การประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได

ทรงกรด มูลเทพ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มกราคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได

ทรงกรด มูลเทพ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มกราคม 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

EVALUATION OF SOIL EROSION ON THE SLOPING AREA ALONG PLANTATION FOREST IN STEPS

SONGKROD MOONTEP

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Science Degree in Environmental Science

January 2022

Copyright 2022 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได

ของ ทรงกรด มูลเทพ

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระชัย บงการณ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. สุมล นิลรัตน์นิศากร)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: การประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได

ผู้วิจัย: ทรงกรด มูลเทพ, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2564

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.สุมล นิลรัตน์นิศากร

คำสำคัญ: การสูญเสียหน้าดิน, พื้นที่ปลูกป่าขั้นบันได, สมการสูญเสียดินสากล

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและการประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดโดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินพื้นที่ปลูกป่าขั้นบันไดและประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดและพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติที่ความลาดชันแตกต่างกัน ที่ 25% 35% และ 45% ทำการวางแปลงเป็นระยะเวลา 2 ปี ศึกษาข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลสมบัติกายภาพดิน ข้อมูลสมบัติทางเคมีดิน ข้อมูลการสูญเสียหน้าดินประเมินการสูญเสียหน้าดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล จากการศึกษาวิจัยพบว่าพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ความลาดชัน 45% มีค่าการสูญเสียดิน 626.52 ตัน/เฮกตาร์/ปี รองลงมาพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ความลาดชัน 35% มีค่าการสูญเสียดิน 613.75 ตัน/เฮกตาร์/ปี พื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ความลาดชัน 25% มีค่าการสูญเสียดิน 437.53 ตัน/เฮกตาร์/ปี พื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได ความลาดชัน 45% มีค่าการสูญเสียดิน 399.79 ตัน/เฮกตาร์/ปี พื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได ความลาดชัน 35% มีค่าการสูญเสียดิน 364.82 ตัน/เฮกตาร์/ปี ตามลำลำดับและการทดลองที่มีการสูญเสียหน้าดินน้อยที่สุดคือ พื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได ความลาดชัน 25% มีค่าการสูญเสียดิน 352.94 ตัน/เฮกตาร์/ปี จากผลการศึกษาของทั้ง 2 พื้นที่ศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยเกี่ยวกับภูมิประเทศ ความลาดชัน และปริมาณน้ำฝน มีผลในการก่อให้เกิดการสูญเสียหน้าดิน ดังนั้นการบริหารจัดการพื้นที่ให้เกิดความยั่งยืนจึงต้องมีแนวทางที่จะนำมาจัดการในพื้นที่ดังนั้นผู้วิจัยได้เสนอแนวทางโดยใช้หลักการใช้รูปแบบองค์ความรู้ในรูปแบบระบบการเกษตรมรดกโลก GIASH ของ FAOมีความคล้ายคลึงกับระบบเกษตรพอเพียง ซึ่งได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นระบบทางการเกษตรมรดกโลกของประเทศญี่ปุ่น โดยวิเคราะห์คุณลักษณะ การจัดการโซนนิ่งและเป็นแนวทางการจัดการพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได โดยระบบเกษตรมรดกโลกนั้นใช้วิธีการพิจารณาพื้นที่โดยคำนึงถึงเกณฑ์ของ FAO คือ 1) ความมั่นคงทางอาหารและชีวิตความเป็นอยู่ 2) ความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศเกษตร 3) ระบบความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่น 4) วัฒนธรรม ระบบค่านิยม และองค์กรทางสังคม 5) ความโดดเด่นทางภูมิทัศน์และทะเลทัศน์ ซึ่งระบบเกษตรมรดกโลกจะสามารถรักษาสมดุลของระบบนิเวศภูมิทัศน์การเกษตรให้มีความมั่นทางอาหารควบคู่กับนิเวศวัฒนธรรมของในแต่ละพื้นที่ฟื้นฟูป่าต้นน้ำได้อย่างยั่งยืน

Title: EVALUATION OF SOIL EROSION ON THE SLOPING AREA ALONG PLANTATION FOREST IN STEPS

Author: Songkrod Moontep, Thesis: M.S. (Environmental Science), University of Phayao, 2021

Advisor: Assistant Professor Sukthai Pongpattanasiri Co-advisor Sumol Nilratnisakon

Keywords: soil erosion steps (Terraces), Universal Soil Loss Equation (USLE)

ABSTRACT

This research study evaluation of soil erosion on the sloping area along plantation forest in steps (Terraces). The objective of this study for monitoring soil physical and soil erosion in terraced reforestation and reforestation area along the slope at 25% 35% and 45%, respectively. The plot for a period of 2 years. In this study monitoring rainfall, soil physical, soil chemistry and soil erosion by Universal Soil Loss Equation (USLE). The result show that soil erosion of 35% reforestation area along the slope were 626.52 tons/hectare/year, in 25% reforestation area along the slope were 437.53 tons/hectare/year. Soil erosion of 45% 35% and 25% terraced reforestation were 399.79, 364.82 and 352.94 tons/hectare/year, respectively. The result concluded that topography, slopes of this are and rainfall effect to detachment of soil erosion. The area using the World Heritage Agriculture System is based on the FAO criteria. 1) Food security These living conditions and 2) the biodiversity of agricultural ecosystems. (Agrobiodiversity) 3) Knowledge system and local wisdom 4) Culture, value system and social organization 5) Distinctiveness in landscape and sea view. The World Heritage Agriculture System will be able to maintain the balance of the ecosystem in the agricultural landscape alongside the cultural ecosystem of each area, restoring the upstream forest sustainably.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้อุตส่าห์สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยทำให้ผลงานวิจัยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2564 และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า ขอขอบพระคุณสำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 3 (ลำปาง) โครงการฟื้นฟูป่าต้นน้ำเพื่อชีวิตที่ดีขึ้น ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการศึกษาวิจัย และขอบคุณคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องที่ช่วยอำนวยความสะดวก จึงทำให้การศึกษาวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมาคุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาฟื้นฟูพื้นที่ป่าต้นน้ำและบริหารจัดการพื้นที่ป่าต้นน้ำให้กลับมาอุดมสมบูรณ์และยั่งยืนต่อไป

ทรงกรด มูลเทพ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ความสำคัญของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

นิยามศัพท์เฉพาะ 4

กรอบแนวคิดในการวิจัย 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย 6

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

ทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 29

วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 29

ข้อมูลพื้นที่เป้าหมาย แผนที่และพิกัด 31

การวางแปลงการศึกษา 32
การวิเคราะห์ข้อมูล 34
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....37
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนจากการเก็บตัวอย่าง.....37
การวิเคราะห์ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Surface Runoff) 38
การวิเคราะห์ความหนาแน่นดิน (Bulk density).....39
การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในดิน (Soil Moisture).....42
การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนดิน (Sediment yield) 43
การวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) 44
การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment) 47
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน.....48
สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า.....55
การประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation).....57
การประเมินมูลค่าการบริการของพื้นที่ป่าต้นน้ำ.....57
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล 59
บทที่ 5 บทสรุป.....66
สรุปผลการวิจัย 66
อภิปรายผลการวิจัย.....68
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ 70
บรรณานุกรม 72
ภาคผนวก 76
ภาคผนวก ก ข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลทางเคมีของพื้นที่ศึกษาวิจัย.....77
ประวัติผู้วิจัย 99

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แบบจำลองการชะล้างพังทลายของดินที่ใช้สมการ USLE..... 16

ตาราง 2 แสดงการเกษตรสำคัญบนพื้นฐานแนวคิดซังซาโตะ 20

ตาราง 3 แสดงตัวอย่างความสอดคล้องของเกณฑ์ GIAHS กับการจัดการพื้นที่เกษตร..... 21

ตาราง 4 แสดงการวางแปลงศึกษา.....32

ตาราง 5 แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีการตรวจวิเคราะห์ผลการวิจัย.....35

ตาราง 6 ค่าความหนาแน่นดิน.....40

ตาราง 7 ค่าความแข็งดิน..... 41

ตาราง 8 ค่าความชื้นในดิน 42

ตาราง 9 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน 48

ตาราง 10 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน 49

ตาราง 11 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน 50

ตาราง 12 ปริมาณคาร์บอนในดิน 51

ตาราง 13 ปริมาณไนโตรเจนในดิน.....52

ตาราง 14 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 53

ตาราง 15 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน.....54

ตาราง 16 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า.....56

ตาราง 17 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า.....56

ตาราง 18 การประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation) 57

ตาราง 19 ประเมินมูลค่าการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจากการชะล้างพังทลายการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจากการชะล้างพังทลาย 58

ตาราง 20 ประเมินมูลค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 59
ตาราง 21 แสดงปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน 77
ตาราง 22 ค่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 78
ตาราง 23 ค่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 79
ตาราง 24 ค่าความหนาแน่นดิน 80
ตาราง 25 ค่าความแข็งดิน 80
ตาราง 26 ค่าความชื้นในดิน 81
ตาราง 27 ปริมาณตะกอนดิน ปีที่ 1 82
ตาราง 28 ปริมาณตะกอนดิน ปีที่ 2 83
ตาราง 29 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ก่อนการทดลอง 84
ตาราง 30 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ระหว่างการทดลอง 84
ตาราง 31 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) หลังการทดลอง 85
ตาราง 32 ปริมาณตะกอนแขวนลอย 86
ตาราง 33 ปริมาณตะกอนแขวนลอย 87
ตาราง 34 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน 88
ตาราง 35 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน 88
ตาราง 36 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน 89
ตาราง 37 ปริมาณคาร์บอนในดิน 89
ตาราง 38 ปริมาณไนโตรเจนในดิน 90
ตาราง 39 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน 90
ตาราง 40 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน 91
ตาราง 41 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า 91

ตาราง 42 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า 92
ตาราง 43 การประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation) 92
ตาราง 44 เปรียบเทียบปริมาณส่วนต่างของแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ.....94
ตาราง 45 เปรียบเทียบการสูญเสียดินในพื้นที่ปลูกป่าขั้นบันไดและปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 95
ตาราง 46 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล 96

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย 5
ภาพ 2 แสดงกระบวนการเกิดของดิน 7
ภาพ 3 ความสัมพันธ์ของนิเวศเกษตรสามระบบ (ซังซาโตะ) ในประเทศญี่ปุ่น 19
ภาพ 4 ตัวอย่างภาพตัดขวางระบบสวนบ๊วยบนพื้นฐานซาโตยะมะ 21
ภาพ 5 ความหลากหลายของผลิตผลทางการเกษตรในระบบสวนบ๊วยซาโตยะมะ 23
ภาพ 6 แผนผังแนวทางและกรอบหัวข้อการจำแนกการกำหนดขอบเขตพื้นที่เกษตร 25
ภาพ 7 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 30
ภาพ 8 แสดงพิกัดการเก็บข้อมูลในพื้นที่วนประชารัฐ (ป่าขั้นบันได) ในพื้นที่ฐานปฏิบัติการฟื้นฟูป่าต้นน้ำจังหวัดลำปาง ที่ 1 ตำบลทุ่งผึ้ง อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง 31
ภาพ 9 แสดงแผนผังการวางแปลงศึกษาในพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได 32
ภาพ 10 แสดงพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได 33
ภาพ 11 แสดงพื้นที่ปลูกตามแนวลาดชันปกติ 33
ภาพ 12 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน 37
ภาพ 13 แสดงข้อมูลเนื้อดินพื้นที่ศึกษาวิจัย 38
ภาพ 14 ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 39
ภาพ 15 ปริมาณตะกอนดิน 43
ภาพ 16 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ก่อนการทดลอง 45
ภาพ 17 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ระหว่างการทดลอง 46
ภาพ 18 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) หลังการทดลอง 46
ภาพ 19 ปริมาณตะกอนแขวนลอย 47

ภาพ 20 ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง(ตัน/เฮกตาร์/ปี).....93
ภาพ 21 ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนต่อตะกอนดินและน้ำไหลบ่าหน้าดิน.....93
ภาพ 22 แนวคิดการออกแบบเพื่อลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน.....95

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยในอดีตมีพื้นที่ป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์แต่เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพเศรษฐกิจและสังคมทำให้ประชาชนมีความต้องการใช้ทรัพยากรประเภทต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นรวมไปถึงทรัพยากรป่าไม้และที่ดินจึงทำให้เกิดปัญหาประชาชนบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าต้นน้ำหรือพื้นที่สูงเพื่อทำการเกษตรและปลูกพืชเชิงเดี่ยวทำให้ประชาชนเกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตและเผชิญภาวะหนี้สิน ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงพบว่าพื้นที่สูงในประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 67.22 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 53 ของพื้นที่ 20 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน พะเยา ลำพูน แพร่ น่าน ลำปาง ตาก เพชรบูรณ์ พิษณุโลก เลย สุโขทัย กำแพงเพชร กาญจนบุรี อุทัยธานี สุพรรณบุรี ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และเพชรบุรี พื้นที่สูงยังคงมีปัญหาการทำไร่เลื่อนลอยและการบุกรุกทำลายป่าอย่างต่อเนื่อง (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2548) จากสถิติปัจจุบันพบว่าป่าไม้ในประเทศไทยเหลือทั้งหมด 102,174,805.50 ไร่ คิดเป็น 31.58 เปอร์เซ็นต์ (สำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้, 2559) ซึ่งปัญหาการบุกรุกพื้นที่ป่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ด้านความหลากหลายทางชีวภาพ สภาพดิน น้ำอากาศ สัตว์ป่า สิ่งแวดล้อม ซึ่งมีความสัมพันธ์กันทั้งทางตรงและทางอ้อมในระบบนิเวศการตัดไม้ทำลายป่าจึงก่อให้เกิดผลกระทบในด้านต่างเช่น การเกิดน้ำป่าไหลหลาก การชะล้างพังทลายของดิน การเกิดความแห้งแล้งในฤดูแล้ง การเกิดการลดลงของพืชและสัตว์ป่า ซึ่งปัญหาที่ส่งผลกระทบรุนแรงในพื้นที่ต้นน้ำที่ควรได้รับการแก้ปัญหาได้แก่ ปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erosion) โดยระดับความรุนแรงของการเกิดการพังทลายของดินจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เปอร์เซ็นต์ความลาดเทของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น จากสถิติกรมพัฒนาที่ดินได้รายงานความรุนแรงของการสูญเสียดินว่าพื้นที่ประมาณ 66.59 % ของพื้นที่ประเทศไทยหรือคิดเป็น 213.09 ล้านไร่ เกิดการสูญเสียดินจากการใช้ประโยชน์พื้นที่พืชไร่และที่รกร้าง อยู่ในระดับรุนแรง หรือมีการสูญเสียดินอยู่ในช่วง 125.06–625 ตัน/เฮกแตร์/ปี (อานุช คีรีรัฐนิคม, 2554) จากสภาพปัญหาดังกล่าวทำให้หน่วยงานภาครัฐในพื้นที่ เช่น กรมป่าไม้ กรมวิชาการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน กรมส่งเสริมการเกษตร ได้แก้ปัญหาโดยการบูรณาการตามแนวทางยุทธศาสตร์กรมป่าไม้ และดำเนินโครงการพัฒนาฟื้นฟูพื้นที่ป่าต้นน้ำโดยจัดทำ

โครงการวนประชารัฐ (ป่าขั้นบันได) ใช้วิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำในการพัฒนาฟื้นฟูป่าต้นน้ำเพื่อปลูกป่าใช้สอย 3 อย่าง ประโยชน์ 4 อย่าง ลดการสูญเสียหน้าดิน ชะลอการกัดเซาะของหน้าดิน ซึ่งสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดินคือการนำพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นที่สูงจากระดับน้ำทะเลและมีความลาดชันมาใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม โดยใช้มาตรการวิธีกลร่วมกับมาตรการวิธีพืชตามหลักวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำจากแนวทางดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยเห็นความสำคัญถึงวิธีการแก้ปัญหาการชะล้างพังทลายในพื้นที่ต้นน้ำจึงศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการฟื้นฟูป่าโดยวิธีการปลูกป่าแบบขั้นบันไดและวิธีการปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติและประเมินการสูญเสียหน้าดินต่อระดับความชันของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดและพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินและสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ปลูกป่าขั้นบันได
2. ประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดและพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

สมมติฐานของการวิจัย

1. พื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดมีสูญเสียหน้าดินของน้อยกว่าการปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ
2. ความชันของพื้นที่มีผลต่อการสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได เนื่องจากภาคเหนือของประเทศไทยมีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อใช้ประโยชน์ที่ดินในการทำการเกษตรซึ่งลักษณะเป็นพื้นที่สูงชันและเป็นพื้นที่ป่าต้นน้ำและเกิดปัญหาการชะล้างพังทลายทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดินจากปัญหาดังกล่าวทำให้กรมป่าไม้ได้ศึกษาและหาวิธีการแก้ไขปัญหาการสูญเสียหน้าดินโดยการใช้การอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีมาตรการกล (Mechanical measures) ใช้รูปแบบบันไดดินสำหรับไม้ผล (orchard bench terrace) โดยใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ในการเตรียมพื้นที่ซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบกับหน้าดินจากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตการศึกษา

1.1 คัดเลือกพื้นที่ปลูกป่าตามนโยบายของกรมป่าไม้ในโครงการฟื้นฟูป่าต้นน้ำเพื่อชีวิตที่ดีขึ้น 17 จังหวัด ภาคเหนือ

1.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของดิน

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall amount)

2) ความแข็งของดิน (Hardness)

3) ความชื้นดิน (Water content)

4) องค์ประกอบดิน (Soil three phases)

5) ความพรุนดิน (Porosity)

6) ค่าความหนาแน่นดิน

7) ปริมาณตะกอนทั้งหมด

8) ปริมาณตะกอนแขวนลอย

9) ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Surface Runoff)

2.2.2 คุณสมบัติทางด้านเคมี

1) ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

2) อินทรียวัตถุในดิน (Organic Metter: OM)

3) อินทรียคาร์บอนในดิน (Organic Carbon: OC)

4) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)

5) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P)

6) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K)

1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองและความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพของดินต่อปริมาณตะกอนดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดและพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

2. ขอบเขตพื้นที่วิจัย

โครงการวนประชารัฐ (ป่าขั้นบันได) ในพื้นที่ฐานปฏิบัติการฟื้นฟูป่าต้นน้ำจังหวัดลำปาง ที่ 1 ตำบลห้วยวาด อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง

2.1 ระยะเวลาการวิจัย

ระยะเวลาการดำเนินการ ตั้งแต่ มิถุนายน 2561– มกราคม 2563 รวมระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การสูญเสียหน้าดิน หมายถึง กระบวนการที่ดินถูกเม็ดฝนที่ตกลงมาและน้ำไหลบ่าผิวหน้าดิน กัดเซาะ พัดพาไป เป็นแบบแผ่น (sheet) ร่องน้ำขนาดเล็ก (rill) หรือร่องน้ำขนาดใหญ่ (gully) โดยจะมีอัตราการพังทลายมากน้อยขึ้นอยู่กับความหนักเบาของฝนที่ตก ลักษณะของพื้นที่ พืชพรรณที่ขึ้นปกคลุม ตลอดจนธรรมชาติของดิน

2. การอนุรักษ์ดินและน้ำ หมายถึง การผสมผสานวิธีการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน รวมทั้งวิธีการเก็บกักน้ำและความชุ่มชื้นไว้ในพื้นที่ เพื่อให้การใช้ประโยชน์ที่ดินเกิดประสิทธิภาพสูงสุด และยั่งยืนนาน

3. มาตรการกล หมายถึง การเตรียมพื้นที่ทำการเกษตรหรือปลูกพืชในพื้นที่สูงโดยใช้เครื่องจักรกลในการเตรียมพื้นที่

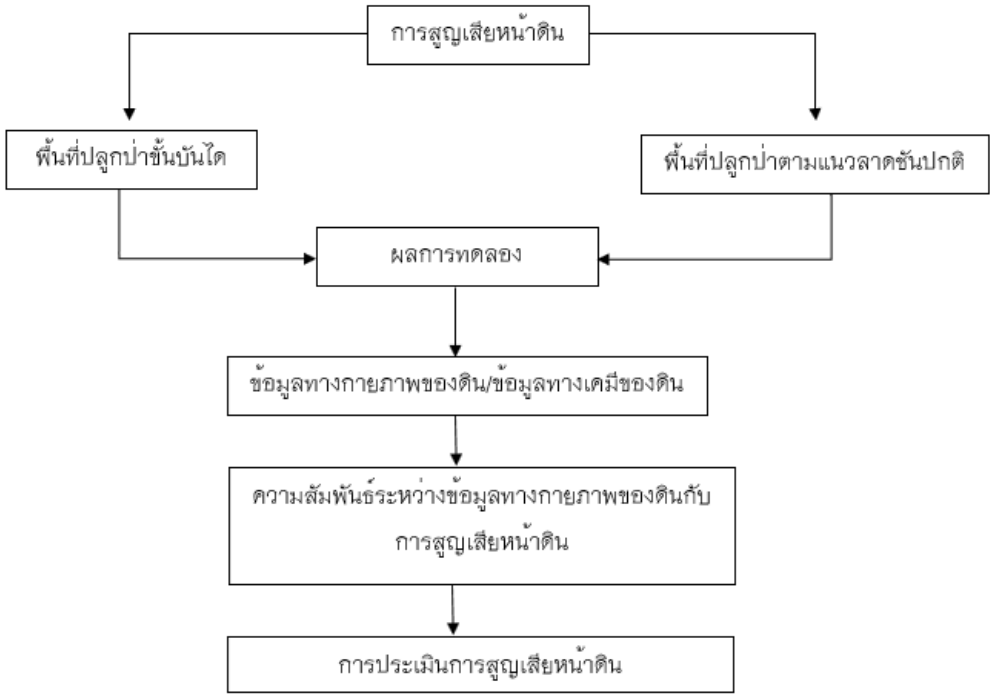
4. บันไดดินสำหรับไม้ผล หมายถึง ขั้นบันไดดิน เป็นการปรับพื้นที่เป็นขั้นบันไดแบบแคบ ๆ สำหรับปลูกไม้ผลโดยมี ความกว้างประมาณ 2 เมตรไปตามแถวไม้ผล

5. พื้นที่ปลูกป่าขั้นบันได หมายถึง พื้นที่ที่มีการใช้การอนุรักษ์ดินและน้ำด้วยวิธีมาตรการกล (Mechanical measures) ใช้รูปแบบบันไดดินสำหรับไม้ผล (orchard bench terrace) โดยใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ในการเตรียมพื้นที่

6. พื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ หมายถึง พื้นที่ป่าดั้งเดิมที่มีความชันโดยบุกรุกทำลายและเตรียมสำหรับการฟื้นฟูโดยวิธีการปลูกป่าทดแทน

7. สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation) หมายถึง วิธีการใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการประเมินสูญเสียดินในระดับประเทศเพื่อชี้ให้เห็นถึงแหล่งความรุนแรง เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง ทั้งวิธีการและข้อมูลที่ถูกต้อง

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถประเมินผลกระทบของการสูญเสียดินในพื้นที่ฟื้นฟูป่าต้นน้ำ
2. เป็นแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหาสูญเสียดินในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย
3. เป็นข้อมูลในการวางแผนพัฒนาทรัพยากรน้ำและดินอย่างยั่งยืน
4. เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวางแผนพัฒนาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน
5. ผลการดำเนินการวิจัยสามารถนำไปวางแผนการพัฒนาพื้นที่ฟื้นฟูป่าให้มีความยั่งยืนและรักษาระบบนิเวศป่าต้นน้ำให้ดีขึ้น
6. เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนเชิงนโยบายในการฟื้นฟูพื้นที่ป่าต้นน้ำให้เป็นรูปธรรมยิ่งขึ้น
7. เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนนักศึกษาและบุคคลทั่วไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได ผู้ศึกษาได้ศึกษา เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย
    1.1 ความหมายพื้นที่ลาดชันหรือพื้นที่สูง
    1.2 ดิน
    1.3 กระบวนการเกิดดิน
    1.4 กระบวนการทำลายดิน
    1.5 การชะล้างพังทลายของดิน
    1.6 ประเภทของการชะล้างพังทลายของดิน
    1.7 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน
    1.8 ชนิดของการชะล้างพังทลายของดิน
    1.9 การอนุรักษ์ดินและน้ำ
    1.10 วิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำ
    1.11 การประเมินการสูญเสียดิน
    1.12 ระบบเกษตรมรดกโลก
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

1. ความหมายพื้นที่ลาดชันหรือพื้นที่สูง

ความหมายของพื้นที่สูงคือ “พื้นที่ที่เป็นภูเขา หรือพื้นที่ที่มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลห้าร้อยเมตรขึ้นไปหรือพื้นที่ที่อยู่ระหว่างพื้นที่สูงตามที่คณะกรรมการกำหนด” (สวพส., 2550) หรือเป็นบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความลาดชันโดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 35 ซึ่งพื้นที่ตั้งชุมชนบนพื้นที่สูงส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธาร เขตอุทยานแห่งชาติและเขตป่าสงวน ทำให้หน่วยงานของรัฐเข้าไปดำเนินงานได้ไม่ทั่วถึง นอกจากนี้พื้นที่สูงยังคงมีปัญหาการทำไร่เลื่อนลอย และการบุกรุกทำลายป่าอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่บริเวณนี้ยังไม่มีการศึกษา สำรวจและจำแนกดิน เนื่องจากสภาพ

พื้นที่มีความลาดชันสูง ซึ่งถือว่ายากต่อการจัดการดูแลรักษาสำหรับการเกษตร (พระราชกฤษฎีกาจัดตั้งสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน, 2548)

2. ดิน

ดิน (soils) หมายถึง เทหวัตถุทางธรรมชาติ (natural body) ที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ธาตุต่าง ๆ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรียวัตถุซึ่งปกคลุมผิวโลกอยู่เป็นชั้นบาง ๆ เป็นวัตถุที่ค้ำจุนการเจริญเติบโตและการทรงตัวของพืช มีการแบ่งชั้น (horizon) ที่สามารถสังเกตเห็นได้จากตอนบนลงไปตอนล่าง มีอาณาเขตและลักษณะประจำตัวของมันเอง ซึ่งมนุษย์สามารถแบ่งแยกดินออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ ดินประกอบด้วยแร่ธาตุที่เป็นของแข็ง อินทรียวัตถุ น้ำ และอากาศที่มีสัดส่วนแตกต่างกันออกไป การเกิดขึ้นของดินเป็นผลสืบเนื่องมาจากการกระทำร่วมกันของปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ พืช และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ต่อวัตถุต้นกำเนิดของดินในสภาพพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ตลอดช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้น “ดิน” ในที่แห่งหนึ่งจึงอาจเหมือนหรือต่างไปจากดินในที่อีกแห่งหนึ่งได้ ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งมีความมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณส่งผลให้ดินมีลักษณะเด่นเฉพาะตัว และเมื่อปัจจัยเปลี่ยนไป ดินจะมีลักษณะหรือสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ

3. กระบวนการเกิดดิน

การเกิดของดินจะเกี่ยวข้องกับการผุพังสลายตัวของทั้งอินทรียสารและอนินทรียสารกับการสังเคราะห์วัตถุใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของกระบวนการสร้างดินต่าง ๆ และอยู่ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยควบคุมการเกิดดิน โดยทั่วไปมักจะแยกกระบวนการเกิดของดินออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ ด้วยกันคือ กระบวนการทำลาย และกระบวนการสร้างซึ่งกระบวนการทั้งสองแบบนี้อาจจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน หรือเกิดกระบวนการทำลายขึ้นก่อนแล้วเกิดกระบวนการสร้างดินตามมาก็ได้

ภาพ 2 แสดงกระบวนการเกิดของดิน

4. กระบวนการทำลายดิน

กระบวนการที่ทำให้หิน แร่ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เกิดการอ่อนตัวลง สลายตัวเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย หรือเปลี่ยนไปเป็นสารใหม่ และทับถมรวมตัวกันเกิดเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินขึ้น ซึ่งอาจเกิดอยู่กับที่ หรืออาจถูกพาหะต่าง ๆ พัดพาออกไปจากที่เดิมและไปสะสมรวมตัวกันใหม่ในแหล่งอื่นก็ได้

5. การชะล้างพังทลายของดิน

การชะล้างพังทลายของดิน คือ กระบวนการหรือการกระทำที่ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดินชั้นบน โดยตัวการต่าง ๆ รวมทั้งการตกกระทบของเม็ดฝน การไหลบ่าของน้ำหน้าดิน แรงลม และแรงโน้มถ่วง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2559)

การชะล้างพังทลายโดยธรรมชาติ หมายถึง การชะล้างพังทลาย ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยมีทั้งน้ำและลมเป็นตัวการ เช่นการชะละลาย แผ่นดินเลื่อน การพัดพาโดยลมตามชายฝั่งทะเลหรือในทะเลทราย การพัดพาดินแบบนี้เป็นแบบที่ป้องกันไม่ได้และถ้าเกิดการชะล้างพังทลายแบบนี้มักใช้เวลานาน ผิวดินบนจะสูญเสียไปเพียง 1 นิ้วเท่านั้นเพราะเป็นการเกิดแบบค่อยเป็นค่อยไปและช้ามาก สำหรับชนิดของการชะล้างพังทลายโดยธรรมชาติ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558)

6. ประเภทของการชะล้างพังทลายของดิน

6.1 การชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดการกระทำของน้ำและลมและแรงดึงดูดของโลก ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินทีละเล็กทีละน้อย ซึ่งผลของการชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติ จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรดินมากนักยกเว้นมีปรากฏการณ์ธรรมชาติที่รุนแรง

6.2 การชะล้างพังทลายของดินที่มีตัวเร่งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ตัวเร่งที่สำคัญที่สุดก็คือมนุษย์นั่นเอง โดยมนุษย์จะทำการเปลี่ยนแปลงระบบธรรมชาติของพื้นที่ ด้วยการใช้ที่ดินและอื่น ๆ ที่มนุษย์มีส่วนร่วม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2559)

6.3 การชะละลาย หมายถึงการชะล้างชนิดที่แร่ธาตุต่าง ๆ ธาตุอาหารและอินทรียวัตถุถูกทำให้ละลายหรืออยู่ในสภาพแขวนลอยแล้วไหลลงสู่ส่วนล่างของหน้าตัดดินไปกับน้ำที่ซึมผ่าน ซึ่งในที่สุดจะไหลลงสู่ทะเล การสูญเสียของดินแบบนี้เกิดขึ้นอยู่เป็นประจำและมีบทบาทมากที่สุดในแงของการชะล้างพังทลายในธรรมชาติ

6.4 การชะล้างพังทลายที่พื้นผิวดินโดยน้ำ หมายถึงการพัดพาหน้าดินหรือหินซึ่งขาดพืชพรรณปกคลุมโดยน้ำ การขาดพืชพรรณปกคลุมนั้นเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมใน

ธรรมชาติ เช่นลม ฟ้าอากาศ ความสูงต่ำของภูมิประเทศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558)

7. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน

7.1 น้ำหรือฝน หมายถึงการตกลงมาของน้ำในรูปของแข็งหรือของเหลวก็ตาม เช่น ฝน หิมะ ลูกเห็บ หมอก หรือน้ำค้าง โดยทั่วไปแล้วถือว่าฝนเป็นตัวการใหญ่ที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลาย แต่สำหรับประเทศหนาวหิมะก็มีส่วนมากเหมือนกัน การกัดกร่อนจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของฝน เช่นความมากน้อยที่ตกครั้งหนึ่ง ระยะเวลา จำนวนน้ำฝนทั้งหมด ขนาด ความเร็ว รูปร่างของเม็ดฝน และการแพรกระจายของฝนในแต่ละฤดู

7.2 สภาพภูมิประเทศ มีความสัมพันธ์อย่างมากกับน้ำไหลบ่า จะมีอิทธิพลแค่ไหนขึ้นอยู่กับความชันของความลาดเท ความยาวความลาดเท รูปร่างของความลาดเทความไม่สม่ำเสมอของความลาดเท และทิศทางของความลาดเท

7.3 สมบัติของดิน การชะล้างพังทลายจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยของดินดังนี้

7.3.1 ความสามารถในการทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณอนุภาคดินเหนียว ชนิดของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณของเม็ดดินที่เสถียร กิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย ระดับความอุดมสมบูรณของดิน และปริมาณความชุ่มชื้นในดิน

7.3.2 ความสามารถในการทนทานต่อการพัดพา ซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อดินและขนาดของอนุภาคของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

7.3.3 ความสามารถในการทนทานต่อน้ำไหลบ่า ซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อดินและขนาดของอนุภาคของดิน ปริมาณช่องอากาศ ปริมาณความชื้นในดิน ชั้นดินดาน

7.4 สิ่งปกคลุมผิวดิน การใช้ประโยชนจากที่ดิน และการจัดการดิน ซึ่งอาจมีผลดังนี้

7.4.1 สิ่งปกคลุมผิวดิน การที่ผิวหน้าดินมีพืชหรือเศษวัสดุของพืชปกคลุมอยู่ก็มีผลโดยตรงต่อการลดแรงปะทะของเม็ดฝน ลดการแตกกระจายของดิน และการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินทำให้การชะล้างพังทลายของดินลดลง

7.4.2 การใช้ประโยชนที่ดิน โดยใช้ที่ดินให้เหมาะสมตามสมรรถนะของดิน การปลูกพืชปกคลุมหน้าดิน การเลือกชนิดพืชที่ปลูก มีผลทำให้การชะล้างพังทลายและการสูญเสียดินลดลงได้

7.4.3 การจัดการดิน ได้แก่การไถพรวน โดยปกติเป็นการเพิ่มการชะล้างพังทลายของดิน โดยถ้าทำให้ถูกวิธีที่เหมาะสมจะช่วยลดการชะล้างพังทลายของดินวิธีการปลูกพืชมีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดินขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก จำนวนพืชต่อเนื้อที่ ระยะระหว่างต้นและระหว่างแถว และทิศทางของแถวกับความลาดเท ซึ่งถ้ามีพืชหนาแน่นและปลูกตามแนวระดับหรือขั้นบันไดจะลดการชะล้างพังทลายของดินเป็นอย่างมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2559)

8. ชนิดของการชะล้างพังทลายของดิน

8.1 การชะล้างแบบแผ่น เป็นการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดจากแรงปะทะของเม็ดฝน ทำให้ผิวดินแตกกระจายและพัดพาไปเป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งจะสังเกตได้ยากจะเกิดเป็นบริเวณกว้างบนพื้นที่ค่อนข้างมีความลาดเทสม่ำเสมอ

8.2 การชะล้างแบบ internal เป็นการกัดชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทบของเม็ดฝนทำให้ดินบนแตกกระจายออกจากกัน อนุภาคที่มีขนาดเล็กก็จะไหลปะปนกับน้ำลงไปในรอยแตกร้าวหรือตามช่องว่างในดินลงสู่ดินล่าง ทำให้ดินแน่นตัว โดยทั่วไปแล้วการชะล้างพังทลายของดินแบบนี้ไม่ได้ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง

8.3 การชะล้างแบบร่อง ตรงกันข้ามกับแบบเป็นแผ่น คือจะเกิดจากการชะล้างพังทลายของดินเมื่อมีน้ำในปริมาณมาก ๆ มารวมตัวกันขึ้น แล้วไหลลงสู่ที่ต่ำทำให้เกิดเป็นร่องน้ำขึ้น โดยไม่ต้องอาศัยแรงกระทบจากเม็ดฝนแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

8.3.1 การชะล้างแบบริ้ว เป็นการชะล้างพังทลายของดินที่ก่อให้เกิดร่องเล็ก ๆ มากมาย มักเกิดจากน้ำไหลตามรองพืชที่ปลูกตามแนวลาดเท หรือบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความลาดเทเล็กน้อยไม่สม่ำเสมอกัน ความลึกของริ้วมีขอบเขตจำกัด คือ ลึกไม่เกิน 5–8 ซม.การชะล้างพังทลายของดินแบบนี้อาจไถกลบได้โดยใช้เครื่องมือไถพรวนธรรมดา

8.3.2 การชะล้างแบบร่องธาร เป็นการชะล้างพังทลายของดินกว้างกว่าแบบริ้ว เกิดขึ้นเนื่องจากการปลูกพืชตามแนวลาดเทซ้ำซาก หรือเกิดขึ้นบนพื้นที่ที่มีความลาดเทสูง และระยะของความลาดเทยาวมาก อำนาจการชะละลายของน้ำจึงมีมากขึ้น ทำให้ดินถูกพัดพาไปเป็นจำนวนมาก

8.3.3 การชะล้างในธารน้ำ เป็นการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นตามธารน้ำธรรมชาติ เช่นแม่น้ำ ลำธาร ซึ่งมีน้ำตลอดปีโดยการทำให้ดินแตกกระจายและชะแร่ธาตุจากสองข้างฝั่งไป เนื่องจากกำลังแรงของกระแสน้ำ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2558)

9. การอนุรักษ์ดินและน้ำ

การอนุรักษ์ดินและน้ำ หมายความว่า การระวังรักษาและป้องกันดินมิให้ถูกชะล้างและพัดพาไป ตลอดจนการปรับปรุงบำรุงดินให้คงความอุดมสมบูรณ์ รวมทั้งการรักษาน้ำในดินและบนผิวดินให้คงอยู่เพื่อรักษาดุลยธรรมชาติให้เหมาะสมในการใช้ประโยชนดินและที่ดินเพื่อเกษตรกรรมที่ยั่งยืน หรืออาจกล่าวสั้นๆ ได้ว่าการอนุรักษ์ดินและน้ำ หมายถึง

9.1 การรักษาปรับปรุงสภาพของพื้นที่ต้นน้ำลำธาร ป่าไม้และสภาพแวดล้อมธรรมชาติให้ดีขึ้น

9.2 ปองกันมิให้ดินเกิดการชะล้างพังทลายทั้งในพื้นที่การเกษตรและพื้นที่นอกการเกษตร

9.3 การรักษาความอุดมสมบูรณของดินให้ดีอยู่เสมอ

9.4 การรักษาสภาพพื้นที่เพาะปลูกให้คงสภาพอยูตลอดไปไม่สูญหาย

9.5 การปรับปรุงพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตรให้เหมาะสมเกิดประโยชนต่อการทำการเกษตร

9.6 การกักเก็บน้ำไวใช้ในพื้นที่ตลอดจนมีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

10. วิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำ

มาตรการวิธีกล (Mechanical measures)

การอนุรักษ์ดินและน้ำโดยวิธีกลเป็นการควบคุมน้ำไหลบ่าหน้าดินโดยการสร้างสิ่งกีดขวางความลาดเทของพื้นที่และทิศทางการไหลของน้ำ ช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำโดยความยาวของช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำโดยความยาวของความลาดเทจะถูกแบ่งออกเป็นระยะ ๆ มาตรการวิธีกลมีหลายวิธีได้แก

10.1 การไถพรวนและปลูกพืชตามแนวระดับ (Contour Cultivation) คือการไถพรวนและปลูกพืชตามแนวระดับเป็นการ ไถพรวน หว่าน ปลูก และเก็บเกี่ยวพืชไปตามแนวระดับขวางความลาดเทของพื้นที่

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. การปลูกพืชตามแนวระดับขึ้นกับลักษณะของดินความลาดเท ลมฟ้าอากาศ และลักษณะการใช้ที่ดิน การปลูกพืชตามแนวระดับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดควรปฏิบัติบนพื้นที่ที่มีความลาดเทต่ำประมาณ 2–7% และความยาวของความลาดเทไม่เกิน 100 เมตรในพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง

2. ใช้ร่วมกับมาตรการอื่น ๆ เช่น คันดินขั้นบันไดดิน

10.2 การยกร่องปิดหัวท้าย (Tied Ridging) คือ การยกร่องปิดหัวท้ายเป็นการปรับพื้นที่โดยการยกร่องปลูกพืชเป็นสองทิศทางคือ กลุ่มหนึ่งยกร่องไปตามความลาดเทอีกกลุ่มหนึ่งยกร่องในแนวตั้งฉากกับความลาดเททำให้เกิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็ก ๆ เต็มพื้นที่การไถพรวนและปลกพืชตามแนวระดับ

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. ใช้เสริมกับการปลูกพืชตามแนวระดับในพื้นที่ที่มีความลาดเทดินเป็นดินทราย ปริมาณน้ำฝนน้อยไม่ เกิน 800 มม. จะช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นให้แก่ดินและให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียคือถ้าสร้างสันร่องสูงมากและมีปริมาณฝนตกมากก็ทำให้เกิดปัญหาน้ำแช่ขังซึ่งทำให้พืชที่ปลูกเสียหายได้โดยเฉพาะในดินที่มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดีแต่มีอัตราการซาบซึมน้ำช้า

10.3 การยกร่องตามแนวระดับ (Ridging) คือ การยกร่องตามแนวระดับ เป็นการยกร่องปลูกพืช โดยใช้ร่องนาเป็นตัวแบ่งสันดิน

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. ใช้ได้ดีในพื้นที่ที่มีความลาดเทไม่เกิน 12% และพื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้งปริมาณน้ำฝนน้อย

10.4 การทำร่องน้ำไปตามแนวระดับ (Contour Furrowing) คือ การทำร่องน้ำไปตามแนวระดับเป็นการทำร่องน้ำเดี่ยว ๆ ที่ขุดขึ้นขวางความลาดเทของพื้นที่โดยมีการลดระดับร่องน้ำหรือไม่ลดระดับก็ได้ความลึกของร่องน้ำอยู่ระหว่าง 25–40 ซม.หรือขึ้นกับเนื้อดินส่วนระยะห่างของร่องน้ำขึ้นกับความลาดเทของพื้นที่และปริมาณน้ำไหลบ่า

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินไม่มากนักและไม่มีปัญหารุนแรง

2. ในบริเวณที่ดินมีการซาบซึมและระบายน้ำดีมากรองน้ำนี้สามารถสร้างในแนวระดับแต่ถ้าดินมีการซึมซาบและระบายน้ำไม่ดีก็ควรลดระดับร่องน้ำเล็กน้อยระหว่าง 0.25 – 0.5%

10.5 การยกแปลงและขุดร่องไปตามแนวระดับ (Broad – Ridging หรือ Bedding) คือ การยกแปลงและขุดร่องไปตามแนวระดับเป็นการยกแปลงฐานกว้างและขุดร่องแบ่งแยกพื้นที่ระหว่างแปลงปลูกพืชไปตามแนวระดับ

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. เหมาะสำหรับพื้นที่ค่อนข้างราบความลาดเทไม่ควรเกิน 8 %

2. ถ้าต้องการระบายน้ำในร่องออกไปไม่ควรให้ความลาดเทของร่องน้ำเกิน 0.5 %

3. ใช้ในพื้นที่ที่ดินอัดตัวแน่นและการซาบซึมน้ำช้า

4. ไม่เหมาะสมสำหรับบริเวณที่เป็นดินร่วนพังทลายได้ง่าย

10.6 คันดิน (Terracing) คือ คันดินเป็นสิ่งก่อสร้างที่สร้างขวางความลาดเทของพื้นที่โดยพื้นที่จะถูก แบ่งออกเป็นช่วง ๆ เพื่อเก็บกักน้ำไหลบ่าในแต่ละช่วงหรือเบนน้ำไหลบ่าออกไปจากพื้นที่

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. ใช้สำหรับพื้นที่เพาะปลูกที่มีความลาดเท 2 – 12%

2. คันดินแบบระดับความยาวไม่จำกัดใช้ในบริเวณที่มีปริมาณฝนตกน้อย การยกแปลงและขุดร่องไปตามแนวระดับ

3. คันดินแบบลดระดับ ความยาวไม่ควรเกิน 300–600 เมตร หากความยาวเกินกว่าที่กำหนดให้จัดทำทางระบายน้ำเป็นระยะ เพื่อลดความยาวของคันดินให้อยู่ภายในพิกัด

10.7 คันดินรับน้ำรูปครึ่งวงกลม (Semicircular Bund) และคันดินรับน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู(Trapezoidal Bund) คือ คันดินรับน้ำรูปครึ่งวงกลมและรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นการทำคันดินให้เป็นรูปครึ่งวงกลมและรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามแนวระดับ โดยใช้แรงคนเพื่อช่วยเก็บกักน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ด้านบน

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. เหมาะสำหรับไร่นาขนาดเล็กที่ปลูกไม้ยืนต้นในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยและดินเป็นดินทรายหรือดินร่วน

10.8 คันดินเบนน้ำ (Diversion Terrace) คือ คันดินเบนน้ำเป็นคันดินขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นขวางความลาดเทของพื้นที่โดยมีการลดระดับเพื่อเบนน้ำที่ไหลบ่าลงมาจากพื้นที่ด้านบนไปยังทางระบายน้ำ

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. เป็นคันดินขนาดใหญ่ที่ก่อสร้างตอนบนสุดของพื้นที่ ต้องมีการคำนวณออกแบบอย่างถูกต้องเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับคันดินส่วนล่าง

2. กรณีที่คันดินธรรมดาไม่สามารถควบคุมน้ำได้ก็ต้องใช้คันดินเบนน้ำร่วมด้วย

10.9 ขั้นบันไดดิน (Bench Terraces) คือ ขั้นบันไดดิน เป็นการปรับพื้นที่เป็นขั้น ๆ ต่อเนื่องกันคล้ายขั้นบันไดโดยการกำหนดรูปแบบของการอนุรักษ์ดินและน้ำ ต้องใช้เทคนิควิธี

และวิชาการหลายสาขามา ผสมผสานกัน การอนุรักษ์ดินและการอนุรักษ์น้ำในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำลำธาร เป็นกิจกรรมซึ่งมีผลเกี่ยวข้องและ สัมพันธ์กัน หลักการอนุรักษ์ดิน เพื่อลดอัตราการกัดกร่อนของดิน เพิ่มและรักษาระดับปริมาณของธาตุอาหาร และอินทรียวัตถุในดิน และปรับปรุงโครงสร้างของดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม หลักการอนุรักษ์น้ำ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ การระเหยของน้ำบนผิวดิน เพิ่มแหล่งกักเก็บน้ำเพื่อให้ดินมีความชุ่มชื้นนานที่สุด

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. ใช้ในพื้นที่ดินลึกขุดง่าย

2. ขั้นบันไดดินแบบเอียงเข้าใช้ในบริเวณที่ฝนตกมากกว่า 650 มม./ป ดินลึกไม่มากอัตราการซาบซึมน้ำปานกลางถึงต่ำ

3. ขั้นบันไดดินแบบลาดเอียงออก (Outward type) ใช้ในบริเวณที่มีความลาดชันปานกลางฝนตกหนัก และดินลึกถึงลึกมาก

4. ขั้นบันไดดินต้องการค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง ดังนั้นการนำไปใช้ควรใช้ในพื้นที่ที่ปลูกพืชแล้วให้ผลผลิตได้ดี

10.10 ขั้นบันไดดินสำหรับไม้ผล (Orchard Bench Terrace) คือ ขั้นบันไดดิน เป็นการปรับพื้นที่เป็นขั้นบันไดแบบแคบ ๆ สำหรับปลูกไม้ผลโดยมีความกว้างประมาณ 2 เมตรไปตามแถวไม้ผล

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. สำหรับพื้นที่มีความลาดชันสูงและต้องการทำเป็นสวนไม้ผล

10.11 กำแพงหิน (Stone Wall) คือ กำแพงหินเป็นการใช้ก้อนหินเรียงขึ้นมาเป็นกำแพงโดยมีระยะห่างที่เหมาะสมในพื้นที่เกิดการชะล้างพังทลายของดินมาก

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. ใช้ในพื้นที่มีก้อนหินและก้อนกรวดมาก

2. ใช้เป็นเชิงลาดด้านนอกของขั้นบันไดหรือคูรับน้ำขอบเขา

* หมายเหตุ อาจใช้ไม้โตเร็วแทนหรือวัสดุอื่น ๆ แทนได้ เช่น ไม้ยูคาลิปตัส กระถินยักษ์กระสอบทรายหรือไม้หลักปักให้มีความสูงตามความเหมาะสม

10.12 คูรับน้ำขอบเขา (Hillside Ditches) คือ คูรับน้ำขอบเขาเป็นคูรับน้ำที่สร้างบริเวณขอบเขาตามแนวระดับหรือลดระดับเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ระยะห่างของคูขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อม

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. คูรับน้ำขอบเขาเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทน้อยกว่า 40% ถ้าใช้ร่วมกับขั้นบันไดดินแบบลาดเทออก (outward type) หรือแถบหญ้าจะสามารถใช้ได้ในพื้นที่ลาดเทมากกว่า 40%

2. ถาพื้นที่ระหว่างคูรับน้ำขอบเขามีการปลูกหญ้ารูซี่ (*Brachiaria ruziziensis*) หญ้าบาเฮีย (*Paspalum notatum*) หญ้าคอสตอลเบอร์มิวด้า (*Cynodon dactylon*) และหญ้าเจ้าชู้ (*Chrysopogon aciculatus* Trin.) คูรับน้ำขอบเขานี้สามารถใช้ในพื้นที่ที่มีความลาดเทได้ถึง 55%

3. คูรับน้ำขอบเขาสามารถขยายฐานได้กว้างขึ้นในพื้นที่ที่มีความลาดเทน้อย สวนคูรับน้ำขอบเขาที่มีฐานแคบใช้ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงกว่า

4. ควรมีการบำรุงรักษาคูรับน้ำขอบเขาโดยการปลูกหญ้าบริเวณคูรับน้ำขอบเขาทั้งบนเชิงลาดด้านนอก เชิงลาดด้านใน และบนคู

10.13 ฐานปลูกไม้ผลเฉพาะต้น (Individual Basin)คือ ฐานปลูกไม้ผลเฉพาะต้นเป็นการปรับพื้นที่เป็นฐานขนาดเล็กที่ทำขึ้นสำหรับปลูกต้นไม้แต่ละต้นโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความชันสูง เส้นผ่าศูนย์กลางขึ้นกับขนาดทรงพุ่มของต้นไม้ที่ปลูกฐานปลูกไม้ผลเฉพาะต้น มี 2 แบบคือ ฐานรูปวงกลม และฐานรูปสี่เหลี่ยม

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. ใช้กับพื้นที่ที่มีความลาดเทต่ำถึงลาดชันสูง
2. ใช้ร่วมกับคูรับน้ำขอบเขาและดินมีการซึมน้ำเร็ว
3. ลงทุนต่ำ สามารถใช้แรงงานคนขุดได้
4. ใช้ในกรณีที่ต้องการลดต้นทุนจากการทำขั้นบันไดดิน
5. ใช้กับพื้นที่ที่เป็นสวนผลไม้เก่าที่ปลูกพืชไปแล้วโดยไม่ได้วางระดับ

10.14 คันชะลอความเร็วของน้ำ (Check Dam) คือคันชะลอความเร็วของน้ำเป็นสิ่งก่อสร้างที่สร้างขึ้นในพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายของดินแบบร่องลึก โดยสร้างขวางเป็นช่วง ๆ ในร่องน้ำที่มีการกัดเซาะ อาจสร้างด้วย เศษไม้ เศษพืชหิน ดิน หรือคอนกรีตก็ได้หรือเป็นสิ่งก่อสร้างที่ช่วยลดปัญหาการกัดเซาะในทางระบายน้ำที่ปูด้วยหญ้า

หลักเกณฑ์การนำไปใช้

1. ใช้กับพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายแบบร่องลึก หรือในทางระบายน้ำ

(กรมพัฒนาที่ดิน ,2559)

11. การประเมินการสูญเสียดิน

สำหรับการศึกษาและประเมินค่าการสูญเสียดินหลายวิธีด้วยกัน โดยสมการการสูญเสียดินสากล (universal soil loss equation: USLE) เป็นการประเมินที่มีผู้ใช้อย่างแพรหลายและได้นำวิธีการนี้มาศึกษาและใช้ประโยชนในการประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทยเป็นระยะเวลานาน วิธีการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินดังกลาวทาง U. S. Department of Agriculture

คำนวณปริมาณการชะล้างพังทลายของดินตามสมการสูญเสียดินสากล (USLE) ตามวิธีของวิชไมเออร และ สมิธ (Wischmeier and Smith. 1978: 2)

$$A = RKLSCP$$

เมื่อ

A คือ ปริมาณการสูญเสียดิน ที่คำนวณได้ต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น ตัน/เฮกแตร์/ป

R คือ ปัจจัยเกี่ยวกับความสามารถในการทำให้เกิดการพังทลายของฝน เป็นค่าที่แสดงถึง ความสามารถของฝนในการกัดเซาะ มีหน่วยเป็น เมตร-ตัน/เฮกแตร์/ปี

K คือ ปัจจัยเกี่ยวกับความยากง่ายในการเกิดการพังทลายของดิน เป็นค่าดินที่สูญเสียต่อหน่วยของพลังกัดเซาะของฝน ในแปลงทดลองที่มีขนาดจำกัด ยาว 72.6 ฟุต บนพื้นที่ลาดชัน 9 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการไถพรวนดินและทิ้งไวให้ว่างเปล่า

L คือ ปัจจัยเกี่ยวกับความยาวของความลาดเท เป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนของการสูญเสียดิน จากแปลงที่เกิดจากสภาพความยาว ความลาดเทในสนาม กับแปลงที่เกิดจากความยาวความลาดเท 72.6 ฟุต ภายใต้สภาพเงื่อนไขเดียวกัน

ตาราง 1 แบบจำลองการชะล้างพังทลายของดินที่ใช้สมการ USLE

ชื่อแบบจำลอง	รายละเอียดและวิธีการของแบบจำลอง
CREAMS	เป็นแบบจำลองที่ออกแบบในลักษณะแนวคิดให้เลียนแบบกระบวนการธรรมชาติและความต้องการในการจัดการพื้นที่ เพื่อประเมินผลกระทบของมลพิษที่ไม่ทราบแหล่งที่มา (non-point source pollution) อันเนื่องมาจากการใช้เทคโนโลยีเพิ่มผลผลิตทั้งในด้านการใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และวิธีการจัดการดิน จัดการพืชในลักษณะต่าง ๆ แบบจำลอง CREAMS มีองค์ประกอบแบบจำลองย่อยของ 3 กระบวนการคือ 1) แบบจำลองอุทกวิทยา มีองค์ประกอบการหาปริมาตรน้ำท่า อัตรา

ตาราง 1 (ต่อ)

ชื่อแบบจำลอง	รายละเอียดและวิธีการของแบบจำลอง
	การหลากสูงสุด การขับน้ำผ่านผิวดิน การคายระเหยน้ำ ความชื้นในดิน และอัตราการซึมลึกในชั้นหน้าตัดดินในแต่ละวันที่มีฝนตก 2) แบบจำลองการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน จะต้องหาปริมาณการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ และปริมาณตะกอน ณ จุดใดจุดหนึ่งที่ต้องการ รวมทั้งปริมาณการแตกกระจายของตะกอนขนาดต่าง ๆ และบริเวณที่ต้องการรู้ปริมาณการชะล้างพังทลายของดินของแต่ละวันที่มีฝนตก 3) แบบจำลองกระบวนการเคลื่อนย้ายมลพิษเคมี ให้หาค่าธาตุอาหารพืชต่าง ๆ และยากำจัดวัชพืช
MUSLE	การนำเอาสมการพื้นฐานที่แสดงกลไกการเกิดการชะล้างพังทลายในร่องริ้ว ผนวกกับ USLE เพื่อใช้หาปริมาณตะกอนที่เกิดจากพื้นที่ระหว่างร่องริ้วและในร่องริ้ว จึงเป็นที่มาของ MUSLE ที่ใช้หาสมรรถนะการกัดเซาะและสมรรถนะในการเคลื่อนย้าย และประยุกต์ใช้หาการพัดพาตะกอนจากยอดเขาลงมาถึงร่องน้ำ โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นประเภทๆให้มีความลาดเทแยกส่วนกันไปตามลักษณะภูมิประเทศ
SP	เป็นแบบจำลองที่ใช้หาค่าน้ำท่าและผลผลิตตะกอนอันเกิดจากการตกของฝนแต่ละครั้ง แบบจำลองนี้ประกอบด้วยสมการคณิตศาสตร์ที่แทนกระบวนการทางอุทกวิทยาและการชะล้างพังทลายของดินที่มีองค์ประกอบของสมการน้ำที่ถูกพืชยึดไว้ และการกักเก็บน้ำของผิวดิน การซึมน้ำผ่านผิวดิน ชลศาสตร์ของน้ำไหลบ่าหน้าดินและสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอน โดยดัดแปลงแผนภาพโมโนกราฟมาใช้โดยไม่มีส่วน Permeability เข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากค่านี้ได้แฝงอยู่ในส่วนการคำนวณหาอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดิน
EPIC	แบบจำลองนี้เป็นการปรับปรุงและปรับเปลี่ยน USLE กันอย่างมาก ซึ่งมีองค์ประกอบแบบจำลองย่อย ประกอบด้วย (1) แบบจำลองอุตุอุทกวิทยา (2) แบบจำลองการชะล้างพังทลายของดิน (3) แบบจำลองการสูญเสียธาตุอาหารในน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน (4) แบบจำลองการชะล้าง

ตาราง 1 (ต่อ)

ชื่อแบบจำลอง	รายละเอียดและวิธีการของแบบจำลอง
	พังทลายของดินโดยลม ได้มีการพัฒนาค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินของ USLE เพื่อนำมาใช้กับแบบจำลองนี้ โดยอาศัยข้อมูลในเรื่องเนื้อดินและอินทรีย์คาร์บอนในดินเท่านั้น พร้อมทั้งมีการดัดแปลง MUSLE ในส่วนของปัจจัยพลังน้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดิน รวมทั้งปัจจัย P ใน USLE มาเป็นแบบจำลอง EPIC

ที่มา: นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2545 ; อ้างอิงใน นิติพัฒน์ นวนมะโน, 2557

12. ระบบเกษตรมรดกโลก

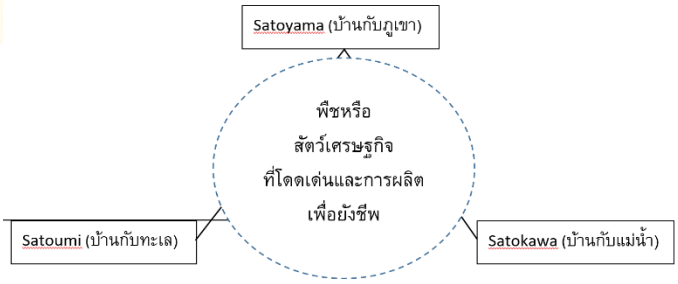
ระบบเกษตรกรมดั้งเดิม (Traditional Agricultural System) คือ การเกษตรเฉพาะถิ่นและการเกษตรเชิงวัฒนธรรมธรรม ก็ยังมีความสำคัญที่บ่งบอกถึงอัตลักษณ์และความกลมกลืนสมดุลตามภูมิสังคมนั้น ดังเช่น วนเกษตร เกษตรทางเลือก เกษตรทฤษฎีใหม่ ตลอดจนการเกษตรที่เชื่อมโยงกับวัฒนธรรมความเป็นอยู่ เช่น การเกษตรแบบเศรษฐกิจพอเพียง ที่มีแนวโน้มของการเกษตรของโลกปัจจุบันและอนาคต คือ เกษตรอินทรีย์หรือเกษตรปลอดสารพิษ กลับทวีความสำคัญในแง่การพัฒนาที่ยั่งยืนด้านอาหาร องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) จึงได้กำหนดให้มีการอนุรักษ์พื้นที่เหล่านี้ภายใต้ชื่อ Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) หรือ ระบบทางการเกษตรมรดกโลก เพื่อปกป้องแหล่งมรดกเกษตรกรรมดั้งเดิมของโลก สนับสนุนการอนุรักษ์วิถีการดำรงชีวิตและความหลากหลายทางชีวภาพของพื้นที่ ภูมิทัศน์ องค์ความรู้และวัฒนธรรมอันเกี่ยวเนื่องกับการเกษตร รวมถึงการส่งเสริมการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจจากระบบเกษตรกรรมที่ได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) จำนวน 38 แห่งใน 17 ประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ในทวีปเอเชีย ซึ่งมีลักษณะความโดดเด่นที่ต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศและภูมิวัฒนธรรม ทว่าหนึ่งในจำนวนนั้นยังไม่มีแหล่งเกษตรกรรมอันเป็นมรดกของคนไทย วิถีเกษตรกรรมดั้งเดิมของประเทศไทยที่มีคุณค่าควรแก่การอนุรักษ์ยกย่องโดยคนรุ่นปัจจุบันและส่งต่อไปสู่คนรุ่นใหม่ในกรอบของระบบการเกษตรบนพื้นฐานเศรษฐกิจพอเพียงซึ่งในประเทศไทย เกษตรเศรษฐกิจพอเพียง (Sufficiency Economy Agriculture) เป็นการเกษตรเชิงอนุรักษ์ที่มีแนวโน้มทวีความสำคัญในฐานะรากฐานการเกษตรกรรมของประเทศ เช่นเดียวกับเกษตรกรรมตามแนวคิด ซาโตยามะ (Satoyama) และซาโตอุมิ (Satoumi) และซาโตคะวะ (satokawa) ของประเทศญี่ปุ่น ที่เน้นการผลิตเพื่อพึ่งตนเองใน

สมดุลของการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและต่อยอดการผลิตไปสู่เศรษฐกิจระดับชุมชนจนถึงระดับชาติ ผ่านการส่งเสริมสินค้าเกษตรเฉพาะถิ่นและการท่องเที่ยว (Khaokhrueamuang, 2017)

จากการศึกษาระบบมรดกทางการเกษตรของโลกในประเทศญี่ปุ่น 5 แหล่ง ประกอบด้วย

1. ระบบสวนบ๊วยมินะเบะทะนะเบะ (Minabe-Tanabe Ume System) จังหวัดวากายาม่า
2. ระบบสวนวาซาบิโบราณ (Traditional WASABI cultivation in Shizuoka) จังหวัดชิสุโอกะ
3. ระบบสวนชา (Traditional Tea-Grass Integrated System) จังหวัดชิสุโอกะ
4. ระบบการจับปลาอายุบริเวณแม่น้ำนาการ่า (Ayu of the Nagara River System) จังหวัดกิฟุ
5. ระบบซาโตยะมะและซาโตอุมิแหลมโนโตะ (Noto's Satoyama and Satoumi System) จังหวัดอิชิคะวะ

พบว่าแหล่งเกษตรกรรมทั้ง 5 ระบบอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดการทำเกษตรดั้งเดิม 3 ลักษณะ ได้แก่ ซาโตยะมะ (Satoyama บ้านกับภูเขา) ซาโตอุมิ (Satoumi บ้านกับทะเล) และซาโตคะวะ (Satokawa บ้านกับแม่น้ำ) เป็นการรักษาสมดุลระหว่างทรัพยากรธรรมชาติกับที่อยู่อาศัย การทำเกษตรตามแนวคิดนี้ ผู้วิจัยใช้คำนิยามใหม่ว่า "ซังซาโตะ" "San Sato" อันหมายถึงนิเวศเกษตร 3 รูปแบบ (San ภาษาญี่ปุ่นหมายถึงสาม) มีความเชื่อมโยงเกี่ยวเนื่องกันตามสภาพภูมิศาสตร์ จากชุมชนป่าต้นน้ำคือซาโตยะมะ ชุมชนกลางน้ำคือซาโตคะวะ และชุมชนปลายน้ำคือซาโตอุมิ ซึ่งเห็นภาพสัมพันธ์และความต่อเนื่องของรูปแบบพื้นที่ได้ง่าย เนื่องจากเป็นเกาะ ระบบนิเวศเกษตรทั้ง 3 รูปแบบจะมีความโดดเด่นของพืชหรือสัตว์เป็นผลผลิตสำคัญในเชิงเศรษฐกิจที่แตกต่างกัน นอกเหนือจากการผลิตบนพื้นฐานเกษตรเพื่อยังชีพ (Self-Sufficiency) ดังแสดงดังภาพ 3

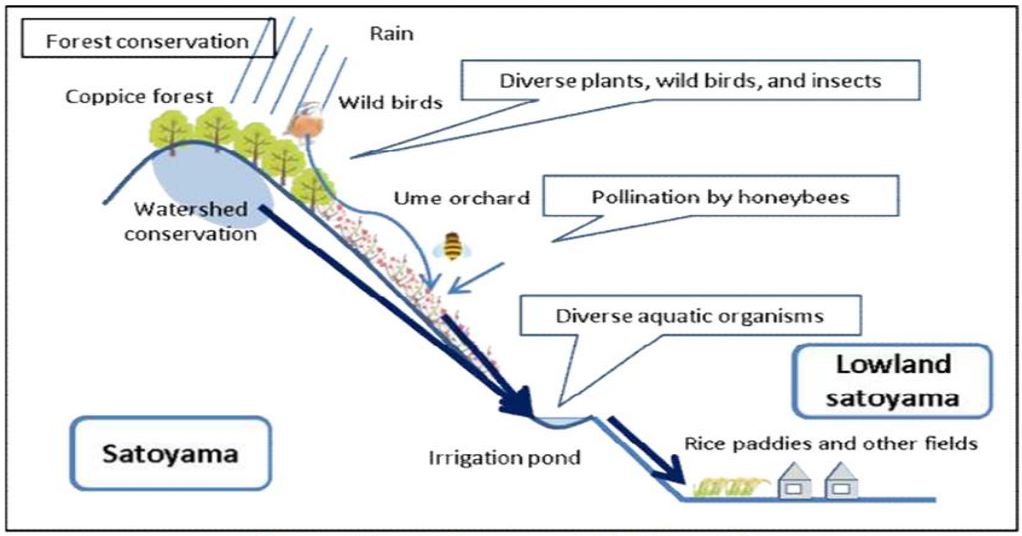


ภาพ 3 ความสัมพันธ์ของนิเวศเกษตรสามระบบ (ซังซาโตะ) ในประเทศญี่ปุ่น

แนวคิดของระบบนิเวศเกษตรทั้งสามระบบ หรือซังซาโตะ กับกิจกรรมทางเกษตรเชิงเศรษฐกิจที่สำคัญของ GIAHS แต่ละกรณีศึกษา สรุปเป็นข้อมูลโดยสังเขป ดังแสดงตามตาราง 2

ตาราง 2 แสดงการเกษตรสำคัญบนพื้นฐานแนวคิดซังซาโตะ

ลำดับ	แนวคิดของระบบนิเวศเกษตร	การเกษตรที่สำคัญในระบบนิเวศเกษตร	ชื่อระบบเกษตรกรรม / ที่ตั้ง
1	บ้าน กับ ภูเขา (Sato – Yama: ซะโตะ กับ ยะมะ)	การปลูกบ๊วยและส้ม บนภูเขาที่ขาดแคลนธาตุอาหาร	ระบบสวนบ๊วย (Minabe-Tanabe Ume System) อำเภอมินะเบะ และอำเภอทะนะเบะ จังหวัดวากายาม่า
2		การปลูกข้าวและผักพื้นเมือง	ระบบซาโตยะมะและซาโตอุมิแหลมโนโตะ (Noto's Satoyama and Satoumi System) จังหวัดอิชิคะวะ
3		การปลูกวะซะบิ	ระบบสวนวาซาบิโบราณ (Traditional WASABI cultivation in Shizuoka) อำเภอเมืองชิสุโอกะ จังหวัดชิสุโอกะ
4		การปลูกชา	ระบบสวนชา (Traditional Tea-Grass Integrated System) อำเภอคะเคะคาวะ อำเภอคิคุคาวะ อำเภอมิคิโนะฮาระ อำเภอชิมาดะ และอำเภอคาวะเนะฮง จังหวัดชิสุโอกะ
5	บ้าน กับ แม่น้ำ (Sato – Kawa: ซะโตะ กับ คะวะ)	การประมงพื้นบ้านและกิจกรรมที่เชื่อมโยงกับวิถีชีวิตชุมชนกับแม่น้ำ	ระบบประมงซาโตคะวะ (Satokawa) บริเวณแม่น้ำนากาารา (Ayu of the Nagara River System) อำเภอเมืองกิฟุ อำเภอมิโนะ อำเภอเซกิ และอำเภอกุโจ จังหวัดกิฟุ
6	บ้าน กับ ทะเล (Sato – Umi: ซะโตะ กับ อุมิ)	การทำนาเกลือทะเล การประมงน้ำเค็ม การเก็บสาหร่ายทะเล การปลูกข้าวริมทะเล	ระบบเกษตรผสมผสานซาโตยะมะและซาโตอุมิ (Noto's Satoyama and Satoumi System) แหลมโนโตะ จังหวัดอิชิคะวะ



ภาพ 4 ตัวอย่างภาพตัดขวางระบบสวนบ๊วยบนพื้นฐานซาโตยะมะ

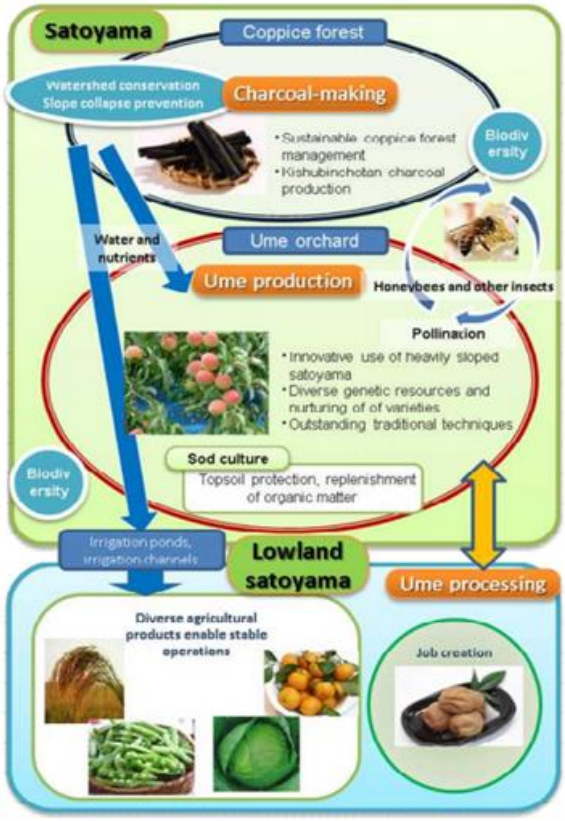
ที่มา: http://www.fao.org/3/a-bp806e.pdf

ตาราง 3 แสดงตัวอย่างความสอดคล้องของเกณฑ์ GIAHS กับการจัดการพื้นที่เกษตร

ข้อ	เกณฑ์ GIAHS	ลักษณะความสอดคล้องตามเกณฑ์
1	ความมั่นคงทางอาหารและชีวิตความเป็นอยู่	ระบบเกษตรกรรมในพื้นที่ปลูกบ๊วยในอำเภอมินาเบะและทะนะเบะ ผลิตความหลากหลากของอาหารและสินค้าทางเศรษฐกิจเนื่องจากเป็นระบบซาโตยามะ ได้แก่ ข้าว ผัก ผลไม้ สมุนไพร และผลิตภัณฑ์จากป่า ได้แก่ การผลิตถ่านคุณภาพดีจากไม้พุ่มแคระ (coppice forest) เรียกว่า คิชูบินโชตัน (Kishubinshotan)
2	ความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศเกษตร	ระบบนิเวศแบบซาโตยามะ ก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพตั้งแต่นาข้าวและสวนผักบริเวณที่ราบ สวนบ๊วยและส้มตามไหล่เขา จนถึงป่าไม้บนยอดเขาที่มีการสร้างอ่างเก็บน้ำไว้เป็นระยะ ๆ ระบบสวนบ๊วยช่วยในการอนุรักษ์นกและผึ้งพันธุ์พื้นเมืองหายากที่ใช้ผสมเกสรดอกบ๊วย ซึ่งอาศัยอยู่ในป่าละเมาะที่มีไม้พุ่มแคระเฉพาะถิ่น เช่น Quercus phillyraeoides ที่นิยมนำมาทำถ่าน
3	ระบบความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่น	การปลูกบ๊วยตามที่ลาดเขาที่มีความสมบูรณ์ของดินต่ำเนื่องจากเป็นพื้นที่หินกรวด ต้องอาศัยเทคนิคพื้นบ้านในการรักษาความชุ่มชื้นของหน้าดินโดยการปล่อยให้หญ้าขึ้นสูงระยะหนึ่งแล้วตัดเป็นปุ๋ยคลุมดิน ใช้ภูมิปัญญาในการ

ตาราง 3 (ต่อ)

ข้อ	เกณฑ์ GIAHS	ลักษณะความสอดคล้องตามเกณฑ์
		จัดการป่าไม้พุ่มแคระในเชิงเศรษฐกิจโดยเทคนิคการเลือกตัด (selective cutting) ในการนำไม้มาทำถ่านนับตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1700 เพื่อให้ดอกของพืชเหล่านี้ซึ่งบานหลังดอกบ๊วยที่บานในเดือนกุมภาพันธ์ เป็นแหล่งอาหารของผึ้งพื้นเมืองที่เป็นกลไกสำคัญในการผสมเกสรบ๊วยและส้ม จึงกล่าวได้ว่าหากไม่มีป่าก็ไม่มีผึ้ง ไม่มีผึ้งก็ไม่มีบ๊วย ปัจจุบันจำนวนผึ้งพื้นเมืองได้ลดน้อยลงเนื่องจากการบุกรุกของผึ้งพันธุ์อื่น ๆ ที่เป็นศัตรูกัน ทำให้เกษตรกรบางรายต้องเลี้ยงผึ้งพื้นเมืองในกล่องตามสวนบ๊วย โดยเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลงเพื่ออนุรักษ์ผึ้งและนก บ๊วยในพื้นที่อำเภอทะนะเบะและมินาเบะได้รับการพัฒนาสายพันธุ์มานับร้อยปี ปัจจุบันมี 23 สายพันธุ์ แต่ที่นิยมปลูกคือพันธุ์นันโค (Nanko) และ พันธุ์โกะจิโระ (Gojiro)
4	วัฒนธรรม ระบบค่านิยม และองค์กรทางสังคม	บ๊วยเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก ในพื้นที่เกษตรผสมผสานแบบซาโตยะมะ ซึ่งใช้การผลิตบ๊วยดองเป็นสินค้าเศรษฐกิจส่งขายไปทั่วประเทศ สร้างวัฒนธรรมการรับประทานบ๊วยดองของคนญี่ปุ่นจนเกิดเป็นเอกลักษณ์และความหลากหลายทางอาหาร เช่น ก๋วยเตี๋ยวบ๊วย ข้าวปั้นบ๊วย ปลานึ่งบ๊วย น้ำสลัดบ๊วย ขนมหวานต่าง ๆ จากบ๊วย นอกจากนี้ยังมีเหล้าบ๊วย ซึ่งเป็นวัฒนธรรมการผลิตเหล้าพื้นบ้าน และนิยมผลิตจากบ๊วยพันธุ์โกะจิโระ (Gojiro) ซึ่งเก็บเกี่ยวก่อนพันธุ์นันโค (Nanko) ที่นิยมนำมาทำบ๊วยดองประมาณ 2 สัปดาห์ บ๊วยยังเชื่อมโยงกับความเชื่อทางศาสนาและวิถีการดำรงชีวิตของเกษตรกร โดยทุกวันที่ 6 เดือนมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงเก็บเกี่ยวบ๊วย ได้กำหนดให้เป็นวันบ๊วย (Ume Day) จะมีการนำบ๊วยไปจัดพิธีเคารพเทพเจ้าบ๊วย ณ ศาลเจ้าท้องถิ่น
5	ความโดดเด่นทางภูมิทัศน์และทะเลทัศน์	ราวต้นเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนมีนาคม ทั่วทั้งภูเขาจะบานสะพรั่งไปด้วยดอกบ๊วยสีชมพูขาว เป็นทัศนียภาพที่งดงามไม่แพ้ฤดูกาลซากุระบาน นับเป็นภูมิทัศน์ทางการเกษตรที่โดดเด่นที่สุดในแง่การท่องเที่ยว ระหว่างนี้จะมีการจัดงานเทศกาลดอกบ๊วยบาน ซึ่งดึงดูดนักท่องเที่ยวให้เข้าชมเฉลี่ย 50,000 คนต่อปี เกษตรกรจะเปิดร้านจำหน่ายอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรตลอดงาน



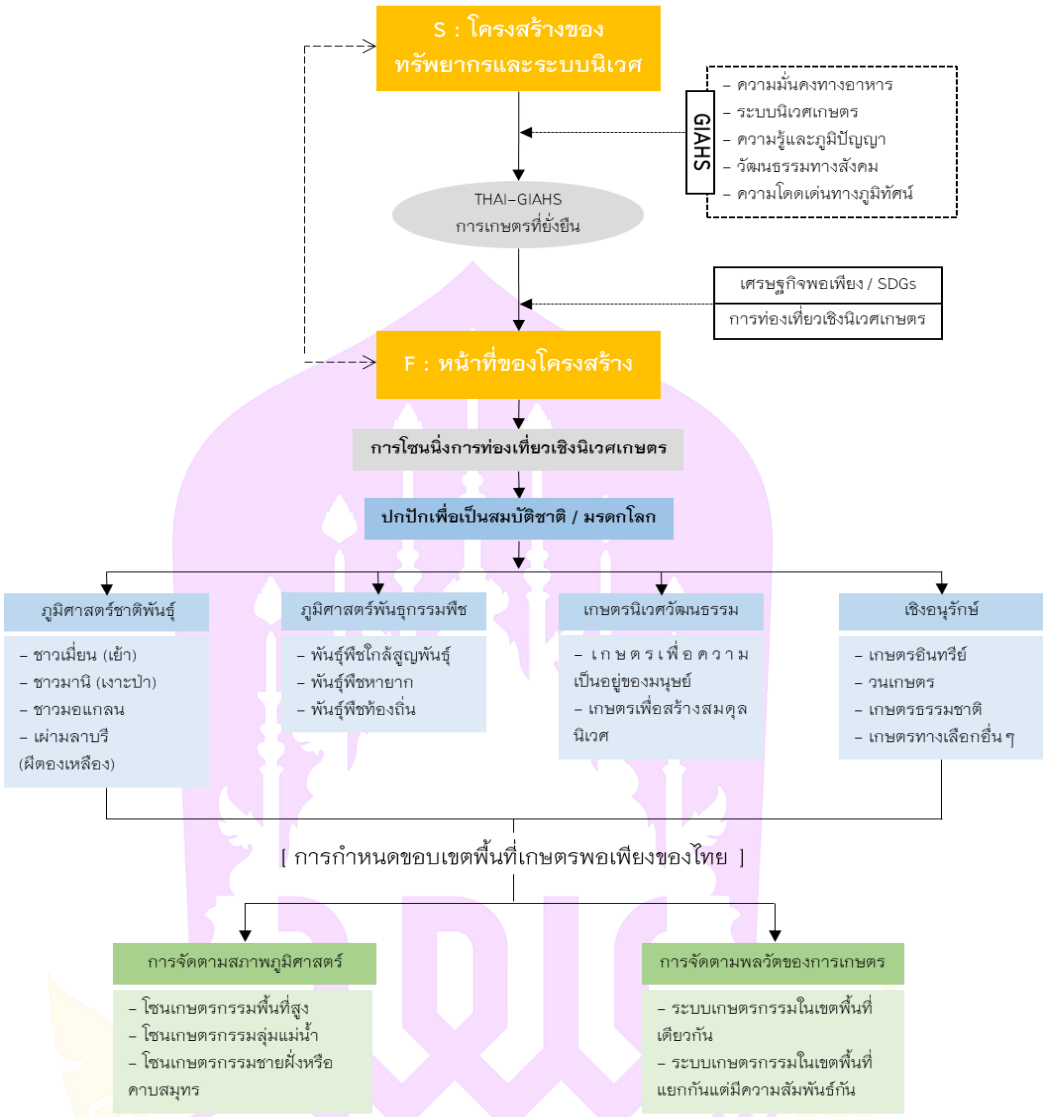
ภาพ 5 ความหลากหลายของผลิตผลทางการเกษตรในระบบสวนบ๊วยซาโตยะมะ

ที่มา: http://www.fao.org/3/a-bp806e.pdf

สำหรับประเทศไทยเพื่อการเกษตรยั่งยืนหรือเกษตรพหุภารกิจนั้นหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องน้อมนำหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงมาเป็นหลักคิดหรือสร้างสมดุลในกิจกรรมการเกษตร หลักการจัดการ การเกื้อกูลเศรษฐกิจกับสิ่งแวดล้อม ตลอดจนกระบวนการพัฒนาและการออกแบบการพัฒนาที่ยั่งยืนจะต้องเป้าหมาย (Thai GIAHS Goal) และความน่าสนใจในระดับสากล (Focus) โดยผ่านมีกิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศเกษตร (Agro-ecotourism) ระบบการเกษตรมรดกโลกนับเป็นเรื่องใหม่และยังไม่แพร่หลายนักในประเทศไทย จึงยังไม่ปรากฏงานวิจัยในฐานข้อมูลของ สกว. หากแต่มีงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับแนวคิดนี้ คือเกษตรพหุภารกิจ (multifunctional agriculture) ของ (ชพิกา สังขพิทักษ์, 2560) ที่เป็นการรวบรวมประสบการณ์และนโยบายการเกษตรเชิงอนุรักษ์ของประเทศต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของระบบการเกษตรมรดกโลก หรือ Globally Important Heritage Systems (GIAHS) ที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) กำหนด เพื่ออนุรักษ์ระบบการผลิตของ

เกษตรกรรมดั้งเดิมที่ยังคงความสำคัญทางเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมนับเนื่องจากอดีตจนปัจจุบัน และส่งเสริมการสร้างมูลค่าเพิ่มจากการอนุรักษ์ เป็นกิจกรรมสร้างแรงจูงใจผ่านกลไกต่าง ๆ โดย แบบแผนการปฏิบัติ การเกษตรที่มีเป้าหมายการเกษตรที่ยั่งยืน (Sustainable Development of Agriculture: SDA) ที่สามารถสร้างความมั่นคงอยู่รอดของมนุษย์เชิงการเกษตรนิเวศภูมิทัศน์วัฒนธรรมปัจจัยผสมผสานกับเขตความเหมาะสมสำหรับการใช้ที่ดินในปัจจุบันที่สอดคล้องกับโครงสร้าง (Structure) ทรัพยากรและระบบนิเวศ ที่สัมพันธ์กับหน้าที่ (Function) ของโครงสร้างที่สามารถนำหลักเศรษฐกิจพอเพียงเป็นแนวทางร่วมกับ การสร้างความมั่นคงทางอาหารการรักษาระบบนิเวศเกษตรการนำองค์ความรู้และภูมิปัญญามาใช้ในการเกษตรและรักษาสมดุลระบบนิเวศ การสืบสานวัฒนธรรมและสร้างความร่วมมือในสังคม และพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหมาะสมควบคู่กับการสร้างภูมิทัศน์โดดเด่นสวยงามซึ่งเกณฑ์ของ GIAHS จะสามารถนำมาเป็นแม่บทและแผนปฏิบัติการให้พื้นที่ส่วนหนึ่งของประเทศไทยยังคงรักษาและปกปักพื้นที่เชิงภูมิศาสตร์ชาติพันธุ์ที่จะสืบทอดความเป็นเอกลักษณ์และความหลากหลายของชาติพันธ์ของไทยในทุกภูมิภาค การอนุรักษ์พันธุกรรมพืชที่มีความหลากหลายจากภูมิภาคทางภาคเหนือจนถึงทะเลในภาคใต้การรักษาสมดุลของระบบนิเวศภูมิทัศน์การเกษตรให้มีความมั่นทางอาหารควบคู่กับนิเวศวัฒนธรรมของในแต่ละพื้นที่ซึ่งสามารถจำแนกหรือแบ่งเขตพื้นที่เกษตรพอเพียงของไทยตามสภาพภูมิศาสตร์ (Geographical Zoning) และการจัดตามพลวัตของการเกษตร (Dynamical Zoning) โดยแบ่งได้ดังนี้ดังภาพ 5

1. การจัดตามสภาพภูมิศาสตร์
   1.1 โซนเกษตรกรรมพื้นที่สูง
   1.2 โซนเกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำ
   1.3 โซนเกษตรกรรมชายฝั่งหรือคาบสมุทร
2. การจัดตามพลวัตของการเกษตร
   2.1 ระบบเกษตรกรรมในเขตพื้นที่เดียวกัน
   2.2 ระบบเกษตรกรรมในเขตพื้นที่แยกกันแต่มีความสัมพันธ์กัน



ภาพ 6 แผนผังแนวทางและกรอบหัวข้อการจำแนกการกำหนดขอบเขตพื้นที่เกษตรพอเพียงในการจัดโซนนิ่งของประเทศไทย

ระบบเกษตรกรรมดั้งเดิมของญี่ปุ่นนั้น มีความคล้ายคลึงกับเกษตรพอเพียงของไทยอย่างมาก เนื่องด้วยเป็นเกษตรกรรมแบบผสมผสานที่ผูกติดกับการรักษาสมดุลของระบบนิเวศและถิ่นที่อยู่อาศัยของมนุษย์ เป็นการผลิตเพื่อยังชีพมากกว่าเน้นการส่งออกในปริมาณมาก เรียกระบบนี้ว่า Sato yama (บ้าน–ภูเขา) และ Sato umi (บ้าน–ทะเล) และ Sato kawa (บ้าน–แม่น้ำ) ในระบบเกษตรกรรมพื้นฐานดังกล่าวนั้น สามารถจำแนกออกเป็น พื้นที่เกษตรกรรมแบบผสมผสานโดยไม่มีพืชเศรษฐกิจใดเป็นตัวเด่น แต่เป็นโมเดลพื้นฐานของระบบพื้นฐานของระบบ เช่น ระบบซาโตยะมะและซาโตอุมิในพื้นที่แหลมโนโตะ จังหวัดอิชะคะวะ และพื้นที่เกษตร

ผสมผสานที่มีพืชเศรษฐกิจเป็นตัวเด่น ซึ่งจะสร้างความมั่งคงของชุมชน ระบบนิเวศและความอุดมสมบูรณ์ของประเทศไทย และพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงประสบการณ์ เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มทางนิเวศบริการ (Ecosystem services) ตลอดจนวางแนวทางการจัดการพื้นที่เพื่อสร้างมูลค่าทางการตลาดและการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนมีแบบแผน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิติพงษ์ พงษ์บุญ (2543) ได้ทำการศึกษาบทบาทการทดแทนตามธรรมชาติต่อการสูญเสียดินและน้ำ โดยใช้แปลงทดลองขนาด 2x10 ตร.ม บนความลาดชัน10-12% .ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และพื้นที่ไร่ร้าง พบว่าในพื้นที่ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และไร่ร้าง การสูญเสียหน้าดินพบว่าพื้นที่ไร่ร้าง มีการสูญเสียน้ำมากที่สุด ในขณะที่ป่าเบญจพรรณมีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด การสูญเสียดินและน้ำกับปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จักรพงษ์ ไชยวงศ์ (2549) ศึกษาการประมาณการไหลบ่าของน้ำและการสูญเสียดินในพื้นที่เกษตรที่สูงของ จ.เชียงใหม่ โดยใช้แปลงศึกษาการชะล้างพังทลายของดินขนาด 14 x 20 เมตร มีเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน 20 เปอร์เซ็นต์ ปลูกกะหล่ำปลีและมีมาตรการในการอนุรักษ์ดินที่ต่างกัน ได้แก่ ใช้แถบหญ้าแฝกเป็นแถบอนุรักษ์ ไม่มีมาตรการอนุรักษ์ดิน และแถบหญ้าธรรมชาติเป็นแถบอนุรักษ์ ในพื้นที่ของสถานีวิจัยการพัฒนาที่ดินบนพื้นที่สูงบ้านบวกจั่น กรมพัฒนาที่ดิน ต.สะเมิงใต้ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ โดยใช้แบบจำลองการไหลบ่าของน้ำผิวดินและการชะล้างพังทลายของดินทางกลศาสตร์ และสมการการสูญเสียดินสากล เปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริงในแปลงศึกษา ผลการศึกษาในปี 2546 – 2547 พบว่า แปลงศึกษาที่ไม่มีมาตรการในการอนุรักษ์ดินมีปริมาณน้ำไหลบ่าและสูญเสียดินมากที่สุด รองลงมาคือ แถบหญ้าแฝก และแถบหญ้าธรรมชาติ ตามลำดับ โดยมีปริมาณน้ำไหลบ่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.67 33.44 และ 25.34 มม./ปี ตามลำดับ มีปริมาณการสูญเสียดินเท่ากับ 5.88 3.65 และ 3.02 ตัน/เฮกตาร์/ปี

บรรพต กุลสุวรรณ (2548) ศึกษาบทบาทการทดแทนตามธรรมชาติต่อการสูญเสียดินและน้ำ ได้ทำการศึกษาที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร ระหว่างปี พ.ศ. 2536-2541 โดยการใช้แปลงทดลองขนาด 2x10 ตร.ม บนความลาดชัน 10-12 % ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และพื้นที่ไร่ร้างผลศึกษาขนาดและการกระจายตัวของตะกอนดินและหิน บริเวณที่ใกล้กับพื้นที่ที่เกิด การพิบัติจะเป็นตะกอนหินขนาดใหญ่เป็นส่วนมาก (Boulder และ Cobble) และลดลงเมื่อระยะของตะกอนถูกพัดพามาไกลจากพื้นที่ที่เกิดการพิบัติจนเป็นตะกอนขนาดเล็กพวกกรวดและทราย (Gravel และ Sand) โดยปริมาณของ

ตะกอนที่ถูกพัดพามาจากพื้นที่ที่เกิดการ พิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำคลองตะเคียน ที่กม. 2+423 มี Boulder 75.84% และ Cobble 21.58%, ที่กม. 6+299 มี Boulder 3.29% และ Cobble 66.52% และที่กม. 17+129 มี Gravel 67.61% Sand 32.39%

ศุภชาติ วรรณวงษ์ (2542) ศึกษาการสูญเสียดินและน้ำจากการใช้ประโยชนที่ดินที่แตกต่างกัน บริเวณลุ่มน้ำ อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ ระหว่างปี 2539–2543 ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชนที่ดิน 5 รูปแบบ จาก 7 แปลงทดลองซึ่งประกอบด้วย 1) แปลงว่างเปล่าที่เป็นแปลงควบคุม 2) แปลงปลูกไม้สัก 3) แปลงปลูก ข้าวโพด 4) แปลงปลูกหญ้าแฝก 5) แปลงปลูกไม้สักผสมข้าวโพด 6)แปลงปลูกไม้สักผสมหญ้าแฝกและ 7) ปลูกข้าวโพดผสมหญ้าแฝก ผลการศึกษาพบว่าการสูญเสียดินจากแปลงควบคุมมีการสูญเสียดินน้อยที่สุด และแปลงปลูกข้าวโพดมีการสูญเสียดินมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบแล้วการสูญเสียดินจากแปลง ทดลองต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการสูญเสียน้ำ แปลงปลูกข้าวโพดมีค่าการสูญเสียน้ำมากสุดและแปลงควบคุมการสูญเสียที่สุดเมื่อสิ้นสุดของการทดลอง โดยที่การสูญเสียน้ำจากแปลงทดลองต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ (2540) ศึกษาความชื้นในดินในป่าธรรมชาติของศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจาก พระราชดำริบริเวณลุ่มน้ำห้วยไร่ ตำบลห้วยยาง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร วิเคราะห์ความชื้นในดินโดยวิธี Gravimetric method ผลปรากฏดังนี้การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินขึ้นอยู่กับ ปริมาณน้ำฝน ช่วง เวลาการตกของฝน และมีปริมาณความชื้นในดินบริเวณป่าดิบแล้งมากกว่าป่าเต็งรัง สวนตามระดับ ความลึกของดินนั้น พบว่าในบริเวณป่าเต็งรังปริมาณความชื้นในดินจะมากขึ้น เมื่อดินลึกลงไป สวนในบริเวณป่าดิบแลง พบว่า ปริมาณความชื้นในดินจะลดลงเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น

ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ และคณะ (2557) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชนที่ดินและการพัฒนาพื้นที่อย่างรวดเร็ว 11 พัฒนาเพื่อรองรับกิจกรรมการทองเที่ยวในพื้นที่ตำบลไทยสามัคคี อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมาพบว่า การสูญเสียดินจากพื้นที่ป่าธรรมชาติและป่าปลูกฟื้นฟูระบบนิเวศ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1 เซนติเมตรต่อปีและพื้นที่เกษตรกรรม มีค่าเฉลี่ยประมาณ 7 เซนติเมตรต่อปีซึ่งจัดอยู่ในระดับการสูญเสียดินรุนแรงมากที่สุด และเมื่อประเมินด้วยสมการสูญเสียดินสากล (USLE) พบว่าการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในระดับน้อยถึงรุนแรง

วรากร สุจิตร (2551) ศึกษาค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C–factor) และค่าดัชนีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP–factor) ทำการศึกษาระหว่างเดือนเมษายน ถึงสิงหาคม 2550 บนพื้นที่ความชัน 15%บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยวาง

แผนการทดลองแบบ CRD สำหรับข้าวโพดและถั่วเหลือง ตามช่วงการเติบโตของพืช 5 ระยะ ในแปลงทดลองขนาด 1×4 เมตร จำนวน 5 ตำรับ 3 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า C–factor และCP–factor เฉลี่ยสูงสุดของข้าวโพดอยู่ในระยะต้นอ่อนมีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.63 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในระยะเจริญเต็มที่มีค่าเท่ากับ 0.59 และ 0.40 ตามลำดับ สำหรับ C–factor และ CP–factor ของถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.81 และ 0.55 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระยะต้นอ่อน และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.52 และ0.37 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระยะเจริญเต็มที่เช่นเดียวกัน และพบว่า แปลงข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ปลูกตามแนวระดับขอบเขา (contouring) สามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลง (bare soil) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง พบว่า แปลงปลูกถั่วเหลืองสามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าแปลงปลูกข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่เมื่อเปรียบเทียบ C–factor และ CP–factor ในแต่ละช่วงการเติบโตของพืช พบว่า C–factor และ CP–factor ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดทำการวางแปลงศึกษาการสะสมตะกอนของโครงการวนประชารัฐ โดยทำศึกษาและเก็บข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมทำการโดยเปรียบเทียบพื้นที่ป่าที่ปลูกตามแนวลาดชันปกติและปลูกป่าแบบขั้นบันไดซึ่งได้ประเมินและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตะกอนสะสมที่ผิวดินต่อระดับความชันของปลูกป่าแบบขั้นบันไดและป่าปลูกตามแนวลาดชันปกติซึ่งมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. วัสดุ อุปกรณ์
   - 1.1 แผ่นเมทัลชีท ขนาด 30*500 เซนติเมตร
   - 1.2 แผ่นเมทัลชีท ขนาด 30*100 เซนติเมตร
   - 1.3 ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
   - 1.4 ข้อต่อ PVC สามทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
   - 1.5 ข้อต่อ PVC ข้องอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
   - 1.6 เหล็กตัวซี ขนาด 60x30x10 มม
   - 1.7 ผ้าท่อส่งน้ำ
   - 1.8 ถังเก็บน้ำขนาด 200 ลิตร
   - 1.9 ฟิวเจอร์บอร์ด
2. เครื่องมือ
   - 2.1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
   - 2.2 เครื่อง Thermometer
   - 2.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน
   - 2.4 เครื่อง pH meter
   - 2.5 เครื่อง EC meter
   - 2.6 เครื่องวัดความแข็งดิน Hardness
   - 2.7 เครื่องวัดแรงเฉือนดิน Venshear

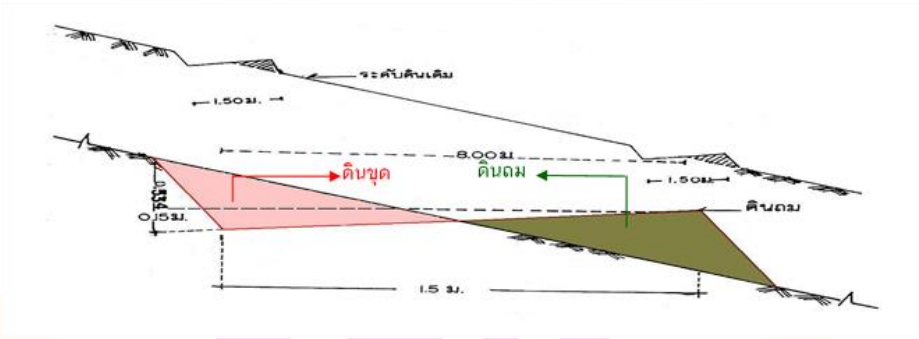
ภาพ 7 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ข้อมูลพื้นที่เป้าหมาย แผนที่และพิกัด

พื้นที่ในการวางแปลงการสูญเสียหน้าดินที่วนประชารัฐ (ป่าขั้นบันได) ในโครงการป่าต้นน้ำเพื่อชีวิตที่ดีขึ้น การคัดเลือกพื้นที่ พิจารณาโดยลักษณะพื้นที่ดังกล่าว ต้องเป็นพื้นที่มีความสม่ำเสมอและมีความลาดเทตั้งแต่ 25 % ซึ่งพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในโครงการวนประชารัฐ (ป่าขั้นบันได) ในพื้นที่ฐานปฏิบัติการฟื้นฟูป่าต้นน้ำจังหวัดลำปาง ที่ 1 ตำบลทุ่งผึ้ง อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ความสูงจากระดับน้ำทะเล 406 เมตร พิกัด X:567085 Y:2089633 ทำการปรับพื้นที่ตามแบบมาตรฐานการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีกลของกรมพัฒนาที่ดิน โดยใช้แบบคันดินแบบที่ 6 คันคูรับน้ำรอบเขาควรใช้กับพื้นที่ ๆ มีความลาดเทมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรดิน ขุด-ถม ประมาณ 0.2 ลูกบาศก์เมตร/เมตร

ปริมาตรดินขุด = 1/2 x ฐาน x สูง

= 1/2 x 0.75 x 0.534 x 1 (คิดความยาว 1 เมตร)



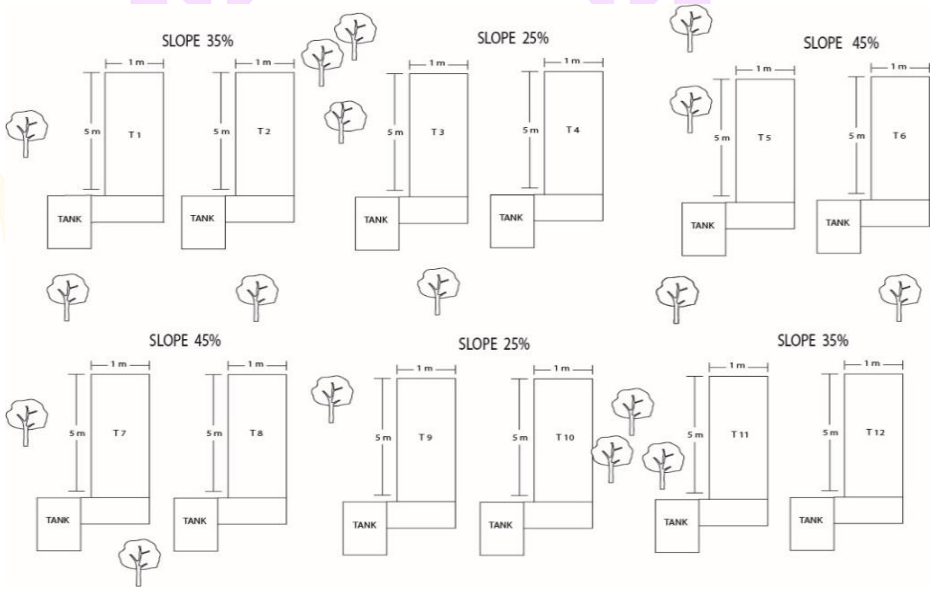
ภาพ 8 แสดงพิกัดการเก็บข้อมูลในพื้นที่วนประชารัฐ (ป่าขั้นบันได) ในพื้นที่ฐานปฏิบัติการฟื้นฟูป่าต้นน้ำจังหวัดลำปาง ที่ 1 ตำบลทุ่งผึ้ง อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง

การวางแปลงการศึกษา

การวางแปลงศึกษา ได้ใช้แปลงศึกษาการสูญเสียดินและน้ำ (Runoff and soil loss plots) ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 5 เมตร ตามวิธีการของ Morgan, 2005 และ CAZALAC. 2004. โดยใช้แผ่นเมทัลชีทขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ฝังลงไปในดิน 30 เซนติเมตร และ อยู่เหนือผิวดิน 20 เซนติเมตร ใช้ถังขนาด 100 ลิตร เป็นถังเก็บน้ำและตะกอนดิน ในพื้นที่เตรียมการปลูกป่าแบบตามแนวลาดชันและพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นไดที่มีความลาดชันแตกต่างกัน ที่ 25% 35% และ 45% โดยการวางแปลงศึกษาแบบสุ่มสมบูรณ์ CRD (Completely Randomized Design)

ตาราง 4 แสดงการวางแปลงศึกษา

ประเภทของพื้นที่วางแปลงศึกษา	ความลาดชันของแปลงศึกษา	จำนวนแปลงศึกษา	ขนาดแปลงศึกษา (เมตร)
พื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ	25% 35% 45%	12	1 x 5
พื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได	25% 35% 45%	12	1 x 5



ภาพ 9 แสดงแผนผังการวางแปลงศึกษาในพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได

ภาพ 10 แสดงพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได

ภาพ 11 แสดงพื้นที่ปลูกตามแนวลาดชันปกติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ประเมินค่าปริมาณดินที่สูญเสียจากสมการการสูญเสียดินสากล (Wischmeier and Smith ,1978)

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

เมื่อ

A = ปริมาณการสูญเสียดินต่อหน่วยของพื้นที่ซึ่งได้จากการคำนวณ ค่าปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยมีหน่วยเป็น ตัน/เฮกแตร์/ปี

R = ปัจจัยของน้ำฝนและการไหลบ่า (rain and run off factor)

K = ปัจจัยความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน

L = ปัจจัยความยาวของความลาดชัน (slope–length factor)

S = ปัจจัยความลาดชันของพื้นที่ (slope steepness factor)

C = ปัจจัยการจัดการพืช (cropping management factor)

P = ปัจจัยการปฏิบัติการป้องกันการชะล้างพังทลาย (erosion control practice) พลังน้ำฝน ที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน (R–factor) จากสมการ

$$R = 0.4669X - 12.1415 \quad (2)$$

เมื่อ

R คือ ค่าดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน

X คือ ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

อิทธิพลของความยาวและดีกรีความลาด โดยวัดความยาวความลาดชัน (λ) และเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน (s) จากแปลงทดลองแต่ละแปลง (LS–factor) จากสมการ

$$S = (0.43 + 0.30s + 0.043s2) / 6.613$$

$$L = (\lambda /22.13)0.5 \quad (3)$$

เมื่อ S คือ ปัจจัยความลาดชัน

สำหรับข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความลาดชันโดยเฉลี่ยของพื้นที่

ความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินจากแปลงทดลอง (soil erodibility factor, K–factor) จากสมการ

$$K = A / RLSCP \quad (4)$$

เมื่อ

A คือ น้ำหนักของตะกอนแห้งที่ได้จากแปลงทดลอง

R คือ ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน

LS คือ ดัชนีที่เกิดจากอิทธิพลของความยาวและดีกรีความลาดชัน

CP คือ ดัชนีพืชพรรณคลุมดิน

พืชพันธุ์ที่ปกคลุมและมาตรการอนุรักษ์ที่มีผลต่อการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (Soil and crop management factor, CP–factor) จากสมการ

$$CP = Acp / Abare - plot \quad (5)$$

เมื่อ Acp คือ น้ำหนักแห้งของตะกอนที่ได้จากแปลงทดลองที่มีพืชพันธุ์และสิ่งปกคลุมดินปกคลุมในที่ลาดชัน มีหน่วยเป็นตัน/เฮกตาร์

Abare – plot คือ น้ำหนักแห้งของตะกอนที่ได้จากแปลงทดลองของพื้นที่เปิดโล่งตามแนวลาดชัน (bare soil) มีหน่วยเป็นตัน/เฮกตาร์

ปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมในดิน (Hoyle, 2013)

Soil Carbon Stock (tonnes/ha) = % OC x Bulk Density x ความลึกในการเก็บดิน (m) x 10,000 m^2

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จะทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยวิธี One–Way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error, SE) ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ($P \leq 0.05$) โดยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 26

ตาราง 5 แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีการตรวจวิเคราะห์ผลการวิจัย

พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวัด
ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา	
ปริมาณน้ำฝน	เครื่องวัดน้ำฝนแบบธรรมดา
ข้อมูลทางกายภาพของดิน	
ความหนาแน่นของดิน (Bulk density)	ใช้กระบอกดิน (Core method)
ค่าความแข็งดิน (Soil hardness capacity)	soil hardness Meter ยี่ห้อ Daiki รุ่น Dik–5553
สัดส่วนของโครงสร้างดิน	ใช้กระบอกดิน (Core method)
ความชื้นของดิน (Soil moisture)	ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ labtech รุ่น LDO–250F
ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Surface Runoff)	ตรวจวัดโดยใช้การตวงจากแปลงทดลอง
ปริมาณตะกอนแขวนลอย	APHA, AWWA and WEF, 1995

ตาราง 5 (ต่อ)

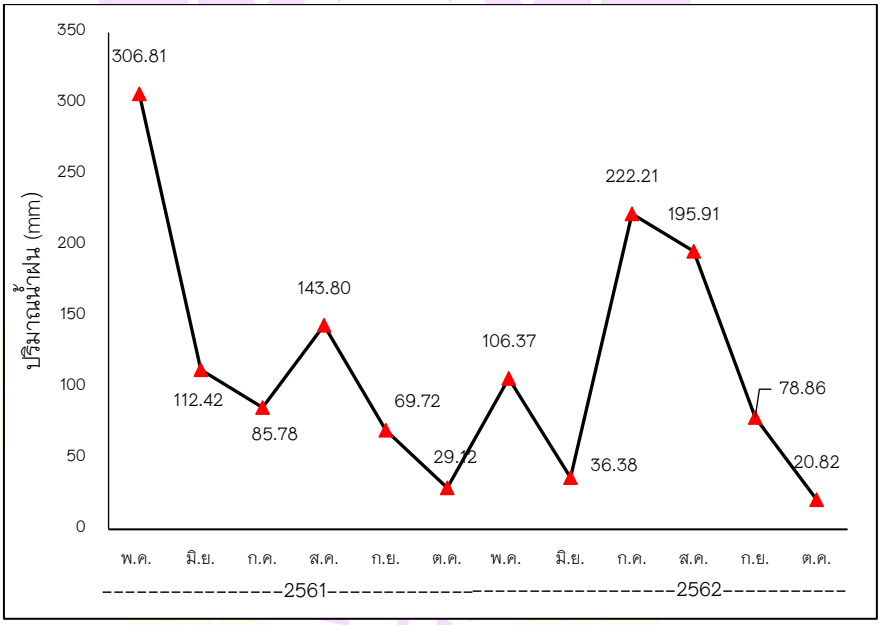
พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวัด
ข้อมูลทางเคมีของดิน	
ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	Redox pH–meter ดิน:น้ำ 1:1 (Chapman, 1965)
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	Electrical Conductivity
อินทรียวัตถุในดิน (OM)	Walkley และ Black titration (Walkley และ Black, 1934)
ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	Redox pH–meter ดิน:น้ำ 1:1 (Chapman, 1965)
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	Micro Kjedahl Method
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P)	Ascorbic Method
ปริมาณฟอสฟอรัส (P)	สกัดน้ำยา Bray II แล้ววัดด้วย Spectrophotometer
โพแทสเซียม (K)	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนจากการเก็บตัวอย่าง

จากการวัดปริมาณน้ำฝนบริเวณแปลงทดลองในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561–ตุลาคม พ.ศ. 2562 พบว่า ปริมาณน้ำฝนหน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าขั้นบันได มีค่าอยู่ในช่วง 20.80 มิลลิเมตร – 306.84 มิลลิเมตร ส่วนปริมาณน้ำฝนหน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 20.83–306.78 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณน้ำฝนตกมากในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2561 และ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562

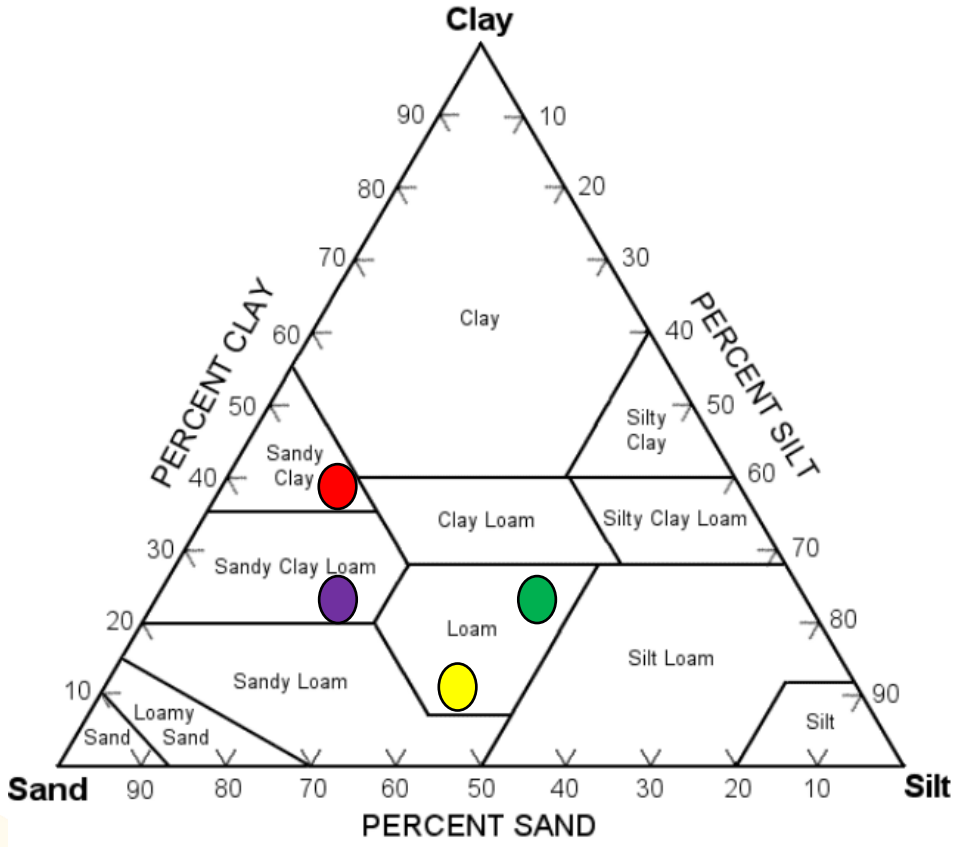


ภาพ 12 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน

เนื้อดิน (Soil Texture)

ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลเนื้อดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยพบว่าเนื้อดิน ระดับ 0–5 เซนติเมตร เป็นดินชนิดดินเหนียวปนทราย เนื้อดิน ระดับ 5–15 เซนติเมตรและเนื้อดิน ระดับ 15–35

เซนติเมตร มีลักษณะเนื้อดินเป็นชนิด ดินร่วน ส่วนเนื้อดิน ระดับ 35–50 เซนติเมตร ดินร่วนเหนียวปนทราย



ภาพ 13 แสดงข้อมูลเนื้อดินพื้นที่ศึกษาวิจัย

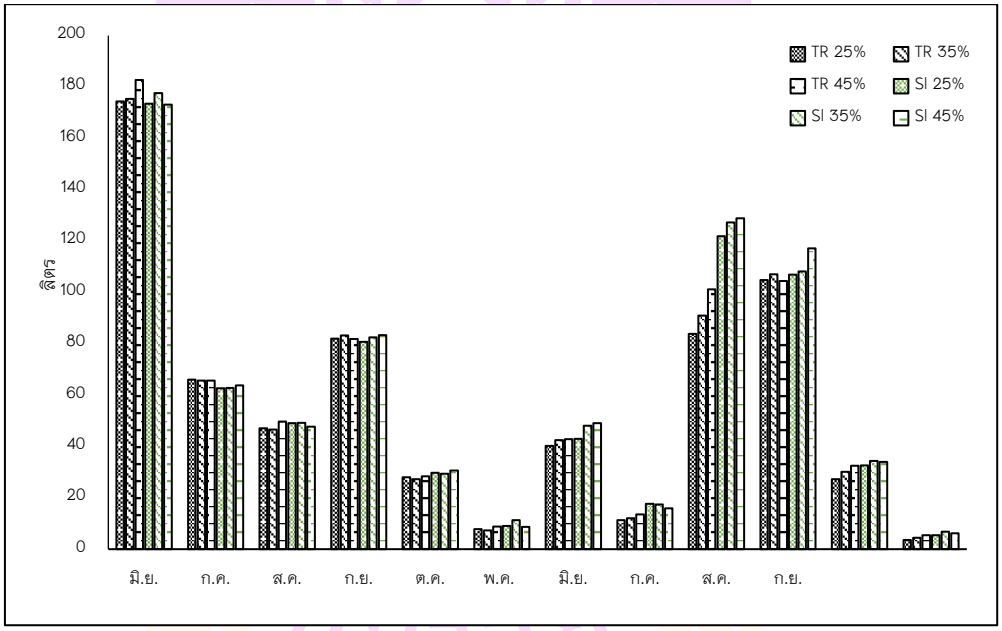
หมายหตุ:

- เนื้อดิน ระดับ 0–5 เซนติเมตร
- เนื้อดิน ระดับ 5–15 เซนติเมตร
- เนื้อดิน ระดับ 15–35 เซนติเมตร
- เนื้อดิน ระดับ 35–50 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Surface Runoff)

จากการศึกษาทดลองในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการศึกษาปริมาณ

น้ำไหลบ่าผิวดิน แปลงปลูกป่าขั้นบันไดโดยดำเนินการศึกษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน ในหน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 3.63±0.16 ลิตรและมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 182.75±2.50 ลิตร หน่วยการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 35% (TR 35%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 4.45±0.27 ลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 175.33±3.20 ลิตร แปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 5.50±0.35 ลิตร มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 182.75±2.50 ลิตรแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 25% (SL 25%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 5.50±0.67 ลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 173.53 ±7.81 ลิตร แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 35% (SL 35%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6.83±0.18 ลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 177.55 ±2.66 ลิตร แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 45% (SL 45%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6.18±0.40 ลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 173.06 ±6.38 ลิตร



ภาพ 14 ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

การวิเคราะห์ความหนาแน่นดิน (Bulk density)

จากการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของ

ดินมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองความหนาแน่นของดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.79±0.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 35 % (TR 35%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2.28±0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.73±0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2.08±0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.78±0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 35 % (TR 35%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2.34±0.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%)

ตาราง 6 ค่าความหนาแน่นดิน

หน่วยการทดลอง	**ความหนาแน่นดิน** (g/cm^3)		
	ก่อนการทดลอง	**ระหว่างการทดลอง**	**หลังการทดลอง**
TR 25%	1.85±0.03^{b}	1.83±0.05^{b}	1.85±0.02^{b}
TR 35%	1.79±0.07^{b}	1.82±0.05^{b}	1.78±0.04^{b}
TR 45%	2.28±0.29^{a}	2.02±0.03^{a}	1.78±0.08^{b}
SI 25%	1.81±0.04^{b}	1.73±0.01^{b}	2.34±0.16^{a}
SI 35%	1.82±0.02^{b}	1.82±0.05^{b}	2.34±0.08^{a}
SI 45%	2.08±0.03^{ab}	2.08±0.04^{a}	2.26±0.10^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วย วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ความแข็งดิน (Soil Hardness)

จากการตรวจวัดค่าความแข็งดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตาม

แนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าความแข็งดิน มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองความแข็งดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 4.40±0.31กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 4.80±0.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%)ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 5.40±0.38 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 6.13±0.43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 35 % (TR 35%)หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 6.60±0.22 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 10.10±0.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%)

ตาราง 7 ค่าความแข็งดิน

หน่วยการทดลอง	**ความแข็งดิน (kg/cm^3)**		
	ก่อนการทดลอง	**ระหว่างการทดลอง**	**หลังการทดลอง**
TR 25%	4.40±0.31^{b}	5.33±0.47^{ns}	10.10±0.41^{a}
TR 35%	5.50±0.45^{a}	6.13±0.43^{ns}	9.10±0.38^{ab}
TR 45%	4.30±0.30^{b}	5.40±0.38^{ns}	8.20±0.29^{bc}
SI 25%	4.60±0.31^{ab}	5.73±0.36^{ns}	7.20±0.47^{cd}
SI 35%	4.80±0.29^{ab}	5.53±0.40^{ns}	6.90±0.31^{d}
SI 45%	4.80±0.29^{ab}	5.60±0.35^{ns}	6.60±0.22^{d}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วย วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในดิน (Soil Moisture)

จากการตรวจวัดค่าความชื้นในดินมีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าความชื้นในดินมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองความชื้นในดินค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 147.03±2.67 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 35 % (TR 35%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 74.56±3.66 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 48.77±5.28 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 35% (SL 35%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 71.24±9.98 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 14.68±0.58 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 35% (SL 35%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 28.61±3.98 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%)

ตาราง 8 ค่าความชื้นในดิน

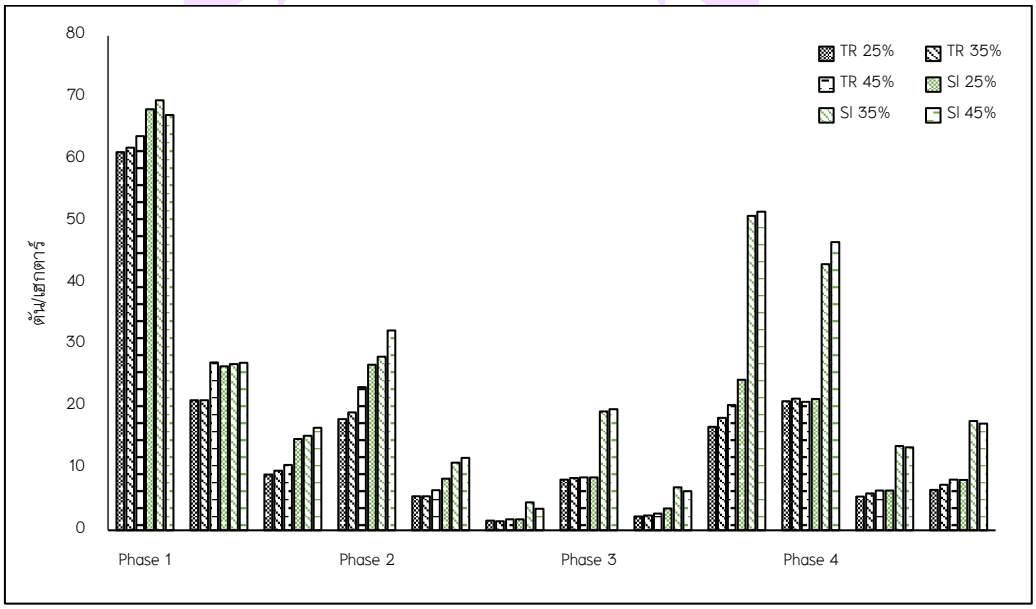
หน่วยการทดลอง	ความชื้นดิน (%)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	48.05±3.50^{b}	59.48±7.76^{ab}	28.61±3.98^{a}
TR 35%	47.03±2.67^{b}	48.77±5.38^{b}	25.78±2.00^{a}
TR 45%	74.56±3.66^{a}	71.24±3.98^{a}	25.32±4.39^{a}
SI 25%	73.58±11.35^{ab}	57.96±9.22^{ab}	14.81±0.85^{b}
SI 35%	56.78±4.20^{bc}	48.77±5.28^{b}	14.68±0.58^{b}
SI 45%	69.63±1.92^{ab}	71.24±9.98^{a}	15.38±0.79^{b}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วย วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนดิน (Sediment yield)

จากการศึกษาทดลองในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการศึกษาปริมาณตะกอนดิน แปลงปลูกป่าขั้นบันไดโดยดำเนินการศึกษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่าปริมาณตะกอนดินในหน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 3.14 ± 0.08^{ab} ตัน/เฮกตาร์ และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 122.36 ± 1.89^{b} ตัน/เฮกตาร์ หน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าขั้นบันได 35% (TR 35%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 2.93 ± 0.12^{bc} ตัน/เฮกตาร์ และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 123.78 ± 1.10^{b} ตัน/เฮกตาร์ แปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 3.53 ± 0.15^{a} ตัน/เฮกตาร์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 127.55 ± 0.91^{a} ตัน/เฮกตาร์ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 25% (SL 25%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 3.60 ± 0.06^{a} กิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 136.24 ± 2.55^{c} ตัน/เฮกตาร์ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 35% (SL 35%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 7.08 ± 0.55^{a} ตัน/เฮกตาร์ และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 139.11 ± 2.55^{c} ตัน/เฮกตาร์ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 45% (SL 45%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6.94 ± 0.14^{c} ตัน/เฮกตาร์ และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 134.56 ± 0.24^{ab} ตัน/เฮกตาร์

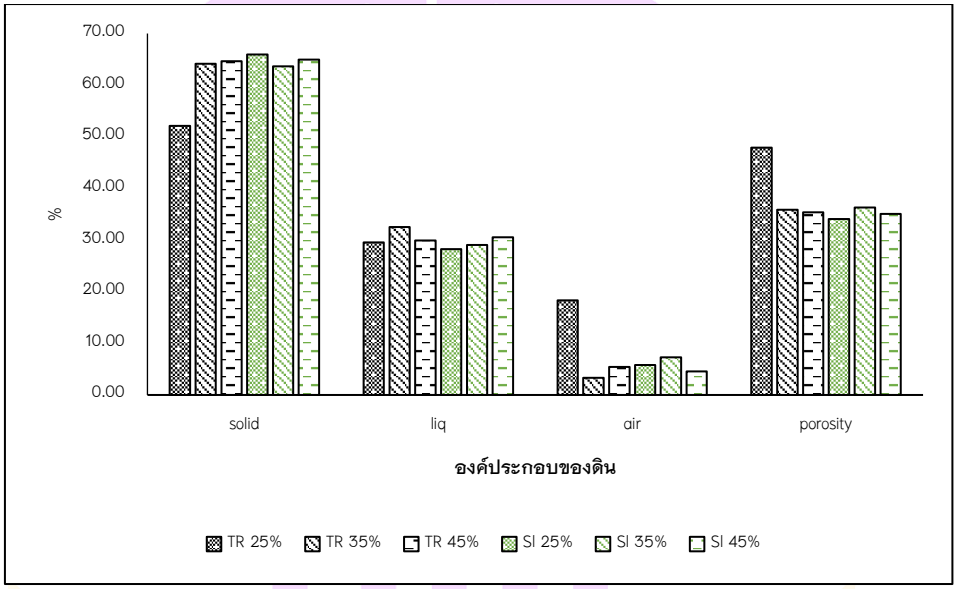


ภาพ 15 ปริมาณตะกอนดิน

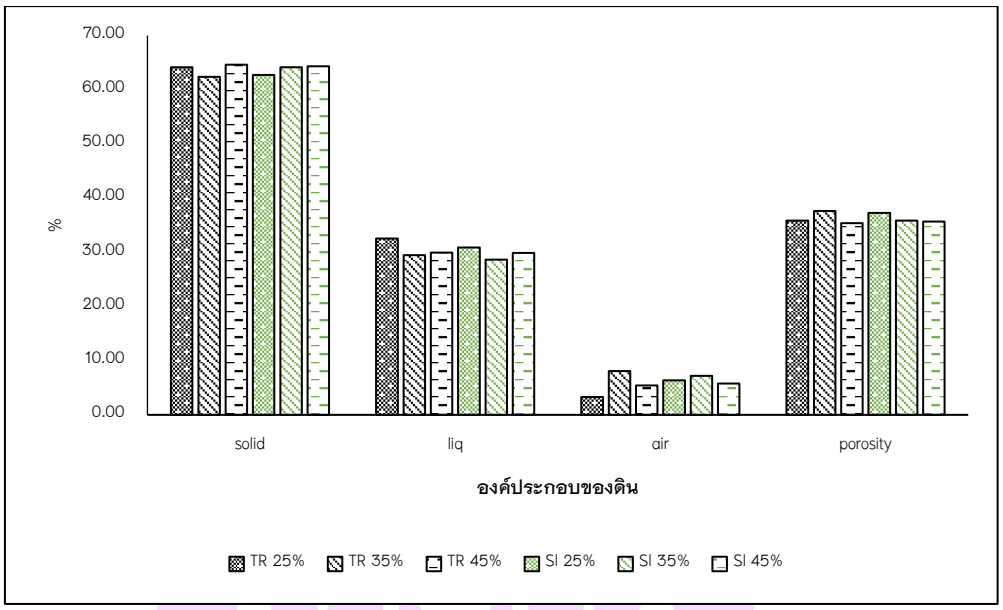
การวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน (Soil three phase)

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินองค์ประกอบในดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35% และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของดินมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองหน่วยการทดลอง SL 25% มีปริมาณของแข็งมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 45%, TR 45%, TR 35%, SI 35%, TR 25%, โดยมีปริมาณของแข็ง เท่ากับ 65.91±0.67, 64.92±0.43, 64.64±0.71, 64.15±1.13, 63.68±0.25, 52.12±8.19 เปอร์เซ็นต์ หน่วยการทดลอง TR 35% มีปริมาณของเหลวมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 45%, TR 45%, TR 25%, SI 35%, SI 25% เท่ากับ 30.55±1.39, 29.93±1.97, 9.53±2.56,9.03±0.85, 28.26±1.48 เปอร์เซ็นต์ หน่วยการทดลอง TR 25% มีปริมาณอากาศมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 35%, SI 25%, TR 45%, SI 45%, TR 35% โดยมีปริมาณของอากาศเท่ากับอ 18.35±7.22, 7.30±0.63, 5.82±1.12, 5.42±1.82, 4.53±1.82, 3.32±1.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หน่วยการทดลอง TR 25% มีความพรุนของดินมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 35%, TR 35%, TR 45%, SI 45%, SI 25% เท่ากับ 47.88±8.19, 36.32±0.25, 35.85±1.13, 35.36±0.71, 35.08±0.43, 34.09±0.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ช่วงระหว่างการทดลองหน่วยการทดลอง TR 45% มีปริมาณของแข็งมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 45%, TR 25%, SI 35%, SI 25%, TR 35% เท่ากับ 64.64±0.71, 64.34±1.10, 64.15±1.13, 64.14±0.14, 62.74±2.93, 62.40±3.11 เปอร์เซ็นต์ หน่วยการทดลอง TR 45% มีปริมาณของเหลวมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 45%, TR 25%, SI 35%, SI 25%, TR 35% เท่ากับ 64.64±1.97, 64.34±2.63, 64.15±2.02, 64.14±1.58 , 62.74±1.31, 62.40±2.82 เปอร์เซ็นต์ หน่วยการทดลอง TR 35% มีปริมาณอากาศมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 35%, SI 25%, SI 45%, TR 45%, TR 25% เท่ากับ 8.11±2.28, 6.35±1.64, 7.21±1.57, 3.32±1.53, 5.78±2.33, 5.42±1.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หน่วยการทดลอง TR 35% มีความพรุนของดินมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 25%, SI 35%, TR 25%, SI 45%, TR 45% เท่ากับ 37.60±3.11, 37.26±2.93, 35.86±0.14, 35.85±1.13, 35.66±1.10, 35.36±0.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ช่วงหลังการทดลองหน่วยการทดลอง SI 25% มีปริมาณของแข็งมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 45%, SI 35%, TR 45%, TR 35%, TR 25% เท่ากับ 65.14±0.60, 64.24±0.88, 63.92±0.65, 63.05±2.99, 53.02±6.44, 42.66±9.40 เปอร์เซ็นต์ หน่วยการทดลอง TR 25% มีปริมาณของเหลวมากกว่าหน่วยการทดลอง SI 45%, TR 45%, SI 35%, TR 35%, SI 25%, เท่ากับ

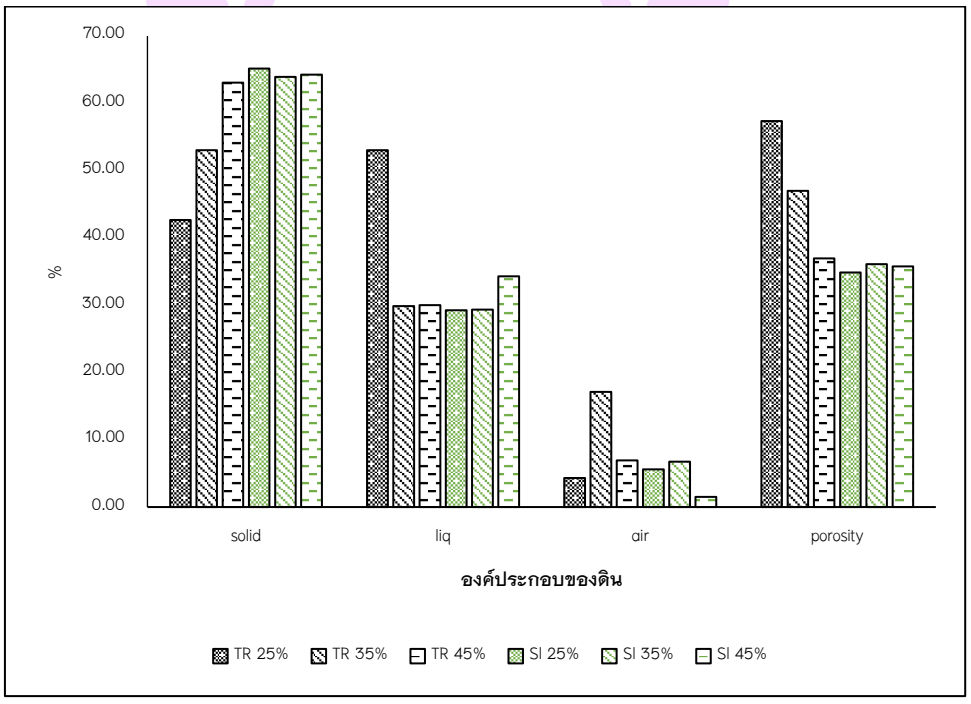
53.02±10.02, 34.27±0.81, 30.02±1.62, 29.84±0.41, 29.35±2.23, 29.24±1.81 เปอร์เซ็นต์ หน่วยการทดลอง TR 35% มีปริมาณอากาศมากกว่าหน่วยการทดลอง TR 45%, SI 35%, SI 25%, TR 25%, SI 45%เท่ากับ 17.13±6.62, 6.93±1.60, 6.74±2.38, 5.62±2.22, 4.33±1.93, 1.49±0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หน่วยการทดลอง TR 25% มีความพรุนของดินมากกว่าหน่วยการทดลอง TR 35%, TR 45%, SI 35%, SI 45%, SI 25% เท่ากับ 57.34±9.40, 46.98±6.44, 36.95±2.99, 36.08±0.65, 35.76±0.88, 34.86±0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพ 16 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ก่อนการทดลอง



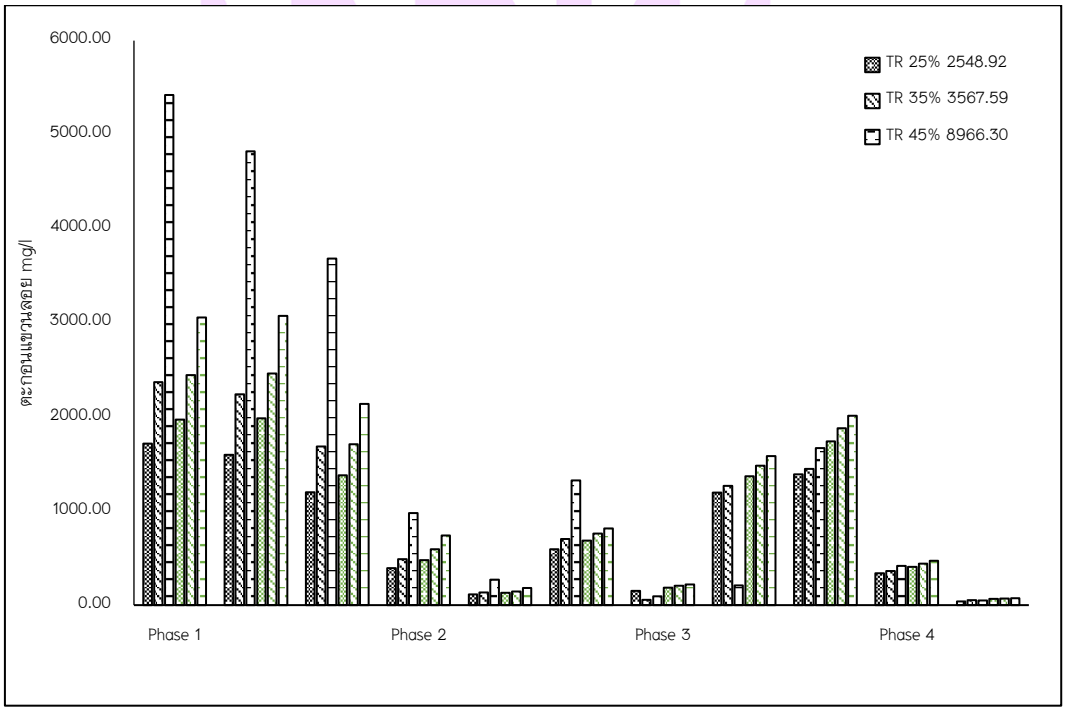
ภาพ 17 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ระหว่างการทดลอง



ภาพ 18 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) หลังการทดลอง

การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment)

จากการศึกษาทดลองในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอย แปลงปลูกป่าขั้นบันไดโดยดำเนินการศึกษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่าปริมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในหน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 39.47±7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2548.92±41.56 มิลลิกรัมต่อลิตร หน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าขั้นบันได 35% (TR 35%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 39.47±7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 3567.59±33.42 มิลลิกรัมต่อลิตร แปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 49.01±9.50 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 8966.30±123.15 มิลลิกรัมต่อลิตร แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 65.08±17.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2883.80±104.44 มิลลิกรัมต่อลิตร แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 35% (SL 35%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 70.29±18.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 3575.92±129.50 มิลลิกรัมต่อลิตร แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 75.21±20.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 4469.90±161.88 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพ 19 ปริมาณตะกอนแขวนลอย

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1. ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน (potential of hydrogen ion)

จากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35% และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดินมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 7.18±0.27 ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 35% (SL 35%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 7.78±0.14 ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 6.93±0.19 ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 7.32±0.17 ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 6.93±0.20 ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 7.32±0.20 ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%)

ตาราง 9 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน

หน่วยการทดลอง	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน (pH)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	7.33±0.09^{a}	6.93±0.19^{ns}	6.93±0.20^{ns}
TR 35%	7.73±0.16^{a}	7.08±0.19^{ns}	7.08±0.16^{ns}
TR 45%	7.50±0.07^{ab}	7.32±0.17^{ns}	7.32±0.20^{ns}
SI 25%	7.78±0.14^{ab}	7.30±0.05^{ns}	7.30±0.14^{ns}
SI 35%	7.18±0.27^{c}	7.24±0.01^{ns}	7.24±0.30^{ns}
SI 45%	7.48±0.08^{ab}	7.24±0.01^{ns}	7.24±0.19^{ns}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

2. ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electric conductivity)

จากการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองค่าการนำไฟฟ้าของดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 169.25±4.97 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 203.00±20.73 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 35 % (TR 35%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 135.25±4.11 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 182.50±.93 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 131.00±6.81 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 182.25±10.85 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%)

ตาราง 10 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน

หน่วยการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (µS/cm)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	174.50±3.71^{ab}	182.50±.93^{a}	182.25±10.85^{a}
TR 35%	203.00±20.73^{a}	162.75±4.78^{b}	163.50±7.58^{ab}
TR 45%	169.25±4.97^{c}	135.25±4.11^{c}	131.00±6.81^{c}
SI 25%	185.75±9.75 ^{ab}	164.50±3.43^{b}	133.50±10.82^{bc}
SI 35%	183.00±9.76 ^{ab}	163.50±6.03^{b}	144.75±3.04^{bc}
SI 45%	185.00±4.36 ^{ab}	167.00±9.16^{ab}	156.25±6.25^{bc}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

3. ค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter)

จากการตรวจวัดค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดิน มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.38±0.18 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 4.06±0.09 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.33±0.19 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 3.95±004 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 0.94±0.09 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2.96±0.16 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%)

ตาราง 11 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	2.64±0.34^{bc}	2.89±0.30^{b}	2.12±0.13^{b}
TR 35%	1.89±0.33^{cd}	1.44±0.21^{c}	1.26±0.19^{c}
TR 45%	1.38±0.18^{d}	1.33±0.19^{c}	0.94±0.09^{c}
SI 25%	4.06±0.09^{a}	3.95±004^{a}	2.96±0.16^{a}
SI 35%	3.28±0.16^{ab}	2.78±0.13^{b}	2.10±0.17^{b}
SI 45%	3.26±0.38^{ab}	2.76±0.05^{b}	2.62±0.09^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

4. ค่าปริมาณคาร์บอนในดิน (soil organic carbon)

จากการตรวจวัดค่าปริมาณคาร์บอนในดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าปริมาณคาร์บอนในดิน มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองค่าปริมาณคาร์บอนในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 0.80±0.11 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2.35±0.05 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 0.77±0.03 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2.29±0.07 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 0.54±0.05 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 1.72±0.10 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 25% (SL 25%)

ตาราง 12 ปริมาณคาร์บอนในดิน

หน่วยการทดลอง	**ปริมาณคาร์บอนในดิน** (%)		
	ก่อนการทดลอง	**ระหว่างการทดลอง**	**หลังการทดลอง**
TR 25%	1.53±0.20^{bc}	1.68±0.12^{b}	1.23±0.07^{b}
TR 35%	1.10±0.19^{cd}	0.83±0.11^{c}	0.73±0.11^{c}
TR 45%	0.80±0.11^{d}	0.77±0.03^{c}	0.54±0.05^{c}
SI 25%	2.35±0.05^{a}	2.29±0.07^{a}	1.72±0.10^{a}
SI 35%	1.90±0.09^{ab}	1.62±0.03^{b}	1.22±0.10^{b}
SI 45%	1.89±0.22^{ab}	1.60±0.07^{b}	1.52±0.05^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วย วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

5. ค่าปริมาณไนโตรเจนในดิน (Total nitrogen)

จากการตรวจวัดค่าปริมาณไนโตรเจนในดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าปริมาณไนโตรเจนในดิน มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองค่าปริมาณไนโตรเจนในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 3.27±0.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 5.86±0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 2.67±0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 5.67±0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.78±0.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 4.82±0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%)

ตาราง 13 ปริมาณไนโตรเจนในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนในดิน (mg/kg)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	5.86±0.27^{a}	5.67±0.16^{a}	4.82±0.20^{a}
TR 35%	4.27±0.05^{c}	4.67±0.18^{b}	4.04±0.11^{b}
TR 45%	3.27±0.41^{d}	2.67±0.21^{c}	1.78±0.12^{d}
SI 25%	5.12±0.21^{b}	4.52±0.15^{b}	3.36±0.13^{c}
SI 35%	4.49±0.22^{bc}	4.25±0.30^{b}	3.95±0.28^{b}
SI 45%	3.41±0.18^{d}	2.71±0.08^{c}	1.81±0.02^{d}

หมายเหตุ: *สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

6. ค่าปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (available phosphorous)

จากการตรวจวัดค่าปริมาณฟอสฟอรัสในดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าปริมาณฟอสฟอรัสในดิน มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองค่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 5.58±0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 5.58±0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 5.35±0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 11.16±0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) หลังการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 4.84±0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 9.68±0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%)

ตาราง 14 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (mg/kg)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	11.34±0.31^{a}	11.16±0.27^{a}	9.68±0.27^{a}
TR 35%	6.72±0.20^{cd}	7.15±0.07^{c}	6.10±0.30^{b}
TR 45%	5.58±0.29^{d}	5.35±0.22^{d}	4.84±0.07^{c}
SI 25%	10.25±0.78^{a}	9.91±0.49^{b}	9.64±0.25^{a}
SI 35%	7.49±0.35^{bc}	7.08±0.49^{c}	5.06±0.27^{c}
SI 45%	8.48±0.63^{b}	8.11±0.45^{c}	6.81±0.60^{b}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

7. ค่าปริมาณโพแทสเซียมในดิน (available potassium)

จากการตรวจวัดค่าปริมาณโพแทสเซียมในดิน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% จากการตรวจวัดค่าปริมาณโพแทสเซียมในดิน มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้ทำการเก็บผลการทดลอง 3 ช่วง คือ ก่อนการทดลอง ระหว่างทดลอง หลังการทดลอง พบว่าช่วงก่อนการทดลองค่าปริมาณโพแทสเซียมในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 71.30±3.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 109.53±2.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) ระหว่างการทดลอง ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 67.97±1.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 105.38±0.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 35 % (TR 35%) หลังการทดลองค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 62.61±3.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 97.28±0.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 35% (SL 35%)

ตาราง 15 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียมในดิน (mg/kg)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	109.53±2.70^{a}	101.26±1.75^{ab}	94.51±3.07
TR 35%	100.01±2.64^{b}	105.38±0.87a	93.47±1.02^{ab}
TR 45%	98.75±1.22^{b}	96.23±4.84^{b}	88.30±2.09^{b}
SI 25%	91.54±2.67^{b}	86.94±2.04^{c}	95.33±1.48^{ab}
SI 35%	94.42±4.92^{b}	97.49±3.95^{ab}	97.28±0.68^{a}
SI 45%	71.30±3.27^{c}	67.97±1.05^{d}	62.61±3.41^{c}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า

จากการตรวจวัดค่าสมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 หน่วยการทดลอง ได้แก่ แปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได ที่ความชัน 25% 35%และ 45% แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35%และ 45% มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าจากการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของน้ำไหลบ่า ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 7.16±0.03 ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 7.43±0.12 ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 131.25±7.87 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 139.50±17.75 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 35% (SL 35%)ค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 0.99±0.09 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 3.48±0.48 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%)ค่าปริมาณอินทรียคาร์บอนในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 0.57±0.05 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 0.57±0.05 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%)ไนโตรเจนในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1.95±0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 35% (SL 35%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 4.09±0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) ฟอสฟอรัสในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 4.55±0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45 % (TR 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 11.53±0.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) โพแทสเซียมในดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 55.94±1.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 99.28±0.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%)

ตาราง 16 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า

หน่วยการทดลอง	สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า			
	pH	EC(µS/cm)	OM(%)	OC(%)
TR 25%	7.16±0.03^{b}	124.00±10.98^{ns}	2.03±0.40^{b}	1.18±0.23^{b}
TR 35%	7.22±0.03^{b}	137.50±14.11 ^{ns}	1.38±072^{b}	0.80±0.42^{b}
TR 45%	7.43±0.12^{a}	132.25±8.16^{ns}	0.99±0.09^{a}	0.57±0.05b
SI 25%	7.18±0.06^{b}	131.25±12.29^{ns}	1.38±0.14^{b}	0.80±0.08^{b}
SI 35%	7.19±0.03^{b}	139.50±17.75^{ns}	1.46±0.08^{b}	0.84±0.05^{b}
SI 45%	7.22±0.06^{b}	131.25±7.87^{ns}	3.48±0.48^{b}	2.02±0.28^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 17 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า

หน่วยการทดลอง	สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า		
	N(mg/kg)	P(mg/kg)	K(mg/kg)
TR 25%	4.09±0.17^{a}	10.42±0.39^{a}	99.28±0.49^{a}
TR 35%	2.84±0.17^{b}	5.73±0.26^{cd}	89.96±2.14^{b}
TR 45%	3.43±0.53^{cd}	4.55±0.13^{d}	82.31±1.89^{c}
SI 25%	2.57±0.16^{bc}	7.84±0.31^{b}	67.13±0.97^{d}
SI 35%	1.95±0.15^{de}	6.45±0.48^{c}	84.75±2.34^{c}
SI 45%	4.09±0.06^{e}	11.53±0.66^{a}	55.94±1.75^{e}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

การประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation)

จากการประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation) โดยใช้ข้อมูลผลการศึกษาในหน่วยการทดลองแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดที่ความชัน 25% 35%และ 45% และแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความชัน 25% 35% และ 45% จากการคำนวนพบว่าหน่วยการทดลองที่มีการสูญเสียหน้าดิน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 352.94 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ในการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25 % (TR 25%) ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 100.24 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ในการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SI 45% (SL 45%)

ตาราง 18 การประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation)

	A	R	K	LS	CP	
หน่วยการทดลอง	ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง (ตัน/เฮกตาร์/ปี)	ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน(เมตริกตัน/เฮกตาร์/ปี)	ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน	ดัชนีความยาวและความลาดชัน	ดัชนีพืชพันธุ์คลุมดิน	ระดับชั้นการชะล้างพังทลาย (ดินที่สูญเสีย)
TR 25%	352.94	645.00	0.87	2.50	0.04	รุนแรงมากที่สุด
TR 35%	364.82	645.00	0.49	4.57	0.04	รุนแรงมากที่สุด
TR 45%	399.79	645.00	0.34	7.26	0.04	รุนแรงมากที่สุด
SI 25%	437.53	645.70	1.08	2.50	0.04	รุนแรงมากที่สุด
SI 35%	613.75	645.70	0.83	4.57	0.04	รุนแรงมากที่สุด
SI 45%	626.52	645.70	0.53	7.26	0.04	รุนแรงมากที่สุด

ที่มา: การจัดชั้นความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

การประเมินมูลค่าการบริการของพื้นที่ป่าต้นน้ำ

ผลการศึกษาประเมินมูลค่าการบริการของพื้นที่ป่าต้นน้ำได้คำนวนการสูญเสียดินโดยเทียบกับราคาการซื้อขายหน้าดินตามท้องตลาดราคาอยู่ที่ 66.67 บาท/ตัน พบว่าหน่วยการทดลองที่มีมูลค่าการสูญเสียดินมากที่สุด หน่วยการทดลอง TR45% เท่ากับ 41,769.90 บาท/เฮกตาร์/ปี และหน่วยการทดลอง TR 25% มีมูลค่าการสูญเสียดินน้อยที่สุด เท่ากับ

23,530.33 บาท/เฮกตาร์/ปี หากรวมมูลค่าการสูญเสียดินทั้งหมด เท่ากับ 186,365.28 บาท/เฮกตาร์/ปี

ตาราง 19 ประเมินมูลค่าการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจากการชะล้างพังทลายการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นจากการชะล้างพังทลาย

หน่วยการทดลอง	ค่าการสูญเสียดิน (ตัน/เฮกตาร์/ปี)	มูลค่าเทียบกับราคาซื้อขายดิน(บาท/ตัน)	มูลค่ารวม (บาท/เฮกตาร์/ปี)
TR 25%	352.94	66.67	23,530.33
TR 35%	364.82	66.67	24,322.33
TR 45%	399.79	66.67	26,653.86
SI 25%	437.53	66.67	29,170.02
SI 35%	613.75	66.67	40,918.84
SI 45%	626.52	66.67	41,769.90
	รวม		186,365.28

ผลการศึกษาประเมินมูลค่าการบริการของพื้นที่ป่าต้นน้ำได้คำนวนมูลค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์โดยใช้สมการ ปริมาณคาร์บอนที่เก็บในดิน soil carbon (tones/ha)=%OC*Bulk density*ความลึกในการเก็บดิน(m)*10,000 m^2 เทียบกับราคาการซื้อขายตลาดคาร์บอนจากโครงการ T-VER ราคา 25.15 บาท/ตัน พบว่าหน่วยการทดลองที่มีมูลค่าการสูญเสียมากที่สุด หน่วยการทดลอง TR45% เท่ากับ 44,827.36 บาท/เฮกตาร์/ปี และหน่วยการทดลอง TR 35% มีมูลค่าการสูญเสียน้อยที่สุด เท่ากับ TR 35% บาท/เฮกตาร์/ปี หากรวมมูลค่าการสูญเสียทั้งหมด เท่ากับ 207,469.06 บาท/เฮกตาร์/ปี

ตาราง 20 ประเมินมูลค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การประเมินการสูญเสียการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์			
หน่วยการทดลอง	**ปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมในดิน (ตัน co_2/เฮกตาร์/ปี)**	**ราคาตลาดคาร์บอนจากโครงการ T-VER (บาท/ตัน)**	**มูลค่ารวม (บาท/เฮกตาร์/ปี)**
TR 25%	1,363.40	25.15	34,289.51
TR 35%	796.50	25.15	20,031.98
TR 45%	723.43	25.15	18,194.35
SI 25%	2,040.00	25.15	51,306.00
SI 35%	1,543.53	25.15	38,819.86
SI 45%	1,782.40	25.15	44,827.36
	รวม		207,469.06

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

ปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.41 หมายความว่า หากปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินเพิ่มขึ้น 0.41 หน่วย

ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นดิน ปริมาณตะกอนดิน ปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.07 0.88 0.25 0.88 และ0.89 หมายความว่า หากปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ความหนาแน่นดิน ปริมาณตะกอนดิน ปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน เพิ่มขึ้น 0.07 0.88 0.25 0.88 และ0.89 หน่วย ตามลำดับ ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของแข็งดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.44 หมายความว่า หากปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบของแข็งดินเพิ่มขึ้น 0.44 หน่วย ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินมีความสัมพันธ์กับความชื้นดิน ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.77 และ0.79 หมายความ

ว่า หากปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นดิน ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดินลดลง0.77 และ0.79 หน่วย ตามลำดับ และปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบความพรุนดิน ปริมาณไนโตรเจนในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.44 0.43 และ0.41 หมายความว่า หากปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบความพรุนดิน ปริมาณไนโตรเจนในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง 0.44 0.43 และ0.41หน่วย ตามลำดับ

ความหนาแน่นดินมีสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.67 และ0.84 หมายความว่า หากความหนาแน่นดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน เพิ่มขึ้น 0.67 และ0.84 หน่วย ตามลำดับ ความหนาแน่นดินมีสัมพันธ์กับดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.50 หมายความว่า หากความหนาแน่นดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินเพิ่มขึ้น 0.50 หน่วย ความหนาแน่นดินมีสัมพันธ์กับความชื้นดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.75 หมายความว่า หากความหนาแน่นดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นดินลดลง 0.75 หน่วย

ความชื้นดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.58 และ0.61 หมายความว่า หากความชื้นดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น 0.58 และ0.61หน่วย ตามลำดับ ความชื้นดินมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบความพรุนในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.42 หมายความว่า หากความชื้นดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบความพรุนในดินเพิ่มขึ้น 0.42 หน่วย ความชื้นดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.66 และ0.74 หน่วย ตามลำดับ และความชื้นดินมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของแข็งในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.42 หมายความว่า หากความชื้นดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบความแข็งดินลดลง 0.42 หน่วย

ปริมาณตะกอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 1.00 และ0.81 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝนเพิ่มขึ้น 1.00 และ0.81 หน่วย ตามลำดับ ปริมาณตะกอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณออร์กานิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ดัชนีความยาวและความลาดชัน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.41 0.42 0.42 และ0.43 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณออร์กานิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ดัชนีความยาวและความลาดชันเพิ่มขึ้น 0.41 0.42 0.42 และ0.43 หน่วย ตามลำดับ ปริมาณตะกอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.76 และ0.60 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินลดลง 0.76 และ0.60 หน่วย ตามลำดับ ปริมาณตะกอนมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบความพรุนดิน และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.44 และ0.49 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบความพรุนดิน และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง 0.44 และ 0.49 หน่วย ตามลำดับ

องค์ประกอบของแข็งในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.45 และ0.48 หมายความว่าหากองค์ประกอบของแข็งในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝนเพิ่มขึ้น 0.45 และ0.48 หน่วย ตามลำดับ องค์ประกอบของแข็งในดินมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของเหลวในดิน องค์ประกอบความพรุนในดิน และปริมาณไนโตรเจนในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.80 1.00 และ0.52 หมายความว่า หากองค์ประกอบของแข็งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบ

ของเหลวในดิน องค์ประกอบความพรุนในดิน และปริมาณไนโตรเจนในดินลดลง 0.80 1.00 และ0.52 หน่วย ตามลำดับ

องค์ประกอบของเหลวในดินมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบความพรุนในดินและค่าการนำไฟฟ้าในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.80 และ0.61 หมายความว่า หากองค์ประกอบของเหลวในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบความพรุนในดิน และค่าการนำไฟฟ้าในดินเพิ่มขึ้น 0.80 และ0.61 หน่วย ตามลำดับองค์ประกอบของเหลวในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.41 หมายความว่า หากองค์ประกอบของเหลวในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น 0.41 หน่วย ตามลำดับ

องค์ประกอบอากาศในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.44 หมายความว่า หากองค์ประกอบอากาศในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลง 0.44 หน่วย ตามลำดับ

องค์ประกอบความพรุนในดินมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณไนโตรเจนในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.57 และ0.52 หมายความว่า หากองค์ประกอบความพรุนในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น 0.57 และ0.52 หน่วย ตามลำดับ องค์ประกอบความพรุนในดินมีความสัมพันธ์กับดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.48 หมายความว่า หากองค์ประกอบความพรุนในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝนลดลง 0.48 หน่วย

ปริมาณตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.43 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝนเพิ่มขึ้น 0.43 หน่วย ปริมาณตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดิน ปริมาณออร์กานิคคาร์บอนในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.43 และ0.43 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดิน ปริมาณออร์กานิคคาร์บอนในดินลดลง 0.43 และ0.43 หน่วย ตามลำดับ

ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณออร์กานิคคาร์บอนในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 1.00 หมายความว่า หากค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณออร์กานิคคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น 1.00 หน่วย

ค่าการนำไฟฟ้าในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.52 หมายความว่า หากค่าการนำไฟฟ้าในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น 0.52 หน่วย และค่าการนำไฟฟ้าในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในดิน และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.49 และ0.42 หมายความว่า หากค่าการนำไฟฟ้าในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในดินและปริมาณโพแทสเซียมของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น 0.49 และ0.42 หน่วย ตามลำดับ

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำไหลบ่าผิวดิน ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.61 0.60 0.73 0.72 หมายความว่า หากปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำไหลบ่าผิวดิน ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินเพิ่มขึ้น 0.61 0.60 0.73 0.72 หน่วย ตามลำดับ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.43 หมายความว่า หากปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอเพิ่มขึ้น 0.43 หน่วย และปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดิน และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.45 และ0.50 หมายความว่า หากปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดิน และปริมาณโพแทสเซียมของน้ำไหลบ่าผิวดินลดลง 0.45 และ0.50 หน่วย ตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาด

ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.64 0.68 0.68 และ0.56 หมายความว่า หากปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมสในดิน ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินเพิ่มขึ้น 0.64 0.68 0.68 และ0.56 หน่วย ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนในดินมีความสัมพันธ์กับดัชนีความยาวและความลาดชัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.83 หน่วย หมายความว่า หากปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีความยาวและความลาดชันลดลง 0.83 หน่วย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.52 และ0.70 หมายความว่าหากปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น 0.52 และ0.70 หน่วย ตามลำดับ

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.58 และ0.70 หมายความว่า หากปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณโพแทสเซียมของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น 0.58 และ0.70 หน่วย ตามลำดับ และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณออร์กานิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำไหลบ่าผิวดินและปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.65 0.65 0.54 0.50 หมายความว่า หากปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณออร์กานิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำไหลบ่าผิวดิน และปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลองลดลง 0.65 0.65 0.54 0.50 หน่วย ตามลำดับ

ปริมาณอินทรียวัตถุของน้ำไหลบ่าผิวดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณออร์การนิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 1.00 และ0.64 หมายความว่า หากปริมาณอินทรียวัตถุของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น

ส่งผลให้ออร์การนิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น 1.00 และ0.64 หน่วย ตามลำดับ

ปริมาณออร์การนิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.64 หมายความว่า หากปริมาณออร์การนิคคาร์บอนของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น 0.64 หน่วย

ปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมของน้ำไหลบ่าผิวดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.74 หมายความว่า หากปริมาณไนโตรเจนของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น 0.74 หน่วย

ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลองมีความสัมพันธ์กับดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.83 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝนเพิ่มขึ้น 0.83 หน่วย และปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลองมีความสัมพันธ์กับดัชนีความยาวและความลาดชัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.42 หมายความว่า หากปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีความยาวและความลาดชันเพิ่มขึ้น 0.42 หน่วย

ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝนมีความสัมพันธ์กับดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.46 หมายความว่า หากดัชนีพลังงานการชะล้างของฝนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินเพเมขึ้น 0.46 หน่วย

ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินมีความสัมพันธ์กับดัชนีความยาวและความลาดชัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยมีขนาดความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ขนาดความสัมพันธ์เท่ากับ 0.85 หมายความว่า ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดัชนีความยาวและความลาดชันลดลง 0.85 หน่วย

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดได้ทำการวางแปลงศึกษาในพื้นที่แปลงปลูกป่าขั้นบันได และ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ ที่ความลาดชัน 25% 35%และ 45% โดยทำศึกษาและเก็บข้อมูลทางสิ่งแวดล้อม ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินโดยเปรียบเทียบผลการศึกษาของพื้นที่แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติและพื้นที่แปลงปลูกป่าแบบขั้นบันไดโดยทำการประเมินและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตะกอนสะสมที่ผิวดินต่อระดับความชันของพื้นที่ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินและสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ปลูกป่าขั้นบันไดและพื้นที่แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ พบว่าจากการศึกษาปริมาณน้ำฝนบริเวณแปลงทดลองปริมาณฝนตกสะสมในแปลงปลูกป่าขั้นบันไดทั้งหมด 1407.46 มิลลิเมตร ส่วนในพื้นที่แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปริมาณฝนตกสะสมทั้งหมด 1408.96 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่วิจัยส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน พบว่าในช่วงระยะแรกของการทดลองหน่วยการทดลองที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน มากที่สุด คือ แปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) เท่ากับ 182.75 ลิตร ในช่วงระยะที่ 2 และระยะที่ 3 ของการทดลองมีค่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่ใกล้เคียงกัน ส่วนในระยะที่ 4 ของการทดลอง พบว่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน มากที่สุด คือ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 45% (SL 45%) มีค่าเท่ากับ 117.13 ลิตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ปริมาณตะกอนดิน พบว่าในช่วงระยะแรกของการทดลองหน่วยการทดลองที่มี แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 45% (SL 45%) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 134.56 ตัน/เฮกตาร์ในช่วงระยะที่ 2 และระยะที่ 3 ของการทดลองมีค่าปริมาณตะกอนดิน ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ คือ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 45% เท่ากับ 134.56 ตัน/เฮกตาร์ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่าปริมาณตะกอนดินจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน ปริมาณตะกอนแขวนลอย สมบัติทางกายภาพของดินเป็นดัชนีตัวชี้วัดการสูญเสียหน้าดินจากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นดิน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.73g/cm^3 ถึง 2.28g/cm^3 ความแข็งดิน 4.30 kg/cm^3 ถึง 10.10kg/cm^3 ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน ปริมาณความชื้นในดิน พบว่าอยู่ในช่วง 14.68 % ถึง 73.58 % องค์ประกอบของดินพบว่ามีปริมาณของแข็งอยู่ในช่วง 42.66 % ถึง 65.91 %

ปริมาณของเหลวอยู่ในช่วง 29.53 % ถึง 64.64 % ปริมาณอากาศ อยู่ในช่วง 1.49 (%) ถึง 18.35 % และค่าความพรุนของดิน อยู่ในช่วง 34.09 % ถึง 57.34 % ส่วนสมบัติทางเคมีของดินพบว่าค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน อยู่ในช่วง 6.93 ถึง 7.73 ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าอยู่ในระดับ เป็นกลาง ในทุกช่วงการทดลองและทุกหน่วยการทดลองค่าการนำไฟฟ้าของดิน 131.00 µS/cm ถึง 203.00 µS/cm ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าอยู่ในระดับ ไม่เค็ม ในทุกช่วงการทดลองและทุกหน่วยการทดลอง ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน อยู่ในช่วง 0.94 % ถึง 4.06 % ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าอยู่ในแปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) ในช่วงระยะแรกของการทดลองอยู่ในระดับค่อนข้างสูงและในระยะหลังค่าอินทรียวัตถุในดินมีค่าลดลง อยู่ในระดับปานกลาง แปลงปลูกป่าขั้นบันได 35%และ แปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) ,(TR 35%) ในช่วงระยะแรกของการทดลองอยู่ในระดับปานกลาง ในระยะกลางและระยะหลังค่าอินทรียวัตถุในดินมีค่าลดลงอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 25% (SL 25%) ในช่วงระยะแรกและระยะกลางของการทดลองอยู่ในระดับสูง และระยะหลังค่าอินทรียวัตถุในดินมีค่าลดลงอยู่ในระดับค่อนข้างสูง แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 35% (SL 35%) ในช่วงระยะแรกและระยะกลางของการทดลองอยู่ในระดับค่อนข้างสูง และระยะหลังค่าอินทรียวัตถุในดินมีค่าลดลงอยู่ในระดับปานกลาง แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 35% (SL 35%) ในช่วงระยะแรกและระยะกลางของการทดลองอยู่ในระดับสูง และระยะหลังค่าอินทรียวัตถุในดินมีค่าลดลง อยู่ในระดับ ค่อนข้างสูง ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีค่าแปรผันตรงกับค่าอินทรีย์คาร์บอนในดิน ปริมาณไนโตรเจนในดิน อยู่ในช่วง 1.78 mg/kg ถึง 5.86 mg/kg ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าอยู่ในระดับ ต่ำมาก ในทุกช่วงการทดลองและทุกหน่วยการทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในช่วง 4.84 mg/kg ถึง 11.34 mg/kg ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า แปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) ในช่วงแรกและช่วงระยะกลางของการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับปานกลาง และระยะหลังปริมาณฟอสฟอรัสในดิน มีค่าลดลงอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ แปลงปลูกป่าขั้นบันได 35% (TR 35%) ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ในทุกช่วงการทดลองและทุกหน่วยการทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันได 45% (TR 45%) ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับต่ำ ในทุกช่วงการทดลองและทุกหน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 25% (SL 25%) ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ในทุกช่วงการทดลองและทุกหน่วยการทดลอง แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 35% (SL 35%) ในช่วงแรกและช่วงระยะกลางของการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ

และระยะหลังปริมาณฟอสฟอรัสในดิน มีค่าลดลงอยู่ในระดับต่ำ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 45% (SL 45%) ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับปานกลาง ในทุกช่วงการทดลองและทุกหน่วยการทดลอง ปริมาณโพแทสเซียมในดินอยู่ในช่วง 62.61 mg/kg ถึง 109.53 mg/kg ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า แปลงปลูกป่าขั้นบันได 25% (TR 25%) TR 35%) และ(TR 45%)ในช่วงแรกและช่วงระยะกลางของการทดลองปริมาณโพแทสเซียมในดินอยู่ในระดับสูงและระยะหลังปริมาณฟอสฟอรัสในดิน มีค่าลดลงอยู่ในระดับค่อนปานกลางส่วนการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 25% (SL 25%) ปริมาณโพแทสเซียมในดินในช่วงแรกและช่วงระยะหลังของการทดลองปริมาณโพแทสเซียมในดินอยู่ในระดับสูง และระยะกลางปริมาณฟอสฟอรัสในดิน มีค่าอยู่ในระดับต่ำ แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 35% (SL 35%)ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับสูง ในทุกช่วงการทดลองแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ 45% (SL 45%)ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับปานกลาง ในทุกช่วงการทดลอง

2. ประเมินการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดและพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

ปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดและพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติที่มีความลาดชันของพื้นที่แตกต่างกันโดยพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได TR 25% มีการสูญเสียหน้าดินต่ำกว่าหน่วยการทดลองอื่น มีค่าเท่ากับ 352.94 ตัน/เฮกตาร์/ปี รองลงมาได้แก่พื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได TR 35% มีค่าเท่ากับ 364.67 ตัน/เฮกตาร์/ปี พื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันได TR 45% มีค่าเท่ากับ 399.81 ตัน/เฮกตาร์/ปี พื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SL 25% มีค่าเท่ากับ 437.50 ตัน/เฮกตาร์/ปี พื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SL 35% มีค่าเท่ากับ 613.75 ตัน/เฮกตาร์/ปี และพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ SL 45% มีค่าเท่ากับ 626.50 ตัน/เฮกตาร์/ปี ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย กรมพัฒนาที่ดิน พบว่าการสูญเสียดินอยู่ในระดับ รุนแรงมากที่สุด

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาทดลองพบว่าแปลงปลูกป่าขั้นบันได มีปริมาณตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันโดยที่แปรผันตรงกับระดับความชันโดยที่ ความชัน 25% มีปริมาณตะกอนและน้ำไหลบ่าผิวดินน้อยกว่าหน่วยการทดลองอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินของ (พิสิษฐ์ สินธุวนิช, 2556) ที่ความลาดชันมากกว่าร้อยละ 5 ขึ้นไป การใช้ที่ดินเป็นพืชไร่มีอัตราการสูญเสียดิน เท่ากับ 10.84–83.09 ตัน/ไร่/ปี และพื้นที่สวนยางพาราที่มีความลาดชันแตกต่างกัน คือ พื้นที่ที่มีความลาดชันเฉลี่ย 37.23 46.89 และ52.69% พบว่า

สวนยางพาราที่มีความลาดชันเฉลี่ย 52.69% มีการสูญเสียดินสูงถึง 137.6 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียดินระดับสูงตามเกณฑ์การแบ่งอัตราการสูญเสียดินของกรมพัฒนาที่ดิน รองลงมา คือ สวนยางพาราที่มีความลาดชันเฉลี่ย 46.89%และ 37.23% มีปริมาณการสูญเสียดิน 80.2 และ 60.2 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ (อานุช คีรีรัฐนิคม, 2554) อีกทั้งปัจจัยที่เป็นดัชนีตัวชี้วัดทางด้านกายภาพดินและเคมีของดินมีผลต่อการสูญเสียดินซึ่งหากปริมาณการไหลบ่าหน้าดินสูงอาจเกิดจากองค์ประกอบของดินเมื่อเกิดการไหลบ่าของน้ำผิวดินดินที่มีค่าความพรุนสูงจะทำให้ปริมาณน้ำในดินสูงขึ้น ดังนั้นค่าความแข็งและความหนาแน่นของดินจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทำให้ดินงานต่อการพังทลายและเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของดิน ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ อยู่ในช่วง 0.94 %– 4.06 % โดยพบว่าช่วงแรกปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ในรับค่อนข้างสูง และหลังจากนั้นค่อยลดลง ซึ่งเกิดจากสาเหตุจากการชะล้างบริเวณหน้าผิวดินทำให้อินทรีย์วัตถุลดลงมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินส่วนการประเมินการสูญเสียดินโดยสมการการสูญเสียดินสากล Universal Soil Loss Equation, USLE เป็นวิธีการที่ใช้ในการประเมินการสูญเสียดินระยะยาวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (Wischmeier and Smith,1978) ซึ่งมีการพัฒนาวิธีการพร้อมนำมาประยุกต์ใช้และปรับปรุง เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และปริมาณข้อมูลที่มีอยู่อย่างจากัดได้เป็นอย่างดี (Sonneveld and Nearing, 2002; Tran et al.,2002) โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ ค่าการสูญเสียดินในพื้นที่แปลงปลูกป่าขั้นบันไดและพื้นที่ปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติโดยนำปัจจัยดังกล่าวคูณกับปัจจัยอื่น ๆ โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานดังสมการ A = R x K x LS x C x P แปลงศึกษาส่วนใหญ่มีการสูญเสียดินในระดับรุนแรงถึงรุนแรงมาก (มากกว่า 20 ตัน/ไร่/ปี) เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา การประเมินค่าการสูญเสียดินจากสมการ (USLE) จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากแปลงทดลองหรือสูงกว่าความเป็นจริง แต่อย่างไรก็ตาม การประเมินค่าการสูญเสียดินด้วยสมการ (USLE) ยังคงเป็นที่ยอมรับในทั่วโลก เนื่องจากสมการ (USLE) เป็นระบบช่วยให้การปฏิบัติงานวางแผนจัดการที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ค่าการสูญเสียดินที่คำนวณได้จากสมการ (USLE) ในการศึกษาครั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการ เพื่อให้การคำนวณด้วยสมการ (USLE) มีความถูกต้องยิ่งขึ้น เช่น ค่า (K–factor) โดยไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณอินทรีย์ในดินเพื่อใช้เป็นค่าตัวคูณส่วนลด หรือค่า (C–factor) ที่ไม่มีค่ามาตรฐานของชนิดพันธุ์ ที่ปลูกในแปลงศึกษา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) กรมพัฒนาที่ดิน, (2543) ค่า K–factor ที่ใช้ในการคำนวณการสูญเสียดินใน USLE เป็นค่าที่ได้จากแผนภาพโนโมกราฟ ซึ่งมีค่าสูงกว่า K–factor ที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง ๆ ทั้งนี้วิธีที่ได้มาจากแผนภาพโนโมกราฟ เป็นการเลือกมาจาก

ผลการทดลองจากต่างประเทศ ซึ่งมีรากฐานการทดลองศึกษาในประเทศอเมริกา แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ศึกษานี้เป็นพื้นที่ป่าไม้ที่ผ่านสภาพการทำลายป่ามาแล้ว แตกต่างไปจากพื้นที่ศึกษาทดลองในการสร้างสมการ จึงทำให้การประเมินปัจจัยนี้จากแผนภาพโนโมกราฟน่าเป็นสาเหตุทำให้การสูญเสียดินสูงไปจากความเป็นจริง เน้นให้เห็นว่าความถูกต้องของการใช้ USLE ขึ้นอยู่กับการเลือกปัจจัยซึ่งต้องมีสภาพทางกายภาพ การจัดการว่าถูกต้องมากน้อยเพียงไรบนดินที่มีการประเมินค่าปัจจัยต่าง ๆ สำหรับบริเวณนั้น (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2526) หรือบางครั้งจำเป็นต้องประเมินค่าปัจจัยใหม่สำหรับบางปัจจัยดัดแปลงหรือปรับค่าใหม่สำหรับปัจจัยบางตัวซึ่งเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในที่อื่น ๆ โดยเฉพาะในประเทศภูมิภาคเขตร้อน (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527) จะเห็นได้จากเมื่อมีการนำ K–factor ที่ได้จากการทดลองเฉพาะในพื้นที่ศึกษา มาปรับใช้ใน USLE ปริมาณการสูญเสียดินจึงมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การศึกษาระยะเวลาในการวางแปลงศึกษาประเมินการสูญเสียหน้าดินให้มีความเหมาะสมกับลักษณะข้อมูลของพื้นที่ที่ศึกษา

2. สามารถใช้ข้อมูลที่ศึกษานำไปพัฒนาเพื่อประโยชน์ในการชะลอการพังทลายของดินในพื้นที่การเกษตรที่มีความลาดชัน และพื้นที่การเกษตรแบบปกติ (ในที่ราบ)

3. ควรจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ ตามความรุนแรงของการสูญเสียหน้าดินเพื่อดำเนินกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่จะแก้ไขปัญหาปัญหารการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และจัดทำแผนการดำเนินการในระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว เพื่อให้เกิดการพัฒนาและฟื้นฟูพื้นที่ป่าต้นน้ำอย่างยั่งยืนมากขึ้น

4. ข้อมูลจากการวิจัยการสูญเสียหน้าดินจะเกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาพื้นที่ป่านต้นน้ำนั้นจำเป็นต้องนำข้อมูลที่ได้แต่ละพื้นที่นำไปขยายผลและออกแบบให้สามารถจัดการพื้นที่ป่าต้นน้ำได้อย่างยั้งยืน

5. การนำวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำมาปรับใช้ในการแก้ปัญหาพื้นที่ต้นน้ำควรจะขยายผลให้เกษตรกรและชุมชนหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดูแลจัดการพื้นที่ป่ามีส่วนร่วมและเห็นความสำคัญของการอนุรักษ์ดินและน้ำ เป็นวิธีการ ที่ง่าย ลงทุนน้อย โดยการผสมผสานมาตรการวิธีกลและวิธีพืชเข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพ

6. การพัฒนาพื้นที่ควรนำทฤษฎีหรือหลักการจัดการพื้นที่ให้มีความยั้งยืนเช่น หลักการของระบบเกษตรมรดกโลก หลักทฤษฎีใหม่ของในหลวงรัชกาลที่ 9 มาประกอบในการออกแบบและจัดการพื้นที่

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. (2545). **การประเมินการสูญเสียดินในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กิตติพงษ์ พงษ์บุญ. (2543). บทบาทการทดแทนตามธรรมชาติต่อการสูญเสียดินและน้ำที่ศูนย์การพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. **วารสารวิชาการป่าไม้,** 2(1), 56–65.

สำนักงานโครงการสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี สำนักพระราชวัง. (2557). **คู่มือการปฏิบัติงานโครงการสร้างป่าสร้างรายได้ตามแนวพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. พิษณุโลก: หจก.โรงพิมพ์ตระกูลไทย.

จักรพงษ์ ไชยวงศ์. (2549). **การประมาณการไหลบ่าของน้ำและการสูญเสียดินในพื้นที่เกษตรที่สูงของจังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิติพัฒน์ นวนมะโน. (2556). **การชะล้างพังทลายของดินบนเขาคอหงส์และมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

จักรดุลย์ ศรีนนท์ และวิรัชชัย น้อยเอี่ยม. (2554). **การประเมินการสูญเสียดินบนพื้นที่ปลูกข้าวไร่ด้วยสมการการสูญเสียดินสากล อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์**. โครงงานวิจัย พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2527). **การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ ตั้งธรรม และอภินันท์ ขอพร. (2540). การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองปลูกพืชที่ใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบต่าง ๆ บนพื้นที่ลาดเขา โครงการทดลองจัดการลุ่มน้ำแม่สา จังหวัดเชียงใหม่. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์,** 31(3), 342–352.

บรรพต กุลสุวรรณ และวรากร ไม้เรียง. (ผู้บรรยาย). (2–4 พฤษภาคม 2548). การวิเคราะห์ตะกอนดินและหินที่เกิดจากการพิบัติของลาดเขา.ใน **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10.** (หน้า121–126.) ชลบุรี: โรงแรมแอมบาซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา.

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ. (2540). **ความชื้นในดินในป่าธรรมชาติของศูนย์การศึกษาการพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ บริเวณลุ่มน้ำห้วยไร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร.กลุ่มลุ่มน้ำ**. รายงานวิจัย, กรุงเทพฯ: สวนวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมป่า

ไม้ สำนักวิชาการป่าไม้กรมป่าไม้.

พิสิษฐ์ สินธุวนิช. (2556). การประเมินค่าอัตราการสูญเสียดินภาคตะวันออกของประเทศไทย. **วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.** 16, 1-9.

ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ, อรรถพร วารีรัตน์ และสุภาพ ปารมี (ผู้บรรยาย). (22-26 เมษายน 2558). ความชื้นดินในพื้นที่พัฒนาป่าไม้รูปแบบต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำห้วยฮ่องไคร้จังหวัดเชียงใหม่. **ในการประชุมการป่าไม้ประจำปี 2558 ป่าไม้ไทย ใครกำหนด.** (หน้า 12-23). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรากร สุจริต และนิมิต พุกงาม (ผู้บรรยาย). (29 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2551). การประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน และค่าดัชนีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดินสากลของพืชเกษตรชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกตามแนวระดับขอบเขา บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่. ใน**การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46** (หน้า 451-458). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภชาติ วรรณวงษ์ (ผู้บรรยาย). (16-17 กันยายน 2545). ความผันแปรของความชื้นในดินจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน แบบต่าง ๆ ที่ลุ่มน้ำภูเวียง จังหวัดขอนแก่น. ใน**การประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2545** (หน้า 280-287). เชียงใหม่: ศูนย์การศึกษาพัฒนาห้วยฮ่องไคร้.

สถาบันนโยบายศึกษา (ภายใต้มูลนิธิส่งเสริมนโยบายศึกษา). (2559). **ภูมิอากาศเปลี่ยน: ทางออกและข้อเสนอ.** กรุงเทพฯ: บริษัท พี.เพรส จำกัด.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2548). **สภาพปัญหาพื้นที่สูงปัจจุบัน.** สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2561, จาก https://www.hrdi.or.th/about/Highland. 20 เมษายน 2562.

สมเจตน์ จันทวัฒน์. (2526). **การอนุรักษ์ดินและน้ำ เล่มที่ 2**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักจัดการที่ดินป่าไม้. (2559). **การจัดการป่าไม้**. กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สุขทัย พงศพัฒนศิริ และอำนาจ ขาวเครือม่วง. (ผู้บรรยาย). (23-24 พฤษภาคม 2562). Thai GIAHS Goal ระบบการเกษตรมรดกโลกเพื่อความอยู่รอดของมนุษย์. ใน **การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 18.** (หน้า129-130) กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่ง ประเทศไทย โรงแรมเดอะ ทวินทาวเวอร์ รองเมือง กรุงเทพมหานคร.

Bray II, R.H. and L.T. Kurtz. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59, 39–45.

CAZALAC. (2004). **Simulador de lluvia, construcción y especificaciones**. Chile: Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC).

FAO. (2017). **Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS): Selection criteria and action plan**. Retrieved September 30, 2019, from: http://www.fao.org/giahs/become-a-giahs/selection-criteria-and-action-plan/en/.

Ghulam M. Hashim, et. al. (1995). Soil erosion process in sloping land in the east coast of Peninsular Malaysia. **Soil Technology.** 8, 215–233.

Hoyle, F. (2013). Managing soil organic matter report: A practical guide. **Grains Research and Development Corporation.** 5, 11–15.

Khaokhrueamuang. A. (2017). Agricultural heritage systems of orchard based on the concept of satoyama and sufficiency economy: Green tourism perspectives for Japan and Thailand. **Journal of Thai Interdisciplinary Research.** 12(3), 38–49.

Morgan, R.P.C. (2004). **Soil Erosion and Conservation.** 3rd. Australia: Blackwell Publishing company.

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. **SoilSci,** 37, 29–38.

Wischmeier, W.H, and Smith, D.D. (1978). **Predicting Rainfall Erosion Losses Guide to Conservation**. Washington, D.C: United States Department of Agriculture (USDA). Chapman.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลทางเคมีของพื้นที่ศึกษาวิจัย

ตาราง 21 แสดงปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน

ปี	เดือน	ปริมาณน้ำฝนจากการเก็บตัวอย่าง (มม.)	
		แปลงปลูกป่าขั้นบันได	แปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ
2561	พฤษภาคม	306.84	306.78
	มิถุนายน	112.48	112.37
	กรกฎาคม	85.94	85.63
	สิงหาคม	143.95	143.66
	กันยายน	69.00	70.44
	ตุลาคม	29.14	29.09
2562	พฤษภาคม	106.43	106.32
	มิถุนายน	36.36	36.40
	กรกฎาคม	221.75	222.68
	สิงหาคม	195.93	195.89
	กันยายน	78.84	78.88
	ตุลาคม	20.80	20.83
รวมทั้งหมด		1407.46	1408.96

ตาราง 22 ค่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

หน่วยการทดลอง	ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Surface Runoff) ปี 2561 (ลิตร)					
	Phase 1			Phase 2		
	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
TR 25%	174.40 ±2.81^{b}	66.05±0.82^{a}	47.10±0.42^{ab}	82.00±0.66^{ab}	28.00±0.48^{bc}	7.85±0.10^{bc}
TR 35%	175.33±3.20^{ab}	65.63±0.48^{ab}	46.53±0.34^{b}	83.20±0.73^{a}	27.30±0.29^{c}	7.33±0.15^{c}
TR 45%	182.75±2.50^{a}	65.65±0.12^{ab}	49.70±0.94^{a}	81.90±0.85 ^{ab}	28.38±0.58^{abc}	8.83±0.19 ^{bc}
SI 25%	173.53 ±7.81^{b}	62.70±0.40^{c}	49.03±1.33 ^{ab}	80.73±0.31^{b}	29.78±0.51^{ab}	9.00±0.07^{b}
SI 35%	177.55 ±2.66^{ab}	62.83±0.96^{c}	49.23±0.73 ^{ab}	82.50±0.65 ^{ab}	29.43±1.05 ^{abc}	11.30±1.18^{a}
SI 45%	173.06 ±6.38 ^{b}	63.83±0.26^{bc}	47.70±0.95^{ab}	83.30±0.68^{a}	30.65±1.16^{a}	8.68±0.23 ^{bc}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 23 ค่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในแปลงทดลองแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

หน่วยการทดลอง	ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Surface Runoff) ปี 2562 (ลิตร)					
	Phase 3			Phase 4		
	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
TR 25%	40.28±0.34^{b}	11.30±1.67^{c}	83.85±1.79^{e}	104.83±7.77^{ns}	27.30±0.66^{d}	3.63±0.16^{d}
TR 35%	42.43±1.89^{b}	12.10±0.57^{c}	90.90±1.80^{d}	107.05±1.28^{ns}	30.15±0.16^{c}	4.45±0.27^{cd}
TR 45%	42.88±1.71^{b}	13.53±0.13^{bc}	101.23±1.38^{c}	104.45±3.63 ^{ns}	32.45±0.52^{b}	5.50±0.35bc
SI 25%	42.93±0.43^{b}	17.70±0.69^{a}	121.90±0.20^{b}	106.85±4.12 ^{ns}	32.58±0.42^{b}	5.50±0.67^{bc}
SI 35%	48.08±0.42^{a}	17.45±0.39^{a}	127.23±1.37^{a}	108.20±1.65 ^{ns}	34.40±0.11^{a}	6.83±0.18^{a}
SI 45%	49.03±1.46^{a}	15.89±0.37^{ab}	128.84±1.32^{a}	117.13±1.83 ^{ns}	34.05±0.99^{ab}	6.18±0.40^{ab}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 24 ค่าความหนาแน่นดิน

หน่วยการทดลอง	ความหนาแน่นดิน (g/cm^3)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	1.85 ± 0.03^{b}	1.83 ± 0.05^{b}	1.85 ± 0.02^{b}
TR 35%	1.79 ± 0.07^{b}	1.82 ± 0.05^{b}	1.78 ± 0.04^{b}
TR 45%	2.28 ± 0.29^{a}	2.02 ± 0.03^{a}	1.78 ± 0.08^{b}
SI 25%	1.81 ± 0.04^{b}	1.73 ± 0.01^{b}	2.34 ± 0.16^{a}
SI 35%	1.82 ± 0.02^{b}	1.82 ± 0.05^{b}	2.34 ± 0.08^{a}
SI 45%	2.08 ± 0.03^{ab}	2.08 ± 0.04^{a}	2.26 ± 0.10^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 25 ค่าความแข็งดิน

หน่วยการทดลอง	ความแข็งดิน (kg/cm^3)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	4.40 ± 0.31^{b}	5.33 ± 0.47^{ns}	10.10 ± 0.41^{a}
TR 35%	5.50 ± 0.45^{a}	6.13 ± 0.43^{ns}	9.10 ± 0.38^{ab}
TR 45%	4.30 ± 0.30^{b}	5.40 ± 0.38^{ns}	8.20 ± 0.29^{bc}
SI 25%	4.60 ± 0.31^{ab}	5.73 ± 0.36^{ns}	7.20 ± 0.47^{cd}
SI 35%	4.80 ± 0.29^{ab}	5.53 ± 0.40^{ns}	6.90 ± 0.31^{d}
SI 45%	4.80 ± 0.29^{ab}	5.60 ± 0.35^{ns}	6.60 ± 0.22^{d}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 26 ค่าความชื้นในดิน

หน่วยการทดลอง	ความชื้นดิน (%)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	48.05±3.50^{b}	59.48±7.76^{ab}	28.61±3.98^{a}
TR 35%	47.03±2.67^{b}	48.77±5.38^{b}	25.78±2.00^{a}
TR 45%	74.56±3.66^{a}	71.24±3.98^{a}	25.32±4.39^{a}
SI 25%	73.58±11.35^{ab}	57.96±9.22^{ab}	14.81±0.85^{b}
SI 35%	56.78±4.20^{bc}	48.77±5.28^{b}	14.68±0.58^{b}
SI 45%	69.63±1.92^{ab}	71.24±9.98^{a}	15.38±0.79^{b}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 27 ปริมาณตะกอนดิน ปีที่ 1

หน่วยการทดลอง	ปริมาณตะกอนดิน (ตัน/เฮกตาร์)					
	Phase 1			Phase 2		
	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
TR 25%	122.36±1.89^{b}	42.10±0.56^{a}	18.07±0.34^{ab}	36.02±0.53^{a}	11.00±0.39^{a}	3.14±0.08^{ab}
TR 35%	123.78±1.10 ^{b}	42.13±0.32^{a}	19.28±0.28^{b}	38.13±0.56^{a}	11.02±0.23^{a}	2.93±0.12^{bc}
TR 45%	127.55±0.91^{a}	54.27±0.06^{b}	21.12±0.75^{a}	46.34±0.58^{b}	12.97±0.73^{a}	3.53±0.15^{a}
SI 25%	136.24±2.55^{c}	53.07±0.28^{c}	29.51±0.85^{C}	53.63±0.23^{c}	16.68±0.36^{a}	3.60±0.06^{a}
SI 35%	139.11±2.55^{c}	53.84±0.54^{c}	30.63±0.56^{C}	56.16±0.44^{c}	21.93±0.7^{b}	9.04±0.71^{ab}
SI 45%	134.39±2.28 ^{c}	54.21±0.14^{c}	33.22±0.65^{d}	64.64±0.44^{d}	23.48±0.7^{b}	6.94±0.14^{c}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 28 ปริมาณตะกอนดิน ปีที่ 2

หน่วยการทดลอง	ปริมาณตะกอนดิน (ตัน/เฮกตาร์)					
	Phase 3			Phase 4		
	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
TR 25%	16.40±0.27^{ab}	4.52±1.33^{b}	33.54±1.44^{e}	41.79±6.22^{a}	10.92±0.53^{c}	13.06±0.13^{c}
TR 35%	16.97±1.51^{a}	4.84±0.45^{b}	36.36±1.44^{d}	42.65± 1.03^{a}	11.98±0.13^{b}	14.74±0.22^{ab}
TR 45%	17.15±1.37^{a}	5.41±0.10^{b}	40.49±1.10^{b}	41.60± 3.80^{a}	12.92±0.41^{a}	16.44± 0.28^{a}
SI 25%	17.17±0.35^{a}	7.08±0.55^{a}	48.76±0.16^{a}	42.55±2.90^{a}	12.89±0.33^{a}	16.35±0.54^{a}
SI 35%	38.46±0.25^{c}	13.96±0.24^{b}	101.78±0.82^{c}	86.16±2.49^{b}	27.28±0.09^{cd}	35.40±0.11^{a}
SI 45%	39.22±2.28^{bc}	12.71±0.14^{b}	103.07±0.79^{c}	93.22±1.00^{b}	26.86± 0.50^{d}	34.56±0.24^{ab}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 29 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ก่อนการทดลอง

หน่วยการทดลอง	ก่อนการทดลอง			
	Solid (%)	Liquid (%)	Air (%)	Porosity (%)
TR 25%	52.12±8.19^{b}	29.53±2.56^{ns}	18.35±7.22^{a}	47.88±8.19^{a}
TR 35%	64.15±1.13^{a}	32.53±2.02^{ns}	3.32±1.53^{b}	35.85±1.13^{b}
TR 45%	64.64±0.71^{a}	29.93±1.97^{ns}	5.42±1.82^{b}	35.36±0.71^{b}
Sl 25%	65.91±0.67^{a}	28.26±1.48^{ns}	5.82±1.12^{b}	34.09±0.67^{b}
Sl 35%	63.68±0.25^{a}	29.03±0.85^{ns}	7.30±0.63^{b}	36.32±0.25^{b}
Sl 45%	64.92±0.43^{a}	30.55±1.39^{ns}	4.53±1.82^{b}	35.08±0.43^{b}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 30 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) ระหว่างการทดลอง

หน่วยการทดลอง	ระหว่างการทดลอง			
	Solid (%)	Liquid (%)	Air (%)	Porosity (%)
TR 25%	64.15±1.13^{ns}	64.15±2.02 ^{ns}	3.32±1.53^{ns}	35.85±1.13^{ns}
TR 35%	62.40±3.11^{ns}	62.40±2.82 ^{ns}	8.11±2.28^{ns}	37.60±3.11^{ns}
TR 45%	64.64±0.71^{ns}	64.64±1.97 ^{ns}	5.42±1.82^{ns}	35.36±0.71^{ns}
Sl 25%	62.74±2.93^{ns}	62.74±1.31 ^{ns}	6.35±1.64^{ns}	37.26±2.93^{ns}
Sl 35%	64.14±0.14^{ns}	64.14±1.58 ^{ns}	7.21±1.57^{ns}	35.86±0.14^{ns}
Sl 45%	64.34±1.10^{ns}	64.34±2.63 ^{ns}	5.78±2.33^{ns}	35.66±1.10^{ns}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 31 องค์ประกอบของดิน (Soil three phase) หลังการทดลอง

หน่วยการทดลอง	หลังการทดลอง			
	Solid (%)	Liquid (%)	Air (%)	Porosity (%)
TR 25%	42.66±9.40^{b}	53.02±10.02^{a}	4.33±1.93^{b}	57.34±9.40^{a}
TR 35%	53.02±6.44^{a}	29.84±0.41^{b}	17.13±6.62^{a}	46.98±6.44^{ab}
TR 45%	63.05±2.99^{a}	30.02±1.62^{b}	6.93±1.60^{b}	36.95±2.99^{b}
SI 25%	65.14±0.60^{a}	29.24±1.81^{b}	5.62±2.22^{b}	34.86±0.60^{b}
SI 35%	63.92±0.65^{b}	29.35±2.23^{b}	6.74±2.38^{b}	36.08±0.65^{b}
SI 45%	64.24±0.88^{a}	34.27±0.81^{b}	1.49±0.08^{b}	35.76±0.88^{b}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 32 ปริมาณตะกอนแขวนลอย

หน่วยการทดลอง	ตะกอนแขวนลอย (mg/l)					
	Phase 1			Phase 2		
	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
TR 25%	2548.92±41.56^{e}	1718.60±17.56^{e}	1596.67±30.75^{e}	1199.27±28.04^{e}	394.95±0.00^{e}	113.57±1.51^{d}
TR 35%	3567.59±33.42^{c}	2370.73±27.61^{c}	2241.02±40.55^{c}	1685.33±46.13^{c}	489.73±5.13^{d}	133.92±2.61^{c}
TR 45%	8966.30±123.15^{a}	5421.95±72.42^{a}	4824.07±217.29^{a}	3684.85±72.28^{a}	979.37±23.82^{a}	270.02±10.44^{a}
SI 25%	2883.80±104.44^{d}	1971.98±28.68^{d}	1984.28±76.64^{d}	1379.41±30.73^{d}	478.78±8.26^{d}	130.94±2.38^{c}
SI 35%	3575.92±129.50^{c}	2445.25±35.67^{c}	2460.51±76.64^{c}	1710.46±38.10^{c}	593.69±10.24^{c}	145.34±2.64^{c}
SI 45%	4469.90±161.88^{b}	3056.56±44.46^{b}	3075.64±95.15^{b}	2138.08±47.62^{b}	742.11±12.81^{b}	181.68±3.30^{b}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 33 ปริมาณตะกอนแขวนลอย

หน่วยการทดลอง	ตะกอนแขวนลอย (mg/l)					
	Phase 3			Phase 4		
	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
TR 25%	593.91±6.90^{c}	150.39±20.17^{b}	1197.08±184.60^{a}	1389.84±334.23^{ns}	339.28±73.36^{ns}	39.47±7.42^{ns}
TR 35%	704.02±34.91^{bc}	55.78±8.58^{c}	1269.23±219.06^{a}	1447.51±332.82^{ns}	361.14±78.23^{ns}	52.12±12.11^{ns}
TR 45%	1327.21±101.97^{a}	94.17±14.30^{c}	209.92±33.58^{b}	1670.51±433.43^{ns}	418.74±97.77^{ns}	49.01±9.50^{ns}
SI 25%	686.84±3.58^{bc}	186.10±18.65^{ab}	1371.00±213.46^{a}	1742.34±474.43^{ns}	407.66±89.86^{ns}	65.08±17.39^{ns}
SI 35%	762.40±398^{b}	206.58±20.70^{ab}	1480.68±230.53^{a}	1881.73±512.62^{ns}	440.28±97.05^{ns}	70.29±18.78^{ns}
SI 45%	815.77±4.26^{b}	221.04±22.15^{a}	1584.33±246.67^{a}	2013.45±548.50^{ns}	471.10±103.84^{ns}	75.21±20.09^{ns}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 34 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน

หน่วยการทดลอง	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนของดิน (pH)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	7.33±0.09^{a}	6.93±0.19^{ns}	6.93±0.20^{ns}
TR 35%	7.73±0.16^{a}	7.08±0.19^{ns}	7.08±0.16^{ns}
TR 45%	7.50±0.07^{ab}	7.32±0.17^{ns}	7.32±0.20^{ns}
SI 25%	7.78±0.14^{ab}	7.30±0.05^{ns}	7.30±0.14^{ns}
SI 35%	7.18±0.27^{c}	7.24±0.01^{ns}	7.24±0.30^{ns}
SI 45%	7.48±0.08^{ab}	7.24±0.01^{ns}	7.24±0.19^{ns}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 35 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน

หน่วยการทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (µS/cm)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	174.50±3.71^{ab}	182.50±.93^{a}	182.25±10.85^{a}
TR 35%	203.00±20.73^{a}	162.75±4.78^{b}	163.50±7.58^{ab}
TR 45%	169.25±4.97^{c}	135.25±4.11^{c}	131.00±6.81^{c}
SI 25%	185.75±9.75 ^{ab}	164.50±3.43^{b}	133.50±10.82^{bc}
SI 35%	183.00±9.76 ^{ab}	163.50±6.03^{b}	144.75±3.04^{bc}
SI 45%	185.00±4.36 ^{ab}	167.00±9.16^{ab}	156.25±6.25^{bc}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 36 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	2.64±0.34^{bc}	2.89±0.30^{b}	2.12±0.13^{b}
TR 35%	1.89±0.33^{cd}	1.44±0.21^{c}	1.26±0.19^{c}
TR 45%	1.38±0.18^{d}	1.33±0.19^{c}	0.94±0.09^{c}
SI 25%	4.06±0.09^{a}	3.95±004^{a}	2.96±0.16^{a}
SI 35%	3.28±0.16^{ab}	2.78±0.13^{b}	2.10±0.17^{b}
SI 45%	3.26±0.38^{ab}	2.76±0.05^{b}	2.62±0.09^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 37 ปริมาณคาร์บอนในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณคาร์บอนในดิน (%)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	1.53±0.20^{bc}	1.68±0.12^{b}	1.23±0.07^{b}
TR 35%	1.10±0.19^{cd}	0.83±0.11^{c}	0.73±0.11^{c}
TR 45%	0.80±0.11^{d}	0.77±0.03^{c}	0.54±0.05^{c}
SI 25%	2.35±0.05^{a}	2.29±0.07^{a}	1.72±0.10^{a}
SI 35%	1.90±0.09^{ab}	1.62±0.03^{b}	1.22±0.10^{b}
SI 45%	1.89±0.22^{ab}	1.60±0.07^{b}	1.52±0.05^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 38 ปริมาณไนโตรเจนในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนในดิน (mg/kg)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	5.86±0.27[a]	5.67±0.16[a]	4.82±0.20[a]
TR 35%	4.27±0.05[c]	4.67±0.18[b]	4.04±0.11[b]
TR 45%	3.27±0.41[d]	2.67±0.21[c]	1.78±0.12[d]
SI 25%	5.12±0.21[b]	4.52±0.15[b]	3.36±0.13[c]
SI 35%	4.49±0.22[bc]	4.25±0.30[b]	3.95±0.28[b]
SI 45%	3.41±0.18[d]	2.71±0.08[c]	1.81±0.02[d]

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 39 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (mg/kg)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	11.34±0.31[a]	11.16±0.27[a]	9.68±0.27[a]
TR 35%	6.72±0.20[cd]	7.15±0.07[c]	6.10±0.30[b]
TR 45%	5.58±0.29[d]	5.35±0.22[d]	4.84±0.07[c]
SI 25%	10.25±0.78[a]	9.91±0.49[b]	9.64±0.25[a]
SI 35%	7.49±0.35[bc]	7.08±0.49[c]	5.06±0.27[c]
SI 45%	8.48±0.63[b]	8.11±0.45[c]	6.81±0.60[b]

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 40 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน

หน่วยการทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียมในดิน (mg/kg)		
	ก่อนการทดลอง	ระหว่างการทดลอง	หลังการทดลอง
TR 25%	109.53±2.70^{a}	101.26±1.75^{ab}	94.51±3.07
TR 35%	100.01±2.64^{b}	105.38±0.87a	93.47±1.02^{ab}
TR 45%	98.75±1.22^{b}	96.23±4.84^{b}	88.30±2.09^{b}
SI 25%	91.54±2.67^{b}	86.94±2.04^{c}	95.33±1.48^{ab}
SI 35%	94.42±4.92^{b}	97.49±3.95^{ab}	97.28±0.68^{a}
SI 45%	71.30±3.27^{c}	67.97±1.05^{d}	62.61±3.41^{c}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 41 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า

หน่วยการทดลอง	สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า			
	pH	EC(µS/cm)	OM(%)	OC(%)
TR 25%	7.16±0.03^{b}	124.00±10.98^{ns}	2.03±0.40^{b}	1.18±0.23^{b}
TR 35%	7.22±0.03^{b}	137.50±14.11^{ns}	1.38±072^{b}	0.80±0.42^{b}
TR 45%	7.43±0.12^{a}	132.25±8.16^{ns}	0.99±0.09^{a}	0.57±0.05b
SI 25%	7.18±0.06^{b}	131.25±12.29^{ns}	1.38±0.14^{b}	0.80±0.08^{b}
SI 35%	7.19±0.03^{b}	139.50±17.75^{ns}	1.46±0.08^{b}	0.84±0.05^{b}
SI 45%	7.22±0.06^{b}	131.25±7.87^{ns}	3.48±0.48^{b}	2.02±0.28^{a}

หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ตาราง 42 สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า

หน่วยการทดลอง	สมบัติทางเคมีของน้ำไหลบ่า		
	N(mg/kg)	P(mg/kg)	K(mg/kg)
TR 25%	4.09±0.17^{a}	10.42±0.39^{a}	99.28±0.49^{a}
TR 35%	2.84±0.17^{b}	5.73±0.26^{cd}	89.96±2.14^{b}
TR 45%	3.43±0.53^{cd}	4.55±0.13^{d}	82.31±1.89^{c}
SI 25%	2.57±0.16^{bc}	7.84±0.31^{b}	67.13±0.97^{d}
SI 35%	1.95±0.15^{de}	6.45±0.48^{c}	84.75±2.34^{c}
SI 45%	4.09±0.06^{e}	11.53±0.66^{a}	55.94±1.75^{e}

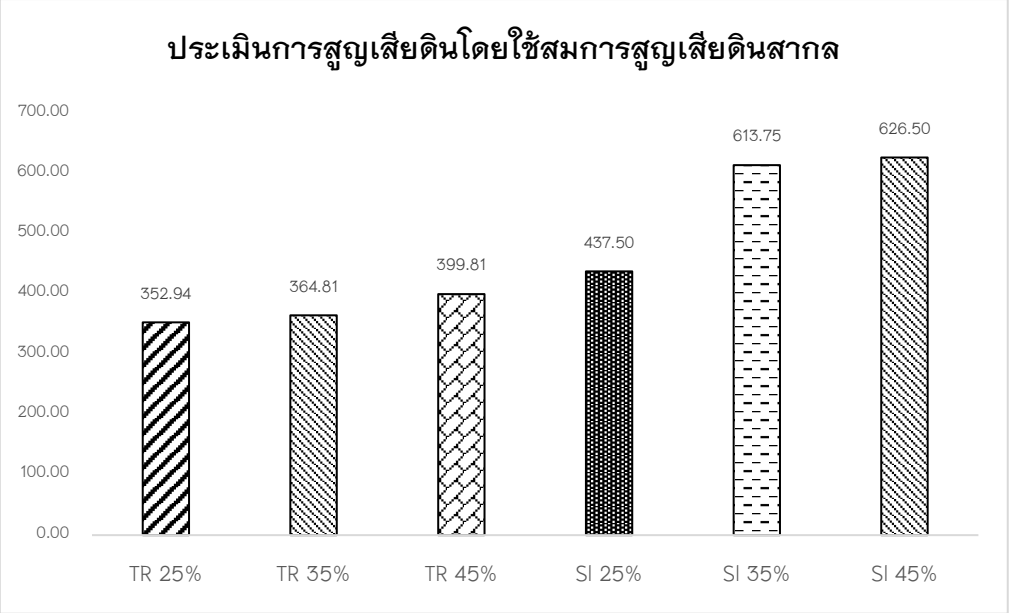
หมายเหตุ: * สำหรับ ns หลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** ตัวเลขแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

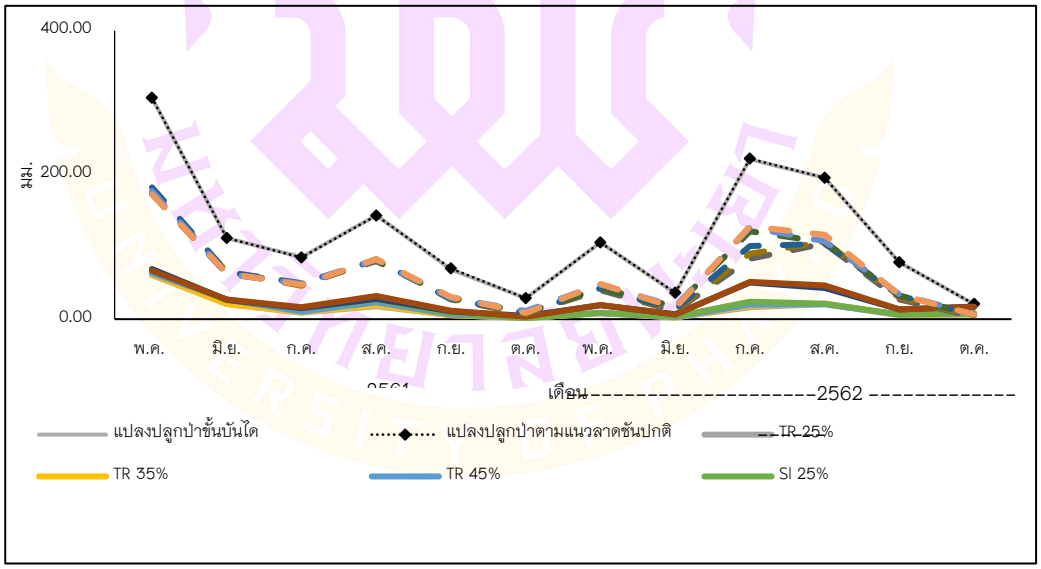
ตาราง 43 การประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation)

	A	R	K	LS	CP
หน่วยการทดลอง	ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง (ตัน/เฮกตาร์/ปี)	ดัชนีพลังงานการชะล้างของฝน(เมตริกตัน/เฮกตาร์/ปี)	ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน	ดัชนีความยาวและความลาดชัน	ดัชนีพืชพันธุ์คลุมดิน
TR 25%	352.94	645.00	10.48	2.50	0.04
TR 35%	364.81	645.00	5.87	4.57	0.04
TR 45%	399.81	645.00	3.83	7.26	0.04
SI 25%	437.50	645.70	11.33	2.50	0.04
SI 35%	613.75	645.70	6.39	4.57	0.04
SI 45%	626.50	645.70	4.04	7.26	0.04

ประเมินการสูญเสียดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล



ภาพ 20 ปริมาณตะกอนดินจากแปลงทดลอง(ตัน/เฮกตาร์/ปี)



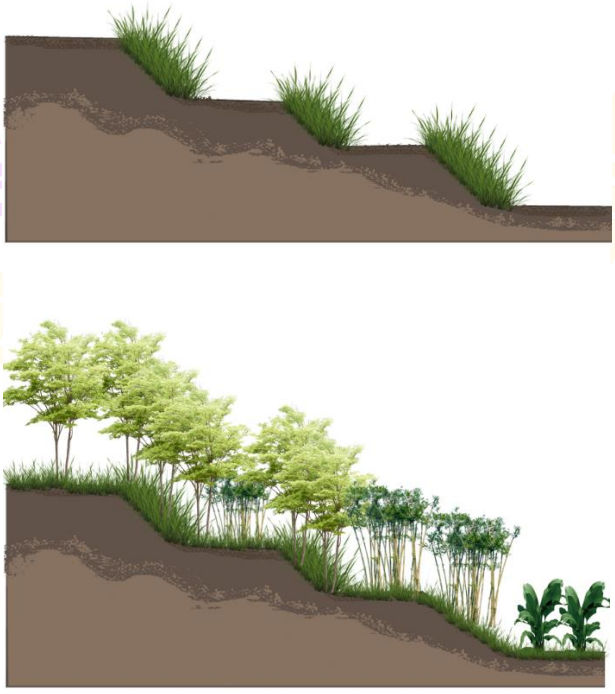
ภาพ 21 ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนต่อตะกอนดินและน้ำไหลบ่าหน้าดิน

ตาราง 44 เปรียบเทียบปริมาณส่วนต่างของแปลงปลูกป่าขั้นบันไดและแปลงปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

	การสูญเสียดิน(ตัน/เฮกตาร์/ปี)	ส่วนต่างภายในหน่วยทดลองเดียวกัน(ตัน/เฮกตาร์/ปี)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	จำนวนเท่า
TR 25%	352.94	11.88	3.26	2.94
TR 35%	364.82			
TR 35%	364.82	34.97	9.59	1.34
TR 45%	399.79			
TR 45%	399.79	46.85	11.72	3.94
TR 25%	352.94			
SI 25%	437.53	176.22	28.71	0.07
SI 35%	613.75			
SI 35%	613.75	12.77	2.08	14.80
SI 45%	626.52			
SI 45%	626.52	188.99	30.16	1.07
SI 25%	437.53			

ตาราง 45 เปรียบเทียบการสูญเสียดินในพื้นที่ปลูกป่าขั้นบันไดและปลูกป่าตามแนวลาดชันปกติ

	การสูญเสียดิน (ตัน/เฮกตาร์/ปี)	ส่วนต่างภายในหน่วยทดลองเดียวกัน(ตัน/เฮกตาร์/ปี)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
TR 25%	352.94	84.59	19.33
SI 25%	437.53		
TR 35%	364.82	248.94	40.56
SI 35%	613.75		
TR 45%	399.79	226.73	36.19
SI 45%	626.52		



ภาพ 22 แนวคิดการออกแบบเพื่อลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

ตาราง 46 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล

							Soil three phase																	Universal Soil Loss Equation			
	Rain fall	Surface Run off	Bulk density	Soil moisture	Sediment yield	Solid	Liquid	Air	Porosity	SS	Soil pH	Soil Ec	Soil Om	Soil Oc	Soil N	Soil P	Soil K	Runoff pH	Runoff EC	Runoff Om	Runoff OC	Runoff N	Runoff P	Runoff K	A	R	K	CP
Rain fall	1.00	0.16	0.28	-0.21	0.09	0.12	-0.11	-0.03	-0.12	0.19	0.36	0.12	0.19	0.36	0.25	0.20	0.20	0.14	-0.13	-0.07	-0.07	0.08	0.02	-0.06	0.08	0.25	0.41*	0.27
Surface Runoff		1.00	0.71**	-0.77**	0.88**	0.44*	-0.31	-0.23	-0.44*	0.52*	-0.23	-0.30	0.46	0.23	0.43*	0.23	0.41*	-0.05	0.10	0.33	0.33	0.79**	0.18	-0.75	0.88**	0.89**	0.13	0.23
Bulk density			1.00	-0.75**	0.63	0.35	-0.16	-0.31	-0.35	0.23	-0.15	-0.32	0.61	0.15	0.09	0.12	-0.24	-0.38	0.01	0.23	0.23	0.54	0.30	-0.59	0.67**	0.84**	0.50*	0.14
Soil moisture				1.00	-0.64	-0.42*	0.25	0.28	0.42*	-0.31	0.06	0.38	-0.54	0.06	0.26	0.02	0.18	0.26	-0.02	-0.26	-0.26	0.58**	-0.12	0.61**	-0.66**	-0.74**	-0.31	0.16
Sediment yield					1.00	0.44	-0.25	-0.30	-0.44*	0.40	-0.16	-0.16	0.41*	-0.16	-0.36	-0.34	-0.49*	-0.09	0.10	0.42*	0.42*	-0.76**	0.30	-0.60**	1.00**	0.81**	0.03	0.15
Solid						1.00	-0.80**	-0.37	-1.00**	0.04	0.30	-0.57	0.20	0.30	-0.52**	-0.19	-0.24	0.31	0.17	-0.14	-0.14	-0.48*	-0.13	-0.51*	0.45*	0.48*	-0.05	-0.15
Liquid							1.00	-0.27	0.80**	0.03	-0.29	0.61**	0.08	-0.29	0.37	0.38	0.06	-0.28	-0.29	0.33	0.33	0.41*	0.39	0.36	-0.26	-0.29	0.18	0.09
Air								1.00	0.37	-0.11	-0.04	-0.02	-0.44*	-0.04	0.26	-0.27	0.29	-0.07	0.17	-0.29	-0.29	0.14	-0.39	0.26	-0.32	-0.32	-0.20	0.09
Air								1.00	0.37	-0.11	-0.04	-0.02	-0.44*	-0.04	0.26	-0.27	0.29	-0.07	0.17	-0.29	-0.29	0.14	-0.39	0.26	-0.32	-0.32	-0.20	0.09
Porosity									1.00	-0.04	-0.30	0.57**	-0.20	0.30	0.52**	0.19	0.24	-0.31	-0.17	0.14	0.14	0.48	0.13	0.51	-0.45*	-0.48*	0.05	0.15

ตาราง 46 (ต่อ)

	Rain fall	Surface Run off	Bulk density	Soil moisture	Sediment yield	Soil three phase Solid	Liquid	Air	Porosity	SS	Soil pH	Soil Ec	Soil Om	Soil Oc	Soil N	Soil P	Soil K	Runoff pH	Runoff EC	Runoff Om	Runoff OC	Runoff N	Runoff P	Runoff K	Universal Soil Loss Equation A	R	K	CP
SS										1.00	-0.43*	0.17	0.25	-0.43*	0.13	0.02	0.12	0.26	0.39	0.00	0.00	-0.18	0.13	-0.24	0.38	0.43*	0.08	0.25
Soil pH											1.00	-0.14	-0.23	1.00**	-0.17	-0.15	-0.03	0.17	-0.19	-0.22	-0.22	-0.10	-0.28	0.03	-0.16	-0.25	-0.18	-0.01
Soil Ec												1.00	0.01	-0.14*	-0.49*	-0.29	-0.05	-0.08	-0.14	0.15	0.15	0.52**	0.40	0.42*	-0.20	-0.28	-0.05	0.06
Soil Om													1.00	-0.23**	-0.06	-0.61**	-0.18	-0.45*	-0.05	0.34	0.34	-0.10	0.60**	-0.50*	-0.43*	-0.73**	-0.72**	0.00
Soil Oc														1.00	-0.17	-0.15	-0.03	0.17	-0.18	-0.22	-0.22	-0.10	-0.28	0.03	-0.16	-0.25	-0.18	-0.01
Soil N															1.00	0.39	0.64**	-0.40	-0.02	-0.20	-0.20	0.68**	0.08	0.68**	-0.37	-0.21	-0.56**	0.00
Soil P																1.00	0.14	-0.30	-0.16	0.09	0.09	0.52**	0.571**	0.00	-0.33	-0.07	-0.70**	0.02
Soil K																	1.00	0.00	-0.02	-0.65**	-0.65**	0.58**	-0.54**	0.70**	-0.50**	-0.30	-0.42**	-0.13
Runoff pH																		1.00	-0.02	-0.30	-0.30	0.03	-0.33	0.03	-0.12	-0.22	-0.47**	0.23
Runoff EC																			1.00	-0.37	-0.37	-0.06	-0.09	0.06	-0.09	-0.08	-0.04**	0.17
Runoff Om																				1.00	1.00**	-0.64**	0.64**	-0.47	-0.42	-0.29	-0.04**	0.03
Runoff OC																					1.00	-0.64**	0.64**	-0.47	-0.42	-0.29	-0.04**	0.03
Runoff N																						1.00	0.01	0.74**	-0.77	-0.61	-0.28	-0.12

ตาราง 46 (ต่อ)

						Soil three phase																		Universal Soil Loss Equation			
	Rain fall	Surface Runoff	Bulk density	Soil moisture	Sediment yield	Solid	Liquid	Air	Porosity	SS	Soil pH	Soil Ec	Soil Om	Soil Oc	Soil N	Soil P	Soil K	Runoff pH	Runoff EC	Runoff Om	Runoff OC	Runoff N	Runoff P	Runoff K	A	R	K	CP
Runoff P																							1.00	-0.34	0.30	0.34	0.32	0.19
Runoff K																								1.00	-0.60	-0.72	0.03	-0.14
A																									1.00	0.83**	0.05	0.13
R																										1.00	0.46*	0.20
K																											1.00	0.12
LS																												0.02
CP																												1.00

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ทรงกรด มูลเทพ
วัน เดือน ปี เกิด	15 มกราคม 2537
สถานที่เกิด	พะเยา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 วบ.บ., (ชีววิทยา) และ กศ.บ.(การศึกษา) มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	20 หมู่ 8 ตำบลบ้านถ้ำ อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา
ผลงานตีพิมพ์	ทรงกรด มูลเทพ และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ (ผู้บรรยาย) (23-24 พฤษภาคม 2562) การลดการสูญเสียหน้าดินโดยการปลูกป่าตามแนวลาดชัน Minimization of Surface Soil Loss by Plantation along Slope of Forest Area. ใน การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 18. กรุงเทพมหานคร: โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์. ทรงกรด มูลเทพ และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ (ผู้บรรยาย) (23-24 มกราคม 2563) แนวทางการจัดการพื้นที่ปลูกป่าแบบขั้นบันไดโดยใช้รูปแบบระบบการเกษตรมรดกโลก GIASH ของ FAO Guidelines for the Plantation Forest in Steps Management Using the Globally Important Heritage Systems (GIASH) of FAO ใน การประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย 9. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.