัตราการชะบ่มน้ำของดินทำให้การสูญเสียธาตุอาหารไปจากดินลดลงรวมทั้งเพิ่มความสามารถในอุ้มน้ำให้แก่ดิน (Brady and Weil, 2016) และ 3) มีปริมาณโพแทสเซียมและจุลธาตุอาหารมากกว่าวัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่น มันสำปะหลังจึงตอบสนองทั้งด้านการสร้างชีวมวลและผลผลิต อย่างไรก็ตาม ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้ง และชีวมวลส่วนเหนือที่ได้ให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ยิปซัมอัตรา 200 กก./ไร่ (Table 3) แสดงให้เห็นว่า แคลเซียมที่มีอยู่ในยิปซัมจะส่งผลให้อุณหภูมิดินเกิดการรวมตัวกัน ความหนาแน่นรวมของดินจึงลดลง ดินร่วนซุย จึงกักเก็บน้ำไว้นานขึ้น (Ahmad et al., 2009; Kaewkamthong et al., 2014) ร่วมกับการที่ยิปซัมซึ่งมีกำมะถันซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พบอยู่น้อยในดินเนื้อหยาบอยู่ในปริมาณค่อนข้างมาก ผลผลิตมันสำปะหลังจึงเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าโดย สัมฤทธิ์ และคณะ (2553) จีรวรรณ และคณะ (2555) และ ปิ่นทิพย์ และคณะ (2556) ขณะที่การใส่วัสดุปุ๋ยต่อเนื่อง 2 ปี มีแนวโน้มให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลงโดยเฉพาะการใส่โดโลไมต์อัตรา 200 กก./ไร่ ที่ให้ผลผลิตแป้ง และชีวมวลส่วนเหนือต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.79 และ 1.27 ตัน/ไร่ ซึ่งให้ผลผลิตแป้งไม่แตกต่างจากค่าควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ทำการศึกษามีเนื้อดินเป็นทรายร่วน (Table 1) ซึ่งเกิดสภาพเกินปูนได้ง่ายทำให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน (Brady and Weil, 2016) จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในช่วงแรก หรืออีกสาเหตุหนึ่ง การใส่วัสดุปุ๋ยเหล่านี้ในอัตรา 200 กก./ไร่ ในดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบเช่นนี้ (Table 1) อาจทำให้วัสดุปรับปรุงดินเหล่านี้เกิดการสูญหายออกไปจากดินอย่างรวดเร็วจึงส่งผลต่อการบำรุงดินได้ไม่ชัดเจน ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไถพรวนและวัสดุปรับปรุงดินยังคงไม่มีผลต่อองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง

Table 3 Effect of tillage and soil conditioners on fresh tuber yield, starch yield, starch content and aboveground biomass of cassava grown in Warin soil series

Treatment	1 st crop (2014)			2 nd crop (2015)				
	Fresh tuber yield (-----t/rai-----)	Starch yield	Aboveground biomass	Starch content (%)	Fresh tuber yield (-----t/rai-----)	Starch yield	Aboveground biomass	Starch content (%)
Tillage								
CT	3.87	0.96	1.65	24.42	3.82	0.95	1.56	24.79a
DT	3.50	0.84	1.53	23.65	3.48	0.83	1.63	23.27b
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Soil conditioner								
T1	3.88	0.94	1.89	24.35	3.01c	0.73c	1.69a	24.35
T2	3.35	0.86	1.44	24.25	3.46bc	0.84cb	1.53ab	24.25
T3	3.97	0.95	1.63	22.71	3.41bc	0.79c	1.27b	22.71
T4	3.33	0.79	1.44	23.66	4.35a	1.09a	1.69a	23.66
T5	4.02	0.97	1.54	25.18	4.01ab	1.01ab	1.81a	25.18
F-test	ns	ns	ns	ns	*	**	*	ns
Interaction: tillage x soil conditioner								
DTT1	3.88	0.99	1.98	24.68	2.96	0.71	1.68	24.55
CTT1	3.65	0.88	1.79	24.03	3.06	0.74	1.69	24.15
DTT2	3.57	0.91	1.46	25.60	3.78	0.94	1.56	24.68
CTT2	3.14	0.82	1.42	22.90	3.14	0.75	1.50	23.83
DTT3	3.96	0.96	1.60	22.65	3.89	0.96	1.32	24.35
CTT3	3.98	0.95	1.66	22.78	2.93	0.62	1.21	21.08
DTT4	3.60	0.87	1.51	23.60	4.30	1.10	1.71	25.38
CTT4	3.06	0.71	1.38	23.73	4.41	1.07	1.66	21.95
DTT5	4.35	1.08	1.68	25.55	4.17	1.04	1.54	25.00
CTT5	3.69	0.86	1.39	24.80	3.85	0.98	2.08	25.35
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22.0	25.2	19.84	8.0	20.9	23.2	20.7	7.3

ns = non-significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lowercase superscript letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

CT: conventional tillage, DT: Deep tillage

T1: no soil conditioner application, T2: ground limestone = 200 kg/rai, T3: dolomite = 200 kg/rai, T4: perlite = 200 kg/rai, T5 gypsum = 200 kg/rai

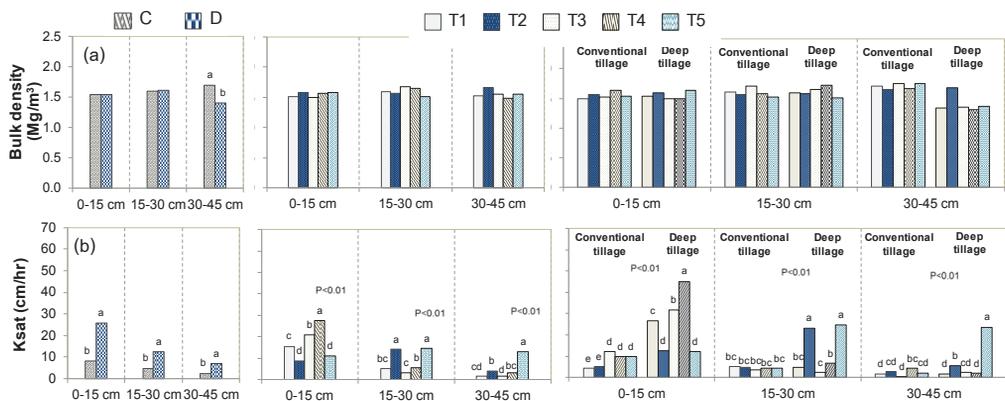
ผลสะสมของการไถกลบวัสดุปรับปรุงดินในระดับความลึกที่แตกต่างกันต่อสมบัติดินสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

การไถลึกโดยใช้ไถงานขนาดใหญ่ต่อเนื้อจะมีแนวโน้มทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงโดยให้ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึก 30-45 ซม. ซึ่งต่ำกว่าการไถแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 1.41 เปรียบเทียบกับ 1.70 เม.ก./ม³. ซึ่งสอดคล้องกับสภาพน้ำของดินขณะอิมตัวที่เร็วกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (6.97-25.67 เปรียบเทียบกับ 2.23-8.26 ซม./ซม.) (Figure 1) เมื่อพิจารณาถึง

ผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้รับ แสดงให้เห็นว่าการไถลึกส่งผลชัดเจนต่อการแก้ปัญหาชั้นดานเนื่องจากการนำวัสดุปรับปรุงดินลงไปผสมคลุกเคล้าในชั้นดินล่างจึงทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น ขณะที่ในกรณีของการไถแบบปกติ ชั้นดานไถพรวนมีแนวโน้มที่กลับมาอัดแน่นอีกครั้งหลังจากถูกทำลายภายในหนึ่งฤดูปลูกซึ่งให้ผลเหมือนกับการใช้รีปเปอร์ไถระเบิดดานจากการศึกษาที่ผ่านมา (สัมฤทธิ์ และคณะ, 2553; Suksawat et al., 2010; Surin et al., 2013) การไถกลบวัสดุปรับปรุงดินในระดับความลึกที่แตกต่างกันทำให้สภาพน้ำของดินขณะอิมตัวมีความแตกต่างกันทางสถิติ

(Figure 1) อย่างไรก็ตาม สภาพน้ำของดินขณะ อิมตัวในแต่ละชั้นความลึกของดินแปรปรวน โดยการ ไถลึกร่วมกับการใส่วัสดุปรับปรุงดินจะส่งเสริมการ เคลื่อนที่ของน้ำในดินได้ดีกว่าเมื่อใส่ร่วมกับการไถปกติ เพอร์ไลต์ทำให้สภาพน้ำของดินขณะอิมตัวในชั้นดิน บนเร็วที่สุด ส่วนยิปซัมให้สภาพน้ำของดินขณะอิม ตัวในชั้นความลึก 15-45 ซม. เร็วที่สุดซึ่งไม่แตกต่างจาก การใส่หินปูนบดในชั้นความลึก 15-30 ซม. (Figure 1) ทั้งนี้เนื่องจาก วัสดุปรับปรุงดินเหล่านี้ช่วยส่งเสริมให้ ดินมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก แคลเซียมที่มีอยู่ในวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งส่งผลให้ช่องว่าง ในดินมีความต่อเนื่องมากขึ้น ส่งเสริมการเคลื่อนที่ขึ้น และลงของน้ำในดิน ซึ่งจะช่วยลดการสะสมของน้ำใน ชั้นดินบนในกรณีที่มีฝนตกหนักและน้ำไหลบ่าหน้าผิ

ดิน รวมทั้งทำให้น้ำใต้ดินเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อเป็นแหล่งให้ น้ำแก่พืชในช่วงที่ฝนทิ้งช่วง (สัมฤทธิ์ และคณะ, 2553; Ahmad et al., 2009) อย่างไรก็ตาม โดโลไมต์มี แคลเซียมเป็นองค์ประกอบสูงเช่นกัน (Table 2) แต่ กลับทำให้สภาพน้ำของดินขณะอิมตัวช้ากว่าการไม่ ใส่วัสดุปรับปรุงดินโดยเฉพาะเมื่อทำการไถแบบปกติ (Figure 1) ซึ่งสอดคล้องกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังที่ ได้ต่ำที่สุดในกลุ่มวัสดุปรับปรุงดิน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ โดโลไมต์มีปริมาณธาตุอาหารพืชค่อนข้างต่ำกว่าวัสดุ ปรับปรุงดินชนิดอื่น โดยเฉพาะกลุ่มจุลธาตุ ขณะที่ แคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักใน โดโลไมต์หากใส่มากเกินไป หรือใส่ต่อเนื่องอาจทำให้ ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินลดลง



C: Conventional tillage, D: Deep tillage, T1: no soil conditioner application, T2: Ground limestone 200 kg/rai, T3: Dolomite = 200 kg/rai, T4: Perlite 200 kg/rai, T5: Gypsum 200 kg/rai

Different lowercase letters on bars grouped under the same depth are significantly different ($p \leq 0.05$).

Figure 1 Cumulative effect of tillage and soil conditioners on bulk density (a) and hydraulic conductivity (b) of Wh soil series at depths of 0-15, 15-30 and 30-45 cm.

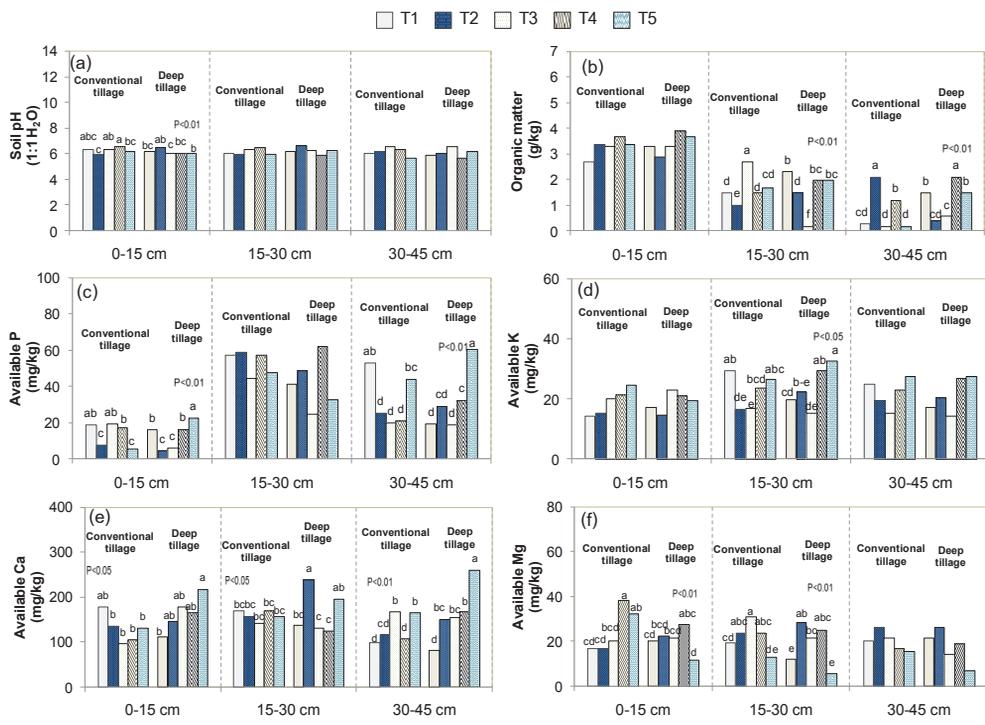
สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืชในดิน

การไถกลับวัสดุปรับปรุงดินที่ระดับความลึกที่ แตกต่างกันต่อเนื่อง 2 ปี ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุและ ธาตุอาหารพืชหลงเหลือในดินแตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญยิ่งทางสถิติ (Figure 2) อย่างไรก็ตาม ปริมาณ ที่หลงเหลือในแต่ละชั้นความลึกค่อนข้างแปรปรวน และไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าผลที่ เกิดจากอิทธิพลของวัสดุปรับปรุงดินที่ใส่ยังไม่ชัดเจน พอ แต่ก็พบว่าการไถลึกร่วมกับการใส่ยิปซัมทำให้ ฟอสฟอรัสและแคลเซียมที่เป็นประโยชน์เหลืออยู่ใน

ความลึก 0-15 ซม. สูงสุดเท่ากับ 22.93 และ 218 มก./ กก. ตามลำดับ ส่วนการไถแบบปกติร่วมกับการใส่ เพอร์ไลต์ทำให้มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ใน ชั้นดินนี้สูงสุดเท่ากับ 38.4 มก./กก. ที่ความลึก 15-30 ซม. การไถแบบปกติร่วมกับการใส่โดโลไมต์ทำให้มี ปริมาณอินทรีย์วัตถุและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ หลงเหลืออยู่สูงสุดเท่ากับ 2.70 ก./กก. และ 31.2 มก./ กก. ตามลำดับ การไถลึกร่วมกับการใส่ยิปซัมให้ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เหลืออยู่ในดินสูงสุด เท่ากับ 32.62 มก./กก. ตามลำดับ แต่เมื่อใช้ร่วมกับ

หินปูนบดทำให้ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์หลงเหลืออยู่ในดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 238 มก./กก. ส่วนที่ความลึก 30-45 ซม. การไถลึกร่วมกับการใช้เพอร์ไลต์ทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุดเท่ากับ 2.10 กก./ไร่ แต่เมื่อใช้ร่วมกับการใส่ยิปซัมทำให้ฟอสฟอรัส และแคลเซียมที่เป็นประโยชน์เหลืออยู่สูงที่สุดเท่ากับ 61.06, และ 260 มก./กก.ตามลำดับ (Figure 2) เมื่อพิจารณาถึงพีเอชของดินพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. โดยวัสดุปูนซึ่งได้แก่ หินปูนบด และโดโลไมต์ไม่มีผลต่อการเพิ่มพีเอชของดิน (Figure 2) ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุปูนเหล่านี้มักจะละลายหมดภายใน 4-6 เดือนโดยเฉพาะหินปูนบดที่สามารถละลายน้ำได้ถึงร้อยละ 90.6 (เอกพงศ์, 2551) ประกอบกับวัสดุปูนเหล่านี้บางส่วนเกิดการสูญเสียไปพร้อมกับ

การชะละลาย (Brady and Weil, 2016) การไถแบบปกติร่วมกับการใส่เพอร์ไลต์ทำให้พีเอชของดินมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6.60 ส่วนการไถลึกร่วมกับการใส่ยิปซัมทำให้พีเอชดินมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.05 ซึ่งต่ำกว่าค่ารับควบคุม (Figure 2) เนื่องจากยิปซัมเป็นสารประกอบแคลเซียมในรูปซัลเฟตซึ่งไม่จัดว่าเป็นปูน และมีรายงานในกรณีที่ได้ใส่ไปในปริมาณสูงอาจทำให้พีเอชดินลดลง (Brady and Weil, 2016) อีกทั้งการไถลึกซึ่งเป็นกรนำดินล่างที่อยู่ใต้ชั้นดินซึ่งเป็นกรดมากกว่า ขึ้นมาปะปนที่ระดับความลึกภายในช่วงชั้นความลึกของผาโล (45-50 ซม.) อย่างไรก็ตาม ในชั้นดินล่างอิทธิพลของการชะละลายน่าจะทำให้แคตไอออนที่เป็นเบสซึ่งได้จากวัสดุปรับปรุงดินถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดิน จึงไม่มีผลต่อพีเอชของดินในระดับ 15-45 ซม. (Figure 2)



T1: No soil conditioner application, T2: Ground limestone 200 kg/rai, T3: Dolomite = 200 kg/rai, T4: Perlite 200 kg/rai, T5: Gypsum 200 kg/rai Different lowercase letters on bars grouped under the same depth are significantly different (p ≤ 0.05).

Figure 2 Cummulative effect of the interaction between tillage and soil conditioners on soil properties; soil pH (a), organic matter (b), available P (c), available K (d), available Ca (e) and available Mg (f) of Wn soil series at depths of 0-15, 15-30 and 30-45 cm

สรุป

การปลูกมันสำปะหลังในชุดดินวารินที่พบชั้นดานไถพรวนจำเป็นต้องแก้ปัญหาที่เกิดจากชั้นดานไถพรวนที่พบ และดินควรได้รับการปรับปรุงจึงจะทำให้ได้ผลผลิตในระดับที่พึงพอใจแต่จำเป็นต้องดำเนินการ 2 ปีต่อเนื่องจึงจะเห็นผลชัดเจน โดยการไถลึกประมาณ 45-50 ซม. ด้วยไถจานขนาด 28 นิ้ว และการใส่วัสดุปรับปรุงดินจะเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้เมื่อเปรียบเทียบกับไถปกติ (25-30 ซม.) ที่ใช้ไถจานขนาด 22 นิ้ว และการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลังได้ดี ยกเว้นการใส่โดโลไมต์ แต่ยังคงปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินชุดวารินให้ดีขึ้นได้ในระดับหนึ่ง เพอร์ไลต์เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้ดีที่สุดโดยการใส่ในอัตรา 200 กก./ไร่ ร่วมกับไถลึกจะให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลัง ผลผลิตแป้ง และชีวมวลเหนือดินสูงสุด ขณะที่การใส่ยิปซัมในอัตราเดียวกันร่วมกับไถลึกมีความเหมาะสมที่แนะนำให้ใช้แก้ไขปัญหาชั้นดานไถพรวนในชุดดินวารินสำหรับการปลูกมันสำปะหลังทั้งนี้เนื่องจากทำให้สภาพน้ำของดินขณะอิมตัวได้ขึ้นดินบนเร็วขึ้นอย่างชัดเจน อีกทั้งทำให้อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชหลงเหลือในดินสูงกว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่เหลือ ทั้งนี้รวมถึงผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้ไม่แตกต่างจากการใส่เพอร์ไลต์ แต่มีข้อเสียคือทำให้ดินมีพีเอชต่ำกว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่น การไถลึกในทุกปีที่มีการปลูกมันสำปะหลังสามารถแก้ปัญหการอัดแน่นของดินได้โดยทำให้ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึก 30-45 ซม. ลดลงอย่างชัดเจนซึ่งเป็นบริเวณที่พบชั้นดานไถพรวน ขณะที่การไถแบบปกติยังคงพบชั้นดานไถพรวนในดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงกว่า และมีสภาพน้ำขณะดินอิมตัวช้ากว่า

คำขอบคุณ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สวพ.) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2559. รายงานสภาวะอากาศ-นครราชสีมา. กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพฯ.
- จิรวรรณ พรหมมา, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, ศุภิมา ธนะจิตต์, เอิบ เขียวรัตน์ และปรีชา เพชรประไพ. 2555. ผลของชนิดและอัตราของปุ๋ยคอกต่อมันสำปะหลังที่ปลูกบนดินยโสธร. เกษตร. 40: 19-26.
- นิพัทธ์ ถนิมมาลย์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, อัญชลี สุทธิประการ, ศุภิมา ธนะจิตต์ และปรีชา เพชรประไพ. 2557. การใช้เพอร์ไลต์ มูลไก่กลบ และปุ๋ยสังกะสีให้ทางใบเพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในดินยโสธร. เกษตร. 42: 189-200.
- ปิ่นทิพย์ บุตรแก้ว, ศุภิมา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และ เอิบ เขียวรัตน์. 2556. การแก้ปัญหาดินเค็มโซเดียมที่ดอนที่พบชั้นดานเปราะ สำหรับการปลูกมันสำปะหลัง. เกษตร. 41: 433-444.
- มูลนิธิพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2558. พันธุ์มันสำปะหลังหัวยอบ 80. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/DruwV1>. ค้นเมื่อ 17 กุมภาพันธ์ 2558.
- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2558. การสำรวจ และการค้ามันสำปะหลัง. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/o3kss0>. ค้นเมื่อ 27 มีนาคม 2558.
- สัมฤทธิ์ ธิยาพันธ์, ศุภิมา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, อัญชลี สุทธิประการ และปรีชา เพชรประไพ. 2553. การแก้ไขปัญหาชั้นดานไถพรวนเพื่อการปลูกมันสำปะหลัง. เกษตร. 38: 191-204.
- อรพิน เกตุยกล่อม, ศุภิมา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, เอิบ เขียวรัตน์ และชลิดา ชัยเนตร. 2553. สมบัติของชั้นดานไถพรวนในดินปลูกมันสำปะหลังและอ้อย จังหวัดขอนแก่น. เกษตร. 38: 313-324.
- เอกพงศ์ มุสิกะเจริญ. 2551. การใช้หินปูนเพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง. แหล่งที่มา: <https://goo.gl/8cnKJL>. ค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2558.

- เอกราช มีวาสนา, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, เอบี เทียวรัตน์รมณ์ และอัญชลี สุทธิประการ. 2553. ลักษณะของชั้นดินา ไถพรวนในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา. แก่นเกษตร. 38: 205-214.
- Ahmad, N., F.U. Hassan, and R.K. Belford. 2009. Effect of soil compaction in the sub-humid cropping environment in Pakistan on uptake of NPK and grain yield in wheat (*Triticum aestivum*): I. compaction. alleviation. Field Crop Res. 110: 54-60.
- Anikwe, M.A.N, J.C. Eze, and A.N. Ibudialo. 2016. Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihote sculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. Soil Till. Res. 158: 32-38.
- Anusontpornperm, S., S. Nortcliff, and I. Kheoruenromne. 2005. Hardpan formation of some coarse-textured upland soils in Thailand. Paper presented at Management of Tropical Sandy Soils from Sustainable Agriculture. November 27-December 2, 2005. Khon Kaen, Thailand.
- Brady, N.C., and R.C. Weil. 2016. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Pearson Education, Inc. USA.
- Hall, D.J.M., D.C. McKenzie, and D.A. MacLeod. 1994. Amelioration of a hard setting Alfisol through deep moldboard ploughing, gypsum application and double cropping. II. Soil-water relations. Soil Till. Res. 28: 271-285.
- Howeler, R.H. 1995. Agronomy research in the Asian cassava network-towards better production without soil degradation. P. 368-401. In: R.H. Howeler, ed. Cassava Breeding, Agronomy Research and Technology Transfer in Asia. Proc. 4th Regional Workshop, Nov 26, 1993, held in Trivandrum, India
- Kaewkamthong, K., S. Thanachit, S. Anusontpornperm, and W. Wiriyakitnateekul. 2014. Alleviation of Soil Compaction Problem for Growing Cassava on a Typic Paleustult, Northeast Thailand. Asian J. Crop Sci. 6: 334-344.
- Mullins, C.E. 1989. Hardsetting. P. 109-128. In: R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine and B.A. Stewart, eds. Methods for Assessment of Soil Degradation. Adv. Soil Sci. CRC Press, New York.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, USDA.
- Suksawat, N., S. Thanachit, S. Anusontpornperm, and I. Kheoruenromne. 2010. Effect of tillage and soil amendments on yield of cassava grown on coarse-textured soils. Proceeding of 36th Congress on Science and Technology of Thailand, 26-28 October 2010, Bangkok International Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand.
- Surin, S., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, and W. Wisawapipat. 2013. Response of cassava grown on a Warin Soil to tillage and soil amendments. Proceeding of 39th Congress on Science and Technology of Thailand, 21-23 October 2013, Bangkok International Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand.