



การเปรียบเทียบการสูญเสียดินและการกักเก็บคาร์บอนในดินภายใต้ป่าธรรมชาติ
และมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สถานีวิจัยพัฒนาที่ดินแพร่

Comparison of Soil Loss and Soil Carbon Storage under Natural Forest and
Soil and Water Conservation Practices at the Plant Genetic Conservation Project

Phrae Land Development Station

ภัทราวุธ ศรีโพธิ์¹ และ สะแกวัลย์ คันธะเรศย์²

Patrawoot Sripo¹ and Sakaewan Khantarate²

¹สถานีวิจัยพัฒนาที่ดินแพร่ จังหวัดแพร่ 54140 และ ²สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 7 จังหวัดน่าน 55000

Phrae Land Development Station, Phrae Province, 54140

Land Development Regional Office 7, Nan Province, 55000

บทคัดย่อ

การศึกษาการสูญเสียดินภายใต้ป่าธรรมชาติและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ณ พื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สถานีวิจัยพัฒนาที่ดินแพร่ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียดินและการกักเก็บคาร์บอนในดินภายใต้รูปแบบการใช้ที่ดินและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่แตกต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) ประกอบด้วย 4 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) พื้นที่ว่างเปล่าไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2) พื้นที่ป่าธรรมชาติ 3) พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม และ 4) พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่อง ดำเนินการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 8 เดือนในช่วงฤดูฝน

ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณการสูญเสียดินสูงสุด เท่ากับ 2.345 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ขณะที่พื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณการสูญเสียดินต่ำสุด เท่ากับ 0.496 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลาย พบว่า พื้นที่ป่าธรรมชาติในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 80.90 สำหรับการศึกษาปริมาณคาร์บอนในดิน พบว่า พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด เท่ากับ 0.12 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ขณะที่พื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด เท่ากับ 0.37 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร และมีประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินเฉลี่ยสูงสุด ร้อยละ 68.54 นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มว่า เมื่อปริมาณการสูญเสียดินเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีแนวโน้มลดลง

จากผลการศึกษาโดยรวมแสดงให้เห็นว่า ป่าธรรมชาติมีบทบาทสำคัญในการลดการสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลายและเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการใช้ที่ดินและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต่อเนื่องในระยะยาว เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในดิน ตลอดจนประสิทธิภาพของป่าธรรมชาติและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในด้านการลดการสูญเสียดินและการกักเก็บคาร์บอนอย่างครอบคลุมและชัดเจนยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ขั้นบันไดดิน; ประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดิน; อินทรีย์คาร์บอน

ABSTRACT

The study of soil loss under natural forest and soil and water conservation measures was conducted at the Plant Genetic Conservation Project under the Royal Initiative, Phrae Land Development Station. The objective was to compare soil loss and soil carbon sequestration under different land-use patterns and soil and water conservation measures. The experiment was arranged in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four treatments and four replications: 1) bare land with no land utilization, 2) natural forest, 3)

continuous soil bench terraces combined with tamarind tree planting, and 4) continuous soil bench terraces. Data were collected over an eight-month period during the rainy season.

The results showed that the bare land with no land utilization had the highest soil loss, at 2.345 tons per hectare per year, whereas the natural forest had the lowest soil loss, at 0.496 tons per hectare per year. Regarding the efficiency of preventing soil loss caused by soil erosion, the natural forest area within the Plant Genetic Conservation Project under the Royal Initiative had the highest average efficiency, at 80.90%. For soil carbon content, the bare land had the lowest organic carbon content, at 0.12 grams of carbon per square meter, while the natural forest had the highest organic carbon content, at 0.37 grams of carbon per square meter. The natural forest also showed the highest average soil carbon sequestration efficiency, at 68.54%. In addition, the results indicated a trend that as soil loss increased, soil organic carbon content tended to decrease.

Overall, the results demonstrated that natural forest played an important role in reducing soil loss caused by erosion and had the greatest potential for soil carbon sequestration compared with the land-use patterns and soil and water conservation measures investigated in this study. However, long-term studies should be conducted to evaluate changes in soil carbon content, as well as the effectiveness of natural forests and soil and water conservation measures in reducing soil loss and enhancing soil carbon sequestration more comprehensively and clearly.

Keywords: bench terrace; Soil loss prevention efficiency; Organic carbon

คำนำ

พื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สถาบันพัฒนาที่ดินแพร่ ยังคงสภาพเป็นป่าธรรมชาติ และไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินหรือการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อการเกษตร จึงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นพื้นที่ศึกษาและเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรและการอยู่อาศัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและน้ำ โดยธรรมชาติ การชะล้างพังทลายของดินเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอยู่เสมอและไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่โดยทั่วไปมีความรุนแรงไม่มากและเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการปรับสมดุลตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม กิจกรรมของมนุษย์สามารถเป็นปัจจัยเร่งให้กระบวนการชะล้างพังทลายของดินมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและวิธีการเพาะปลูกที่ไม่เหมาะสม (นิพนธ์, 2545) ปัญหาดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาและมีความลาดชันสูง เมื่อพื้นที่ขาดสิ่งปกคลุมดิน โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน จะส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินจากน้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดิน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียหน้าดินและธาตุอาหาร ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการใช้ประโยชน์ทรัพยากรดินและน้ำในระยะยาว พืชและสิ่งปกคลุมดินมีบทบาทสำคัญในการลดการชะล้างพังทลายของดิน เนื่องจากช่วยลดแรงตกระหน่ำของเม็ดฝนที่มีต่อผิวดิน ช่วยชะลอความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน เพิ่มการซึมผ่านผิวดิน และช่วยเก็บกักน้ำไว้ในระบบนิเวศ (นิพนธ์, 2526) ดังนั้น การนำมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำทั้งวิธีกลและวิธีพืชมาใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ จึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดการสูญเสียดิน รักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ทรัพยากรดินและน้ำอย่างยั่งยืน

นอกจากปัญหาการชะล้างพังทลายของดินแล้ว การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นอีกประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศ โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก การกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้และในดินจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและช่วยบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยระบบนิเวศป่าไม้และดินเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญ ซึ่ง Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ได้กำหนดแหล่งสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศบนบกไว้ 5 แหล่ง ได้แก่ แหล่งสะสมคาร์บอนเหนือดิน แหล่ง

สะสมคาร์บอนใต้ดิน แหล่งสะสมคาร์บอนในไม้ยืนต้นตาย แหล่งสะสมคาร์บอนในซากพืช และแหล่งสะสมคาร์บอนในดิน (IPCC, 2006) การศึกษาการสูญเสียดินควบคู่กับการกักเก็บคาร์บอนในดินจึงมีความสำคัญ เนื่องจากการชะล้างพังทลายของดินไม่เพียงส่งผลให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรดินและธาตุอาหารเท่านั้น แต่ยังอาจส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินด้วย ข้อมูลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้ประกอบการประเมินประสิทธิภาพของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ตลอดจนสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรดินและน้ำและการเพิ่มศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินอย่างเหมาะสมกับสภาพพื้นที่

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียดินและการกักเก็บคาร์บอนในดินภายใต้รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับใช้เป็นแนวทางในการจัดการทรัพยากรดินและน้ำ การอนุรักษ์พื้นที่ป่า และการส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

เครื่องวัดน้ำฝนแบบไม่อัตโนมัติ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนบริเวณแปลงทดลอง อุปกรณ์เก็บตัวอย่างตะกอน ได้แก่ ขวดเก็บตะกอน ขนาด 1000 มิลลิลิตร ไม้บรรทัด เทปวัด ปากกา และตารางบันทึกข้อมูล อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ ถุงใส่ตัวอย่างดิน ปากกาเคมี กระบอกเก็บดิน (Soil core) สำหรับเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง รวมถึง ค้อน มีดตัดดิน จอบ และเสียม วัสดุและอุปกรณ์วิเคราะห์ตะกอน ได้แก่ กรวยกรอง กระดาษกรอง ตูบตัวอย่างดิน เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล และตารางบันทึกข้อมูล

2. วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

4 ดำเนินการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

ดำรับที่ 1 พื้นที่ว่างเปล่า ไม่มีการใช้ประโยชน์

ดำรับที่ 2 พื้นที่ป่าธรรมชาติ

ดำรับที่ 3 พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม

ดำรับที่ 4 พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่อง

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 คัดเลือกพื้นที่ทดลองมีความลาดชัน 10 – 15 % อยู่ในชุดดินแมร์ริ Series Mr. และอยู่ในด้านรับน้ำฝนเหมือนกันทุกแปลง โดยพื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแต่ละรูปแบบได้มีการดำเนินการมาก่อนการศึกษาเป็นระยะเวลานานกว่า 10 ปี

2.2 การวางแผนการทดลองกว้าง 2 เมตร x ยาว 10 เมตร จำนวน 16 แปลง โดยสร้างแปลงทดลองวางขนานไปตามด้านลาดที่มีความชันไปทางเดียวกัน

2.3 การเก็บข้อมูลน้ำฝน รวบรวมข้อมูลฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนแบบไม่อัตโนมัติ ขนาด 8 นิ้ว ที่ติดตั้งบริเวณแปลงทดลอง สถานีพัฒนาที่ดินแพร่ ในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2568 และข้อมูลปริมาณน้ำฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงร่องกวาง ที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณสถานีพัฒนาที่ดินแพร่

2.4 การเก็บข้อมูลการสูญเสียดิน เก็บตัวอย่างตะกอนและน้ำทุกครั้งหลังฝนตก โดยวัดความสูงของน้ำในบ่อเก็บตะกอน แล้วกวาดตะกอนและน้ำให้เข้ากัน จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างน้ำตะกอนใส่ขวดเก็บตัวอย่างขนาด 1 ลิตร แล้วนำมาหาปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง โดยการกรองตัวอย่างตะกอนด้วยกระดาษกรอง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วเทียบออกมาเป็นรูปน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่

2.5 เก็บตัวอย่างดินในแปลงทดลองการสูญเสียดิน โดยเก็บตัวอย่างดินในแปลงที่ทำการทดลองแบบ composite sample รวมเป็น 1 ตัวอย่าง/แปลง จำนวน 16 ตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Soil organic carbon; SOC) ในดิน โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934) และเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเก็บดิน (Soil core) เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาณคาร์บอนในดิน ทั้ง 2 วิธีเก็บที่ระดับความลึกของดิน 0-15 เซนติเมตร บริเวณเดียวกัน ซึ่งการศึกษานี้ได้เก็บ

ตัวอย่างดินทั้งหมด 2 ครั้ง ตลอดการทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง ดังนี้ ครั้งที่ 1 ก่อนการทดลองเก็บตัวอย่างดินต้นเดือนเมษายน และครั้งที่ 2 เก็บตัวอย่างดินช่วงเดือนพฤศจิกายนหลังจากจบฤดูฝน

2.6 การคำนวณปริมาณตะกอนดินที่สูญเสียจากแปลงทดลองในแต่ละรูปแบบการทดลอง โดยการคำนวณหาปริมาณเป็นรายวันที่มีฝนตก แล้วรวมเป็นรายเดือน และรายปีต่อไป เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์และทำการเปรียบเทียบการสูญเสียดินของแต่ละรูปแบบการทดลอง

2.7 การหาประสิทธิภาพของป่าธรรมชาติในการป้องกันการสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลายของดินโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบการทดลอง

$$EV = \frac{A_{BS} - A_{TR}}{A_{BS}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ EV คือ ประสิทธิภาพของป่าธรรมชาติ (เปอร์เซ็นต์)
 A_{BS} คือ ปริมาณตะกอนดินที่สูญเสียจากแปลงว่างเปล่า (ต้นต่อเฮกตาร์)
 A_{TR} คือ ปริมาณตะกอนดินที่สูญเสียจากแปลงป่าธรรมชาติ (ต้นต่อเฮกตาร์)

2.8 การหาปริมาณคาร์บอนในดิน ประเมินหาปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในดินโดยคำนวณหาปริมาณของคาร์บอนที่กักเก็บในดินต่อหน่วยพื้นที่ ปริมาณคาร์บอนที่ระดับความลึกดิน 0-15 เซนติเมตร ที่วิเคราะห์ได้นำมาคำนวณให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Percent by volume) ค่าที่ได้แต่ละค่านำมาคูณด้วยค่าความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) แล้วคูณด้วยความหนาของดินตามระดับความลึก (Soil depth interval) ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินต่อพื้นที่นั้นจึงเป็นปริมาณคาร์บอนที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จากผิวดิน คำนวณปริมาณคาร์บอนในดิน ดังสมการที่ (2)

$$SOC = CC \times BD \times SD \quad (2)$$

เมื่อ SOC คือ ปริมาณคาร์บอนในดิน (กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร)
 CC คือ ความเข้มข้นของคาร์บอน (กรัมคาร์บอนต่อกรัมดิน)
 BD คือ ความหนาแน่นของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 SD คือ ความลึกดิน (เมตร)

2.9 การหาประสิทธิภาพของป่าธรรมชาติต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน ประเมินโดยใช้สมการที่ (3) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประสิทธิภาพของการกักเก็บคาร์บอนในดินของแต่ละรูปแบบการทดลอง

$$SOC_{EF} = \frac{SOC_{TR} - SOC_{BS}}{SOC_{TR}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ SOC_{EF} คือ ประสิทธิภาพของป่าธรรมชาติ (เปอร์เซ็นต์)
 SOC_{BS} คือ ปริมาณคาร์บอนในดินจากแปลงเปรียบเทียบ (ต้นต่อเฮกตาร์)
 SOC_{TR} คือ ปริมาณคาร์บอนในดินจากแปลงป่าธรรมชาติ (ต้นต่อเฮกตาร์)

2.10 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีทางสถิติ (ANOVA: Analysis of Variance) และหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปริมาณการสูญเสียดิน

หลังการทดลอง พบว่า พื้นที่ป่าธรรมชาติ มีปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 0.496 ต้นต่อเฮกตาร์ต่อปี รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม และพื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีปริมาณการสูญเสียดินเท่ากับ 0.860 และ 0.905 ต้นต่อเฮกตาร์ต่อปี ตามลำดับ ขณะที่พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณการสูญเสียดินสูงที่สุด เท่ากับ 2.345 ต้นต่อเฮกตาร์ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติ พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องร่วมกับการ

ปลูกต้นมะขาม และพื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่อง มีปริมาณการสูญเสียดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน นอกจากนี้ พื้นที่ป่าธรรมชาติยังมีปริมาณการสูญเสียดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากพื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำทั้งสองรูปแบบ ดังแสดงในตารางผลการทดลอง Table 1

Table 1 Soil loss at the Plant Genetic Conservation Project Phrae Land Development Station

Month	Soil loss (t/ha)								Total
	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	
Rain (mm.)	60.40	114.40	67.60	355.80	240.80	129.00	44.20	59.00	1,071.20
T1	0.094 a	0.233 a	0.109 a	1.018 a	0.607 a	0.131 a	0.045 a	0.108 a	2.345 a
T2	0.021 c	0.04 c	0.017 c	0.251 b	0.122 c	0.022 c	0.007 b	0.017 c	0.496 c
T3	0.034 b	0.088 bc	0.052 b	0.356 b	0.221 b	0.054 b	0.015 b	0.041 b	0.860 b
T4	0.033 bc	0.119 b	0.049 b	0.362 b	0.235 b	0.062 b	0.014 b	0.032 bc	0.905 b
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	12.22	21.31	10.27	16.75	14.13	18.36	30.02	18.87	9.42

Note : Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

** = significant difference at 99%

แปลงว่างเปล่า ไม่มีการใช้ประโยชน์ เป็นแปลงที่มีการสูญเสียดินสูงสุด คือ 2.345 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี มีระดับการสูญเสียดิน อยู่ในระดับเล็กน้อย (Slight) เป็นระดับที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับระดับการสูญเสียดินในประเทศไทย ตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้มีการกำหนดปริมาณการสูญเสียดินสูงสุดที่ยอมรับได้เป็น 12.25 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ค่าการสูญเสียดินที่สูงกว่าระดับนี้จะมีผลเสียหายนั่นคือคุณภาพดินและผลผลิตพืชในระยะยาว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) โดยทุกแปลงทดลองจะมีปริมาณการสูญเสียดินสูงสุดในเดือนกรกฎาคม ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุด เท่ากับ 355.80 มิลลิเมตร และเช่นเดียวกัน แต่ละแปลงมีการสูญเสียดินน้อยสุดในเดือนตุลาคม ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด เท่ากับ 44.20 มิลลิเมตร สอดคล้องกับ นิพนธ์ (2526) ที่ได้กล่าวว่าตัวการสำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยของสภาพภูมิอากาศคือ ฝน ซึ่งความสามารถในการกักต่อน้ำ และระดับความรุนแรงของการเกิดนั้นจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน การกระจายของฝน และความเร็วของเม็ดฝนที่ตก รวมทั้งมวลของเม็ดฝน และพลังงานจลน์ที่เกิดจากแรงตกกระทบของเม็ดฝน

จากการประเมินประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลายในแต่ละแปลงทดลอง พบว่าแปลงป่าธรรมชาติในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินตลอดปีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 80.9 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม และแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่อง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินเท่ากับร้อยละ 59.5 และ 58.4 ตามลำดับ (Table 2)

ความแตกต่างของประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินในแต่ละเดือนมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนดินที่เกิดขึ้นในแต่ละแปลงทดลอง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ปริมาณตะกอนดินระหว่างแปลงว่างเปล่ากับแปลงป่าธรรมชาติมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน สะท้อนให้เห็นว่าป่าธรรมชาติสามารถลดการสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลายได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากพืชพรรณและเศษซากพืชที่ปกคลุมผิวดินช่วยลดแรงปะทะของเม็ดฝน ลดความเร็วของน้ำไหลบ่าบนผิวดิน และเพิ่มการซึมผ่านของน้ำลงสู่ดิน ส่งผลให้ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาออกจากแปลงลดลง และทำให้ค่าประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินของป่าธรรมชาติมีค่าสูง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินระหว่างแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม กับแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่อง พบว่า ทั้งสองแปลงไม่มี

ความแตกต่างกันอย่างน้อยมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าแปลงที่มีการปลูกต้นมะขามร่วมกับระบบขั้นบันไดดินจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเล็กน้อย (ร้อยละ 59.5) เมื่อเทียบกับแปลงที่มีเฉพาะระบบขั้นบันไดดินต่อเนื่อง (ร้อยละ 58.4) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในช่วงระยะเวลาการศึกษาต้นมะขามยังมีการเจริญเติบโตและการปกคลุมพื้นที่ไม่มากเพียงพอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียดินอย่างชัดเจน

Table 2 Soil loss prevention efficiency

Soil loss prevention efficiency (%)									
Month	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Total
T2	77.6	83.4	85.4	71.1	80.8	82.9	84.6	81.1	80.9 a
T3	63.6	62.9	41.7	62.6	62.9	58.9	65.2	57.9	59.5 b
T4	65.5	57.1	54.8	53.4	61.1	51.3	68.1	56.1	58.4 b
F-test									**
C.V. (%)									9.42

Note : Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

** = significant difference at 99%

2. ปริมาณคาร์บอนในดิน

การศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินจากแปลงทดลองการสูญเสียดิน บริเวณพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สถาบันพัฒนาที่ดินแพร่ ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 0.12 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากพื้นที่ป่าธรรมชาติที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุด เท่ากับ 0.37 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ขณะที่พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม และพื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่อง มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 0.26 และ 0.23 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ตามลำดับ (Table 3)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดินที่ระดับความลึก 0–15 เซนติเมตร ระหว่างเดือนเมษายนและเดือนพฤศจิกายน พบว่า พื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 0.16 และ 0.08 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงเมื่อสิ้นสุดช่วงการศึกษา ในขณะที่พื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 0.41 และ 0.33 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน

การลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่ว่างเปล่าและพื้นที่ป่าธรรมชาติอาจเกี่ยวข้องกับการสูญเสียอินทรีย์วัตถุจากการชะล้างพังทลายของดินและการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ซึ่งน้ำไหลบ่าสามารถพัดพาอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่บริเวณผิวดินออกจากพื้นที่ ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลง อย่างไรก็ตาม พื้นที่ป่าธรรมชาติยังคงมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าพื้นที่ว่างเปล่าอย่างชัดเจน สะท้อนถึงบทบาทของป่าธรรมชาติในการรักษาและเพิ่มพูนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากการสะสมของเศษซากพืช ใบไม้ และรากพืชที่สลายตัวและเติมกลับลงสู่ดินอย่างต่อเนื่อง

สำหรับพื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในเดือนเมษายนและเดือนพฤศจิกายน เท่ากับ 0.19 และ 0.33 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่องมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 0.21 และ 0.24 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การเพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจเป็นผลจากการชะลอการไหลบ่าของน้ำและการลดการสูญเสียหน้าดินจากระบบขั้นบันไดดิน ทำให้อินทรีย์วัตถุสามารถสะสมอยู่ภายในพื้นที่ได้มากขึ้น รวมทั้งการเจริญเติบโตของต้นมะขามอาจช่วยเพิ่มการสะสมของเศษซากพืชและรากพืชในดิน

โดยภาพรวม พื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงที่สุด รองลงมาคือพื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม พื้นที่ที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินต่อเนื่อง และพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การมีพืชพรรณปกคลุมและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำมีส่วนสำคัญต่อการลดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุและส่งเสริมการสะสมคาร์บอนในดิน โดยรายละเอียดผลการทดลองแสดงไว้ใน Table 3

Table 3 Soil carbon at 0-15 cm. depth

Plot	Organic matter (%)		Soil carbon (g/m ²)		
	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Avg.
Control	1.12	0.62	0.16 b	0.08 c	0.12 c
Forest	3.51	2.46	0.41 a	0.33 a	0.37 a
Bench terrace + Tamarind	1.46	2.62	0.19 b	0.33 a	0.26 b
Bench terrace	1.84	2.33	0.21 b	0.24 b	0.23 b
F-test			**	**	**
C.V. (%)			16.53	11.03	9.41

Note : Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

** = significant difference at 99%

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินในครั้งนี้ เป็นเพียงแนวโน้มเบื้องต้น เนื่องจากมีการเก็บตัวอย่างดินเพียง 2 ช่วงเวลา ซึ่งอาจยังไม่เพียงพอสำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงและการสะสมคาร์บอนในดินในระยะยาว ดังนั้น ในการศึกษาต่อยอดควรมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอย่างต่อเนื่องในระยะยาว เพิ่มความถี่ในการเก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างในระดับความลึกที่หลากหลาย เพื่อให้สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงและการสะสมคาร์บอนในดินได้อย่างครอบคลุม รวมทั้งช่วยยืนยันแนวโน้มที่พบและเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลประกอบการประเมินศักยภาพของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำต่อการกักเก็บคาร์บอนในระยะยาว

เมื่อนำค่าการสูญเสียดินกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจำนวน 16 จุด ($n = 16$) มาหาความสัมพันธ์กันแล้วพบว่า มีความสัมพันธ์ในทิศทางลบหรือตรงกันข้ามกัน ที่ระดับ $r = -0.8869$ นั้นหมายถึงเมื่อปริมาณการสูญเสียดินมีมากขึ้นทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลง ดังแสดงไว้ใน Figure 1

จากความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรสามารถอธิบายได้ว่า การชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำนั้นมีแนวโน้มทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดินและอินทรีย์วัตถุ เป็นสาเหตุของการลดลงของปริมาณคาร์บอนในดิน เนื่องจากตะกอนดินถูกพัดพาไปทับถมในบริเวณอื่นที่ต่ำกว่า หรือเกิดการเคลื่อนย้ายหรือสูญเสียแร่ธาตุและสารอินทรีย์ภายในดิน ทำให้ดินต้นขาดความอุดมสมบูรณ์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ นิติพัฒน์ (2556) ทำการศึกษาปริมาณการชะล้างพังทลายของดิน ในช่วงฤดูฝน 3 เดือน พบว่า พื้นที่เปิดโล่งเกิดการชะล้างพังทลายสูงสุด 20.22 ตัน/ไร่ สูญเสียธาตุอาหาร N, P, K เท่ากับ 3,235.20, 0.07 และ 1.42 กก./ไร่ ส่วนยางพารา มีการชะล้างพังทลาย 15.60 ตัน/ไร่ สูญเสียธาตุอาหาร N, P, K เท่ากับ 1,716.00, 0.04 และ 0.47 กก./ไร่ และพื้นที่ป่าทดแทน มีการชะล้างพังทลายต่ำสุด 4.49 ตัน/ไร่ สูญเสียธาตุอาหาร N, P, K เท่ากับ 538.80, 0.01 และ 0.19 กก./ไร่

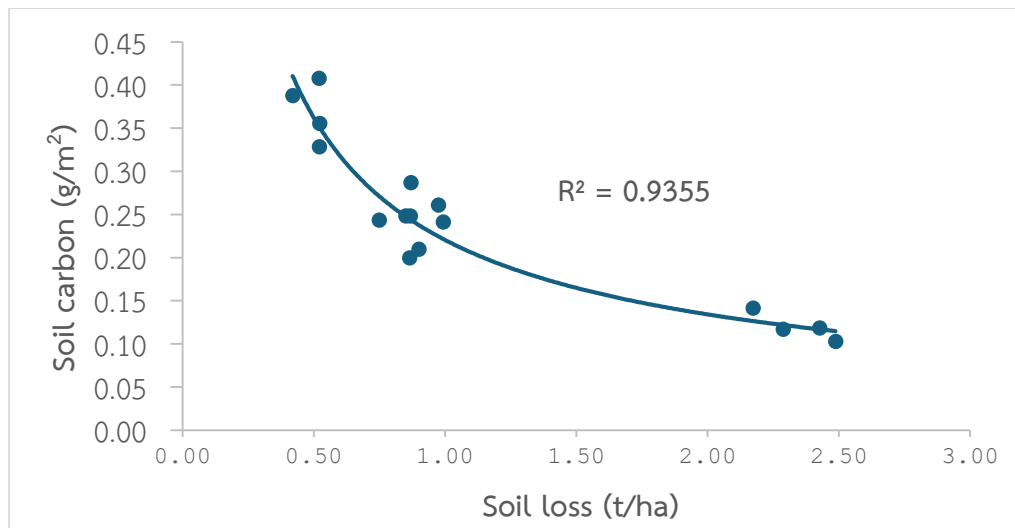


Figure 1 The relationship between soil carbon and soil loss

จากการประเมินประสิทธิภาพของแต่ละตำรับการทดลองต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่า แปลงป่าธรรมชาติ มีประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 68.54 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม และแปลงขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่อง สำหรับแปลงขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม และแปลงขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่อง พบว่ามีประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 45.54 และ 46.21 ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแปลงป่าธรรมชาติมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในดินสูงกว่าพื้นที่ที่ใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำทั้งสองรูปแบบ ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Soil carbon sequestration efficiency

Plot	Soil carbon sequestration efficiency (%)		
	Apr.	Nov.	Avg.
Forest	60.43	76.64	68.54 a
Bench terrace + Tamarind	14.45	76.64	45.54 b
Bench terrace	24.14	68.28	46.21 b
F-test			**
C.V. (%)			11.82

Note : Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

** = significant difference at 99%

เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าการสูญเสียดินแล้วพบว่าแปลงที่มีประสิทธิภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินสูงที่สุดคือแปลงที่มีการสูญเสียดินต่ำที่สุด และแปลงที่มีประสิทธิภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินต่ำก็เป็นแปลงที่มีการสูญเสียดินสูง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในดินกับการสูญเสียดินนั่นเอง

สรุป

การสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลายของดินหลังการทดลอง แปลงว่างเปล่า ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นแปลงที่มีการสูญเสียดินสูงสุดในทุกตำรับการทดลอง ลองลงมาคือแปลงขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม และแปลงขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่อง ตามลำดับ ในขณะที่แปลงป่าธรรมชาติ บริเวณพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีการสูญเสียดินต่ำสุด โดยทุกรูปแบบการทดลองมีการสูญเสียดินในระดับเล็กน้อย ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียดินบริเวณพื้นที่ทดลองคือ ปริมาณฝน และรูปแบบการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน ส่วนประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลายของดินนั้น ป่าธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินจากการชะล้างพังทลายของดินสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอนุรักษ์ดินและน้ำที่ศึกษา สะท้อนถึงบทบาทของพืชพรรณตามธรรมชาติในการปกคลุมและปกป้องผิวดิน รวมทั้งช่วยลดการไหลบ่าของน้ำและการพัดพาตะกอนออกจากพื้นที่ ขณะที่ระบบขั้นบันไดดินสามารถช่วยลดการสูญเสียดินได้ในระดับหนึ่ง และมีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพอาจเพิ่มขึ้นเมื่อพืชที่ปลูกร่วมกับระบบอนุรักษ์ดินและน้ำมีการเจริญเติบโตและปกคลุมพื้นที่มากขึ้น ในด้านการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับ 0-15 เซนติเมตร พบว่าแปลงแปลงป่าธรรมชาติดั้งเดิม มีปริมาณคาร์บอนในดินสูงที่สุดจากทุกตำรับการทดลอง ส่วนแปลงแปลงที่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องและแปลงขั้นบันไดดินแบบต่อเนื่องร่วมกับการปลูกต้นมะขาม มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินรองลงมาตามลำดับ แปลงว่างเปล่าไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นแปลงที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินน้อยที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มว่าปริมาณการสูญเสียดินมีมากขึ้นทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลง ส่วนประสิทธิภาพของการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่า แปลงป่าธรรมชาติดั้งเดิม มีปริมาณคาร์บอนในดินสูงที่สุดจากทุกตำรับการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณคาร์บอนในดิน ทั้งนี้ข้อสรุปด้านการประเมินการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดิน หรือประสิทธิภาพของป่าธรรมชาติและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำยังมีข้อจำกัด เนื่องจากการศึกษานี้ประเมินเพียงช่วงฤดูฝนของปีเดียว ควรมีการติดตามผลในระยะยาว เพื่อให้สามารถประเมินผลและเปรียบเทียบการสูญเสียดินและการกักเก็บคาร์บอนในดิน ได้อย่างครอบคลุม ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลงด้วยความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายของสถานีพัฒนาที่ดินแพร่ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 7 และฝ่ายวิชาการ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 8 ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณผู้อำนวยการสถานีพัฒนาที่ดินแพร่ ที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่บริเวณโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สถานีพัฒนาที่ดินแพร่ ในการสร้างแปลงทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานภาคสนามตลอดระยะเวลาการศึกษา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. การประเมินการสูญเสียดินในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- นิติพัฒน์ นวนมะโน. 2556. การชะล้างพังทลายของดินบนเขาควนหงส์ และมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2526. การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน ตอนที่ 2: กรรมวิธีในการควบคุมการชะล้างพังทลาย
ของดิน. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนใน
พื้นที่ลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change. IGES, Japan
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.