



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)
ปริญญา

การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม

สาขา

อนุรักษ์วิทยา

ภาควิชา

เรื่อง ดัชนีพืชคลุมดิน และดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่สัมพันธ์กับระยะ
การเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

C-factor and CP-factor Related to Plant Growth Stage at Mae Thang Sub-watershed,
Phrae Province

نامผู้วิจัย นางสาวรัตนา ไกรนรา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สุภัทรา ถิระกมล, วท.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม, วท.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ชนันท์ เอ็มพันธุ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ริระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ดัชนีพืชคลุมดิน และดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ
ที่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

C-factor and CP-factor Related to Plant Growth Stage at Mae Thang Sub-watershed,
Phrae Province

โดย

นางสาวรัตนา ไกรนรา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

รัตนา ไกรนรา 2552: ดัชนีพืชคลุมดิน และดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ือง จังหวัดแพร่ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม) สาขาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สุภัทรา ถิกสถิตย์, วท.ด. 97 หน้า

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าเพื่อประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) ในสมการ USLE ของข้าวโพดและถั่วเหลืองซึ่งเป็นตัวแทน การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ือง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-factor และค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของพืช โดยทำการวางแผนการทดลองแบบ RCBD บนพื้นที่ที่มีความลาดชัน 15 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย 5 สิ่งทดลอง 3 ซ้ำ และใช้เครื่องจำลองฝนที่มีความหนักเบา 75 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงทำการจำลองฝน 5 ครั้งตามระยะการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ได้ประยุกต์ใช้ค่า C-factor และ CP-factor จากแปลงทดลอง ในการกำหนดภาพเหตุการณ์ (Scenario) ตามนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดินโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ผลการศึกษาพบว่าค่า C-factor เฉลี่ยตลอดการศึกษาของข้าวโพดและถั่วเหลืองเท่ากับ 0.18 และ 0.12 ตามลำดับ ค่า CP-factor เฉลี่ยตลอดการศึกษาของข้าวโพดและถั่วเหลืองเท่ากับ 0.14 และ 0.12 ตามลำดับ ซึ่งค่า C-factor และ CP-factor มีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดในระยะหลังเก็บเกี่ยวของทั้งสองพืช สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดและถั่วเหลือง อยู่ในรูปแบบสมการ $C_{maize} = 0.85e^{-0.02day}$ ($R^2=0.96$) และ $C_{soybean} = 0.38e^{-0.02day}$ ($R^2=0.89$) นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดและถั่วเหลือง อยู่ในรูปแบบสมการ $CP_{maize} = 0.00002day^2 - 0.0041day + 0.3041$ ($R^2=0.91$) และ $CP_{soybean} = 0.000002day^2 - 0.0009day + 0.1716$ ($R^2=0.87$) ตามลำดับ

การสูญเสียดินของพื้นที่ส่วนใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ือง จังหวัดแพร่ อยู่ในระดับเล็กน้อย เท่ากับร้อยละ 41.58 ของพื้นที่ทั้งหมด และการสูญเสียดินระดับรุนแรงมากที่สุดเกิดขึ้นในพื้นที่ที่น้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 5.36 ของพื้นที่ทั้งหมด นอกจากนี้ในส่วนพื้นที่ที่เหลือร้อยละ 53.07 เกิดการสูญเสียดินในระดับปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมาก และเมื่อทำการกำหนดเหตุการณ์ตามนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าภาพเหตุการณ์ที่มีการควบคุมการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1A และการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำสามารถลดการสูญเสียดินได้อย่างชัดเจน

Rattana Krainara 2009: C-factor and CP-factor Related to Plant Growth Stage at Mae Thang Sub-watershed, Phrae Province. Master of Science (Watershed and Environmental Management), Major Field: Watershed and Environmental Management, Department of Conservation. Thesis Advisor: Ms.Supattra Thueksathit, D.Sc. 97 pages.

The main objectives of this research were to determine C-factor and CP-factor in USLE for maize and soybean which was representative of the major land use types at Mae Thang sub-watershed and to study relationships among C-factor, CP-factor and plant growth stages. The RCBD was used in 15 percent slope field experiment. The experiment consists of 5 treatments and 3 replications. The study was carried out by using the rainfall simulator with 75 mmh^{-1} intensity. 5 simulated rainfalls were applied along successive plant growth stages. Moreover, results of this study were applied through GIS technique for scenario under land use planning policy in order to reduce soil losses.

The results showed that the average C-factor of maize and soybean throughout study period were 0.18 and 0.12 while CP-factor of maize and soybean were 0.14 and 0.12 respectively. According to plant growth stages, the maximum C-factor and CP-factor were in the initial stage and after the harvesting stage showed the minimum value. The relationships between C-factor and plant growth stage of maize and soybean were as $C_{\text{maize}} = 0.85e^{-0.02\text{day}}$ ($R^2=0.96$) and $C_{\text{soybean}} = 0.38e^{-0.02\text{day}}$ ($R^2 = 0.89$). Besides, the relationships between CP-factor and plant growth stage of maize and soybean were as $CP_{\text{maize}} = 0.00002\text{day}^2 - 0.0041\text{day} + 0.3041$ ($R^2 = 0.91$) and $CP_{\text{soybean}} = 0.0000002\text{day}^2 - 0.0009\text{day} + 0.1716$ ($R^2 = 0.87$) respectively.

Soil losses in the major part of Mae Thang Sub-watershed in Phrae Province were in the slight level, about 41.58 percent of total land area. The extremely severe soil losses occurred in minimum area about 5.36 percent. Furthermore, the remaining areas covering about 53.07 percent were in moderate, severe and very severe of the soil loss classes. In addition to scenario under land use planning policy, the result showed that the scenario of serious control of maize and soybean in WSC 1A and growing maize and soybean with soil and water conservation measures in WSC 2 and 3 could remarkably reduce soil losses.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุภัทรา ถีกสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ อาจารย์ปิยพงษ์ ทองคีนอก ประธานการสอบ และศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งธรรม ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องจากการสอบ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณ Dr. Olivier Planchon Mr. Norbert Silvera คุณสมชาย ชุมพล และคุณเศรษฐา ขอสุข เจ้าหน้าที่จากสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศฝรั่งเศส (IRD) ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องจำลองฝน ขอขอบคุณหัวหน้าสถานีวิจัยลุ่มน้ำยมที่ได้ให้ความช่วยเหลือติดต่อประสานงาน และพนักงานทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทำให้การดำเนินการทดลองในแต่ละครั้งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ กรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สำหรับกำลังใจ และการสนับสนุนด้านการศึกษา รวมทั้งทุกคนในครอบครัวที่มีแต่ความรัก ห่วงใย และหวังดี

ขอบคุณพี่น้องสาขาวิชาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อมที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือมาตลอด และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และช่วยสนับสนุนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

รัตนา ไกรนรา

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	74
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า C-factor ของป่าดิบเขาที่มีเรือนยอดปกคลุมดินในระดับต่าง ๆ ที่ประเมินจากแปลงทดลอง ณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่	13
2	ค่า C-factor ของพื้นที่เกษตรกรรม ในประเทศไทย	14
3	ลักษณะภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศห้วยหมาไน อำเภอร่องวาง จังหวัดแพร่	22
4	ความชื้นในดินเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองก่อนการเปิดเครื่องจำลองฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	45
5	ปริมาณน้ำฝน ความหนักเบาของฝน ระยะเวลาที่ฝนตก และค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน ในแต่ละครั้งจากเครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	48
6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างดัชนีพลังชะล้างของฝนกับการสูญเสียดินจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน	50
7	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ระหว่างดัชนีพลังชะล้างของฝนกับการสูญเสียดินจากการสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	50
8	ค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	51
9	การสูญเสียดินของแปลงปลูกข้าวโพด และถั่วเหลืองในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	53
10	ค่า C-factor และ CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพด และถั่วเหลืองในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	54
11	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง	56
12	การสูญเสียดินแต่ละภาพเหตุการณ์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ดัชนีค่าโครงสร้างดินเพื่อใช้ประเมินค่า K-factor โดยใช้แผนภาพ Nomograph (K_{nom})	75
2 ระดับการจำแนกค่าดัชนีการซบซึมน้ำผ่านผิวดิน	75
3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำเมื่อดินอิ่มตัว	76
4 การจำแนกอัตราการชะล้างพังทลายดิน โดยกรมพัฒนาที่ดิน	76
5 ค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน (R-factor) แต่ละครั้งของฝนธรรมชาติ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	77
6 ค่า K-factor C-factor และ P-factor ที่ใช้ในการประเมินการสูญเสียดินโดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	78
7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลความชื้นในดินแต่ละสิ่งทดลองจากแปลงทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) โดยวิธี Duncan's multiple range test	79
8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชจากแปลงทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) โดยวิธี Duncan's multiple range test	80
9 ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ได้รับแต่ละแปลงทดลองจากการถ่วงน้ำหนัก (Weighting average) โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	81
10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท	82
11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดแบบดั้งเดิม	83
12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา	84
13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจาก แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา	86
15	ระดับชั้นความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน โดยพิจารณาจากค่าดัชนี ความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor)	87
16	ปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชในแปลงทดลอง	87

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	20
2	ช่วงน้ำหลากและแล้งฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	23
3	การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ ปี พ.ศ.2550	25
4	ผังของแปลงทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD)	29
5	ลักษณะแปลงทดลอง และผังการวางแก้วสแตนเลส	30
6	โครงสร้างของเครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ตำแหน่งหัวฉีด ป้อนน้ำ และแท็งก์น้ำ	32
7	ระยะการเจริญเติบโตของพืชในแปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	35
8	ขั้นตอนการประเมินการสูญเสียดิน (On site erosion) โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์	41
9	การคำนวณทิศทางการไหลของน้ำ โดยใช้ Flow direction technique	42
10	ปริมาณและการกระจายของฝนจากการใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) แต่ละแปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	47
11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	57
12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	58
13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	58
14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท	88
2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดแบบดั้งเดิม	89
3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา	90
4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม	91
5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา	92
6 การสูญเสียดินสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	93
7 การสูญเสียดินเมื่อมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	94
8 การสูญเสียดินเมื่อมีการควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง ตามชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	95
9 การสูญเสียดินเมื่อมีการควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง ในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่	96

**ดัชนีพืชคลุมดิน และดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ
ที่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่**

**C-factor and CP-factor Related to Plant Growth Stage
at Mae Thang Sub-watershed, Phrae Province**

คำนำ

การชะล้างพังทลายของดิน เป็นปัญหาที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องด้วยสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างต่อเนื่อง โดยการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้แนวโน้มการชะล้างพังทลายของดินและตะกอนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งตะกอนเหล่านี้ไหลลงสู่แหล่งน้ำ และอ่างเก็บน้ำ ทำให้ลำน้ำตื้นเขินมากขึ้น พื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ก็เช่นเดียวกัน เป็นลุ่มน้ำหนึ่งที่เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน อันเนื่องมาจากการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่ ได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าวโพด และปลูกถั่วเหลือง ส่งผลทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด

การศึกษาค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) ในสมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation; USLE) ของ Wischmeier and Smith (1978) เป็นสมการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยค่า C-factor และ CP-factor เป็นค่าที่ประเมินได้จากแปลงทดลอง สำหรับค่า C-factor ของชนิดพืชที่ปกคลุม จะเป็นตัวแทนของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงอิทธิพลของพืชคลุมดินที่มีผลต่อการสูญเสียดิน ส่วนค่า CP-factor เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในสมการสูญเสียดินสากลที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในการลดการสูญเสียดิน โดยสำหรับประเทศไทย ค่า C-factor และ CP-factor ในสมการสูญเสียดินสากล ต้องอาศัยข้อมูลจากแปลงทดลองของพืชเกษตรในสหรัฐอเมริกา หรือกรมพัฒนาที่ดิน ทั้งที่จริงค่าทั้งสองเป็นค่าเฉพาะของท้องถิ่นนั้น ๆ ซึ่งพืชชนิดเดียวกัน หากต่างท้องถิ่น ค่า C-factor และ CP-factor อาจแตกต่างกันได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาค่า C-factor และ CP-factor เฉพาะท้องถิ่น และใช้ค่า C-factor และ CP-factor ที่ได้จากการศึกษานำไปประยุกต์ใช้ในสมการสูญเสียดินสากล เพื่อประเมินค่าการสูญเสียดินต่อไป

นอกจากนี้การแก้ไขปัญหาลดการชะล้างพังทลายของดินให้เกิดประสิทธิผลนั้น จำเป็นต้องวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหมาะสม โดยการกำหนดภาพเหตุการณ์ (Scenario) ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน โดยการกำหนดภาพเหตุการณ์จะช่วยให้การตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดการที่เหมาะสมกับพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถางมากที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) ในสมการสูญเสียดินสากล (USLE) โดยใช้แปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) กับอายุการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth stage) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) กับอายุการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth stage)
3. เพื่อประเมินการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยประยุกต์ใช้ค่า C-factor และ CP-factor จากแปลงทดลอง และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการกำหนดภาพเหตุการณ์ (Scenario) ตามนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดิน

การตรวจเอกสาร

1. การชะล้างพังทลายของดิน (Soil erosion)

1.1 นิยามและกระบวนการพื้นฐาน

การชะล้างพังทลาย หมายถึง การขุดทำลายพื้นผิวดินและเคลื่อนย้ายดิน กรวด และทราย จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยน้ำ ลม และแรงโน้มถ่วงของโลก (เกษม, 2539) และ นิพนธ์ (2545) ให้ความหมายของการชะล้างพังทลายว่าเป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่มีแรง ซึ่งอาจเกิดจากน้ำ ลม หรือแรงโน้มถ่วงของโลก มากระทำให้วัตถุหรือสารแตกแยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินหรือสารหรือวัตถุดังกล่าวไปทับถมอีกที่หนึ่ง ส่วนการชะล้างพังทลายของดิน หมายถึง พฤติกรรมของการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน

กระบวนการชะล้างพังทลายของดินแบ่งออกเป็น การชะล้างพังทลายระหว่างร่องริ้ว (Interrill erosion) การชะล้างพังทลายในร่องริ้ว (Rill erosion) เป็นเบื้องต้น และกระบวนการย่อยของการเกิดการชะล้างพังทลายของดินในลักษณะดังกล่าว อาจแบ่งได้เป็น 4 กระบวนการย่อย (Subprocess) ด้วยกัน คือ (1) การกัดชะผิวดินด้วยแรงน้ำฝน (Detachment by rainfall) (2) การเคลื่อนย้ายตะกอนด้วยแรงน้ำฝน (Transport by rainfall) (3) การกัดชะผิวดินด้วยแรงน้ำไหลบ่าผิวดิน (Detachment by runoff) และ (4) การเคลื่อนย้ายตะกอนด้วยแรงน้ำไหลบ่าผิวดิน (Transport by runoff) (Meyer *et al.*, 1975)

เกษม (2539) กล่าวว่า กระบวนการชะล้างพังทลายของดินแบ่งออกได้ 3 กระบวนการ คือ

1) การแตกกระจาย (Detachment) เป็นขั้นแรกของกระบวนการพังทลายที่ทำให้เม็ดดินแตกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก (Small particles) และเม็ดดินขนาดเล็กเหล่านี้หลุดกระจายไป ซึ่งอาจหลุดจากดินเดิมแล้วกระเด็นออกไปที่อื่นหรืออยู่ใกล้บริเวณที่เกิดการแตกกระจาย แต่การที่ดินจะแตกกระจายได้มากหรือน้อย ไกลหรือใกล้เพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองประการ นั่นคือ แรงที่กระทำต่อเม็ดดิน (Raindrop impact) และความสามารถในการแตกกระจาย (Detachability)

2) การเคลื่อนย้าย (Transportation) เป็นกระบวนการที่สองของกระบวนการชะล้างพังทลายของดิน สืบเนื่องจากกระบวนการแรก กล่าวคือ เมื่อเม็ดดินแตกกระจายและอาจมีการอุดรูพรุนของดิน ทำให้กระบวนการซึมน้ำผ่านผิวดินลดลง มีผลทำให้มีน้ำไหลบ่าหน้าดิน น้ำส่วนนี้ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ อัตราการไหลจะรุนแรงมากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับความลาดชันและระยะของความลาดชัน

3) การทับถม (Deposition) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการชะล้างพังทลายของดิน กล่าวคือ เป็นกระบวนการที่อนุภาคดินตกตะกอนนอนกันตามแอ่งน้ำ หรือ ลำธาร สาเหตุอันสำคัญคือ อัตราความเร็วของกระแสน้ำลดลงและหยุดนิ่ง ทำให้อนุภาคน้ำขนาดใหญ่ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) ส่วนอนุภาคน้ำขนาดเล็กเกาะตัวกันเองด้วยแรงประจุ เมื่อมีขนาดใหญ่มากพอที่ให้อัตราความเร็วของโลกมีอิทธิพลดึงดูดตกลงมาได้ เป็นผลให้ตกตะกอนอีกต่อหนึ่ง หรืออาจตกตะกอนโดยตรงด้วยอนุภาคของดินเอง แต่ต้องใช้เวลาาน โดยที่ตะกอนอนุภาคน้ำขนาดเล็กใช้เวลาตกตะกอนมากกว่าตะกอนขนาดใหญ่

1.2 ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำ

นิพนธ์ (2545) ได้กล่าวถึงปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำไว้ อย่างละเอียดดังนี้

1.2.1 ปัจจัยลมฟ้าอากาศ

1) อิทธิพลของฝน ปัจจัยอันสำคัญที่สุดในบรรดาปัจจัยเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศที่มีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ก็คือ ฝน ทั้งนี้เพราะแรงตกกระทบของเม็ดฝนนับเป็นพลังงานอันดับแรกที่ทำให้ดินเกิดการแตกแยกออกจากกัน แรงตกกระทบดังกล่าวยังเป็นตัวการต่อเนื่องที่ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินด้วย สำหรับอิทธิพลของฝนต่อการชะล้างพังทลายดิน พบว่าพารามิเตอร์ของลักษณะฝนมีความเกี่ยวข้องในกระบวนการชะล้างพังทลายของดินมากที่สุด นั่นคือ ผลคูณของพลังงานจลน์ของฝนที่ตกกับอัตราความหนักเบา 30 นาทีสูงสุดของฝนที่ตกในครั้งนั้นๆ ซึ่งเรียกผลคูณนี้ว่า Rainfall erosion index (EI_{30max} index) (Wischmeier, 1959)

ลักษณะอื่นๆ ของฝนที่เกี่ยวข้องกับการชะล้างพังทลายของดิน คือ ลักษณะของการกระจายของฝน (Distribution) ปริมาณการชะล้างพังทลายจะเกิดขึ้นได้สูงสุดเมื่อฝนตกหนัก และหน้าดินว่างเปล่าปราศจากสิ่งปกคลุม หรือในช่วงที่พืชพรรณเพิ่งเริ่มงอกหรือเพิ่งเริ่มตั้งตัวได้

2) อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกลางวัน และกลางคืน หรือระหว่างฤดูกาล มีผลต่อการปรับตัวของโครงสร้างดิน ทำให้การจับตัวกันของอนุภาคดินมีแรงยึดกันน้อยลง

1.2.2 ปัจจัยของลักษณะภูมิประเทศ

อิทธิพลของสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ความลาดเท (Slope) ความยาวของความลาดเท (Slope length) และรูปร่างความลาดเท (Slope shape) นับเป็นปัจจัยสำคัญที่เชื่อว่าจะมีการสูญเสียดินมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้อธิบายโดยย่อได้ดังนี้

1) ความลาดเทของพื้นที่ เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด ในกระบวนการชะล้างพังทลายของดิน โดยทั่วไปแล้วเมื่อความลาดชันมากขึ้นอัตราการชะล้างพังทลายของดินจะมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะพื้นที่ความลาดชันนั้นมักทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินได้มาก เพราะดินมีโอกาสเก็บกักน้ำฝนที่ตกลงมาได้น้อย โดยเฉพาะฝนที่ตกในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และตกรุนแรง

พื้นที่ที่ลาดเทมาก เมื่อน้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดได้รวดเร็ว พลังน้ำจะกัดกร่อนและพัดพาดินที่ถูกชะล้างลงสู่ที่ต่ำได้มาก อย่างไรก็ตาม ความลาดชันมีผลเพียงเล็กน้อยในขณะที่ฝนตกแผ่วเบา และนาน จนกระทั่งน้ำไหลบ่าหน้าดินมีอัตราไหลคงที่ แต่จะมีอิทธิพลรุนแรงมากถ้าฝนตกในช่วงเวลาสั้นๆ แต่ตกรุนแรง

2) ความยาวของแนวความลาดเท โดยปกติการชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าพลังการกัดเซาะของน้ำไหลบ่าหน้าดินยังน้อยกว่าแรงต้านทานของเม็ดดิน จากการศึกษาพบว่ามีปริมาณของดินที่ถูกชะล้างพังทลายเพิ่มมากขึ้นเมื่อความยาวของความลาดเทที่ยาวมากขึ้น อย่างไรก็ตามบนพื้นที่ลาดเขา การกัดกร่อนผิวหน้าดินมักไม่ปรากฏให้เห็นบนบริเวณสันเขา และส่วนที่เป็นเชิงลาดเขาลงมา ในกรณีที่ฝนตกสม่ำเสมอทั่วลาดเขา แต่จะเห็นการชะล้างพังทลายของดิน

อย่างชัดเจนบริเวณที่ต่ำลงมา ตรงที่น้ำไหลบ่าหน้าดินมีพลังกัดเซาะสูงกว่าแรงต้านทานของอนุภาคดิน ดังนั้นจึงมักเห็นเสมอว่าตามแนวสันเขามีความกว้างอยู่ขนาดหนึ่ง ซึ่งไม่ค่อยมีการชะล้างพังทลาย ดินเกิดขึ้นมากนัก

น้ำไหลบ่าหน้าดินไหลลงสู่ที่ต่ำ ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งพลังการเคลื่อนย้ายของน้ำไหลบ่าหน้าดินหมดสมรรถนะ ไม่สามารถพัดพาเคลื่อนย้ายมวลดินตะกอนลงสู่ที่ต่ำลงไปได้อีกแล้ว กระบวนการตกตะกอนที่เกิดขึ้น ณ จุดนั้นๆ ส่วนมากมักเป็นบริเวณใกล้สองฝั่งลำธาร ดังนั้นการที่จะลดอัตราและปริมาณการชะล้างพังทลายของดิน บริเวณลาดเขาควรทำเครื่องกีดขวางทางน้ำเป็นช่วงๆ ตามลาดเขาด้วยระยะทางที่เหมาะสม

3) รูปร่างของความลาดเท ความลาดเทของพื้นที่ผิวดินหนึ่ง อาจมีลักษณะของแนวความลาดเทแบบตรงเรียบ หรือลาดนูนขึ้นและโค้งลง หรือลาดเว้าลง และงอขึ้นก็ได้ บนความลาดเทที่โค้งขึ้น (Convex) ความลาดเอียงจะมีมากตอนใกล้จุดต่ำสุดของแนวความลาดเท ซึ่งเป็นบริเวณที่อัตราความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินจะเพิ่มได้อย่างรวดเร็ว ผลที่ตามมาคือการชะล้างพังทลายของดินมากกว่าความลาดเทแบบอื่น

ความลาดเทแบบเว้า (Concave) ความลาดเอียงจะลดน้อยลงตอนบริเวณใกล้จุดสิ้นสุดของความลาดเท ซึ่งมักทำให้เกิดการตกตะกอนบริเวณดังกล่าวนี้ มากกว่าที่จะเกิดการชะล้างพังทลายต่อไป ทั้งนี้เพราะอัตราการไหลของน้ำไหลบ่าหน้าดินถูกทำให้ลดลงอย่างรวดเร็ว นั่นเอง

1.2.3 ปัจจัยเกี่ยวกับดิน

ดินแต่ละชนิดถูกชะล้างพังทลายได้ยากง่ายแตกต่างกันไป แม้ว่าจะถูกกัดเซาะและถูกเคลื่อนย้ายด้วยแรงปะทะของน้ำฝน และพลังเคลื่อนย้ายของน้ำไหลบ่าหน้าดินในอัตราและปริมาณเดียวกัน บนความลาดเทและพืชพรรณที่คลุมหน้าดินหนาแน่นเท่าเทียมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยเกี่ยวกับสมบัติของดินที่สำคัญ ดังนี้

1) ความคงทนต่อการถูกกัดเซาะ และเคลื่อนย้าย ในกระบวนการชะล้างพังทลายของดินมี 3 ลำดับขั้นตอน คือ การกัดเซาะ การเคลื่อนย้าย และการตกทับถม การทดลองใน

ห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการในลำดับต่างๆ เกิดขึ้นกับดินแต่ละชนิดแตกต่างกันไป โดยทั่วไปความยากง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย (Detachability) จะเพิ่มขึ้นไปตามขนาดของอนุภาคดิน แต่จะเป็นไปในทำนองตรงกันข้ามกัน เมื่อกล่าวถึงความยากง่ายในการเคลื่อนย้าย (Transportability) ตัวอย่างเช่น อนุภาคของดินเหนียวยากต่อการกัดชะมากกว่าอนุภาคดินทราย แต่อนุภาคของดินเหนียวง่ายต่อการถูกพัดพาเคลื่อนย้ายไปมากกว่าอนุภาคดินทราย เป็นต้น

2) อัตราการซึมผ่านผิวดิน เป็นความสามารถในการเปียกน้ำของดิน และสมรรถนะการอุ้มน้ำสูงสุดของดิน การเคลื่อนย้ายของน้ำจากผิวดินลงสู่ชั้นดินที่ลึกลงไป ไม่ว่าจะเป็นผ่านลงไปใรรูดินตามธรรมชาติ รอยแยกของดิน รูที่เกิดจากการผุพังของรากไม้ หรือรูที่สัตว์ขุดขึ้น หากมีอัตราการซึมผ่านของดินสูง โอกาสเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินน้อย ทำให้อัตราการชะล้างพังทลายจึงเป็นไปได้ในอัตราต่ำ

3) ความลึกของดินชั้นบน ดินที่อยู่บริเวณหน้าดินที่เคยถูกกัดชะไปนั้น มักง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย ทั้งนี้เพราะหน้าดินที่เคยเป็นดินร่วนซุย โครงสร้างดีและอินทรีย์วัตถุสูง ได้ถูกชะล้างไปจนหมดแล้ว ดินที่เหลืออยู่จึงมีสมรรถนะซึมซับน้ำได้น้อยกว่าที่เคยเป็น ทำให้น้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดขึ้นได้ง่ายและมาก อัตราการชะล้างพังทลายจึงเป็นไปได้ในอัตราที่สูง

1.2.4 พืชคลุมดิน

ชนิดของพืชคลุมดินและลักษณะการปกคลุมผิวน้ำดินนับเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน ทั้งนี้เพราะ

1) พืชช่วยป้องกันมิให้เม็ดฝนตกกระทบหน้าดินโดยตรง และลดพลังงานของแรงตกกระทบของเม็ดฝน เรือนยอดของต้นไม้ช่วยลดพลังงานที่ตกกระทบเม็ดฝน และความหนาแน่นของลำต้นช่วยลดพลังชะล้างพังทลายของน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นอย่างดี

2) พืชคลุมดินช่วยทำให้ปริมาณ และอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินลดน้อยลง เป็นผลทำให้การกัดชะและเคลื่อนย้ายดินลดลงตามไปด้วย

3) รากของพืชช่วยให้เม็ดดินเกาะกันแน่นยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันรากก็ช่วยยึดอนุภาคดิน

4) เมื่อพืชตาย ซากพืชที่ผุพังช่วยเชื่อมเม็ดดินให้เกาะกันแข็งแรงขึ้น และทำให้โครงสร้างดินได้รับการซึมน้ำได้สูง

5) กิจกรรมจุลินทรีย์ดินจะมีมากและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ถ้ามีซากของพืชปะปนอยู่ด้วย

1.3 การประเมินค่าการชะล้างพังทลายของดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE)

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินโดยอาศัยสมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation; USLE) ของ Wischmeier and Smith (1978) เพื่อประเมินค่าการชะล้างพังทลายของดินในแปลงทดลอง โดยมีรูปแบบดังสมการ (1) คือ

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

- เมื่อ A = ปริมาณดินที่สูญเสียน้ำที่คำนวณได้ต่อหน่วยพื้นที่
- R = ค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน (Rainfall erosivity factor) ในปีที่มีฝนตกในระดับที่เป็นปกติ (Normal year rain) ซึ่งค่าที่ได้เป็นการวัดพลังงานของฝนที่ทำให้เกิดการพังทลายของดิน
- K = ค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน เป็นอัตราการสูญเสียดินต่อหนึ่งหน่วยของดัชนีชะล้างพังทลาย (Erosion index) ชนิดใดชนิดหนึ่งในลักษณะของหน้าดินที่ทำเป็นร่องไถพรวนขึ้น-ลงติดต่อกันยาว 72.60 ฟุต (22.13 เมตร) บนพื้นที่ความลาดชัน 9 เปอร์เซ็นต์
- L = ค่าดัชนีของความยาวความลาดชันที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายดิน (Slope length factor) เป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนการสูญเสียดิน จากความยาวของความลาดชันช่วงใดช่วงหนึ่งกับความยาวมาตรฐาน ยาว 72.6 ฟุต (22.13 เมตร) ซึ่งอยู่บนแนวความลาดเทเดียวกัน
- S = ค่าดัชนีของความลาดชัน (Slope-gradient factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากความลาดชันระดับใดระดับหนึ่งต่อความลาดชันมาตรฐาน (9 เปอร์เซ็นต์)

- C = ค่าดัชนีพืชคลุมดินหรือสิ่งปกคลุมดิน (Cropping management factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินระหว่างพื้นที่ที่มีพืชชนิดใดชนิดหนึ่งที่ปกคลุมอยู่กับการสูญเสียดินจากบริเวณไถพรวนที่ปราศจากพืชคลุมดิน
- P = ค่าดัชนีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (Soil and water conservation measures factor) เป็นค่าอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากพื้นที่ที่มีการอนุรักษ์แบบต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากบริเวณไถพรวนที่ปราศจากพืชคลุมดิน

2. ค่าดัชนีพืชคลุมดินหรือสิ่งปกคลุมดิน (Cropping management factor; C-factor)

2.1 นิยามของค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor)

ดัชนีพืชคลุมดิน คือ ดัชนีที่ประเมินได้จากอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียดินจากแปลงทดลองที่มีการปลูกพืชชนิดใดชนิดหนึ่งกับการสูญเสียดินที่ถูกชะล้างมาจากแปลงทดลองที่ปล่อยไว้ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้น-ลง ตามแนวความลาดเท (Lal, 1994; นิพนธ์, 2545) ค่าดัชนี C-factor ทำการประเมินโดยใช้แปลงทดลองโดยมีคู่ของสิ่งทดลอง (Treatment) เป็นแปลงที่มีพืชปกคลุมกับแปลงที่มีการไถพรวนขึ้น-ลง ตามแนวความลาดเท

เปอร์เซ็นต์การปกคลุม เรือนยอด และการเพาะปลูก มีความแตกต่างกันในแต่ละปี โดยทั่วไปถ้าทำการศึกษาโดยการแบ่งแยกเป็นแต่ละปี ค่า C-factor ที่ได้ เป็นค่าการเฉลี่ยของอัตราส่วนการสูญเสียดินทั้งปี แต่ในลักษณะของพื้นที่ที่ไม่มีการปลูกพืชและมีการไถพรวนขึ้นลงลาดเขาอยู่ตลอดเวลาการสูญเสียดินประเมินได้จากผลคูณ RKLS ในสมการ USLE

2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อดัชนีพืชคลุมดิน

สมรรถนะในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินของพืชคลุมดิน มีอิทธิพลจากส่วนประกอบของพืชพรรณ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่เป็นเรือนยอด ส่วนที่เป็นพืชชั้นล่างร่วมกับเศษซากพืช และส่วนที่เกิดจากการปฏิบัติในการเพาะปลูก หรือเศษเหลือของพืชจากการเพาะปลูกนั้น ค่า C-factor ในสมการการสูญเสียดินสากลที่ถูกต้องจะต้องทดลองตามธรรมชาติ ซึ่งปล่อยให้

พืชพรรณเจริญเติบโตไปตามขั้นตอน และพฤติกรรมตามธรรมชาติของฝน ตลอดจนวิธีการปลูกพืชแต่ละแห่ง (นิพนธ์, 2545)

2.2.1 เรือนยอด

เรือนยอดของพืชเป็นส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่รองรับน้ำฝน ไม่ได้เป็นส่วนที่สัมผัสพื้นที่โดยตรงที่จะมีผลต่อน้ำไหลบ่าหน้าดิน ความหนาแน่นของการปกคลุมของเรือนยอดที่มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่า ทำให้เพิ่มพื้นที่ในการรองรับน้ำฝนสูงกว่า น้ำในส่วนที่เป็นน้ำพืชยึด (Interception) อาจจะเหวี่ยงออกไปโดยไม่ได้ตกลงสู่พื้นดิน หรือในบางครั้งน้ำฝนที่ตกลงมาสู่เรือนยอดอาจไหลตามลำต้น (Stem flow) จึงพอกกล่าวได้ว่าเรือนยอดมีอิทธิพลในการลดพลังชะล้างของฝนในการตกกระทบผิวหน้าดิน ซึ่งจะลดได้เล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสูงและความแน่นทึบของเรือนยอดของพืชพรรณนั้น ๆ (Toy *et al.*, 2002) แต่กรณีที่ฝนตกหนักและยาวนาน เรือนยอดของพืชมีอิทธิพลน้อยมากต่อการต้านทานทั้งปริมาณ และความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน อย่างไรก็ตาม น้ำฝนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ใบและกิ่งก้าน อาจรวมตัวเป็นเม็ดใหม่ และหล่นลงสู่พื้นในอัตราความเร็วที่สูงพอสมควร แต่ส่วนมากมักมีความเร็วต่ำกว่าเม็ดฝนที่ตกลงสู่พื้นดินโดยตรง (นิพนธ์, 2545)

2.2.2 เศษซากพืชและพืชพรรณที่ขึ้นบนผิวดิน

วัสดุคลุมดินเป็นส่วนที่สัมผัสพื้นดินโดยตรง เพื่อป้องกันการตกกระทบของเม็ดฝน และช่วยชะลอน้ำไหลบ่าหน้าดิน วัสดุคลุมดินมีประสิทธิภาพในการลดพลังชะล้างของน้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินดีกว่าความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ใหญ่ที่มีเปอร์เซ็นต์การปกคลุมผิวดินเท่ากัน ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรกเม็ดฝนที่หยดจากพืชที่ขึ้นติดอยู่บนผิวดิน หรือพืชชั้นล่างนั้นมีพลังงานที่ตกกระทบผิวดินน้อยมาก เพราะความเร็วต่ำ อีกประการหนึ่งวัสดุคลุมดิน เศษซากพืช หรือพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมเหนือผิวดินเหล่านี้ มีส่วนสำคัญในการต้านทานการไหลของน้ำไหลบ่าหน้าดินได้อย่างดีด้วย ดังนั้นเศษซากพืชและ พืชชั้นล่างดังกล่าวจึงมีประสิทธิภาพในการลดพลังชะ และพลังเคลื่อนย้ายดินตะกอนพร้อมกันไป (Wischmeier, 1975; Vergara, 1982)

2.2.3 เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยวและระบบรากพืช

ส่วนประกอบของเศษเหลือของพืชภายหลังเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อค่าของ C- factor โดยเศษซากเหลือของพืชหลังเก็บเกี่ยวมีผลต่อ โครงสร้างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และความหนาแน่นของดิน

2.3 ค่าดัชนีพืชคลุมดินในประเทศไทย

ค่า C-factor มีความแตกต่างกันไปในแต่ละระยะการเจริญเติบโต อันเนื่องมาจากอิทธิพลของเรือนยอด เศษซากพืช และระบบการจัดการพืช โดยค่า C-factor ของพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างท้องที่กัน อาจแตกต่างกัน แม้เป็นช่วงเวลาเดียวกันของปี ทั้งนี้เพราะการตกของฝนมีความหนักเบาแตกต่างกันไป การกำหนดค่า C-factor ของพืชชนิดใดชนิดหนึ่งในแต่ละท้องที่จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการตกและการกระจายของฝนในช่วงเวลาต่างๆ ในรอบปีหนึ่งๆ ของแต่ละท้องที่ และรู้ถึงประสิทธิภาพของพืชชนิดนั้นๆ ตลอดจนเศษซากสิ่งเน่าเปื่อยผุพังอยู่กับที่คลุมดินอยู่ รวมทั้งลักษณะการปลูกพืชต่อการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินด้วย

2.3.1 ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าไม้

ป่าดิบหรือป่าไม่ผลัดใบที่ไม่ถูกรบกวน ผิวดินได้รับอิทธิพลในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินจากส่วนต่างๆ ของพืช อย่างครบถ้วน และสมบูรณ์มาก โดยวันชัย (2524) ได้ทำการศึกษาค่า C-factor ของป่าดิบเขาที่ปกคลุมพื้นที่ต้นน้ำลำธารทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้แปลงทดลองขนาด 4x20 เมตร บนพื้นที่ความลาดเทเฉลี่ยประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อดินเป็นดินร่วนทราย (ตารางที่ 1)

ค่าของ C-factor ในสมการสูญเสียดินสากล สำหรับป่าชนิดอื่นๆ ยังไม่ได้มีการศึกษาวิจัย แต่อาจประยุกต์ข้อมูลของ วันชัย (2524) ใช้กับป่าชนิดอื่น ๆ หรืออาจประเมินจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยทฤษฎี และหลักการการเกิดพลังชะล้างในพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมต่าง ๆ (นิพนธ์, 2545)

ตารางที่ 1 ค่า C-factor ของป่าดิบเขาที่มีเรือนยอดปกคลุมดินในระดับต่างๆ ที่ประเมินจากแปลงทดลอง ณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่

เปอร์เซ็นต์ผิวดินที่ปกคลุมด้วย เรือนยอดต้นไม้และพืชชั้นล่าง	เปอร์เซ็นต์พื้นดินที่ปกคลุม ด้วยเศษซากพืช	ค่าของ C - factor ในสมการ การสูญเสียดินสากล
20-30		0.00145
40-50		0.00108
50-60	เศษซากพืชหนา 2- 5	0.00101
60-70	เซนติเมตร และเปอร์เซ็นต์การ ปกคลุมมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์	0.00064
70-80		0.00060
80-90		0.00066

ที่มา: วันชัย (2524)

2.3.2 ค่า C-factor สำหรับพื้นที่เกษตรกรรม

ค่า C-factor ที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทย โดย Watanasak (1978) ได้ศึกษาไว้เพื่อใช้ประเมินอัตราการสูญเสียดินจากสมการสูญเสียดินสากล ซึ่งอาศัยค่าสมรรถนะความคงทนของดินจากห้องปฏิบัติการ มิใช่เป็นค่าที่ตรวจวัดได้จากแปลงทดลอง (ตารางที่ 2)

2.3.3 ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าและที่รกร้างว่างเปล่า

ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าเต็งรัง ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และที่รกร้างว่างเปล่า มีการศึกษาโดยใช้แปลงทดลองน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย ค่า C-factor สำหรับการ
ใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนี้จะผันแปรไปตามชนิดพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมและความหนาแน่นของ
วัชพืช

ตารางที่ 2 ค่า C-factor ของพื้นที่เกษตรกรรม ในประเทศไทย

ชนิดของพืชพรรณหรือลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน	C-factor
ทุ่งนาข้าว	0.70
ไร่มันสำปะหลัง	0.60
ไร่อ้อย	0.50
สวนมะพร้าว	0.45
ไร่ฝ้าย	0.40
สวนผลไม้	0.35
ไร่ข้าวฟ่าง	0.30
ไร่ข้าวโพด	0.27
สวนยางพารา	0.24

ที่มา: Watanasak (1978)

Wischmeier (1975) ได้อาศัยทฤษฎีเกี่ยวกับอิทธิพลของความสามารถในการลดการชะล้างพังทลายของพืชพรรณเพื่อประมาณค่า C-factor สำหรับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และที่รกร้างว่างเปล่า ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์เพื่อประเมินค่าการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำได้ แต่ควรที่จะมีการทดสอบกับข้อมูลในพื้นที่จริงร่วมด้วย

3. ค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (Cropping management with soil and water conservation measure factor; CP-factor)

3.1 นิยามความหมายของ P-factor และ CP-factor

ค่า P-factor และ ค่า CP-factor เป็นค่าที่ได้จากแปลงทดลอง โดยทั่วไปทำการศึกษาค่า P-factor มากกว่าค่า CP-factor ซึ่งบางครั้งในการประเมินค่าการสูญเสียดินโดยอาศัยสมการสูญเสียดินสากล ค่า CP-factor มักได้จากการนำค่า C-factor มาคูณกับ ค่า P-factor อันที่จริงแล้วไม่ถูกต้อง เมื่อพิจารณาจากคำนิยามของ CP-factor

ค่าดัชนีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (P-factor) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณการสูญเสียดินที่ได้จากแปลงทดลองที่มีการใช้มาตรการอนุรักษ์ดินด้วยวิธีการแบบใดแบบหนึ่ง กับปริมาณสูญเสียดินจากแปลงทดลองที่ไถพรวนดินขึ้นลงตามความลาดเทในสภาพการณ์อย่างอื่นที่เหมือนกัน แม้ว่าสมบัติอื่นๆ ในแปลงทดลอง เช่น ระบบการปรับปรุงบำรุงดิน การทิ้งเศษซากพืชเหลือไว้ในแปลงที่มีส่วนช่วยในการควบคุมการสูญเสียดินอยู่ด้วย แต่สมบัติดังกล่าวนี้ จัดรวมอยู่ในค่าของดัชนี C-factor (นิพนธ์, 2545)

Pukngam and Tangtham (2005) ได้ให้ความหมายของค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) ไว้ว่าเป็นดัชนีที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองที่มีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ กับการสูญเสียดินที่ถูกชะล้างมาจากแปลงทดลองที่ปล่อยให่ว่างเปล่าและไถพรวนขึ้น-ลง ตามแนวความลาดเท โดยในหลายกรณี ค่า C-factor และ P-factor ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เพราะว่าการสูญเสียดินจากแปลงทดลองที่มีมาตรการอนุรักษ์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถตรวจสอบในช่วงเวลาเดียวกันระหว่างพืชที่ปกคลุม และมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำได้ ดังนั้น CP-factor จึงเป็นค่าที่ได้จากอิทธิพลร่วมระหว่างพืชปกคลุมและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

3.2 การควบคุมการชะล้างพังทลายดิน และมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน หมายถึง การใช้กรรมวิธีใดๆ ก็ตามที่สามารถลดหรือยับยั้งพฤติกรรม หรือ กระบวนการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดจาก น้ำ ลม แรงถ่วงของโลกได้ ทั้งนี้อาศัยหลักการของธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างสรรค์ขึ้นมาได้ (นิพนธ์, 2527) ส่วนกรมพัฒนาที่ดิน (2544) ให้ความหมายไว้ว่าการอนุรักษ์ดินและน้ำ (Soil and water conservation) หมายถึง การใช้ทรัพยากรดินและน้ำอย่างเหมาะสม ด้วยวิธีการที่ชาญฉลาด คุ่มค่า เกิดประโยชน์สูงสุด และมีความยั่งยืน การนำมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำมาใช้เพื่อป้องกัน และรักษาเพื่อไม่ให้ถูกชะล้างพังทลายทั้งบนพื้นที่ที่มีความลาดเทต่ำจนถึงพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง

ปัจจุบันมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่ใช้กันอยู่สามารถแบ่งออกตามลักษณะของมาตรการได้เป็น 2 ประเภท คือ มาตรการวิธีกล (Mechanical measures) และมาตรการวิธีพืช (Vegetative measures) การเลือกใช้มาตรการใดควรพิจารณาลักษณะดิน ลักษณะภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเลือกวิธีการผสมผสานมาตรการให้เหมาะสมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

3.2.1 หลักการการควบคุมการชะล้างพังทลายดิน

การชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติเกิดขึ้นเสมอ แม้แต่ในป่าสมบูรณ์ตามธรรมชาติ ดังนั้นไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายดินใดที่สามารถหยุดการเกิดการพังทลายของดินได้ แต่วิธีการควบคุมการพังทลายของดินเป็นเพียงการ ลดปริมาณลงเท่านั้น เมื่อศึกษากระบวนการเกิดการชะล้างพังทลายดินอย่างละเอียด ตั้งแต่ขั้นแรก การแตกกระจาย การเคลื่อนย้าย และการตกตะกอน ทำให้ทราบว่า การใช้มาตรการควบคุมแต่ละประเภท มีผลต่อการลดหรือควบคุมกระบวนการเกิดการชะล้างพังทลายดิน โดยหลักการในการควบคุมและป้องกันการเกิดการชะล้างพังทลายดินในแต่ละกระบวนการ เกษม (2539) อธิบายไว้ดังนี้

1) กระบวนการแรก การแตกกระจาย เกิดจากการที่ดินถูกทำลายให้แตกแยกออกจากกันด้วยน้ำ (ลม หรือแรงโน้มถ่วงของโลก) การที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการแตกกระจายลดลงหรือแทบไม่ให้เกิดเลย โดยการป้องกันมิให้เมล็ดฝนตกลงสู่ดินโดยตรง ทำได้โดยให้มีหรือการปลูกพืชคลุมดินหรือหาสิ่งปกคลุมผิวหน้าดิน เห็นได้ว่าลักษณะของควบคุมการเกิดในกระบวนการแรกนี้ เป็นเรื่องของการกระทำที่อยู่เหนือผิวดิน ซึ่งจะทำได้ อย่างไรก็ได้ แต่ต้องเป็นการปกปิดผิวดินเพื่อมิให้แรงกระทบของเม็ดฝนตกลงสู่ผิวดินได้โดยตรง

2) กระบวนการที่สอง การเคลื่อนย้าย คือ การเคลื่อนย้ายน้ำไปตามผิวดิน หลังจากที่มีเมล็ดดินขนาดเล็กที่กระจายออกไปจากที่เดิม ด้วยแรงการทำลายของเม็ดฝน แต่การเคลื่อนย้ายเมล็ดดินขนาดเล็กด้วยน้ำไหลบ่าหน้าดิน มีผลทำให้ผิวดินที่น้ำไหลผ่านไปสู่สูญหายไปด้วย อีกทั้งขนาดอนุภาคของดินที่ถูกพัดพาให้ดินเคลื่อนที่ไปจะแปรเปลี่ยนเป็นกำลัง 6 ของความเร็วของกระแสน้ำ และ น้ำหนักของอนุภาคของดินที่ถูกพัดพาไปจะแปรเปลี่ยนเป็นกำลัง 5 ของความเร็วของกระแสน้ำ (นิวัติ, 2547) ดังนั้นหากสามารถลดความเร็วของกระแสน้ำลงก็สามารถควบคุมปริมาณตะกอนให้ลดน้อยลงได้ด้วย

หลักการและวิธีป้องกันก็คือ ต้องลดปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน กล่าวคือหาทางให้น้ำฝนมีโอกาสดูดซึมลงสู่ดินชั้นล่างให้มากที่สุด วิธีการเช่นนี้มักทำโดยการลดระดับ และระยะทางความลาดชัน (Slope length) ให้สั้นลง หรืออาจชะลอความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินให้ช้าลง เช่น การสร้างเครื่องกีดขวาง (Water bar) ปลูกต้นไม้เป็นแนว (Strip cropping) เพื่อเป็นเครื่องกีดขวาง ที่จะให้ทั้ง ใบ กิ่ง ดอก ผล ซึ่งจะแปรสภาพเป็นอินทรีย์วัตถุช่วยให้ดินร่วนซุยด้วย หรือ อาจ

ไถพรวนเพื่อให้ น้ำซึมลงดินมากขึ้นเช่นเดียวกับวิธีการให้อินทรีย์วัตถุแก่ดิน พอสรุปได้ว่าวิธีการป้องกันที่ควรทำการเคลื่อนย้ายน้ำตามผิวดิน ต้องสามารถชะลอความเร็วให้น้อยที่สุดหรืออาจทำอย่างหนึ่งอย่างใดที่ทำให้น้ำซึมลงสู่ดินมากที่สุด

3) กระบวนการที่สาม คือ การหยุดนิ่ง หรือการตกตะกอนนอนก้น ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่าถ้าให้น้ำหยุดนิ่งแล้วตะกอนตกลงสู่ก้นช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของตะกอน แต่การหยุดนิ่งสามารถทำให้ดินตะกอนเกือบทุกขนาดตกตะกอน (Sedimentation) ได้ วิธีการป้องกันในกระบวนการขั้นนี้ต้องหาทางทำให้น้ำหยุดนิ่ง เพื่อลดพลังการเคลื่อนที่และเปิดโอกาสให้ตะกอนเกาะกันด้วยแรงประจุไฟฟ้า แล้วทำให้ตะกอนตกลงพื้นผิวท้องน้ำ อาจทำได้โดยการสร้างสิ่งกีดขวางถาวร คือ การสร้างฝายกั้นน้ำ การทำร่องชั้นบันได (Contour furrow) ร่องแนวระดับ (Contour trench) เป็นต้น

3.2.2 มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

นิพนธ์ (2527) ได้แบ่งมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำออกเป็น 2 วิธีการใหญ่ ๆ คือ

1) มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำโดยวิธีพืช (Vegetative conservation measures หรือ Agronomic conservation measures)

พื้นดินที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณอย่างหนาแน่น ไม่ว่าจะเป็นพืชตระกูลหญ้า ตระกูลถั่ว ไม้พุ่ม หรือป่าไม้ ถือได้ว่าเป็นสิ่งปกคลุมซึ่งสามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะพืชพรรณชนิดใดสามารถสกัดกั้นพลังของน้ำฝนไว้ได้เกือบทั้งหมดก็ย่อมควบคุมการชะล้างพังทลายของดินให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดด้วย

2) มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำทางวิศวกรรมหรือวิธีกล (Engineering conservation measures หรือ Mechanical conservation measures)

การป้องกันการชะล้างพังทลายของดินด้วยวิธีทางวิศวกรรม นับเป็นวิธีการอันสำคัญหนึ่งในการจัดการดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการก่อสร้างคันดินขวางความลาดเทของด้านลาดเขา

เพื่อรวมน้ำที่ไหลลงตามลาดเขา แล้วเบี่ยงทางเดิน หรือระบายออกไป หรือไม่ก็ชะลอความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ก่อนที่จะมีพลังก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน

4. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาตรี (2534) ได้ทำการประเมินค่าประสิทธิภาพการควบคุมการพังทลายของดินในสมการสูญเสียดินสากลของสวอนป่าไม้โตเร็วอายุ 7 ปี บนชั้นบันไดดิน บริเวณสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง เชียงใหม่ ทำการวางแผนทดลองบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน 40-65 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยไม้โตเร็วต่างถิ่น 6 ชนิด คือ *Aleurites montana*, *Zelkova formosana*, *Liquidambar formosana*, *Acacia confusa*, *Fraxinus griffithii* และ *Paulownia taiwaniana* พบว่าการสูญเสียดินและการสูญเสียหน้าดินในรูปน้ำไหลบ่าหน้าดินของทั้ง 6 ชนิดพรรณไม้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มการสูญเสียดินลดลงในทุกชนิดพรรณไม้เมื่ออายุต้นไม้มากขึ้น สำหรับค่า CP-factor ของสวอนป่าไม้โตเร็วทั้ง 6 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุของไม้มากขึ้น

กรมพัฒนาที่ดิน (2543 ข) ได้ศึกษาอัตราการสูญเสียดินจากการปลูกหญ้าระยะต่างๆ กันในการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่สูง ที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าวิธีการปลูกข้าวไร่ระหว่างแถบหญ้าแฝกตามค่า VI เท่ากับ 3 เมตร และวิธีการปลูกข้าวไร่ระหว่างแถบหญ้ารุ้งตามค่า VI เท่ากับ 3 เมตร เป็นวิธีที่สามารถชะลอปริมาณน้ำไหลบ่าให้ไหลลงดินได้มากขึ้น ช่วยกรองตะกอนดิน และไม่เสียพื้นที่เพาะปลูกไปมากนัก นอกจากนี้กรมพัฒนาที่ดิน (2543 ข) ยังได้ศึกษาอิทธิพลของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำต่างๆ ต่อปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน การสูญเสียดิน ความชื้นของดิน และผลผลิต มันสำปะหลัง พบว่ามาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกมันสำปะหลัง ได้แก่ การไถพรวนดินและปลูกตามแนวระดับเสริมด้วยแถบหญ้าแฝกตามแนวระดับ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียดินมาก ในขณะที่ปริมาณน้ำไหลบ่าเกิดขึ้นสูงสุดในแปลงไถพรวนดินและปลูกขึ้น-ลงตามแนวความลาดเทของพื้นที่ น้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 3 ปีที่ทำการทดลองสูงที่สุด ปริมาณน้ำไหลบ่าต่ำสุดในแปลงไถพรวนดินและปลูกตามแนวระดับเสริมด้วยคันดินกั้นน้ำตามแนวระดับ

สมเจตน์ และ สถาพร (2537) ได้ทำการศึกษาผลของการปฏิบัติกิจกรรมที่มีผลต่อน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการสูญเสียดินบนพื้นที่ลาดเท พบว่าการปลูกข้าวโพดร่วมกับการทำแถบหญ้ารุ้งลดปริมาณการสูญเสียหน้าดินในสภาพน้ำไหลบ่าผิวดินได้ดีกว่าการเกษตรกรรมวิธีอื่น และเมื่อเปรียบเทียบกับ

วิธีการเขตกรรมทั้ง 4 วิธี พบว่า น้ำไหลบ่าหน้าดิน การสูญเสียดินและผลผลิตของข้าวโพด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วรากร (2551) ได้ทำการประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องจำลองฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ พบว่าค่า C-factor และ CP-factor ลดลง เมื่อพืชมีอายุการเจริญเติบโตมากขึ้น รวมทั้งถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายดินได้ดีกว่าข้าวโพดในทุกระยะเจริญเติบโต

Margues *et al.* (2007) ศึกษาอิทธิพลของพืชปกคลุมที่มีผลต่อปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการชะล้างพังทลายของดิน ภายใต้เหตุการณ์ที่มีความหนักเบาของฝนต่ำ โดยใช้เครื่องจำลองฝน ทำการทดลองในแปลงที่มีความลาดชันเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแปลงที่มีพืชปกคลุมมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณน้ำท่า และปริมาณตะกอน รวมทั้งมีปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนต่ำมาก สำหรับแปลงทดลองที่เป็นแปลงว่างเปล่ามีผลผลิตตะกอนมีค่าเท่ากับ 74 ± 3 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

5. พื้นที่ศึกษา

5.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

ลุ่มน้ำสาขาแม่ถางตั้งอยู่ที่ อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ ระหว่างละติจูดที่ 18 องศา 09 ลิปดาเหนือ ถึง ละติจูดที่ 18 องศา 16 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 19 ลิปดาตะวันออก ถึง 100 องศา 29 ลิปดาตะวันออก เส้นทางคมนาคมอยู่ห่างจากจังหวัดแพร่ 40 กิโลเมตร โดยใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 101 สายแพร่-น่าน (ภาพที่ 1)

ทิศเหนือ	จรด อำเภอร้องกวาง
ทิศใต้	จรด อำเภอเมือง
ทิศตะวันออก	จรด จังหวัดน่าน
ทิศตะวันตก	จรด อำเภอร้องกวาง

5.2 ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง มีขนาด 119.91 ตารางกิโลเมตร ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นภูเขา สลับซับซ้อน มีที่ราบเพียงเล็กน้อยบริเวณอ่างเก็บน้ำแม่ถาง และตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางอยู่ระหว่าง 244 - 1,622 เมตร โดยความสูงเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 892 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และมีความลาดชันเฉลี่ยเท่ากับ 36.1 เปอร์เซ็นต์ และมีแม่น้ำแม่ถางเป็นแม่น้ำสายหลักซึ่งไหลลงสู่แม่น้ำยม (ภาพที่ 1)

5.3 ลักษณะอุตุ-อุทกวิทยา

ที่ตั้งพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดแพร่ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ฝนที่ตกส่วนใหญ่เป็นแบบฝนพายุคะนอง (Thunderstorm precipitation) และฝนภูเขา (Orographic precipitation) มีความหนักเบาของฝนและระยะเวลาในการตกไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศและลักษณะท้องที่

5.3.1 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา

ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของกลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง โดยใช้ข้อมูลการตรวจอากาศของสถานีตรวจอากาศห้วยหมาไน อำเภอวังทอง จังหวัดแพร่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 -2549 (ตารางที่ 3) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,325.6 มิลลิเมตร
- 2) อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 25.7 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 37.2 องศาเซลเซียสในเดือนเมษายน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 16.2 องศาเซลเซียสในเดือนธันวาคม
- 3) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 74.8 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 90.6 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนกันยายน และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 56.7 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนกุมภาพันธ์

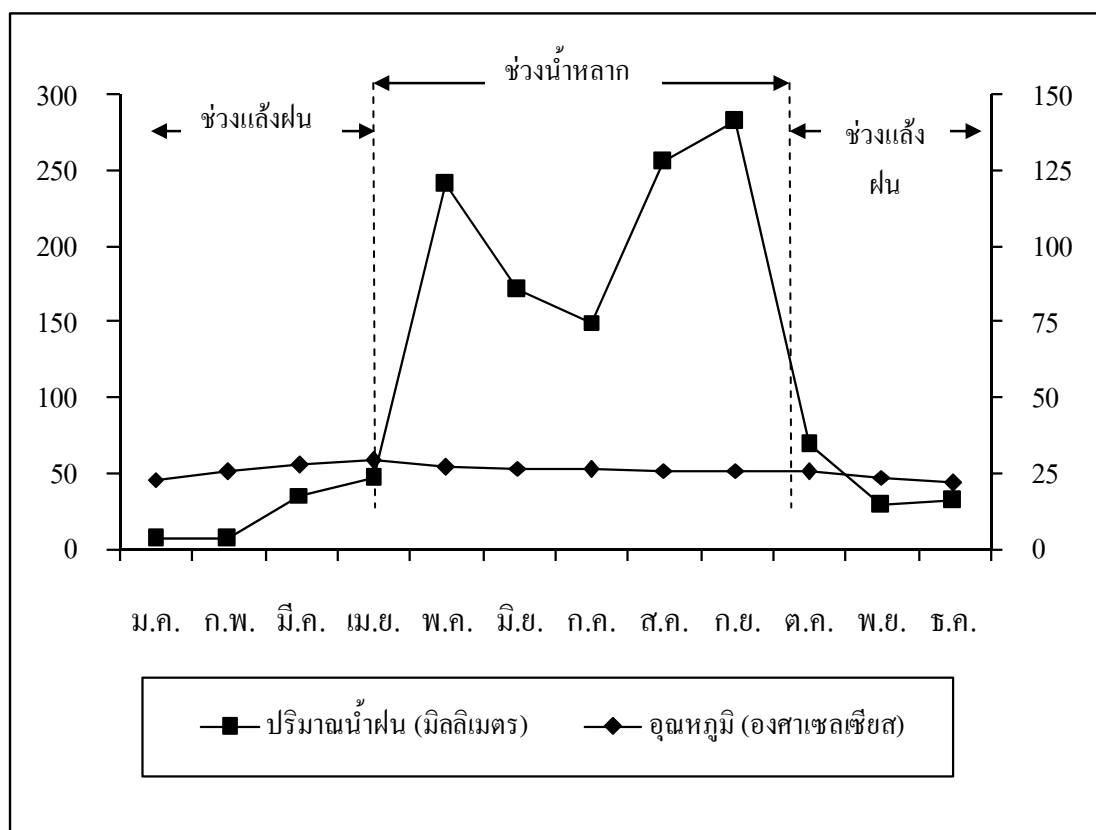
ตารางที่ 3 ลักษณะภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศห้วยหม่าใน อำเภอร่องวาง จังหวัดแพร่

เดือน	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
			ต่ำสุดเฉลี่ย	สูงสุดเฉลี่ย	เฉลี่ย
มกราคม	6.1	66.0	16.4	31.6	22.8
กุมภาพันธ์	6.0	56.7	19.0	33.7	25.4
มีนาคม	35.4	56.8	21.3	35.4	27.5
เมษายน	46.9	59.5	22.9	37.2	29.4
พฤษภาคม	241.5	77.2	22.5	34.6	27.2
มิถุนายน	171.5	83.7	22.9	32.9	26.7
กรกฎาคม	149.7	86.3	22.6	32.6	26.2
สิงหาคม	256.3	89.3	22.4	33.0	25.9
กันยายน	282.2	90.6	22.0	33.4	25.8
ตุลาคม	68.5	84.5	20.6	33.8	25.4
พฤศจิกายน	29.1	78.9	18.1	32.1	23.7
ธันวาคม	31.4	68.5	16.2	30.3	21.9
รวม	1325.6	-	-	-	-
เฉลี่ย	-	74.8	20.6	33.4	25.7
สูงสุด	-	90.6	22.9	37.2	29.4
ต่ำสุด	-	56.7	16.2	30.3	21.9

ที่มา: สถานีวิจัยลุ่มน้ำยม (2550)

5.3.2 ลักษณะทางอุทกวิทยา

ช่วงน้ำหลาก มีระยะเวลา 6 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม ส่วนช่วงแล้งฝนมีระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนเมษายน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ช่วงน้ำหลากและแล้งฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

5.4 ลักษณะทางธรณีและปฐพีวิทยา

5.4.1 ลักษณะทางธรณีวิทยา

จากการตรวจสอบแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี (2518) พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ เป็นหินยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก ถึง คาร์บอนิเฟอรัส อยู่ในหินมหายุคพาลีโอโซอิก

1) หินยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก (Permian Triassic Reval: PTR) เป็นหินตะกอน พบอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นภูเขาสูงชัน สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,300-1,400 เมตร หินที่พบเป็นหินตะกอน (Sedimentary rock) ได้แก่ หินไรโอไลต์ หินแอนดิไซต์ หินทัฟฟ์และหินกรวดภูเขาไฟ

2) หินยุคเพอร์เมียน (Permian period) พบกระจายอยู่บริเวณตอนเหนือ และ ทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำ หินที่พบได้แก่ หินดินดานสีดำ หินทรายสีเทา หินโคลนสีเทาดำและหินปูนสีเทา ที่มีเชิร์ตโนคูลัสสลับกัน หินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์แทรกสลับด้วยหินโคลน พบซากดึกดำบรรพ์เนื้อหินประกอบด้วยชิ้นส่วนของไครนอยด์สเต็ม หอยสองฝา และสาหร่าย และนอกจากนี้ยังพบหินยุคเพอร์เมียนที่กระจายบริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำ หินที่พบได้แก่ หินปูนชั้นหนามาก หินดินดาน หินดินดานเนื้อปูนและหินโคลน พบซากดึกดำบรรพ์พวก คอรัล และไครนอยด์สเต็ม

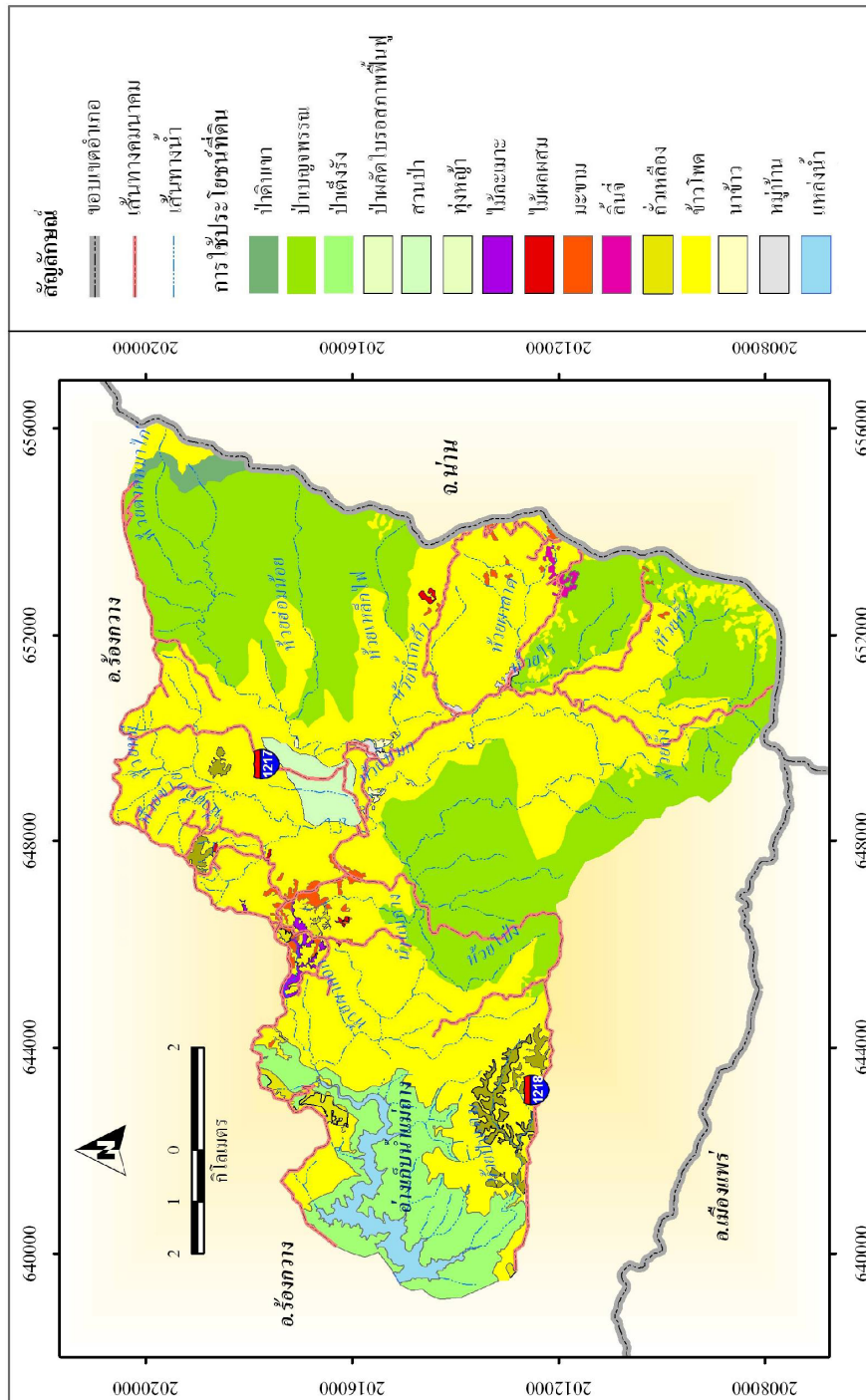
3) หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส กลุ่มหินราชบุรีพบอยู่บริเวณตะวันออกของกลุ่มน้ำ หินที่พบได้แก่ หินทรายเนื้อควอร์ต และหินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ (ประกอบด้วยหินแกรนิต หินอาร์ไดส หินโปรโตควอร์ตไซต์ และหินออร์โทควอร์ตไซต์) หินควอร์ตไซต์ และหินดินดาน สีขาว-เขียวจาง ถึงสีน้ำตาลเทา ชั้นหินปานกลาง ถึงชั้นหนา มีสายแร่ควอร์ตซ์

5.4.2 ลักษณะปฐพีวิทยา

ชุดดินที่พบในพื้นที่กลุ่มน้ำประกอบไปด้วย 2 ชุดดิน คือ ที่ลาดชันเชิงซ้อน (Slope complex) ซึ่งเป็นดินที่พบในบริเวณที่ลาดชันสูงรวมไปถึงบริเวณที่เป็นภูเขาสูง นอกจากนี้ในพื้นที่กลุ่มน้ำยังมีชุดดินหน่วยผสมดินตะกอน (Alluvial soils complex) บริเวณที่ราบ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545 ข)

5.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่กลุ่มน้ำสาขาแม่อาจ จังหวัดแพร่ จากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของ กรมพัฒนาที่ดิน (2550) พบว่ามีพื้นที่ป่าไม้ประมาณ 51.88 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 43.26 กระจายอยู่บริเวณบริเวณตอนเหนือ และทางตะวันตกของกลุ่มน้ำ โดยมีส่วนที่เป็นป่าไม้ร่อนสภาพพื้นฟูมีพื้นที่เท่ากับ 1.56 ตารางกิโลเมตร บริเวณตอนกลางของพื้นที่กลุ่มน้ำมีส่วนป่าแม่คำปอง มีพื้นที่ 1.66 ตารางกิโลเมตร สำหรับพื้นที่เกษตรกรรม มีพื้นที่ 64.33 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 53.65 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยส่วนใหญ่ทำการปลูกข้าวโพด และถั่วเหลือง กระจายค่อนข้างหนาแน่นบริเวณที่ราบ หรือใกล้อ่างเก็บน้ำแม่อาจ สำหรับการตั้งถิ่นฐาน มีหมู่บ้านอยู่บริเวณที่สูง ได้แก่ บ้านปากห้วยอ้อยใต้ บ้านปากห้วยฮ่อมบน และบ้านปากห้วยฮ่อมล่าง (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขแม่ถาง จังหวัดแพร่ ปี พ.ศ. 2550

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2550)

5.6 สภาพปัญหาของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถางที่ผ่านมา

ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา (2550) ได้ทำการวิเคราะห์ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง พบว่าภาพรวมของปัญหา มีประเด็นหลัก 2 ประเด็น ดังนี้

1) ปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำมีความแตกต่างกันมากในแต่ละฤดูกาล ปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน และปัญหาที่สำคัญคือการบุกรุกเข้ามาใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าไม้ของราษฎรเพื่อทำการเกษตร ทำให้ป่าไม้ถูกทำลาย และมีพื้นที่ป่าไม้ลดลงรวมทั้งการเกิดไฟไหม้ป่าในช่วงฤดูแล้ง

2) การใช้ทรัพยากรธรรมชาติของคนในพื้นที่ มีการบุกรุกพื้นที่ป่า และพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1A เพื่อมาใช้ในการเกษตร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์ในการทำแปลงทดลอง

- 1.1 แปลงทดลองขนาด 1×4 เมตร จำนวน 15 แปลง
- 1.2 บ่อซีเมนต์เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 0.5 เมตร จำนวน 15 บ่อ
- 1.3 รางสังกะสีแบบเรียบตีเหลี่ยมกว้าง 0.2 เมตร ยาว 1.0 เมตร จำนวน 15 ราง
- 1.4 ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาว 2.0 เมตร จำนวน 15 ท่อ พร้อมข้อต่อ 90 องศา
- 1.5 แผ่นสังกะสีแบบเรียบขนาด 0.5×4.0 เมตร จำนวน 30 แผ่น และขนาด 0.5×5.0 เมตร จำนวน 6 แผ่น
- 1.6 แผ่นสังกะสีแบบเรียบตัดเป็นวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 เมตร จำนวน 15 แผ่น
- 1.7 พลั่ว จอบ เสียม ตลับเมตร สายยางวัดระดับ และชิลิโคน
- 1.8 แก้วสแตนเลส จำนวน 96 ใบ
- 1.9 เหล็กขนาดความยาว 2.0 เมตร จำนวน 12 อัน

2. วัสดุและอุปกรณ์ของเครื่องจำลองน้ำฝน (Rainfall simulator) ประกอบด้วย

- 2.1 ถังน้ำสแตนเลส ขนาด 1,100 ลิตร จำนวน 4 ถัง พร้อมท่อพีวีซีต่อเชื่อม
- 2.2 ถังน้ำสแตนเลส ขนาด 850 ลิตร จำนวน 4 ถัง
- 2.3 แท็งก์น้ำ ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 แท็งก์
- 2.4 ปั้มน้ำ ขนาดความดัน 15-40 บาร์ พร้อมสายยางและเครื่องปั่นไฟ
- 2.5 มาตรวัดความดัน (Pressure gauge) ขนาดความดันสูงสุด 40 บาร์
- 2.6 หัวฉีด (Spray nozzles) IH106SQ จำนวน 8 หัว
- 2.7 เหล็ก ขนาดความยาว 6 เมตร จำนวน 10 ชุด
- 2.8 ท่อเหล็ก ขนาดความยาว 6 เมตร จำนวน 10 ท่อ
- 2.9 ลวดสลิงขนาดความยาว 6 เมตร จำนวน 6 เส้น
- 2.10 เครื่องมือและวัสดุช่างต่าง ๆ เช่น ค้อน ตะปู กิ๊บ ไขควง ลวด และตลับเมตร เป็นต้น

3. วัสดุและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

3.1 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบดิจิตอล รุ่น Delta-T Devices Cambridge-England

3.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน

3.2.1 พลั่ว

3.2.2 ถังผสมดิน

3.2.3 ถังพลาสติกเก็บตัวอย่างดิน

3.2.4 ปากกาเคมี

3.2.5 ยางรัด

3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างตะกอน

3.3.1 ขวดเก็บตัวอย่าง ขนาด 750 มิลลิลิตร

3.3.2 กล่องพลาสติก

3.3.3 ไม้บรรทัด

3.3.4 ปากกา

3.4 วัสดุและอุปกรณ์วิเคราะห์ตะกอนในห้องปฏิบัติการ

3.4.1 กรวยกรองตะกอน

3.4.2 กระดาษกรอง

3.4.3 ตู้อบตะกอน

3.4.4 ถาดใส่ตะกอน

3.4.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก

4. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

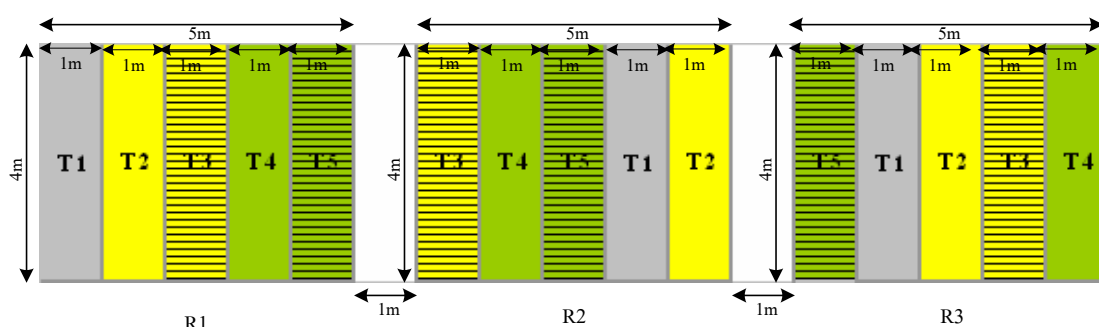
4.2 โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

วิธีการ

1. แปลงทดลอง

1.1 การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองครั้งนี้ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) ประกอบด้วย 5 สิ่งทดลอง (Treatment) คือ (1) แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท (2) แปลงปลูกข้าวโพดแบบดั้งเดิม (3) แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา (4) แปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม และ (5) แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา มีจำนวน 3 ซ้ำ (Replication) โดยแปลงทดลองมีขนาด 1x 4 เมตร อยู่บนพื้นที่ที่มีความลาดชัน 15 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4)



T1 = แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท

T4 = แปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม

T2 = แปลงปลูกข้าวโพดแบบดั้งเดิม

T5 = แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา

T3 = แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา

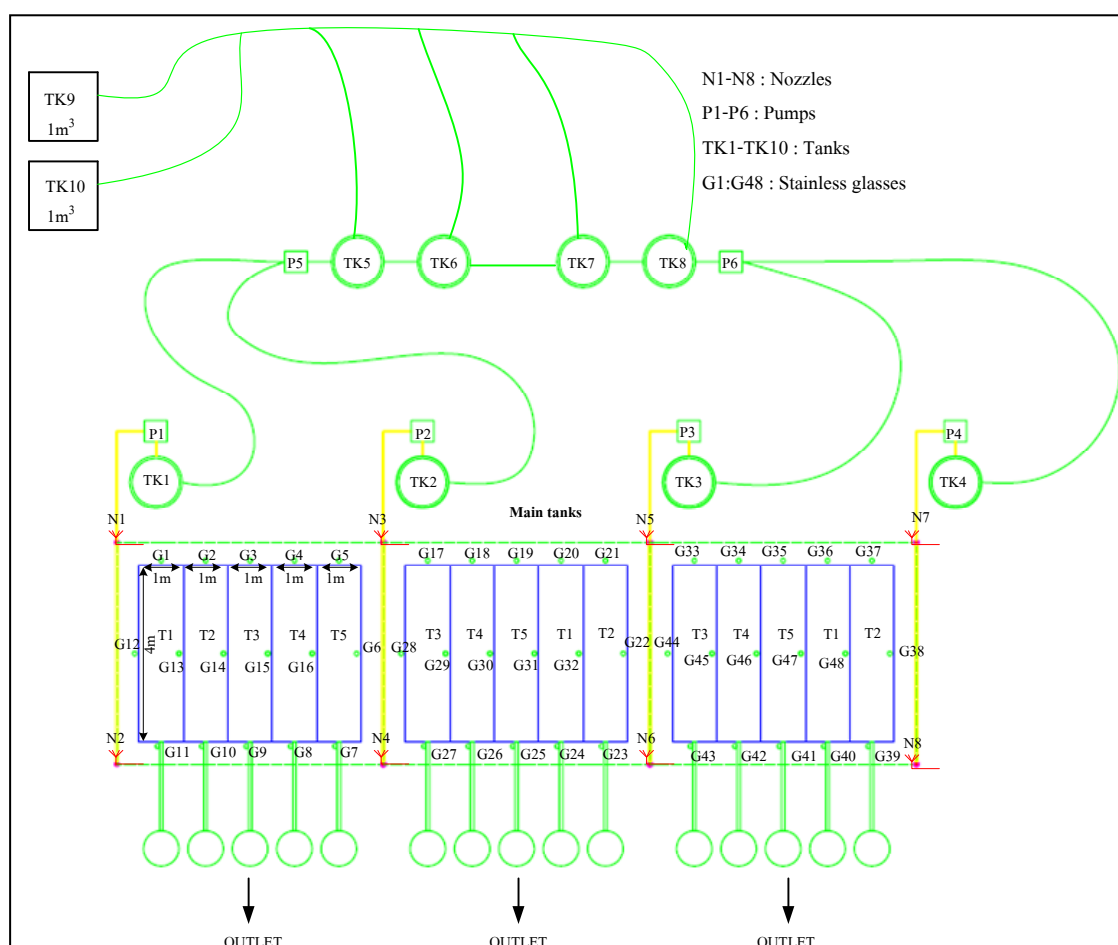
ภาพที่ 4 ผังของแปลงทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD)

1.2 การสร้างแปลงทดลอง

แปลงทดลองมีทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง (Treatment) และ 3 ซ้ำ (Replication) การสร้างแปลงทดลองเพื่อเก็บข้อมูลการสูญเสียดิน 1 แปลงทดลอง มี ขนาด 1x4 เมตร ขอบแปลงทดลองใน

แต่ละชุดการทดลองใช้แผ่นสังกะสีตัดเรียบสี่เหลี่ยมกว้าง 0.5 เมตร ยาว 4.0 เมตร โดยใช้สังกะสีเป็นขอบแปลงทดลอง ฝังแน่นสังกะสีลึกลงไปในดิน 20 เซนติเมตร ขอบแปลงด้านบน และด้านล่าง ใช้แผ่นสังกะสีกว้าง 0.5 เมตร ยาว 5 เมตร ฝังลึกลงในดิน 20 เซนติเมตรเช่นกัน ส่วนขอบแปลงด้านล่างวางสังกะสีสี่เหลี่ยมไว้ และต่อท่อพีวีซี ขนาด 2.5 นิ้ว ยาว 2 เมตร ไปยังถังรับตะกอน ซึ่งทำมาจากท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 0.5 เมตร เพื่อให้น้ำไหลบ่าหน้าดินในแต่แปลงทดลองไหลลงสู่จุดออก

ติดตั้งแก้วสเตนเลส (Stainless glasses) บริเวณขอบแปลงทดลอง จำนวน 48 ใบ โดยเจาะรูให้น้ำไหลออกได้ และใช้วัสดุยึดแก้วเอาไว้กับขอบแปลง ในการจำลองฝนแต่ละครั้งต้องวางแก้วอีก 48 ใบ บนแก้วที่ยึดติดอยู่กับแปลงทดลองอีกครั้งหนึ่ง และหลังการจำลองฝนเสร็จ ต้องนำแก้วทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก เพื่อตรวจสอบฝนที่ตกลงสู่แปลงทดลอง (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ลักษณะแปลงทดลอง และฝังการวางแก้วสเตนเลส

2. การสร้างเครื่องจำลองฝน

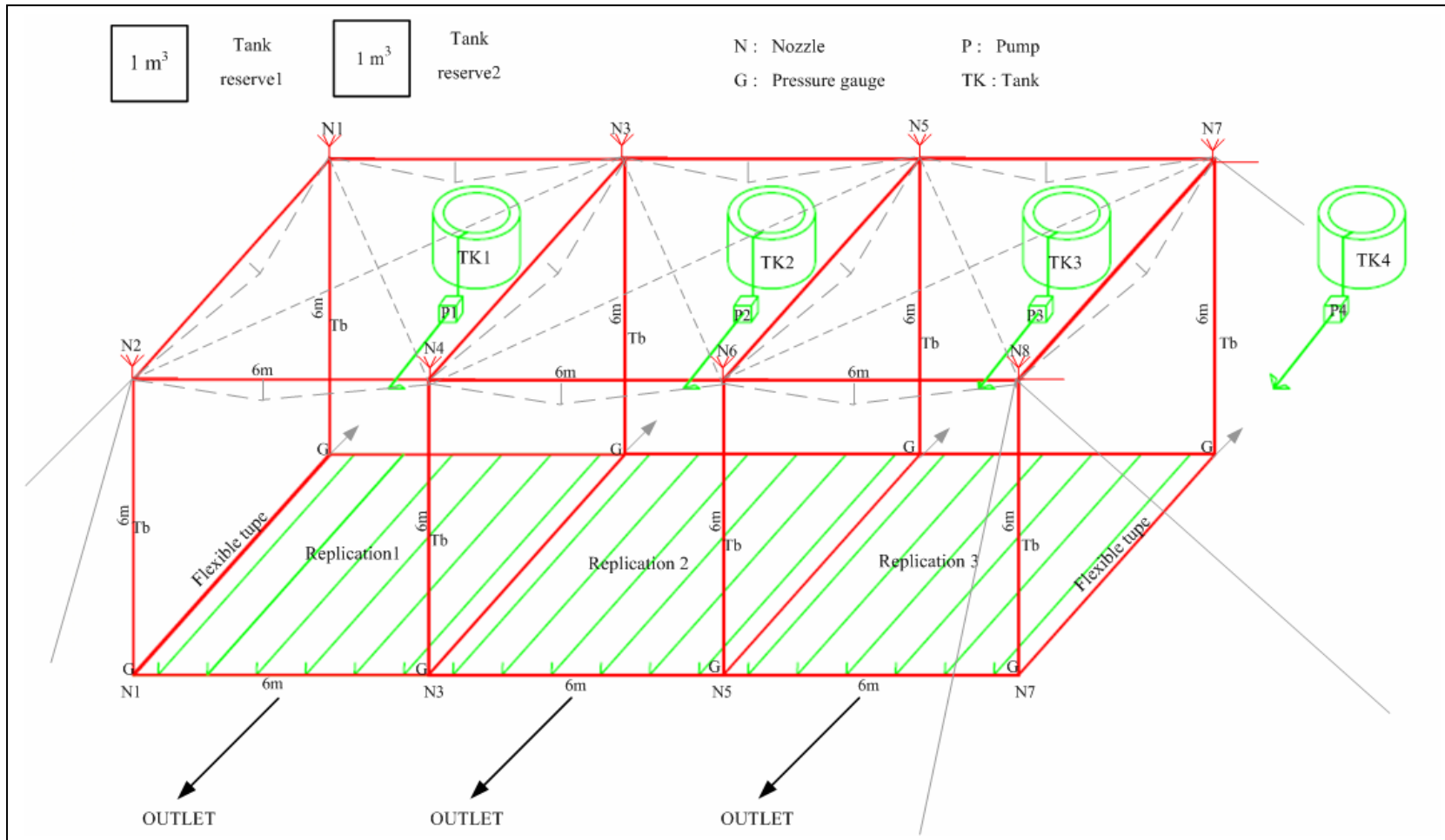
เครื่องจำลองฝน อาศัยพื้นฐานการศึกษาของ Esteves *et al.* (2000) จากสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาระบบฝรั่งเศส (Institut de recherche pour le développement; IRD) โดยทำการศึกษาที่ประเทศเซเนกัล (Senegal) มีความมุ่งหมายเพื่อจำลองฝนธรรมชาติ ซึ่งให้ความสำคัญกับความหนักเบาของฝน การกระจายของเม็ดฝน ระยะเวลาที่ฝนตก และขนาดของเม็ดฝน ดังนั้นตำแหน่งหัวฉีดที่ติดตั้งและความดันที่ใช้จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยในแต่ละชุดแปลงทดลองมีขนาด 4×5 เมตร มีทั้งหมด 3 ชุดแปลงทดลอง และมี 4 ชุดของหัวฉีด (Nozzles) ในแต่ละชุดมี 2 หัวฉีด รวมทั้งหมด มี 8 หัวฉีด ซึ่งหัวฉีดยกสูงขึ้นโดยท่อเหล็กสูง 6 เมตร จากระดับพื้นดิน มีจำนวน 8 ท่อ และโครงสร้างส่วนบนของเครื่องจำลองฝนมีเหล็กที่มีความยาว 6 เมตร ซึ่งทำเป็นรูปสามเหลี่ยม จำนวน 10 ชุด และใช้ลวดสลิงดึงตามแนวเส้นทแยงมุม จำนวน 6 เส้น ที่สำคัญเพื่อให้เครื่องจำลองฝนสามารถอยู่ได้อย่างถาวรจึงมีความจำเป็นต้องยึดด้วยเชือกทั้ง 4 มุม รอบนอกมุมละ 2 เส้น

สำหรับโครงที่ยกขึ้นสูง 6 เมตร ของเครื่องจำลองฝนต้องใช้ปั๊มกระแสไฟฟ้าจำนวน 4 ปั๊ม โดยให้มีกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบคงที่ และความดันคงที่ เพราะความดันมีผลต่อความหนักเบาของฝน โดยควบคุมความดันของปั๊มให้มีค่าเท่ากับ 0.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การปั้มน้ำในการจำลองฝนแต่ละครั้งเพื่อนำน้ำจากถังสแตนเลส ขนาด 1,100 ลิตร จำนวน 4 ถัง ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายน้ำมายังหัวฉีด โดยใช้สายยางต่อเชื่อมระหว่างถังน้ำกับท่อต่อเชื่อมด้านล่าง การจำลองฝนที่มีความหนักเบา 75 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะเวลา 30 นาที ต้องใช้น้ำปริมาณมาก จำเป็นต้องสำรองน้ำโดยใช้ ถังสแตนเลส ขนาด 850 ลิตร จำนวน 4 ถัง และแท็งก์น้ำที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 แท็งก์ (ภาพที่ 6)

3. การเตรียมแปลงทดลอง และเงื่อนไขในการจำลองฝน

3.1 เตรียมแปลงทดลอง

- 1) ตัดหญ้าออกจากแปลงทดลอง ไถพรวนขึ้นลงตามแนวความลาดเท ซึ่งเป็นแปลงควบคุม
- 2) ติดตั้งแก้วรองรับน้ำฝนที่ใช้ในการตรวจสอบน้ำฝนที่ตกลงมา โดยให้มีระดับในแนวตั้งฉากกับพื้นดิน



ภาพที่ 6 โครงสร้างของเครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ตำแหน่งหัวฉีด ป้อนน้ำ และถังกักน้ำ

3.2 เงื่อนไข

- 1) แรงดันน้ำทั้ง 8 ตัวตรวจวัด มีแรงดันเท่ากับ 0.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- 2) ทำการจำลองฝนในช่วงเวลา 07.00 น.- 09.00 น. เพราะเป็นเวลาที่มีความเร็วลมต่ำ โดยใช้ระยะเวลา 30 นาที และกำหนดให้มีความหนักเบาของฝน 75 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
- 3) ทำการจำลองฝน 2 ครั้ง (2 วันติดต่อกัน) ต่อ 1 ระยะเวลาเจริญเติบโตของพืช
- 4) แปลงทดลองที่ปลูกพืชมีการทำเกษตรกรรมเช่นเดียวกับเกษตรกรปฏิบัติ ทั้งการถอนหญ้า ใส่ปุ๋ย และการปลูกซ่อม

4. การเก็บและรวบรวมข้อมูล

4.1 ก่อนการจำลองฝน

- 1) ทำการตรวจวัดความชื้นในแปลงทดลองทุกครั้ง ก่อนการจำลองฝนโดยใช้เครื่องวัดความชื้นในดินแบบดิจิตอล รุ่น Delta-T Devices Cambridge-England กำหนดหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำการวัดบริเวณส่วนบน และส่วนล่างของแปลงทดลอง
- 2) รวบรวมตัวอย่างดินจากแปลงทดลองตามระยะการเจริญเติบโตของพืช โดยทำการเก็บตัวอย่างในทุกสิ่งทดลอง (Treatment) คือ (1) แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท (2) แปลงปลูกข้าวโพดแบบดั้งเดิม (3) แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา (4) แปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม และ (5) แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา แล้วนำดินจากสิ่งทดลอง (Treatment) เดียวกันมาผสมกันในแต่ละซ้ำ (Replication) ดังนั้นการเก็บตัวอย่างดินใน 1 ระยะเวลาเจริญเติบโต มีตัวอย่างดินทั้งหมดจำนวน 5 ตัวอย่าง และส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

4.2 ระหว่างการจำลองฝน

- 1) เริ่มจับเวลาเมื่อฝนตกลงสู่พื้น จนกระทั่งครบ 30 นาที พร้อมทั้งบันทึกเวลาเริ่ม และเวลาหยุดการจำลองฝน เพื่อทำการตรวจสอบความเร็ว และทิศทางของลมที่มีผลต่อการตกของฝน
- 2) จับเวลาเริ่มต้น และเวลาสิ้นสุดของน้ำไหลบ่าหน้าดินในแต่ละชุดแปลงทดลอง

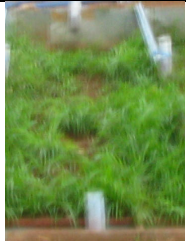
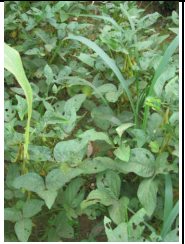
4.3 หลังการจำลองฝน

- 1) ชั่งน้ำหนักแก้ว และน้ำหนักแก้วรวมกับน้ำ เพื่อนำไปหาปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละพื้นที่
- 2) เก็บข้อมูลตะกอนดิน โดยวัดความสูงของน้ำในถังเก็บตะกอน กวนน้ำในถังตะกอนเก็บตัวอย่างและทำการสุ่มตัวอย่างมา 1 ขวด
- 3) กรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง ชั่งน้ำหนักตะกอนเปียกแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง (กำหนดหน่วยเป็นกรัม) เทียบเป็นความเข้มข้นของตะกอนดินต่อน้ำทั้งหมดในแต่ละถังตะกอน เพื่อหาปริมาณตะกอนในแต่ละแปลงทดลอง

4.4 ระยะเวลาเจริญเติบโตของพืช

การศึกษานี้ทำการศึกษาใน 5 ระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง โดยพืชทั้งสองชนิดมีระยะเวลาเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ในการทำการปฏิบัติต่อแปลงทดลอง (Practice) เช่นเดียวกับเกษตรกรในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ ซึ่งสภาพพื้นที่ การจัดการพื้นที่ และการเจริญเติบโตของพืชมีลักษณะที่แตกต่างกัน ในแต่ละระยะเวลาเจริญเติบโต (ภาพที่ 7) ดังนี้

- 1) ระยะก่อนปลูก แปลงทดลองในระยะนี้ พื้นที่ปกคลุมไปด้วยหญ้าก่อนข้างหนาแน่นแตกต่างกันในแต่ละแปลงทดลอง ซึ่งก่อนหน้านี้นี้มีการเผา และหลังจากนั้นจึงมีหญ้าขึ้นปกคลุม โดยในระยะก่อนปลูกไม่มีมาตรการใด ๆ ที่กระทำต่อแปลงทดลอง
- 2) ระยะต้นอ่อน ก่อนปลูกพืชได้นำหญ้าออกจากแปลงทดลองก่อน และทำการปลูกพืชที่มีระยะการปลูกเท่ากับ 30×45 เซนติเมตร รวมทั้งมีการสร้างมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในระยะนี้ ระยะต้นอ่อนเป็นระยะตั้งแต่เริ่มปลูกพืชจนถึงออกช่อดอก ใช้เวลา 40-45 วัน ซึ่งมีการเจริญเติบโตของราก ลำต้น และใบ โดยข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยในแต่ละแปลงทดลองเท่ากับ 8 เซนติเมตร และถั่วเหลืองมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 8 เซนติเมตร ในระยะนี้ใบของพืชสามารถปกคลุมดินก่อนข้างต่ำ

ข้าวโพด					
ถั่วเหลือง					
	ก่อนปลูก	ต้นอ่อน	ฝักเจริญเต็มที่	เก็บเกี่ยว	หลังเก็บเกี่ยว

ภาพที่ 7 ระยะเวลาเจริญเติบโตของพืชในแปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ลาว จังหวัดแพร่

3) ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่ เมื่อผสมเกสรแล้ว รังไข่เจริญเป็นเมล็ดอ่อนและแก่ตามลำดับ เป็นระยะที่ต้นข้าวโพดเจริญเติบโตเต็มที่ ฝักโตเต็มที่ เมล็ดเจริญเต็มที่ และแห้งในที่สุด ช่วงนี้ข้าวโพดมีอายุประมาณ 90-120 วัน สำหรับถั่วเหลืองมีอายุประมาณ 70-90 วัน นับจากหลังปลูกโดยข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยในแต่ละแปลงทดลองเท่ากับ 149 เซนติเมตร และถั่วเหลืองมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 54 เซนติเมตร ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การปกคลุมดินค่อนข้างสูง โดยเฉพาะถั่วเหลือง

4) ระยะเก็บเกี่ยว การเก็บฝักสดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ควรเก็บหลังจากไหมออกจากฝักได้ 15-20 วัน ไหมมีสีดำ เปลือกหุ้มฝักจะบวม และเปลือกหุ้มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน สำหรับการเก็บฝักถั่วเหลือง ควรเก็บเมื่อเปลือกหุ้มบวม และมีสีเขียวเข้มจึงสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้ โดยความสูงเฉลี่ยของพืชเท่าเดิม แต่จำนวนใบของพืชน้อยลง

5) ระยะหลังเก็บเกี่ยว มีเศษซากพืชปกคลุมดินอยู่ และมีหญ้าค่อนข้างหนาแน่น

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 นำค่าปริมาณน้ำฝน ระยะเวลา และความหนักเบาของฝนที่ได้จากเครื่องจำลองฝน และฝนธรรมชาติ มาคำนวณหาดัชนีพลังชะล้างของฝน

1) การหาค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้รับในแต่ละแปลงทดลอง โดยนำค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้รับในแต่ละแก้วสแตนเลส ซึ่งมีทั้งหมด 4 ใบ รอบแปลงทดลองมาหาค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยโดยอาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ใช้วิธีการสอดแทรกค่า (Interpolated technique) แล้วหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighting average)

2) หาค่าพลังจลน์ของฝนที่ทำให้เกิดการพังทลาย โดยอาศัยรูปสมการตามรูปแบบของ Wischmeier and Smith (1958) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ที่เกิดจากฝนและอัตราความหนักเบาของฝน โดยใช้สมการดังนี้

$$KE = 210.3 + 89 \log_{10} I \quad (2)$$

เมื่อ KE = พลังงานของฝนที่ตกแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดขึ้น
(เมตร-ตันต่อเฮกแตร์-เซนติเมตร)

I = ความหนักเบาของฝน (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)

3) คำนวณหาค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน (Rainfall erosivity index; EI) และ ปัจจัยของฝน (R-factor) โดยใช้สมการ Wischmeier and Smith (1978) คือ

$$EI = \left(\sum_{i=1}^n KE_i \right) \times I_{30} / 100 \quad (3)$$

$$\text{และ R-factor} = \sum_{i=1}^n EI \quad (4)$$

เมื่อ n = จำนวนครั้งของฝนที่ตกในรอบ 1 ปี

$$\begin{aligned}
 I_{30} &= \text{ความหนักเบาของฝนในช่วง 30 นาทีสูงสุด} \\
 &\quad \text{(เซนติเมตรต่อชั่วโมง)} \\
 KE &= \text{พลังงานของฝนที่ตกแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดขึ้น} \\
 &\quad \text{(เมตร-ตัน ต่อเฮกแตร์-เซนติเมตร)}
 \end{aligned}$$

การคำนวณความหนักเบาของฝนในช่วง 30 นาทีสูงสุด โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ใช้ค่าเฉลี่ยความหนักเบาของฝนแต่ละครั้ง

4) หาค่าดัชนี $KE > 1$ ใช้สมการ (2) และ (3) โดยคิดรวมเอาเฉพาะพลังงานที่เกิดจากฝนที่มีอัตราความหนักเบาสูงกว่า 1 นิ้วต่อชั่วโมง (25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ขึ้นไปเท่านั้น (Hudson, 1971)

5) หาค่าดัชนี AI_m โดยคิดจากผลคูณระหว่างปริมาณน้ำฝน (A) และ ความหนักเบาของฝนสูงสุด (I_m) (Lal, 1976)

$$AI_m = A \cdot I_m \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } A &= \text{ปริมาณน้ำฝน (เซนติเมตร)} \\
 I_m &= \text{ความหนักเบาของฝนสูงสุด (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)}
 \end{aligned}$$

5.2 หาค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน

1) ประเมินค่า K-factor ด้วยข้อมูลที่ได้จากแปลงน้ำไหลบ่า (K_{obs}) ดังสมการ

$$K_{obs} = \frac{A}{R \cdot LS \cdot 2.242} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } A &= \text{การสูญเสียดิน (ตันต่อเฮกแตร์)} \\
 R &= \text{ค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน (เมตร-ตัน ต่อ เฮกแตร์)} \\
 LS &= \text{ดัชนีของลาดชันและความยาวของความลาดชัน}
 \end{aligned}$$

ค่า 2.242 เป็นค่าที่เกิดจากการแปลงหน่วยจากตันต่อเฮกแตร์เป็นฟุตต่อเอเคอร์

2) การวิเคราะห์ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K) ได้จากการศึกษาวิเคราะห์สมบัติของดิน แล้วนำมาคำนวณหาค่า K_{sto} จากสมการของ Williams *et al.* (1990) ดังนี้

$$K_{sto} = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } K1 = 0.2 + 0.3 \exp [-0.0256 \text{Sand} (1 - \text{Silt}/100)] \quad (8)$$

$$K2 = [\text{Silt} / (\text{Silt} + \text{Clay})]^{0.3} \quad (9)$$

$$K3 = 1 - [0.25C / \{C + \exp (3.72 - 2.95C)\}] \quad (10)$$

$$K4 = 1 - [0.7 \text{SN1} / \{\text{SN1} + \exp (-5.51 + 22.9 \text{SN1})\}] \quad (11)$$

เมื่อ Sand, Silt, Clay และ C คือ เปอร์เซ็นต์ ของ ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และอินทรีย์คาร์บอน (อินทรีย์คาร์บอน = OM x 1.732) และ $\text{SN1} = 1 - (\text{Sand}/100)$

3) ประเมินค่า K-factor โดยใช้แผนภาพ Nomograph (K_{nom}) ดังสมการ

$$100K = 2.1 \times 10^{-4} (12 - \text{OM}) M^{1.14} + 3.25 (S - 2) + 2.5 (P - 3) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } OM &= \text{เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ} \\ M &= (\text{เปอร์เซ็นต์ Silt} + \text{เปอร์เซ็นต์ Very fine sand}) \times (100 - \text{Percent clay}) \\ S &= \text{รหัสที่ใช้เป็นค่าแทนลักษณะ โครงสร้างของดิน} \\ &\quad \text{อาศัยการศึกษา Wismeier and Johnson (1971)} \\ &\quad \text{(ตารางผนวกที่ 1)} \\ P &= \text{ระดับของอัตราการซึมผ่านในชั้นของดิน} \\ &\quad \text{คัดแปลงจาก O'Neal (1952) (ตารางผนวกที่ 2)} \end{aligned}$$

ระดับของอัตราการซึมผ่านในชั้นของดินประมาณค่าจากลักษณะเนื้อดินโดยอาศัยการศึกษาของ Clapp and Hornberger (1978) (ตารางผนวกที่ 3)

5.3 ประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชโดยประยุกต์สมการ USLE ของ Wischmeier and Smith (1978) โดยใช้สมการดังนี้

$$C_i = A_c / A_r \quad (13)$$

$$CP_i = A_{cp} / A_r \quad (14)$$

เมื่อ

A_c	=	ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกพืชแบบต่าง ๆ
A_{cp}	=	ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองปลูกพืชที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ
A_r	=	ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท

การประเมิน C-factor และ CP-factor ตลอดระยะการเจริญเติบโต โดยใช้สมการดังนี้

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (EI_i \times C_i)}{\sum_{i=1}^n EI_i} \quad (15)$$

และ

$$CP = \frac{\sum_{i=1}^n (EI_i \times CP_i)}{\sum_{i=1}^n EI_i} \quad (16)$$

เมื่อ

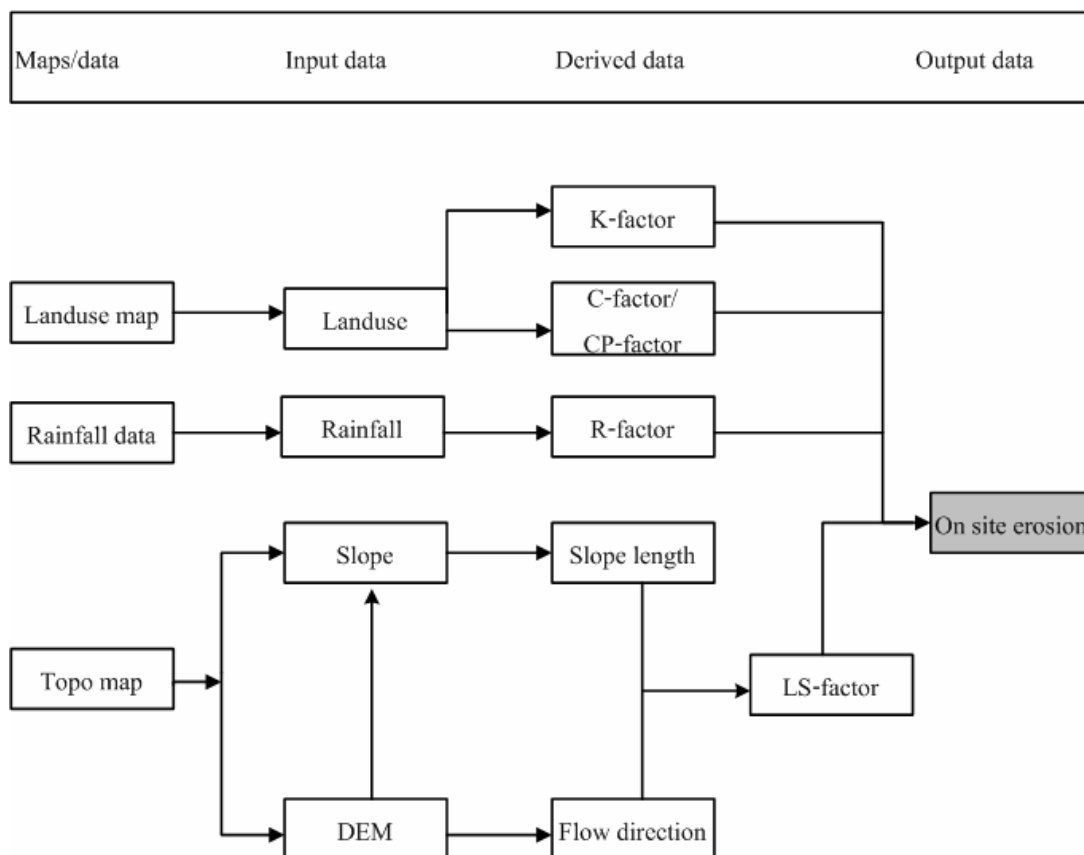
C	=	ค่าดัชนีพืชคลุมดิน
CP	=	ค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ
EI_i	=	ค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนที่ตกแต่ละครั้ง
C_i	=	ค่าดัชนีพืชคลุมดินในแต่ละระยะการเจริญเติบโต
CP_i	=	ค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแต่ละระยะการเจริญเติบโต

5.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝน ได้แก่ KE , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression) พร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ดัชนีพลังชล้างของฝนโดยวิธีต่าง ๆ กับ การสูญเสียดินโดยใช้สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation)

5.5 สร้างแผนภาพกระจาย (Scatter plot) ระหว่างค่าดัชนีพืชคลุมดิน กับอายุการเจริญเติบโตและค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำกับอายุการเจริญเติบโตของพืช ร่วมกับข้อมูลความสูงเฉลี่ยของพืชในแปลงทดลอง โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) พร้อมทั้งเลือกสมการที่เหมาะสมที่จะใช้พยากรณ์ โดยพิจารณาจากแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูล และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination; R^2)

5.6 ประเมินการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ ในสภาพปัจจุบัน (Existing condition) โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System; GIS) ร่วมกับการใช้สมการสูญเสียดินสากลเพื่อคาดคะเนปริมาณการชะล้างพังทลายของดิน พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในสมการสูญเสียดินสากล คือ ดัชนีพลังชล้างของฝน (R-factor) ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor) ดัชนีความลาดชันและความยาวความลาดชัน (LS-factor) ดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และดัชนีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (P-factor) ผลที่ได้คือแผนที่แสดงค่าการสูญเสียดิน (A) ที่จำแนกระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินตามกรมพัฒนาที่ดิน (2545 ก) (ตารางผนวกที่ 4) โดยวิธีการวิเคราะห์ การชะล้างพังทลายของดิน (A) แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นกริด (Grid) ย่อย ตามการประมวลผลข้อมูลจากโปรแกรมในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในรูปแบบของราสเตอร์ (Raster format) โดย 1 กริดย่อย มีพื้นที่เท่ากับ 900 ตารางเมตร ($1 \text{ pixel} = 900 \text{ m}^2$) โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital elevation model; Dem) (ภาพที่ 8)

5.6.1 วิเคราะห์ดัชนีพลังชล้างของฝน (R-factor) โดยใช้ข้อมูลฝนธรรมชาติจากสถานีตรวจวัดห้วยหมาไน ซึ่งแบ่งข้อมูลฝนออกเป็นแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช (ตารางผนวกที่ 5)



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการประเมินการสูญเสียดิน (On site erosion) โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

5.6.2 ดัชนีความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor) โดยใช้ค่าตามชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับค่า K-factor ของข้าวโพดและถั่วเหลืองอาศัยค่าที่ได้จากแปลงทดลอง (Kobs) ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดอื่นอาศัยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์กลุ่มน้ำสาขาแม่ถางของภาควิชาอนุรักษ์วิทยา (2550) (ตารางผนวกที่ 6) นำข้อมูลค่า K-factor ตามชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้อยู่ในรูปของข้อมูลราสเตอร์ (Raster) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

5.6.3 วิเคราะห์ดัชนีความลาดชันและความยาวความลาดชัน (LS-factor) หาได้จากสมการ

$$S = (0.43 + 0.30s + 0.043s^2) / 6.613 \quad (16)$$

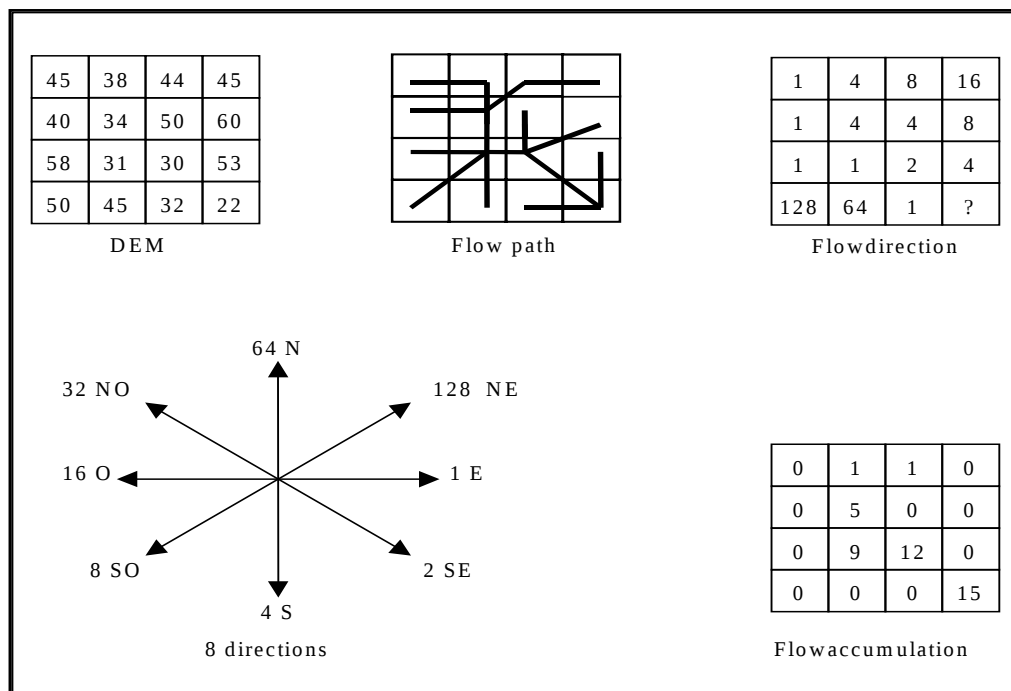
$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad (17)$$

เมื่อ s = เปอร์เซ็นต์ความลาดชันในแต่ละกริด
 λ = ความยาวของความลาดเท (เมตร)

m มีค่าเท่ากับ 0.5 ถ้า s ต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ และเท่ากับ 0.6 ถ้า s มากกว่า 12 เปอร์เซ็นต์

โดยที่ค่า λ และ θ ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม GIS โดยค่า λ ได้จากการนำข้อมูลเส้นชั้นความสูงมาทำแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข แล้วคำนวณด้วยวิธีการ Flow direction เพื่อหาทิศทาง ส่วนค่า θ ได้จากการคำนวณค่า Slope โดยการนำข้อมูลเส้นชั้นความสูงมาทำแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข แล้วใช้วิธีการ Derive slope ได้ผลออกมาเป็นความลาดชัน (ภาพที่ 9)

กำหนดให้ ทิศทางที่เป็นเส้นตรง : λ = ความกว้างของ Grid
 ทิศทางทแยงมุม : $\lambda = \sqrt{2} * \text{ความกว้างของ Grid}$



ภาพที่ 9 การคำนวณทิศทางการไหลของน้ำ โดยใช้ Flow direction technique

5.6.4 ดัชนีพืชคลุมดินและดัชนีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำโดยใช้ค่าตามชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับข้าวโพดและถั่วเหลืองประยุกต์ใช้ค่าจากแปลงทดลอง ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดอื่นที่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ไม้ยืนต้น และพื้นที่หมู่บ้านหรือชุมชน อาศัยค่าจากกรมพัฒนาที่ดิน (2543 ก) (ตารางผนวกที่ 6)

5.7 การประเมินการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยประยุกต์ใช้ค่า C-factor และ CP-factor จากแปลงทดลอง และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการกำหนดภาพเหตุการณ์ (Scenario) ตามนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดิน คือ

- 1) การคาดการณ์การสูญเสียดิน เมื่อมีการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ
- 2) การคาดการณ์การสูญเสียดิน โดยควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A
- 3) การคาดการณ์การสูญเสียดิน โดยควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

ผลและวิจารณ์

1. ความชื้นในดิน

ความชื้นในดินมีความสำคัญต่อการศึกษาค่าดัชนีพืชคลุมดิน และดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพราะความชื้นในดินมีผลต่อปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน หากความชื้นในดินสูง โอกาสที่จะเกิดน้ำไหลบ่าดิน (Surface runoff) ก็เกิดขึ้นได้สูง ซึ่งน้ำไหลบ่าหน้าดินมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการเกิดชะล้างพังทลายของดิน กล่าวคือ ยิ่งน้ำไหลบ่าหน้าดินมาก ย่อมทำให้สามารถพัดพาตะกอนได้มากตามไปด้วย และสำหรับการศึกษากการชะล้างพังทลายของดินในแปลงทดลองขนาดเล็กมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องทำการควบคุมความชื้นในดิน (Vahabi and Nikkami, 2008) และต้องทดสอบความแตกต่างของความชื้นในดินที่มีผลต่อการสูญเสียดินในแต่ละสิ่งทดลอง และแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช

ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นในดินเฉลี่ยสูงสุดก่อนการเปิดเครื่องจำลองฝนตลอดการศึกษา มีค่าเท่ากับ 30.17 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความชื้นในดินเฉลี่ยต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 15.07 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความชื้นในดินในการเปิดเครื่องจำลองฝนครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 มีความแตกต่างกัน โดยความชื้นในดินก่อนการเปิดเครื่องจำลองฝนครั้งที่ 2 มีความชื้นในดินสูงกว่าครั้งที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากการจำลองฝนในวันแรก ทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม หากทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชื้นในดินก่อนการเปิดเครื่องจำลองฝนแต่ละครั้งในแต่ละสิ่งทดลอง โดยใช้วิธี Duncan's new multiple ranges test พบว่า ความชื้นในดินในแต่ละสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางผนวกที่ 7) นั่นแสดงให้เห็นว่าความชื้นในดินไม่มีผลต่อการประเมินค่า C-factor และ CP-factor ในแต่ละครั้ง แต่เมื่อทำการทดสอบค่าเฉลี่ยความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางผนวกที่ 8) ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองในช่วงฤดูฝน การกำหนดวันในการจำลองฝนแต่ละครั้ง โดยมีเงื่อนไขให้ดินอยู่ในสภาวะแห้ง ก่อนทำการเปิดเครื่องจำลองฝนเป็นร่องก่อนข้างยาก ดังนั้นบางครั้งจำเป็นต้องทำการทดลอง เพราะหากไม่ทำในระยะเวลาดังกล่าว อาจเลยระยะการเจริญเติบโตที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4 ความชื้นในดินเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองก่อนการเปิดเครื่องจำลองฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำ
สาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต	ครั้งที่	ความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)					
		ไถพรวน ขึ้น-ลง	ข้าวโพด	ข้าวโพด + มาตรการ	ถั่วเหลือง	ถั่วเหลือง + มาตรการ	เฉลี่ย
ระยะก่อนปลูก	1	29.47	30.77	30.65	28.12	29.60	29.72
	2	-	-	-	-	-	-
ระยะต้นอ่อน	1	15.23	15.23	14.53	14.73	15.60	15.07
	2	28.07	28.68	28.35	27.40	27.53	28.01
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	1	19.78	20.52	19.47	19.37	18.83	19.59
	2	25.00	24.47	24.48	25.42	22.78	24.43
ระยะเก็บเกี่ยว	1	25.70	30.42	28.37	28.07	28.70	28.25
	2	26.68	29.88	30.45	30.02	30.42	29.49
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	1	18.95	17.87	18.97	15.67	18.60	18.01
	2	30.30	31.03	30.80	27.73	30.97	30.17

หมายเหตุ - : ไม่มีข้อมูล

กรณีที่มีความชื้นในดินมีความแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต อาจมีผลต่อการเปรียบเทียบค่า C-factor และ CP-factor แต่จากการศึกษาของ Srinivasan *et al.* (2007) ที่ทำในแปลงทดลองขนาดเล็ก พบว่าเมื่อเปรียบเทียบความชื้นในดินที่มีอยู่ก่อนหน้า ในสภาวะดินเปียก และแห้งไม่มีความแตกต่างต่อการระบายน้ำของดิน

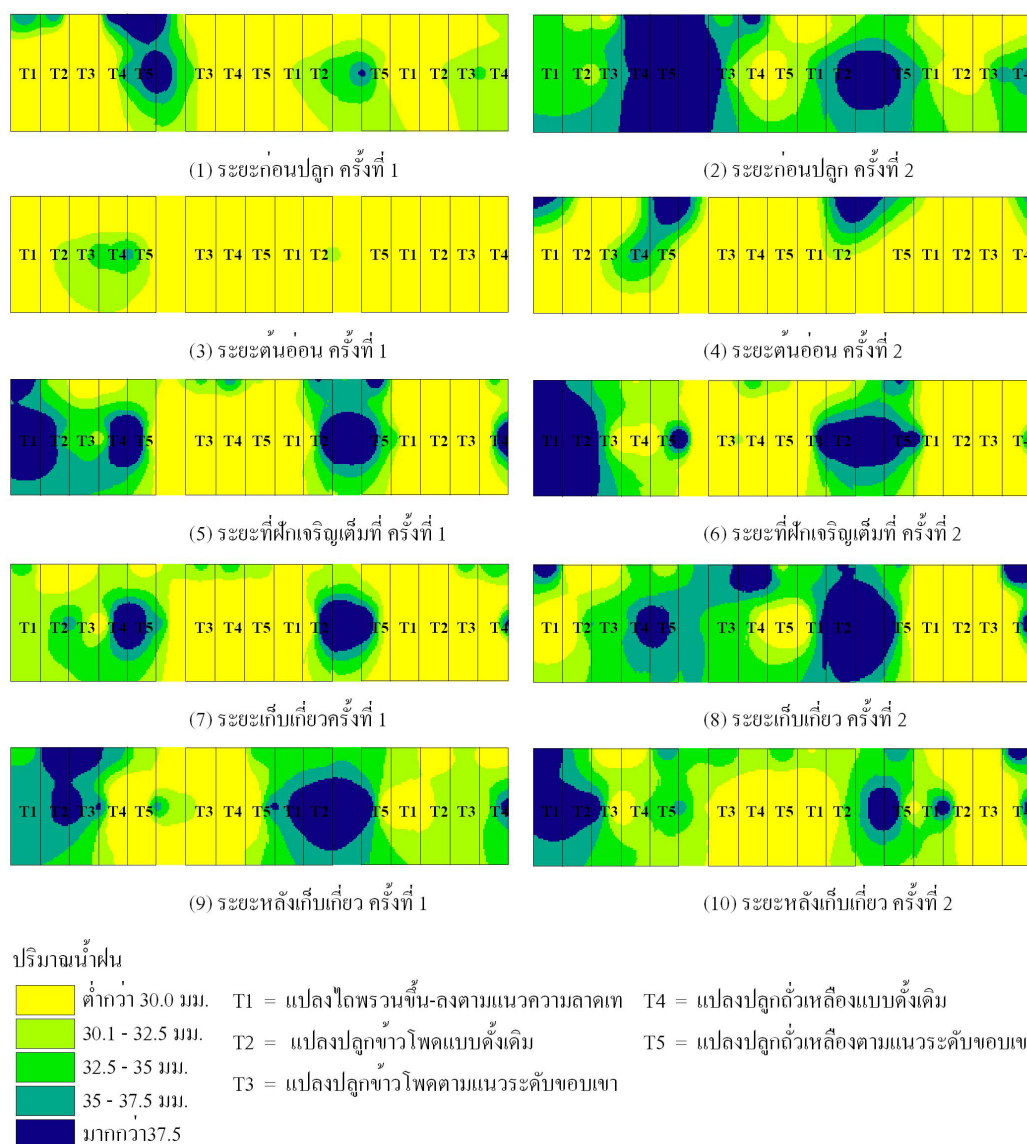
2. ปริมาณน้ำฝนและค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน

การชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำขึ้นอยู่กับฝนที่ตกลงมาพื้นดิน และมักเข้าใจกันว่าเมื่อฝนตกมากการชะล้างพังทลายของดินมีโอกาสดังกล่าวไปด้วย แต่จากผลการวิเคราะห์ในเชิงสถิติความสัมพันธ์ไม่เป็นไปตามความคิดดังกล่าว โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการชะล้างพังทลายของดินมีน้อยมาก ฝนที่ตกในปริมาณเท่ากันแต่ต่างเหตุการณ์ มีผลต่อการสูญเสียดินที่แตกต่างกัน (นิพนธ์, 2545) ดังนั้นควรศึกษาถึงลักษณะอื่น ๆ ของฝนไม่ว่าจะเป็นความหนักเบา

และการกระจายของฝน รวมทั้งค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน (Rainfall erosivity) ถึงแม้ว่าการศึกษากครั้งนี้ใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ก็มีความจำเป็นต้องตรวจสอบปริมาณ ความหนักเบา และการกระจายของฝน นอกจากนี้การประเมินค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชคลุมดิน และดัชนีพืชคลุมดิน ร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ตลอดจนระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชต้องใช้ค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนในการประเมิน

2.1 ปริมาณน้ำฝน ความหนักเบาของฝน และการกระจายของฝน

ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ได้รับแต่ละแปลงทดลองจากการถ่วงน้ำหนัก (Weighting average) โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ (ตารางผนวกที่ 9) จากการเปิดเครื่องจำลองฝนทั้ง 5 ระยะเวลาการเจริญเติบโต มีปริมาณน้ำฝนทั้งหมด 299.42 มิลลิเมตร และมีความหนักเบาของฝนเฉลี่ยเท่ากับ 61.81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำฝนที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละแปลงทดลองมีค่าเท่ากับ 37.5 มิลลิเมตร แต่จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำฝนและลักษณะการกระจายตัวของฝนแต่ละแปลงทดลองมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะความใกล้-ไกลหัวฉีด ซึ่งอยู่คร่อมระหว่างชุดแปลงทดลอง และความแปรปรวนของแรงดันน้ำที่ส่งผลต่อการตกของฝน สำหรับการเปิดเครื่องจำลองฝนในระยะต้นอ่อน ครั้งที่ 1 และระยะเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ปริมาณฝนที่ได้รับในแต่ละแปลงทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่คาดว่าจะได้รับ ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณน้ำเพียงพอที่สามารถเปิดเครื่องจำลองฝนได้เพียง 24 และ 29 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 10) สำหรับความหนักเบาของฝนต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้คือ 75 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากการยากที่จะทำให้มีความหนักเบาของฝนมีค่าตรงตามที่กำหนด เพราะแรงดันน้ำ หรือการไหลของน้ำค่อนข้างมีความแปรปรวน (Lal, 1994) ถึงแม้จะมีการควบคุมแรงดันน้ำ บริเวณมาตรวัดความดันที่อยู่ด้านบน และด้านล่างของแปลงทดลอง ในบางครั้งแรงดันน้ำในแต่ละมาตรวัดมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ในส่วนแรงดันน้ำมีผลต่อปริมาณ และการกระจายของฝนน้อย แต่อีกกรณีหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณ และการกระจาย นั่นคือ ลมที่พัดในขณะทำการจำลองฝน ซึ่งบางครั้งทำให้ฝนตกบริเวณนอกขอบเขตแปลงทดลอง หรือทำให้รูปแบบการตกของฝนต่างไปจากที่กำหนด



ภาพที่ 10 ปริมาณและการกระจายของฝนจากการใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator)
แต่ละแปลงทดลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

2.2 ค่าดัชนีพลังงานชะล้างของฝน

การเปิดเครื่องจำลองฝนทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโต รวมการเปิดเครื่องจำลองฝนทั้งหมด 10 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่า ค่าดัชนี KE, E, EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 280.55 เมตร-ตันต่อเฮกเตอร์-เซนติเมตร, 846.83 เมตร-ตันต่อเฮกเตอร์, 52.77 เมตร-ตันต่อเฮกเตอร์, 2.81 เมตร-ตันต่อเฮกเตอร์ และ 18.77 ตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำฝน ความหนักเบาของฝน ระยะเวลาที่ฝนตก และค่าดัชนีพลังชะล้างของฝน ในแต่ละครั้งจากเครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต	ครั้งที่	ระยะเวลาที่ฝนตก (min)	ความหนักเบาของฝน (mm/hr)	KE (m-ton/ha-cm)	E (m-ton/ha)	EI ₃₀ (m-ton/ha)	KE>1 (m-ton/ha)	AI _m (cm ² /hr)
ระยะก่อนปลูก	1	30.00	56.43	277.13	782.23	44.28	2.77	15.97
ระยะก่อนปลูก	2	30.00	68.32	284.54	972.23	66.55	2.85	23.38
ระยะต้นอ่อน	1	24.00	64.57	282.39	729.43	47.11	2.82	16.68
ระยะต้นอ่อน	2	30.00	53.56	275.15	737.01	39.53	2.75	14.36
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	1	30.00	58.99	278.83	822.91	48.75	2.79	17.47
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	2	29.00	63.85	281.75	870.77	56.28	2.82	19.92
ระยะเก็บเกี่ยว	1	30.00	63.03	281.39	887.29	56.17	2.81	19.94
ระยะเก็บเกี่ยว	2	30.00	63.03	281.39	887.29	56.17	2.81	19.94
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	1	30.00	64.27	282.12	907.16	58.63	2.82	20.75
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	2	30.00	62.08	280.83	871.97	54.26	2.81	19.31
รวม	-	-	-	2805.52	8468.29	527.71	28.06	187.71
เฉลี่ย	-	-	61.81	280.55	846.83	52.77	2.81	18.77

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนกับการสูญเสียดิน

สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนกับการสูญเสียดินโดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (ตารางผนวกที่ 10 - ตารางผนวกที่ 14) พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝน ได้แก่ KE , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับการสูญเสียดินในแปลงไถพรวนขึ้น-ลง ตามแนวความลาดเท มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.124, 0.112, 0.124 และ 0.108 ตามลำดับ และมีค่าเป็นบวก นั้นหมายความว่าเมื่อค่าดัชนีพลังชล้างของฝนมากขึ้นทำให้มีการสูญเสียดินเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะค่า EI_{30} สามารถสะท้อนให้เห็นอิทธิพลของฝนต่อการสูญเสียดินค่อนข้างเด่นชัดกว่าดัชนีอื่น ๆ (Wischmeier and Smith, 1962) แต่จากการศึกษาโดยใช้เครื่องจำลองฝน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากการควบคุมความหนักเบาของฝนทำให้มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากฝนธรรมชาติที่พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นอย่างมากถ้าอัตราความหนักเบาของฝนที่ตกเพิ่มขึ้น สำหรับสหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนกับการสูญเสียดินในแปลงที่มีพืชคลุมดิน และมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนแต่ละวิธีกับการสูญเสียในแต่ละแปลงทดลองทดลองมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กล่าวคือ ค่าดัชนีพลังชล้างของฝนมากขึ้น การสูญเสียดินไม่ได้มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นความผันแปรของการสูญเสียดิน ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยอิทธิพลของดัชนีพลังชล้างของฝน เนื่องจากพืชปกคลุมและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นสาเหตุที่ทำให้ลดพลังงานชล้างของฝนในการตกกระทบหน้าดิน และจากการศึกษาของ Lal (1994) พบว่าค่าดัชนีพลังชล้างของฝนไม่ส่งผลเด่นชัดต่อการสูญเสียดิน เท่ากับปัจจัยพืชคลุมดิน ซากพืช หรือที่สิ่งปกคลุมผิวหน้าดินอื่น ซึ่งมีผลต่อการลดพลังงานชล้างของฝน ทำให้การสูญเสียดินลดลง โดยเฉพาะในช่วงที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 6)

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝน ได้แก่ KE , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับการสูญเสียดิน (ภาพผนวกที่ 1- ภาพผนวกที่ 5) พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการวิเคราะห์โดยใช้สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนกับการสูญเสียดินในแปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท มีค่าไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนีพลังชล้างของฝนสูง การสูญเสียดินสูงขึ้นตามไปด้วย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.009, 0.007, 0.010 และ 0.007 ตามลำดับ สำหรับแปลงที่มีพืชคลุมดินและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ซึ่งได้กล่าวเหตุผลมาแล้วข้างต้น (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับการสูญเสียดินจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

แปลงทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)			
	KE	EI ₃₀	KE>1	AI _m
1. ไถพรวนขึ้น-ลงตามความลาดเท	0.124	0.112	0.124	0.108
2. ขี้วัวไผดแบบดั้งเดิม	-0.432	-0.623	-0.432	-0.637
3. ขี้วัวไผดตามแนวระดับขอบเขา	-0.195	-0.459	-0.195	-0.477
4. ถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม	-0.300	-0.451	-0.300	-0.459
5. ถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา	-0.582	-0.700	-0.582	-0.702

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับการสูญเสียดินจากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

แปลงทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2)			
	KE	EI ₃₀	KE>1	AI _m
1. ไถพรวนขึ้น-ลงตามความลาดเท	0.009	0.007	0.010	0.007
2. ขี้วัวไผดแบบดั้งเดิม	- 0.187	- 0.389	- 0.163	- 0.406
3. ขี้วัวไผดตามแนวระดับขอบเขา	- 0.038	- 0.211	- 0.035	- 0.227
4. ถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม	- 0.090	- 0.204	- 0.080	- 0.210
5. ถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา	- 0.032	- 0.490	- 0.334	- 0.493

3. ค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor)

ดินแต่ละชนิดมีความยากง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินต่างกัน แม้ว่าจะถูกชะโดยพลังชะล้างของฝนที่มีค่าเท่ากัน ดังนั้นการประเมินค่าคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor) จึงทำให้ทราบถึงปัจจัยดินที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายดิน ถึงแม้ว่าโครงสร้างของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ยากในระยะเวลาอันสั้น แต่ปัจจัยอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นอินทรีย์วัตถุ และการซึมน้ำผ่านผิวดินอาจมีการผันแปรไปตามระยะการเจริญเติบโตของพืช และการเกษตรกรรม (Practice)

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช

ลักษณะเนื้อดินในแปลงทดลองเป็นดินร่วนทราย (Sandy loam) อยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ และมีกรวดผสม มีอินทรีย์วัตถุเฉลี่ย 2.36 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยม (Angular blocky) มีสัมประสิทธิ์การนำน้ำเมื่อดินอิ่มตัวเฉลี่ยเท่ากับ 10.24 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จากลักษณะเนื้อดินอาจกล่าวได้ว่าดินสามารถรับน้ำผ่านผิวได้ดี ทำให้มีการซึมน้ำผ่านผิวดินค่อนข้างเร็วภายหลังฝนตก

การศึกษาค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากแปลงทดลอง (K_{obs}) มีค่าต่ำสุด 0.10 ส่วนค่า K-factor ที่ได้จากการประเมินโดยแผนภาพ Nomograph (K_{nom}) และตามวิธีการของ William *et al.* (1990) โดยประเมินจากสมบัติดิน มีค่าเท่ากับ 0.12 และ 0.17 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor) กับระดับชั้นความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินของ Dangler and EI-Swaify (1976) (ตารางผนวกที่ 15) พบว่า ค่า K_{obs} อยู่ในระดับต่ำมาก ส่วน ค่า K_{nom} และ K_{sto} อยู่ในระดับต่ำ เมื่อมีค่า K-factor อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ส่งผลทำให้มีการสูญเสียดินในระดับต่ำด้วย เนื่องจากหน้าดินชั้นบนถูกชะล้างพังทลายไปก่อนหน้าที่จะทำการทดลอง ทำให้ดินมีโอกาสถูกชะล้างพังทลายและพัดพาได้น้อยลง

ตารางที่ 8 ค่าความคงทนของดินต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor) โดยใช้วิธีต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต	ค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor)		
	K_{obs}	K_{nom}	K_{sto}
ระยะก่อนปลูก	0.12	0.14	0.17
ระยะต้นอ่อน	0.12	0.12	0.15
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	0.09	0.12	0.18
ระยะเก็บเกี่ยว	0.09	0.12	0.17
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	0.09	0.12	0.17
ค่าเฉลี่ยตลอดการศึกษา	0.10	0.12	0.17

ค่า K-factor มีความแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอินทรีย์วัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในระยะที่ฝักเจริญเต็มที่ถึงระยะหลังเก็บเกี่ยวมีค่าอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีค่า K-factor ลดลง (ตารางผนวกที่ 16) สำหรับในระยะต้นอ่อนค่า K-factor มีค่าลดลงจากระยะก่อนปลูก ถึงแม้จะมีการเหยียบย่ำแปลงทดลองทำให้ดินแน่นทึบ แทนที่การซึมน้ำผ่านผิวดินมีค่าน้อยลงกลับมีการซึมน้ำมากขึ้น อาจเป็นเพราะการเตรียมพื้นที่ก่อนการเพาะปลูก โดยการไถพรวนทำให้ดินร่วนซุยสามารถซึมน้ำผ่านผิวดินได้มากขึ้น

4. การสูญเสียดินในแปลงทดลอง

การสูญเสียดินในแต่ละแปลงทดลองนำมาใช้เพื่อประเมินค่า C-factor และ CP-factor โดยเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียดินในแต่ละแปลงทดลอง พบว่าแปลงไถพรวนขึ้น-ลง ตามแนวความลาดเท มีการสูญเสียดินสูงสุดเท่ากับ 10.36 ตันต่อเฮกแตร์ และแปลงที่มีการสูญเสียดินต่ำสุด คือ แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขาเท่ากับ 1.53 ตันต่อเฮกแตร์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืช พบว่าแปลงข้าวโพดแบบดั้งเดิมมีการสูญเสียดินมากกว่าแปลงถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม โดยมีการสูญเสียดินเท่ากับ 2.53 และ 1.54 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ข้าวโพดมีความสูงมากกว่าถั่วเหลือง ซึ่งความสูงของพืชมีผลต่อความเร็วท้ายสุด (Terminal velocity) ทำให้เม็ดฝนที่ตกลงมามีพลังงานจลน์ที่ตกกระทบผิวน้ำดินสูงกว่า ส่งผลให้การสูญเสียดินของข้าวโพดสูงกว่าถั่วเหลือง และเปอร์เซ็นต์การปกคลุมดินของพืช ถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์การปกคลุมหน้าดินสูงกว่าข้าวโพดซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Turkelboom (1999) ที่พบว่าข้าวโพดมีการสูญเสียดินมากกว่าถั่วเหลืองเช่นกัน

การเปรียบเทียบการสูญเสียดินในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ตั้งแต่ระยะต้นอ่อนจนถึงระยะหลังเก็บเกี่ยว พบว่าการชะล้างพังทลายของดินโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระยะต้นอ่อนหรือในระยะแรกของการปลูกพืชมากกว่าระยะที่พืชเจริญเติบโตแล้ว เพราะระยะแรกของการปลูกพืชความสามารถในการคลุมดินยังน้อยอยู่ โอกาสที่เม็ดฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินจะกระทำต่อผิวดินจึงมีมาก (Aina *et al.*, 1977) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sidle *et al.* (2006) ที่พบว่าบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย การสูญเสียดินสูงสุดเกิดในพื้นที่ที่มีการปกคลุมของพืชพรรณค่อนข้างต่ำในช่วงที่มีพลังชะล้างของฝนค่อนข้างสูง และ Morgan (1986); Lal, (1994) กล่าวว่าระยะที่มีการสูญเสียดินสูงสุด คือ ระยะต้นอ่อน และเมื่อเข้าสู่ระยะที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่การสูญเสียดินเกิดขึ้น

ตารางที่ 9 การสูญเสียดินแปลงปลูกข้าวโพด และถั่วเหลืองในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต	การสูญเสียดิน (ตันต่อเฮกเตอร์)				
	แปลงไถพรวน ขึ้น-ลง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด+ มาตรการ	ถั่วเหลือง+ มาตรการ
ระยะก่อนปลูก	2.29	0.44	0.55	0.46	0.85
ระยะต้นอ่อน	2.46	1.75	0.76	0.61	0.39
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	1.93	0.17	0.10	0.13	0.16
ระยะเก็บเกี่ยว	1.59	0.10	0.09	0.17	0.14
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	2.09	0.08	0.04	0.16	0.06
ตลอดการศึกษา	10.36	2.53	1.54	1.53	1.60

ต่ำสุด เพราะมีเปอร์เซ็นต์ของเรือนยอดสูงสุด ทำให้เพิ่มพื้นที่ในการรองรับน้ำฝนสูง และเรือนยอดมีอิทธิพลในการช่วยลดพลังงานของฝนในการตกกระทบพื้นดินแต่จะลดได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสูงและความหนาแน่นของเรือนยอดของพืช แต่สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่าในระยะหลังเก็บเกี่ยว มีการสูญเสียดินต่ำสุด ทั้งนี้เป็นเพราะในแปลงทดลองมีเศษซากพืชปกคลุมดิน และหญ้าก่อนข้างหนาแน่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Albert *et al.* (1985) ; Kosmas *et al.* (1997) ที่พบว่าเศษซากพืชทำให้มีการปกคลุมดินสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดพลังงานการชะล้างพังทลายดินดีกว่าความหนาแน่นของเรือนยอด โดยเศษซากพืชปกคลุมดินหลังจากการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุม และช่วยลดน้ำไหลบ่าหน้าดินและการสูญเสียดิน นอกจากนี้พื้นที่ที่มีหญ้าหรือวัชพืชขึ้นก่อนข้างหนาแน่น จะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียดินน้อยมาก เมื่อเทียบกับการสูญเสียดินจากพื้นที่ว่างเปล่าที่ไถพรวนทิ้งไว้ (Gupta, 1981) สำหรับการมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ มีผลต่อการเพิ่มโอกาสที่น้ำจะซึมลงดินได้มากขึ้น และช่วยชะลออัตราความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ดังนั้นเมื่อมีการปลูกข้าวโพด และถั่วเหลืองร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำจึงมีผลต่อการช่วยลดการสูญเสียดิน โดยสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Krishnarajah (1984) ที่พบว่าการปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขาสามารถช่วยลดการสูญเสียดินได้ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความลาดชันและความยาวของความลาดชันสูง และมีฝนตกชุก แต่จากการศึกษานี้ พบว่าในแปลงปลูกถั่วเหลืองที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ในระยะต้นอ่อนถึงระยะหลังเก็บเกี่ยว มีการสูญเสียดิน

แตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับแปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม เนื่องจากมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ที่สร้างในแปลงทดลองที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีความลาดชันที่ไม่มากนัก

5. ค่าดัชนีของพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor)

ผลการศึกษาค่า C-factor และ CP-factor ของพืชคลุมดิน 2 ชนิด คือ ข้าวโพด และถั่วเหลือง ตามระยะการเจริญเติบโตของพืช 5 ระยะ ได้แก่ ระยะก่อนปลูก ระยะต้นอ่อน ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่ ระยะเก็บเกี่ยว และหลังเก็บเกี่ยว พบว่า C-factor ของข้าวโพดมีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนเท่ากับ 0.71 และต่ำสุดในระยะหลังเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.04 และมีค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.18 สำหรับ C-factor ของถั่วเหลือง มีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนเท่ากับ 0.31 และต่ำสุดในระยะหลังเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.02 และมีค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.12 สำหรับค่า CP-factor ของข้าวโพดสูงสุดในระยะต้นอ่อนเท่ากับ 0.25 มีค่าต่ำสุด ในระยะที่ฝักเจริญเต็มที่และหลังเก็บเกี่ยวมีค่าเท่ากับ 0.07 และมีค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.14 สำหรับค่า CP-factor ของถั่วเหลือง มีค่าสูงสุดในระยะก่อนปลูกเท่ากับ 0.37 และมีค่าต่ำสุดในระยะหลังเก็บเกี่ยว เท่ากับ 0.03 และมีค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.12 (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ค่า C-factor และ CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพด และถั่วเหลืองในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต	C-factor		CP-factor	
	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง
ระยะก่อนปลูก	0.19	0.24	0.20	0.37
ระยะต้นอ่อน	0.71	0.31	0.25	0.16
ระยะฝักเจริญเต็มที่	0.09	0.05	0.07	0.08
ระยะเก็บเกี่ยว	0.06	0.06	0.11	0.09
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	0.04	0.02	0.07	0.03
เฉลี่ยตลอดการศึกษา	0.18	0.12	0.14	0.12

เมื่อพิจารณาลักษณะแนวโน้มของค่า C-factor และ CP-factor กล่าวได้ว่าระยะต้นอ่อนเป็นระยะที่มีค่าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากในระยะแรกของการปลูกพืช ความสามารถในการคลุมดินยังน้อยอยู่ โอกาสที่เมล็ดฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินกระทำต่อผิวดินจึงมีมาก แต่พบว่าค่า CP-factor ของถั่วเหลือง มีแนวโน้มที่ต่างไป มีค่าสูงสุดในระยะก่อนปลูก เนื่องจากในการเปิดเครื่องจำลองฝน ในช่วงระยะก่อนปลูกนั้นแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขาได้รับปริมาณน้ำฝนสูงกว่าแปลงทดลองอื่น ๆ เป็นผลทำให้การชะล้างพังทลายดินเกิดขึ้นสูงที่สุด ส่วนในระยะหลังเก็บเกี่ยว เป็นระยะที่มีค่า C-factor และ CP-factor ต่ำสุดแทนที่จะเป็นระยะที่ฝักเจริญเต็มที่ซึ่งถือได้ว่ามีเปอร์เซ็นต์เรือนยอดสูงสุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระยะหลังเก็บเกี่ยวสภาพพื้นที่มีเศษซากพืชปกคลุมผิวดิน ส่งผลให้ค่า C-factor มีค่าต่ำกว่าทุกระยะการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับ Albert *et al.* (1985) ซึ่งได้ศึกษาอิทธิพลของระบบการเพาะปลูกของข้าวโพด และถั่วเหลืองต่อการสูญเสียดิน และค่า C-factor พบว่า เมื่อมีซากพืชปกคลุมดิน ค่า C-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง มีค่า C-factor ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับในระยะที่ทำการเพาะปลูก แสดงให้เห็นว่าหากมีเศษซากพืชปกคลุมดิน ในระยะหลังเก็บเกี่ยว จะมีผลต่อการลดลงของค่า C-factor นอกจากนี้แปลงทดลองที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ยังปกคลุมด้วยหญ้าจรจบ (*Pennisetum pedicellatum* Trin.) ค่อนข้างหนาแน่น และจากผลการศึกษาของชาตรี (2534) พบว่าวัชพืชที่ปกคลุมดินมีส่วนสำคัญในการช่วยลดการชะล้างพังทลายดิน โดยเฉพาะวัชพืชที่มีระบบรากที่ประสานกันอย่างหนาแน่นในดินชั้นบน ทำให้มีความสามารถในการยึดเหนี่ยวดินได้ดี นอกจากนี้ระยะเก็บเกี่ยวจะเห็นได้ว่าค่า C-factor และ CP-factor ของข้าวโพดและถั่วเหลืองมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับระยะที่ฝักเจริญเต็มที่ เนื่องจากในระยะเก็บเกี่ยวทั้งข้าวโพดและถั่วเหลือง มีจำนวนใบลดน้อยลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การปกคลุมดินต่ำกว่าในระยะที่ฝักเจริญเต็มที่ ส่งผลให้ค่า C-factor และ CP-factor มีค่าลดลง

เปรียบเทียบค่า C-factor และ CP-factor ของข้าวโพดและถั่วเหลือง เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยตลอดการศึกษา พบว่าค่า C-factor และ CP-factor ของข้าวโพดมีค่า เท่ากับ 0.18 และ 0.14 ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองมีค่า C-factor และ CP-factor เท่ากัน คือ เท่ากับ 0.12 และเมื่อพิจารณาจะพบว่าการปลูกข้าวโพดร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ มีผลต่อการช่วยลดค่า CP-factor ได้ค่อนข้างน้อย ในขณะที่ค่า C-factor และ CP-factor ของถั่วเหลือง พบว่ามีค่าเท่ากันเนื่องจากแปลงทดลองที่มีขนาดเล็ก และอยู่บนแปลงที่มีความลาดชันน้อย เมื่อมีการสร้างมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำโดยการปลูกพืชตามแนวระดับขอบเขา ความแตกต่างระหว่างแปลงปลูกพืชไม่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ กับแปลงปลูกพืชโดยมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ จึงมีความแตกต่างกันน้อยมาก

สำหรับค่า C-factor และ CP-factor เป็นค่าเฉพาะของท้องถิ่นนั้น ๆ ซึ่งพืชชนิดเดียวกัน แต่ต่างท้องถิ่น อาจแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศโดยเฉพาะฝน และวิธีการเขตกรรม (Practice) เมื่อเปรียบเทียบค่า C-factor ของข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ค่า C-factor ที่ได้จากการศึกษาของ FAO (1996) ของข้าวโพดและถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 0.67 และ 0.40 ตามลำดับ ส่วน C-factor ที่ได้รวบรวมโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2543 ก) ของข้าวโพดและถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 0.50 และ 0.42 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า C-factor ของทั้งข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.18 และ 0.12 ตามลำดับ พบว่ามีค่าต่างกันอยู่มาก ส่วนเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะค่า CP-factor ของข้าวโพดจาก FAO (1996) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.16 กับค่า CP-factor การศึกษาครั้งนี้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.14 จะเห็นได้ว่าทั้ง C-factor และ CP-factor จะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น (ตารางที่ 11)

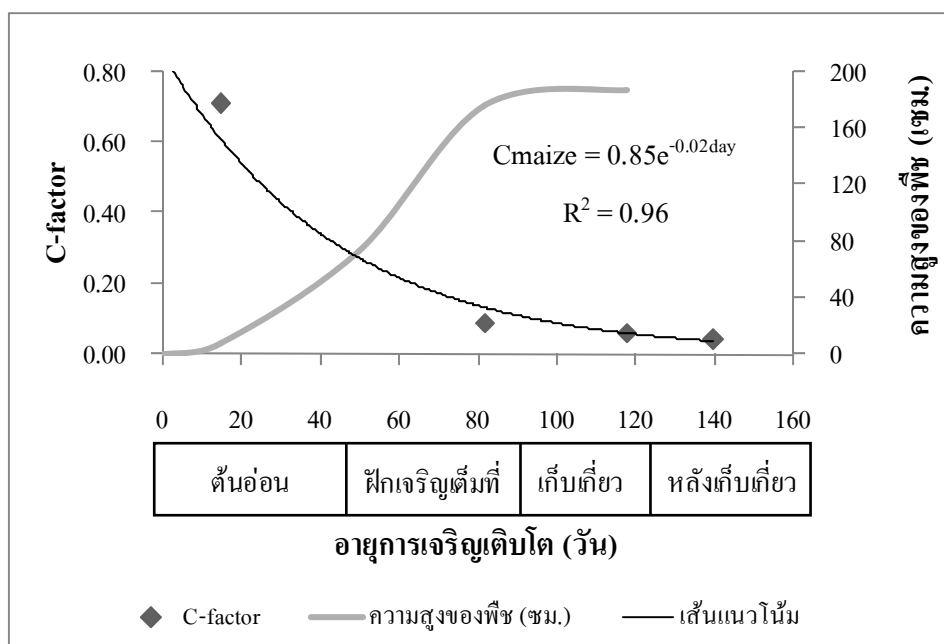
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง

ผู้ทำการศึกษา	ขนาดแปลง ทดลอง	C-factor		CP-factor	
		ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง
แปลงทดลองครั้งนี้	1x4 เมตร	0.18	0.12 ¹	0.14 ¹	0.12 ¹
FAO (1996)	22.13x4 เมตร	0.67 ²	0.40 ²	0.16 ²	-
กรมพัฒนาที่ดิน (2543 ก)	-	0.50 ³	0.42 ³	-	-

หมายเหตุ: - คือ C-factor ที่ได้จากการประมาณค่า

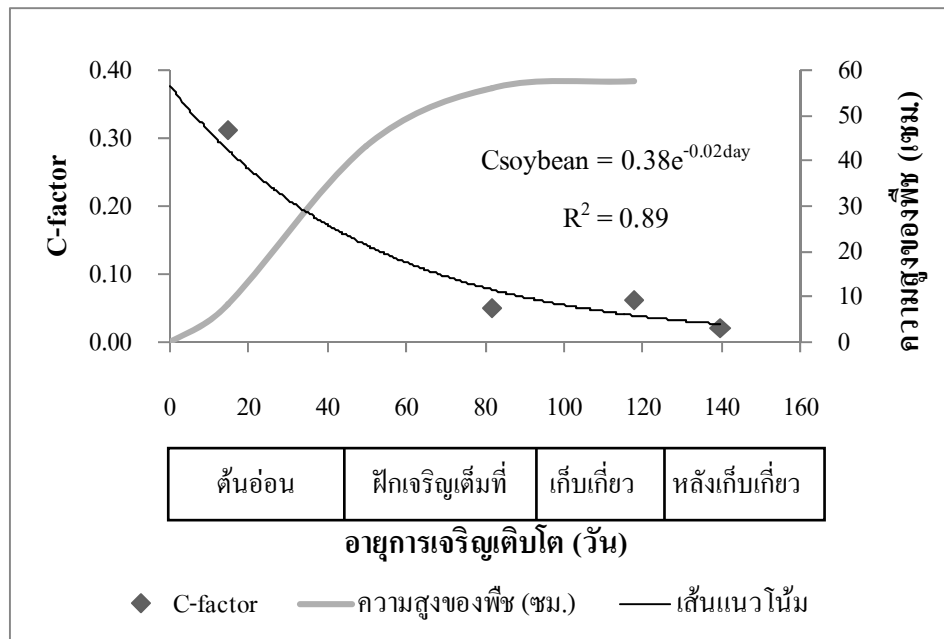
6. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) กับอายุการเจริญเติบโต

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดและถั่วเหลือง มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเอกซโพเนนเชียล และเป็นลบ นั่นคือ เมื่ออายุการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น C-factor มีค่าลดลง โดยความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดอยู่ในรูปสมการ $C_{maize} = 0.85e^{-0.02day}$ ($R^2 = 0.96$) (ภาพที่ 11)

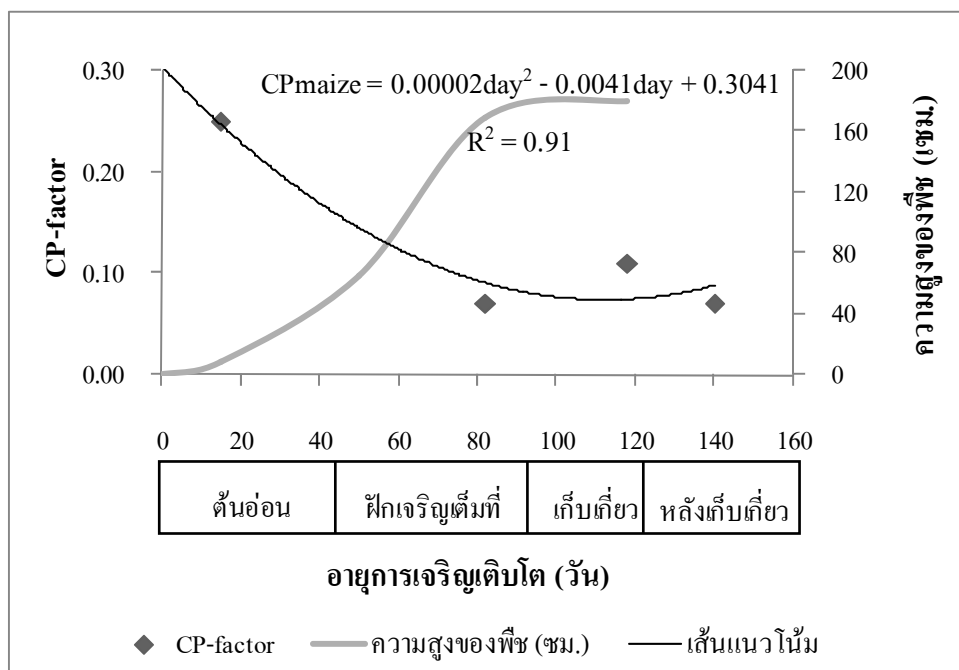


ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขามะแม้ง จังหวัดแพร่

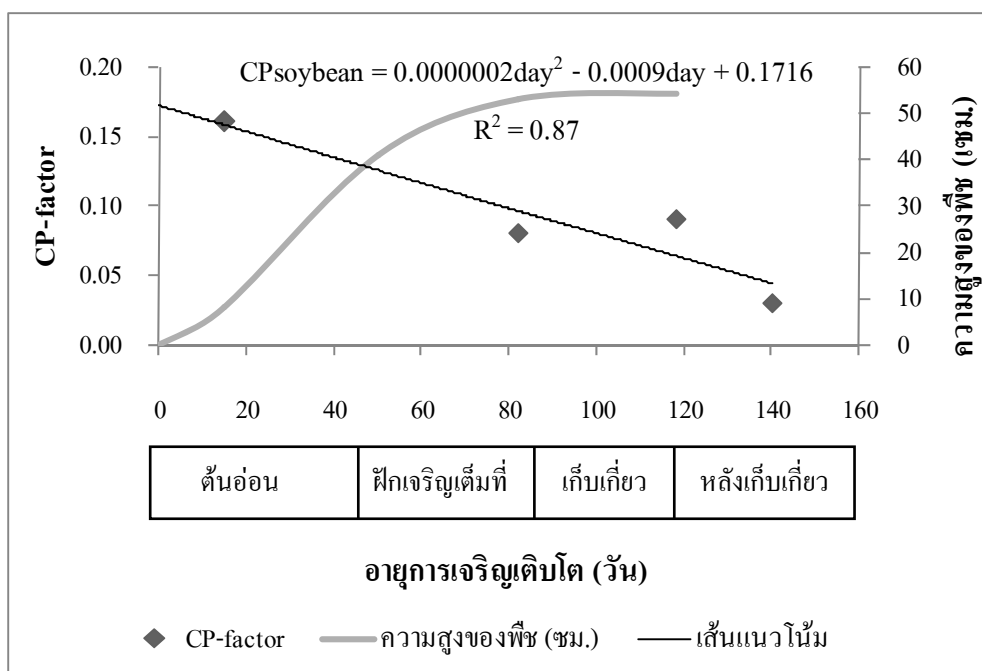
ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอยู่ในรูปสมการ $C_{soybean} = 0.38e^{-0.02day}$ ($R^2 = 0.89$) (ภาพที่ 12) และบางช่วงที่เส้นแนวโน้มของข้าวโพดและถั่วเหลืองไม่ไปในทิศทางเดียวกัน เพราะข้อมูลที่นำมาแสดงเป็นแผนภาพการกระจาย มีจำนวนตัวอย่างน้อย การศึกษาเกี่ยวกับค่า C-factor และการสูญเสียดิน อาจมีความจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาลายถาดูกาลเพื่อยืนยันค่าความถูกต้อง และแนวโน้มการกระจายของข้อมูล ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดและถั่วเหลือง มีความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบพหุนาม โดยเมื่ออายุการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ค่า CP-factor จะลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดอยู่ในรูปสมการ $CP_{maize} = 0.00002day^2 - 0.0041day + 0.3041$ ($R^2 = 0.91$) (ภาพที่ 13) และความสัมพันธ์ระหว่างค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอยู่ในรูปสมการ $CP_{soybean} = 0.0000002day^2 - 0.0009day + 0.1716$ ($R^2 = 0.87$) (ภาพที่ 14) ซึ่งความสัมพันธ์มีรูปแบบเป็นเส้นโค้ง (Curvelinear) มีรูปแบบแตกต่างจากความสัมพันธ์ระหว่าง C-factor และ อายุการเจริญเติบโตของพืช สำหรับประเทศไทยการศึกษาถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภทไม้ยืนต้น สวนป่า และระบบวนเกษตร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการศึกษาหลายปี เช่น การศึกษาของ ชาตรี (2534) ที่ศึกษาการชะล้างพังทลายดินจากสวนป่าไม้โตเร็วบนพื้นที่ลาดเขาที่ทำเป็นขั้นบันไดดิน ส่วนศุภมิตร (2539)



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขามะแม้ง จังหวัดแพร่



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขามะแม้ง จังหวัดแพร่



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ได้ทำการศึกษาอายุต้นไม้มันในระบบวนเกษตรกับค่า CP-factor ซึ่งผลการศึกษาทั้งสองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือความสัมพันธ์เป็นไปในรูปแบบฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่เป็นแบบลบ เมื่ออายุพืชมากขึ้น ทำให้ค่า CP-factor ลดลง แต่จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเจริญเติบโตของพืชกับค่า CP-factor ครั้งนี้ พบว่าความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบพหุนาม เนื่องมาจากปัจจัยในการศึกษาแตกต่างกัน เช่น ชนิดของพืชที่ปลูกคลุมดิน ความสูงของพืช และช่วงอายุพืช รวมทั้งมาตรการที่ใช้ในแปลงทดลอง ซึ่งมีผลต่อรูปแบบสมการความสัมพันธ์ และยังพบว่านอกจากอิทธิพลของการปลูกคลุมดินของพืช ยังมีอิทธิพลของเศษซากพืชคลุมดิน และหญ้าที่ขึ้นปกคลุม ซึ่งมีผลต่อค่า CP-factor อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาสุกมิตร (2539) ที่พบว่าถึงแม้ความสัมพันธ์ระหว่าง CP-factor กับอายุต้นไม้มันในระบบวนเกษตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดสูง แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อันเนื่องมาจากวัชพืช และพืชชั้นล่างที่ปกคลุม เช่น หญ้าคา และสาบเสือ มีอิทธิพลต่อค่า CP-factor อยู่มาก เมื่อเทียบกับบทบาทของระบบวนเกษตรและอายุของสวนป่า

7. การสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยประยุกต์ใช้ค่า C-factor และ CP-factor จากแปลงทดลอง และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เมื่อกำหนดภาพเหตุการณ์ (Scenario) ตามนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดิน

7.1 การสูญเสียดินในสภาพปัจจุบัน

การสูญเสียดินที่ประเมินค่าจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นการสูญเสียดินในแต่ละกริด (On site erosion) พบว่าการสูญเสียดินในสภาพปัจจุบัน (Existing condition) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ เมื่อเทียบกับเกณฑ์การสูญเสียดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2545 ก) จะเห็นได้ว่าการสูญเสียดินอยู่ในระดับเล็กน้อย (Slight) มีพื้นที่เท่ากับ 49.85 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 41.58 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาเป็นระดับรุนแรง (Severe) คิดเป็นพื้นที่ 29.11 ตารางกิโลเมตร หรือ ร้อยละ 24.28 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ที่เหลืออยู่ในระดับปานกลาง (Moderate) รุนแรงมาก (Very severe) และรุนแรงมากที่สุด (Extremely severe) คิดเป็นพื้นที่ 27.93, 6.59 และ 6.42 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 23.30, 5.49 และ 5.36 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับโดยระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินในระดับปานกลางถึงรุนแรงมากที่สุด มีพื้นที่รวมกันประมาณ 63.63 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 53.07 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งพื้นที่บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่ควรกำหนดนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดิน (ตารางที่ 12 และ ภาพผนวกที่ 6)

ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง เป็นลุ่มน้ำที่เป็นภูเขาที่สลับซับซ้อน (Mountainous watershed) มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ และมีการทำการเกษตรบนพื้นที่สูง ซึ่งการสูญเสียดินในระดับลุ่มน้ำ (Watershed scale) ของลุ่มน้ำประเภทนี้ขึ้นอยู่กับค่า C-factor และ LS-factor (Zhou *et al.*, 2008) ดังนั้นในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ความยาวความลาดชันมาก และมีการทำการเกษตรโดยไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ จึงทำให้มีการสูญเสียดินค่อนข้างสูง แต่จะเห็นได้ว่าร้อยละของพื้นที่ที่มีการสูญเสียดินในระดับรุนแรงมากและรุนแรงมากที่สุด มีจำนวนพื้นที่ค่อนข้างน้อย เนื่องจากว่าบางบริเวณที่มีความลาดชันสูงมาก ยากต่อการเข้าถึงพื้นที่เพื่อใช้ในการทำการเกษตร จึงยังไม่ถูกบุกเบิก และยังคงสภาพเป็นพื้นที่ป่าไม้อยู่

ตารางที่ 12 การสูญเสียดินแต่ละภาพเหตุการณ์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระดับและอัตราการสูญเสียดิน		การสูญเสียดิน							
ระดับ	อัตรา (ตัน/เฮกแตร์/ปี)	สภาพปัจจุบัน		ข้าวโพดและ ถั่วเหลือง + มาตรการ		ควบคุมพื้นที่ ชั้นคุณภาพ ลุ่มน้ำที่ 1A		ควบคุมพื้นที่ชั้น คุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และมีมาตรการในชั้น คุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3	
		พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
เล็กน้อย (Slight)	0.00-12.50	49.85	41.58	57.41	47.88	73.67	61.44	79.85	66.59
ปานกลาง (Moderate)	12.50-31.25	27.93	23.30	35.60	29.69	25.26	21.07	28.77	23.99
รุนแรง (Severe)	31.25-93.75	29.11	24.28	24.78	20.66	17.30	14.43	10.75	8.96
รุนแรงมาก (Very severe)	93.75-125.00	6.59	5.49	1.42	1.18	2.32	1.94	0.37	0.31
รุนแรงมากที่สุด (Extremely severe)	>125.00	6.42	5.36	0.71	0.59	1.35	1.12	0.17	0.14
รวม		119.91	100.00	119.91	100.00	119.91	100.00	119.91	100.00

7.2 การคาดการณ์การสูญเสียดิน เมื่อมีการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

การคาดการณ์การสูญเสียดิน เมื่อมีการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ เมื่อเทียบกับเกณฑ์การสูญเสียดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2545 ก) จะเห็นได้ว่าการสูญเสียดินอยู่ในระดับเล็กน้อย (Slight) มีพื้นที่เท่ากับ 57.41 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 47.88 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาเป็นระดับปานกลาง (Moderate) คิดเป็นพื้นที่ 35.60 ตารางกิโลเมตร หรือ ร้อยละ 29.69 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ที่เหลืออยู่ในระดับรุนแรง (severe) รุนแรงมาก (Very severe) และรุนแรงมากที่สุด (Extremely severe) คิดเป็นพื้นที่ 24.78 , 1.42 และ 0.71 ตารางกิโลเมตร หรือ คิดเป็นร้อยละ 20.66, 1.18 และ 0.59 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ ภาพผนวกที่ 7)

เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียดินเมื่อมีการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำกับการสูญเสียดินสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง พบว่าการสูญเสียดินระดับเล็กน้อย และปานกลางมีพื้นที่เพิ่มขึ้น สำหรับการสูญเสียดินระดับรุนแรง รุนแรงมาก และรุนแรงมากที่สุดมีพื้นที่ลดลง โดยสามารถลดพื้นที่ในระดับดังกล่าวได้ประมาณร้อยละ 14-15 ซึ่งค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก ค่า CP-factor ที่นำมาประยุกต์ใช้ของข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงทดลองบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาประเมินค่าการสูญเสียดินพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถางที่มีความลาดชันเฉลี่ยประมาณ 36.1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประสิทธิภาพของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในการช่วยลดการสูญเสียดินค่อนข้างต่ำ สำหรับการสร้างมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่ต้องใช้ทั้งงบประมาณและระยะเวลาในการดำเนินการ จำเป็นต้องวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ควรพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่ปลูกข้าวโพดบนความชันสูงและความยาวของลาดชันมาก เพราะพื้นที่ดังกล่าวมีการสูญเสียดินในระดับรุนแรง รุนแรงมาก และรุนแรงมากที่สุด ซึ่งมีความจำเป็นต้องวางแผนเพื่อลดการสูญเสียดินอย่างเร่งด่วน

7.3 การคาดการณ์การสูญเสียดิน โดยควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A

การคาดการณ์การสูญเสียดินจากภาพเหตุการณ์โดยควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A เมื่อเทียบกับเกณฑ์การสูญเสียดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2545 ก) จะเห็นได้ว่าการสูญเสียดินอยู่ในระดับเล็กน้อย (Slight) มีพื้นที่เท่ากับ 73.67 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 61.44 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาเป็นระดับปานกลาง (Moderate) คิดเป็นพื้นที่ 25.56 ตารางกิโลเมตร หรือ ร้อยละ 21.07 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ที่เหลืออยู่ในระดับรุนแรง (severe) รุนแรงมาก (Very severe) และรุนแรงมากที่สุด (Extremely severe) คิดเป็นพื้นที่ 17.30 , 2.32 และ 1.35 ตารางกิโลเมตร หรือ คิดเป็นร้อยละ 14.43, 1.94 และ 1.12 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ ภาพผนวกที่ 8)

ลุ่มน้ำสาขาแม่ถางมีพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A เท่ากับ 59.77 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 49.10 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 สำหรับการคาดการณ์การสูญเสียดินโดยมีการควบคุมพื้นที่การปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A เมื่อเทียบกับการสูญเสียดินในสภาพปัจจุบัน (Existing condition) พบว่าสามารถลดการสูญเสียดินในระดับรุนแรง รุนแรงมาก และรุนแรงมากที่สุดได้ โดยสามารถลดพื้นที่ได้ประมาณร้อยละ 10

7.4 การคาดการณ์การสูญเสียดิน โดยควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยมีมาตรการอนุรักษ์และน้ำ

การคาดการณ์การสูญเสียดินจากภาพเหตุการณ์โดยควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยมีมาตรการอนุรักษ์และน้ำ เมื่อนำมาเทียบกับเกณฑ์การสูญเสียดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2545 ก) จะเห็นได้ว่าการสูญเสียดินอยู่ในระดับเล็กน้อย (Slight) มีพื้นที่เท่ากับ 79.85 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 66.59 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาเป็นระดับปานกลาง (Moderate) คิดเป็นพื้นที่ 28.77 ตารางกิโลเมตร หรือ ร้อยละ 23.99 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ที่เหลืออยู่ในระดับรุนแรง (severe) รุนแรงมาก (Very severe) และรุนแรงมากที่สุด (Extremely

severe) คิดเป็นพื้นที่ 10.75 , 0.37 และ 0.17 ตารางกิโลเมตร หรือ คิดเป็นร้อยละ 8.96, 0.31 และ 0.14 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ ภาพผนวกที่ 9)

ภาพเหตุการณ์นี้สามารถเห็นถึงผลของการลดพื้นที่การสูญเสียดินในระดับรุนแรงรุนแรงมาก และรุนแรงมากที่สุด ได้ชัดเจนกว่าภาพเหตุการณ์อื่นๆ ดังนั้นหากต้องการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดิน โดยควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยมีมาตรการอนุรักษ์และน้ำจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการช่วยลดการสูญเสียดิน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องจำลองฝน (Rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากแปลงทดลองการสูญเสียดินที่สร้างจำนวน 15 แปลง มีความลาดชันของพื้นที่ 15 เปอร์เซ็นต์ และหาความสัมพันธ์ระหว่าง C-factor, CP-factor กับอายุการเจริญเติบโต รวมทั้งประเมินการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยประยุกต์ใช้ค่า C-factor และ CP-factor จากแปลงทดลอง และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อกำหนดภาพเหตุการณ์ (Scenario) ตามนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดินโดยมีผลการศึกษาสรุปได้ ดังนี้

การประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีพืชคลุมดินร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (CP-factor) ในสมการ USLE ของข้าวโพดและถั่วเหลือง โดยทำการเก็บข้อมูล 5 ระยะการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ระยะก่อนปลูก ระยะต้นอ่อน ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่ ระยะเก็บเกี่ยว และระยะหลังเก็บเกี่ยว พบว่าค่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.18 มีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนเท่ากับ 0.71 และค่าต่ำสุดในระยะหลังเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.04 ส่วนค่า C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลืองทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.12 มีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนเท่ากับ 0.31 และค่าต่ำสุดในระยะหลังเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.02 สำหรับค่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดเท่ากับ 0.14 และมีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนเท่ากับ 0.25 โดยมีค่าต่ำสุดในระยะที่ฝักเจริญเต็มที่และระยะหลังเก็บเกี่ยวเท่ากัน คือ 0.07 ส่วนค่า CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง ทั้ง 5 ระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.12 และมีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนเท่ากับ 0.37 ค่าต่ำสุดในระยะหลังเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.03 จะเห็นได้ว่าระยะหลังเก็บเกี่ยวมีค่า C-factor และ CP-factor ต่ำสุด ทั้งข้าวโพด และถั่วเหลือง

ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดอยู่ในรูปสมการ $C_{maize} = 0.85e^{-0.02day}$ มีสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.96 และความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอยู่ในรูปสมการ $C_{soybean} = 0.38e^{-0.02day}$ มีสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.89 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า CP-factor กับอายุการ

เจริญเติบโตของข้าวโพดอยู่ในรูปสมการ $CP_{maize} = 0.00002day^2 - 0.0041day + 0.3041$ สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.91 และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CP-factor กับอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอยู่ในรูปสมการ $CP_{soybean} = 0.0000002day^2 - 0.0009day + 0.1716$ สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) = 0.87

การสูญเสียดินในสภาพปัจจุบัน (Existing condition) มีพื้นที่มากที่สุดอยู่ในระดับความรุนแรงเล็กน้อย (Slight) มีพื้นที่เท่ากับ 49.85 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 41.58 ของพื้นที่ทั้งหมด และการสูญเสียดินในระดับรุนแรงมากที่สุด (Extremely severe) มีพื้นที่น้อยที่สุด คือ มีพื้นที่เท่ากับ 6.42 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 5.39 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินในระดับปานกลางถึงระดับรุนแรงมาก มีพื้นที่รวมกันประมาณร้อยละ 53.07 หากมีการกำหนดภาพเหตุการณ์ (Scenario) ตามนโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการสูญเสียดิน ซึ่งมีทั้งหมด 3 ภาพเหตุการณ์ คือ (1) เมื่อมีการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ (2) ควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองตามชั้นคุณภาพ ลุ่มน้ำที่ 1A และ (3) ควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ทำให้การสูญเสียดินในระดับรุนแรง รุนแรงมาก และรุนแรงมากที่สุด มีพื้นที่ลดลง โดยภาพเหตุการณ์ที่ 3 สามารถเห็นผลได้ชัดเจนกว่าภาพเหตุการณ์อื่นๆ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการติดตั้งเครื่องตรวจวัดฝนอัตโนมัติในแปลงทดลอง เพื่อให้ทราบปริมาณความหนักเบาของฝน และสามารถนำมาใช้ปรับเทียบกับปริมาณที่ได้รับจากแก้วสเดนเลสที่ติดตั้งไว้รอบแปลงทดลอง เนื่องจากบางครั้งเมื่อพืชโตขึ้น เรือนยอดของพืชบางส่วนจะก้ำบังไม่ให้ฝนตกลงสู่แก้วสเดนเลสได้โดยตรง

2. ระยะหลังเก็บเกี่ยวพบว่ามีค่า C-factor และการสูญเสียดินมีค่าต่ำกว่าทุกระยะการเจริญเติบโต เนื่องมาจากการปกคลุมของเศษซากพืช ดังนั้นในระยะหลังเก็บเกี่ยวเกษตรกรควรปล่อยให้มีเศษซากพืชคลุมดินเอาไว้ แทนการเผาหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียดินได้

3. บางพื้นที่ในกลุ่มน้ำสาขาแม่อาง ที่สามารถปลูกพืชได้ 2 ฤดูกาลเพาะปลูก ควรทำการปลูกถั่วเหลืองแทนการปลูกข้าวโพดในฤดูกาลเพาะปลูกที่ 2 เพราะสามารถช่วยลดค่า C-factor และการสูญเสียดินได้ดี อีกทั้งยังเป็นการปรับปรุงบำรุงดินอีกด้วย

4. การศึกษาค่า C-factor และ CP-factor ควรมีการทำซ้ำเพื่อยืนยันผลที่ถูกต้อง โดยทำการศึกษามากมาย ครอบคลุมฤดูกาลเพาะปลูก และเพิ่มการจำลองฝนในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (แต่ต้องพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่พืชได้รับรวมด้วย)

5. การศึกษาค่า C-factor และ CP-factor การที่จะได้ฝนแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะที่เหมือนกันสำหรับฝนธรรมชาติเป็นเรื่องยากมาก ดังนั้นการใช้เครื่องจำลองฝนจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการทำการศึกษา เพราะช่วยประหยัดเวลาในการทำการทดลอง รวมทั้งสามารถกำหนดระยะเวลาตามที่ต้องการได้

6. เศษซากพืชปกคลุมดินมีส่วนทำให้ค่า C-factor และการสูญเสียดินลดลง ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ของเศษซากพืชปกคลุมหน้าดินต่อการชะล้างพังทลายของดิน เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนเพื่อลดการสูญเสียดิน

7. ควรมีสิ่งกีดขวางในระหว่างจำลองฝน เพื่อลดอิทธิพลของปัจจัยลมที่จะส่งผลต่อปริมาณ และการกระจายของฝนในแปลงทดลอง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2518. แผนที่ธรณีวิทยา. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

กรมแผนที่ทหาร. 2542. แผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7018. กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2543 ก. การชะล้างพังทลายดินในประเทศไทย ระดับประเทศ ระดับภาค.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2543 ข. รายงานบทคัดย่อ ผลงานวิจัย กองอนุรักษ์ดินและน้ำ พ.ศ. 2533-2542.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2544. นิยามและทางเลือกมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.

_____. 2545 ก. การประเมินการสูญเสียดินในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.

_____. 2545 ข. แผนที่ชุดดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทรแก้ว. 2539. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ชาติรี มากนวล. 2534. การประมาณค่าประสิทธิภาพการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินใน
สมการสูญเสียดินสากลของสวนป่าไม้โตเร็วอายุ 7 ปี บนชั้นบันไดดิน บริเวณสถานีเกษตร
หลวงอ่างขาง เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2527. การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนใน
พื้นที่ลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิวัติ เรืองพานิช. 2547. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา. 2550. รายงานการวิเคราะห์ลุ่มน้ำแม่ตาง (สถานีวิจัยลุ่มน้ำยม)
อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรากร สุจริต. 2551. การประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการ
ชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องกำเนิด
ฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาง จังหวัดแพร่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันชัย วิจารณ์ท์. 2524. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การควบคุมการพังทลายของดินที่ใช้ในสมการ
สูญเสียดินสากลของป่าดิบเขา คอยปุยเชียงใหม่. ปัญหาพิเศษการจัดการลุ่มน้ำ ภาควิชา
อนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภมิตร จารุญญลักษณ์. 2539. การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงปลูกพืชระบบวนเกษตร บริเวณ
พื้นที่ลุ่มน้ำภูเวียง อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถานีวิจัยลุ่มน้ำยม. 2550. ข้อมูลตรวจอากาศห้วยหม่าใน อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่. กรม
อุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม,
กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา).

สมเจตน์ จันทวัฒน์ และ สถาพร ใจอารีย์. 2537. ผลของการปฏิบัติการเกษตรกรรมต่าง ๆ ที่มีผลต่อน้ำไหลบ่าบนผิวดิน และการสูญเสียดินบนพื้นที่ลาดเท. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Aina, P.O., R. Lal and G.S. Taylor. 1977. Soil and Crop Management in Relation to Soil Erosion in the Rainforest of Western Nigeria. pp. 75-82. *In* G.R. Foster, eds. **Soil erosion : Prediction and Control**. Soil Conservation Society of America, USA.

Alberts, E.E., R.C. Wendt and R.E. Burwell. 1985. Corn and Soybean Cropping Effects on Soil Losses and C factor. **Soil Sci. Soc. of Amer.** 49:721-728.

Clapp, R.B. and G.M. Hornberger. 1978. Empirical Equations for Some Soil Hydraulic properties. **Water Resources Research**. 14: 601-604.

Dangler, E.W. and S.A. El-Swaify. 1976. Erosion of Selected Hawaii soil by Simulated Rainfall. **Soil Sci. Soc. of Amer.** 40: 760-773.

Esteves, M., Planchon, O., Lapetite, J.M., Silvera, N. and P. Cadet. 2000. The “EMIRE” Large Rainfall Simulator: Design and Field Testing. **Earth Surface Processes and Landforms** . 25: 681-690.

FAO. 1996. Effects of plant cover. **Land husbandry - Components and strategy**. Available Source: <http://www.fao.org/docrep/T1765E/t1765e0h.htm>, May 20, 2009.

Gupta, R.K. 1981. Ecological Consequences of Irrational Landuses on Loss of Productive Soil. pp. 219-230. *In* **Proceeding South-East Asia Regional Symposium on Problems of Soil Erosion and Sedimentation**. AIT and Hydraulicss Res. Sta. (Walling ford, U.K.), Bangkok.

Hudson, N. 1971. **Soil conservation**. B.T. Bassford Limited, New York

- Kosmas, C., N. Danalatos, I. H. Carnmeraat, M. Chabart, J. Diarntopoulos, R. Farland, I. Gutierrez, A. Jacob, H. Marques, J. Martinez-Fernandez, A. Mizara, N. Moustakas, J. M. Nicolau, Pinna G. Oliveros, R. Puddu, J. Puigdefabregas, M. Roxo, A. Simao, G. Stamou, N. Tomasi, D. Usai, A. Vacca. 1997. The Effect of Land Use on Runoff and Soil Erosion Rates under Mediteratian Condition. **Catena**. 29: 45-59.
- Krishnarajah, P. 1984. Soil Erosion Control Measures in Sri Lanka with Reference to Tea Land. pp.13. *In International Workshop on Soil Erosion and its Countermeasures November 11-19, 1984*. Chiangmai, Thailand.
- Lal, R. 1994. **Soil Erosion Research Methods**. Soil and Water Cons. Soc., Ankeny, Iowa.
- Margues, M.J., R. Bienes, L. Jiménez and R. Pérez- Rodrigue. 2007. Effect of Vegetal Cover on Runoff and Soil Erosion under Light Intensity Events Rainfall Simulation over USLE Plots. **Science of the Total Environment**. 378: 161-165.
- Meyer, L.D., G.R. Foster and M.J.M. Romkens. 1975. Source of soil eroded by water from upland slopes, pp. 177-179. *In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, Proceedings of the Sediment-Yield Workshop*. Nov. 28-30, 1975. USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.
- Morgan, R.P.C. 1986. **Soil Erosion and Conservation**. Longman Group Limited, UK.
- O'Neal, A.M. 1952. A Key for Evaluating Soil Permeability by Means of Certain Field Clues. **Soil Sci. Soc. of Amer.** 16:312-315.
- Pukngam, S. and N. Tangtham. 2005. **Soil Erosion Control Laboratory Exercises**. Department of Conservation Faculty of Forestry Kasetsart University, Bangkok.

- Sidele, R.C., A.D. Ziegler, J.N. Negishi, , A. Rahim Nik, R. Siew and F. Turkelboom. 2006.
Erosion Process in Steep Terrain- Truths, Myths, and Uncertainties Related to Forest
management in Southeast Asia. **Forest Ecology and Management**. 224:199-255.
- Srinivasan, M.S., P.J.A. Kleinman, A.N. Sharpley, T. Buob. And W.J. Gburek. 2007.
Hydrology of Small Field Plots Used to Study Phosphorus Runoff under Simulated
Rainfall. **Journal of Environmental Quality**. 36: 1833-1842.
- Toy, T.J., G.R., Foster and K.G. Renard. 2002. **Soil Erosion: Processes, Prediction,
Measurement and Control**. Wiley, New York.
- Tukelboom, F. 1999. **On-farm Diagnosis of Steepland Erosion in Northern Thailand**.
Unpublished Ph.D. Thesis., K.U. Leuven.
- Vahabi, J. and D. Nikkami. 2008. Assessing Dominant Factors Affecting Soil Erosion using a
Portable Rainfall Simulator. **International Journal of Sediment Research**.
23: 376-386.
- Vergara, N.T. 1982. **New Direction in Agroforestry: The Potential of Tropical Legume –
Improving Agroforestry in the Asia Pacific Tropics**. Prepared by a Working Group
on Agroforestry, Environmental and Policy Institute, East – West, Honolulu, Hawaii.
- Watanasak, M. 1978. **A Preliminary Study on the Evaluation of Soil Erosion Status using
Universal Soils Loss Equation and Landsat Imagery Techniques in Chonburi and
Rayong Provinces**. Master Thesis, Mahidol University.
- Williams, J.R., C.A. Jones and P.T. Dyke. 1990. The EPIC Model. pp 3-92. In Sharpley, A.N.
and J.R. Williams, eds. **EPIC-Erosion/ Productivity Impact Calculator 1: Model
Documentation** . USDA. ARS Tech. Bul. No.1768.

Wischmeier, W.H. 1959. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil loss Equation:
 Proceeding. **Soil Sci. Soc. of Amer.** 23: 246-249.

_____. 1975. **Estimating the Soil Loss Equations Cover and Management Factor for Undisturbed Areas.** Sediment Yield Workshop Proc., Oxford, Miss., ARS-S-40, US. Department of Agriculture. 118-124.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1958. Rainfall Energy and its Relationship to Soil Loss.
Trans. Amer. Geophys. 39(2): 285-291.

_____. 1962. Rainfall Erosion. **Advanced in Agronomy.** 14: 109-148.

_____. 1978. **Predicting Rainfall Erosion Losses.** A Guide to Conservation Planning. USDA (Washington, D,C,) Agr. Hand book No. 537.

Wischmeier, W.H. and C.B. Johnson. 1971. A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Constraction Site. **Journal Soil and Water Conservation.** 26: 189-193.

Zhou.,P, O. Luukkanen, T. Tokola. And J. Nieminen. 2008. Effect of Vegetation Cover on Soil Erosion in a Mountainous Watershed. **Catena.** 7: 319-325.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ดัชนีค่าโครงสร้างดินเพื่อใช้ประเมินค่า K-factor โดยใช้แผนภาพ Nomograph (K_{nom})

ดัชนี	โครงสร้างดิน
1	แบบก้อนกลมเล็กมาก (Very fine granular)
2	แบบก้อนกลมเล็ก (Fine granular)
3	แบบก้อนกลมปานกลางถึงหยาบ (Medium and coarse granular)
4	โครงสร้างแบบก้อนกลม, แบบแผ่น หรือ แบบเป็นก้อนทึบ (Blocky, platy or massive)

ที่มา: Wischmeier (1971)

ตารางผนวกที่ 2 ระดับการจำแนกค่าดัชนีการซึมน้ำผ่านผิวดิน

ลำดับ	ระดับชั้น	ค่าสัมประสิทธิ์การนำ น้ำเมื่อดินอิ่มตัว (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)	ความซึมน้ำได้ของดิน (ตารางเซนติเมตรต่อ ชั่วโมง)
1	เร็ว (Rapid)	12.500-25.000	350-700
2	ปานกลางถึงเร็ว (Moderate to rapid)	6.250-12.500	170-350
3	ปานกลาง (Moderate)	2.000-6.250	60-170
4	ช้าถึงปานกลาง (Slow to moderate)	0.500-2.000	15-60
5	ช้า (Slow)	0.125 -0.500	3-15
6	ช้ามาก (Very slow)	< 0.125	< 3

ที่มา: ดัดแปลงจาก O'Neal (1952)

ตารางผนวกที่ 3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำเมื่อดินอิ่มตัว

ลำดับ	เนื้อดิน	สัมประสิทธิ์การนำน้ำเมื่อดินอิ่มตัว (เซนติเมตรต่อวินาที)
1	ดินทราย (Sand)	1.76×10^{-2}
2	ดินทรายร่วน (Loamy sand)	1.56×10^{-2}
3	ดินร่วนทราย (Sandy loam)	3.47×10^{-3}
4	ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam)	7.20×10^{-4}
5	ดินร่วน (Loam)	6.95×10^{-4}
6	ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam)	6.30×10^{-4}
7	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay loam)	1.70×10^{-4}
8	ดินร่วนเหนียว (Clay loam)	2.45×10^{-4}
9	ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay)	2.17×10^{-4}
10	ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay)	1.03×10^{-4}
11	ดินเหนียว (Clay)	1.28×10^{-4}

ที่มา: Clapp and Hornberger (1978)

ตารางผนวกที่ 4 การจำแนกอัตราการชะล้างพังทลายดินโดยกรมพัฒนาที่ดิน

ลำดับ	ระดับชั้น	ต้นต่อไร่ต่อปี	ต้นต่อเฮกแตร์ต่อปี	CER (มิลลิเมตรต่อปี)
1	เล็กน้อย	0-2	0.00-12.50	0.00-0.96
2	ปานกลาง	2-5	12.50-31.25	0.96-2.40
3	รุนแรง	5-15	31.25-93.75	2.40-7.20
4	รุนแรงมาก	15-20	93.75-125.00	7.20-9.60
5	รุนแรงมากที่สุด	>20	>125.00	>9.60

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2545 ก)

ตารางผนวกที่ 5 ค่าดัชนีพลังชล้างของฝน (R-factor) แต่ละครั้งของฝนธรรมชาติ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต	สตอร์ม	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ระยะเวลาที่ฝนตก (min)	ความหนักเบาของฝน (mm/hr)	I_{30max} (cm/hr)	KE (m-ton/ha-cm)	E (m-ton/ha)	EI_{30} (m-ton/ha)
ระยะก่อนปลูก	6/5/2008	43.00	108	23.89	2.39	243.96	1049.03	2.51
	23/5/2008	13.00	30	26.00	4.50	247.23	321.40	14.46
ระยะต้นอ่อน	28/6/2008	15.00	84	10.71	2.00	212.97	319.45	6.39
	30/6/2008	22.00	174	7.59	2.00	199.62	439.17	8.78
	9/7/2008	19.00	42	27.14	3.00	248.90	472.90	14.19
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	14/7/2008	34.00	114	17.89	4.00	232.79	791.49	31.66
	21/7/2008	12.50	78	9.62	1.00	208.78	260.98	2.61
	22/7/2008	24.00	78	18.46	3.50	234.00	561.59	19.66
	2/8/2008	25.50	96	15.94	1.00	228.32	582.20	5.82
	2/9/2008	29.00	96	18.13	7.00	233.29	676.53	47.36
	6/9/2008	25.50	132	11.59	4.50	216.01	550.82	24.79
	7/9/2008	18.50	96	11.56	2.00	215.91	399.44	7.99
	10/9/2008	37.00	96	23.13	4.50	242.70	898.00	40.41
	13/9/2008	49.50	162	18.33	3.00	233.73	1156.96	34.71
ระยะเก็บเกี่ยว	23/10/2008	24.50	72	20.42	3.50	237.89	582.83	11.90
	2/11/2008	50.25	144	20.94	3.00	238.86	1200.28	25.13

ตารางผนวกที่ 6 ค่า K-factor C-factor และP-factor ที่ใช้ในการประเมินการสูญเสียดินโดยการ
ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	K_factor ¹	C_factor ²	P_factor ²
ป่าดิบเขา	0.160	0.003	1.000
ป่าเบญจพรรณ	0.204	0.020	1.000
ป่าเต็งรัง	0.195	0.020	1.000
ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	0.255	0.250	1.000
สวนป่า	0.210	0.088	1.000
ทุ่งหญ้า	0.197	0.015	1.000
นาข้าว	0.181	0.280	1.000
มะขาม	0.190	0.150	1.000
ลิ้นจี่	0.211	0.150	1.000
ไม้ผลผสม	0.190	0.150	1.000
ไม้ละเมาะ	0.208	0.048	1.000
หมู่บ้าน	0.000	0.000	0.000
แหล่งน้ำ	0.000	0.000	0.000

ที่มา: ¹ ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา (2550)

² กรมพัฒนาที่ดิน (2543 ก)

ตารางผนวกที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลความชื้นในดินแต่ละสิ่งทดลองจากแปลง
ทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) โดยวิธี Duncan's multiple range test

TREAT		N	Subset 1
Duncan(a,b)	4	27	24.0574
	1	27	24.3537
	5	27	24.7815
	3	27	25.1185
	2	27	25.4296
	Sig.		0.430

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square (Error) = 31.00

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 27.00

b Alpha = .05

ตารางผนวกที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลความชื้นในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชจากแปลงทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) โดยวิธี Duncan's multiple range test

STAGE	N	Subset	
		1	2
Duncan(a,b,c) Initial	30	21.5367	
Ripening	30	22.0117	
After harvesting	30	24.0883	
Harvesting	30		28.8700
Pre-planting	15		29.7200
Sig.		.129	.590

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square (Error) = 31.00

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.00

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed

c Alpha = .05

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ได้รับแต่ละแปลงทดลองจากการถ่วงน้ำหนัก (Weighting average) โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต	ครั้งที่	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)					เฉลี่ย
		ไถพรวน ขึ้น-ลง	ข้าวโพด	ข้าวโพด+ มาตรการ	ถั่วเหลือง	ถั่วเหลือง+ มาตรการ	
ระยะก่อนปลูก	1	27.12	27.68	26.89	28.41	30.98	27.40
ระยะก่อนปลูก	2	32.66	33.02	33.75	34.92	36.44	33.39
ระยะต้นอ่อน*	1	25.76	26.12	25.62	25.39	26.25	25.69
ระยะต้นอ่อน	2	25.92	26.60	25.84	28.18	27.37	26.26
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	1	30.48	30.05	25.97	30.04	30.94	30.05
ระยะที่ฝักเจริญเต็มที่	2	35.26	33.40	26.86	27.76	31.01	29.39
ระยะเก็บเกี่ยว	1	29.43	30.53	29.94	34.01	33.66	30.24
ระยะเก็บเกี่ยว**	2	29.43	30.53	29.94	34.01	33.66	30.24
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	1	33.97	35.31	31.76	29.18	30.44	31.10
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	2	32.69	32.03	29.09	29.66	31.73	30.70

หมายเหตุ * จำลองฝนเป็นระยะเวลา 24 นาฬิกา

** จำลองฝนเป็นระยะเวลา 29 นาฬิกา

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจาก
แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท

		KE	EI ₃₀	KE>1	AI _m	BARE SOIL
KE	Pearson Correlation	1	.938(**)	1.000(**)	.932(**)	.124
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.000	.750
	N	9	9	9	9	9
EI ₃₀	Pearson Correlation	.938(**)	1	.938(**)	1.000(**)	.112
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.000	.774
	N	9	9	9	9	9
KE>1	Pearson Correlation	1.000(**)	.938(**)	1	.932(**)	.124
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.000	.750
	N	9	9	9	9	9
AI _m	Pearson Correlation	.932(**)	1.000(**)	.932(**)	1	.108
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.	.783
	N	9	9	9	9	9
BARE SOIL	Pearson Correlation	.124	.112	.124	.108	1
	Sig. (2-tailed)	.750	.774	.750	.783	.
	N	9	9	9	9	9

** ค่าสหสัมพันธ์ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 (2 ทาง)

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดแบบดั้งเดิม

		KE	EI ₃₀	KE>1	AI _m	MAIZE
KE	Pearson Correlation					
		1	.918(**)	1.000(**)	.910(**)	-.432
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.	.001	.246
	N	9	9	9	9	9
EI ₃₀	Pearson Correlation					
		.918(**)	1	.918(**)	1.000(**)	-.623
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.000	.073
	N	9	9	9	9	9
KE>1	Pearson Correlation					
		1.000(**)	.918(**)	1	.910(**)	-.432
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.	.001	.246
	N	9	9	9	9	9
AI _m	Pearson Correlation	.910(**)	1.000(**)	.910(**)	1	-.637
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.001	.	.065
	N	9	9	9	9	9
MAIZE	Pearson Correlation	-.432	-.623	-.432	-.637	1
	Sig. (2-tailed)	.246	.073	.246	.065	.
	N	9	9	9	9	9

** ค่าสหสัมพันธ์ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 (2 ทาง)

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชี้แจงของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจาก
แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา

		KE	EI ₃₀	KE>1	AI _m	MAIZE_C
KE	Pearson Correlation					
		1	.892(**)	1.000(**)	.877(**)	-.195
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.000	.001	.307
	N	9	9	9	9	9
EI ₃₀	Pearson Correlation					
		.892(**)	1	.892(**)	.999(**)	-.459
	Sig. (2-tailed)	.001	.	.001	.000	.107
	N	9	9	9	9	9
KE>1	Pearson Correlation					
		1.000(**)	.892(**)	1	.877(**)	-.195
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.	.001	.307
	N	9	9	9	9	9
AI _m	Pearson Correlation					
		.877(**)	.999(**)	.877(**)	1	-.477
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.001	.	.097
	N	9	9	9	9	9
MAIZE_C	Pearson Correlation					
		-.195	-.459	-.195	-.477	1
	Sig. (2-tailed)	.307	.107	.307	.097	.
	N	9	9	9	9	9

** ค่าสหสัมพันธ์ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 (2 ทาง)

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม

		KE	EI ₃₀	KE>1	AI _m	SOYBEAN
KE	Pearson Correlation	1	.894(**)	1.000(**)	.883(**)	-.300
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.	.002	.433
	N	9	9	9	9	9
EI ₃₀	Pearson Correlation	.894(**)	1	.894(**)	1.000(**)	-.451
	Sig. (2-tailed)	.001	.	.001	.000	.223
	N	9	9	9	9	9
KE>1	Pearson Correlation	1.000(**)	.894(**)	1	.883(**)	-.300
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.	.002	.433
	N	9	9	9	9	9
AI _m	Pearson Correlation	.883(**)	1.000(**)	.883(**)	1	-.459
	Sig. (2-tailed)	.002	.000	.002	.	.214
	N	9	9	9	9	9
SOYBEAN	Pearson Correlation	-.300	-.451	-.300	-.459	1
	Sig. (2-tailed)	.433	.223	.433	.214	.
	N	9	9	9	9	9

** ค่าสหสัมพันธ์ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 (2 ทาง)

ตารางผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินจาก
แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา

		KE	EI ₃₀	KE>1	AI _m	SOYBEAN_C
KE	Pearson					
	Correlation	1	.840(**)	1.000(**)	.823(**)	-.582
	Sig. (2-tailed)	.	.005	.	.006	.100
	N	9	9	9	9	9
EI ₃₀	Pearson					
	Correlation	.840(**)	1	.840(**)	.999(**)	-.700(*)
	Sig. (2-tailed)	.005	.	.005	.000	.036
	N	9	9	9	9	9
KE>1	Pearson					
	Correlation	1.000(**)	.840(**)	1	.823(**)	-.582
	Sig. (2-tailed)	.	.005	.	.006	.100
	N	9	9	9	9	9
AI _m	Pearson					
	Correlation	.823(**)	.999(**)	.823(**)	1	-.702(*)
	Sig. (2-tailed)	.006	.000	.006	.	.035
	N	9	9	9	9	9
SOYBEAN_C	Pearson					
	Correlation	-.582	-.700(*)	-.582	-.702(*)	1
	Sig. (2-tailed)	.100	.036	.100	.035	.
	N	9	9	9	9	9

* ค่าสหสัมพันธ์ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 (2 ทาง)

** ค่าสหสัมพันธ์ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 (2 ทาง)

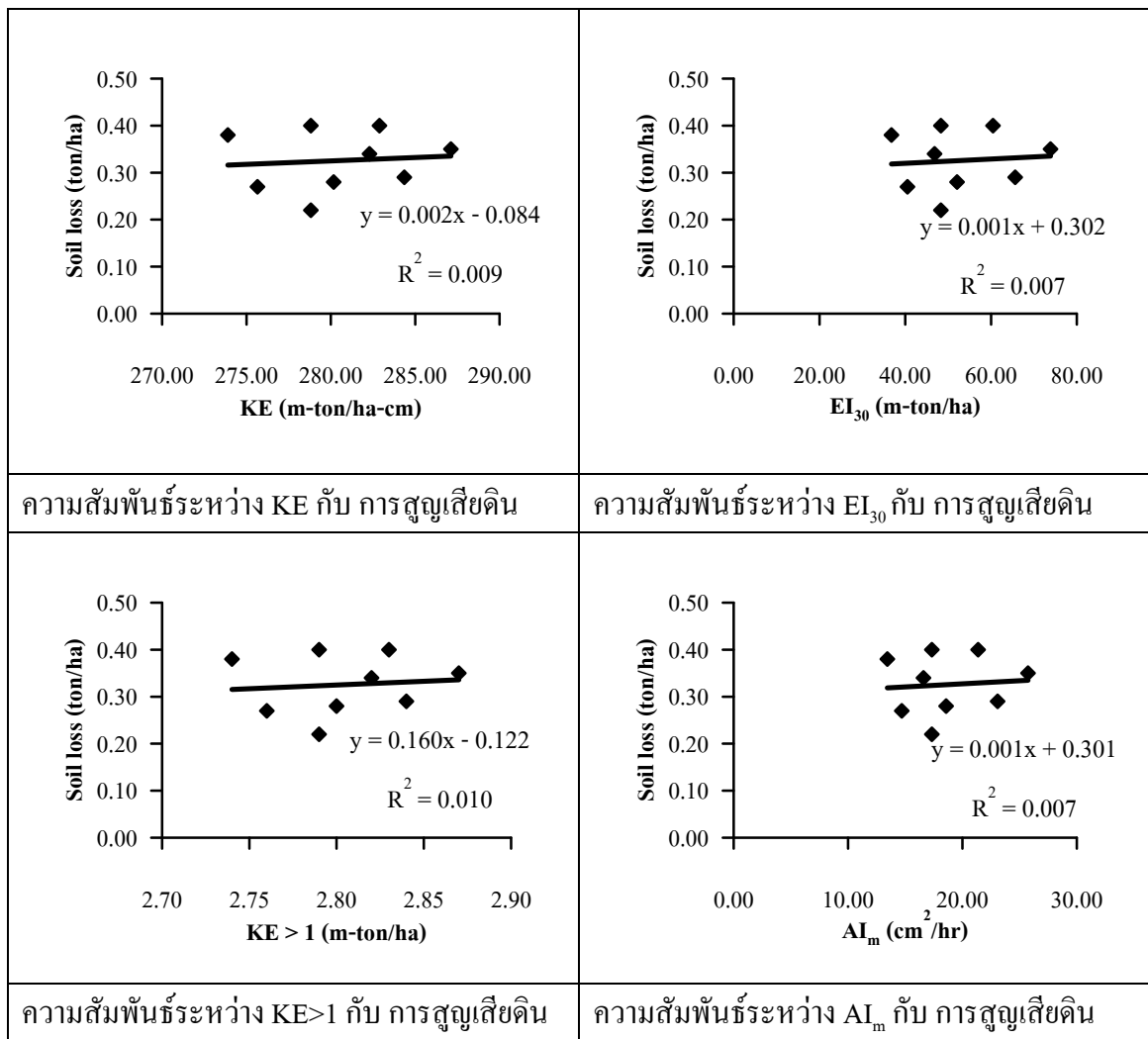
ตารางผนวกที่ 15 ระดับชั้นความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน โดยพิจารณาจากค่าดัชนี
ความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K-factor)

ลำดับที่	K-factor	จัดระดับชั้น
1	0 -0.10	ต่ำมาก (Very slow)
2	0.11-0.15	ต่ำ (Low)
3	0.16-0.17	ต่ำ (Low)
4	0.18-0.20	ต่ำ (Low)
5	0.21-0.24	ปานกลาง (Moderate)

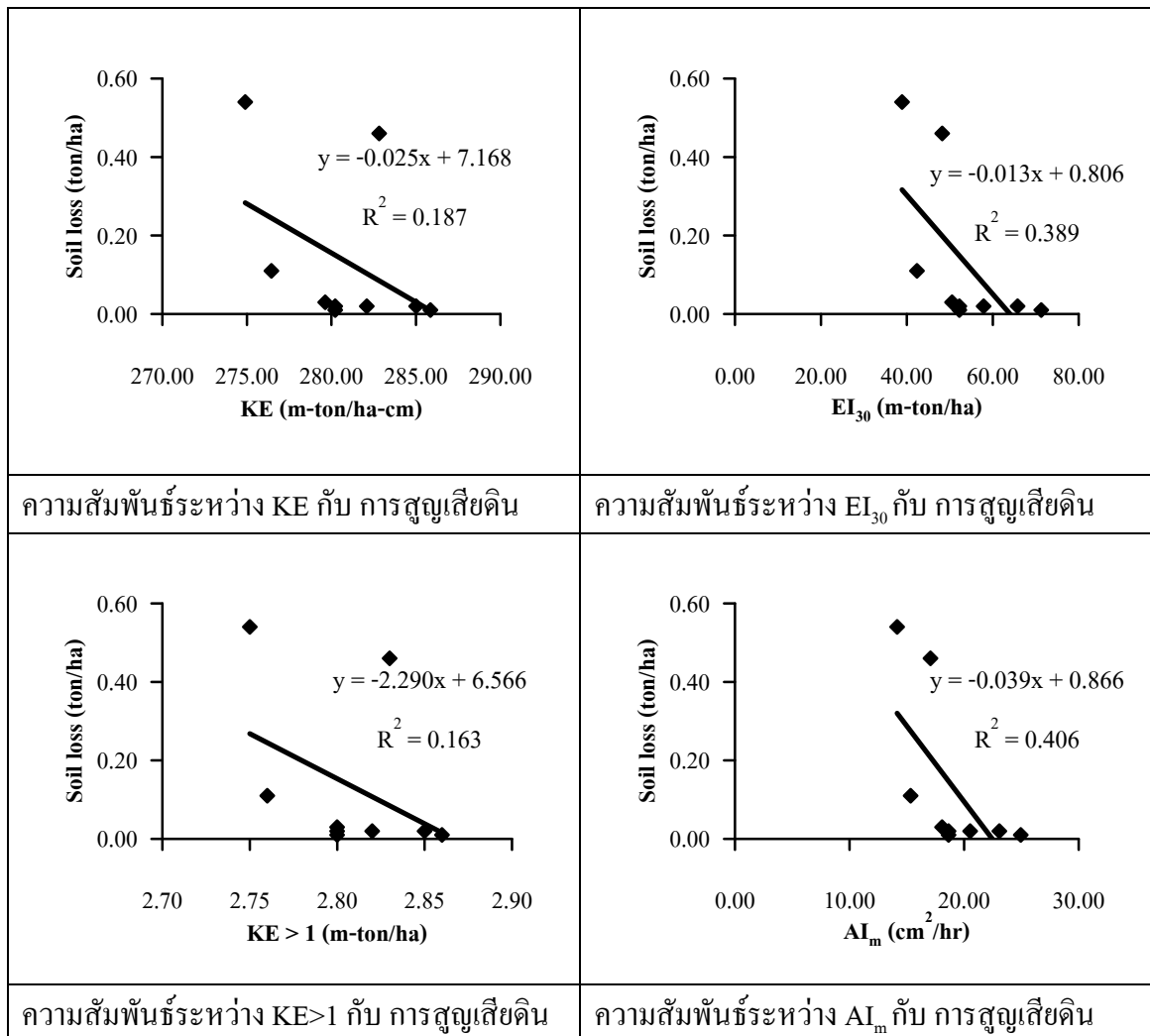
ที่มา: คัดแปลงจาก Dangler and EI-Swaify (1976)

ตารางผนวกที่ 16 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชในแปลงทดลอง

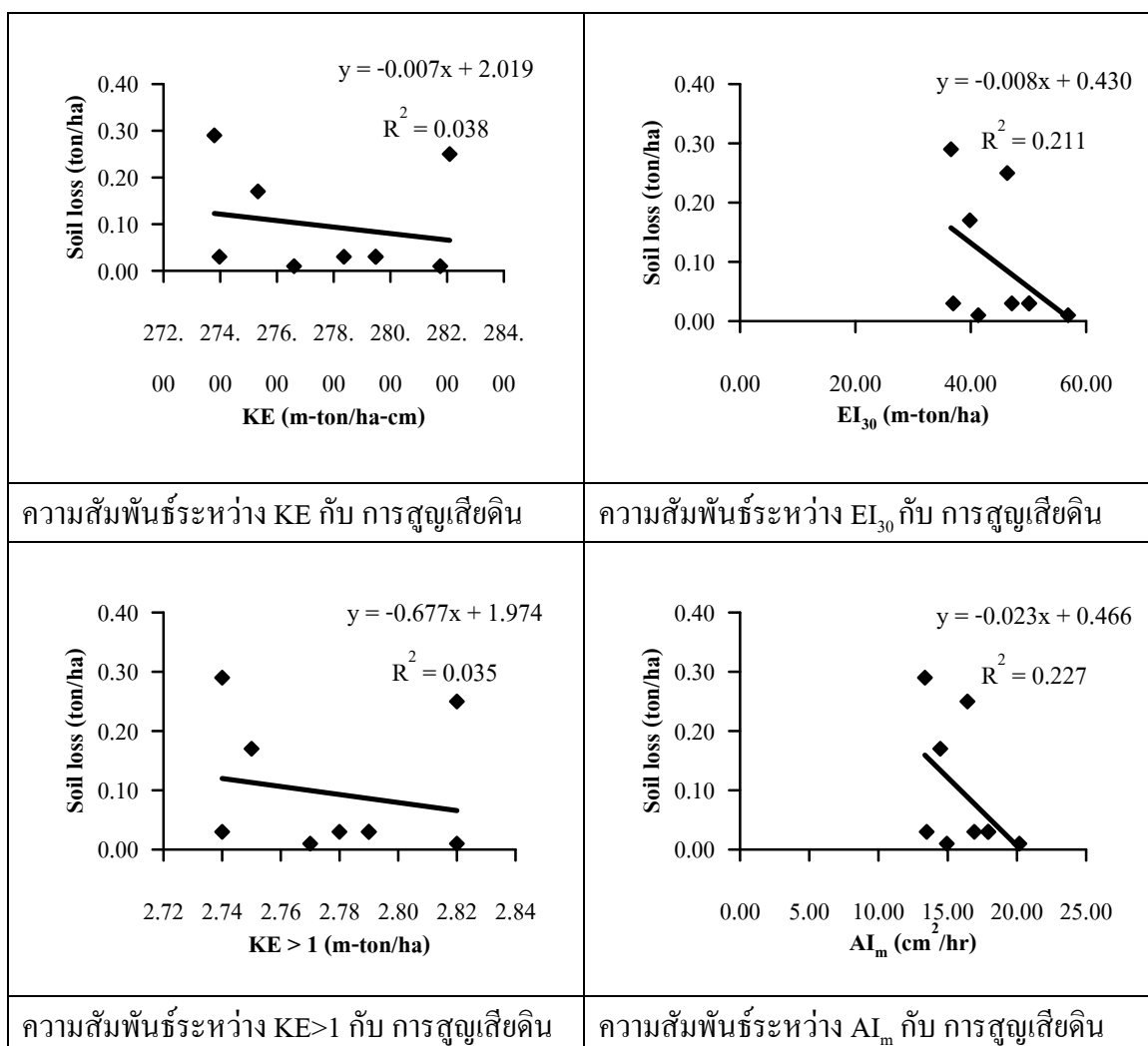
ระยะการเจริญเติบโต	อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)				
	ไถพรวน ขึ้น-ลง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด+ มาตรการ	ถั่วเหลือง+ มาตรการ
ระยะก่อนปลูก	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
ระยะต้นอ่อน	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
ระยะฝักเจริญเต็มที่	1.98	2.53	2.12	2.37	2.65
ระยะเก็บเกี่ยว	1.95	2.52	2.52	2.19	2.59
ระยะหลังเก็บเกี่ยว	2.12	2.68	2.93	1.87	2.50
เฉลี่ยตลอดการศึกษา	2.11	2.45	2.42	2.19	2.45



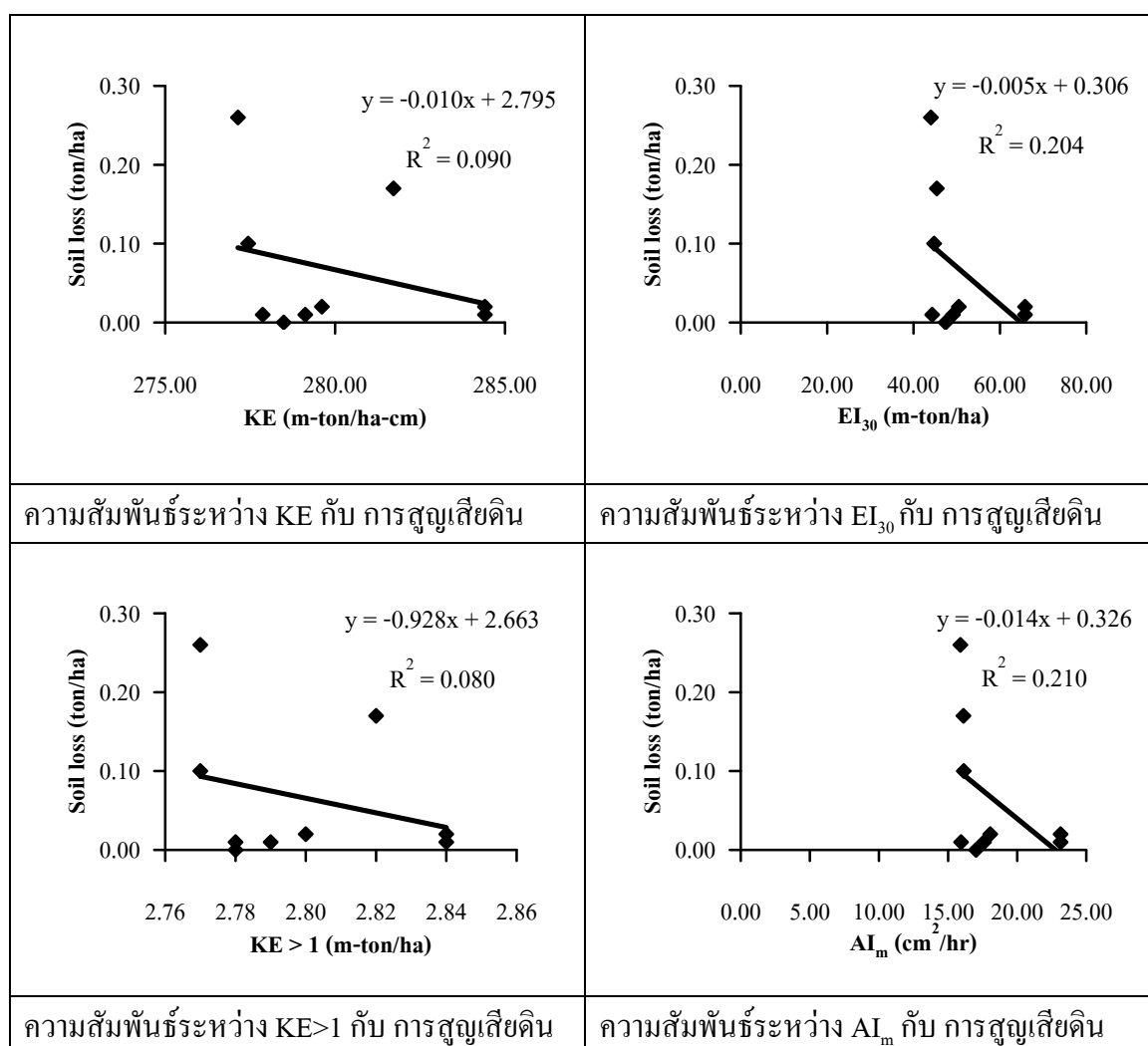
ภาพผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีชะล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวความลาดเท



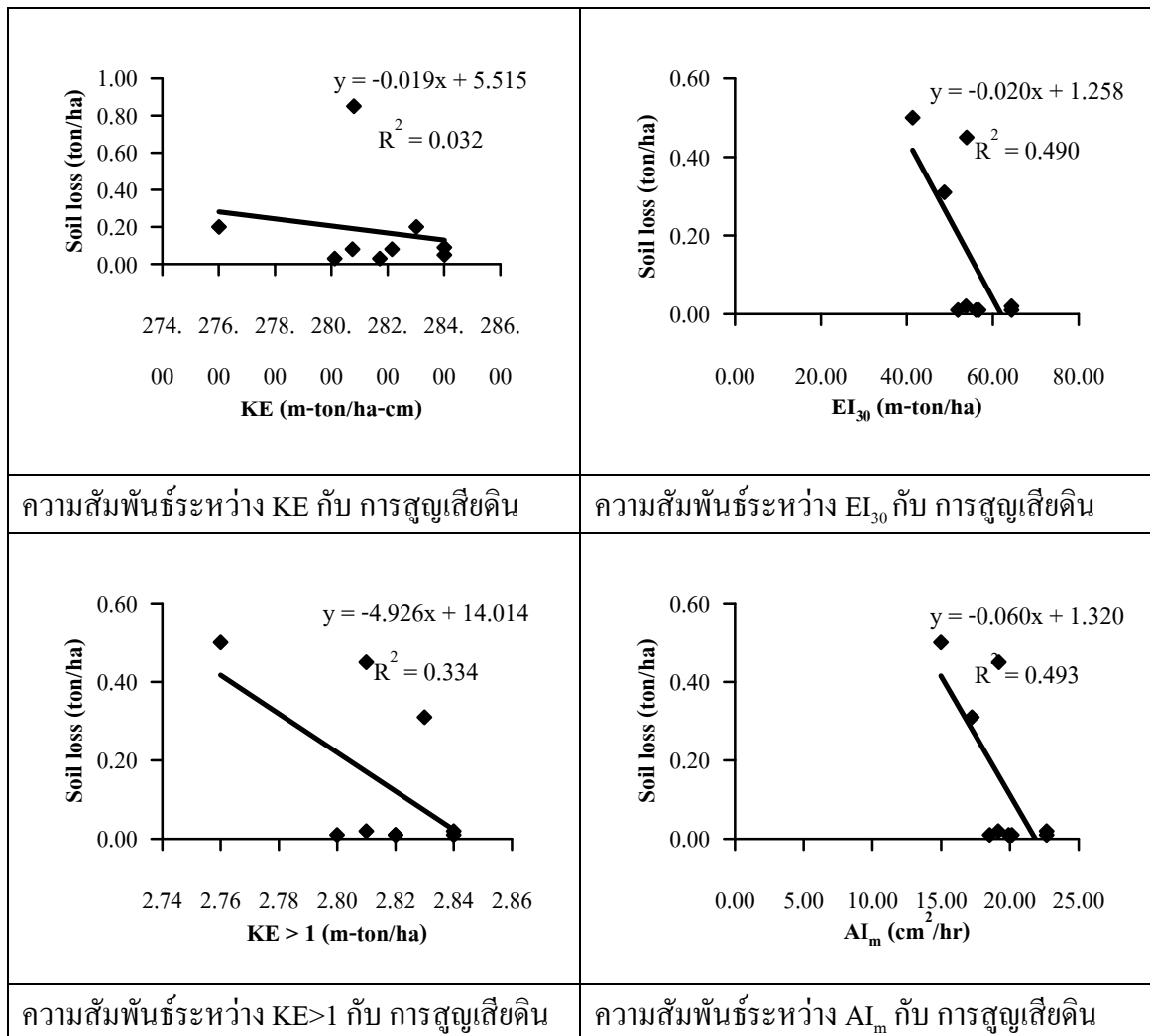
ภาพผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีชะล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับ การสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดแบบดั้งเดิม



ภาพผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีชะล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา

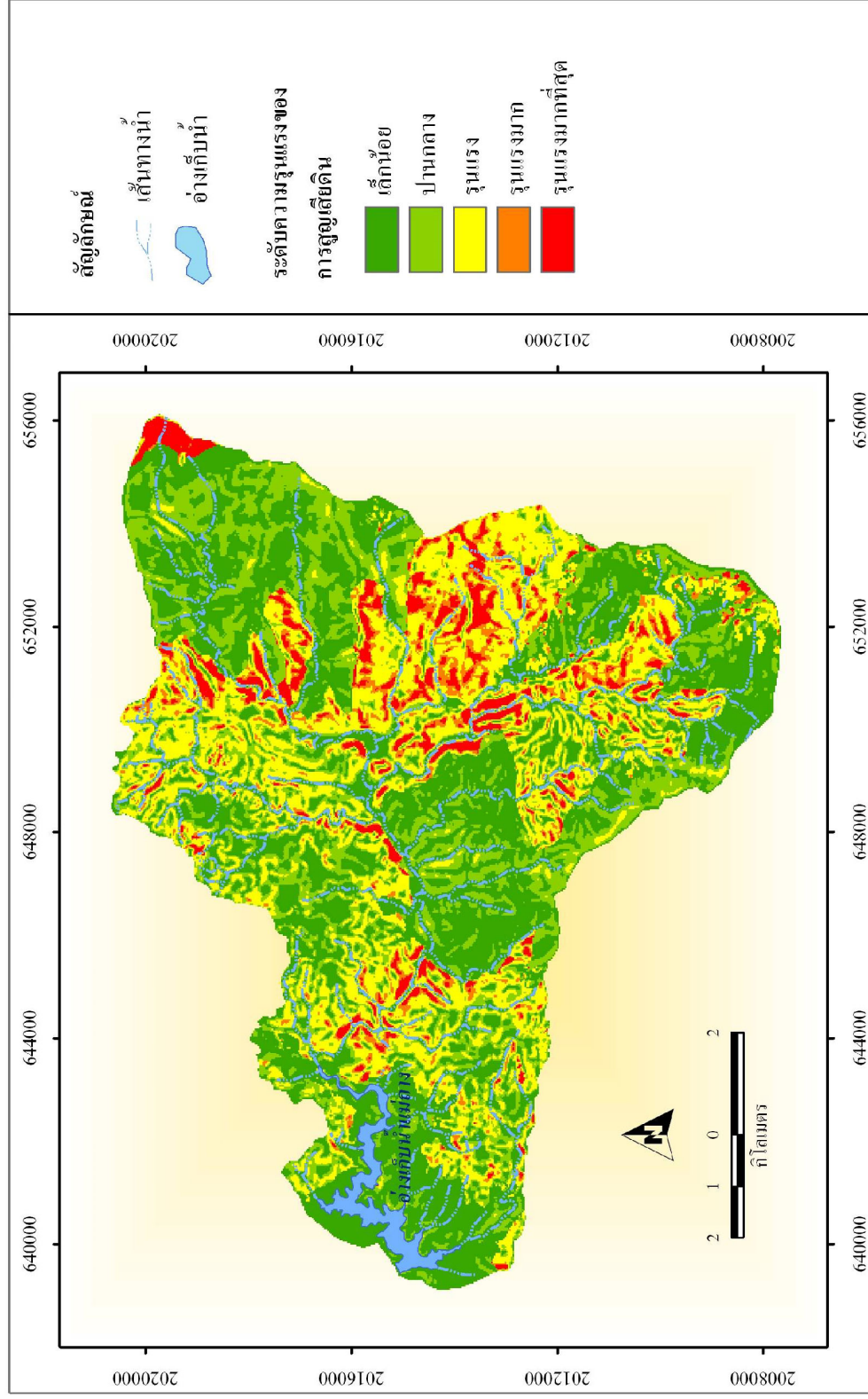


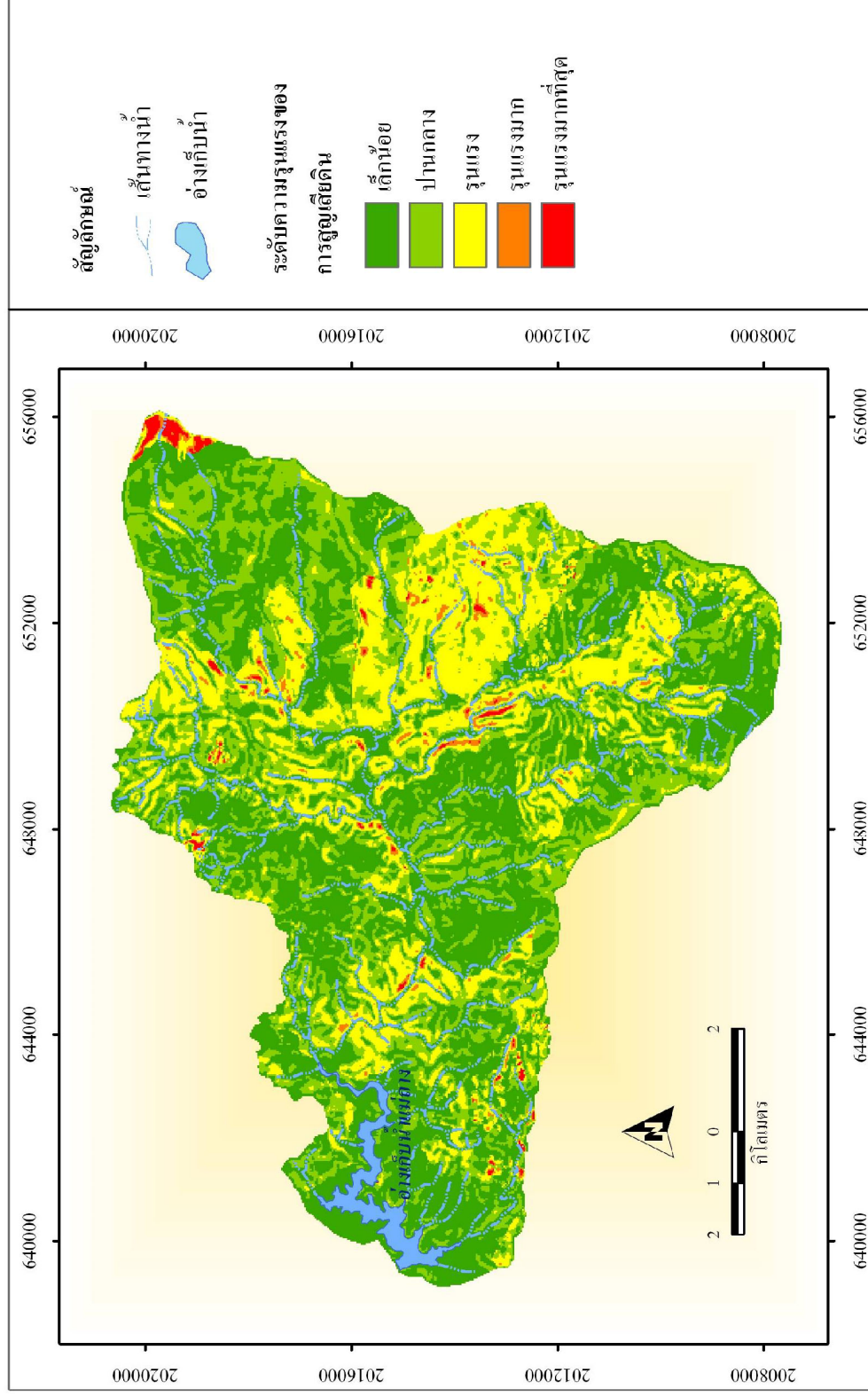
ภาพผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับ การสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองแบบดั้งเดิม



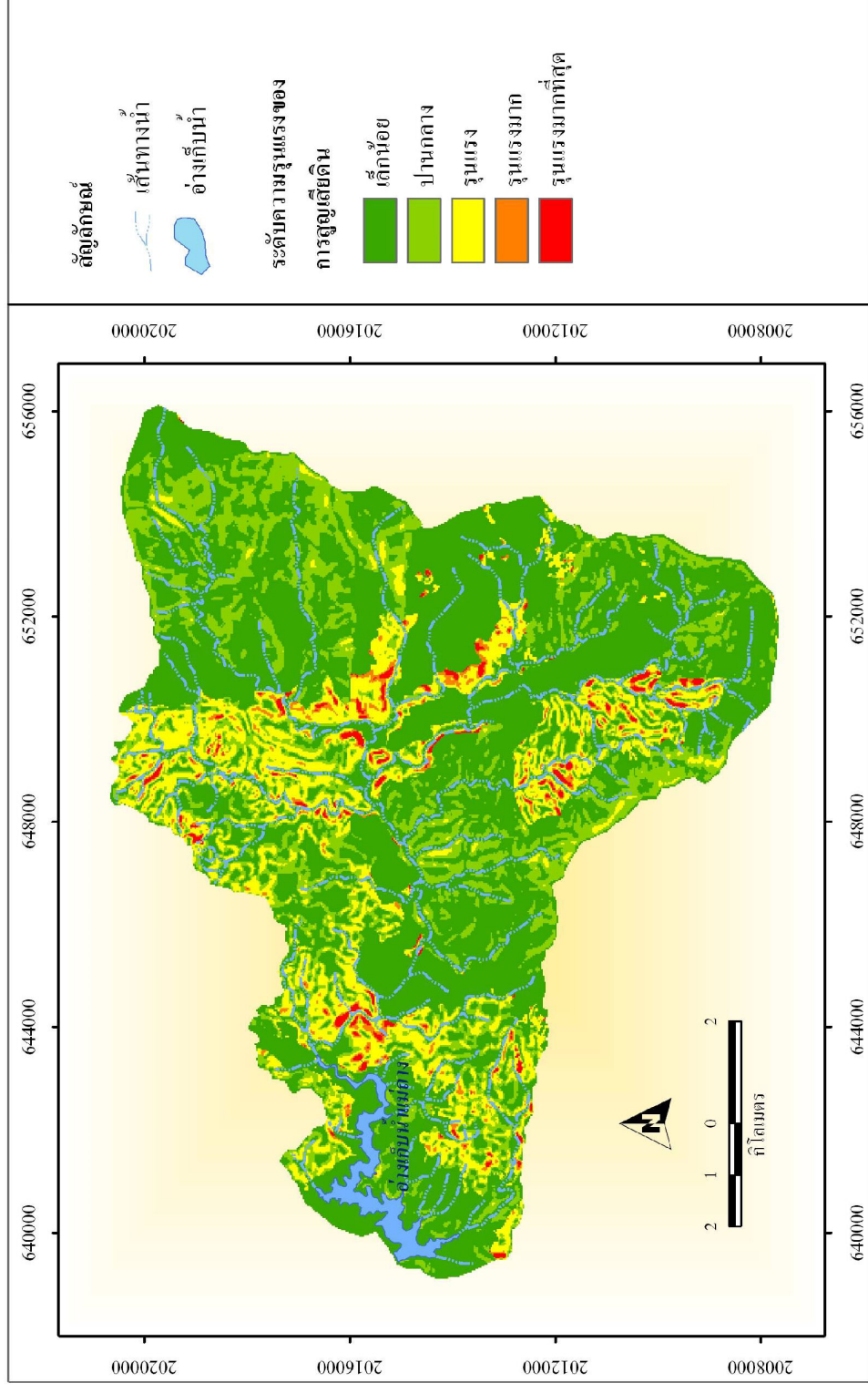
ภาพผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังชะล้างของฝนวิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา

ภาพผนวกที่ 6 การสูญเสียดินในสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขามากาง จังหวัดแพร่

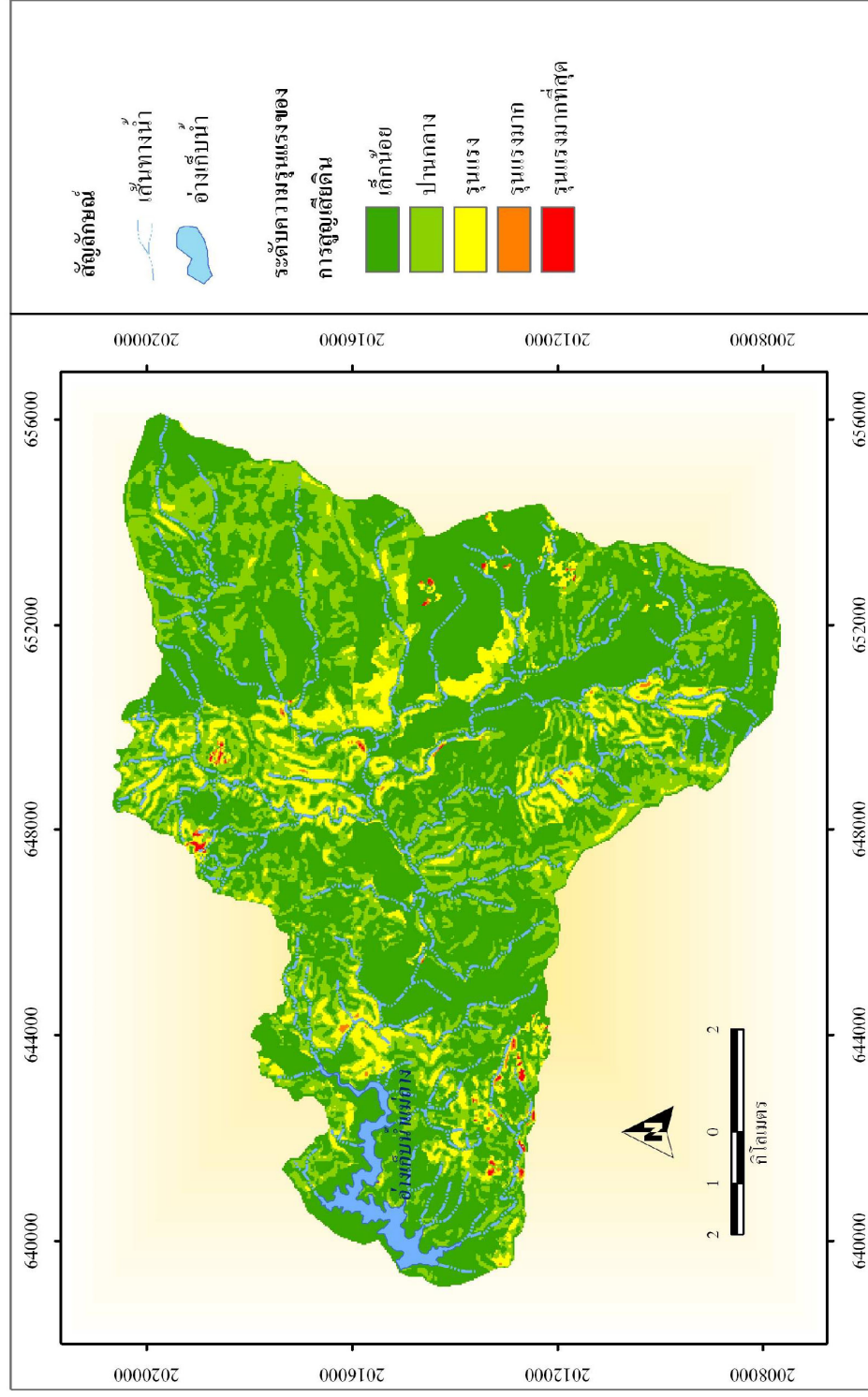




ภาพผนวกที่ 7 การสูญเสียดินเมื่อมีการการอนุรักษ์ดินและน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขแม่ถ้ำ จังหวัดแพร่



ภาพผนวกที่ 8 การสูญเสียดิน เมื่อมีการควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง ตามชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขามแม่ยาง จังหวัดแพร่



ภาพผนวกที่ 9 การสูญเสียดินเมื่อมีการควบคุมพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A และการปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 2 และ 3 โดยใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขามะแม้ง จังหวัดแพร่

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวรัตนา ไกรนรา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ภูมิศาสตร์) มหาวิทยาลัยทักษิณ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-