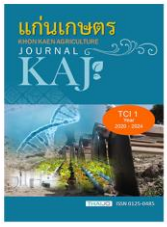
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



อิทธิพลของการใช้พืชอนุรักษ์ในแปลงปลูกชาน้ำมันต่อการกร่อนดิน และการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินบนพื้นที่สูง บ้านปางมะหัน จังหวัดเชียงราย

Effect of vegetative conservation in Tea-Oil camellia plantation on soil erosion and soil property changes on highland area of Ban Pang Mahan, Chiang Rai province

พิชญา คะเณย์[1], ชนิดา เกิดชนะ[2], ชัยสิทธ์ ทองจู[1] และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[1]*

Pitchaya Kane[1], Chanida Kerdchana[2], Chaisit Thongjoo[1] and Tawatchai Inboonchuay[1]*

[1] *ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140*
[1] *Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kampaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140*
[2] *สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ 10900*
[2] *Office of Science for Land Development, Land Development Department, Bangkok 10900*

บทคัดย่อ: การกร่อนดินโดยน้ำเป็นสาเหตุหรือกระบวนการหนึ่งที่ทำให้ดินเสื่อมโทรมซึ่งพบมากในพื้นที่สูง การสูญเสียธาตุอาหารในดินไปกับตะกอน และน้ำที่ไหลบ่าตามผิวดิน เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการกร่อนดิน และการสูญเสียธาตุอาหารภายใต้ระบบการปลูกพืชอนุรักษ์ร่วมกับชาน้ำมัน บ้านปางมะหัน จังหวัดเชียงราย วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 6 ตำรับการทดลอง ดังนี้ 1) ปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียว 2) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ 3) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วเหลือง 4) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับแถบหญ้าแฝก 5) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ และแถบหญ้าแฝก และ 6) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วเหลือง และแถบหญ้าแฝก พบว่า การปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียวมีการสูญเสียดินและน้ำไหลบ่ามากที่สุด (9.41 กก./ไร่, 37.17 ลบ.ม./ไร่) และเป็นสาเหตุให้มูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์สูงที่สุด (41.39 บาท/ไร่) ขณะที่การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ และแถบหญ้าแฝก มีการสูญเสียดินและน้ำไหลบ่าน้อยที่สุด (5.69 กก./ไร่, 20.76 ลบ.ม./ไร่) นอกจากนี้ การปลูกพืชเชิงแถบอนุรักษ์ร่วมในระบบส่งผลให้ธาตุอาหารในดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเทียบกับดินก่อนปลูก การปลูกพืชอนุรักษ์ในทุกตำรับการทดลองไม่มีผลให้ความชื้นของดิน ค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ ความหนาแน่นรวมของดินแตกต่างกัน ยกเว้นสัมประสิทธิ์การนำน้ำขณะดินอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเม็ดดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อิทธิพลของระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกพืชอนุรักษ์มีผลทำให้ปริมาณการสูญเสียดิน น้ำไหลบ่า และมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ลดลง ขณะที่ ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหารหลัก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเม็ดดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ:ชาน้ำมัน;ระบบปลูกพืชอนุรักษ์; พื้นที่สูง; การกร่อนดิน; การอนุรักษ์ดินและน้ำ

ABSTRACT: Soil erosion by water is one of the most widespread forms of soil degradation in highland. Soil nutrient loss through sediment and water runoff, is a major driver for soil fertility decline. The objective of this study is to assess soil erosion and nutrients losses under vegetative conservation in tea-oil camellia plantation, Ban Pang Mahan, Chiang Rai Province. The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications and six treatments comprised 1) sole tea-oil plantation 2) tea-oil plantation with black grain cowpea 3) tea-oil plantation with soybean 4) tea-oil plantation with vetiver grass 5) tea-oil plantation

* Corresponding author: fagrtci@ku.ac.th

Received: date; March 19, 2021 Accepted: date; July 14, 2021 Published: date; February 5, 2022

with black grain cowpea and vetiver grass and 6) tea-oil plantation with soybean and vetiver grass. Results showed that the sole tea-oil give the highest of soil losses and runoff (9.41 kg/rai, 37.17 m^3/rai) and caused the highest of economic loss (41.39 baht/rai), while the tea-oil plantation with black grain cowpea and vetiver grass giving the lowest soil loss and runoff (5.69 kg/rai, 20.76 m^3/rai). In addition, the vegetative conservation system in tea-oil plantation tended to give the clearly higher plant nutrients compared to the soil before experiments. The vegetative conservation system had no clear effect on soil moisture, available water capacity and bulk density, except for saturated soil hydraulic conductivity and mean weight diameter of aggregates that significantly increased. Increasing duration of the vegetative conservation system tended to reduce soil loss, runoff and economic loss with significant increase of organic matter content, macro nutrients and mean weight diameter of aggregates in the soil.

Keyword: Tea oil camellia; vegetative conservation system; highland; soil erosion; soil and water conservation

บทนำ

ชาน้ำมัน (Tea-Oil *Camellia oleifera* Abel) เป็นที่รู้จักแพร่หลายทางตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีนนานกว่า 1,000 ปี สามารถนำเอาเมล็ดแห้งมาสกัดน้ำมันเพื่อใช้ในการบริโภค เนื่องจากน้ำมันเมล็ดชามีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (82-84%) กรดโอเลอิก 67.7-76.7% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 7-14% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (LDL) และเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลชนิดดี (HDL) ในร่างกาย ป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดตีบ และโรคหัวใจได้ จึงดีต่อสุขภาพของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน สตรีมีครรภ์ และผู้สูงอายุ (Jinlin et al., 2010) นอกจากนี้น้ำมันเมล็ดชายังเป็นส่วนผสมที่สำคัญในการผลิตเครื่องสำอางต่างๆ เช่น ครีมกันแดด โลชั่น สบู่ ยาสระผม หรือผสมกับน้ำมันหอมระเหย ส่วนกากเมล็ดชา (Tea seed meal) ที่เหลือจากการหีบน้ำมัน มีสารซาโปนินประมาณ 11-18% สามารถนำไปใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวและทำให้เกิดฟอง ใช้ในการผลิตน้ำยาทำความสะอาดต่างๆ รวมถึงน้ำยากำจัดศัตรูพืช หอยเชอรี่ในนาข้าว (ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน, 2562)

ชาน้ำมันถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยปี 2548 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงทราบถึงประโยชน์จากเมล็ดชาน้ำมัน และได้ส่งเสริมการปลูกชาชนิด *Camellia Oleifera* ในประเทศไทย จึงได้พระราชทานพระราชดำริให้จัดตั้ง “ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน” เพื่อเป็นโรงงานผลิตน้ำมันจากเมล็ดชาและพืชน้ำมัน โครงการศึกษาและพัฒนาการปลูกต้นชาน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ ปัจจุบันดำเนินการปลูกชาน้ำมันในพื้นที่ อ.แม่ฟ้าหลวงกว่า 3,000 ไร่ ซึ่งอยู่ในความดูแลของมูลนิธิชัยพัฒนา และมูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระราชูปถัมภ์ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน, 2562)

การปลูกชาน้ำมันบนพื้นที่สูงส่วนใหญ่จะปลูกในระบบพืชเชิงเดี่ยว Shrestha et al. (2010) รายงานว่า การปลูกพืชเชิงเดี่ยวมีปริมาณการสูญเสียดิน ประมาณ 0.8 ตัน/ไร่/ปี และการปลูกพืชให้มีความหลากหลาย ได้แก่ การปลูกไม้ผลผสม มีปริมาณการสูญเสียดิน 0.08 ตัน/ไร่/ปี ซึ่งการปลูกพืชชนิดเดียวกันเป็นเวลานาน เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สหรัตถ์, 2553)หากไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมหน้าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มีโอกาสถูกกร่อนไปจากพื้นที่ (อุทิศ, 2557; ภาดล และคณะ, 2560) ซึ่งการสูญเสียธาตุอาหารไปกับน้ำไหลบ่าตามผิวดินทำให้ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ โครงสร้างของดินถูกทำลาย ส่งผลให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำและความอุดมสมบูรณ์ดินลดลงตามไปด้วย (Chomitz and Kumari, 1998; Labriere et al., 2015)

การปลูกพืชเชิงแถบอนุรักษ์ (Alley cropping) นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการกร่อนดินรวมถึงเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำบนที่สูงโดยการปลูกพืชไร่หรือพืชผักสลับกับแถบไม้ผลหรือพืชยืนต้นซึ่งจะช่วยเกาะยึดดินและดูดซับน้ำ ลดการกร่อน ลดความเสี่ยงในการปลูกพืชเชิงเดี่ยว (Monoculture) และเพิ่มความหลากหลายของพืชพันธุ์และผลผลิตซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร (มัตติกา และศิวพงศ์, 2550) และจากการทดลองของ Pansak et al. (2008) ที่ปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ลาดชันสูงภายใต้ระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ร่วมกับปลูกถั่วพร้าและมีการไถพรวนน้อยครั้ง พบว่า แปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 240 กก./ไร่ เป็น 500 กก./ไร่ การใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำด้วยวิธีการทางพืชโดยการปลูกหญ้าแฝกและพืชตระกูลถั่วคลุมดินเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยยึดคลุมดินและป้องกันเม็ดฝนไม่ให้ตกกระทบผิวดินโดยตรงยับยั้งกระบวนการแตกกระจายของเม็ดดิน เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (พบชาย, 2556) อารีย์ และคณะ (2556) รายงานว่า การปลูกหญ้าแฝกร่วมกับไม้ผลช่วยส่งเสริมให้ไม้ผลเจริญเติบโตดีและสามารถปรับปรุงดินให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชมากขึ้น ระบบรากของหญ้าแฝกที่ประสานเป็นม่านทึบแผ่ขยายลงในดิน จะเป็นตัวช่วยดูดซับและกักเก็บความชื้น

(Babalola et al., 2003) และสามารถป้องกันการกร่อนของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการกร่อนดินและการสูญเสียธาตุอาหารจากการกร่อนดิน การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินภายใต้ระบบการปลูกพืชอนุรักษ์ในแปลงที่ปลูกชาน้ำมันเพื่อช่วยให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนอนุรักษ์ดินและน้ำฟื้นฟูทรัพยากรดิน และรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินบนพื้นที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา ตั้งอยู่ที่บ้านปางมะหัน จังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่พิกัดที่ 20°19'10.5"N 99°34'12.7"E สภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเป็นภูเขาสูงชันมาก ความชัน 3-50 เปอร์เซ็นต์ มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 1,240 ม. ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,900 มม. อุณหภูมิเฉลี่ย 25.4 องศาเซลเซียส ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นบริเวณของชุดดินดอยปุย (Doi Pui, Dp soil: Kandic Palehumults) เนื้อดินเป็นดินร่วนหรือร่วนปนเหนียว มีสีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลปนแดง พีเอชดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย การระบายน้ำดี การซึมผ่านได้ของน้ำปานกลาง น้ำไหลบ่า ช้าถึงเร็วมาก โดยวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์(randomized complete block design) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 6 ตำรับการทดลอง ดังนี้ 1) ปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียว (sole tea-oil plantation; Sole Tea-oil) 2) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ (tea-oil plantation with black grain cowpea; Tea-oil+BGC) 3) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วเหลือง (tea-oil plantation with soybean; Tea-oil+SB) 4) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับแถบหญ้าแฝก (tea-oil plantation with vetiver grass; Tea-oil+VG) 5) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ และแถบหญ้าแฝก (tea-oil plantation with black grain cowpea and vetiver grass; Tea-oil+BGC+VG) และ 6) ปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วเหลือง และแถบหญ้าแฝก (tea-oil plantation with soybean and vetiver grass; Tea-oil+SB+VG) บันทึกข้อมูลทั้งหมด 1 ปี 7 เดือน โดยทำการทดลองตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 - ธันวาคม พ.ศ.2563

Figures 1 treatments of experiment.

การเตรียมแปลงทดลอง โดยเลือกแปลงชาน้ำมันที่มีอายุ 10 ปีขึ้นไป ระยะการปลูกชาน้ำมันระหว่างต้น 2 ม. ระหว่างแถว 3 ม. แปลงทดลองมีความลาดชัน 40 เปอร์เซ็นต์โดยแต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 6 ม. ยาว 8 ม. ในตำรับการทดลองที่ปลูกพืชอนุรักษ์ ทำการปลูกขวางแนวลาดเทระหว่างแถวชาน้ำมัน ได้แก่ หญ้าแฝก ถั่วเหลือง และถั่วพุ่มดำ ตำรับการทดลองที่ปลูกพืชอนุรักษ์เพียงชนิดเดียวจะปลูกขวางแนวลาดเทหนึ่งแถวระหว่างชาน้ำมัน ตำรับการทดลองที่ปลูกพืชร่วมมากกว่าหนึ่งชนิดจะปลูกซ้อนกันเป็นแถวคู่ระหว่างแถวของชาน้ำมัน

การใส่ปุ๋ย ทุกตำรับการทดลองใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 600 ก./ต้น โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งต่อปี ดูแลรักษาแปลงทดลองโดยกำจัดวัชพืชเดือนละ 1 ครั้ง

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บตะกอนดินและน้ำไหลบ่า ใช้แผ่นสังกะสีฝังลงดิน 1 ใน 3 ของความสูงแผ่น (15 ซม.จากผิวดิน) เพื่อป้องกันตะกอนดินจากบริเวณรอบแปลง ขุดบ่อดักตะกอนด้านท้ายแปลง และใช้พลาสติกดำปูรองก้นบ่อเพื่อดักตะกอนแล้วต่อท่อพลาสติก ไปยังถังพลาสติก ขนาดความจุ 80 ล. ที่มีฝาปิด เพื่อรองรับน้ำไหลบ่า ภายในถังพลาสติกจะติดแถบวัดระยะไว้ภายในถัง เพื่อวัดปริมาณน้ำและนำไปคำนวณหาปริมาณการไหลบ่า

การเก็บตัวอย่างน้ำไหลบ่า และตะกอนดิน โดยวัดความสูงของปริมาณน้ำไหลบ่าในถังพลาสติกทุกครั้งหลังฝนตก และเก็บตัวอย่างน้ำไหลบ่าของแต่ละตำรับการทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เก็บตะกอนดินในบ่อดักตะกอนบริเวณท้ายแปลงซึ่งรองรับด้วยพลาสติกดำของแต่ละตำรับการทดลองทุกครั้งหลังฝนตก

นำไปผึ่งแห้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่สูญเสียไปกับตะกอนดิน

การเก็บตัวอย่างดินโดยเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง 2 แบบ ได้แก่ เก็บแบบทำลายโครงสร้างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และเก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์

สมบัติทางเคมีของดินได้แก่ ไนโตรเจนรวมโดยวิธีของ Kjeldahl method วิเคราะห์แบบ wet oxidation (Jackson, 1965) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สกัดโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สกัดด้วย 1*N* NH_4OAc pH 7.0 และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Pratt, 1965) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon, OC) โดยวิธี Walkley and Black titration และคำนวณเป็นปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter, OM) โดย OCx1.724 (Walkley and Black, 1934) พีเอชดินวัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (NRCS, 1996) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนโดยวิธี Leaching โดยใช้ 1*M* NH_4OAc pH 7.0 (Chapman, 1965) และวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความชื้นของดิน ความหนาแน่นรวมของดินประเมินโดยวิธี Core method (Blake and Hartge, 1986) ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ โดยประเมินจากผลต่างของระดับความจุความชื้นสนาม (FC) กับจุดเหี่ยวถาวร (PWP)(Cassel and Nielsen, 1986) ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำขณะดินอิ่มตัว (Klute, 1965) และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดดิน (Mean weight diameter, MWD_{wet}) (Kemper and Rosenau,1986) ซึ่งใช้เป็นดัชนีหนึ่งที่บ่งบอกความคงทนของเม็ดดิน

การประเมินมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ โดยนำปริมาณธาตุอาหารหลักที่สูญเสียไปจากการกร่อนดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมนำมาเปรียบเทียบกับราคาขายปลีกแม่ปุ๋ย เดือนพฤษภาคม จาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2564) โดยมูลค่าการสูญเสียไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เปรียบเทียบกับปุ๋ยสูตร 15-15-15 ราคาตันละ 16,148 บาท คิดเป็นราคากิโลกรัมละ 107.65 บาท

สูตรการคำนวณมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์

$NL = Q_{Ni} \times P_{Ni}$ (โดยที่ I = N, P, K)

เมื่อ NL คือมูลค่าธาตุอาหารในดินที่สูญเสีย (บาท)

Q_{Ni} คือปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียจากการกร่อนดิน (กก.)

P_{Ni} คือราคาปุ๋ยที่ใช้เปรียบเทียบต่อกิโลกรัม (บาท)

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหาความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)พร้อมทั้งเปรียบเทียบอิทธิพลของเวลาต่อตำรับทดลองและการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ปริมาณการสูญเสียตะกอนดินและน้ำไหลบ่าสะสม

ปริมาณการสูญเสียตะกอนดินและน้ำไหลบ่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (**Table 1**) กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณน้ำไหลบ่าสูง มีผลให้ปริมาณตะกอนดินจะสูงขึ้นด้วย โดยการปลูกชาน้ำมันโดยไม่มีพืชอนุรักษ์ร่วมในระบบมีผลให้เกิดการสูญเสียดินและน้ำไหลบ่ามากที่สุด (9.41 กก./ไร่, 37.17 ลบ.ม./ไร่) รองลงมาคือ การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ (7.66 กก./ไร่, 26.02 ลบ.ม./ไร่) ขณะที่การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ และแถบหญ้าแฝก (5.69 กก./ไร่, 20.76 ลบ.ม./ไร่) และ การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วเหลือง และแถบหญ้าแฝก (6.93 กก./ไร่, 22.47 ลบ.ม./ไร่) มีการสูญเสียตะกอนดินและน้ำไหลบ่าน้อยที่สุด เนื่องจากหญ้าแฝกมีคุณสมบัติที่สามารถแตกกอโดยการแตกหน่อที่ข้อของลำต้น หรือเหง้าเหนือดินได้ตลอดเวลา เมื่อตะกอนดินมาทับถมแถวหญ้าแฝก ช่วยลดการสูญเสียดิน และช่วยชะลอการไหลบ่าของน้ำหน้าดินได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของอาทิตย์ และคณะ (2560) ที่กล่าวว่า บริเวณที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำโดยใช้การปลูกหญ้าแฝกเพื่อยึดคันดินมีผลทำให้ปริมาณการสูญเสียดินน้อยกว่าบริเวณที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินอย่างชัดเจน จะเห็นได้ว่า

วิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำที่มีการปลูกถั่วร่วมด้วยกับแถบหญ้าแฝกส่งผลให้มีการสูญเสียดินและน้ำไหลบ่าน้อยที่สุด เนื่องจากพืชตระกูลถั่วที่ปลูกคลุมดินสามารถลดผลกระทบจากน้ำฝนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อดิเรก และคณะ (2561) ที่กล่าวว่า การปลูกถั่วแปะยีร่วมในแปลงข้าวโพดช่วยลดการกร่อนของหน้าดินได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น นอกจากจะส่งผลดีต่อการปลูกชาน้ำมันบนพื้นที่สูงแล้ว การปลูกพืชตระกูลถั่วร่วมด้วยในแปลงนั้น ยังเป็นการเสริมสร้างรายได้ทางอ้อมอีกด้วย นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าการสูญเสียดินและน้ำไหลบ่าปีที่สองลดลงอย่างชัดเจนอาจเป็นผลมาจากแปลงทดลองมีการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามระบบการปลูกพืชทั้ง 6 รูปแบบและช่วงระยะเวลาไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณตะกอนและน้ำไหลบ่า อย่างไรก็ดี ปริมาณการสูญเสียดินดังกล่าวเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน อยู่ในระดับที่น้อย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากบริเวณแปลงทดลองมีการปรับพื้นที่เป็นขั้นบันไดเพื่อลดความลาดชัน และเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังมีพืชท้องถิ่นปกคลุมดินค่อนข้างมากจึงส่งผลให้การกร่อนดินอยู่ในระดับที่น้อย แม้ว่าพื้นที่จะมีความลาดชันสูงก็ตาม (> 35%)

Table 1 Effects of soil and water conservation measures on sediment losses and runoff

Treatments	Sediment (kg/rai)	Runoff (m^3/rai)
Sole Tea-oil	9.41a	37.17a
Tea oil + BGC	7.66b	26.02b
Tea oil + SB	7.59b	23.51b
Tea oil + VG	7.29b	25.62b
Tea oil + BGC + VG	5.69c	20.76b
Tea oil+ SB+ VG	6.93bc	22.47b
F-test[1/]	**	**
Year		
Year 1	9.09a	32.78a
Year 2	5.76b	12.57b
F-test[1/]	**	**
Interaction between treatment and year		
F-test[1/]	ns	ns
CV (%)	28.99	27.59

Remark: BGC = Black grain cowpea; SB = Soybean; VG = Vetiver grass

[1/]** = significantly different at 99% level of confidence, mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ns = not significant.

การสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนดินและน้ำไหลบ่า

ระบบการปลูกพืชและระยะเวลาไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนดินและน้ำไหลบ่า ยกเว้นปริมาณอินทรียวัตถุ ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะระบบการปลูกพืชพบว่าการสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนดินและน้ำไหลบ่า เป็นไปในทิศทางเดียวกับ ปริมาณการสูญเสียตะกอนดินและน้ำไหลบ่า ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (**Table 2**) โดย การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำและแถบหญ้าแฝกมีการสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนดินและน้ำน้อยที่สุด ตามลำดับ ขณะที่การปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการปลูกพืชอนุรักษ์ร่วมในระบบมีการสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนดินและน้ำไหลบ่ามากที่สุด ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ จุฑารัตน์ และคณะ (2562) ที่รายงานว่าวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีผลให้ปริมาณธาตุอาหารสูญเสียไปกับตะกอนดินมากที่สุดจะเห็นได้ว่าการปลูกพืชอนุรักษ์ร่วมในระบบมีผลให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนดินและน้ำไหลบ่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ ฐน

ชนก (2558) ที่พบว่ากรรมวิธีที่มีการปลูกพืชร่วม คือ การปลูกข้าวโพดร่วมกับยางพารา การปลูกข้าวโพดร่วมกับยางพาราและถั่วเหลือง และกรรมวิธีปลูกข้าวโพดร่วมกับยางพาราและมีแถบหญ้าแฝกนั้น มีปริมาณการสูญเสียธาตุอาหารในปริมาณที่ต่ำกว่าการปลูกยางพารา เพียงอย่างเดียว

Table 2 Effects of soil and water conservation measures on loss of nutrient by sediment and runoff

Treatments	Sediment (kg/rai)				Runoff (kg/rai)		
	N loss	P loss	K loss	OM loss	N loss	P loss	K loss
Sole Tea-oil	0.060a	0.003a	0.015a	1.268a	0.092a	0.022	0.112ab
Tea oil + BGC	0.032b	0.002b	0.011ab	1.072b	0.083a	0.020	0.120a
Tea oil + SB	0.024bc	0.001c	0.008c	0.874c	0.052c	0.014	0.067ab
Tea oil + VG	0.028bc	0.002b	0.010bc	1.070b	0.070b	0.019	0.067ab
Tea oil + BGC + VG	0.023bc	0.001c	0.008c	0.881c	0.051c	0.012	0.052b
Tea oil+ SB+ VG	0.028c	0.001c	0.010bc	0.919c	0.055c	0.014	0.078ab
F-test[1/]	**	**	**	**	**	ns	*
Year							
Year 1	0.045a	0.002a	0.014a	1.698a	0.102a	0.030	0.080
Year 2	0.019b	0.001b	0.006b	0.830b	0.058b	0.040	0.085
F-test[1/]	**	**	**	**	**	*	ns
Interaction between treatment and year							
F-test[1/]	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
CV (%)	5.82	32.39	25.37	7.07	9.12	21.74	25.12

Remark: BGC = Black grain cowpea; SB = Soybean; VG = Vetiver grass

[1/]** = significantly different at 99% level of confidence. * = significantly different at 95% level of confidence, mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ns = not significant.

มูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์จากการกร่อนดิน

การประเมินมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบจากราคาขายปลีกปุ๋ย พบว่ามูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ในทุกตำรับทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติธาตุอาหารที่มีมูลค่าการสูญเสียสูงที่สุด คือ ปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ตามลำดับ (**Table 3**) เมื่อพิจารณา พบว่า การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำร่วมกับแถบหญ้าแฝก ให้มูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์น้อยที่สุด (19.79 บาท/ไร่) รองลงมาคือการปลูกหญ้าแฝกร่วมกับถั่วเหลืองและแถบหญ้าแฝก (22.16 บาท/ไร่) ขณะที่การปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีพืชอนุรักษ์มีมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด (41.39 บาท/ไร่) แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียเกิดจากจำนวนชนิดพืชในแปลงที่มีการอนุรักษ์ต่างๆการสูญเสียดินและน้ำไหลบ่า และการสูญเสียดินและน้ำไหลบ่ามีความสัมพันธ์กับการสูญเสียธาตุอาหาร ระบบการปลูกพืชและระยะเวลาไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ อย่างไรก็ตาม มูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ไปกับตะกอนและน้ำไหลบ่าในปีที่ 2 มีแนวโน้มลดลงจากปีที่ 1 เท่ากับ 16.30 บาท

Table 3 Effects of soil and water conservation measures on economic value of soil erosion by sediment and runoff

Treatments	Economic of sediment (Baht/rai)			Economic of runoff (Baht/rai)			Total
	N	P	K	N	P	K	
Sole Tea-oil	6.80a	0.33a	1.68a	14.67a	4.23a	13.68a	41.39
Tea oil + BGC	3.61b	0.24b	1.21ab	11.91ab	3.53ab	12.98ab	33.48
Tea oil + SB	3.39bc	0.18bc	1.06bc	11.04ab	3.32ab	8.36b	27.35
Tea oil + VG	3.39bc	0.21b	1.12ab	9.97ab	3.24ab	8.59b	26.52
Tea oil + BGC + VG	2.83c	0.16c	0.82c	6.03b	3.02ab	6.93b	19.79
Tea oil+ SB+ VG	2.68c	0.15c	0.89c	8.67b	2.08b	7.69b	22.16
F-test[1/]	**	**	**	**	*	*	-
Year							
Year 1	5.47a	0.28a	2.35a	15.34a	4.46a	9.82	37.72
Year 2	2.95b	0.15b	0.97b	6.52b	2.23b	8.6	21.42
F-test[1/]	**	**	**	**	*	ns	-
Interaction between treatment and year							
F-test[1/]	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-
CV (%)	6.86	29.22	27.48	7.09	23.68	27.04	-

Remark: BGC = Black grain cowpea; SB = Soybean; VG = Vetiver grass

[1/]** = significantly different at 99% level of confidence. * = significantly different at 95% level of confidence, mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ns = not significant.

การปลูกพืชอนุรักษ์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

การปลูกพืชอนุรักษ์ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินแตกต่างกัน (**Table 4**) พบว่า การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำ และแถบหญ้าแฝกมีผลให้ ค่าพีเอชดิน (pH 5.92) ไนโตรเจนรวม (1.50 ก./กก.) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (20 มก./กก.) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (4,249 มก./กก.) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (27 เซนติโมล/กก.) และ อินทรียวัตถุในดิน (51.20 ก./กก.) สูงที่สุด ในขณะที่การปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการปลูกพืชอนุรักษ์ร่วมในระบบมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำที่สุด สังเกตได้ชัดเจนว่า การปลูกพืชอนุรักษ์ร่วมในระบบส่งผลให้ธาตุอาหารพืชสูงกว่าการปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียว (ตำรับควบคุม) และสูงกว่าดินก่อนทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระบบการปลูกพืชดังกล่าวช่วยลดการไหลบ่าน้ำผิวดินและเป็นแนวดักตะกอนดิน ทำให้ลดการสูญเสียดินและธาตุอาหารในดินได้ดีกว่าระบบการปลูกพืชเชิงเดี่ยว สอดคล้องกับ Dahmardeh et al. (2010) ที่ได้ศึกษาการปลูกพืชแซมโดยใช้ถั่วพุ่มปลูกแซมข้าวโพด พบว่าการปลูกพืชแซมทำให้ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวโพดเพียงอย่างเดียว

Table 4 Effects of soil and water conservation measures on chemical properties of soil after experiment.

Treatments	pH	Total N (g/kg)	Avail.P (mg/kg)	Exch.K (mg/kg)	Exch.Ca (mg/kg)	Exch.Mg (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	OM (g/kg)
Sole Tea-oil	5.84b	0.70c	5.20d	2976.05	8008.32	2194.03c	19.66ab	41.7b
Tea oil + BGC	5.83b	1.10b	9.82c	3702.31	9613.01	2411.83c	18.91a	49.6ab
Tea oil + SB	5.63b	1.00b	12.14bc	3895.89	8946.29	2367.69c	19.82ab	44.4ab
Tea oil + VG	6.08a	1.10b	11.78bc	4169.78	9534.6	2492.11c	22.31ab	47.2ab
Tea oil + BGC + VG	5.92a	1.50a	20.01a	4941.42	11504.08	4249.56a	27.85a	51.2a
Tea oil+ SB+ VG	5.58b	1.50a	15.04b	5018.65	10136.56	2492.11b	21.63ab	50.7a
F-test[1/]	**	**	**	ns	ns	**	**	**
Year								
Before experiment	5.57	-	4.92	226.20	438.00	224.4	13.14	26.0
Year 1	5.77	0.90b	9.59b	4268.63	11517.06a	3073.25a	19.11b	41.2b
Year 2	5.86	1.40a	15.07a	3975.07	7730.57b	2504.20b	24.28a	53.1a
F-test[1/]	ns	**	**	ns	**	**	**	**
Interaction between treatment and year								
F-test[1/]	ns	**	**	ns	ns	**	**	**
C.V. (%)	4.46	27.88	21.71	24.61	29.53	29.87	29.99	18.95

Remark: BGC = Black grain cowpea; SB = Soybean; VG = Vetiver grass

[1/] ** = significantly different at 99% level of confidence, mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ns = not significant.

การปลูกพืชอนุรักษ์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

เมื่อพิจารณาการปลูกพืชอนุรักษ์ พบว่าไม่มีผลให้ความชื้นของดิน ค่าจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ และ ความหนาแน่นของดินแตกต่างกันทางสถิติ (**Table 5**) อย่างไรก็ตาม ทุกตำรับการทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวอยู่ในระดับเร็ว พบว่าการปลูกชาน้ำมันโดยไม่มีการปลูกพืชอนุรักษ์มีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวมีค่าน้อยที่สุด (17.98 ซม./ชม.) ขณะที่การปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วพุ่มดำและแถบหญ้าแฝกมีแนวโน้มให้ค่านี้สูงที่สุด (23.07 ซม./ชม.) ใกล้เคียงกับการปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วเหลืองและหญ้าแฝก (22.54 ซม./ชม.) สังเกตได้ว่า ตำรับการทดลองที่ปลูกพืชอนุรักษ์มากกว่าหนึ่งชนิดช่วยส่งเสริมให้สมบัติฟิสิกส์ของดินดีขึ้น นอกจากนี้ การปลูกชาน้ำมันรวมกับถั่วพุ่มดำและแถบหญ้าแฝก ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดดินสูงที่สุด (10.63 มม.) รองลงมาเป็นการปลูกชาน้ำมันร่วมกับถั่วเหลืองและแถบหญ้าแฝก (10.23 มม.) แสดงให้เห็นว่าการใช้พืชเชิงแถบอนุรักษ์มีผลต่อการเพิ่มขนาดเม็ดดิน ซึ่งจะช่วยสร้างเม็ดดินที่มีความคงทนกว่าการปลูกชาน้ำมันเพียงอย่างเดียว (6.45 มม.) ซึ่งสอดคล้องกับ จรัญยา และคณะ (2559) ที่กล่าวว่า ดินที่ไม่ถูกรบกวนอาจมีค่าเฉลี่ยเม็ดดินที่ใหญ่กว่า เนื่องจากระบบการปลูกพืชดังกล่าวมีการไถพรวนน้อย ซึ่งทำให้ดินถูกรบกวนน้อย มีหญ้าแฝก ถั่วเหลือง และถั่วพุ่มดำเพื่อดักตะกอนดินที่มากับน้ำไหลบ่า และมีการใส่ปุ๋ยช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพที่ถูกใส่กลับลงสู่ดิน ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน สอดคล้องกับการศึกษาของ Peter (2008) ที่พบว่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดดินเสถียรน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอินทรียวัตถุและสารที่ได้จากการย่อยสลาย สารอินทรีย์ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมอนุภาคดินให้เกาะกันเป็นก้อน ทำให้ได้เม็ดดินขนาดใหญ่และมีเสถียรภาพ (Zhang et al., 2012)

Table 5 Effects of soil and water conservation measures onphysical properties of soil after experiment

Treatments	MC (%)	AWCA (%)	Bulk density (g/cm^3)	K_{sat}(cm/hr)	MWD_{wet} (mm)
Sole Tea-oil	31.19	18.91	1.16	17.98c	6.45c
Tea oil + BGC	34.01	22.04	1.10	19.98bc	8.54b
Tea oil + SB	33.70	19.11	1.14	20.15bc	9.42ab
Tea oil + VG	34.89	24.34	1.19	20.65ab	8.93ab
Tea oil + BGC + VG	36.18	21.75	1.17	23.07a	10.63a
Tea oil+ SB+ VG	35.51	23.82	1.13	22.54ab	10.23ab
F-test[1/]	ns	ns	ns	**	**
Year					
Before experiment	32.00	20.19	1.16	29.20	-
Year 1	34.50	20.65	1.12	16.56b	7.99b
Year 2	33.09	22.68	1.15	24.88a	10.07a
F-test[1/]	ns	ns	ns	**	**
Interaction between treatment and year					
F-test[1/]	ns	ns	ns	**	ns
CV (%)	14.61	22.16	6.57	25.62	21.55

Remark: BGC = Black grain cowpea; SB = Soybean; VG = Vetiver grass

[1/] ** = significantly different at 99% level of confidence, mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ns = not significant.

สรุป

การปลูกชาน้ำมันโดยไม่มีการปลูกพืชอนุรักษ์มีการสูญเสียตะกอนดินน้ำไหลบ่าการสูญเสียธาตุอาหารไปกับตะกอนและน้ำไหลบ่า รวมทั้งมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์สูงสุดในขณะที่ การปลูกชาน้ำมันร่วมกับระบบแถบอนุรักษ์สามารถลดการสูญเสียตะกอนดินและน้ำไหลบ่า และยังส่งผลให้สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินมีการเปลี่ยนแปลงดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนทดลอง การศึกษาครั้งนี้ทำในระยะเวลา 1ปี 7 เดือน จึงควรมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำในรูปแบบต่างๆ ในระยะยาว การยอมรับของเกษตรกรในพื้นที่รวมทั้งผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของพืชร่วม เพื่อให้ได้รูปแบบของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ และแนวปฏิบัติที่เหมาะสมกับการปลูกชาน้ำมันบนพื้นที่สูง บ้านปางมะหัน จังหวัดเชียงราย ได้อย่างยั่งยืน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่จัดสรรทุนสนับสนุนโครงการวิจัยมุ่งเป้า วิทยาเขตกำแพงแสน ปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. การสูญเสียดินในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จรัณยา สุคนธากร, ศุภิฌา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่มและเอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2559. ผลสะสมของวัสดุปรับปรุงดินต่อการแจกกระจายของเม็ดดินและการกักเก็บคาร์บอนของดินวารินที่ปลูกมันสำปะหลัง. วารสารแก่นเกษตร. 44(4): 657-668.

จุฑารัตน์ มนูญโย,ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, บุณฑริก ฉิมชาติ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2562.การประเมินการกร่อนดินและการสูญเสียธาตุอาหารภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น. วารสารแก่นเกษตร. 35(3): 447-459.

ฐนชนก คำขจร. 2558. การประเมินการกร่อนดิน และการสูญเสียธาตุอาหาร ภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ในพื้นที่ปลูกยางพาราบนพื้นที่ดอน กรณีศึกษา อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ ปริญญามหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

พบชาย สวัสดี. 2556. เอกสารวิชาการ เรื่อง “การจัดการดินมีปัญหาทางการเกษตรบริเวณพื้นที่ภาคใต้ตอนบน”. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต11. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภาดล สหเจริญ, กิตติชัย ดวงมาลย์, เกษม จันทร์แก้วและอรอนงค์ ผิวนิล. 2560. สภาพกร่อนได้ของดินตามลักษณะภูมิประเทศเนินเขาและลอนลาดขรุขระในเขตเงาฝน ลุ่มน้ำพุสวรรค์ จังหวัดเพชรบุรี. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 35(3): 49-57.

มัตติกา พนมธรนิจกุล และศิวะพงศ์ นฤบาล. 2550. รายงานการวิจัยเรื่องการเพิ่มผลิตภาพและประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชในระบบวนเกษตรน้ำฝนอย่างยั่งยืนบนพื้นที่ลาดชัน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สภาวิจัยแห่งชาติ.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน. 2562. ชาน้ำมัน. แหล่งข้อมูล: https://www.teaoilcenter.org/%e0%b8%8a%e0%b8%b2%e0%b8%99%e0%b9%89%e0%b8%b3%e0%b8%a1%e0%b8%b1%e0%b8%99/. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2564.

สหรัตถ์ อารีราษฎร, 2553. ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวางแผนในการปลูกผักเชิงผสม. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาการสารสนเทศมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร ปัจจัยการผลิต: ราคาขายปลีกปุ๋ยเคมีรายเดือน. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95/TH-TH. ค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2564.

อดิเรก ปัญญาลือ, เจษฎา จงใจดี, ศันสนีย์ จำจด และเบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2561. ผลของการปลูกข้าวโพดแซมถั่วต่อการชะล้างพังทะลายหน้าดินและความหลากหลายทางชีวภาพในดิน. วารสารแก่นเกษตร. 46(3): 449-458.

อาทิตย์ ศุขเกษม, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, เอิบ เขียวรื่นรมณ์, อัญชลี สุทธิประการ และศุภิฌา ธนะจิตต์. 2560. ผลของระบบอนุรักษ์ดินและน้ำต่อการกร่อนดินและการกักเก็บคาร์บอนในระบบพืชไร่. วารสารแก่นเกษตร. 35(2): 285-296.

อารีย์ สุวรรณจินดา, บัญญัติศิรินาวงศ์ และศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2556. ยุทธศาสตร์การปลูกหญ้าแฝกในการปรับปรุงดินที่แข็งดานเพื่อการปลูกพืชตามแนวพระราชดำริ. วารสารสมาคมนักวิจัย. 18(2): 16-28.

อุทิศ เตจ๊ะใจ. 2557. เอกสารวิชาการ เรื่อง “แนวทางการวางระบบการพัฒนาที่ดินบนพื้นที่สูงเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืนในเขตภาคเหนือของประเทศไทย”. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต7. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Babalola, O., S.C. Jimba, O. Maduakolam, and O. A. Dada. 2003. Use of vetiver grass for soil and water conservation in Nigeria. Department of Agronomy, University of Ibadan, Nigeria.

Blake, G.R., and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. pp. 363-382. In: A. Klute, ed. Methods of Soil Analysis, Part1: Physical and Mineralogical Properties. Agronomy, No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin.

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

Cassel, D.K., and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Method. 901-926.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-901. In: C.A. Black, ed. Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties.Agronomy, No.9.American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin.

Chomitz, K.M., and K. Kumari. 1998. The domestic benefits of tropical forests: a critical review. World Bank Research Observer. 13: 13-35.

Dahmardeh. M, A. Ghanbari, B. A. Syahsar, and M. Ramrodi. 2010.The role of intercropping maize (Zea mays L.) and Cowpea (Vigna unguiculata L.) on yield and soil chemical properties. African Journal of Agriculture Research. 5(8): 631-636.

Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 546-566. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part I: Agronomy No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Jackson, M.L. 1965. Soil Chemical Analysis-Advanced Course. Department of Soils, University of Wisconsin, WI.

Jinlin, M., Y. Hang, R. Yukui, Ch. Guochen, and Zh. Naiyan. 2010. Fatty acid composition of Camellia oleifera oil. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 6: 9-12.

Kemper, W.D., and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution, pp. 425-442. In Klute, A.(Ed.), Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Methods, No.9, Agronomy, SSSA, Madison.

Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soils, pp. 210- 220. In: C.A. Black, ed. Methods ofSoil Analysis, Part l. Physical and Mineralogical Properties. Agronomy, No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Labrière, N., L. Bruno, L. Yves, F. Vincent, and B. Martial. 2015. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. Agriculture, Ecosystems and Environment. 203: 127-139.

Natural Resources Conservation Service. 1996. Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigation. Report No.42, Version 3.0. National Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.

Pansak, W., T. Hilger, B. Lusiana, T. Kongkaew, C. Marohn, and G. Cadisch. 2010. Assessing soil conservation strategies for upland cropping in Northeast Thailand with the WaNuLCAS model. Agricultural Systems. 79: 123–144.

Peter, P.C. 2008. Assessment of Structural Stability in Nkpologu Sandy Clay Loam Soil, M.Sc. Thesis, Department of Soil Science, University of Nigeria, Nsukka.

Pratt, P.F. 1965. Potassium. P.1022-1030. In: C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agron. No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin.

Shrestha, R.P., D. Schmidt-Vogt, and N. Gnanavelrajah. 2010. Relating plant diversity to biomass and soil erosion in a cultivated landscape of the eastern seaboard region of Thailand. Applied Geography. 30: 606–617.

Walkley, A., and C.A. Black. 1 9 3 4. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-35.

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 of Sciences, Shenyang 110164, China.