ผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำระยะยาวต่อการกร่อนดิน และการกักเก็บคาร์บอนในระบบพืชไร่

Effect of long-term soil and water conservation measure on soil erosion and carbon sequestration under field crop practices

อาทิตย์ ศุขเกษม[1], สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม[1*], เอิบ เขียวรื่นรมณ์[1], อัญชลี สุทธิประการ[1] และ ศุภิณา ธนะจิตต์[1]

Arthit Sukhkasem[1], Somchai Anusontpornperm[1*], Irb Kheoruenromne[1], Anchalee Suddhiprakarn[1] and Suphicha Thanachit[1]

บทคัดย่อ การศึกษาดำเนินการใน 2 บริเวณที่เป็นดินเนื้อละเอียดที่มีความลาดชัน ร้อยละ 6-8 และดินเนื้อค่อนข้างหยาบที่มีความลาดชันร้อยละ 3-4 ของแปลงเกษตรกรในจังหวัดนครสวรรค์ เพื่อตรวจสอบผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ (ได้แก่ การทำคันดินขวางความลาดชันและปลูกหญ้าแฝกบนคันดิน) ต่อผลผลิตมันสำปะหลัง ปริมาณการสูญเสียดิน การแจกกระจาย และการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ เนื่องจากระบบการปลูกมันสำปะหลังบนพื้นที่ที่มีความลาดชันมักส่งเสริมการกร่อนดิน และทำให้มีการสูญเสียคาร์บอนอินทรีย์ออกไปจากดิน ผลการศึกษาพบว่า การปฏิบัติมาตรการอนุรักษ์ดินดังกล่าวเป็นเวลานานกว่า 10 ปี ส่งผลให้ผลิตหัวมันสำปะหลังสดที่เก็บเกี่ยวในทุกตำแหน่งของความลาดชันสูงกว่าแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในพิสัยร้อยละ 72-101 และ 10-13 สำหรับดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อค่อนข้างหยาบ ตามลำดับ โดยผลผลิตที่ได้พบสูงสุดในบริเวณตอนล่างของความลาดชัน ปริมาณชีวมวลส่วนเหนือดินก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ ระบบการอนุรักษ์ดินยังช่วยลดปริมาณการสูญเสียดินได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีปริมาณการสูญเสียดินเท่ากับ 1.17 ตัน/ไร่ เปรียบเทียบ 5.68 ตัน/ไร่ และ 1.63 ตัน/ไร่ เปรียบเทียบ 4.65 ตัน/ไร่ตามลำดับ การแจกกระจายของคาร์บอนอินทรีย์ตามความลาดเทส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่มีและไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำในทั้งสองดิน ในดินเนื้อละเอียดแปลงที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำมีปริมาณการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในชั้นดินล่างมากกว่าในชั้นดินบน ส่วนในดินเนื้อหยาบให้ผลไปในทิศทางตรงกันข้าม และโดยภาพรวมปริมาณการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินเนื้อละเอียดจะมากกว่าดินเนื้อหยาบทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง

คำสำคัญ: การสูญเสียดิน, การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์, คันดิน, หญ้าแฝก, มันสำปะหลัง

ABSTRACT: A study was undertaken in two areas, fine-texture soil with 6-8% sloping surface and rather coarse-textures soil with 3-4% sloping surface, of farmer fields in Nakhon Sawan province, to investigate the effect of soil and water conservation measure (i.e., soil bund across the slope with vetiver grass plantation) on cassava yield, soil loss, and organic carbon distribution and sequestration. This is because cassava crop practice conducted on sloping surface often accelerates soil erosion and subsequent loss of soil organic carbon. Results showed that the soil conservation measure, having been operated for longer than ten years, resulted in significantly higher fresh tuber yield of cassava harvested from different positions of the plot in ranges of 72-101 and 10-13% than did the plot with no soil and water conservation measure installed for fine- and rather coarse-texture soils, respectively. Aboveground biomass also gave the same trend. In addition, the soil conservation system significantly reduced soil loss, giving the amounts of 1.17 t/rai compared to 5.68 t/rai and 1.63 t/rai compared to 4.65 t/rai, respectively. The distribution of organic carbon along the slope was mostly statistically different when compared between the plots with and without

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

* Corresponding author: agrsca@ku.ac.th

soil and water conservation measure in both soils. In fine-textured soil, the plot with soil and water conservation had higher organic carbon sequestration in subsoil than in topsoil whereas in rather coarse-texture soil the result showed the opposite direction. In whole, the organic carbon sequestration in fine-textured soil was greater than in rather coarse-textured soil in both the topsoil and subsoil. Results obtained from this study illustrated that long-term soil and water conservation measure, soil bund across the slope combining with vetiver grass hedgerow is efficiently capable of preventing soil loss and in a long term enhances plant yield at a satisfactory in fine- to coarse-textured soils, thus; this measure can be adopted for other field crop practices.
Keywords: soil loss, carbon sequestration, contour bund, vetiver grass, cassava

บทนำ

การทำคันตามแนวระดับ (contour bund) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่กรมพัฒนาที่ดินพยายามส่งเสริมให้เกษตรกรใช้สำหรับการอนุรักษ์ดินและน้ำในระบบการปลูกพืชบนที่ลาดชัน วัสดุที่ใช้อาจเป็นดิน (soil bund) หรือหิน (stone bund) สร้างเพื่อชะลอการไหลบ่าของน้ำที่ผิวดิน (runoff) ช่วยลดการกร่อนดิน ระยะห่างระหว่างคันดินขึ้นอยู่กับความลาดชัน มีผลต่อประสิทธิภาพของการป้องกัน พบมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอัฟริกา ในภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศโซมาเลียที่การทำคันตามแนวระดับช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวฟ่างได้ร้อยละ 80 (Malesu et al., 2007; Ouessar et al., 2012) ในเอธิโอเปีย พบว่า การทำคันตามแนวระดับด้วยหิน และดินส่งผลเชิงบวกต่อผลผลิตพืชเฉพาะในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย (Gebremedhin et al., 1999; Bekele 2005; Kassie et al., 2008; Kato et al., 2009) ขณะที่การใช้แถบพืช (grass strip) ทำให้ได้ผลตอบแทนจากการผลิตพืชสูงสุด ซึ่งสนับสนุนข้อมูลเชิงตัวเลขของ Shiferaw and Holden (2001)

การใช้หญ้าแฝกในระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์แพร่ขยายไปกว่า 120 ประเทศ เนื่องจากเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ดี ช่วยลดการสูญเสียดิน และช่วยรักษาความชื้นในดิน และดูดซับสารเคมีจากพื้นที่เกษตรข้างเคียง (Greenfield, 1990) เช่นการศึกษาการกร่อนดินที่ไนจีเรีย ในปีแรกแถบหญ้าแฝกแนวแรกตอนบนสามารถสะสมตะกอนดินได้มากกว่าแถบหญ้าแฝกตอนล่างร้อยละ 98 (Babalola et al., 2005) นอกจากนี้ ได้มีงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใช้แถวหญ้าแฝก และกระถินยักษ์ร่วมในการปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา สามารถช่วยลดการสูญเสียดินได้ถึง 6 เท่าในปีที่ 2 ของการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่มีแถวพืชอนุรักษ์ที่มีการสูญเสียดินเท่ากับ 44 ตัน/เฮกตาร์ (Anusontpornperm et al., 1996) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Howeler et al. (2003) ที่ชี้ให้เห็นว่า การปลูกหญ้าแฝกเป็นแถบหรือแถวช่วยลดการสูญเสียดินได้ร้อยละ 75 และช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้ร้อยละ 3.2 การศึกษาในไนจีเรีย ข้าวโพดที่ปลูกเป็นพืชเดียวต่อเนื่อง 5 ปี การปลูกหญ้าแฝกป้องกันการกร่อนดินร่วมในระบบผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.1 เปรียบเทียบกับการไม่มีหญ้าแฝก (Babalola et al., 2005) และยังมีรายงานอื่นที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเชิงบวกของหญ้าแฝกในระบบการปลูกพืช (Grimshaw, 1993; Xia et al., 1996; Hu et al., 1997; Levan and Truong, 2003; Oshunsanya, 2013)

ปัญหาการกร่อนดินยังส่งผลต่อการสูญเสียคาร์บอนออกไปจากระบบ ทำให้ความเสถียรของเม็ดดินลดลง และส่งเสริมให้เกิดการกร่อนดินได้ง่ายขึ้น ที่ประเทศตูนิเซีย พบว่า เม็ดดินมีความเสถียรเมื่อแห้งและต้านทานต่อการกร่อนดินโดยลม แต่ความเสถียรของเม็ดดินเมื่อเปียกต่อการกร่อนดิน โดยน้ำส่วนใหญ่มีผลมาจากคุณภาพและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และการเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในดินช่วยลดการกร่อนดินโดยน้ำได้แต่ไม่ช่วยลดการกร่อนดินโดยลม (Bouajila and Gallali, 2008) Lal and Follett (2009) กล่าวว่า คาร์บอนอินทรีย์ในดินจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบมากกว่าปริมาณคาร์บอนที่ออก

ไปจากระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้ที่ดิน และการจัดทำระบบอนุรักษ์ดินที่มีประสิทธิภาพ การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยประเมินปัญหาการสูญเสียคาร์บอนซึ่งเป็นผลมาจากการตัดไม้ทำลายป่า และการเปลี่ยนรูปแบบการเกษตรกรรม (Kheir, 2010) โดยทั่วไปในสภาพป่าธรรมชาติมักมีปริมาณคาร์บอนสะสมอยู่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เกษตร (Anusontpornperm et al., 2009) โดยแนวโน้มการเก็บสะสมคาร์บอนในระบบวนเกษตรมีสูงกว่าในทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และในพืชไร่ (Sanchez, 2000; Roshetko et al., 2002; Sharrow and Ismail, 2004; Kirby and Potvin, 2007) เนื่องจาก ไม้ยืนต้นจะช่วยทำให้การเก็บสะสมเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนเหนือดินและที่อยู่ใต้ดิน (Haile et al., 2008; Nair et al., 2009) การเคลื่อนย้าย และการทับถมของดินที่ใช้ทำการเกษตรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรของธาตุอาหาร และคาร์บอน (Quinton et al., 2010) ถึงแม้ว่าผลกระทบโดยรวมของการกร่อนดิน และการทับถมในวัฏจักรของคาร์บอนยังเป็นที่ถกเถียงกัน (Quine and Van Oost, 2007) ในบริเวณที่ถูกกร่อน การเคลื่อนย้ายทางกายภาพทำให้คาร์บอนอินทรีย์ในแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนลดลง แต่ก็อาจมีการชดเชยจากคาร์บอนที่เคลื่อนย้ายเข้ามา (Kirkels et al., 2014) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ความลึกเดียวกัน คาร์บอนอินทรีย์ในดินที่ถูกนำออกไปจะถูกแทนที่ด้วยส่วนที่มีความคงทนความจากแหล่งสะสมในดินล่างตามแนวดิ่งโดยกระบวนการหายใจ และการตรึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันที่มีความซับซ้อนทั้งหมดนี้ทำให้เกิดข้อโต้แย้งว่าการกร่อนดินจะมีผลต่อแหล่งคาร์บอนทั้งหมด (net carbon source) (Lal, 2004) หรือคาร์บอนซิงค์ (carbon sink) (Van Oost et al., 2005) สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำระยะยาวต่อการกร่อนดิน และการกักเก็บคาร์บอนมากนัก การศึกษาจึงดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของการทำคันดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำ ต่อการป้องกันการกร่อนดินและผลผลิตของมันสำปะหลังในตำแหน่งที่มีระยะห่างจากคันดินแตกต่างกัน และ 2) ผลต่อการแจกกระจาย และการสะสมคาร์บอนเปรียบเทียบระหว่างการมีและไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำระยะยาว

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงเกษตรกรปลูกมันสำปะหลังจำนวน 2 บริเวณ ซึ่งมีเนื้อดินแตกต่างกันในจังหวัดนครสวรรค์ ได้แก่ บริเวณที่ 1 พื้นที่เป็นดินเนื้อละเอียด ตั้งอยู่ที่บ้านพุลำไย ต.ลำพยนต์ อ.ตากฟ้า พื้นที่มีความลาดชันร้อยละ 6-8 และบริเวณที่ 2 พื้นที่เป็นดินเนื้อค่อนข้างหยาบตั้งอยู่ที่บ้านพุฝรั่ง ต.วังข่อย อ.ไพศาลี พื้นที่มีความลาดชันร้อยละ 3-4 แต่ละบริเวณ ประกอบด้วย แปลงที่ไม่มีระบบการอนุรักษ์ดินและน้ำ (No soil and water conservation: NSWC) และแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ (Soil and water conservation: SWC) ซึ่งดำเนินการมานานกว่า 10 ปี โดยการทำคันดินร่วมกับแถบหญ้าแฝกที่ปลูกบนสันของคันดิน ระยะห่างระหว่างคันดินเท่ากับ 25 เมตร เกษตรกรทั้งสองพื้นที่ปลูกพืชไร่เป็นหลัก

พื้นที่ทดลองมีขนาด 100 x 260 ม. โดยในแต่ละแปลงทดลองได้จัดทำแปลงทดลองย่อยที่มีขนาด 5x20 เมตร จำนวน 4 แปลง (**Figure 1**) ขุดแต่งดินบริเวณขอบแปลงขนาดกว้าง 30 ซม. สูง 35 ซม. และใช้ผ้าพลาสติกสีดำคลุมดินที่ยกขอบไว้สูง 45 ซม. ไว้เป็นคันขอบแปลง ส่วนด้านตอนล่างของแปลงทำการขุดดินเป็นร่องแล้วคลุมด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อใช้ดักตะกอนดิน ปริมาณการสูญเสียดินได้จากน้ำหนักดินแห้งที่เก็บจากบ่อดักตะกอนที่เก็บภายในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งเป็นการสูญเสียดินจากพื้นที่ 100 ตารางเมตร นำไปคำนวณเป็นการสูญเสียดินต่อไร่ ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 เป็นพืชหลักใช้ระยะปลูกเท่ากับ 1.2x0.8 เมตร เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุ 10 เดือน การเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลังแบ่งเป็น 3 ส่วนตามตำแหน่งใน **Figure 2** ส่วนละ 2 แถว ได้แก่ ตอนบน (upper slope) ตอนกลาง (middle slope)

และตอนล่าง (lower slope) ของความลาดชัน การศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ แบ่งพื้นที่ออกตามความลาดชันจากด้านบนถึงด้านล่างของความลาดชัน จำนวน 5 แนว (transect) ได้แก่ L1, L2, L3, L4 และ L5 แต่ละแนวมีระยะห่างระหว่างแนวเท่ากับ 20 เมตร (**Figure 1**) ทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 13 จุด/แนว ที่ 2 ระดับความลึก (0-30 และ 30-60 ซม.) เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ โดยคำนวณจากสูตร C_{or} (Mg/ha) = C_{conc} x BD x T x CF_{coarse} เมื่อ C_{conc} = ความเข้มข้นของคาร์บอน (ก./100 ก.), BD = ความหนาแน่นรวม (เมกะกรัม/ลบ.ม.), T = ความหนาของชั้นดินที่เก็บ (ม.) และ CF_{coarse} correction factor = (1-(%กรวด+%หิน)/100) (Singh et al., 2010) ข้อมูลที่ได้ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22

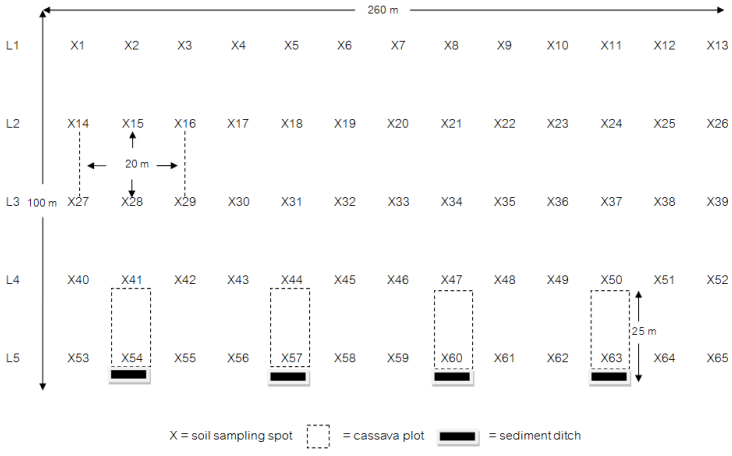


Figure 1 Layout of experimental plot and soil sampling spot for organic carbon analysis

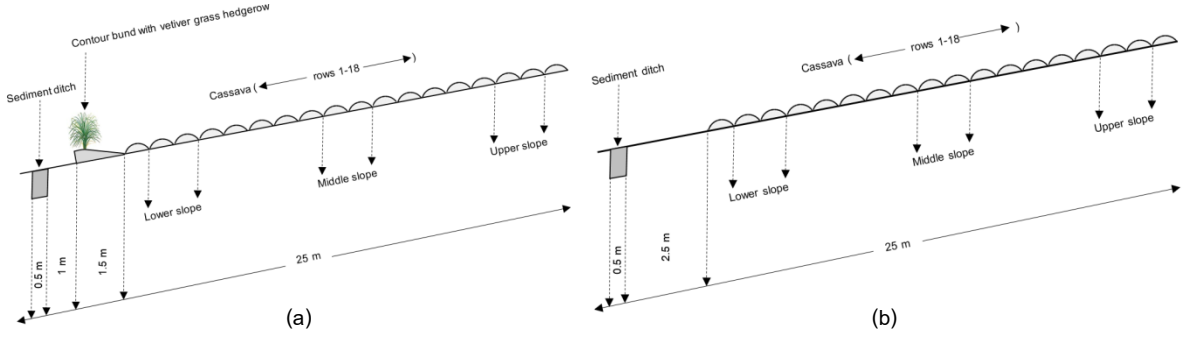


Figure 2 Cross section of sediment plot with (a) and without (b) contour bund and vetiver grass hedgerow, and cassava rows

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง

แปลงเกษตรกรบ้านพุลำไย ตำบลลำพยนต์ อำเภอตากฟ้า ซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียด มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งในดินบน จำแนกดินในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Typic Calciustoll (ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ: NSWC) ดินบนมีความอุดมสมบูรณ์สูง ส่วนดินล่างมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และ Typic Haplustoll (มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ:

SWC) มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งในดินบนทั้งดินบนและดินล่างมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และแปลงบ้านพุฝรั่ง ตำบลวังข่อย อำเภอไพศาลี ซึ่งเป็นดินเนื้อค่อนข้างหยาบ ทั้งสองแปลงที่ไม่มีและมีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำจำแนกในระดับกลุ่มดินย่อยได้เป็น Typic Haplustalfs ทั้งสองดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายในดินบน โดยทั้งดินบนและดินล่างของทั้งสองดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (**Table 1**)

Table 1 Fertility level of representative soils of the experiments

Plot	Depth (cm)	OM (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Avail. K (mg/kg)	CEC (cmol$_c$/kg)	BS (%)	Total score	Fertility level
Ban Phu Lumyai								
NSWC	0-20/34	27.86 (2)	66.58 (3)	274.35 (3)	50.25 (3)	87 (3)	14	High
	34-51/110	17.20 (2)	5.14 (1)	52.13 (1)	30.63 (3)	88 (3)	10	Moderate
SWC	0-17/32	28.89 (2)	6.65 (1)	36.10 (1)	44.5 (3)	64 (2)	9	Moderate
	32-50/185	15.18 (2)	0.66 (1)	59.39 (1)	46.86 (3)	62 (2)	9	Moderate
Ban Phu Farang								
NSWC	0-12	10.66 (1)	2.34 (1)	117.47 (3)	6.25 (1)	63 (2)	8	Moderate
	12-110	5.68 (1)	1.63 (1)	177.23 (3)	8.94 (1)	52 (2)	8	Moderate
SWC	0-10/15	8.26 (1)	3.64 (1)	66.57 (2)	12.00 (2)	70 (2)	8	Moderate
	15-120	6.40 (1)	2.2 (1)	85.52 (2)	10.45 (2)	53 (2)	8	Moderate

Values in parentheses indicate score for each soil property: (1) = low, (2) = moderate, (3) = high

Total score: 7 or lower = low fertility, 8-12 = moderate fertility, 13 or greater = high fertility

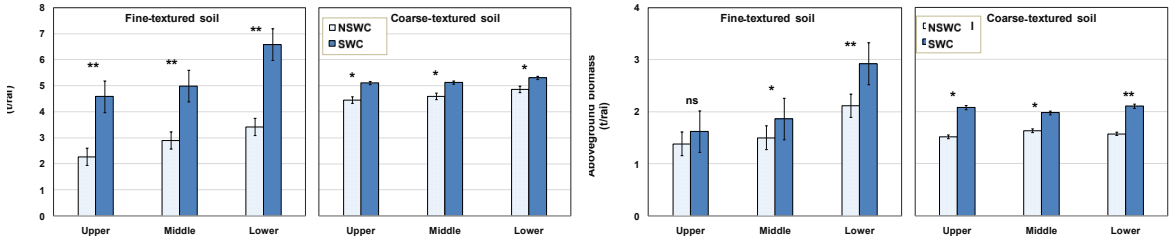
NSWC = no soil and water conservation, SWC = soil and water conservation

ผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อมันสำปะหลัง

การอนุรักษ์ดินระยะยาวโดยการทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินสามารถเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังได้อย่างชัดเจนทั้งในกรณีของดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อค่อนข้างหยาบ โดยการทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินเป็นระยะเวลานานกว่า 10 ปี ให้ผลผลิตมันสำปะหลังมีสูงกว่าแปลงควบคุมที่ไม่มีมาตรการอนุรักษ์ดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกตำแหน่งของความลาดเท สำหรับในกรณีของแปลงดินเหนียวผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดมีปริมาณอยู่ในพิสัย 4.59-6.59 ตัน/ไร่ เปรียบเทียบกับ 2.28-3.43 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (**Figure 3a**) เช่นเดียวกับในกรณีของดินเนื้อค่อนข้างหยาบโดยให้ผลผลิตอยู่ในพิสัย 5.13-5.30 ตัน/ไร่ เปรียบเทียบกับ 4.45-4.87 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (**Figure 3b**) โดยภาพรวม รูปแบบการอนุรักษ์ดินและน้ำทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงกว่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 72-101 และ 10-13 เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ที่ไม่มีระบบการอนุรักษ์ดินและน้ำสำหรับดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อค่อนข้างหยาบตามลำดับ โดยการทำคันดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกในดินเหนียวมีประสิทธิภาพสูงว่าในดินทราย เมื่อพิจารณาความต่างของปริมาณผลผลิตที่ได้รับ

ชีวมวลส่วนเหนือดินของมันสำปะหลัง ประกอบด้วยผลรวมของกิ่งก้านและใบ ลำต้น และเหง้า ในดินเนื้อละเอียด การอนุรักษ์ดินและน้ำโดยการทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินระยะยาวมีผลทำให้ได้ชีว

มวลส่วนเหนือดินที่ตำแหน่งตอนกลาง และตอนล่างสูงกว่าแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (1.87 ตัน/ไร่เปรียบเทียบกับ 1.51 ตัน/ไร่) และนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (2.93 ตัน/ไร่ เปรียบเทียบกับ 2.12 ตัน/ไร่) (**Figure 3c**) ในดินเนื้อค่อนข้างหยาบปริมาณชีวมวลส่วนเหนือดินของมันสำปะหลังที่ได้จากแปลงที่ระบบอนุรักษ์ดินและน้ำมีปริมาณสูงกว่าที่ได้จากแปลงที่เป็นดินเนื้อค่อนข้างหยาบ ที่ตำแหน่งบนสุด และตำแหน่งกลางของแปลง ชีวมวลส่วนเหนือดินจากแปลงที่มีคันดินและปลูกหญ้าแฝกมีปริมาณเท่ากับ 2.08 ตัน/ไร่ และ 1.98 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าที่ตำแหน่งเดียวกันของแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ (1.52 ตัน/ไร่ และ 1.64 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ส่วนตำแหน่งล่างสุด แปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำได้เท่ากับ 2.11 ตัน/ไร่ ซึ่งสูงกว่าอีกแปลงหนึ่ง (1.58 ตัน/ไร่) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (**Figure 3d**) เป็นที่น่าสังเกตว่า ในดินเนื้อละเอียดทั้งสองแปลงที่มีการเปรียบเทียบกัน ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และปริมาณชีวมวลส่วนเหนือดินจะเพิ่มขึ้นตามตำแหน่งตามความลาดชันที่ต่ำลง แต่ในดินเนื้อค่อนข้างหยาบไม่ค่อยแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าตะกอนที่ไหลลงมาสะสมบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าในดินเหนียวจะมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าในดินเนื้อหยาบ



Mean separations between two treatments (NSWC vs SWC) were compared by using T-test; *, ** significant at 0.05 and 0.01 probability levels; ns = non significant; Bar is indicated by mean; Line with cap is indicated by SD

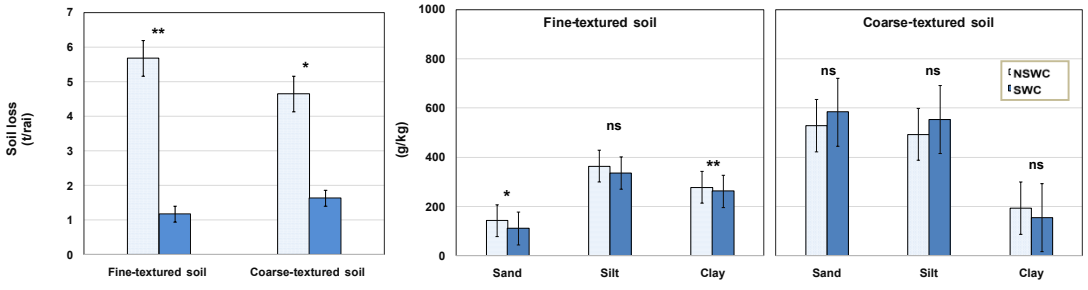
Figure 3 Fresh tuber yield (a, b) and aboveground biomass (c, d) of cassava harvested from the upper, middle and lower slopes

ผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อการสูญเสียดินและธาตุอาหารพืช

ระบบอนุรักษ์ดินและน้ำระยะยาวที่มีการทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังสามารถช่วยลดการสูญเสียดินเนื่องจากการกร่อนดินได้ทั้งในดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อค่อนข้างหยาบ โดยมีการสูญเสียดินเพียง 1.17 ตัน/ไร่ และ 1.63 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในดินเนื้อละเอียด (5.68 ตัน/ไร่) และนัยสำคัญทางสถิติในดินเนื้อค่อนข้างหยาบ (1.63 ตัน/ไร่) (**Figure 4a**) ทั้งนี้แนวคันดินที่มีหญ้าแฝกจะเป็นแนวปะทะเพื่อลดความเร็วของน้ำที่ไหล่บ่าไปตามผิวดินอนุภาคดินที่ถูกพัดพามาก็จะตกทับถมบริเวณส่วนหน้าของคันดิน ซึ่งระบบการอนุรักษ์ดินและน้ำรูปแบบนี้สามารถลดการสูญเสียดินได้ถึงร้อยละ 79 และ 65 สำหรับในดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อค่อนข้างหยาบตามลำดับ ทั้งนี้อนุภาคดินทั้งสามขนาดถูกพัดพาออกไปจากพื้นที่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน มีเฉพาะอนุภาคทราย และดินเหนียวในแปลงดินเนื้อละเอียดที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (**Figure 4b**) ขณะที่ในดินเนื้อหยาบสัดส่วนของอนุภาคดินทั้งสามขนาดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (**Figure4c**) ผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาการใช้ระบบอนุรักษ์ดินและน้ำโดยการใช้คันดินร่วมกับหญ้าช้างที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าและอัตราการกร่อนดินต่ำสุด (Amare et al.,

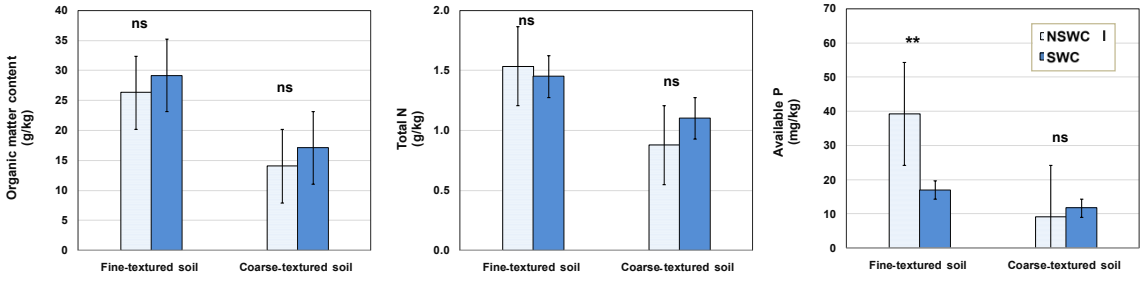
2014) และแถบหญ้าแฝกในมันสำปะหลังที่ในปีที่ 2 ซึ่งช่วยลดการสูญเสียดินได้ถึง 6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่มีแถวพืชอนุรักษ์ที่มีการสูญเสียดินเท่ากับ 44 ตัน/เฮกตาร์ (Anusontpornperm et al., 1996) และการศึกษาของ Howeler et al. (2003) ที่พบว่า แถบหรือแถวหญ้าแฝกช่วยลดการสูญเสียดินได้ร้อยละ 75

ปริมาณอินทรีวัตถุ และไนโตรเจนรวมที่อยู่ในตะกอนดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำกับแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ทั้งในกรณีของดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อค่อนข้างหยาบ ในดินเนื้อละเอียด ปริมาณอินทรียวัตถุในตะกอนดินพบอยู่ในพิสัย 26.3-29.2 ก./กก. ส่วนในดินเนื้อค่อนข้างหยาบอยู่ในพิสัย 14.1-17.1 ก./กก. (**Figure 5a**) สำหรับปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในพิสัย 1.45-1.54 และ 0.88-1.10 ก./กก. สำหรับดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อค่อนข้างหยาบตามลำดับ (**Figure 5b**) อย่างไรก็ตามพบว่าในดินเนื้อละเอียด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในตะกอนดินในแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินมีค่าเท่ากับ 39.22 มก./กก. ซึ่งสูงกว่าปริมาณในตะกอนดินที่สูญเสียจากแปลงที่มีคันดินและหญ้าแฝก (16.95 มก./กก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Figure 5c**) ขณะที่ในดินเนื้อค่อนข้างหยาบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยทั้งสองระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในตะกอนดินในพิสัย 9.15-11.67 มก./กก. ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Babalola et al. (2003) ที่พบว่า ดินที่ถูกกร่อนในแปลงที่ไม่มีการปลูกหญ้าแฝกจะมีการสูญเสียปริมาณธาตุอาหารมากกว่าในแปลงที่มีการปลูกหญ้าแฝกโดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งมีมากกว่าถึงร้อยละ 40



Mean separations between two treatments (NSWC vs SWC) were compared by using T-test; *, ** significant at 0.05 and 0.01 probability levels; ns non significant; Bar is indicated by mean; Line with cap is indicated by SD

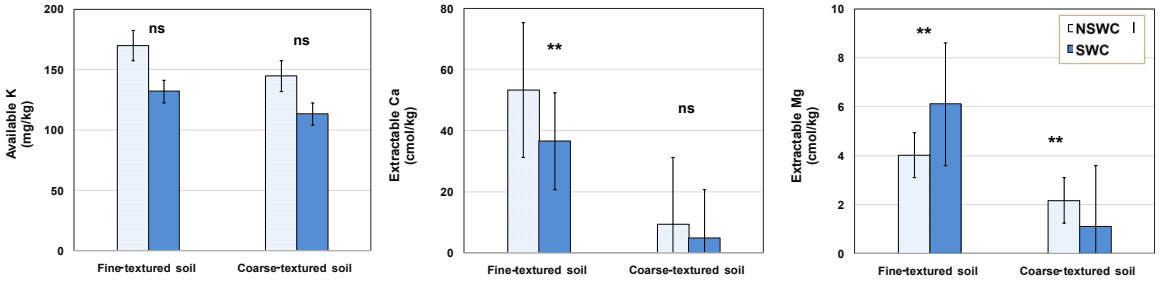
Figure 4 Total soil loss (a) and proportion of soil particles lost from the plots of fine- (b) and coarse-textured (c) soils



Mean separations between two treatments (NSWC vs SWC) were compared by using T-test; ** significant at 0.01 probability level; ns non significant; Bar is indicated by mean; Line with cap is indicated by SD

Figure 5 Organic matter (a), total nitrogen (b) and available phosphorus (c) contents in collected sediment

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในตะกอนดินที่ถูกพัดพาออกจากแปลงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ และแปลงที่ไม่มีระบบดังกล่าวของทั้งสองดิน (Figure 6a) โดยมีปริมาณอยู่ในพิสัย 132-170 มก./กก. และ 113-145 มก./กก. สำหรับดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อค่อนข้างหยาบตามลำดับ แปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำโดยการทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินทำให้ตะกอนดินที่สูญเสียออกจากแปลงมีแคลเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่เท่ากับ 36.7 มก./กก. ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าแปลงที่ไม่มีการทำคันดิน และปลูกหญ้าแฝก (53.4 มก./กก.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อปลูกมันสำปะหลังฝนดินเนื้อละเอียด (Figure 6b) ส่วนในดินเนื้อค่อนข้างหยาบไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีปริมาณในตะกอนดินในพิสัย 4.9-90.4 มก./กก. สำหรับแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า ในดินเนื้อละเอียด ตะกอนดินที่สูญเสียจากแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำจะมีปริมาณมากกว่าแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (6.11 มก./กก. เปรียบเทียบกับ 4.02 มก./กก.) (Figure 6c) ซึ่งน่าจะเป็นเพราะว่า ในแปลงที่มีระบบ ดินมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สะสมอยู่มากกว่าเมื่อเทียบต่อหน่วยน้ำหนักดิน จึงทำให้มีปริมาณในตะกอนมากกว่า สำหรับในดินเนื้อค่อนข้างหยาบ แปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดิน ตะกอนที่สูญเสียออกไปมีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในปริมาณที่น้อยกว่าแปลงที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (1.10 มก./กก. เปรียบเทียบกับ 2.18 มก./กก.)



(a) (b) (c)

Mean separations between two treatments (NSWC vs SWC) were compared by using T-test; ** significant at 0.01 probability level; ns non significant; Bar is indicated by mean; Line with cap is indicated by SD

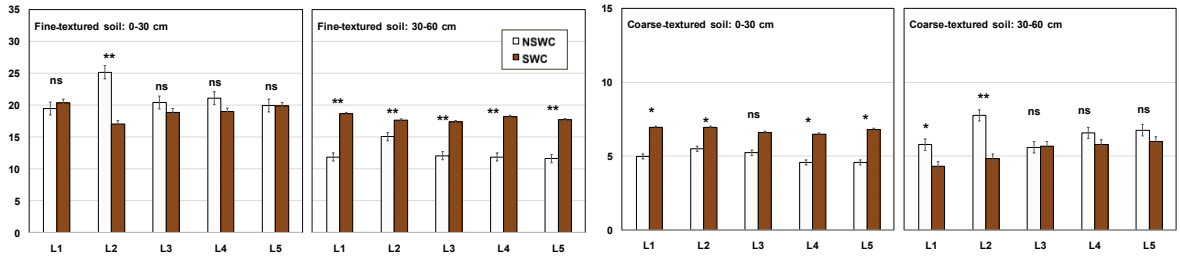
Figure 6 Available potassium (a), calcium (b) and magnesium (c) content in collected sediment

ผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อการแจกกระจายและปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ตามความลาดเทตั้งแต่ตำแหน่งบนสุด (L1) จนไปถึงตำแหน่งล่างสุด (L5) ของความลาดเทส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างในแปลงที่มีและไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำทั้งในกรณีของดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อค่อนข้างหยาบ ในกรณีของดินเนื้อละเอียด พบว่า การทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในชั้นดินบน (0-30 ซม.) ที่ระยะ 40 ม. จากยอดเนิน ต่ำกว่าในแปลงควบคุมที่ไม่การอนุรักษ์ดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยให้ค่าเท่ากับ 17.05 ก./กก. และ 25.23 ก./กก. ตามลำดับ ขณะที่ในระยะอื่นๆ ไม่พบความความแตกต่างกันทางสถิติ (Figure 7a) ในกรณีของชั้นดินล่าง (30-60 ซม.) พบว่า การทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในทุกระยะบนพื้นที่ลาดเทมีค่าสูงกว่าแปลงควบคุมที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติโดยให้ค่าอยู่ในพิสัยเท่ากับ 17.64-18.67 ก./กก. และ 11.64-15.07 ก./กก. ตามลำดับ (Figure 7b) เมื่อ

พิจารณาถึงการแจกกระจายตามความลาดลาดชันตั้งแต่แนวเก็บตัวอย่าง L1 ถึง L5 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะของดินในพื้นที่เป็นดินเนื้อละเอียดที่มีปริมาณดินเหนียวสูง จึงมีแร่ดินเหนียวซิลิเกตเป็นองค์ประกอบมากในดิน ซึ่งแร่ดินเหนียวซิลิเกตมักเป็นสารเชื่อมของเม็ดดินขนาดเล็ก (Tisdale and Oades, 1982; Mbagwu and Bazzoffi, 1988; Mbagwu, 1989) จึงอาจทำให้คาร์บอนอินทรีย์ที่อยู่ในดินทนทานต่อการสลายตัวปริมาณที่พบในดินจึงไม่แตกต่างกัน

ในกรณีของดินเนื้อหยาบ การทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในชั้นดินบนในทุกแนวเก็บตัวอย่างสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยให้ค่าอยู่ในพิสัยเท่ากับ 6.62-6.97 และ 4.59-5.51 ก./กก. ตามลำดับ ยกเว้นที่ระยะ 60 เมตรจากจุดสูงสุดของแปลงที่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (**Figure 7c**) ส่วนในชั้นดินล่าง รูปแบบของการอนุรักษ์ส่งผลต่อบริเวณส่วนตอนบนของความลาดเทเท่านั้น กล่าวคือ มีเพียงที่ระยะห่าง 20 และ 40 เมตร จากขอบแปลงด้านบนเท่านั้นที่ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์แตกต่างกันในระหว่างตำรับการทดลอง อย่างไรก็ตาม การทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินกลับส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในระยะทั้งสอง ต่ำกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยให้ค่าอยู่ในพิสัยเท่ากับ 4.32-8.85 และ 5.79-7.78 ก./กก. ตามลำดับ (**Figure 7d**) แสดงให้เห็นว่าในดินเนื้อค่อนข้างหยาบ คันดิน และหญ้าแฝกช่วยชะลอการไหลของน้ำที่ผิวดินทำให้การสะสมคาร์บอนอินทรีย์ที่ดินบนได้มากกว่า เพราะไม่สูญเสียไปกับตะกอนดิน แต่การที่น้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดินมีอัตราการไหลที่ช้าลง การไหลในทางดิ่งก็จะเกิดมากขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนจากกระบวนการชะละลายได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินนี้มีอัตราการซาบซึมน้ำขณะดินอิ่มตัวค่อนข้างเร็วเนื่องจากดินมีอนุภาคขนาดทรายมาก และพบเศษกรวดหินปะปน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การกร่อนดินมีผลต่ออัตราการเน่าสลายตัวของอินทรียวัตถุ และการสูญเสียของอินทรียวัตถุไปกับตะกอนดิน โดยการกร่อนดินยังทำให้เกิดแหล่งใหม่ของอินทรียวัตถุที่สลายตัวได้ ซึ่งแตกต่างกับอินทรียวัตถุที่ทนต่อการสลายตัวที่หลงเหลืออยู่ ซึ่งส่วนของอินทรียสารเหล่านี้จะพบอยู่ในสภาพทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปจากเดิม อินทรียวัตถุเหล่านี้จึงเริ่มปรับตัวให้ทนทานต่อการสลายตัว จึงน่าจะเป็นอีกเหตุผลที่ทำให้ดินเนื้อหยาบในการศึกษานี้เกิดการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินบนได้มากกว่าในดินล่าง (Jenny, 1980)



L: soil sampling transect

Mean separations between two treatments (control vs SWC) were compared by using T-test; *, ** significant at 0.05 and 0.01 probability levels; ns non significant; Bar is indicated by mean; Line with cap is indicated by SD

Figure 7 Organic carbon content and distribution in fine- (a) and coarse-textured (b) soils

สรุป

รูปแบบการอนุรักษ์ดินและน้ำโดยการทำคันดินและปลูกหญ้าแฝกบนคันดินในระยะยาวทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และชีวมวลส่วนเหนือดินสูงกว่าการไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ทั้งในกรณีของดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อค่อนข้างหยาบ ขณะที่ปริมาณการสูญเสียดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังในบริเวณที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำโดยใช้คันดินที่มีระยะห่างระหว่างคันดินเท่ากับ 25 เมตร และมีการปลูกหญ้าแฝกเพื่อยึดคันดินมีผลทำให้ปริมาณการสูญเสียดินน้อยกว่าในระบบการปลูกมันสำปะหลังบนบริเวณที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินอย่างชัดเจนในทั้งสองบริเวณที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน โดยปริมาณตะกอนที่สูญเสียเมื่อเปรียบเทียบระหว่างบริเวณที่มีเนื้อดินแตกต่างกันมีปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณความเข้มข้นของอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารพืชในตะกอนดินที่สูญเสียออกจากแปลงไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากนัก ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ตามความลาดชันตั้งแต่ตำแหน่งบนสุดจนไปถึงตำแหน่งล่างสุด ส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันระหว่างในแปลงที่มีและไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำในทั้งสองกลุ่มเนื้อดิน โดยเมื่อพิจารณาที่ความลึกตั้งแต่ 0-60 ซม. รูปแบบการอนุรักษ์ดินและน้ำโดยใช้คันดิน และปลูกหญ้าแฝกร่วมส่งเสริมให้ดินทั้งสองมีการสะสมคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่า

เอกสารอ้างอิง

Amare T., A.D. Zegeye, B. Yitaferu, T.S. Steenhuis, H. Hurni, and G. Zeleke. 2014. Combined effect of soil bund with biological soil and water conservation measures in the Northwestern Ethiopian highlands. Ecohydrology Hydrobiology. 14: 192-199.

Anusontpornperm, S., W. Supattanakul, and P. Kawilaves. 1996. Effects of vetiver grass and leucaena on soil erosion in sugarcane, maize and cassava crop practices. Proc. 1st Int. Con. Vetiver: A Miracle Grass, 4-8 February 1996, Chiang Rai, Thailand. Office of the Royal Development Project Board, Bangkok, Thailand.

Anusontpornperm, S, S. Thanachit, A. Suddhiprakarn, and I. Kheoruenromne. 2009. SOM and total nitrogen balance in soils after changes from forest to agriculture in humid subtropical highlands of Thailand. P. 73. In: Book of Abstract, International Symposium on Soil Organic Matter Dynamics: Land Use, Management and Global Change, July 6-9, 2009. Cheyenne Mountain Conference Center, Colorado Springs, Colorado.

Babalola, O., S.C. Jimba, and O. Maduakolam. 2003. Use of vetiver grass for soil and water conservation in Nigeria, p. 293. In: Proc. of the Third International Conference on Vetiver and Exhibition, Vetiver and water: An Eco-Technology for Water Quality Improvement, Land Stabilization, and Environmental Enhancement, October 6-9, 2003. Guangzhou, P. R. China.

Babalola, O., S.O. Oshunsanya, and K. Are. 2005. Continuous cultivation of maize under vetiver grass strip management; runoff, soil loss, nutrient losses and maize yields. Ibadan J. agri. Res. 2: 16-26.

Bekele, W. 2005. Stochastic dominance analysis of soil and water conservation in subsistence crop production in Eastern Ethiopian highlands: The case of Hunda-Lafto area. Environ. Res. Econ. 32: 533-550.

Bouajila, A., and T. Gallali. 2008. Soil organic carbon fractions and aggregate stability in carbonated and no carbonated soils in Tunisia. J. Agron. 7: 127.137.

Greenfield, J.C. 1990. Vetiver Grass (Vetiveria spp.): The Ideal Plant for Vegetative Soil and Moisture Conservation. Asia Technical Department, Agriculture Division, the World Bank, Washington, D.C.

Grimshaw, R.G. 1993. The Role of Vetiver Grass in Sustaining Agricultural Productivity. Asia Technical Department, the World Bank, Washington D.C., USA.

Gebremedhin, B., S. M. Swinton, and Y. Tilahun. 1999. Effects of stone terraces on crop yields and farm profitability: Results of on-farm research in Tigray, northern Ethiopia. J. Soil Water Conserv. 54: 568-573.

Haile, S.G., P.K.R. Nair, and V.D. Nair. 2008. Carbon storage of different soil-size fractions in Florida silvopastoral systems. J. Environ. 37: 1789-1797.

Howeler, R., W. Watanananta, K. Vongkasem, S. Kilakhaeng, S. Jantawat, B. Randway, and B. Vankaew. 2003. Working with farmers: the key to adoption of vetiver grass hedgerows to control erosion in cassava field in Thailand. P. 12.22. In: P. Truong and H.P. Xia. Vetiver and Water, Proceedings of the 3rd International Conference on Vetiver and Exhibition, 6-9 October 2003, Guangdong, China.

Hu, J.Y., H. Xie, and C.W. Zhou. 1997. Research on vetiver for red soil development. Today 5: 3.

Jenny H. 1980. Soil Resources: Origin and Behavior. Ecological Studies Vol. 37. Springer-Verlag, New York, USA.

Kassie, M., J. Pender, M. Yesuf, G. Kohlin, R. Bluffstone, and E. Mulugeta. 2008. Estimating returns to soil conservation adoption in the northern Ethiopian highlands. Agric. l Econ. 38: 213-232.

Kato, E., C. Ringler, M. Yesuf, and E. Bryan. 2009. Soil and Water Conservation Technologies: A Buffer against Production Risk in the Face of Climate Change? Environment and Production Technology Division, IFPRI, Washington D.C., USA.

Kheir, R.B., M.H. Greve, P. K. Bøcher, M. B. Greve, R. Larsen, and K. McCloy. 2010. Predictive mapping of soil organic carbon in wet cultivated lands using classification-tree based models: the case study of Denmark. J. Environ. Man. 91: 1150-1160.

Kirby, K.R., and C. Potvin. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. Forest Eco. Manag. 246: 208-221.

Kirkels, F.M.S.A., L.H. Cammeraat, and N.J. Kuhn. 2014. The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes-a review of different concepts. Geomorp. 226: 94-105.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Sci. 304: 1623-1627.

Lal R., and R.F. Follett. 2009. Soil and climate change. P. xxi-xxviii. In: R. Lal and R.F. Follett, 2nd ed. Soil Carbon Sequestration and the Greenhouses Effect. SSSA Special Publication 57. Soil Sci. Soc. Amer. WI.

Levan, Du., and P. Truong. 2003. Vetiver grass system for erosion control on severe acid sulfate soil on southern Vietnam. P. 284-292. In: P. Truong and H.P. Xia. Vetiver and Water, Proceedings of the 3rd International Conference on Vetiver and Exhibition, 6-9 October 2003, Guangdong, China.

Malesu, M.M., A.R. Oduor, and O.J. Odhiambo. 2007. Green Water Management Handbook: Rainwater Harvesting for Agricultural Production and Ecological Sustainability. The World Agroforestry Centre, Nairobi, Nigeria.

Mbagwu, J.S.C., and A. Piccolo. 1989. Changes in soil aggregate stability induced by amendment with humic substances. Soil Technol. 2: 49 -57.

Mbagwu, J.S.C.N, and P.F. Bazzoffi. 1988. Stability of microaggregates as influenced by antecedent moisture content, organic waste amendment and wetting and drying cycles. Catena. 15: 565-576.

Nair, P.K.R., B.M. Kumar, and V.D. Nair. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. J. Plant Nutr. Soil Sci. 172: 10-23.

Oshunsanya, S.O. 2013. Spacing effects of vetiver grass (*Vetiveria nigritana* Stapf) hedgerows on soil accumulation and yields of maize-cassava intercropping system in Southwest Nigeria. Catena. 104: 120-126.

Ouessar, M., R. Hessel, M. Sghaier, and C. Ritsema. 2012. Water Harvesting Potential for Africa: An Assessment of Costs and Impacts. Scientific Reports No. 4. Water Harvesting for Rainfed Africa (WAHARA), Tunisia.

Quine, T.A., and K. Van Oost. 2007. Quantifying carbon sequestration as a result of soil erosion and deposition: retrospective assessment using caesium-137 and carbon inventories. Glob. Change Biol. 13: 2610-2625.

Quinton, J.N., G. Govers, K. Van Oost, and R.D. Bardgett. 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. Nat. Geosci. 3: 311-314.

Roshetko, J.M., M. Delaney, K. Hairiah, and P. Purnomosidhi. 2002. Carbon stocks in Indonesian home garden systems: can smallholder systems be targeted for increased carbon storage. Amer. J. Altern. Agric. 17: 138-148.

Sanchez, P.A. 2000. Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics. Agri. Ecosys. Environ. 82: 371-383.

Sharrow, S.H., and S. Ismail. 2004. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. Agroforestry Syst. 60: 123-130.

Shiferaw, B., and S. Holden. 2001. Farm-level benefits to investment for mitigating land degradation: Empirical evidence from Ethiopia. Environ. Develop. Econ. 6: 335-358.

Singh B.R., D.W.E. Ambachew, and R. Lal. 2010. Soil Carbon Sequestration under Chronosequences of Agroforestry and Agricultural Lands in Southern Ethiopia. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.

Tisdale, J., and J. Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregate in soils. J. Soil Sci. 33: 41-63.

Van Oost, K., G. Govers, T.A. Quine, G. Heckrath, J.E. Olesen, S. De Gryze, and R. Merckx. 2005. Landscape-scale modeling of carbon cycling under the impact of soil redistribution: the role of tillage erosion. Glob. Biogeochem. Cycles. 19: 1-13.

Xia, H.P., A.O. HX, and D.Q. He. 1996. The function of vetiver on soil amelioration and water and soil conservation. Trop. Geogr. 16: 265-270.