

ผลของการไถพรวนและวัสดุปรับปรุงดินต่อความเสถียรของเม็ดดิน ในชุดดินยโสธรที่ปลูกมันสำปะหลัง

Effect of tillage and soil amendments on aggregate stability in cassava growing Yasothon soil series

พุทธรักษา เสรี¹, สมชัย อานุสนธิ์พรเพิ่ม^{1*} และ สุภิญญา ธนะจิตต์¹

Puttaraksa Seree¹, Somchai Anusontpornperm^{1*} and Suphicha Thanachit¹

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของการไถพรวนและวัสดุปรับปรุงดินต่อความเสถียรของเม็ดดินในชุดดินยโสธรที่อัดแน่นในแปลงทดลองมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา ดำเนินการต่อเนื่อง 2 ปี วางแผนการทดลองแบบ Spilt Plot in Randomized Complete Block แปลงหลัก ได้แก่ การไถแบบปกติและการไถลึก แปลงทดลองย่อยเป็นการเปรียบเทียบการใส่วัสดุปรับปรุงดินได้แก่ กากแป้งมันสำปะหลัง เปลือกแป้งมันสำปะหลัง หินปูนบด และการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการไถที่ความลึกต่างกันไม่ทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังแตกต่างกัน ส่วนวัสดุปรับปรุงดินไม่มีผลต่อผลผลิตในปีแรก (4.92-5.57 ตัน/ไร่) แต่ในปีที่ 2 การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 2,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบดทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติเท่ากับ 3.39 ตัน/ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกแป้งมันสำปะหลังในอัตรา 500 หรือ 1,000 กก./ไร่ ที่ใส่ร่วมกับหินปูนบด (3.33 และ 3.27 ตัน/ไร่) การไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินให้ผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 2.10 ตัน/ไร่ การไถพรวนที่ระดับความลึกแตกต่างกันร่วมกับการใส่วัสดุปรับปรุงดินไม่มีผลทำให้ความแข็งของดิน (0.5-2.0 เมกะพาสคาล) แตกต่างกัน แต่การไถลึกร่วมกับการใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 1,000 กก./ไร่ร่วมกับหินปูนบด 200กก./ไร่ ทำให้ดินมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้สูงสุดในทุกระดับความลึกอยู่ในพิสัยร้อยละ 4.13-4.32 โดยปริมาตร เม็ดดินเสถียรน้ำส่วนใหญ่ในชุดดินยโสธรที่ถูกปรับปรุงยังคงมีขนาดเล็ก (<0.25 มม.) โดยการไถกลับวัสดุปรับปรุงดินที่ระดับความลึกแตกต่างกันมีผลทำให้เม็ดดินเสถียรน้ำในทุกขนาด (2-8, 1-2, 0.5-1, 0.25-0.5, 0.1-0.25 และเล็กกว่า 0.1 มม.) มีปริมาณแตกต่างกันทางสถิติ วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังส่งผลให้เกิดการสร้างตัวของเม็ดดินเสถียรน้ำขนาดใหญ่ในชั้นดินบน ส่วนในชั้นดินล่างที่ความลึก 30-50 ซม. หินปูนบดจะส่งเสริมการสร้างเม็ดดินขนาดใหญ่

คำสำคัญ: การไถพรวน, วัสดุปรับปรุงดิน, เม็ดดินเสถียรน้ำ, มันสำปะหลัง, ชุดดินยโสธร

ABSTRACT: A study on the effect of tillage and soil amendments on stability of aggregates in compacted Yasothon soil series was conducted in two consecutive-year experimental plot in Nakhon Ratchasima. The experiment was arranged in Spilt Plot in Randomized Complete Block design. Main plot consisted of conventional and deep tillages while subplot being a comparison among soil amendments applied such as cassava starch waste, cassava peel, ground limestone and no soil amendment application. Result showed that tillage practice at different depths induced no different cassava yields whereas soil amendments had no different effects either in the first year (4.92-5.57 t/rai) but in the second year the addition of cassava starch waste of 2,000 kg/rai together with ground limestone highly significantly contributed the highest cassava fresh tuber yield of 3.39 t/rai with no statistical difference to that from the addition of cassava peel at rates of 500 or 1,000 kg/rai along with ground limestone (3.33 and 3.27 t/rai). No application of soil amendment gave the lowest yield of 2.10 t/rai. Tillage at different depths together with adding soil amendment had no impact on different soil strengths (0.5-2.0 MPa) but deep tillage combining with the application of cassava starch waste of 1,000 kg/rai together with ground limestone of 200 kg/rai resulted in the highest

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

* Corresponding author: agrscc@ku.ac.th

available water capacity in the range of 4.13-4.32% by volume at all depths measured. Most water stable aggregates in amended Yasothon soil series were still small (<0.25 mm). The incorporation of soil amendments into different depths significantly stimulated different amounts of soil water stable aggregate in all sizes (2-8, 1-2, 0.5-1, 0.25-0.5, 0.1-0.25 and <0.1 mm). Wastes from starch manufacturing plant promoted the formation of large-sized water stable aggregate in topsoil while ground limestone enhancing the development of this large-sized aggregate in subsoil at the depth between 30-50 cm.

Keywords: Tillage, Soil amendment, Water stable aggregate, Cassava, Yasothon soil series

บทนำ

ชั้นดานไถพรวนและการอัดแน่นของดินเป็นปัญหาสำคัญต่อการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (เอกราช และคณะ, 2553; Anusontpomper et al., 2005) เนื่องจากชั้นอัดแน่นจะส่งผลโดยตรงต่อการดูดน้ำธาตุอาหารและน้ำของรากพืช จำกัการเจริญเติบโตของของมันสำปะหลังทำให้พืชไม่ค่อยตอบสนองต่อปุ๋ยเคมี (Maduakor, 1993; Voorhees, 1992) ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้ในภูมิภาคนี้จึงมีค่าต่ำที่สุดในประเทศ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2558) โดยมีรายงานที่พบว่า การไถพรวนดินในระดับลึกสามารถแก้ไขปัญหการอัดแน่นของดินได้แต่ยังคงไม่สามารถแก้ไขปัญหได้อย่างถาวรเนื่องจากชั้นดินเหล่านั้นกลับมาอัดตัวกันแน่นใหม่อีกครั้งภายใน 3-5 ปีหลังถูกทำลาย (Hakanssan et al., 1996; Van Doren and Triplett, 1979) ในบางการศึกษาพบว่า ชั้นดานไถพรวนจะกลับมาเกิดใหม่ภายใน 1 ปี (สัมฤทธิ์ และคณะ, 2553; Suksawat et al., 2010) ทั้งนี้สาเหตุสำคัญมาจากเม็ดดินมีเสถียรภาพต่ำ เม็ดดินจึงแตกออกจากกันได้ง่ายเมื่อมีการไถพรวนหรือได้รับแรงกระแทกจากเม็ดฝน (Liang et al., 2011) เมื่อมีแรงมากดทับจึงเกิดการจัดเรียงอนุภาคในช่องว่างของดินใหม่ ดินจึงเกิดการอัดแน่น (Lal, 2009; Barik et al., 2011) ซึ่งเม็ดดินขนาดใหญ่ที่มีเสถียรภาพจะส่งเสริมให้ดินร่วนซุย เก็บรักษาน้ำและอากาศได้ดี (Tisdall and Oades, 1982; Boix-Fayos et al., 2011) โดยเสถียรภาพของเม็ดดินจะขึ้นอยู่กับสารเชื่อม ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ ดินเหนียวซิลิเกต เหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ และแคตไอออนที่มีอำนาจในการแทนที่เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งเม็ดดินขนาด

ใหญ่มักได้จากการเชื่อมตัวของอนุภาคดินขนาดเล็กด้วยสารอินทรีย์ (Eswaran et al., 1993; Hakanssan et al., 1996) ในทางตรงกันข้ามจำนวนเม็ดดินขนาดเล็กมักได้จากการแตกออกของเม็ดดินขนาดใหญ่ที่ไม่มีเสถียรภาพ (Oades and Waters, 1991) Zhang et al. (2012) รายงานว่าการไถกลบตอซึ่งข้าวโพดและการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 9 และ 15 ตัน/เฮกตาร์ให้จำนวนเม็ดดินขนาดใหญ่กว่า 1 มม. เพิ่มมากขึ้นจากตำรับควบคุมทางสถิติ สอดคล้องกับ Adornis and Isaiah (2012) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยคอก 20 เม.ก./เฮกตาร์ให้จำนวนเม็ดดินขนาดเล็กต่ำกว่า แต่ให้เม็ดดินเสถียรน้ำขนาดใหญ่กว่า 0.5 มม. สูงกว่าตำรับควบคุมทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเม็ดดินขนาดเล็กถูกเชื่อมให้มีขนาดใหญ่และมีเสถียรภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ Ouyang et al. (2013) พบว่า การใส่ไบโอชาร์จะส่งเสริมการเกิดเม็ดดินขนาดใหญ่ ปัจจุบันในประเทศไทยมีเศษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังได้แก่ กากแป้งและเปลือกถ้างมันสำปะหลังถึง 9.54 และ 11.13 ล้านตัน (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2558) ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้เป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูง ขณะที่ ดินยโสธรมีความเป็นกรดค่อนข้างสูง การใช้หินปูนบดซึ่งมีราคาถูกร่วมเพื่อเพิ่มพีเอชดิน โดยเฉพาะในกรณีของการไถลึกน่าจะลดปัญหาการพลิกเอาดินล่างซึ่งเป็นกรดมากกว่าขึ้นคลุกเคล้ากับดินบน ดังนั้นการศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกากแป้ง เปลือกถ้างมันสำปะหลัง และหินปูนบดร่วมกับการไถพรวนที่ระดับความลึกแตกต่างกันต่อมันสำปะหลัง สมบัติทางฟิสิกส์ และการแจกกระจายของเม็ดดินในชุดดินยโสธร ซึ่งการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ในการปรับปรุงดินอย่างต่อเนื่องร่วมกับการไถพรวนในระดับลึกอาจเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่ม

เสถียรภาพของเม็ดดินเพื่อแก้ไขปัญหาการอัดแน่นของดินสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง อีกทั้งเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย

วิธีการศึกษา

การคัดเลือกพื้นที่เพื่อทำแปลงทดลองได้ใช้ข้อมูลจาก เอกราช และคณะ (2553) ที่รายงานว่า ชุดดินยโสธรที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังในอำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมาพบชั้นดานไทรพวนเป็นพื้นที่กว้างขวางโดยพบที่ความลึกประมาณ 30-35 ซม. จึงได้คัดเลือกบริเวณชุดดินยโสธรในบ้านดงกระสัง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา เป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งพบชั้นดานไทรพวนที่ความลึก 18-37 ซม. เนื่องจากเป็นชั้นดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงกว่าชั้นดินบนและชั้นดินด้านล่างอย่างชัดเจน (Table 1) นอกจากนี้ในพื้นที่นี้พบปัญหาชั้นดินอัดแน่นตั้งแต่ผิวดินจนถึงความลึก 37 ซม. โดยมีความหนาแน่นรวมอยู่ในพิสัย 1.71-1.78 เม.ก./ม³ (Table 1) ซึ่งมีค่าสูงกว่า 1.65 เม.ก./ม³ (Raper et al., 1998) ลักษณะดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อมันสำปะหลังโดยจะไปจำกัดการดูดกินธาตุอาหารและน้ำ ขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ทำให้ขาดแคลนน้ำในช่วงฝนทิ้งช่วง (Maduakor, 1983; Munkholm et al., 2007) นอกจากนี้ดินยังเป็นกรดจัดถึงกรดรุนแรงมาก (pH 4.1-5.0) และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Table 1)

จัดทำแปลงทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ Split Plot in Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ แปลงทดลองหลัก (Main plot) มีขนาด 96x120 ม. เป็นการใส่ปุ๋ยเคมี 3 ในการเปิดดินครั้งแรกเพื่อกลบวัสดุปรับปรุงดินที่ความลึกแตกต่างกัน ได้แก่ 25-30 ซม. ซึ่งเป็นความลึกปกติที่เกษตรกรใช้ทั่วไป (conventional tillage: C) และที่ระดับลึก 45-50 ซม. (deep tillage: D) ซึ่งงานไถที่ใช้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 22 และ 28 นิ้ว ตามลำดับ แปลงทดลองย่อย (subplot) ขนาด 8x10 ม. เป็นการใส่วัสดุปรับปรุงดินจำนวน 12 ต่ารับการทดลอง คือ การไม่ใส่วัสดุปรับปรุง

ดิน (T1) การใส่กากแป้งมันสำปะหลังอัตรา 500, 1,000 และ 2,000 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว (T2, T3 และ T4) และใส่ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ (T8, T9 และ T10) การใส่เปลือกถั่วมันสำปะหลังอัตรา 500 และ 1,000 กก./ไร่ เพียงอย่างเดียว (T5 และ T6) และใส่ร่วมกับหินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ (T11 และ T12) และ การใส่หินปูนบดอัตรา 200 กก./ไร่ (T7) ซึ่งเป็นอัตราที่มันสำปะหลังตอบสนองดีที่สุดจากการศึกษาในชุดดินยโสธร (Kanjana et al., 2012) โดยหินปูนบดเปลือกถั่วและกากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองมีสมบัติและธาตุองค์ประกอบแสดงใน Table 2 การศึกษานี้ดำเนินการ 2 ปีต่อเนื่อง เริ่มต้นการเตรียมดินในเดือนเมษายน 2556 โดยทำการใส่วัสดุปรับปรุงดินตามตำรับทดลองในแปลงทดลองย่อย จากนั้นใช้รถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งไถงานผล 3 ที่มีขนาดงานไถแตกต่างกันตามแปลงทดลองหลักในการเปิดหน้าดินและกลบวัสดุปรับปรุงดิน ปล่อยให้ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ ไถพรวนดินด้วยไถงานผล 7 จากนั้นทำการยกร่องขวางความลาดเทปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 บนสันร่อง โดยใช้ระยะปลูกเท่ากับ 120x80 ซม. การใส่ปุ๋ยใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ในอัตรา 50 กก./ไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือนโดยชุดหลุมใส่ข้างต้นแล้วกลบฝัง เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุ 10 เดือนในช่วงเดือนเมษายนของทั้งสองปี ทั้งนี้รูปแบบการไถพรวน การใส่ปุ๋ย และการจัดการพืชในปีที่ 2 ดำเนินการเหมือนกับในปีแรกของการศึกษา

การเก็บตัวอย่างดินในช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังปีที่ 2 โดยจัดทำหลุมหน้าตัดดินขนาด 60x60x60 ซม. ในทุกแปลงย่อยเก็บตัวอย่างดินที่ 5 ชั้นความลึก ได้แก่ 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 และ 40-50 ซม. เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ความแข็งของดินขณะแห้งโดยใช้เครื่องกดคอนกรีต (Northey and Schafer, 1974) และแจกกระจายของเม็ดดินเสถียรน้ำจำนวน 6 ชั้นขนาดดังนี้ 2-8 มม. (WSA1), 1-2 มม.(WSA2), 0.5-1 มม. (WSA3), 0.25-0.5 มม. (WSA4), 0.1-0.25 มม. (WSA5) และเล็กกว่า 0.1 มม. (WSA6) โดยวิธี wet

sieve (Leenheer and Boodt, 1959) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไปด้วยโปรแกรม SPSS

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

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density (Mg/m ³)	Soil pH (1:1 H ₂ O)	OM (g/kg)	Available		CEC (cmol _c /kg)	BS (%)
		sand	silt	clay					P	K		
0-18	Ap1	746	81	173	Sandy loam	1.71	5.0	7.7	5.04	153.6	3.8	22.7
18-37	Bt1	698	93	209	Sandy loam	1.78	4.2	7.9	1.97	17.0	7.0	23.3
37-58	Bt2	679	130	191	Sandy loam	1.65	4.7	7.7	1.23	14.5	4.2	11.8
58-80	Bt3	665	130	204	Sandy loam	1.63	4.5	7.9	1.23	16.8	4.0	14.6
80-103	Bt4	642	128	230	Sandy loam	1.64	4.1	7.2	0.25	13.9	5.7	15.5
103-127	Bt5	635	130	236	Sandy loam	1.53	4.1	7.0	0.94	13.3	10.0	9.1
127-150	Bt6	629	130	241	Sandy loam	1.73	4.3	6.9	1.83	12.1	6.8	15.2
150-173	Bt7	620	131	249	Sandy loam	1.69	4.4	5.3	1.39	11.8	5.8	18.8
173-200 ⁺	Bt8	702	142	156	Sandy loam	1.83	4.3	7.0	1.40	11.6	5.4	18.6

CEC = cation exchange capacity by NH₄OAc at pH 7.0 method; BS = base saturation percentage; Available P = soil extracted by Bray II solution; Available K = soil extracted by 1 M NH₄OAc at pH 7.0

Table 2 Properties and nutrient content of soil amendments used in the experiment.

Property	Ground limestone	Cassava starch waste	Cassava peel
pH(H ₂ O) 1:1	8.9	5.8	6.2
EC (dS/m) (1:5 H ₂ O)	0.07	1.19	1.06
OC (%)	0.06	19.7	20.5
CEC (cmol _c /kg)	nd	0.62	0.78
Total N (g/kg)	nd	3.5	6.3
Total P (g/kg)	3.7	0.6	0.5
Total K (g/kg)	0.3	2.8	5.2
Total Ca (g/kg)	359	5.6	6.2
Total Mg (g/kg)	53.6	1.4	1.3
Total Na (g/kg)	2.5	2.9	2.9
Total Fe (mg/kg)	0.41	nd	212
Total Zn (mg/kg)	170	nd	29
Total Cu (mg/kg)	217	4.40	3.41
Total Mn (mg/kg)	222	nd	105

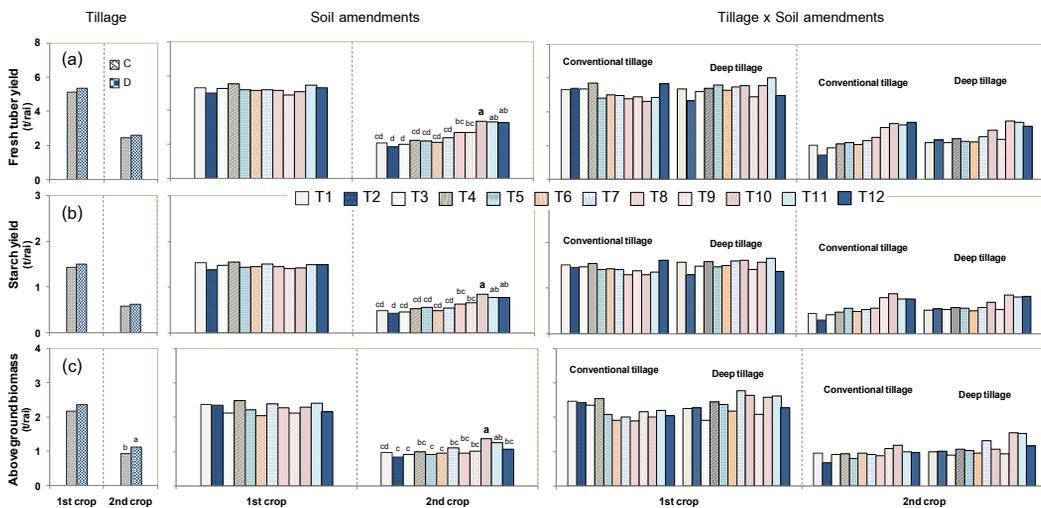
Note: nd = not determined.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลผลิตมันสำปะหลัง

รูปแบบการไถที่ความลึกต่างกันไม่มีผลต่อผลผลิตมันสำปะหลังทั้ง 2 ปี (Figure 1) ขณะที่วัสดุปรับปรุงดินไม่มีผลต่อความแตกต่างด้านผลผลิตในปีแรก (4.92-5.57ตัน/ไร่) ส่วนปีที่ 2 การใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 2,000 กก./ไร่ร่วมกับหินปูนบดทำให้ได้ผลผลิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.39 ตัน/ไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกถั่วมันสำปะหลังในอัตรา 500 หรือ 1,000 กก./ไร่ ที่ใส่ร่วมกับหินปูนบด (3.33 และ 3.27 ตัน/ไร่) และดำริบที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดินให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่ำเท่ากับ 2.10 ตัน/ไร่ (Figure 1) เนื่องจากวัสดุอินทรีย์

ที่ใช้มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูง (Table 2) เมื่อใส่ลงไปในดินจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดจับธาตุอาหารพืชและกักเก็บความชื้น อีกทั้งทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีและร่วนซุย (Komariah, 2008; Okonkwo et al., 2011) เช่นเดียวกับแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีอยู่มากในหินปูนบด ซึ่งมีส่วนช่วยในการทำให้เม็ดดินเกิดการจับตัวเป็นก้อน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย รากพืชสามารถซอนไซหาอาหารและน้ำได้ดีมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปผลของวัสดุปรับปรุงดินเหล่านี้มักจะส่งผลชัดเจนขึ้นเมื่อใส่ต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ปี อย่างไรก็ตาม ผลผลิตในปีที่ 2 ในทุกดำริบการทดลองมีปริมาณต่ำกว่าในปีที่ 1 ค่อนข้างมาก เนื่องจากปีดังกล่าวมีปริมาณและการกระจายตัวของฝนไม่ดี



C: conventional tillage, D: deep tillage, T1: no soil amendment application (control), T2, T3, T4: cassava starch waste at 500, 1000 and 2000 kg/rai, respectively; T5, T6: cassava peel at 500 and 1000 kg/rai, respectively, T7: ground limestone at 200 kg/rai; T8: T2+T7; T9: T3+T7; T10: T4+T7; T11: T5+T7; T12: T6+T7

Different lowercase letters on bars for different treatments are significantly different ($p \leq 0.05$).

Figure 1 Effect of tillage and soil amendments on yield components; fresh tuber yield (a), starch yield (b) and aboveground biomass (c) of cassava grown on Yasothon soil series.

การแจกกระจายของเม็ดดินเสถียรน้ำ

การไถพรวนที่ระดับความลึกแตกต่างกันร่วมกับการใส่วัสดุปรับปรุงดินมีผลทำให้เม็ดดินเสถียรน้ำในทุกขนาด (2-8 มม. (WSA1), 1-2 มม.(WSA2), 0.5-1 มม.(WSA3), 0.25-0.5 มม.(WSA4), 0.1-0.25 มม.(WSA5) และเล็กกว่า 0.1 มม. (WSA6) ในทุกระดับความลึกที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติ (Tables 3-5) อย่างไรก็ตาม ปริมาณของเม็ดดินเสถียรน้ำในแต่ละขนาดค่อนข้างแปรปรวน เม็ดดินขนาดใหญ่ที่ 2-8 มม. (WSA1) พบว่าการไถแบบปกติมีปฏิสัมพันธ์กับวัสดุปรับปรุงดินโดยทำให้ดินมีเม็ดดินขนาดใหญ่ในปริมาณที่ค่อนข้างมากที่ระดับความลึก 0-30 ซม. (Tables 3, 4) ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไถลึกกับวัสดุปรับปรุงดินส่งผลต่อปริมาณเม็ดดินเสถียรน้ำขนาดใหญ่ที่สุดที่ระดับความลึก 30-40 ซม. (Table 2) โดยการใส่วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานแบริ่งมันสำปะหลังมีผลทำให้ดินโดยภาพรวมมีปริมาณเม็ดดิน WSA1 มากที่สุดในดินตอนบน (0-30 ซม.) (Table 3 และ 4) เนื่องจากเปลือกถั่วและกากแบริ่งมันสำปะหลังเป็นวัสดุอินทรีย์ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนสูง เมื่อสลายตัวเป็นอินทรีย์วัตถุจะทำหน้าเป็นสารเชื่อมที่ทำได้เม็ดดินที่มีขนาดใหญ่และมีเสถียรภาพ (Six et al., 2000; Boix-Fayos et al., 2011; Tisdall and Oades, 1982) ส่วนหินปูนบดมีบทบาทต่อการสร้างเม็ดดินขนาดใหญ่ในช่วงความลึก 30-50 ซม. โดยแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นองค์ประกอบหลัก มีบทบาทในการจับตัวของอนุภาคดิน หรือ flocculating agent (Igwé et al., 1995) แต่เนื่องจากดินในพื้นที่ศึกษามีเนื้อค่อนข้างหยาบ แคลเซียมจึงถูกชะละลายได้ง่าย ทำให้ลงไปสะสมในบริเวณที่ลึกกว่า จึงส่งผลต่อชั้นดินล่างมากกว่าชั้นดินบน

ส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มม. (WSA2-WSA6) การไถพรวนร่วมกับการใส่วัสดุปรับปรุงดินต่างชนิดให้จำนวนเม็ดเสถียรน้ำแตกต่างกันในแต่ละช่วงชั้นความลึกของดิน (Tables 3-5) โดยที่ความลึก 0-10 ซม. การไถลึกเพียงอย่างเดียวจะให้ WSA2 และ WSA4 สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับร้อยละ 5.24 และ 42.6 ตามลำดับ แต่เมื่อไถลึกร่วมกับหินปูนบดให้ WSA3 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 20.37 และกากแบริ่ง

สำปะหลังในอัตรา 2,000กก./ไร่ ให้ WSA6 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 37.1 แต่เมื่อทำการไถปกติจะให้ WSA5 สูงที่สุดเท่ากับ 61.3 (Table 3) การไถปกติร่วมกับการใส่วัสดุปรับปรุงดินจะมีผลต่อจำนวนของเม็ดดินที่ระดับความลึก 10-20 ซม. มากกว่าในกรณีของการไถลึกยกเว้น WSA6 ที่พบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับร้อยละ 47.26 ในแปลงที่มีการไถลึกแต่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ขณะที่การไถแบบปกติร่วมกับการใส่กากแบริ่งมันสำปะหลังอัตรา 500 กก./ไร่ จะให้ WSA2 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 5.63 และเมื่อมีการใส่หินปูนบดร่วมด้วยทำให้มีเม็ดดินขนาด WSA3 และ WSA4 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.8 และ 21.38 ตามลำดับ แต่หากใส่เปลือกถั่วมันสำปะหลังในอัตราเดียวกันร่วมจะให้ WSA5 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 2.83 (Table 3)

ที่ระดับความลึก 20-30 ซม. การไถแบบปกติร่วมกับการใส่กากแบริ่งมันสำปะหลังอัตรา 500 และ 200 กก./ไร่ ให้ปริมาณ WSA2 และ WSA5 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.08 และ 61.9 ตามลำดับ แต่เมื่อทำการไถลึกร่วมทำให้ได้เม็ดดินขนาด WSA6 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 53.62 ส่วนการไถลึกเพียงอย่างเดียวให้เม็ดดินขนาด WSA3 และ WSA4 ที่ความลึก 30-40 ซม. สูงสุดเท่ากับร้อยละ 36.72 และ 25.93 ตามลำดับ (Table 4) การไถลึกร่วมกับการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ทำให้เม็ดดินขนาด WSA4 สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 38.66 แต่เมื่อใช้ร่วมกับการใส่หินปูนบดทำให้มีเม็ดดินขนาด WSA2 และ WSA3 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 5.66 และ 18.5 ตามลำดับ การไถแบบปกติร่วมกับการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินให้เม็ดดินขนาด WSA6 สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 35.61 แต่เมื่อใช้ร่วมกับเปลือกถั่วมันสำปะหลังอัตรา 500กก./ไร่ ทำให้มีเม็ดดินขนาด WSA5 ที่ระดับความลึก 40-50 ซม. สูงสุดเท่ากับร้อยละ 42.9 (Table 4) การไถแบบปกติร่วมกับการไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินให้เม็ดดิน WSA6 สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 37.07 แต่เมื่อใช้ร่วมกับเปลือกถั่วมันสำปะหลังอัตรา 500 และ 1,000 กก./ไร่ ทำให้มีเม็ดดินขนาด WSA5 และ WSA2 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 45.1 และ 13.54 ตามลำดับ และใช้ร่วมกับกากแบริ่งมันสำปะหลังอัตรา 500 กก./ไร่ ทำให้มีเม็ดดินขนาด WSA4 และ WSA3 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 33.9 และ 12.8 ตามลำดับ (Table 5)

Table 3 Effect of tillage and soil amendments on water stable aggregate (WSA) distribution in Yasothon soil series at 0-10 and 10-20 cm depths.

Treatment	Water stable aggregate size (mm) distribution (%)											
	8-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1	8-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1
	Soil depth: 0-10 cm						Soil depth: 10-20 cm					
T1C	1.23g	2.11efg	6.56cd	18.53cde	39.34cde	32.27a	9.82d	1.85l	6.68g	16.68l	38.82h	25.89i
T2C	1.54fg	1.73efg	6.82cd	19.06cd	37.26de	33.42a	3.58j	5.63a	8.13c	16.84k	37.82e	28.09f
T3C	6.06c	3.4bcd	7.68bcd	22.56b	35.63ef	24.63ab	10.41c	2.69ij	8.15c	18.27i	31.84cd	28.75e
T4C	2.16ef	2.12efg	8.23bc	22.57b	61.35a	3.55c	3.51j	3.41g	8.20c	18.69h	39.05i	27.16h
T5C	1.42fg	1.47fgh	7.1cd	20.09bcd	44.74b	25.17ab	7.73f	1.54m	7.58e	19.48g	38.38f	25.31k
T6C	27.37a	2.72cd	3.26d	8.38g	29.92g	28.28a	19.33a	5.22b	5.37j	13.79m	33.32cd	23.03l
T7C	1.29g	1.77efg	6.35cd	18.57cde	45.27b	26.75a	1.72l	2.87h	8.59b	19.71ef	41.28n	25.82ij
T8C	1.49fg	2.02efg	11.70b	20.54bc	38.44cde	25.84a	1.21n	3.53f	8.83a	21.38a	43.27q	21.78o
T9C	6.08c	3.37bcd	7.66bcd	18.57cde	45.26b	26.75a	10.37c	2.72ij	8.12c	19.71ef	41.27m	25.83ij
T10C	2.17ef	2.08efg	8.23bc	18.51cde	45.18b	26.8a	3.55j	3.4g	8.21c	19.77e	41.35o	25.87i
T11C	1.36fg	1.50fgh	7.05cd	1.22j	1.73j	6.27c	7.68f	1.6m	7.52e	1.77p	2.83a	8.57s
T12C	27.44a	2.67cde	3.31d	18.66cde	45.35b	26.67a	19.27a	5.17b	5.33j	19.63f	41.21l	25.74j
T1D	2.49e	5.24a	9.48bc	42.66a	36.91de	3.25c	3.18k	3.87d	4.90k	10.27n	30.52c	47.26a
T2D	0.95g	2.38def	3.27d	20.10bcd	38.85cde	34.42a	6.76g	3.81d	6.33i	17.61j	37.60e	27.84g
T3D	0.76g	0.46h	6.94cd	19.96	42.72bc	29.14a	1.57m	2.64j	7.78d	19.48g	38.62g	29.87c
T4D	2.82e	1.08gh	6.48cd	16.76def	35.87ef	37.07a	1.77l	1.25n	6.31i	20.13d	41.53p	29.06d
T5D	2.67e	3.82b	7.47bcd	18.87cde	39.62cde	27.49a	11.18b	4.06c	6.81f	17.64j	38.30e	21.93n
T6D	0.68g	1.67efg	7.15cd	20.48bc	41.25bcd	29.1a	4.03i	2.04k	6.43h	18.74h	36.47d	32.32b
T7D	3.97d	5.31a	20.37a	15.69ef	21.86h	32.83a	5.14h	3.68e	8.78a	21.11bc	39.92j	21.34pq
T8D	7.47b	3.77bc	7.74bcd	15.16f	32.58fg	33.28a	8.46e	2.77i	8.21c	19.65ef	38.32e	22.58m
T9D	0.76g	0.42h	7.00cd	20.59bc	28.64g	11.94bc	1.53m	2.66j	7.77d	21.12bc	39.96k	21.33pq
T10D	2.85e	1.04gh	6.47cd	20.48bc	28.72g	11.84bc	1.77l	1.24n	6.30i	21.17b	29.88	21.29q
T11D	2.62e	3.76bc	7.50bcd	5.26h	6.93i	26.71a	11.14b	4.12c	6.83f	5.18o	3.62b	8.88r
T12D	0.74g	1.68efg	7.27cd	20.64bc	28.61g	11.98bc	3.97i	1.97k	6.38hi	21.04c	39.92i	21.42p
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	9.83	24.44	29.73	9.33	6.78	30.83	0.83	1.46	0.76	0.41	0.15	0.25

** significantly different at 0.01 probability level, means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.01$.

C: conventional tillage, D: deep tillage, T1: no soil amendment application (control), T2, T3, T4: cassava starch waste at 500, 1000 and 2000 kg/rai, respectively; T5, T6: cassava peel at 500 and 1000 kg/rai, respectively, T7: ground limestone at 200 kg/rai; T8: T2+T7; T9: T3+T7; T10: T4+T7; T11: T5+T7; T12: T6+T7

Table 4 Effect of the interaction between tillage and soil amendments on water stable aggregate (WSA) distribution in Yasothon soil series at 20-30 and 30-40 cm depths.

Treatment	Water stable aggregate size (mm) distribution (%)											
	8-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1	8-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1
	Soil depth: 20-30 cm						Soil depth: 30-40 cm					
T1C	1.66k	2.03g	6.47k	19.39l	41.78d	28.74g	0.08p	1.52h	5.14p	17.87o	39.66h	35.61a
T2C	4.18e	6.08a	8.28e	17.23p	35.33l	28.89f	4.14e	2.13f	6.36m	16.48r	34.91n	35.93a
T3C	1.18mn	1.27n	6.72i	20.38g	36.60j	34.10c	0.66o	1.42ij	5.63n	17.37p	39.11j	35.82a
T4C	1.07o	1.79ij	6.51jk	19.73j	61.92a	9.04p	3.94f	1.18k	12.91c	24.82b	34.58o	22.55h
T5C	3.57f	1.93gh	9.18b	23.62b	41.12g	20.59l	1.88l	1.48hi	6.97k	21.47g	42.96a	25.17f
T6C	3.36g	3.39e	8.88c	18.18n	34.72m	31.48d	2.93i	2.88d	7.19hi	20.14k	39.95g	26.9d
T7C	1.32l	1.64kl	7.58g	21.45d	46.89b	21.05k	1.29m	1.77g	8.65d	22.18ef	42.43bc	23.74g
T8C	12.80a	4.67c	7.82f	18.98m	37.47h	18.25n	2.05k	3.45c	7.05ij	20.03l	41.28e	26.12e
T9C	1.14no	1.22n	6.77i	21.46d	46.94b	21.05k	0.69o	1.42ij	5.67n	22.25e	42.36c	23.74g
T10C	1.04o	1.76ij	6.54jk	21.40d	46.84b	21.10k	3.95f	1.16k	12.90c	22.25e	42.47b	23.68g
T11C	3.6f	1.88hi	9.24b	1.25s	1.63r	7.61q	1.81l	1.43ij	6.90kl	1.24s	1.73s	7.61j
T12C	3.43g	3.48e	8.94c	21.52c	46.87b	21.00k	2.87i	2.9d	7.22h	22.10f	42.44bc	23.82g
T1D	7.46d	0.78o	36.72a	25.93a	18.13p	11.06o	3.15h	0.45l	17.24b	38.66a	36.66m	3.76k
T2D	2.23i	1.72jk	4.34n	11.71q	26.35o	53.62a	6.17b	4.13b	6.38m	16.82q	37.17l	29.40c
T3D	2.10j	2.45f	7.52g	17.49o	32.38n	38.11b	2.48j	2.18f	6.88l	19.11m	39.38	30.07b
T4D	1.25lm	1.65kl	6.9h	20.13h	41.44e	28.68g	0.82n	1.39ij	7.37g	22.49d	42.39bc	25.61ef
T5D	8.81c	5.45b	4.47m	21.06e	36.48k	23.66j	3.77g	2.45e	7.77f	20.74h	41.17f	24.09g
T6D	0.53p	1.48m	5.93l	19.98i	42.50c	29.58e	5.94c	3.45c	7.13i	18.7n	37.97k	26.8d
T7D	2.76h	2.37f	6.60j	19.42kl	41.33ef	27.49hi	24.57a	5.66a	18.52a	20.52ij	30.18pq	0.62l
T8D	9.87b	4.02c	8.63d	20.53f	36.86i	20.09m	5.1d	1.48hi	8.3e	20.55ij	41.77d	22.77h
T9D	2.09p	2.40f	7.57g	19.42kl	41.33ef	27.50hi	2.52j	2.16f	6.88l	20.45j	30.18pq	0.63l
T10D	1.2mn	1.63kl	6.90h	19.42kl	41.30f	27.56h	0.80n	1.37j	7.37g	20.58i	30.24p	0.58l
T11D	8.87c	5.53b	4.52m	2.73r	2.42q	6.58r	3.82g	2.4e	7.73f	24.52c	5.58r	18.46i
T12D	0.57p	1.53im	5.88l	19.48k	41.38ef	27.41i	5.87c	3.38c	7.11i	20.47j	30.13q	0.68l
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	1.53	2.44	0.66	0.17	0.19	0.26	1.66	2.47	0.53	0.28	0.18	1.67

** significantly different at 0.01 probability level; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.01$.

C: conventional tillage, D: deep tillage, T1: no soil amendment application (control), T2, T3, T4: cassava starch waste at 500, 1000 and 2000 kg/rai, respectively; T5, T6: cassava peel at 500 and 1000 kg/rai, respectively, T7: ground limestone at 200 kg/rai; T8: T2+T7; T9: T3+T7; T10: T4+T7; T11: T5+T7; T12: T6+T7

อย่างไรก็ตาม เม็ดดินส่วนใหญ่ของชุดดินยโสธร ยังคงมีขนาดเล็ก (เล็กกว่า 0.25 มม.) โดยพบในปริมาณมากกว่าครึ่งหนึ่งของเม็ดดินทั้งหมดที่พบ โดยเฉพาะในขนาด 0.25-0.5 มม. (WSA4) ที่พบมากที่สุด ส่วนเม็ดดินขนาดใหญ่ (WSA1) จะสะสมที่ระดับความลึก 10-20 ซม. (Tables 3-5) ซึ่งอาจถูกทำลายให้มีขนาดเล็กลงโดยการไถพรวนในการเตรียมดินเพื่อปลูกพืชในฤดูถัดไป แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางฟิสิกส์ของดินยังไม่ดีพอถึงแม้ว่าจะได้รับการปรับปรุง

อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ปี ทั้งนี้เนื่องจากความเสถียรของเม็ดดินขนาดใหญ่ยังคงอยู่ในระดับต่ำ เม็ดดินขนาดใหญ่จึงมีโอกาสแตกออกเป็นเม็ดขนาดเล็ก (Oades and Waters, 1991) โดยการไถลึกทำให้ดินมีปริมาณเม็ดดินเสถียรน้ำขนาด 0.25-0.5 มม. มากกว่าการไถปกติ แสดงว่าการไถจนถึงระดับความลึกประมาณ 45-50 ซม. มีผลทางเชิงกลทำให้เม็ดดินลดขนาดลงโดยเฉพาะในชั้นล่างๆ ที่การไถปกติไม่สามารถไถลงไปได้

Table 5 Effect of the Interaction between tillage and soil amendments on water stable aggregate (WSA) distribution in Yasothon soil series at 40-50 cm depth.

Treatment	Water stable aggregate size (mm) distribution (%)					
	8-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1
	Soil depth: 40-50 cm					
T1C	0.5j	1.29k	5.15n	16.69r	39.31h	0.5j
T2C	0.18o	11.08b	12.82a	33.94a	34.34p	0.18o
T3C	2.26c	3.15e	7.62e	19.81n	35.88o	2.26c
T4C	0.25no	1.47i	6.86h	21.49g	39.04i	0.25no
T5C	0.41k	1.33jk	7.22g	21.00i	45.12a	0.41k
T6C	0.80g	13.54a	5.82l	18.72p	40.44e	0.80g
T7C	0.28lmn	1.42ij	6.62i	20.78jk	42.51cd	0.28lmn
T8C	1.21e	2.6f	9.04c	25.18b	42.75b	1.21e
T9C	2.23c	3.10e	7.64e	20.76jk	42.51cd	2.23c
T10C	0.27mn	1.47i	6.86h	20.72k	42.44d	0.27mn
T11C	0.42k	1.39ijk	7.29fg	0.36t	1.47s	0.42k
T12C	0.75gh	13.6a	5.79l	20.85j	42.59c	0.75gh
T1D	0.37kl	1.38ijk	5.52m	19.54o	40.33f	0.37kl
T2D	1.08f	1.96h	6.18k	18.45q	39.82g	1.08f
T3D	2.81b	4.68d	9.78b	23.91d	32.61q	2.81b
T4D	0.35klm	0.88l	8.29d	24.96c	36.94k	0.35klm
T5D	0.64i	0.61n	6.36j	20.21m	38.45j	0.64i
T6D	1.73d	1.37ijk	7.32f	21.34h	39.27h	1.73d
T7D	7.51a	5.54c	9.76b	22.88ef	36.71lm	7.51a
T8D	1.04f	2.24g	8.23d	20.55l	36.43n	1.04f
T9D	2.80b	4.67d	9.81b	22.93ef	36.71lm	2.80b
T10D	0.34klm	0.84l	8.29d	22.82f	36.63m	0.34klm
T11D	0.69hi	0.66m	6.41j	7.57s	5.56r	0.69hi
T12D	1.68d	1.45i	7.32f	22.94e	36.77l	1.68d
F-test	**	**	**	**	**	**
CV (%)	3.51	1.61	0.59	0.31	0.17	3.51

** significantly different at 0.01 probability level; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.01$.

C: conventional tillage, D: deep tillage, T1: no soil amendment application (control), T2, T3, T4: cassava starch waste at 500, 1000 and 2000 kg/rai, respectively; T5, T6: cassava peel at 500 and 1000 kg/rai, respectively, T7: ground limestone at 200 kg/rai; T8: T2+T7; T9: T3+T7; T10: T4+T7; T11: T5+T7; T12: T6+T7

เม็ดดินขนาด 1-2 มม. ที่พบในการศึกษาครั้งนี้ ปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดดินขนาดอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้อย่างไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการสร้างเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

เรื่อยๆ ส่วนเม็ดดินขนาด 0.5-1 มม. มีค่าอยู่ในพิสัยแคบๆ โดยปริมาณเริ่มมีความแตกต่างชัดเจนขึ้นบ้างที่ระดับความลึก 30 ซม. ลงไปซึ่งผลไถไม่สามารถรบกวนดินในส่วนดังกล่าวได้ แสดงให้เห็นว่าเม็ดดินมี

โอกาสสร้างตัว และถูกทำลายได้น้อยลง เนื่องจากเป็นระดับความลึกที่การไถแบบปกติไม่สามารถไปทำลายได้ ดังนั้นเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 1.0 มม. ที่เกิดจากการจับตัวของเม็ดดินขนาดนี้ น่าจะเพิ่มได้มากขึ้นหากมีการเพิ่มเติมวัสดุปรับปรุงดินก่อนการปลูกพืชในแต่ละปีอย่างต่อเนื่อง

ความแข็ง ความหนาแน่นรวม และน้ำที่เป็นประโยชน์ของดิน

การไถพรวนที่ระดับความลึกแตกต่างกันร่วมกับการใส่วัสดุปรับปรุงดินไม่มีผลทำให้ความแข็งของดิน (0.5-2.4 เมกะพาสคาล) แตกต่างกัน (Table 6) แต่ทำให้ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันทางสถิติ การไถลึกทำให้ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินสูงกว่าการไถแบบปกติยกเว้นที่ระดับความลึก 10-20 ซม. การใส่กากแบริ่งมันสำปะหลัง 1,000 กก./ไร่ ร่วมกับหินปูนบด 200กก./ไร่ ทำให้ดินมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้สูงสุดในทุกระดับความลึกที่ทำการศึกษา และไม่ได้แตกต่างกับการใส่กากแบริ่งมันสำปะหลังในอัตรา

เดียวกันเพียงอย่างเดียว ในกรณีหลังยังพบปฏิสัมพันธ์กับการไถลึกที่ทำให้ดินที่ความลึกตั้งแต่ 0-50 ซม. มีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้สูงสุด (Figure 2)

การไถลึกให้ความหนาแน่นรวมดินสูงกว่าการไถปกติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 1.47-1.60 เม.ก/ม³ และ 1.40-1.53 เม.ก/ม³ ตามลำดับ (Table 6) แสดงให้เห็นว่าชั้นดานอาจถูกทำลายและเกิดขึ้นมาใหม่ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Raper et al., 1998) และมีความเป็นไปได้ว่า การไถลึกที่ระดับ 45-50 ซม. อาจนำชั้นดินล่างที่มีความอัดแน่นมากกว่าขึ้นมาคลุกเคล้ากันกับชั้นดินบน นอกจากนี้ความแข็งของดินส่วนใหญ่มีค่าประมาณสูง 2 เมกะพาสคาลซึ่งเริ่มจะส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช ถึงแม้ว่าค่าความแข็งที่สูง 2.5 เมกะพาสคาลจะเป็นค่าที่ยอมรับกันทั่วไปว่าส่งผลอย่างรุนแรงต่อการชอนไชของรากพืช (Groenevelt et al., 2001) ทั้งนี้โดยเฉพาะที่ความลึก 20-30 ซม. ทั้งในกรณีที่ทำกรปรับปรุงดินร่วมกับการไถพรวนที่ระดับลึกซึ่งให้ผลสอดคล้องกับขนาดเม็ดดินเสถียรส่วนใหญ่ที่ยังอยู่ในขนาดเล็ก (WSA4)

Table 6 Effect of the interaction between tillage and soil amendments on bulk density and soil strength of Yasothon soil series at 0-50 cm depth.

Treatment	Bulk density (Mg/m ³)					Strength (MPa)				
	Soil depth (cm)					Soil depth (cm)				
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Tillage (T)										
C	1.41 b	1.40 b	1.47 b	1.53 b	1.62	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00
D	1.47 a	1.47 a	1.55 a	1.60 a	1.57	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Soil conditioner (S)										
T1	1.42	1.44	1.59	1.66	1.59	1.00	1.80	1.90	1.90	1.90
T2	1.38	1.43	1.51	1.58	1.58	1.27	1.70	1.90	2.00	2.10
T3	1.44	1.42	1.48	1.59	1.53	0.90	1.50	1.80	1.60	1.50
T4	1.50	1.42	1.50	1.54	1.50	1.10	1.80	2.00	1.60	1.80
T5	1.47	1.45	1.52	1.67	1.64	1.70	1.90	2.00	2.00	1.80
T6	1.47	1.48	1.57	1.56	1.58	1.00	1.70	2.20	2.00	1.90
T7	1.46	1.47	1.50	1.53	1.60	1.30	2.10	2.00	1.90	1.70
T8	1.42	1.42	1.45	1.50	1.65	0.50	1.40	2.20	1.90	1.90
T9	1.40	1.42	1.49	1.54	1.63	1.10	1.40	1.70	2.10	1.80
T10	1.46	1.38	1.53	1.53	1.60	1.30	1.90	1.90	2.00	1.90
T11	1.41	1.43	1.49	1.55	1.64	1.10	1.70	2.00	2.20	1.70
T12	1.45	1.42	1.49	1.56	1.59	0.90	1.80	1.80	2.00	1.80
F-test										
T	*	**	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7.48	5.93	5.93	8.07	7.93	58.3	36.6	23.1	23.3	25.0

ns: non-significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lower-case letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ and 0.01. C: conventional tillage, D: deep tillage, T1: no soil amendment application (control), T2, T3, T4: cassava starch waste at 500, 1000 and 2000 kg/rai, respectively; T5, T6: cassava peel at 500 and 1000 kg/rai, respectively, T7: ground limestone at 200 kg/rai; T8: T2+T7; T9: T3+T7; T10: T4+T7; T11: T5+T7; T12: T6+T7

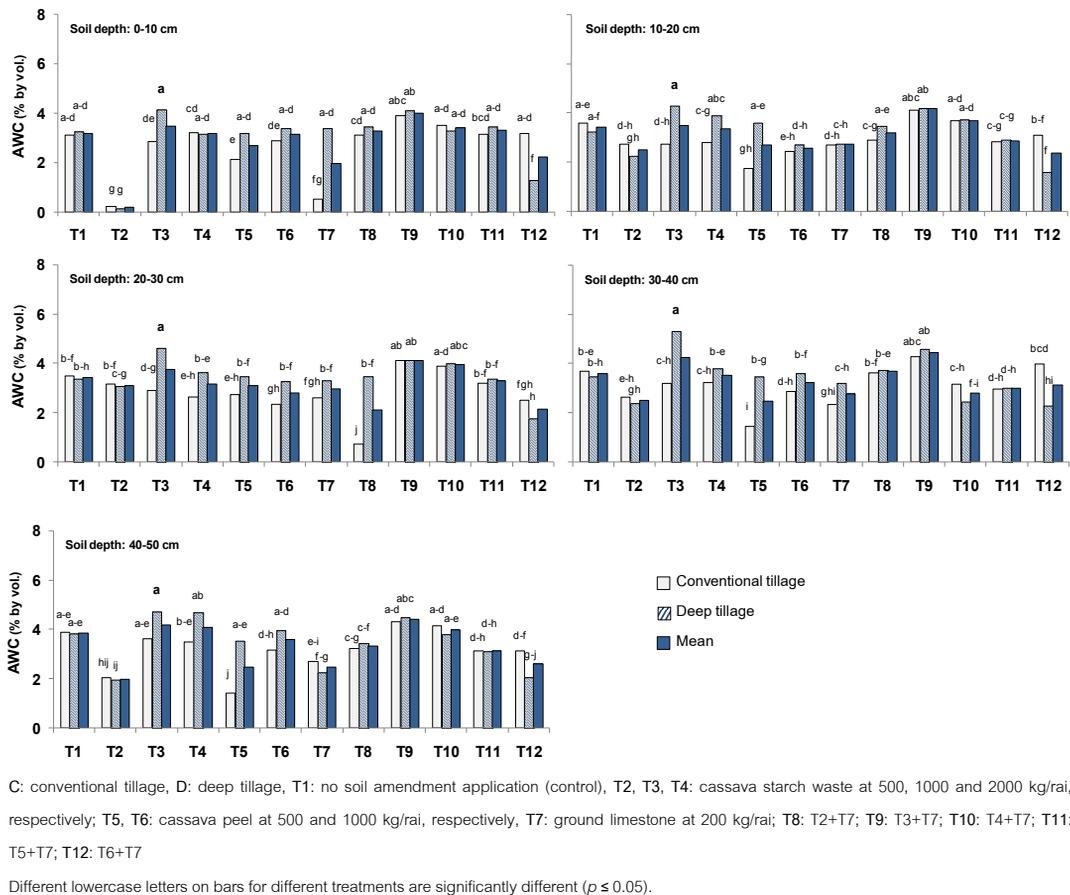


Figure 2 Effect of the nteraction between tillage and soil amendments on available water capacity of Yasothon soil at 0-50 cm depth.

สรุป

รูปแบบการไถเปิดดินครั้งแรกไม่มีผลต่อผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินยโสธรทั้งสองปีที่ศึกษา แต่การใส่วัสดุปรับปรุงดิน 2 ปี ต่อเนื่องส่งผลเชิงบวกต่อผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดในปีที่ 2 อย่างชัดเจน โดยการปรับปรุงดินด้วยการใส่กากแป้งมันสำปะหลัง 2,000 กก./ไร่ร่วมกับหินปูนบด หรือการใส่เปลือกถั่วมันสำปะหลังในอัตรา 500 หรือ 1,000 กก./ไร่ที่ใส่ร่วมกับหินปูนบดช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้สูงสุดไม่แตกต่างกัน การใส่เศษเหลือทั้งสองมีแนวโน้มทำให้ดินมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้สูงกว่า อย่างไรก็ตาม สมบัติทางฟิสิกส์ของดินยังไม่ดีขึ้นมากนักถึงแม้ว่าจะได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็น

เวลา 2 ปี เนื่องจากเม็ดดินเสถียรน้ำส่วนใหญ่ในดินยังคงมีขนาดเล็ก (<0.25 มม.) โดยพบในขนาด 0.25-0.5 มม. มากที่สุด รวมทั้งความแข็งของดินโดยเฉพาะที่ความลึก 20-30 ซม. มีค่าสูงเกินกว่า 2 เมกะพาสคาล ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพืชได้ การไถลึกยังทำให้ความหนาแน่นรวมดินสูงกว่าการไถปกติ อย่างไรก็ตาม การไถกลบวัสดุปรับปรุงดินที่ระดับความลึกแตกต่างกันมีผลทำให้เม็ดดินเสถียรน้ำในทุกขนาด ได้แก่ 2-8, 1-2, 0.5-1, 0.25-0.5, 0.1-0.25 และเล็กกว่า 0.1 มม. แตกต่างกัน โดยวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังทำให้เกิดการสร้างตัวของเม็ดดินเสถียรน้ำขนาดใหญ่ในชั้นดินบนที่ภายในความลึก 30 ซม. ส่วนในชั้นดินที่ลึกกว่า 30 ซม. หินปูนบดจะทำให้เม็ดดินขนาดเล็กเกิดการรวมตัวเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ จากผล

การศึกษาที่ได้มีความชัดเจนระดับหนึ่งในด้านผลของการจัดการข้างต้นต่อผลผลิตมันสำปะหลัง และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินซึ่งส่วนใหญ่ให้ความสำคัญที่สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน แต่เนื่องจากการไถมีการพลิกดินกลับไปมาโดยเฉพาะการไถลึกที่ระดับ 45-50 ซม. ที่ทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันระหว่างดินบนและดินล่างที่เป็นชั้น Bt1 จึงอาจจะทำให้ข้อมูลที่แสดงความแตกต่างยังไม่ชัดเจนนักโดยเฉพาะในเรื่องความหนาแน่นรวมของดิน

คำขอบคุณ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2558. เอกสารสถิติการเกษตรของประเทศไทยเลขที่ 2/2558 ปี เพาะปลูก 2557/2558. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สัมฤทธิ์ ริยาพันธ์, สุภิมา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และ อัญชลี สุทธิประการ. 2553. การแก้ไขปัญหาคันดานไถพรวนเพื่อการปลูกมันสำปะหลัง. เกันเกษตร. 38: 191-204.
- เอกราช มีวาสนา, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, เอิบ เขียววรีนรมณ์ และอัญชลี สุทธิประการ. 2553. ลักษณะของชั้นดานไถพรวนในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา. เกันเกษตร. 38: 205-214.
- Adornis, D.N., and C.W. Isaiah. 2012. Aggregate stability and strength of a hardsetting soil amended with cattle manure. *African J. Agric. Res.* 7: 68-73.
- 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.
- Barik, K., M.Y. Canbolat, R. Yanik, and K.R. Islam. 2011. Compressive behavior of soil as affected by aggregate size with different textures in Turkey. *J. Animal Plant Sci.* 21: 186-192.
- Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson and M.D. Soriano Soto. 2011. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena.* 44: 47-67.
- Eswaran, H., E. Van Den Berg, and P. Reich. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 192-194.
- Groenevelt, P.H., C.D. Grant, and S. Semesta. 2001. A new procedure to determine water availability. *Aust. J. Soil Res.* 39: 577-598.
- Hakansson, I., T. Grath, and H.J. Olsen. 1996. Influence of machinery traffic in Swedish farm fields on penetration resistance in the subsoil. *Swedish J. Agric. Res.* 26: 181-187.
- Igwe, C.A., F.O.R. Akamigbo, and J.S.C. Mbagwu. 1995. Physical properties of soils of southeastern Nigeria and the role of some aggregating agents in their stability. *Soil Sci.* 160: 431-441.
- 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.
- Komariah, K., M. Ito, J. Senge, T. Adomako, and dan Afandi. 2008. Amendment of soil physical and biological properties using rice husk and tapioca wastes. *J. Jap. Soc. Soil Phys.* 108: 81-90.
- Lal, R. 2009. Soils and food sufficiency: a review. *Agron. Sustain. Develop.* 29(1): 113-133.
- Leenheer, L., and M. Boodt. 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Meded. Landb. Gent.* 24: 290-351.
- Ouyang, L., F. Wang, J.Tang, L. Yu, and R. Zhang. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *J. Soil Sci. Plant Nutri.* 13: 991-1002.
- Liang, X.A., W. Xia, S.H. Zhang, and R.N. Wang. 2011. Water-stable aggregate of different size in 0-30 cm depth under tillage treatment. State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, China.

- Maduakor, H.O. 1993. Effect of soil compaction on leaf, stem and fibrous root growth of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). School of Agriculture and Agricultural Technology, Federal University, Nigeria.
- Munkholm, L.J., J.E. Olesen, and P. Schjonning. 2007. Subsoil loosening eliminated plough pan but had variable effect on crop yield. Danish Institute of Agricultural Sciences, Department of Agroecology, Tjele, Denmark.
- Northey, R.D., and G.J. Schafer. 1974. Lime stabilization of New Zealand soils: 1. method and preliminary results for an allophonic soil. N.Z. J. Sci. 17: 131-15.
- Oades, J.M., and A.G. Waters. 1991. Aggregate hierarchy in soils. Aust. J. Soil Res. 29: 815-828.
- Okonkwo, C., I. Onyibe, and C.N. Mbah. 2011. Influence of different forms of cassava peel on physicochemical properties of an Ultisol and yield of Maize (*Zea mays* L.) in Abakaliki south eastern Nigeria. J. Agri. Biol. Sci. 2: 78-83.
- Raper, R.L., D.W. Reeve, and E.C. Burt. 1998. Using in-row subsoiling to minimize soil compaction caused by traffic. J. Cotton Sci. 2: 130-135
- Six, J., E.T. Elliott, K. Paustian, and J.W. Doran. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biol. Biochem. 32: 2099-2103.
- 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. The 36th Congress on Science and Technology of Thailand (STT36), October 26-28, 2010, Bang-na, Bangkok.
- Tisdall, J.M., and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. J. Soil Sci. 33: 141-163.
- Van Doren, D.M., and G.B. Triplett. 1979. Tillage systems for optimizing crop production. pp. 2-23. In: R. Lal, ed. Soil Tillage and Crop Production. Proceedings Series, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.
- Voorhees, W.B. 1992. Wheel-induced soil physical limitation to root growth. pp. 73-95. In: J.L. Hatfield and B. Stewart, eds. Advances in Soil Science, Vol. 19. Springer-Verlag, New York.
- Zhang, X.A., R.E. Wang, and S.H. Wu. 2012. Soil aggregate distribution of soil under different soil management practices. State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China.