



วิทยานิพนธ์

การประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน และค่าดัชนีของมาตรการควบคุม
การชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดิน
สากล โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาง จังหวัดแพร่

ESTIMATION OF C-FACTOR AND CP-FACTOR IN USLE
USING RAINFALL SIMULATOR AT MAE THANG
WATERSHED, PHRAE PROVINCE

นางสาววรกร สุจริต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้าง
พังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน
ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

Estimation of C-factor and CP-factor in USLE using Rainfall Simulator
at Mae Thang Watershed, Phrae Province

นามผู้วิจัย นางสาววรกร สุจริต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิมิตร พุกงาม, วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งธรรม, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทรแก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 18 เดือน เมษายน พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน
ร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน
ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

Estimation of C-factor and CP-factor in USLE using Rainfall Simulator at Mae Thang Watershed,
Phrae Province

โดย

นางสาววรารกร สุจริต

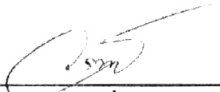
เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2551

วารสาร สุจริต 2551: การประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่เถาะ จังหวัดแพร่ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมณมิตร พุกงาม, วท.ค. 111 หน้า

การศึกษาค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor) ทำการศึกษาระหว่างเดือนเมษายน ถึงตุลาคม 2550 บนพื้นที่ความชัน 15 เปอร์เซ็นต์ บริเวณลุ่มน้ำแม่เถาะ จังหวัดแพร่ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับข้าวโพดและถั่วเหลือง ตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช 5 ระยะ ในแปลงทดลองขนาด 1×4 เมตร จำนวน 5 ดำรับ 3 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน C-factor และ CP-factor เฉลี่ยสูงสุดของข้าวโพดอยู่ในระยะต้นอ่อนมีค่าเท่ากับ 0.87 และ 0.75 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในระยะเจริญเต็มที่ มีค่าเท่ากับ 0.60 และ 0.41 ตามลำดับ สำหรับ C-factor และ CP-factor ของถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.80 และ 0.68 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระยะต้นอ่อน และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.52 และ 0.27 ซึ่งอยู่ในระยะเจริญเต็มที่ และระยะเก็บเกี่ยว ตามลำดับ และผลการศึกษาจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ พบว่า C-factor และ CP-factor เฉลี่ยสูงสุดของข้าวโพดอยู่ในระยะต้นอ่อนมีค่าเท่ากับ 0.82 และ 0.56 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในระยะเจริญเต็มที่ มีค่าเท่ากับ 0.60 และ 0.36 ตามลำดับ สำหรับ C-factor และ CP-factor ของถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.72 และ 0.50 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระยะต้นอ่อน และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.51 และ 0.27 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ตามลำดับ นอกจากนี้แปลงข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ปลูกตามแนวระดับขอบเขา (contouring) สามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าแปลงที่ไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (without contouring) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง พบว่าแปลงปลูกถั่วเหลืองสามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าแปลงปลูกข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการเปิดเครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ พบว่า C-factor และ CP-factor ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิด พบว่า C-factor และ CP-factor มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งการเปิดเครื่องกำเนิดฝน และฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ

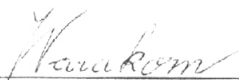

ลายมือชื่อนิสิต


ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

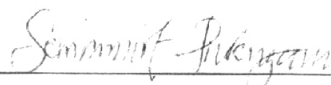
10 / 08 / 2551

Warakorn Sudjarit 2008: Estimation of C-factor and CP-factor in USLE using Rainfall Simulator at Mae Thang Watershed, Phrae Province. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Assistant Professor Somnimirt Pukngam, Ph.D. 111 pages.

Determination of C-factor and CP-factor in USLE for maize and soybean with contouring measures was carried out on 15 percent of slope in Mae Thang watershed, Phrae province during April to October 2007. The CRD experiment plot design was used and was divided to 5 different growth stages. The sample plot size was 1×4 m with 5 treatments and 3 replications. The results from rainfall simulator indicated that the maximum average C-factor and CP-factor for maize was 0.87 and 0.75 at the initial stage. The minimum average C-factor and CP-factor for maize was 0.60 and 0.41 at the ripening stage respectively. The maximum average C-factor and CP-factor for soybean was 0.80 and 0.68 at the initial stage and also minimum average was 0.52 and 0.27 at the ripening stage and harvesting stages respectively. The results from natural rainfall found that the maximum average C-factor and CP-factor for maize was 0.82 and 0.56 in initial stage and also the minimum average C-factor and CP-factor for maize was 0.60 and 0.36 at the ripening stage respectively. The maximum average C-factor and CP-factor for soybean was 0.72 and 0.50 in initial stage and also minimum average was 0.51 and 0.27 in harvest stage respectively. The comparative between C-factor and CP-factor indicates that the contouring measures was significantly better than the plot without contouring both of maize and soybean. Besides, the soybean was better than maize in soil erosion control significantly also. For the comparison between rainfall simulator and natural rainfall it was found that C-factor and CP-factor was non- significant. However, the C-factor and CP-factor of maize and soybean at all growth stage from rainfall simulator and natural rainfall was significantly.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

10 14 April 2008

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาของ ผศ.ดร. สมณมิตร พุกงาม ประธานกรรมการที่ปรึกษา ศ.ดร. นิพนธ์ ตั้งธรรม กรรมการที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร. สมบุญ เดชะภิญญาวัฒน์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย รศ.ดร. ปรีชา ธรรมานนท์ ประธานการสอบ และ ศ.ดร. สนิท อักษรแก้ว ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ ตรวจสอบแก้ไข เพื่อความถูกต้องและความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเป็นกำลังใจที่สำคัญตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ คุณอาทร บุญเสนอ ในนามหัวหน้าสถานีวิทยุคลื่นน้ำยม สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยฯ ทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนามตลอดมา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่โครงการ IRD (Institut de recherche pour le developpement) ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา และให้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องกำเนิดฝน จนสามารถสร้างและเปิดใช้เครื่องกำเนิดฝนกับแปลงทดลองได้ ขอขอบคุณ คุณนิคม หมายหมั่น คุณประยูร ภูธราดล คุณบรรลือศักดิ์ วงษ์ภักดี คุณชลาลัย รุ่งเรือง คุณภัทรศยา แก้วมณี สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ตัวอย่างตลอดระยะเวลาในการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมรุ่น 29 ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้อง ครู อาจารย์ ที่คอยให้ความเมตตา อบรม สั่งสอน และเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนทำให้มีวันนี้ คุณค่าแห่งความดี และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ดูแล อบรมให้ความรู้ และกำลังใจที่สำคัญตลอดมา

วรากร สุจริต

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	85
สรุป	85
ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	88
ภาคผนวก	96
ประวัติการศึกษา	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ค่า C-factor โดยประมาณสำหรับใช้ในสมการสูญเสียดินสากลของป่าดงดิบ ธรรมชาติที่ยังไม่เคยถูกรบกวน	15
2 ค่า C-factor ของป่าดิบเขาที่มีเรือนยอดปกคลุมดินในระดับต่างๆ ที่ประเมินจาก แปลงทดลอง ณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า เชียงใหม่	16
3 ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าไม้ในสภาพต่าง ๆ	17
4 ปริมาณการสูญเสียดิน และค่า C-factor ของพืชชนิดต่าง ๆ ในประเทศอินเดีย ระหว่างปี ค.ศ. 1964-1969	19
5 ค่า C-factor ของพืชพรรณชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย	20
6 ลักษณะภูมิอากาศ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร่องกวาง จังหวัดแพร่ ในปี 2550	31
7 ความชื้นในดินเฉลี่ยแต่ละแปลงทดลองก่อนเปิดเครื่องกำเนิดฝน	46
8 ปริมาณน้ำฝน ความหนักเบาของฝน และระยะเวลาที่ฝนตก จากการเปิดเครื่อง กำเนิดฝน	48
9 ค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝนวิธีการต่าง ๆ ในแต่ละสตอร์ม จากการ เปิดเครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulator) บริเวณแปลงทดลองในลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	50
10 ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง โดยการคำนวณค่าปัจจัยการชะล้าง พังทลายโดยน้ำฝน จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulator) บริเวณลุ่ม น้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ ในปี พ.ศ. 2550	52
11 ระดับการสูญเสียดินในประเทศไทย จากการประเมินของกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2545	55
12 ค่าเฉลี่ย C-factor และ CP-factor ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	56
13 การคำนวณค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝนวิธีการต่าง ๆ ในแต่ละ สตอร์ม โดยการคำนวณจากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ บริเวณแปลงทดลองน้ำ ไหลบ่าหน้าดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
14 ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง โดยการคำนวณค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝน จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ ในปี พ.ศ. 2550	70
15 ค่าเฉลี่ย C-factor และ CP-factor ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดและถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	73
16 C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง ระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	81

ตารางผนวกที่

1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และการถดถอยเชิงเส้นตรง หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับค่าดัชนีพลังชะล้างพังทลายของดินจากเครื่องกำเนิดฝน	97
2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง	98
3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพด	98
4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงข้าวโพดตามระดับขอบเขา	99
5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลือง	99
6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงถั่วเหลืองตามระดับขอบเขา	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
7 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และการถดถอยเชิงเส้นตรง หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับค่าดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝนจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ	101
8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง	102
9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพด	102
10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงข้าวโพดตามระดับขอบเขา	103
11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลือง	103
12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE > 1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงถั่วเหลืองตามระดับขอบเขา	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 พื้นที่ศึกษาบริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง และขอบเขตลุ่มน้ำย่อยห้วยหมาน้อย อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่	29
2 ขอบเขต และชั้นคุณภาพลุ่มน้ำบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา	30
3 กราฟลักษณะทางอุตุ-อุทกวิทยาของลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ ปี พ.ศ. 2550	32
4 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา	34
5 ผังการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomizes design; CRD)	37
6 ลักษณะของแปลงทดลองที่ใช้ในการศึกษา ก่อนทำการปลูกพืช	37
7 ลักษณะแปลงทดลองการสูญเสียดิน บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่	39
8 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดฝน ตำแหน่งติดตั้งหัวฉีด และตำแหน่งที่วางกระบอกพลาสติก	40
9 การเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลืองในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต	43
10 C-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	58
11 CP-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	63
12 C-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	75
13 CP-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
1 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง และแปลงปลูกข้าวโพด โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน	105
2 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา และแปลงปลูกถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน	106
3 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน	107
4 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง และแปลงปลูกข้าวโพดจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ	108
5 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา และแปลงปลูกถั่วเหลืองจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ	109
6 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขาจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ	110

**การประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้าง
พังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน
ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่**

**Estimation of C-factor and CP-factor in USLE using Rainfall Simulator
at Mae Thang Watershed, Phrae Province**

คำนำ

การชะล้างพังทลายของดินเป็นปัญหาสำคัญที่ทวีความรุนแรงและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นใน
อนาคต ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการเกษตรด้านการสูญเสียดินเป็นอย่างมาก ในประเทศไทยส่วน
ใหญ่มีการสูญเสียดินเนื่องจากปัญหาการชะล้างพังทลายของดินโดยมีน้ำเป็นตัวการสำคัญซึ่งขึ้นกับ
อิทธิพลของฝน สำหรับพื้นที่ต้นน้ำลำธารทางภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่ส่วนใหญ่
ประกอบด้วยภูเขาสลับซับซ้อนและมีความลาดชันค่อนข้างสูง การชะล้างพังทลายของดินในบริเวณ
พื้นที่ดังกล่าวจึงเกิดขึ้นได้ง่ายและค่อนข้างรุนแรง สำหรับลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอวังทอง จังหวัดแพร่
เป็นลุ่มน้ำหนึ่งที่พื้นที่ป่าต้นน้ำถูกแผ้วถางทำลายเป็นจำนวนมาก มีปัญหาการใช้ที่ดินโดยปราศจาก
หลักการอนุรักษ์ดินและน้ำ ส่งผลกระทบต่ออัตราการชะล้างพังทลายของดินเพิ่มมากขึ้น และก่อให้เกิด
น้ำไหลหลากอย่างรวดเร็วตามมา นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลของน้ำ
เกิดอุทกภัยน้ำท่วมแผ่นดินถล่ม ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้นับวันทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นจึง
จำเป็นต้องศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยเร่งด่วน

การใช้พืชพรรณในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน เป็นอีกมาตรการหนึ่งในการ
อนุรักษ์ดินและน้ำ เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำโดยทั่วไป จะมีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินหลายรูปแบบ
ผสมเคล้ากันไป พื้นดินที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณอย่างหนาแน่นจะสามารถป้องกันการชะล้าง
พังทลายของดินได้เป็นอย่างดี การประเมินค่าปริมาณดินที่จะถูกชะล้างพังทลายในพื้นที่ลุ่มน้ำโดย
อาศัยสมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation ; USLE) จำเป็นต้องมีค่าดัชนีของ
พืชคลุมดิน (C-factor) ของชนิดพืชที่ปกคลุมในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ๆ ค่า C-factor ของพืชชนิดเดียวกัน
แต่ต่างท้องที่ อาจแตกต่างกันแม้จะเป็นช่วงเวลาเดียวกันของปี ทั้งนี้เพราะการตกของฝนมีความ
หนักเบาแตกต่างกันไป ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เกี่ยวกับการจัดการพื้นที่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น

การแผ้วถางป่า การทำถนน การทำกิจกรรม และการก่อสร้างต่าง ๆ เป็นต้น นับเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการชะล้างพังทลายของดิน ในการเป็นตัวเร่งให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมากขึ้น โดยไปทำการเปลี่ยนแปลงสภาพพืชคลุมดินและสิ่งปกคลุมดิน และยังเป็นการทำลายสภาพดินอีกด้วย ดังนั้น ค่าดัชนีของมาตรการที่ใช้ในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor) ในสมการการสูญเสียดินสากลก็เป็นปัจจัยที่เกี่ยวกับกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เช่น การไถพรวนตามความลาดชัน การทำขั้นบันได การขุดคูตักน้ำ หรือการปลูกพืชตามแนวระดับ ซึ่งมีลักษณะในการดำเนินงานแตกต่างกัน และมีอิทธิพลต่อการลดพลังงานของฝน และพลังงานของน้ำไหลบ่าหน้าดินแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและรูปแบบการจัดการพื้นที่

อย่างไรก็ตามการศึกษาปัจจัยค่า C-factor และค่า CP-factor ในสมการ USLE ส่วนใหญ่เป็นค่าที่ได้จากแปลงทดลองของพืชเกษตรในสหรัฐอเมริกา ซึ่งต้องใช้ทั้งเวลาและแปลงทดลองเป็นจำนวนมาก สำหรับประเทศไทยถือว่ายังมีการศึกษาน้อยมาก ถึงแม้ว่าจะมีการใช้สมการนี้มาอย่างยาวนานแล้วก็ตาม (นิพนธ์, 2545) การศึกษาปัจจัยดังกล่าวต้องใช้เวลานานซึ่งไม่สะดวกและทันเวลาต่อการใช้งาน และต้องมีความอดทนค่อนข้างมาก เครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulators) จึงถูกนำมาใช้เพื่อช่วยให้ประหยัดเวลา และมีความสะดวกสบายมากขึ้น จึงนับว่าสมควรอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างค่า C-factor และค่า CP-factor จากการใช้เครื่องกำเนิดฝน และจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ สำหรับการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาในไร่ข้าวโพด และถั่วเหลืองบนภูเขาสูงชัน บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง เนื่องจากบริเวณดังกล่าว มีสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าที่ถูกบุกรุก แผ้วถางเพื่อใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกข้าวโพดเป็นประจำทุกปี ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ผิดประเภท จึงคาดว่าน่าจะเกิดการสูญเสียดินเป็นอย่างมาก โดยทำการประเมินค่า C-factor และ CP-factor ในแปลงทดลองสำหรับข้าวโพด และถั่วเหลือง ที่ใช้เป็นตัวแทนของพืชที่ปลูกโดยทั่วไปในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ และเปรียบเทียบค่าที่ได้ระหว่างพืชสองชนิด และระหว่างช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในสมการ USLE ในการจัดการเกี่ยวกับดินและพืชพรรณที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ต้นน้ำลำธารบนภูเขาสูงต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสูญเสียดิน ภายหลังจากใช้เครื่องกำเนิดฝน และฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ ตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง
2. เพื่อศึกษาค่าดัชนีของพืชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor) โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน และฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ
3. เปรียบเทียบค่า C-factor และค่า CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง ระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่
4. เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินต่อไป

การตรวจเอกสาร

การชะล้างพังทลายของดิน

1. นิยามและความหมาย

ได้มีผู้ให้คำนิยามของการชะล้างพังทลายของดินไว้อย่างหลากหลายแตกต่างกันไป ดังนี้

เกษม (2525) ให้ความหมายว่า เป็นกระบวนการทำลายและเคลื่อนย้ายวัตถุที่เป็นดิน กรวด หิน และทราย จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยการกระทำของน้ำ ลม และแรงโน้มถ่วงของโลก นิพนธ์ (2545) กล่าวว่า การชะล้างพังทลายของดินเป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่มีแรง ซึ่งอาจเกิดจากน้ำ ลม หรือแรงโน้มถ่วงของโลก มากระทำให้วัตถุหรือสารแตกแยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินหรือสารหรือวัตถุดังกล่าวไปตกตะกอนทับถมอีกที่หนึ่ง สมเจตน์ (2522) กล่าวว่า กระบวนการเกิดการพังทลายของดินในลักษณะทางกายภาพ (physical aspect) หมายถึง งานจำนวนหนึ่งซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคของดินถูกทำให้แตกกระจายออกจากกันโดยตัวการที่สำคัญคือ ฝน และอนุภาคที่ถูกทำให้แตกกระจาย ถูกเคลื่อนย้ายไปจากที่เดิม และไปทับถมในที่ใหม่ โดยมีน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นตัวการสำคัญ

การพิจารณาสาเหตุที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินส่วนใหญ่จะพิจารณาจากสาเหตุสองลักษณะคือ การชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติซึ่งเกิดจากการกระทำของน้ำ ลม แรงดึงดูดของโลก และการชะล้างพังทลายของดินที่มีตัวเร่งหรือจากการที่มนุษย์เข้ามามีส่วนร่วม (Satterlund, 1972) โดยปกติการชะล้างพังทลายของดินตามธรรมชาติเกิดขึ้นอยู่เสมอและหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่เป็นการเกิดขึ้นที่ไม่รุนแรงซึ่งเป็นสภาพการปรับดุลของธรรมชาติเป็นกระบวนการของการปรับระดับของผิวโลก ส่วนการชะล้างพังทลายของดินที่มีมนุษย์เป็นตัวเร่งนั้นมีบทบาทอย่างสำคัญที่เสริมความรุนแรงให้กับธรรมชาติ ตามสภาพที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปในพื้นที่และตามวิธีการเพาะปลูกของมนุษย์ในท้องถิ่นนั้น (นิพนธ์, 2545) ซึ่งความเสียหายเริ่มตามมาและเพิ่มพูนมากขึ้นหากปราศจากมาตรการควบคุมการพังทลายของดินที่ถูกต้อง ตามหลักการอนุรักษ์ดินและน้ำ

สมเจตน์ (2526) กล่าวว่า ตัวการที่ทำให้เกิดการพังทลายของดินที่สำคัญ ได้แก่ น้ำ และลม จึงสามารถแบ่งการพังทลายของดินตามตัวการที่ก่อให้เกิดการพังทลายเป็นดังนี้ การเกิดการพังทลายของดินโดยมีน้ำเป็นตัวการ (soil erosion by water) และการเกิดการพังทลายของดินโดยมีลมเป็นตัวการ (soil erosion by wind) ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนและชุ่มชื้น อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 40 องศาเหนือและใต้ ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการพังทลายโดยน้ำเป็นตัวการและเกิดอย่างรุนแรง นอกจากนี้ปริมาณฝนโดยเฉลี่ยของประเทศไทยมีมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งลักษณะภูมิอากาศเช่นนี้ทำให้เกิดการพังทลายของดินสูงหากพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมตามธรรมชาติถูกทำลายไป ดังนั้นน้ำจึงเป็นตัวการสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการพังทลายของดินในประเทศไทย (นิพนธ์, 2545)

กระบวนการชะล้างพังทลายของดินโดยพลังน้ำ เริ่มจากการแตกแยกของดินจากเม็ดฝนที่ตกกระทบดินทางด้านแนวตั้ง ซึ่งทำให้ดินหลวมตัวแล้วแตกแยกออกจากกัน ต่อมาเมื่อปริมาณฝนตกมากขึ้นได้รวมตัวกันเป็นน้ำไหลบ่าไปบนผิวหน้าดิน ซึ่งเกิดในลักษณะวงวนทำให้อนุภาคดินแตกกระจายออกจากกันมากยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันอนุภาคดินที่แตกกระจายจะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปในแนวนราบ หรือไปตามความลาดชันของพื้นที่ (เกษม และนิพนธ์, 2525) โดยอาจเคลื่อนที่ไปในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น กระเด็น กลิ้ง เลื่อน หรือถูกพัดพาไปในสภาพแขวนลอยกับน้ำที่ไหลบ่าไปบนผิวดิน เป็นต้น (สมเจตน์, 2522) กระบวนการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการย่อย ได้แก่ (1) กระบวนการที่อนุภาคของดินถูกทำให้แตกกระจายออกจากกัน โดยการกระทำของเม็ดฝนที่ตกลงมา (2) กระบวนการที่อนุภาคของดินถูกทำให้แตกกระจายโดยการกระทำของน้ำที่ไหลบ่าตามผิวดิน (3) กระบวนการขนย้ายอนุภาคของดินโดยการกระทำของเม็ดฝนที่ตกลงมา และ (4) กระบวนการขนย้ายอนุภาคของดิน โดยการกระทำของน้ำที่ไหลบ่าผิวดิน (นิพนธ์, 2526)

2. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำ

ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ประกอบด้วยปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ลักษณะดิน ลักษณะพืชพรรณ และการจัดการพื้นที่ (Baver, 1965) จากปัจจัยดังกล่าว ปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะพืชพรรณ และปัจจัยมนุษย์หรือการจัดการพื้นที่ เป็นปัจจัยที่สามารถจัดการหรือควบคุมได้เพราะเป็นปัจจัยที่ผันแปรอยู่ตลอดเวลา ส่วนปัจจัยอื่นๆ นั้นเป็นปัจจัยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเป็นปัจจัยที่คงที่ จึงยากที่จะควบคุมหรือจัดการ โดยที่แต่ละปัจจัยมี

ความสำคัญมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพของแต่ละพื้นที่ และเหตุการณ์ธรรมชาติ หรือที่มนุษย์ทำให้เกิดขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ

ตัวการสำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องคือ ฝน ซึ่งความสามารถในการกักตร่อน และระดับความรุนแรงของการเกิดนั้นจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน การกระจายของฝน และความเร็วของเม็ดฝนที่ตก รวมทั้งมวลของเม็ดฝน และพลังงานจลน์ที่เกิดจากแรงตกกระทบของเม็ดฝน (นิพนธ์, 2526) จากการศึกษาของ Wischmeier และ Smith (1958) พบว่า ปริมาณดินที่สูญเสียมีความสัมพันธ์กับพลังงานจลน์ของฝนที่มีอัตราความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาที มากที่สุด พลังงานจลน์ที่นำมาพิจารณานี้เกิดจากส่วนความเร็วของเม็ดฝนและปริมาณฝนที่ตก คือถ้าความหนักเบาสูงสุดของฝนที่ตกภายใน 30 นาที มีค่าน้อยแล้ว อัตราการชะล้างพังทลายของดินมีค่าเกือบเป็นศูนย์ (Satterlund, 1972) ซึ่งสอดคล้องกับ Hudson (1971) ได้ศึกษาในเขตร้อนที่มีฝนตกชุกในทวีปแอฟริกา พบว่าการที่ฝนตกด้วยความหนักเบาไม่เท่ากันในแต่ละครั้งนั้น ในช่วงระยะที่ฝนตกด้วยความหนักเบาน้อย ๆ ไม่มีผลต่อการสูญเสียดิน ความหนักเบาของฝนที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียดินนั้น จะมีความหนักเบาสูงกว่า 1 นิ้วต่อชั่วโมง แต่สำหรับฝนที่ตกหนักแล้วหยุดทันใดนั้นค่าการสูญเสียดิน จะมีความสัมพันธ์กับผลคูณของปริมาณฝนแต่ละครั้งกับความหนักเบาสูงสุดของฝนที่ตกในครั้งนั้นๆ (Lal, 1976) สำหรับในประเทศไทย วีระชาติ (2528) ได้ศึกษาการสูญเสียดินจากความสัมพันธ์กับผลคูณของพลังงานที่เกิดจากความหนักเบาของฝนทั้งหมดในแต่ละครั้ง กับความหนักเบาสูงสุดของฝนที่ตกภายใน 30 นาที มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียดินค่อนข้างสูง และค่าที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าพลังงานจลน์ที่คิดโดยวิธีของ Hudson พบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม นิพนธ์ (2526) ได้ให้ข้อคิดเห็นว่า การชะล้างพังทลายของดินโดยพลังน้ำเกิดขึ้นได้มากที่สุด ในบริเวณที่มีปริมาณฝนตกปานกลาง ซึ่งพืชพรรณไม่หนาแน่นมากนัก ทั้งนี้เพราะเมื่อมีฝนตกมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปีขึ้นไป จะทำให้พืชพรรณและป่าไม้ขึ้นหนาแน่นมาก และปกคลุมดินได้เป็นอย่างดี ซึ่ง นิวัติ (2514) พบว่า ปริมาณฝนที่ตกตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ความหนักเบา 20 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และตกนาน 60 นาที จะมีการสูญเสียดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

เกษม และนิพนธ์ (2525) ได้ศึกษาเกี่ยวกับค่าพลังงานของเมล็ดฝัสดกกลงมากระทบผิวดิน พบว่า ขณะที่ฝัสดกกลงมาในพื้นที่ 1 เฮกเตอร์ ด้วยความรุนแรง 0.1 นิวตันต่อชั่วโมง มีกำลังถึง 100 แรงม้า ซึ่งกรณีดังกล่าวแรงตกกระทบของเมล็ดฝัสนี้อาจในการพังทลายเป็น 1,000 เท่าของพลังงานที่เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน ไม่ว่าจะมิลักษณะภูมิประเทศแบบใดก็ตาม และ Kinnell (1991) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความลึกของน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการตกกระทบโดยเมล็ดฝัสดกกับการสูญเสียดิน โดยทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นสมการการถดถอยแบบเส้นตรง ดังนี้

$$T_{RD} = a(1-bh) \quad (1)$$

เมื่อ	T_{RD}	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพา (กรัมต่อเมตรต่อวินาที)
	h	คือ ความลึกของน้ำไหลบ่า (มิลลิเมตร)
	a	คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินและอิทธิพลความหนักเบาของฝน
	b	คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับอิทธิพลความหนักเบาของฝน

2.2 ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ความลาดชัน ความยาว และรูปร่างของความลาดชัน นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่บอกได้ว่าการชะล้างพังทลายของดินเกิดได้มากหรือน้อย Zingg (1940) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับความชันของความลาดเทที่มีผลต่อการสูญเสียดิน พบว่า เมื่อความยาวและความชันของความลาดเทเพิ่มขึ้น การสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้น เกษม และคณะ (2519) พบว่า สาเหตุสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียดินและน้ำคือ ความลาดชันของพื้นที่ ถ้าความลาดชันมากจะทำให้ปริมาณการสูญเสียดินและน้ำมากไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ สมยศ (2521) ที่กล่าวว่า พื้นที่ที่มีความลาดชันสูง และระยะทางยาว การชะล้างพังทลายของดินย่อมเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากความลาดชันมีอิทธิพลต่อความสามารถในการเคลื่อนย้ายน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งเกิดจากการที่อัตราความหนักเบาของฝนมากกว่าอัตราการซึมน้ำได้ของดิน หรือดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ ฉะนั้นในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากขึ้น การเคลื่อนย้ายและพัดพาตะกอนจะเพิ่มเป็นทวีคูณ เช่นเดียวกับ Wischmeier และ Smith (1965) พบว่าปริมาณการสูญเสียดินจะแปรผันโดยตรงกับความลาดชัน และความยาวของความลาดชัน ดังสมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

$$A = (\lambda)^{0.5} (0.43 + 0.30S + 0.043S^2) \quad (2)$$

เมื่อ	A	คือ ปริมาณการสูญเสียดินต่อหน่วยพื้นที่
	λ	คือ ความยาวของความลาดชัน
	S	คือ ความลาดชันของพื้นที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

นิพนธ์ (2526) กล่าวว่า ในพื้นที่หนึ่ง ๆ อาจมีความลาดเทแบบตรงเรียบ ลาดนูนขึ้น หรือ เว้าลงก็ได้ ซึ่งในแต่ละรูปแบบมีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดินแตกต่างกันไป กล่าวคือ ในพื้นที่ที่มีความลาดเทแบบโค้งขึ้นนั้น ความลาดเอียงมีมากตอนใกล้จุดต่ำสุดของพื้นที่ ทำให้อัตราเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้มากกว่าแบบอื่น ๆ ขณะที่พื้นที่ที่มีความลาดเทแบบเว้าขึ้น ความลาดเอียงลดน้อยลงตอนบริเวณใกล้จุดสิ้นสุดของพื้นที่ ซึ่งมักทำให้เกิดการตกตะกอนในบริเวณดังกล่าวนี้มากกว่าที่เกิดการชะล้างพังทลายต่อไป ทั้งนี้เพราะอัตราการไหลบ่าของน้ำถูกทำให้ลดลงไปอย่างรวดเร็วนั่นเอง

2.3 ปัจจัยเกี่ยวกับสมบัติของดิน

การชะล้างพังทลายที่เกิดขึ้นกับดินแต่ละชนิดมีความมากน้อยแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากดินนั้นมีสมบัติแตกต่างกัน และเป็นสมบัติเฉพาะที่ทำให้ดินเกิดความยากง่ายต่อการพังทลายได้ต่างกัน (Wischmeier และ Smith, 1965) สอดคล้องกับ Hudson (1971) ที่กล่าวว่า สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินโดยทั่วไปมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของเนื้อดิน โครงสร้างของดิน การยอมให้น้ำซึมผ่าน ความหนาแน่นของดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เหล่านี้เป็นตัวกำหนดความทนทานของดินต่อการถูกชะล้างพังทลายที่แตกต่างกันแม้ว่าปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความหนักเบาของฝน ปริมาณฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินที่มีอัตราและปริมาณเดียวกัน อยู่บนความลาดชัน และสภาพการปกคลุมดินใกล้เคียงกัน แต่มีความยากง่ายในการพังทลายของดินแตกต่างกัน

Wischmeier และ Smith (1958) ได้แสดงถึงค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (soil erodibility factor; K) ซึ่งเป็นอัตราการชะล้างพังทลายของดินต่อหน่วยพื้นที่ ที่ได้จากแปลงทดลองในพื้นที่จริง ความลาดชันของพื้นที่ พลังงานการชะล้างพังทลายของฝน ลักษณะและปริมาณพืชคลุมดิน และการจัดการพื้นที่ ซึ่งสมบัติของดินนี้แตกต่างไปตามชนิดของดิน เรียกว่า ความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน นอกจากนี้ Wischmeier *et.al.* (1971) ได้พยายามประเมินค่าความ

คงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินอันประกอบด้วย เเปอร์เซ็นต์ผลบวกของทรายแป้ง (silt) และ ทรายละเอียดมาก (very fine sand) เเปอร์เซ็นต์ทราย (sand) เเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ (organic matter) โครงสร้างของดิน และอัตราการซึมซับน้ำของดิน (permeability) สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ขึ้นมา เรียกว่า nomograph เพื่อใช้ในการหาค่า K-factor ในสมการสูญเสียดินสากล

2.4 ปัจจัยเกี่ยวกับพืชพรรณ

เป็นปัจจัยที่สำคัญในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เนื่องจากช่วยลดความรุนแรงจากพลังงานจลน์ของฝนและลดความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ในขณะเดียวกันยังเพิ่มสมบัติในการซึมซับน้ำของดินอีกด้วย (Baver, 1965) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wooldridge (1964) ซึ่งกล่าวว่า สภาพของพืชพรรณและสิ่งแหล่คลุมดินที่เกี่ยวข้องกับการชะล้างพังทลายของดิน คือ ความหนาแน่น และลักษณะที่ปกคลุมติดต่อกันให้เพียงพอที่จะลดแรงปะทะจากเม็ดฝน หน่วงให้น้ำไหลบ่าหน้าดินช้าลง แต่ทั้งนี้อิทธิพลดังกล่าวแปรผันไปตามฤดูกาล ลักษณะและวิธีการจัดการ การเจริญเติบโต ลักษณะทางกายภาพ สภาพภูมิประเทศ ความหนาแน่นของสังคมพืช และปริมาณฝนที่ตกในขณะนั้น

ความสามารถในการควบคุมการพังทลายของดินโดยพืชพรรณหรือป่าไม้ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการปกคลุม หรือความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ ซึ่ง Molchanov (1963) ได้อ้างถึงผลการศึกษาของ Tarasashvilli (1956) เกี่ยวกับอัตราการพังทลายของดินในป่าที่มีการปกคลุมเรือนยอดต้นไม้แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าในป่าที่มีการปกคลุม 60-70 เเปอร์เซ็นต์ เกิดการสูญเสียดิน 5.3 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ป่าที่มีการปกคลุม 20-30 เเปอร์เซ็นต์ เกิดการสูญเสียดิน 15.1 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ และในพื้นที่ที่ตัดป่าออกหมดเกิดการสูญเสียดิน 32.1 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

สำหรับประเทศไทย นิวัติ (2514) ได้ศึกษาอิทธิพลของความหนาแน่นของเรือนยอดบริเวณป่าดิบเขาดอยปู่ย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าการสูญเสียดินและน้ำ มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคกลับกันกล่าวคือ การสูญเสียดินและน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความหนาแน่นของเรือนยอดต่ำกว่า 70 เเปอร์เซ็นต์ แต่หากว่าความหนาแน่นของเรือนยอดเท่ากับ 70 เเปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า อัตราการสูญเสียดินและน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Hamilton และ King (1983) ที่สรุปว่าการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินที่ดีที่สุดนั้น ดินควรมีการปกคลุมของเรือนยอดของพืชพรรณตลอดเวลา

Wischmeier (1975) ได้จำแนกอิทธิพลของพืชพรรณออกเป็น 3 ส่วน คือ อิทธิพลจากส่วนของเรือนยอด อิทธิพลจากพืชพรรณชั้นล่างหรือสิ่งคลุมดิน และอิทธิพลของเศษซากพืชที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือจากการเพาะปลูก ซึ่งผลรวมของอิทธิพลต่าง ๆ นี้เรียกว่า ค่าดัชนีการจัดการพืชคลุมดิน (crop management factor) หรือ C-factor ในสมการสูญเสียดินสากล ซึ่งค่าที่ถูกต้องนั้นต้องได้จากการทดลองตามธรรมชาติ ซึ่งปล่อยให้พืชพรรณเจริญเติบโตไปตามขั้นตอน และพฤติการณ์ตามธรรมชาติของฝนที่ตก ตลอดจนกรรมวิธีในการปลูกพืชแต่ละแห่ง ซึ่งใช้สำหรับประเมินค่าการสูญเสียดินจากพื้นที่

2.5 ปัจจัยเกี่ยวกับกิจกรรมของมนุษย์

กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การแผ้วถางป่า การทำถนน การกสิกรรม และการก่อสร้าง เป็นต้น เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อการชะล้างพังทลายของดิน ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ส่งเสริมให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมากขึ้นโดยไปทำการเปลี่ยนแปลงสภาพพืชคลุมดินและสิ่งปกคลุมดิน และยังเป็นการทำลายสภาพดินอีกด้วย

จากรายงานของ Watnaprateep (1977) พบว่า กระบวนการชะล้างพังทลายของดินปรากฏมากในช่วงเพาะปลูก หลังจากการแผ้วถางและเผา ผิวหน้าดินว่างเปล่าและพร้อมที่จะถูกกัดชะโดยพลังงานของฝนที่ตกกระทบในระหว่างการเพาะปลูก เรือนยอดของพืชพรรณสามารถป้องกันผิวหน้าดินและลดการชะล้างพังทลายของดินได้ แต่จะมีประสิทธิภาพไม่มากเท่าสภาพการปกคลุมโดยป่าตามธรรมชาติ ทั้งยังจะเกิดได้ง่ายมากในบริเวณที่มีความลาดชันสูง

การจัดการพื้นที่ เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การไถพรวนตามความลาดชัน การทำขั้นบันได การขุดคูคั่นน้ำ หรือการปลูกพืชตามแนวระดับ ซึ่งมีลักษณะในการดำเนินงานแตกต่างกัน และมีอิทธิพลต่อการลดพลังงานของฝน พลังงานของน้ำไหลบ่าหน้าดินแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงร่างและรูปแบบที่จัดการพื้นที่ เช่นพื้นที่ที่ทำการไถพรวนตามความลาดชัน จะมีโอกาสสูญเสียดินจากการกระเด็นและความรุนแรงของพลังงานน้ำไหลบ่าหน้าดินมากกว่าการจัดการพื้นที่ที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

การประเมินค่าการชะล้างพังทลายของดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล

1. ความเป็นมา

การศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน ได้มีการศึกษามาเป็นเวลานานโดยมีวิธีการประเมินค่าการชะล้างพังทลายของดินแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการประเมินค่า โดยใช้ ดัชนีน้ำฝน อิทธิพลของความลาดชัน และการใช้แบบจำลองเพื่อประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งการศึกษาเพื่อประเมินค่าอัตราการสูญเสียดิน ด้วยวิธีการต่าง ๆ มีการนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ทำให้เป็นที่มาของสมการ ที่เรียกว่า สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation; USLE) (Wischmeier และ Smith, 1965) โดยสมการการสูญเสียดินสากลได้พัฒนามาตั้งแต่ปี ค. ศ. 2961 โดยกรมการเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Agriculture; USDA) และ Wischmeier และ Smith (1978) ได้ปรับปรุงแก้ไขใหม่โดยมีรูปแบบของสมการ ดังต่อไปนี้

$$A = RKLSCP \quad (3)$$

- เมื่อ A คือ ปริมาณดินที่สูญเสียที่คำนวณได้ต่อหน่วยเนื้อที่
- R คือ rainfall factor เป็นค่าดัชนีของการชะล้างพังทลายดินของฝนในปีที่มีฝนตกกระดึบปกติ (normal year's rain)
- K คือ ค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน เป็นอัตราการสูญเสียดินต่อหนึ่งหน่วยของดัชนีการชะล้างพังทลาย (erosion index) สำหรับดินชนิดใดชนิดหนึ่ง ในลักษณะของหน้าดินที่ทำเป็นร่องไถพรวนขึ้น-ลง ติดต่อกันยาว 72.6 ฟุต (22.13 เมตร) บนพื้นที่ความลาดชัน 9 เปอร์เซนต์
- L คือ ค่าอิทธิพลของความยาวของความลาดชันที่มีต่อการชะล้างพังทลายของดิน (slope length factor) เป็นค่าได้จากอัตราส่วนการสูญเสียดิน จากความยาวของความลาดชันช่วงใดช่วงหนึ่งกับความยาวมาตรฐาน (72.6 ฟุต หรือ 22.13 เมตร) ซึ่งอยู่บนแนวความลาดเทอันเดียวกัน
- S คือ ค่าอิทธิพลของความลาดชัน (slope-gradient factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากความลาดชันระดับใดระดับหนึ่งต่อความลาดชันมาตรฐาน (9 เปอร์เซนต์)

- C คือ ค่าอิทธิพลของพืชหรือสิ่งปกคลุมดิน (cropping management factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินระหว่างพื้นที่ที่มีพืชชนิดใดชนิดหนึ่งปกคลุมอยู่ กับการสูญเสียดินจากบริเวณไถพรวนที่ปราศจากพืชคลุมดิน ซึ่งใช้ในการหาค่าความคงทนของดิน
- P คือ ค่าอิทธิพลของมาตรการที่ใช้ในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (erosion-control factor) เป็นค่าอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากพื้นที่ที่มีวิธีการอนุรักษ์ดินแบบต่างๆ เช่น การไถพรวนตามแนวระดับ (contouring)

ความถูกต้องของการใช้สมการสูญเสียดินสากล เพื่อคาดคะเนการสูญเสียดินได้ดีนี้ก็ต่อเมื่อเป็นดินที่มีเนื้อดินปานกลาง (medium texture soil) อยู่บนพื้นที่ที่มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 3 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวความลาดชันไม่เกิน 400 ฟุต ตลอดจนมีการปลูกพืชและมีการจัดการคล้ายกับแปลงทดลอง การสูญเสียดินซึ่งเป็นรากฐานในการสร้างสมการนี้ อีกประการหนึ่ง สมการนี้ใช้คาดคะเนการสูญเสียดินเฉลี่ยระยะยาวมากกว่าเป็นค่าของปีใดปีหนึ่งโดยเฉพาะ นอกจากนี้ความถูกต้องในการคำนวณการสูญเสียดินเฉลี่ยบนพื้นที่ขนาดใหญ่ยังขึ้นอยู่กับทางเลือกค่าของปัจจัย ซึ่งต้องมีสภาพกายภาพและการจัดการว่าถูกต้องมากน้อยเพียงไร บนดินที่มีการประเมินค่าปัจจัยต่าง ๆ สำหรับบริเวณนั้น ๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

สมการสูญเสียดินสากล ใช้ได้อย่างกว้างขวางมากในการวางแผนอนุรักษ์ดินที่ใช้ชนิดพืชปลูกช่วยในการปรับปรุงและบำรุงดิน ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถใช้ประมาณการชะล้างพังทลายของดินรายปีค่าได้เป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้สมการดังกล่าวในการกำหนดมาตรการหรือตำแหน่งที่ต้องทำการป้องกันการพัดพาหรือเคลื่อนย้ายตะกอน จำเป็นต้องคำนวณปริมาณการสูญเสียดินเป็นครั้ง ๆ ที่ฝนตก เนื่องจากค่าที่ได้จากการใช้สมการการสูญเสียดินสากลมักผิดไปจากที่วัดได้จริงอยู่มาก (นิพนธ์, 2526)

ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดิน หรืออัตราการสูญเสียดินเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและสามารถประมวลผลออกมาให้เห็นภาพชัดเจนมากขึ้น โดยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System; GIS) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการประเมินร่วมกับการใช้สมการการสูญเสียดินสากล ซึ่งสามารถประเมินค่าอัตราการสูญเสียดินได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในสมการ USLE สำหรับประเทศไทยถือว่ายังมีน้อยมาก แม้ว่าจะมีการใช้สมการนี้มาอย่างยาวนานแล้วก็ตาม การศึกษาปัจจัยเหล่านี้ต้องใช้เวลาอันซึ่งไม่สะดวกและทันเวลาต่อการใช้งานและต้องมีความอดทนค่อนข้างมาก การใช้เครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulators) ทำให้ประหยัดเวลา มีความสะดวกสบายมากขึ้น จึงนับว่าสมควรอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาในด้านนี้

การศึกษาอิทธิพลของพืชหรือสิ่งปกคลุมดิน

1. ความสำคัญและที่มา

ค่าอิทธิพลของพืชหรือสิ่งปกคลุมดิน (cropping management factor; C-factor) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งในสมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation; USLE) ซึ่งเป็นดัชนีที่ได้จาก อัตราส่วนระหว่างปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองที่มีการปลูกพืชชนิดใดชนิดหนึ่งกับปริมาณดินที่ถูกชะล้างมาจากแปลงทดลองที่ปล่อยให้อย่างเปล่า และไถพรวนขึ้นลงตามแนวความลาดเท ซึ่งค่า C-factor นี้เป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของพืช ลักษณะการปกคลุม และวิธีการปฏิบัติในการปลูกพืชรวมกันทั้งหมด ซึ่ง Schulz (1981) ได้ให้คำนิยามไว้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณดินที่สูญเสียจากพื้นที่ที่มีการปกคลุมของพืชพรรณและสิ่งคลุมดินต่าง ๆ กับปริมาณดินที่สูญเสียจากพื้นที่ที่ปราศจากพืชหรือสิ่งคลุมดิน และการไถพรวนดินเป็นแนวยาวตลอดตามแนวความลาดชัน ในพื้นที่ที่มีระดับของความลาดชันและความยาวของความลาดชันเดียวกัน

พืชพรรณมีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดินโดยลดแรงตกระทบของเม็ดฝน ลดความรุนแรงของน้ำไหลบ่าหน้าดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดินจากการที่รากไชซอนลงดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ทำให้ดินมีโครงสร้างดี และลดปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน ทั้งนี้เนื่องจากผลของน้ำพืชยึด (interception) การแทรกซึมน้ำ (infiltration) และการคายระเหยน้ำของพืช (evapotranspiration)

นิพนธ์ (2526) กล่าวว่า พืชและสิ่งปกคลุมดินมีบทบาทต่อการชะล้างพังทลายของดินมาก เนื่องจากช่วยลดแรงตกระทบของเม็ดฝนที่กระทบหน้าดิน โดยช่วยยึดน้ำฝนไว้ส่วนหนึ่ง ช่วยลดความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน เพิ่มสมรรถนะการซึมผ่านผิวดิน และเก็บกักน้ำตลอดจนมีการคายระเหยสูง นอกจากนี้ นิพนธ์ (2545) ได้กล่าวว่า ค่า C-factor ของพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างท้องที่ อาจแตกต่างกันแม้จะเป็นช่วงเวลาเดียวกันของปี ทั้งนี้เพราะการตกของฝนมีความหนักเบาแตกต่างกันไป การกำหนดค่า C-factor ของพืชชนิดใดชนิดหนึ่งในแต่ละท้องที่ จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการตกและการกระจายของฝนในช่วงเวลาต่างๆ ในรอบปีหนึ่ง ๆ ของแต่ละท้องที่ และรู้ถึงประสิทธิภาพของพืชชนิดนั้น ๆ ตลอดจนของเศษซากสิ่งเน่าเปื่อยผุพังที่คลุมดินอยู่ รวมทั้งลักษณะการปฏิบัติการปลูกพืชต่อการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินด้วย ดังนั้นจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของพืชคลุมดินและการจัดการพืชต่อการสูญเสียดินและน้ำ และเนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษายาวนาน ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกเครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulators) มาใช้เพื่อทดสอบว่ามีผลการศึกษาที่แตกต่างจากการรอฟันที่ตกจริงตามธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ หากผลการศึกษาระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จะสามารถช่วยร่นระยะเวลาในการศึกษาให้กระชับขึ้น และสามารถกำหนดและควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้เอง เช่น ความหนักเบาของฝน ปริมาณฝน การกระจายตัวของฝน และระยะเวลาการตกของฝนแต่ละครั้ง เป็นต้น ในอดีตได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับค่า C-factor สำหรับพื้นที่ต่าง ๆ ไว้ ได้แก่ (1) ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าไม้ (2) ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าและที่รกร้างว่างเปล่า และ (3) ค่า C-factor สำหรับพืชเกษตร และการปลูกพืชหมุนเวียนแบบต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

1. ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าไม้

นิพนธ์ (2526) กล่าวว่า พืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมผิวโลกนั้น กล่าวได้ว่าป่าไม้สามารถควบคุมการชะล้างพังทลายได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามป่าไม้แต่ละชนิดแต่ละสภาพย่อมมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินแตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินแตกต่างกัน ถึงแม้เป็นป่าชนิดเดียวกันแต่มีสภาพความหนาแน่นของเรือนยอดที่ปกคลุมต่างกันย่อมควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Ruangpanit (1971) ได้ศึกษาปริมาณการสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองขนาด 4×20 เมตร ที่มีเรือนยอดของป่าดิบเขาปกคลุมระดับต่าง ๆ กัน ที่สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดของป่าดิบเขามีผลโดยตรงต่อปริมาณการชะล้างพังทลายของดิน กล่าวคือเมื่อเปอร์เซ็นต์การปกคลุมลดลงปริมาณตะกอนจะเพิ่มมากขึ้น แต่เรือนยอดของป่าดิบเขามีอิทธิพลต่อทั้งปริมาณน้ำบ่าหน้าดิน และการสูญเสียดินค่อนข้างน้อย จากการศึกษาของ Wischmeier และ Smith (1978) พบว่าในป่าดงดิบหรือป่าไม้ไม่ผลัดใบที่ยังไม่ถูกรบกวนนั้น ผิวดินได้รับอิทธิพลในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินจากส่วนต่าง ๆ ของพืชอย่างครบถ้วนและสมบูรณ์มาก ค่า C-factor ที่ใช้ในสมการการสูญเสียดินสากลสำหรับป่าดังกล่าวโดยประมาณ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า C-factor โดยประมาณสำหรับใช้ในสมการสูญเสียดินสากลของป่าดงดิบธรรมชาติที่ยังไม่เคยถูกรบกวน

เปอร์เซ็นต์พื้นที่ดินที่ปกคลุมด้วย เรือนยอดต้นไม้ และพืชชั้นล่าง	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ดินที่ปกคลุมด้วย เศษซากพืช ^{1/} ลึกอย่างน้อย 2 นิ้ว	ค่าของ C-Factor ^{2/}
20-40	40-70	0.009-0.003
45-70	75-85	0.004-0.002
75-100	92-100	0.001-0.0001

หมายเหตุ : ^{1/} ในกรณีที่เปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดน้อยกว่า 20 และเศษซากพืชปกคลุมน้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ให้พิจารณาจากตารางอื่น

^{2/} ค่าของ C-factor จะเป็นเท่าไร ในแต่ละช่วงของคอลัมน์นี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของการปกคลุมเรือนยอดและเศษซากพืช และความสูงของชั้นเรือนยอดของป่าด้วย

ที่มา : Wischmeier และ Smith (1978)

สำหรับป่าดิบเขาที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ต้นน้ำลำธารทางภาคเหนือของประเทศไทยนั้น วันชัย (2524) ได้ประเมินค่า C-factor จากแปลงทดลองขนาดเล็ก (4×20 เมตร) บนพื้นที่ความลาดเทเฉลี่ย ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อดินประเภท sandy loam ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า C-factor ของป่าดิบเขาที่มีเรือนยอดปกคลุมดินในระดับต่างๆ ที่ประเมินจากแปลงทดลอง ณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า เชียงใหม่

เปอร์เซ็นต์ผิวดินที่ปกคลุมด้วย เรือนยอดต้นไม้และพืชชั้นล่าง	เปอร์เซ็นต์พื้นดินที่ปกคลุม ด้วยเศษซากพืช	ค่า C-factor ในสมการการ สูญเสียดินสากลเฉลี่ย
20-30	เศษซากพืชหนา 2-5 ซม.	0.00145
40-50	และเปอร์เซ็นต์การปกคลุม	0.00108
50-60	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์	0.00101
60-70		0.00064
70-80		0.00060
80-90		0.00066

ที่มา : คัดแปลงจาก วันชัย (2524)

ค่าของ C-factor ในสมการการสูญเสียดินสากล สำหรับป่าชนิดอื่น ๆ ยังไม่มีการศึกษาวิจัย แต่อาจประยุกต์ข้อมูลของ Wischmeier และ Smith (1978) และของ วันชัย (2524) ใช้กับป่าชนิดอื่น ๆ ได้โดยอาจใช้วิธีการประเมินจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่อาศัยทฤษฎี และหลักการการเกิดพลังชะล้างพังทลายในพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมต่าง ๆ กัน

อย่างไรก็ตาม โดยอาศัยองค์ประกอบของป่าที่เกี่ยวข้องกับการประเมินค่า C-factor นี้ Wischmeier (1975) ได้ประเมินค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าที่จะเหมาะกับพื้นที่ป่าปลูก หรือป่าที่ผ่านการทำไม้มาแล้วมากกว่าป่าธรรมชาติ ค่าที่ประเมินได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยทั่วไปแล้วการประเมินให้ค่าของป่าที่จัดการดีที่สุด และสภาพป่าสมบูรณ์ที่สุด มีค่า C-factor เพียง 0.001 นั้น อาจยังสูงเกินไปสำหรับป่าในแถบร้อน ซึ่งพื้นที่ป่ามีอินทรีย์วัตถุสูง และการปกคลุมของพืชชั้นล่างหนาแน่นและหลากหลายมากกว่าป่าในเขตอบอุ่น

ตารางที่ 3 ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ป่าไม้ในสภาพต่าง ๆ

สภาพของป่า	เปอร์เซ็นต์การปกคลุมของเรือนยอด ^{1/}	เปอร์เซ็นต์การปกคลุมดินของเศษซากพืช ^{2/}	ลักษณะไม้ชั้นล่าง	ค่าดัชนี C-factor
ป่าที่มีไม้สมบูรณ์	75-100	90-100	ได้รับการจัดการดี	0.001
มาก			ไม่ได้รับการดูแล	0.001-0.003
ป่าที่มีไม้สมบูรณ์	40-75	75-90	ได้รับการจัดการดี	0.004-0.002
ปานกลาง			ไม่ได้รับการดูแล	0.004-0.01
ป่าที่มีสภาพทรุดโทรม	20-40	40-70	ได้รับการจัดการดี	0.009-0.003
			ไม่ได้รับการดูแล	0.09-0.02 ^{3/}

หมายเหตุ : ^{1/}ในกรณีที่เปอร์เซ็นต์การปกคลุมของเรือนยอดต้นไม้มีปกคลุมต่ำกว่า 20 ให้ถือว่าพื้นที่นั้นๆ มีสภาพ เหมือนกับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์

^{2/}ปริมาณเศษซากพืชที่จะประเมินลักษณะการคลุมดินนั้นจะต้องมีความหนาพอสมควร

^{3/}สำหรับสภาพของป่ากรณีนี้ ถ้ามีพวกเศษซากพืชคลุมดินปกคลุมน้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ควรประเมินค่า C-factor โดยใช้ 0.7 คู่กับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากค่าของทุ่งหญ้า

ที่มา : Wischmeier (1975)

2. ค่า C-factor สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าและที่รกร้างว่างเปล่า

นิพนธ์ (2545) กล่าวว่า ค่า C-factor สำหรับทุ่งปศุสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และที่รกร้างว่างเปล่า มีการศึกษาโดยแปลงทดลองน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย กล่าวได้ว่ายังไม่มี การศึกษาวิจัยแต่อย่างใด ในสหรัฐอเมริกา มักใช้ค่าประมาณ 0.02 เป็นค่าโดยเฉลี่ยสำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าโดยทั่วไป อย่างไรก็ตามค่าของ C-factor สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบนี้ผันแปรไปกับ ชนิดพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมทุ่งหญ้า ความหนาแน่นของหญ้าหรือวัชพืช ซึ่ง Wischmeier (1975) ได้ อธิบายทฤษฎีเกี่ยวกับอิทธิพลของความสามารถในการลดพลังชะล้างพังทลายของพืชพรรณ ประมาณค่า C-factor สำหรับทุ่งปศุสัตว์ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และที่รกร้างว่างเปล่า ซึ่งค่า C-factor ที่ได้บางค่าก็ สอดคล้องกับผลการศึกษาจากแปลงทดลองในอดีต แต่อีกหลายค่าสำหรับกรณีอื่น ๆ ของการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบนี้ยังไม่ได้มีการทดสอบในท้องที่จริง อย่างไรก็ตาม การประมาณการสูญเสีย

ดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำแล้ว ค่าที่ได้น่าจะนำไปประยุกต์ใช้ได้แต่ควรได้มีการทดสอบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองของแต่ละท้องที่

นิพนธ์ (2526) กล่าวว่า การสูญเสียดินจากพื้นที่ที่ทำเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ นอกจากขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยสัตว์เข้าและเล็มหญ้าแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสมรรถนะในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินของหญ้าเองด้วย การทดลองในประเทศอินเดียพบว่า ลุ่มน้ำที่ปกคลุมด้วยทุ่งหญ้ามีการสูญเสียดินมากกว่าในลุ่มน้ำที่ปกคลุมด้วยป่าไม้ คือประมาณ 2,667 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ในขณะที่พื้นที่ลุ่มน้ำที่เป็นป่าปลูก มีการสูญเสียดินประมาณ 1,147 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ (Raghuvir และ Sajwan, 1971)

Rhoades *et al.* (1975) ได้ศึกษาปริมาณตะกอนจากพื้นที่ลุ่มน้ำที่เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ระดับต่างๆ ตั้งแต่ตีนจนถึงเลวในสหรัฐอเมริกา พบว่าลุ่มน้ำที่ปกคลุมด้วยทุ่งหญ้าธรรมชาติที่ไม่มีการปล่อยสัตว์เลี้ยงเข้าไปนั้น เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินน้อยกว่าในพื้นที่ปล่อยสัตว์เลี้ยงเข้าและเล็มโดยปราศจากการควบคุมถึง 4.4 เท่า ในขณะที่ตะกอนน้อยกว่าถึง 100 เท่า

สำหรับประเทศไทย ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์นับวันจะเพิ่มความสำคัญมากขึ้น และจำนวนทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ก็เพิ่มขึ้นในหลายภาคของประเทศ แต่การศึกษาวิจัยผลของการจัดการทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ในประเทศต่อการชะล้างพังทลายของดินยังมีน้อยมาก เท่าที่ผ่านมามีการนำข้อมูลที่รวบรวมโดย Gupta (1981) มาประยุกต์ใช้กับการจัดการทุ่งหญ้าในประเทศไทย ซึ่งอาจใช้ได้บ้างในบางพื้นที่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาค่า C-factor สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าและที่กร้างว่างเปล่าในแปลงทดลองในพื้นที่จริงของประเทศไทย เพื่อให้ได้ค่าการสูญเสียดินที่แท้จริงในการประเมินค่าการสูญเสียดินต่อไป

3. ค่า C-factor สำหรับพืชเกษตร และการปลูกพืชหมุนเวียนแบบต่าง ๆ

นิพนธ์ (2545) กล่าวว่า ค่า C-factor สำหรับพืชเกษตรมีการศึกษาไว้ในสหรัฐอเมริกา แต่ส่วนใหญ่เป็นพืชในแถบอบอุ่น และมักเป็นค่าที่เป็นผลรวมของการใช้ระบบการปลูกพืชหมุนเวียนมากกว่าเป็นค่าของ C-factor สำหรับพืชเกษตรชนิดใดชนิดหนึ่ง ในประเทศอินเดีย Rao (1981) พบว่าค่า C-factor ของพืชเดี่ยว ๆ แต่ละชนิด ผันแปรไปตามชนิดพืช ระดับความลาดเทของพื้นที่ และปริมาณฝนที่ตกแตกต่างกันในแต่ละปี ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณการสูญเสียดิน และค่า C-factor ของพืชชนิดต่าง ๆ ในประเทศอินเดียระหว่างปี
ค.ศ. 1964-1969

ชนิดพืช	ปริมาณการสูญเสียดินโดย เฉลี่ย (ตัน/เฮกเตอร์)	C-factor โดยประมาณ	ขนาดของแปลงทดลอง
ความลาดเท 2%			
ถั่วฝักยาว	3.21	0.17	25×2 เมตร
ข้าวโพด	5.56	0.35	
นาข้าว	5.07	0.28	
Pigeon pea	7.07	0.38	50×2 เมตร
ถั่วฝักยาว	4.31	0.26	60×1.5 เมตร
นาข้าว	4.24	0.27	60×1.5 เมตร
ความลาดเท 3.5%			
ถั่วฝักยาว	10.4	0.43	45×1.5 เมตร
นาข้าว	6.29	0.36	45×1.5 เมตร
ความลาดเท 5%			
ถั่วฝักยาว	13.56	0.57	30×1.5 เมตร
นาข้าว	9.62	0.36	30×1.5 เมตร

ที่มา : Rao (1981)

สำหรับค่า C-factor ที่อาจนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณอัตราการสูญเสียดินจากพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทยนั้น Watanasak (1978) ได้ประเมินไว้ในตารางที่ 5 ซึ่งค่าต่าง ๆ ในตารางนี้เป็นค่าที่ประเมินขึ้น เพื่อใช้ประเมินอัตราการสูญเสียดินจากสมการการสูญเสียดินสากล โดยอาศัยค่าสมรรถนะความคงทนของดินจากห้องปฏิบัติการ มิใช่เป็นค่าที่ตรวจวัดได้จากแปลงทดลอง ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้จึงควรพิจารณาสภาพการใช้ที่ดินอย่างรอบคอบ

ตารางที่ 5 ค่า C-factor ของพืชพรรณชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย

ชนิดของพืชพรรณหรือลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน	C-factor
ทุ่งนาข้าว	0.70
ไร่มันสำปะหลัง	0.60
ไร่อ้อย	0.50
สวนมะพร้าว	0.45
ไร่อ้อย	0.40
สวนผลไม้	0.35
ไร่ข้าวโพด	0.30
สวนยางพารา	0.27
ทุ่งข้าวสาลี	0.24
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	0.20
ป่าไม้	0.15
	0.02
	0.001

ที่มา : Watanasak (1978)

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า ทั้งชนิดพืช และลักษณะโครงสร้างที่รวมกันเป็นองค์ประกอบของพืชพรรณ มีอิทธิพลต่อการควบคุมปริมาณการชะล้างพังทลายของดินอยู่มาก ทั้งนี้พิจารณาได้จากผลการทดลองศึกษาในอดีต และค่าของ C-factor ที่ประเมินได้จากการทดลอง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ระบบการปลูกพืชเกษตรกรรมที่จะมีผลต่อการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้นั้น ควรต้องให้มีการจัดองค์ประกอบของพืชคลุมดิน ให้เป็นไปในลักษณะที่คล้ายพืชพรรณที่ขึ้นอยู่เองตามธรรมชาติมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

นิพนธ์ (2526) ได้จำแนกระบบการปลูกพืชที่มีผลเอื้ออำนวยต่อการลดปัญหาการชะล้างพังทลายของดินนั้น มีวิธีการหรือระบบต่าง ๆ ที่นิยมกันในกลุ่มนักอนุรักษ์ดินและน้ำ ได้แก่ ระบบปลูกพืชแบบหมุนเวียน (crop rotation) ระบบปลูกพืชแทรกกระหว่างแถว (inter-cropping) ระบบการปลูกพืชควบ (multi-cropping) ระบบการปลูกพืชแบบต่อเนื่อง (relay cropping) และระบบการปลูกพืชปกป้องคลุมดิน (protective cover cropping)

มาตรการในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม

1. มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

นิพนธ์ (2527) และ สมยศ (2529) ได้แบ่งมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำออกเป็น 2 หมวดใหญ่ ๆ คือ

1.1 มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำทางวิศวกรรมหรือวิธีกล (engineering conservation measures หรือ mechanical conservation measures)

เป็นมาตรการที่นำเอาหลักการก่อสร้างทางวิศวกรรม มาจัดการต่อความลาดชันของพื้นที่ เป็นการปรับสภาพพื้นที่เฉพาะแห่ง ส่วนใหญ่เป็นการก่อสร้างคันดินขวางความลาดชัน เช่น ขันบันได เพื่อลดความยาวของความลาดชัน ลดปริมาณน้ำไหลบ่าและเบี่ยงเบนทางน้ำ

1.2 มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำโดยใช้พืช (vegetative conservation measures หรือ agronomic conservation measures)

เป็นการใช้พืชที่ปลูกหรือพืชอื่นมาปลูกเพื่อยึดน้ำฝนบางส่วนไว้ และลดความเร็วของน้ำไหลบ่าเพื่อสกัดกั้นการไหลบ่าหน้าดินให้น้อยลง เพิ่มปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ดินให้มากขึ้น

2. ประสิทธิภาพของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบต่าง ๆ

Goor และ Barney (1968) กล่าวว่า ในการปลูกต้นไม้หรือชุดหลุมปลูกบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน ควรคำนึงถึงมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ และควรปลูกเป็นแนวระดับหรือปลูกบนขั้บันไดดิน ซึ่งในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินด้วยวิธีทางวิศวกรรมนี้ นิพนธ์ (2527) กล่าวว่า เป็นวิธีการสำคัญในการจัดการที่ดิน ส่วนใหญ่จะเป็นการก่อสร้างคันดินขวางความลาดชันด้านลาดเขา เพื่อชะลอความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินก่อนที่มีพลังก่อให้เกิดอันตรายต่อการชะล้างพังทลายของดิน และการใช้พืชคลุมดินช่วยร่วมกับวิธีกลจะเป็นการเสริมสร้างซึ่งกันและกัน และมักใช้ด้วยกันเสมอแม้ว่าแต่ละวิธีจะมีวัตถุประสงค์ที่แยกออกจากกัน

Hudson (1971) ได้แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้จะมีการใช้วิธีการในการอนุรักษ์ดินก็ตาม ดินก็ยัง สามารถสูญเสียไปได้ แต่การจัดการพืชที่ดินนั้นสามารถลดการสูญเสียดินได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเน้น ให้ใช้การปลูกพืชคลุมดินดีกว่าใช้มาตรการทางกล ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้อย่างมาก หาก ได้รับการบำรุงรักษาไม่เพียงพอ หรือได้รับการออกแบบไม่เหมาะสม โดยเฉพาะในแถบที่มีฝนตก หนักและยาวนาน และจากรายงานของ Jantawat (1977) ได้แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของระบบการปลูก พืชสามารถลดการสูญเสียดินได้มากกว่าการไถพรวนที่เป็นวิธีอนุรักษ์ดิน เช่นเดียวกับ Roose (1977) ที่กล่าวว่า การทำคันดินมีการลงทุนสูงและมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธีการควบคุมโดยพืชที่สามารถตั้งตัว และคลุมดินได้หนาแน่น

Hutch (1981) แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำขั้นบันไดปลูกพืช (bench terrace) ในพื้นที่สวนชา สามารถช่วยลดปริมาณการสูญเสียดินจากการปลูกขึ้นลงตามแนวความลาดชัน จาก 63 ตันต่อเฮกแตร์ ต่อปี เหลือเพียง 1.4 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี

Gupta (1981) ได้ศึกษาจากแปลงทดลองขนาดเล็กและพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่า พื้นที่ป่าหรือทุ่งหญ้า ที่หนาแน่นนั้น มีการสูญเสียดินออกจากพื้นที่น้อยมากในระหว่างช่วงฤดูฝน คือ มีเพียง 2 ตันต่อเฮกแตร์ เท่านั้น ในขณะที่การสูญเสียดินจากพื้นที่ว่างเปล่าที่ไถพรวนทิ้งไว้มีสูงถึง 44 ตันต่อเฮกแตร์ ทั้ง ๆ ที่พื้นที่มีความลาดชันเพียง 9 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า การทำไร่เลื่อนลอยบน พื้นที่ลาดเขาชันจะทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินประมาณ 41 ตันต่อเฮกแตร์ แต่เมื่อมีการทำคัน ดินขั้นบันไดจะลดการสูญเสียดินเหลือเพียง 5 ตันต่อเฮกแตร์ อย่างไรก็ตาม นิพนธ์ และคณะ (2515) พบว่าพื้นที่ที่เคยใช้ทำไร่เลื่อนลอยซึ่งถูกปล่อยทิ้งไว้เป็นไร่ร้างและมีหญ้าคา วัชพืชคลุมหนาแน่น สามารถควบคุมการสูญเสียหน้าดินได้เท่าเทียมกับป่าดิบเขาธรรมชาติ แต่โอกาสเกิดน้ำไหลป่าจะ เกิดขึ้นได้บ่อยครั้งกว่า และมีปริมาณมากกว่าในป่าธรรมชาติ

Utomo และ Mahmud (1984) ได้ประยุกต์ใช้สมการการสูญเสียดินสากล (USLE) ในการ ประเมินค่าการสูญเสียดินนั้นพบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมดินร่วมกับสิ่งก่อสร้างที่มีผลต่อการ ควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (CP-factor ในสมการ USLE) จะลดลงเมื่อความลาดชันเพิ่มมากขึ้น

สุรัม และคณะ (2523) ได้ทดลองในดินชุดมาบอนที่ศูนย์พัฒนาจังหวัดระยอง ความลาดเท 5 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบ 4 วิธีคือ ไถพรวนขึ้นลง และปล่อยทิ้งไว้ ไถพรวนขึ้นลงแล้วปลูกข้าวโพด สองครั้งติดต่อกัน ไถขวางความลาดเทแล้วปลูกข้าวโพดสองครั้งติดต่อกัน และไถขวางความลาดเท

แล้วปลูกข้าวโพดตามด้วยถั่วเขียว พบว่า มีการสูญเสียดิน 44.38, 31.25, 26.25 และ 17.50 ตันต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลดีของการไถขวางความลาดเท และการปลูกพืชที่คลุมดินได้แน่นทึบ เช่นถั่วเขียวนั่นเอง

พรชัย (2527) ได้ให้ความเห็นว่า มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบต่าง ๆ ให้ค่าการสูญเสียดินและน้ำต่างกัน ซึ่งจากการศึกษาของ ภิชาติ (2525) ที่โครงการสาธิตการจัดการลุ่มน้ำแม่สา ซึ่งมีความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยสร้างสิ่งก่อสร้าง 4 ชนิด คือ ขันบันไคดินต่อเนื่อง ขันบันไคดินไม่ต่อเนื่อง คุรับน้ำขอบเขา และคันดินรับน้ำขอบเขา พบว่า ในปีที่สามหลังจากแปลงทดลองอยู่ตัวดีแล้ว สิ่งก่อสร้างแต่ละชนิดสามารถลดการสูญเสียดินและน้ำได้ 96, 86, 80 และ 91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้แนะนำว่า คันดินรับน้ำขอบเขาควรเป็นวิธีที่นำไปแนะนำให้เกษตรกรใช้ได้ดีที่สุด เพราะเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูกและป้องกันการสูญเสียดินและน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าสิ่งก่อสร้างชนิดอื่นที่เสียค่าใช้จ่ายสูงมาก

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ได้เลือกศึกษาค่า C-factor และค่า CP-factor สำหรับพื้นที่เพาะปลูกพืชเกษตร ในแปลงทดลองบริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ ซึ่งจะใช้เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับพืชที่ใช้เป็นตัวแทนของพืชที่ปลูกโดยทั่วไปในพื้นที่ดังกล่าว ได้แก่ ข้าวโพด และถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการประเมินค่าการชะล้างพังทลายของดินในสมการการสูญเสียดินสากล เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง มีสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าที่ถูกบุกรุก ไร่ร้าง พื้นที่ที่ถูกแผ้วถางเพื่อใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกข้าวโพด และถั่วเหลือง สำหรับการทดลองในแปลงปลูกข้าวโพด และถั่วเหลือง ได้เลือกใช้ระบบการปลูกพืชปกป้องคลุมดิน (protective cover cropping) ซึ่งเป็นการปลูกพืชคลุมดินในพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวพืชหลัก เพื่อให้หน้าดินไม่เปิดว่างที่จะทำให้ดินเกิดพังทลายได้ง่าย ๆ พืชที่ใช้ปลูกคลุมดินอาจใช้เป็นปุ๋ยพืชสดไปในตัว (green manure cropping) ได้เมื่อทำการไถกลบใช้ได้ดีกับพื้นที่ทุกระดับความลาดชันที่มีการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินแบบอื่น ๆ อยู่แล้ว ข้อดีของระบบนี้คือ มิใช่แต่เพียงป้องกันการกัดชะหน้าดินเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน และปริมาณไนโตรเจนในดิน ขณะเดียวกันก็ทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้นด้วยโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่วทุกชนิด สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกปลูกถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืชตัวแทนของลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอวังทอง จังหวัดแพร่ เนื่องจากหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้ว ราษฎรได้ปลูกถั่วเหลืองคลุมดินสลับกันไป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า ค่าของ C-factor เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของการสูญเสียดินที่เกิดจากการปลูกพืชแบบใดแบบหนึ่ง กับศักยภาพการสูญเสียดินสูงสุดที่เกิดจากการไถพรวนดินขึ้นลงตามแนวระดับ และไม่มีพืชคลุมดินเลย แต่เนื่องจากค่าศักยภาพของการถูกละล้างพังทลายได้สูงสุดนี้มีได้ขึ้นอยู่กับจัดการพืชพรรณแต่เพียงอย่างเดียว ขึ้นอยู่กับลักษณะลมฟ้าอากาศ และลักษณะภูมิประเทศในแต่ละท้องถิ่นที่สำคัญ ดังนั้นค่า C-factor ของพืชพรรณชนิดเดียวกันอาจต่างกันไปตามท้องถิ่น นอกจากนี้ นิพนธ์ (2526) กล่าวว่า นอกจากชนิดของพืชพรรณที่ปลูก และการจัดการพืชแต่ละระบบ ซึ่งมีส่วนช่วยลดอัตราการชะล้างพังทลายของดินจากศักยภาพการสูญเสียสูงสุดแล้ว การใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินก็เป็นวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำอีกทางหนึ่ง ได้แก่ การปลูกพืชตามแนวระดับขอบเขา (contouring) การยกร่องปลูกพืชตามแนวเส้นขอบเขา (contour ridging) การทำสันคันดินล้อมคูน้ำขนานเส้นขอบเขา (tie ridging) และกรรมวิธีอื่น ๆ สามารถกำหนดค่าความสามารถในการลดอัตราการชะล้างพังทลายของดินได้ แต่วิธีการที่ป้องกันไม่ได้ผลดีนั้น จะมีค่าน้อยกว่าไม่ต้องทำ เนื่องจากวิธีการเป็นการรวมพลังน้ำไปอยู่ในร่องใดร่องหนึ่ง อาจเกิดร่องลึกได้มากกว่าปล่อยให้ไหลแผ่กระจายไปทั่วพื้นที่ และหากการออกแบบไม่ดีพอ จะทำให้โครงสร้างต่าง ๆ ใช้การไม่ได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการประเมินค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียดินที่เกิดจากแปลงปลูกพืชที่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ กับศักยภาพการสูญเสียดินสูงสุดที่เกิดจากการไถพรวนดินขึ้นลงตามแนวระดับขอบเขา และไม่มีพืชคลุมดินเลย โดยมาตรการที่เลือกใช้คือ การปลูกพืชตามแนวระดับขอบเขา (contouring measures) ซึ่งเป็นการปฏิบัติด้วยวิธีใดก็ตามที่เป็นการเพาะปลูกพืชขวางแนวความลาดเท ขนานเส้นระดับขอบเขา ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย ประหยัดทั้งเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่าย รวมทั้งสะดวกต่อการปฏิบัติของเกษตรกร และใช้ได้ทุกที่ ทุกกรณีที่ต้องการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน นอกจากนี้ข้อดีของระบบนี้คือ ร่องน้ำที่เกิดจากการไถพรวนหรือเตรียมดินทำหน้าที่เป็นเขื่อนเล็ก ๆ ช่วยชะลอและกักน้ำ ทำให้น้ำซึมลงชั้นลึกได้ดี และช่วยลดพลังของน้ำไหลบ่าหน้าดินทำให้ดินมีความชื้นสม่ำเสมออีกด้วย

เครื่องกำเนิดฝน

ในต่างประเทศ มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเครื่องกำเนิดฝนมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของดิน แต่งานวิจัยเหล่านั้นให้ผลแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับศักยภาพของวิธีการนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ และมีเพียงบางงานวิจัยเท่านั้นที่ทดลองเกี่ยวกับ วิธีการใช้เครื่องกำเนิดฝนโดยเฉพาะ โดยปกติแล้วไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการใช้เครื่องกำเนิดฝนเลย (De Ploey, 1983) ก่อนที่มีการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดฝน ได้มีคำถามเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องกำเนิดฝน ค่าใช้จ่าย และปัญหาต่าง ๆ ขึ้น ไม่ว่าจะเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์และปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อใช้งานจริง เนื่องจากยังไม่มีเครื่องกำเนิดฝนมาตรฐานในการจำลองการตกของฝนตามธรรมชาติ จึงได้มีข้อตกลงเกี่ยวกับความแตกต่างและเทคนิคการใช้เครื่องกำเนิดฝน สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของดิน จึงต้องมีการคำนวณค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และต้องศึกษาศักยภาพของเครื่องมืออื่น ๆ ในการทดลองในแปลงด้วย (Nord, 1991)

1. หลักการของเครื่องกำเนิดฝน

การนำเครื่องกำเนิดฝนมาใช้ในระยะแรก มีวัตถุประสงค์เพื่อเลียนแบบการตกของฝนตามธรรมชาติอย่างถูกต้องแม่นยำและแน่นอน ฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้งมีส่วนประกอบมากมายและซับซ้อน เช่น สมบัติของฝน ประกอบด้วย ขนาดของเม็ดฝน และอัตราเร็วของเม็ดฝน เป็นต้น และความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศบนภาคพื้นทวีปและพื้นน้ำมีอิทธิพลต่อฝนที่ตกลงมาด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดข้อตกลงเกี่ยวกับหลักการของเครื่องกำเนิดฝน ดังนี้

- 1.1 การกระจายตัวของขนาดเม็ดฝนต้องใกล้เคียงกับฝนที่ตกตามธรรมชาติ (Bubenzer, 1979)
- 1.2 อัตราเร็วของเม็ดฝนที่ตกกระทบพื้นต้องใกล้เคียงกับอัตราเร็วสุดท้ายของฝนที่ตกตามธรรมชาติ (Laws, 1941)
- 1.3 ความหนักเบาของฝนที่ตกลงมาและการกระจายตัวของขนาดเม็ดฝนต้องมีรูปแบบเหมือนกัน (Laws และ Parsons, 1943)
- 1.4 รูปแบบการตกของฝนจะต้องประยุกต์ใช้ในการทดลองได้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์
- 1.5 ต้องสามารถปรับมุมในแนวตั้งให้รับกับแรงตกกระทบของเม็ดฝนได้
- 1.6 ต้องสามารถถอดแบบรูปแบบการตกของฝนแต่ละครั้งให้ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระยะเวลาการตก และความหนักเบาของฝน (Moore *et al.*, 1983) และ (Meyer และ Harmon, 1979)

การกระจายตัวของเมล็ดฝั น อัตราเร็วของแรงกระแทก ต้องสามารถเลียนแบบรูปแบบการตกของฝั นแต่ละครั้ง เพื่อหาพลังงานจลน์ของฝั น ซึ่งพลังงานจลน์ของฝั น ($KE = 1/2mv^2$) ใช้บอกปริมาณของฝั นที่ตกให้สัมพันธ์กันกับฝั นธรรมชาติและสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งการกระจายตัวของขนาดเมล็ดฝั นขึ้นอยู่กับลักษณะของฝั นที่ตกแต่ละครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนักเบาของฝั น การกระจายตัวของขนาดเมล็ดฝั นที่เปลี่ยนแปลงไปกับความหนักเบาของฝั น จากน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ถึงประมาณ 7 มิลลิเมตร ความหนักเบาของฝั นที่ตกแต่ละครั้ง จะสูงขึ้นเมื่อขนาดของเมล็ดฝั นเฉลี่ยเท่ากับ 2.25 มิลลิเมตร (Laws และ Parsons, 1943)

อัตราเร็วของฝั น มีความสำคัญมากในเรื่องของการออกแบบเครื่องกำเนิดฝั น เม็ดฝั นจากฝั นที่ตกตามธรรมชาติจะมีอัตราเร็วสุดท้ายเมื่อตกกระทบผิวดิน (Meyer และ McCune, 1958) ดังนั้นเครื่องกำเนิดฝั นจะต้องออกแบบให้ได้ขนาดของเมล็ดฝั นที่เพียงพอ และได้อัตราเร็วเหมือนกับฝั นที่จำลองมาจากสภาพธรรมชาติ สิ่งที่ยังบอกความสำคัญระหว่างขนาดของเมล็ดฝั นที่เพียงพอและสัมพันธ์กันกับระยะห่างที่ตกและการกระจายตัวของขนาดเมล็ดฝั น บ่งบอกถึงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ดฝั น และระยะห่างของเมล็ดฝั นที่ตก (Laws, 1941)

การเลือกชนิดของเครื่องกำเนิดฝั น จำต้องประเมินปัจจัยต่างๆ ให้แน่นอนซึ่งการเลือกชนิดของเครื่องกำเนิดฝั น ซึ่งต้องพิจารณาว่าทำการศึกษาในแปลงทดลองหรือในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการจำลองความสูงของเครื่องให้ใช้งานได้จริงและสะดวก เช่น การทดลองมีระยะเวลาสั้นหรือยาว เพื่อพิจารณาว่าต้องการเครื่องกำเนิดฝั นที่มีความแข็งแรงคงทนมากหรือน้อย วัตถุประสงค์ของการใช้เครื่องกำเนิดฝั นว่าต้องการลักษณะการตกของฝั นจำลองได้อย่างถูกต้องแม่นยำหรือต้องการแบบคร่าว ๆ สำหรับการพิจารณาด้านอื่น ๆ เช่น ราคาต้องประมาณค่าใช้จ่าย ระยะเวลาในการใช้เครื่องกำเนิดฝั น การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องเพียงพอต่อการนำไปใช้งานหรือไม่ และต้องมีความสะดวกในการบำรุงรักษาและซ่อมแซม เป็นต้น

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัลยาณี และคณะ (2528) ได้ศึกษาปริมาณตะกอน และน้ำไหลบ่าหน้าดินจากแปลงปลูกข้าวโพดและตะไคร้แบบขึ้นบันได ข้าวโพดและตะไคร้ ข้าวโพดอย่างเดี่ยว และแปลงควบคุม บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า มีค่าเฉลี่ย 204.92, 273.56, 355.80 และ 930.11 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ต่อปี และ 233.5, 259.0, 332.6 และ 549.8 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกเตอร์ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งปริมาณตะกอนและน้ำไหลบ่าจากแปลงควบคุมมีมากที่สุด รองลงมาคือแปลงปลูกข้าวโพดอย่างเดี่ยว แปลงปลูกข้าวโพดและตะไคร้ และแปลงปลูกข้าวโพดและตะไคร้แบบขึ้นบันได ตามลำดับ

เรือง (2529) ได้ศึกษาการสูญเสียดินและน้ำจากการปลูกป่านขึ้นบันไดดิน จากแปลงทดลองที่มีการปลูกชนิดพันธุ์ไม้บนขึ้นบันไดดินกับไม่มีการทำขึ้นบันไดดิน และแปลงทดลองที่มีการไถพรวนขึ้นลงขนานแนวความลาดชัน บริเวณสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองที่มีการปลูกป่านขึ้นบันไดดินในปี พ.ศ. 2526 มีค่าเฉลี่ย 0.20 ตันต่อเฮกเตอร์ และ 17.09 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบพบว่า การปลูกป่านขึ้นบันไดดิน สามารถช่วยลดปริมาณการสูญเสียดิน และน้ำจากพื้นที่ได้มากกว่าแปลงที่ไม่มีการทำขึ้นบันไดดิน

ชาตรี (2534) ได้ศึกษาการประมาณค่าประสิทธิภาพการควบคุมการพังทลายของดินในสมการการสูญเสียดินสากลของสวอนป่าไม้โตเร็วอายุ 7 ปี บนขึ้นบันไดดินบริเวณสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ค่าดัชนีความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน มีค่าเฉลี่ย 0.115 จัดเป็นดินที่มีการสูญเสียค่อนข้างยากถึงยาก โดยแปลงปลูก *Acacia confusa* สูญเสียดินมากที่สุด 0.191 ตันต่อเฮกเตอร์ต่อปี รองลงมาคือแปลงปลูก *Liquidambar formosana*, *A. montana*, *Paulownia taiwaniana*, *Fraxinus griffithii* และ *Zelkova formosana* สูญเสียดินเท่ากับ 0.080, 0.049, 0.044, 0.028 และ 0.021 ตันต่อเฮกเตอร์ต่อปี ตามลำดับ

พนิตพิทย์ (2536) ได้ศึกษาการสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองภายใต้สภาพพืชพรรณชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ปาเบญจพรรณ ไร่ร้าง ถั่วเหลือง ข้าวไร่ ข้าวโพด สวนสักอายุ 3 ปี และพื้นที่ว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลง บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน พบว่ามีการสูญเสียดิน

1.996, 0.117, 2.633, 1.398, 0.742 และ 13.823 ต้นต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ และมีน้ำไหลบ่าหน้าดิน 120.31, 11.96, 68.14, 64.19, 50.97, 35.31 และ 87.20 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ

อกินันท์ (2538) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ คันดินรับน้ำรอบเขา คูรับน้ำรอบเขา ขึ้นบันไดไม่ต่อเนื่อง ขึ้นบันไดต่อเนื่อง และไม่มีมาตรการอนุรักษ์ โดยภายในแปลงปลูกข้าวไร่ และข้าวโพดบนพื้นที่ลาดเขา บริเวณโครงการจัดการทดลองลุ่มน้ำแม่สา จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีการสูญเสียดิน 8.37, 11.70, 9.59, 5.00 และ 31.30 ต้นต่อเฮกเตอร์ต่อปี ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำไหลบ่า 81.75, 91.34, 86.93, 78.69 และ 90.38 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ามีค่า P (ค่าปัจจัยการดำเนินการเพื่อควบคุมการชะล้างพังทลาย ในสมการสูญเสียดินสากล) เท่ากับ 0.214, 0.299, 0.245 และ 0.128 ตามลำดับ

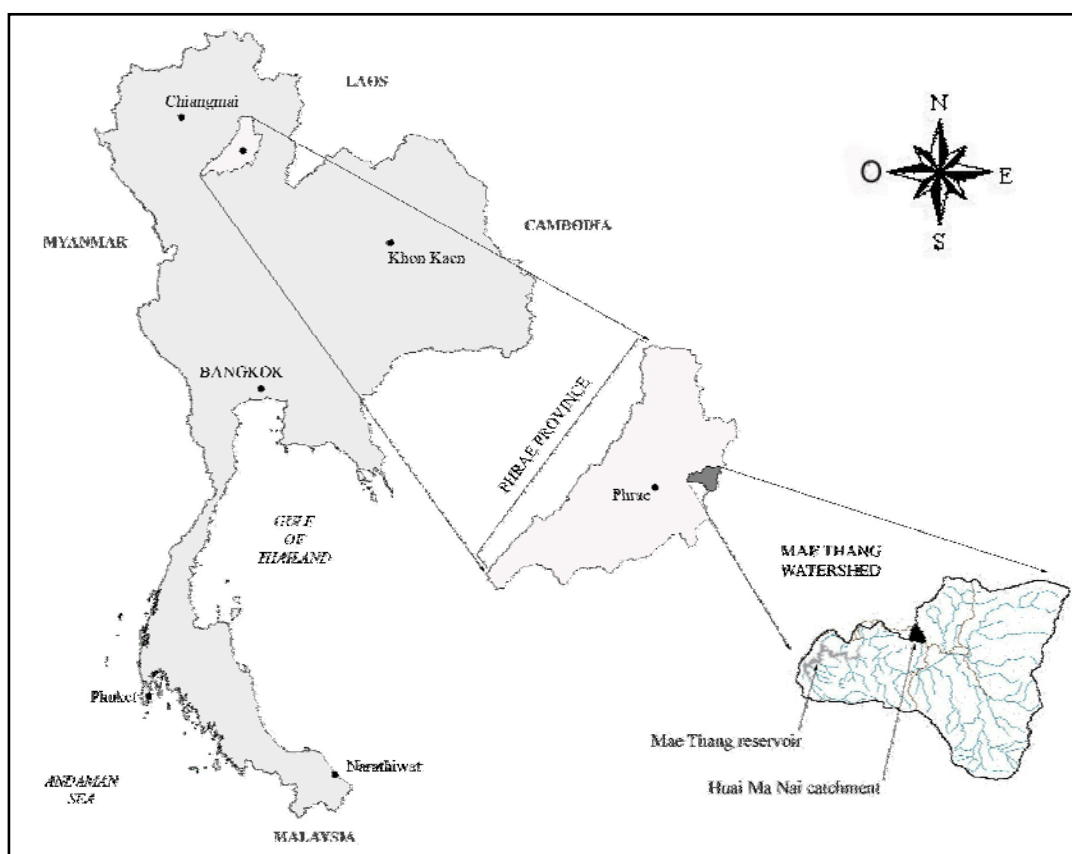
เจนจิรา (2542) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินและน้ำจากแปลงปลูกสร้างสวนป่า แปลงปลูกสร้างสวนป่าร่วมกับหญ้าแฝก และแปลงไร่ร้าง บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำยม ในลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ พบว่า การสูญเสียดินและน้ำจากพื้นที่สวนป่ามากกว่าจากการใช้พื้นที่การใช้ที่ดินอีกสองประเภท กล่าวคือ ที่ระดับความลาดชัน 10-20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียดิน เท่ากับ 0.5505, 0.3881 และ 0.4420 ต้นต่อเฮกเตอร์ต่อปี ตามลำดับ ที่ระดับความชัน 20-30 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.3485, 0.2854 และ 0.2795 ต้นต่อเฮกเตอร์ต่อปี ตามลำดับ และที่ระดับความลาดชัน 30-40 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.2387, 0.2195 และ 0.2103 ต้นต่อเฮกเตอร์ต่อปี ตามลำดับ

Gupta (1981) ได้ศึกษาแปลงทดลองขนาดเล็ก และพื้นที่ลุ่มน้ำ พบว่า พื้นที่ป่าหรือทุ่งหญ้าที่หนาแน่นนั้น มีการสูญเสียดินออกจากพื้นที่น้อยมากในระหว่างช่วงฤดูฝน คือมีเพียง 2 ต้นต่อเฮกเตอร์เท่านั้น ในขณะที่การสูญเสียดินจากพื้นที่ว่างเปล่าที่ไถพรวนทิ้งไว้มีสูงถึง 44 ต้นต่อเฮกเตอร์ ทั้ง ๆ ที่พื้นที่มีความลาดชันเพียง 9 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และพบว่าการทำไร่เลื่อนลอยบนพื้นที่ลาดเขาชันจะทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินประมาณ 41 ต้นต่อเฮกเตอร์ แต่เมื่อมีการทำคันดินขึ้นบันไดจะลดการสูญเสียดินเหลือเพียง 5 ต้นต่อเฮกเตอร์ นอกจากนี้ Gupta (1981) ยังรายงานว่า การปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ลาดเขาที่มีความลาดเทประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ และไถพรวนขึ้นลงเขา ทำให้มีการสูญเสียดินถึง 28.5 ต้นต่อเฮกเตอร์ ในขณะที่การปลูกข้าวโพดด้วยการไถพรวนตามแนวระดับเส้นขอบเขา ลดการสูญเสียดินลงมาเป็น 19.3 ต้นต่อเฮกเตอร์ หรือประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของการปลูกขึ้นลงเขา

ลักษณะพื้นที่ศึกษา

1. ที่ตั้งและอาณาเขต

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง บ้านปากห้วยอ้อย ตำบลบ้านเวียง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ ในเขตป่าสงวนแห่งชาติแม่คำมี ระหว่างเส้นรุ้งที่ $18^{\circ} 10' - 18^{\circ} 15'$ เหนือ และเส้นแวงที่ $100^{\circ} 22' - 100^{\circ} 28'$ ตะวันออก อยู่ฝั่งขวาของแม่น้ำยมห่างจากจังหวัดแพร่ตามเส้นทางหลวงหมายเลข 101 สายแพร่-น่าน ประมาณ 20 กิโลเมตร แยกซ้ายบริเวณสี่แยกร้องเข็มไปประมาณ 20 กิโลเมตร รวมระยะทางจากจังหวัดแพร่กับสถานี 40 กิโลเมตร ทิศเหนือติดอำเภอร้องกวาง ทิศใต้ติดอำเภอสูงเม่น ทิศตะวันออกติดอำเภอสอง ทิศตะวันตกติดเขตอำเภอเมือง มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 102.8 ตารางกิโลเมตร ดังภาพที่ 1

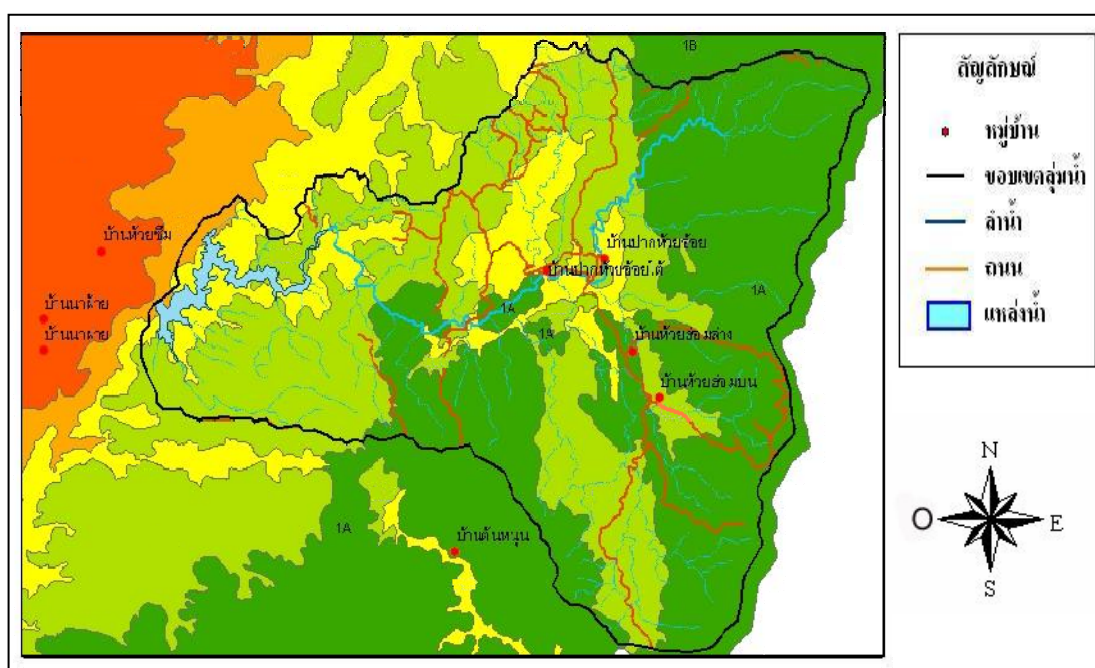


ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษบริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง และขอบเขตลุ่มน้ำย่อยห้วยหมาน้อย อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่

ที่มา : Institut de recherche pour le developpement (2006)

2. ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ภูเขาสลับซับซ้อนและเทือกเขาที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ มีที่ราบเพียงเล็กน้อย ทำให้การระบายน้ำค่อนข้างดี การไหลของน้ำสู่ลำธารจึงเร็วมากเมื่อฝนตก ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางอยู่ในช่วง 360-1,620 เมตร พื้นที่ของกลุ่มน้ำแม่ถางประกอบด้วยลำน้ำย่อยคือ ลำน้ำห้วยอ้อย ลำน้ำห้วยหวด ลำน้ำแม่คำปอง ลำน้ำห้วยฮ่อม และแม่น้ำถางไหลลงสู่แม่น้ำยมอันเป็นแม่น้ำสายหลักที่สำคัญของจังหวัดแพร่ ลักษณะพื้นที่แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขอบเขต และชั้นคุณภาพลุ่มน้ำบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมแผนที่ทหาร (2548)

3. ลักษณะภูมิอากาศ

ที่ตั้งกลุ่มน้ำแม่ถาง อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดแพร่ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ฝนที่ตกส่วนใหญ่เป็นแบบฝนพายุกระหน่ำ (thunderstorm precipitation) และฝนภูเขา (orographic precipitation) มีความหนักเบาและระยะเวลาในการตกไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศและลักษณะท้องที่ โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ฤดูร้อนเริ่ม

ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย 26.25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 30.71 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 21.54 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนประมาณ 720 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 6

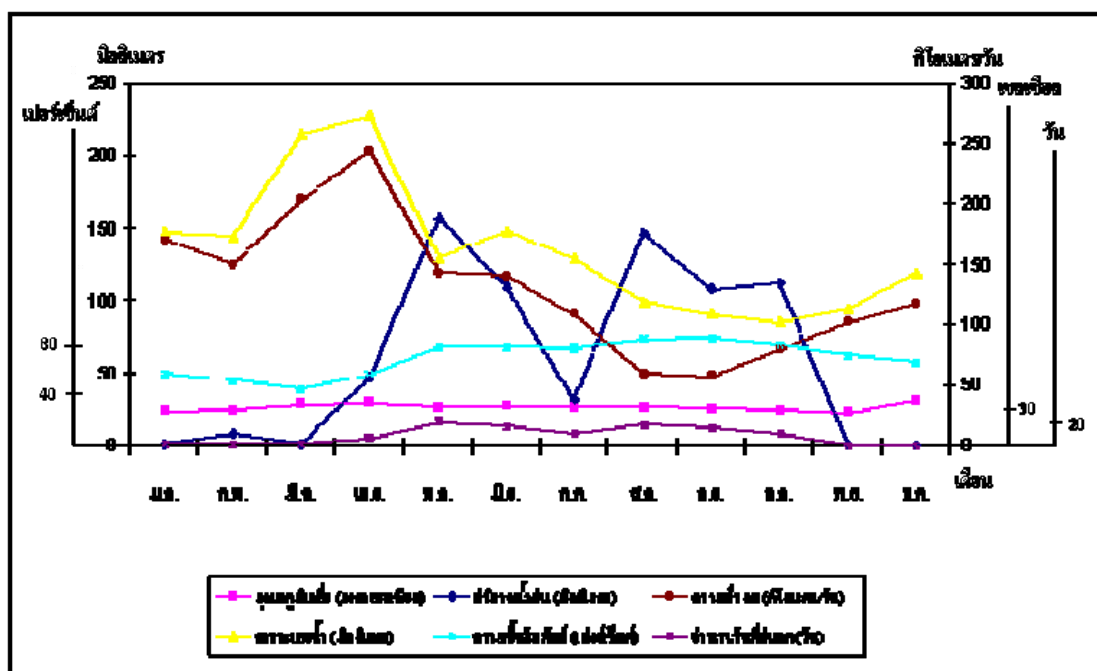
ตารางที่ 6 ลักษณะภูมิอากาศ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ ในปี 2550

เดือน	อุณหภูมิ (°C)			ปริมาณ น้ำฝน (มิลลิเมตร)	ความเร็วลม (กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	การระเหยน้ำ ต่อเดือน (มิลลิเมตร)	ความชื้น สัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	วันที่ฝน ตก (วัน)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย					
ม.ค.	30.2	16.8	22.9	0.5	141.7	176.17	59.70	1
ก.พ.	32.7	18.1	24.6	9.0	124.3	172.22	54.10	1
มี.ค.	35.7	21.9	28.2	0.5	169.7	257.15	47.20	1
เม.ย.	35.0	23.9	29.0	47.0	203.4	272.06	58.50	6
พ.ค.	22.9	31.3	26.3	157.0	118.7	155.18	81.80	20
มิ.ย.	32.7	23.4	27.1	109.0	116.6	177.12	81.20	16
ก.ค.	32.2	23.0	26.6	31.5	90.9	154.50	81.10	11
ส.ค.	31.3	22.6	25.8	146.0	49.8	119.37	87.70	17
ก.ย.	31.5	22.1	25.7	108.0	48.0	109.00	88.70	15
ต.ค.	31.1	20.7	24.8	111.5	66.0	101.53	83.22	10
พ.ย.	30.0	17.6	22.8	0.0	84.7	112.66	74.14	0
ธ.ค.	23.3	17.0	31.3	0.0	98.3	142.87	69.22	0
รวม	-	-	-	720	-	-	-	98
เฉลี่ย	30.71	21.54	26.25	-	109.34	162.49	72.21	8.17

ที่มา : สถานีวิจัยต้นน้ำยม (2550)

4. ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของกลุ่มน้ำ

พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ เป็นลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำยมไหลลงสู่แม่น้ำยม พื้นที่ตั้งอยู่ในเขตรมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีไม่แน่นอน จากการศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศของสถานีวิจัยดั้นน้ำยม จังหวัดแพร่ พบว่า มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 720 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีจำนวนวันที่ฝนตก 98 วันต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26.25 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยของน้ำประมาณ 1,949.83 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งมีมากในเดือนเมษายน ความเร็วลมเฉลี่ย 109.34 กิโลเมตรต่อวัน และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 72.21 เปอร์เซ็นต์ (สถานีวิจัยดั้นน้ำยม, 2550) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของกลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ ปี พ.ศ. 2550

5. ลักษณะหินและดิน

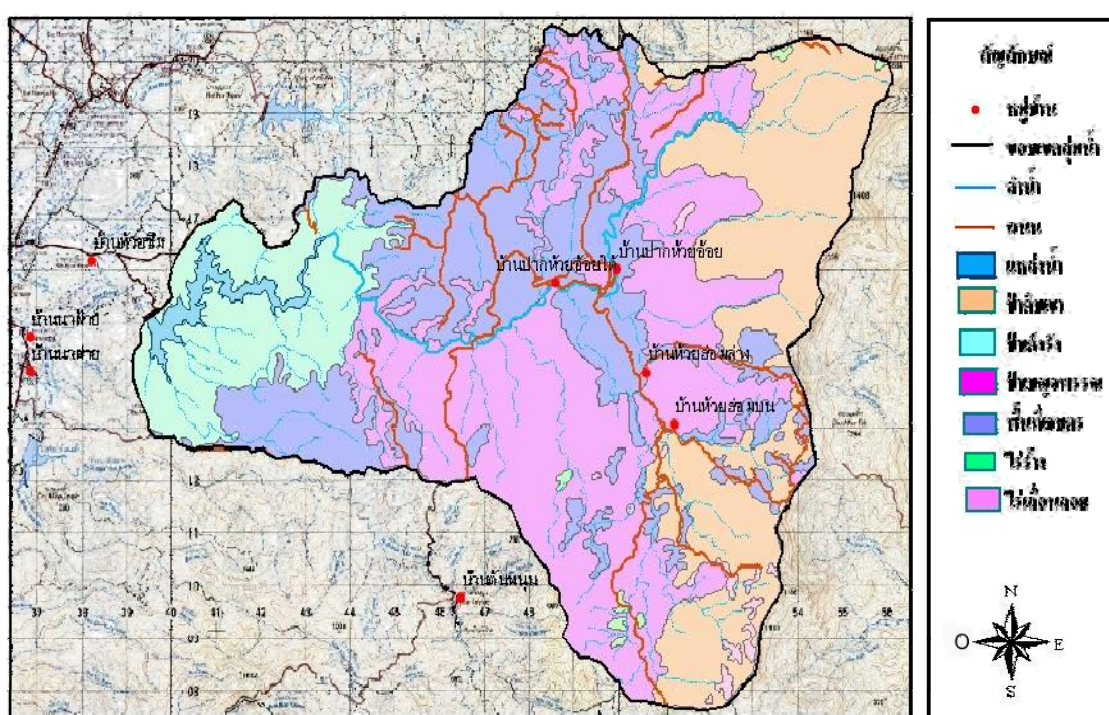
หินที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นหินดินดานและหินทราย โดยหินทรายแทรกสลับอยู่ในชั้นความหนาของหินดินดาน หินดินดานที่พบมีลักษณะสีเทาอมดำและมีสีน้ำตาลอมเหลืองเมื่อผุ เนื้อหินทรายมีขนาดปานกลาง ชั้นของหินวางตัวทำมุมกับแนวระดับ และพบว่ามีรอยแตกในชั้นหินอยู่สองแถว โดยทำมุมกับชั้นหินบริเวณรอยแตกจะมีแร่แคลไซต์ (แคลเซียมคาร์บอเนต; CaCO_3) มาตกผลึกทำให้เกิดสายแร่แคลไซต์ การมีรอยแตกทำให้หินมีการผุพังได้ดีขึ้นและทำให้หินแตกออกเป็นก้อน ๆ เล็กบ้างใหญ่บ้าง นอกจากนี้ยังเป็นช่องทางการไหลของน้ำ รวมทั้งเป็นแหล่งสะสมน้ำไปในตัวด้วย ลักษณะหินที่พบบริเวณลุ่มน้ำนี้ เมื่อผุพังจะให้ดินร่วนเหนียว - ร่วนเหนียวปนทราย

ดินที่พบบริเวณนี้มีทั้งดินลึกและดินตื้น มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิด ในพื้นที่พบเศษหิน ก้อนหิน หรือหินโผล่กระจัดกระจายทั่วไป ชุดดินที่พบ ได้แก่ ชุดดินลี ชุดดินนครสวรรค์ ชุดดินมวกเหล็ก ชุดดินโคกปรือ มีชั้นหินลึกกว่า 50 เซนติเมตร

6. ลักษณะพืชพรรณ และการใช้ที่ดิน

พื้นที่ลุ่มแม่น้ำแห่งนี้ ปกคลุมด้วยป่าเบญจพรรณผสมสัก ลักษณะของป่ามีสภาพโล่งในฤดูแล้ง เนื่องจากไฟป่าได้ทำลายพืชที่ปกคลุมอยู่พื้นล่าง ฤดูฝนรกทึบด้วยไม้พื้นล่าง ต้นไม้ที่พบมีตั้งแต่ขนาดเล็กถึงใหญ่ (D.B.H. = 10-120 เซนติเมตร) ความหนาแน่นของไม้ที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกโตกว่า 10 เซนติเมตร มีประมาณ 477 ต้นต่อเฮกเตอร์ หรือ 76 ต้นต่อไร่ การปกคลุมของเรือนยอดประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ เรือนยอดแบ่งได้สามชั้น ได้แก่ ชั้นเรือนยอดสูงกว่า 20 เมตร ประกอบด้วยไม้ตะแบก แดง ประดู่ มะกอก และมะค่าโมง ชั้นเรือนยอด 15-20 เมตร ประกอบด้วย ไม้สัก มะเกลือ ขมิ้น หนวน และเสลาดำ ชั้นเรือนยอดต่ำกว่า 15 เมตร ประกอบด้วยไม้ฝาเสี้ยน กระพี้จั่นและมะตูม ส่วนไม้พื้นล่างประกอบด้วยไม้ไผ่ชนิดต่าง ๆ สาบเสือ หญ้ายุง เป็นต้น (เจนจิรา, 2542) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จากการสำรวจของกรมแผนที่ทหาร (2548) พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำแม่ถางถูกเผาทำลายเพื่อทำไร่เลื่อนลอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกข้าวโพดของราษฎรหมู่บ้านใกล้เคียง และชาวอำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ที่เข้าไปจับจองพื้นที่ป่าสงวนตั้งแต่บรรพบุรุษและตกทอดมาจนถึงลูกหลานในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังได้ขยายพื้นที่ปลูกข้าวโพดขึ้นไปยังบริเวณลุ่มน้ำชั้น 1A ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการอนุรักษ์ไว้เป็นพื้นที่ต้นน้ำ ห้ามบุกรุก และทำกิจกรรมใด ๆ บริเวณดังกล่าว แต่ในความเป็นจริง การบุกรุกทำลายป่าของราษฎรที่มีมากขึ้นทุกปี ทำให้พื้นที่ที่ควรเป็นป่า

ดินเขามีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อสิ่งปกคลุมดินที่มีศักยภาพดีที่สุดเช่นป่าไม้ลดลงเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินอย่างรวดเร็ว และรุนแรง นอกจากนี้การเกษตรบริเวณที่สูงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการสูญเสียดินในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก เมื่อบริเวณดังกล่าวถูกใช้เพื่อการเกษตรติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้น้ำดินบาง มีชั้นดินตื้น ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ทำให้การปลูกพืชเกษตรได้ผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นเกษตรกรจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยบำรุงดิน รวมทั้งสารเคมีต่าง ๆ เพื่อทำให้ผลผลิตของต้นไม้ขึ้น ซึ่งเป็นการสร้างภาระให้เกษตรกรเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมแผนที่ทหาร (2548)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์ในการทำแปลงทดลอง

- 1.1 แปลงทดลอง ขนาด 1×4 เมตร จำนวน 15 แปลง
- 1.2 ป่อซีเมนต์เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร สูง 0.50 เมตร จำนวน 15 ป่อ
- 1.3 รางสังกะสีแบบเรียบสี่เหลี่ยมกว้าง 0.20 เมตร ยาว 1 เมตร จำนวน 15 ราง
- 1.4 ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาว 2 เมตร จำนวน 15 ท่อ พร้อมข้อต่อ 90 องศา
- 1.5 แผ่นสังกะสีแบบเรียบขนาด 0.50×4.0 เมตร จำนวน 30 แผ่น และขนาด 0.50×5.0 เมตร จำนวน 6 แผ่น
- 1.6 แผ่นสังกะสีแบบเรียบตัดเป็นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร จำนวน 15 แผ่น
- 1.7 พลั่ว จอบ เสียม ตลับเมตร สายยางจับระดับ และชิลิโคน
- 1.8 เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติพร้อมกระดาดกราฟ

2. วัสดุและอุปกรณ์ของเครื่องกำเนิดฝนน้ำฝน

- 2.1 ถังน้ำ stainless ขนาด 1100 ลิตร จำนวน 2 ถัง พร้อมท่อ PVC ต่อเชื่อม
- 2.2 ปั๊มการเกษตรรุ่น ws-30 ขนาดความดัน 15-40 บาร์ พร้อมสายยางและเครื่องปั่นไฟ
- 2.3 Pressure gage ขนาดความดันสูงสุด 40 บาร์
- 2.4 หัวฉีด (spray nozzles) Fulljet 3/8-HH-27W wide angle spray จำนวน 6 หัว
- 2.5 ไม้ไผ่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว ยาว 2.5 และ 3.0 เมตร อย่างละ 3 ท่อน 4.5 เมตร จำนวน 5 ท่อน และ 5.0 เมตร จำนวน 2 ท่อน ประกอบเป็นโครงเพื่อติดตั้งหัวฉีด
- 2.6 โครงไม้ไผ่ซึ่งผ้าใบพลาสติกกันลมขนาด 2.0×2.0 เมตร จำนวน 2 โครง และขนาด 2.5×2.0 เมตร จำนวน 2 โครง
- 2.7 เครื่องมือและวัสดุต่าง ๆ เช่น ก้อน ตะปู มีด คีม ไขควง ลวด ตลับเมตร เป็นต้น

3. วัสดุและอุปกรณ์อื่น ๆ

- 3.1 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบดิจิตอล รุ่น Delta-T Devices Cambridge-England
- 3.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน และตัวอย่างดิน ได้แก่ กระบอกเก็บตัวอย่างดินพร้อมเหล็กสั่ง ค้อน และถุงพลาสติกเก็บตัวอย่างดิน
- 3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างตะกอน ได้แก่ ขวดเก็บน้ำและตะกอน เทปวัด และเทปกาว
- 3.4 วัสดุและอุปกรณ์วิเคราะห์ตะกอนในห้องปฏิบัติการ เช่น ตู้อบ กระบอกตวง เครื่องชั่ง ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ถาดใส่ตะกอน กรวยกรองตะกอน กระดาษกรอง และสารเคมี เป็นต้น
- 3.5 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และเครื่องคิดเลข

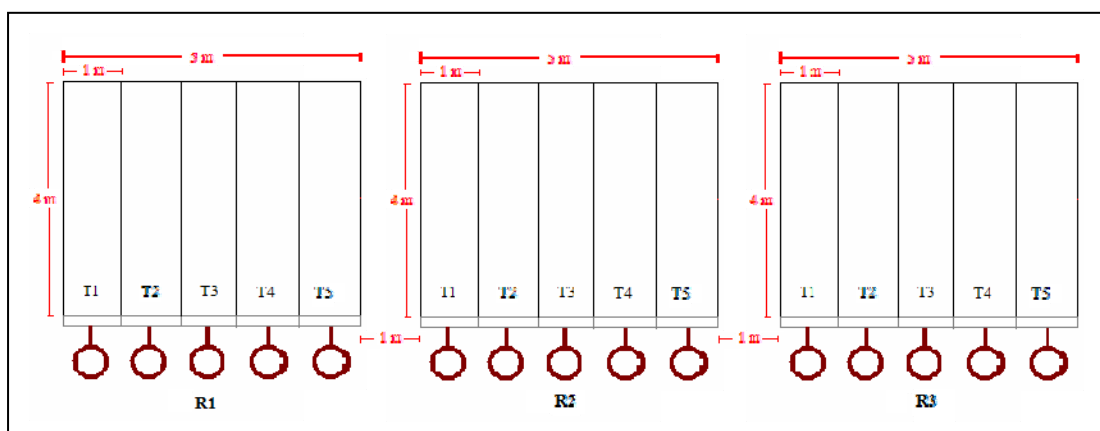
วิธีการ

1. การเลือกพื้นที่และการวางแผนการทดลอง

สำรวจและคัดเลือกพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปสม่ำเสมอเพื่อสร้างแปลงทดลอง ซึ่งพื้นที่ที่เลือกอยู่บริเวณไร้ข้าวโพดบนเนินเขา ระดับความลาดชัน 15 เปอร์เซ็นต์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหมานชัย ทำการสร้างแปลงทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomizes design; CRD) กำหนดให้การทดลองนี้มี 5 ดำรับ แต่ละดำรับมี 3 ซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 5

2. การสร้างแปลงทดลอง

สร้างแปลงทดลองเพื่อเก็บข้อมูลการสูญเสียดิน ขนาดกว้าง 1×4 เมตร วางขนานไปตามด้านลาดที่มีความชันไปทางเดียวกัน โดยใช้แผ่นสังกะสีเป็นขอบแปลง ฝังแผ่นสังกะสีลึกลงไปในดิน 20 เซนติเมตร และอยู่เหนือผิวดิน 20 เซนติเมตร ขอบแปลงด้านล่างวางรางน้ำสังกะสีสี่เหลี่ยมไว้รองรับน้ำและตะกอน วางท่อพีวีซีต่อไปยังถังรับตะกอนซึ่งเป็นท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7 ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวระดับ (bare soil) แปลงปลูกข้าวโพด (maize without contouring) แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา (maize with contouring) แปลงปลูกถั่วเหลือง (soybean without contouring) และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา (soybean with contouring) บนพื้นที่ความลาดชัน 15 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 5 แผนการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design; CRD)

หมายเหตุ: T1 = แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวระดับ (Bare soil), T2 = แปลงปลูกข้าวโพด (Maize)

T3 = แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา (Maize + contouring)

T4 = แปลงปลูกถั่วเหลือง (Soybean)

T5 = แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา (Soybean + contouring)

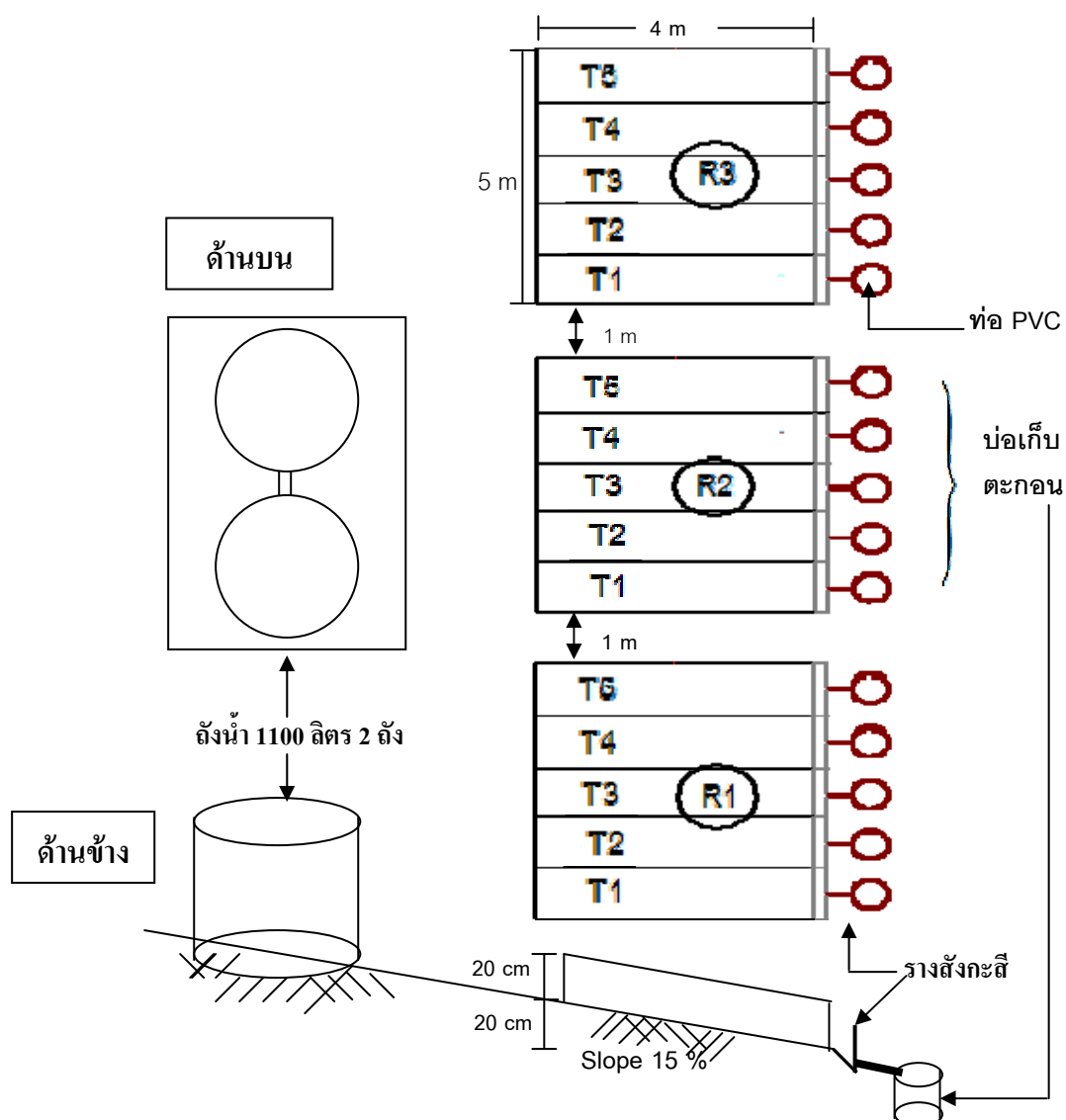
R1 = ซ้ำที่ 1, R2 = ซ้ำที่ 2, R3 = ซ้ำที่ 3



ภาพที่ 6 ลักษณะของแปลงทดลองที่ใช้ในการศึกษา ก่อนทำการปลูกพืช

3. การสร้างเครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulator)

การสร้างเครื่องกำเนิดฝนเพื่อใช้ในการศึกษาการสูญเสียดินในช่วงฤดูแล้ง เพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลาในการรอคอยฝนที่ตกจริงในช่วงฤดูฝนของแต่ละปี ในการศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบค่า C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง ระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับเรื่องความหนักเบาของฝน การกระจายตัวของฝน ปริมาณฝนที่ตก ระยะเวลาที่ฝนตก และขนาดของเม็ดฝน ในการติดตั้งหัวฉีด (spray muzzles) จึงต้องคำนึงถึงจำนวนหัวฉีด แรงดันน้ำ รัศมีของหัวฉีด และความสูงจากพื้นดินไปยังที่ติดตั้งหัวฉีด เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ใช้หัวฉีด รุ่น Fulljet 3/8-HH-27W wide angle spray จำนวน 6 หัว ซึ่งมีลักษณะพิเศษคือ เป็นหัวฉีดทองเหลือง เกลียวใน ให้ขนาดของเม็ดฝนสม่ำเสมอ เมื่อน้ำออกมามีลักษณะเป็นรูปกรวย รัศมี 1.5 เมตร ในการนำน้ำมาจากบ่อน้ำธรรมชาติข้างแปลงทดลองใช้วิธีปั้มน้ำขึ้นมาพักไว้ในถัง stainless ขนาด 1,100 ลิตร จำนวน 2 ถัง และในการนำน้ำจากถัง stainless ดังกล่าวนำมายังหัวฉีดที่ติดตั้งไว้ตามโครงสร้างเครื่องกำเนิดฝนโดยการใช้ปั้มน้ำการเกษตร รุ่น ws-30 ในการปั้มน้ำจากถังน้ำ stainless ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายน้ำมายังหัวฉีดโดยใช้สายยางขนาด 3/8 นิ้ว ในการเชื่อมต่อระหว่างถังน้ำกับหัวฉีด สำหรับโครงหัวฉีดใช้ไม้ไผ่ประกอบเป็นโครงวางคร่อมแปลงทดลองทั้ง 5 แปลง และนำโครงไม้ไผ่มาขึงติดกับผ้าใบเพื่อกันลม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แรงดันน้ำขนาด 17 บาร์ ที่จุดปล่อยน้ำออกจากถังเก็บน้ำเพื่อให้สเปรย์น้ำได้อย่างสม่ำเสมอทั่วถึงทั้งแปลง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงระดับความสูงจากพื้นดินของหัวฉีด เนื่องจากความสูงของหัวฉีดแปรผันตามพลังงานของเม็ดฝนที่ตกกระทบพื้นดิน กล่าวคือ ถ้าติดตั้งหัวฉีดสูงจากระดับพื้นดินมาก แรงตกกระทบผิวดินของเม็ดฝนยิ่งมากขึ้น พลังการชะล้างพังทลายของดินจะสูงขึ้น สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ติดตั้งหัวฉีดอยู่สูงจากพื้นดินที่ความชันต่ำสุด เท่ากับ 2 เมตร และที่ความชันสูงสุดเท่ากับ 3 เมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 8 และก่อนทำการเปิดน้ำทุกครั้งต้องวัดความชื้นในแต่ละแปลงด้วยเครื่องวัดความชื้นในดินแบบดิจิตอลรุ่น Delta-T Devices Cambridge-England ซึ่งเป็นวิธีการวัดความชื้นในสนาม เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการอ่านค่า



ภาพที่ 7 ลักษณะแปลงทดลองการสูญเสียดิน บริเวณลุ่มน้ำแม่กลาง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่

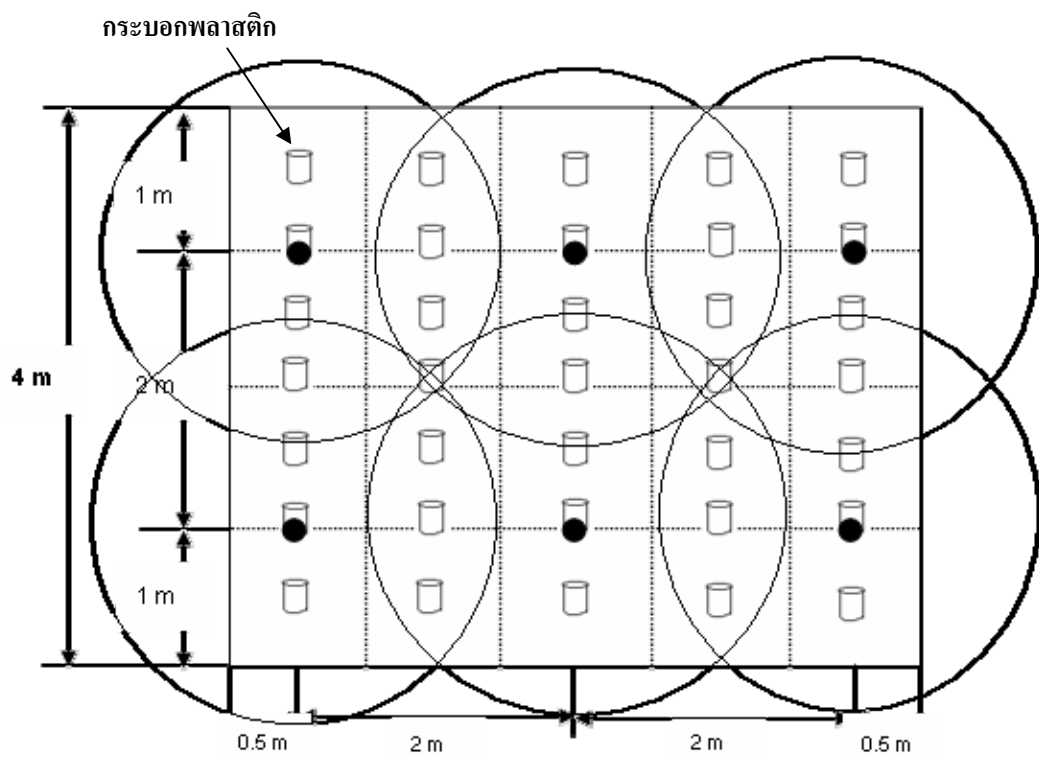
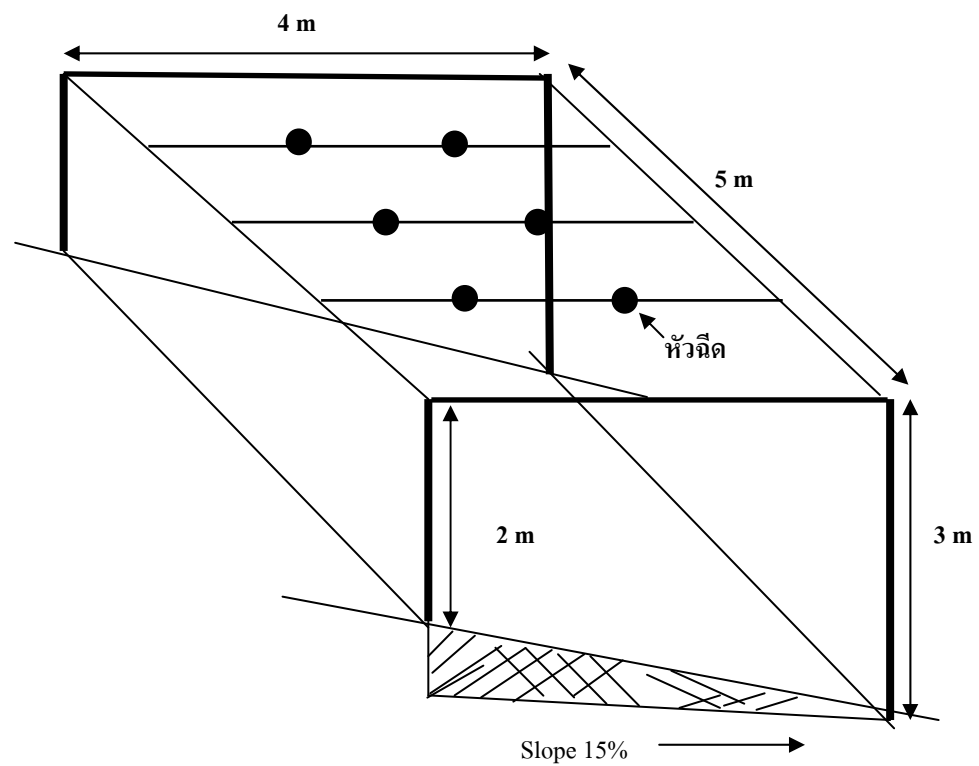
หมายเหตุ: T1 = แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวระดับ (Bare soil), T2 = แปลงปลูกข้าวโพด (Maize)

T3 = แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา (Maize + contouring)

T4 = แปลงปลูกถั่วเหลือง (Soybean)

T5 = แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา (Soybean + contouring)

R1 = ซ้ำที่ 1, R2 = ซ้ำที่ 2, R3 = ซ้ำที่ 3



ภาพที่ 8 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดฝน ตำแหน่งติดตั้งหัวฉีด และตำแหน่งที่วางกระบอกพลาสติก

4. การเก็บและรวบรวมข้อมูล

4.1 ข้อมูลน้ำฝน รวบรวมข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจวัดอากาศ บริเวณสถานีวิจัย ดันน้ำยม ระหว่างปี พ.ศ. 2549 – 2550 โดยเฉพาะข้อมูลน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ ที่ติดตั้งบริเวณแปลงทดลอง โดยวัดน้ำฝนทั้งปริมาณ และความหนักเบาของฝน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาพลังงานจลน์ของฝน

4.2 ข้อมูลตะกอนดิน โดยวัดความสูงของน้ำในถังเก็บตะกอน แล้วกวนน้ำในถัง เก็บตัวอย่าง น้ำตะกอนมา 0.5 ลิตร เติม calgon เพื่อช่วยในการตกตะกอน ปล่อยให้ทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง กรอง ตะกอนด้วยกระดาษกรอง ชั่งน้ำหนักตะกอนเปียกแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 12 ชั่วโมง นำไปชั่งหาน้ำหนักแห้งเป็นกรัม แล้วเทียบออกมาเป็นรูปน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่

4.3 รวบรวมตัวอย่างดินจากแปลงทดลองตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช โดยสุ่มจาก แปลงว่างเปล่า ไถพรวนขึ้น-ลง แปลงข้าวโพด และแปลงถั่วเหลือง ทำการเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample คือเก็บดิน 3 จุดตัวอย่างย่อยรวมเป็น 1 ตัวอย่าง โดยใช้พลั่วสำรวจดิน เก็บตัวอย่าง ดินบนที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างดินล่างที่ระดับความลึก 16-30 เซนติเมตร ใส่ ลงในถุงพลาสติกเก็บตัวอย่าง และส่งตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาวิชาการ-ดิน-ปุ๋ย- สิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4 ตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก เพื่อทำการเปรียบเทียบ C-factor และ CP-factor ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง โดยวัดขนาดของใบ จำนวนใบ ความสูงของลำ ต้น ขนาดของทรงพุ่ม และจำนวนต้นต่อแปลง ซึ่งในการตรวจวัดการเจริญเติบโตนี้ได้ทำทุกครั้งที่มีการเปิดน้ำฝนจากเครื่องกำเนิดฝน และในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชทั้ง สองชนิดออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะก่อนปลูก (2) ระยะต้นอ่อน (3) ระยะผสมพันธุ์ (4) ระยะ เจริญเต็มที่ และ (5) ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยมีรายละเอียดดังนี้

ครั้งที่ 1 ระยะก่อนปลูก (preplanting stage) ก่อนดำเนินการปลูกข้าวโพด และถั่วเหลือง มีการไถพรวนดินในแปลงที่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (with contouring) และแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลง (bare soil) สำหรับแปลงที่ไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (without contouring) ไม่มีการไถพรวนใด ๆ เนื่องจากได้ทำการปลูกข้าวโพด และถั่วเหลืองแบบหยอดหลุม ตามวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรที่เคยปฏิบัติ และเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ทำการใส่ปุ๋ยบำรุงดินด้วย

ครั้งที่ 2 ระยะต้นอ่อน (initial stage) นับตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงก่อนออกช่อดอก ใช้เวลาประมาณ 40-45 วัน ในระยะนี้ของข้าวโพด และถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยาของพืชทั้งสองชนิดตั้งแต่ ราก ลำต้น และใบ เป็นช่วงที่พืชสามารถตั้งตัวได้ และเจริญเติบโตขึ้นพร้อมที่จะผสมพันธุ์

ครั้งที่ 3 ระยะผสมพันธุ์ (reproductive stage) นับตั้งแต่ข้าวโพดเริ่มแทงช่อดอกตัวผู้และช่อดอกตัวเมีย ช่อดอกตัวผู้บานพร้อมผสม และเส้นไหมของข้าวโพดโผล่ออกจากฝัก ช่วงนี้ข้าวโพดมีอายุประมาณ 50-60 วัน นับจากหลังปลูก สำหรับถั่วเหลืองนับตั้งแต่ออกดอก และดอกตัวผู้บานพร้อมผสม ช่วงนี้ถั่วเหลืองมีอายุประมาณ 40-50 วัน นับจากหลังปลูก

ครั้งที่ 4 ระยะเจริญเต็มที่ (mature stage) เมื่อผสมเกสรแล้ว รังไข่เจริญเป็นเมล็ดอ่อน และแก่ตามลำดับ เป็นระยะที่ต้นข้าวโพดเจริญเติบโตเต็มที่ ฝักโตเต็มที่ เมล็ดเจริญเต็มที่ และแห้งในที่สุด ช่วงนี้ข้าวโพดมีอายุประมาณ 90-120 วัน สำหรับถั่วเหลืองมีอายุประมาณ 70-80 วัน นับจากหลังปลูก

ครั้งที่ 5 ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (harvest stage) การเก็บฝักสดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ควรเก็บหลังจากไหมออกจากฝักได้ 15-20 วัน ไหมมีสีดำ เปลือกหุ้มฝักจะบวม และเปลือกหุ้มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน สำหรับการเก็บฝักถั่วเหลือง ควรเก็บเมื่อเปลือกหุ้มบวม และมีสีเขียวเข้ม สามารถแสดงระยะการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิดในแต่ละระยะดังภาพที่ 9



(ก) ระยะก่อนปลูก



(ข) ระยะต้นอ่อน



(ค) ระยะผสมพันธุ์



(ง) ระยะเจริญเต็มที่



(จ) ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

ภาพที่ 9 การเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลืองในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 เปรียบเทียบการสูญเสียดินจากแปลงทดลองชนิดต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามวิธีทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple test โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูล

5.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝน (EI_{30}) ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน และปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองแบบต่าง ๆ โดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดี่ยว (simple linear regression) พร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการถดถอยแบบเส้นตรง หาค่าดัชนีพลังการชะล้างพังทลายของฝน (EI_{30} index) จากข้อมูลน้ำฝนที่ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

5.2.1 จากข้อมูลที่บ้านที่ปริมาณ และช่วงเวลาที่ฝนตก เลือกช่วงเวลา 30 นาทีที่มีฝนตกมากที่สุด คูณด้วย 2 เป็นค่าของความหนักเบาสูงสุดของฝนใน 30 นาที (I_{30max})

5.2.2 หาค่าพลังของฝนที่ทำให้เกิดการพังทลาย โดยอาศัยสมการตามรูปแบบของ Wischmeier และ Smith (1958) ที่ได้ศึกษาไว้ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ที่เกิดจากฝนและอัตราความหนักเบาของฝน โดยใช้สมการดังนี้

$$KE = 210.3 + 89 \log_{10} I \quad (4)$$

เมื่อ	KE	คือ พลังงานจลน์ของฝนที่ตกแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดขึ้น (เมตร-ตันต่อเฮกแตร์-เซนติเมตร)
	I	คือ ความหนักเบาของฝน (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)

5.2.3 คำนวณหาดัชนีพลังชะล้างพังทลายโดยน้ำฝน (rainfall erosivity index) และปัจจัยของฝน (rainfall factor หรือ R-factor; EI) โดยสมการ

$$EI = (\sum_{i=1}^n KE_i) \cdot I_{30} / 100 \quad (5)$$

$$\text{และ } R\text{-factor} = \sum_{i=1}^n EI \quad (6)$$

เมื่อ n = จำนวนของ storm ในรอบ 1 ปี

5.3 การวิเคราะห์ดัชนีที่เกิดจากอิทธิพลของความยาวและคี่กริชของความลาดชัน (LS-factor) วิเคราะห์ตามสมการที่ Wischmeier และ Smith (1978) ได้ทำการศึกษาไว้ ดังนี้

$$S = (0.43 + 0.30s + 0.043s^2) / 6.613 \quad (7)$$

$$L = (\lambda / 22.13)^{0.5} \quad (8)$$

เมื่อ s คือ เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน
 λ คือ ความยาวของความลาดชัน หรือความยาวของแปลง
 ทดลอง (เมตร)

5.4 การประเมินค่าดัชนีอิทธิพลของพืชหรือสิ่งปกคลุมดิน (C-factor) และและค่าดัชนีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor) โดยใช้สมการดังนี้

$$C = A_c / A_r \quad (9)$$

$$\text{และ } CP = A_{CP} / A_r \quad (10)$$

เมื่อ A_c คือ ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกพืชแบบต่าง ๆ
 A_{CP} คือ ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกพืชที่มีมาตรการ
 A_r คือ ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงไถพรวนขึ้น-ลง

ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาเรื่อง การประเมินค่าดัชนีของพีชคลุมดิน (C-factor) และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพีชปกคลุม (CP-factor) ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulator) ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลาง จังหวัดแพร่ ซึ่งได้เริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน 2549 ถึงเดือนตุลาคม 2550 ได้ผลการศึกษา ดังนี้

1. การสูญเสียดินจากการใช้เครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulator)

จากการสร้างเครื่องกำเนิดฝน เพื่อใช้ในการศึกษาการสูญเสียดิน และประเมิน C-factor และ CP-factor ในครั้งนี้ ก่อนการเปิดเครื่องทุกครั้งได้ทำการวัดค่าความชื้นในดินก่อนเพื่อหาค่าความชื้นในดินในแต่ละแปลงทดลอง ด้วยเครื่องวัดความชื้นในดินแบบดิจิตอลรุ่น Delta-T Devices Cambridge-England ซึ่งเป็นวิธีการวัดความชื้นภาคสนาม เพื่อความสะดวก และรวดเร็วในการอ่านค่า ทำให้ทราบว่าดินมีความอึดตัวหรือไม่ สามารถซึมซับน้ำได้อีกเท่าใด และเหลืออีกเท่าใดจึงทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งสามารถแสดงค่าความชื้นในดินก่อนการทดลองเปิดเครื่องกำเนิดฝน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความชื้นในดินเฉลี่ยแต่ละแปลงทดลองก่อนเปิดเครื่องกำเนิดฝน

ชนิดแปลงทดลอง	ความชื้นในดินเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)				
	ก่อนปลูก	ต้นอ่อน	ผสมพันธุ์	เจริญเต็มที่	เก็บเกี่ยวผลผลิต
แปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลง	28.12	17.87	29.27	23.90	29.73
ข้าวโพดไม่มีมาตรการ	29.75	16.47	22.80	28.33	32.07
ข้าวโพดมีมาตรการ	31.28	19.57	18.87	30.40	40.57
ถั่วเหลืองไม่มีมาตรการ	31.94	16.80	23.07	31.07	33.30
ถั่วเหลืองมีมาตรการ	32.06	18.00	24.50	31.97	29.90
เฉลี่ย	30.63	17.74	23.70	29.13	33.11

จากตารางที่ 7 พบว่า ความชื้นในดินเฉลี่ยแต่ละแปลงทดลองก่อนเปิดเครื่องกำเนิดฝนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชนั้น พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุดในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต เท่ากับ 33.11 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร รองลงมาคือ ระยะก่อนปลูก มีค่าเท่ากับ 30.63 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจาก ทั้งสองระยะมีฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติตกลงมาก่อนทำการทดลองเปิดเครื่องกำเนิดฝน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝนในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต และระยะก่อนปลูกติดต่อกันไปในการวัดความชื้นในดินจึงวัดหลังจากที่ฝนตกไปแล้ว จึงทำให้ค่าความชื้นในดินเฉลี่ยในระยะดังกล่าวมีค่าสูง หลังจากนั้นจึงทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน เพื่อให้ทราบว่าขณะนั้นดินมีความชื้นเท่าใด และสามารถรับน้ำได้อีกเท่าใดจึงจะถึงจุดอิ่มตัว และเมื่อเปิดเครื่องกำเนิดฝนจนเกินจุดอิ่มตัวไปแล้วเกิดการไหลบ่าหน้าดินของน้ำ น้ำไหลบ่าหน้าดินจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อดินเปียกเต็มที่ และสมรรถนะในการยอมให้น้ำซึมผ่านผิวดินเริ่มคงที่ ถ้าหากยังมีฝนตกตามมาเรื่อย ๆ อัตราการซึมผ่านผิวดินของน้ำ (infiltration) แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เมื่อสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายของน้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินมีมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของดิน ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดินที่ถูกกัดชะ พัดพาอนุภาคของดินที่แตกกระจายจากการตกกระทบของเม็ดฝน และปริมาณตะกอนก็ถูกเคลื่อนย้ายจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำกว่า

การที่ในระยะก่อนปลูกและระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีความชื้นในดินก่อนเปิดเครื่องกำเนิดฝนสูง คือดินเริ่มเปียกแล้ว เมื่อเปิดเครื่องกำเนิดฝนที่มีความหนักเบาของฝนสูงจึงทำให้พลังงานจลน์ของฝนที่ตกกระทบผิวดินสามารถทำให้เม็ดดินแตกกระจายได้น้อยกว่าดินที่มีความชื้นต่ำกว่า หรือดินแห้งกว่า ที่มีอนุภาคของดินยึดเกาะกันหลวม ๆ ส่งผลให้ในระยะต้นอ่อน ระยะผสมพันธุ์ และระยะเจริญเต็มที่ ซึ่งมีความชื้นในดินต่ำกว่าจากน้อยไปหามาก เกิดการสูญเสียดินภายหลังการเปิดเครื่องกำเนิดฝนมากกว่าในระยะก่อนปลูกและระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ช่วยอธิบายว่าเหตุใดในระยะก่อนปลูกจึงมีปริมาณตะกอน น้อยกว่าระยะต้นอ่อน และส่งผลให้ประเมินค่า C-factor และ CP-factor ได้น้อยกว่าระยะต้นอ่อนเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

การสร้างเครื่องกำเนิดฝน นอกจากต้องคำนึงถึงความหนักเบาของฝน ปริมาณน้ำฝน และระยะเวลาในการตกของฝนแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการกระจายตัวของฝนด้วย ซึ่งสามารถวัดค่าความเข้มข้นของน้ำฝนได้ด้วยการนำกระบอกพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร มาวางทุกระยะ 25 เซนติเมตร ตามความยาวของแปลงทดลองแต่ละแปลง เปิดน้ำแล้ววัดปริมาณน้ำในกระบอก

พลาสติก และนำมาหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝน สำหรับปริมาณฝนที่ตก ความหนักเบาของฝน และระยะเวลาที่ฝนตก สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำฝน ความหนักเบาของฝน และระยะเวลาที่ฝนตก จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน

ระยะการ เจริญเติบโตของพืช	ปริมาณน้ำฝน (มม.)				ความหนักเบาของฝน (มม.ต่อ ชม.)				ระยะเวลา ที่ฝนตก (นาท)
	ซ้ำที่1	ซ้ำที่2	ซ้ำที่3	เฉลี่ย	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	เฉลี่ย	
ก่อนปลูก	55.72	58.70	56.63	57.02	88.65	93.40	90.11	90.72	30
ต้นอ่อน	56.22	55.53	57.18	56.31	89.45	88.36	90.98	89.60	30
ผสมพันธุ์	58.20	57.60	56.35	57.38	92.60	91.65	89.66	91.30	30
เจริญเต็มที่	59.11	56.87	57.57	57.85	94.11	90.48	91.59	92.06	30
เก็บเกี่ยวผลผลิต	56.28	56.48	57.83	56.86	89.55	89.87	92.02	90.48	30
เฉลี่ย	57.11	57.04	57.11	57.08	90.87	90.75	90.87	90.83	30

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า ทุกครั้งที่ทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณน้ำฝนที่เปิดใกล้เคียงกันทุกระยะ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.08 มิลลิเมตร และได้กำหนดระยะเวลาในการเปิดเครื่องกำเนิดฝนเท่ากัน คือ 30 นาที ทำให้ได้อัตราความหนักเบาของฝนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 90.83 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้ยืนยันว่าปริมาณการชะล้างพังทลายของดินนั้นมีความสัมพันธ์กับอัตราความหนักเบาของฝนอยู่มาก และถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญมากตัวหนึ่ง โดยเฉพาะในสมการคำนวณการสูญเสียดินที่ต้องใช้พลังงานของน้ำฝนเป็นตัวแปรสำคัญ นอกจากความหนักเบาของฝนแล้ว ปริมาณและลักษณะการกระจายของฝน ลักษณะของเม็ดฝน ขนาดของเม็ดฝน การกระจายของขนาดเม็ดฝน ความเร็วท้ายสุด และรูปร่างของเม็ดฝน รวมทั้งโมเมนตัมและพลังงานจลน์ของเม็ดฝน เหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้มากน้อยแตกต่างกันไป เมื่อทำการทดลองเปิดเครื่องกำเนิดฝนแล้วได้ผลการศึกษาดังนี้

1.1 ดัชนีพลังงานจลน์ของฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน (R-factor)

Wischmeier และ Smith (1958) ได้ตรวจสอบลักษณะของฝนหลายลักษณะว่ามีผลต่อการสูญเสียดินมากน้อยเพียงใด แม้ว่าผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของดินก็ตาม และลักษณะเด่นชัดที่มีอิทธิพลสูงมากต่อการชะล้างพังทลายของดินก็คือ ผลคูณของพลังงานของฝนที่ตกในครั้งนั้น ๆ กับความหนักเบา 30 นาที สูงสุดที่เกิดขึ้นในฝนครั้งนั้น ซึ่งผลคูณนี้เรียกว่า ดัชนี EI ซึ่งค่าดัชนีนี้จะมีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินอันเนื่องมาจากฝนตกครั้งหนึ่ง ๆ ประมาณ 72-90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นเป็นอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ นิพนธ์ (2545) กล่าวว่า พลังงานจลน์ของเม็ดฝนนี้ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของเม็ดฝนและปริมาณที่ฝนตก ส่วนค่าความหนักเบา 30 นาทีสูงสุด เป็นตัวกำหนดว่าจะมีน้ำไหลบ่ามากน้อยเพียงใด ดัชนี EI จึงสะท้อนให้เห็นอิทธิพลของฝนต่ออัตราการสูญเสียดินอย่างเด่นชัดกว่าลักษณะอื่น ๆ ของฝน ดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝน (EI_{30}) จึงเป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่มีผลทำให้เกิดการสูญเสียดินและน้ำจากพื้นที่ ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากมวลของฝน ผนวกกับความเร็วของฝนที่ตกกระทบผิวดิน (E) ที่ตกในครั้งนั้น ๆ คูณกับอัตราความหนักเบาในช่วง 30 นาทีที่สูงสุด (I-30) ของฝนที่ตกครั้งนั้น ๆ

จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพลังงานจลน์ของฝน ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาทั้งหมด 5 สดอร์ม จากการคำนวณหาค่าดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝน ในสมการที่ 5 ผลการศึกษาพบว่า ค่าของดัชนีพลังงานจลน์ของฝนมีผลรวมตลอดทั้งปี 766.43 เมตริก-ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี โดยเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายทั้งสิ้น 285.44 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 9 ซึ่งแสดงค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝน พบว่า จากการประเมินดัชนี EI_{30} , $KE > 1$, AI_m และ $KE_{S, I_{30-max}}$ มีค่าเท่ากับ 776.74 เมตริก-ตันต่อเฮกแตร์, 84.37 เมตริก-ตันต่อเฮกแตร์, 262.78 ตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง และ 136.06 เมตริก-ตันต่อเฮกแตร์-ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝนวิธีการต่าง ๆ ในแต่ละสตอร์ม จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulator) บริเวณแปลงทดลอง
ในกลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

สตอร์ม ที่	ระยะการเจริญ เติบโตของพืช	ปริมาณฝน (มม.)	ระยะเวลาที่ ฝนตก (นาที)	ความหนักเบา ของฝน		Log I	ดัชนีพลังงานจลน์ของฝน (เมตริก-ตันต่อเฮกแตร์)			
				(มม./ชม.)	(ชม./ชม.)		KE _s	E	KE >1	EI ₃₀
1	ก่อนปลูก	57.02	30.00	90.72	9.07	0.96	295.53	1685.04	1685.04	152.86
2	ต้นอ่อน	56.87	30.00	90.48	9.05	0.96	295.43	1680.03	1680.03	152.01
3	ผสมพันธุ์	56.31	30.00	89.60	8.96	0.95	295.05	1661.48	1661.48	148.86
4	เจริญเต็มที่	57.38	30.00	91.30	9.13	0.96	295.78	1697.30	1697.30	154.97
5	เก็บเกี่ยวผลผลิต	57.86	30.00	92.06	9.21	0.96	296.10	1713.29	1713.29	157.73
รวม		285.44	-	-	-	4.79	1477.91	8437.14	8437.14	766.43
เฉลี่ย		57.09	30.00	90.83	9.08	0.96	295.58	1687.43	1687.43	153.29
		I _{30max}	I _{30max}	EI ₃₀	A	A	I _m	AI _m	KE >1	KE _s I _m
		(มม./ชม.)	(ชม./ชม.)	(ม.-ตัน/เฮกแตร์)	(มม.)	(ชม.)	(ชม./ชม.)	(ชม. ² /ชม.)	(ม.-ตัน/เฮกแตร์)	(ม.-ตัน/เฮกแตร์)
		92.06	9.21	776.74	285.44	28.54	9.21	262.78	84.37	136.06

1.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพลังชล้างพังทลายของฝนกับปริมาณน้ำฝน

ค่าดัชนีพลังชล้างพังทลายของฝนที่คำนวณได้มีความผันแปรมากน้อยแตกต่างกันไปตามปริมาณและความหนักเบาของฝนที่ตกลงมา จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (simple linear regression analysis) หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับค่าดัชนีพลังชล้างพังทลายของฝนเป็นรายวัน ในช่วงฤดูปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองนั้น แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝน คือ 57.09 มิลลิเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.58 มิลลิเมตร และมีจำนวนฝนที่ตก 5 สโตรม ค่าเฉลี่ยของ EI_{30} คือ 153.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 3.32 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า EI_{30} กับปริมาณฝน มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน สำหรับสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination; R^2) มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสมการถดถอยนี้สามารถอธิบายการกระจายของ EI_{30} ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือ ปริมาณฝนมีอิทธิพลต่อ EI_{30} 100 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย มีค่าเท่ากับ 0.035 ค่าที่ได้นี้มีค่าไม่มาก แสดงว่าสมการถดถอยมีค่าความน่าเชื่อถือสูง แสดงได้ดังตารางผนวกที่ 1

1.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพลังงานจลน์ของฝน (R-factor) กับการสูญเสียดิน

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า R-factor กับค่าการสูญเสียดิน โดยวิธีต่าง ๆ นั้น ได้คำนวณจากค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝนบริเวณสถานีวิจัยดินน้ำยม ในปี พ.ศ. 2550 พบว่าจากการเปิดน้ำโดยใช้เครื่องกำเนิดฝน ทั้งหมด 5 ครั้ง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย เท่ากับ 57.09 มิลลิเมตร กำหนดให้ระยะเวลาที่ฝนตกเท่ากันทุกครั้งที่เปิดเครื่อง คือ 30 นาที ความหนักเบาของฝนเฉลี่ย เท่ากับ 90.83 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เกิดการสูญเสียดินในแปลงไถพรวนขึ้นลงตามแนวระดับ (bare soil) ทั้งหมด 0.741 ดันต่อเฮกแตร์ แปลงปลูกข้าวโพด (maize without contouring) ทั้งหมด 0.522 ดันต่อเฮกแตร์ แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา (maize with contouring) ทั้งหมด 0.378 ดันต่อเฮกแตร์ แปลงปลูกถั่วเหลือง (soybean without contouring) ทั้งหมด 0.457 ดันต่อเฮกแตร์ และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา (soybean with contouring) ทั้งหมด 0.309 ดันต่อเฮกแตร์ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง โดยการคำนวณค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝน จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน (rainfall simulator) บริเวณลุ่มน้ำแม่กลาง จังหวัดแพร่ในปี พ.ศ. 2550

สตอร์ม ที่	ระยะการเจริญ เติบโตของพืช	ปริมาณ ฝน (มม.)	ระยะ เวลาที่ ฝนตก (นาที)	ความ หนัก เบาของ ฝน	ความ หนัก เบาของ ฝน	KE _s	KE >1	EI ₃₀	AI _m (ชม. ² / ชม.)	การสูญเสียดิน (ตัน/เฮกแตร์)					
				ฝน	ฝน										
				(มม./ ชม.)	(ชม./ ชม.)					T1	T2	T3	T4	T5	เฉลี่ย
1	ก่อนปลูก	57.02	30.00	90.72	9.07	295.43	1680.03	152.01	52.35	0.195	0.123	0.083	0.109	0.059	0.114
2	ต้นอ่อน	56.87	30.00	90.48	9.05	295.53	1685.04	152.86	52.49	0.188	0.165	0.141	0.151	0.129	0.155
3	ผสมพันธุ์	56.31	30.00	89.60	8.96	295.05	1661.48	148.86	51.84	0.182	0.126	0.079	0.104	0.071	0.112
4	เจริญเต็มที่	57.38	30.00	91.30	9.13	295.78	1697.30	154.97	52.83	0.051	0.031	0.021	0.027	0.016	0.029
5	เก็บเกี่ยวผลผลิต	57.86	30.00	92.06	9.21	296.10	1713.29	157.73	53.27	0.125	0.078	0.053	0.067	0.034	0.071
รวม		285.44	-	-	-	1477.91	8437.14	766.43	262.78	0.741	0.522	0.378	0.457	0.309	-
เฉลี่ย		57.09	30.00	90.83	9.08	295.58	1687.43	153.29	52.56	0.15	0.10	0.08	0.09	0.06	0.096

หมายเหตุ: T1 = แปลงไถพรวนขึ้น-ลงตามแนวระดับ, T2 = แปลงปลูกข้าวโพด, T3 = แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา, T4 = แปลงปลูกถั่วเหลือง
T5 = แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา

เมื่อคาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานจลน์ในการชะล้างพังทลายของดิน คือ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองทั้ง 5 แปลงดังกล่าว โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) สามารถอธิบายได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของฝน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.602, -0.602, -0.601 และ -0.603 ตามลำดับ แปลงปลูกข้าวโพด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.618, -0.619, -0.618 และ -0.620 ตามลำดับ แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.499, -0.501, -0.500 และ -0.502 ตามลำดับ แปลงปลูกถั่วเหลือง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.572, -0.574, -0.573 และ -0.574 ตามลำดับ และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ -0.566, -0.568, -0.567 และ -0.569 ตามลำดับ นั่นหมายความว่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของฝนกับปริมาณการสูญเสียดินมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามทุกวิธีการ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินเปรียบเทียบกับทั้ง 4 วิธีการ พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 1 ทุกดัชนี แสดงว่าค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของฝนทั้ง 4 วิธีการ มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ดังได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 2 ถึง ตารางผนวกที่ 6 และภาพผนวกที่ 1 ถึง ภาพผนวกที่ 3

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีน้ำฝนแบบต่าง ๆ วิธีที่ควรนำมาใช้หรือเหมาะกับการใช้เครื่องกำเนิดฝนมากที่สุด คือ ดัชนี AI_m เนื่องจาก ดัชนี AI_m แสดงให้เห็นอิทธิพลของฝนที่มีต่อปริมาณการสูญเสียดินได้อย่างเด่นชัดกว่าลักษณะอื่น ๆ ของฝน และถ้าเพิ่มปัจจัยเกี่ยวกับน้ำไหลบ่าหน้าดินเข้าไปด้วยจะทำให้สามารถคาดคะเนการสูญเสียดินได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นตัวการในการพัดพาอนุภาคดินที่ถูกเม็ดฝนกัดชะให้เคลื่อนย้ายออกไป สามารถคาดคะเนปริมาณการสูญเสียดินได้ถูกต้องมากกว่าสมการที่ใช้ปัจจัยเกี่ยวกับน้ำฝนเพียงอย่างเดียว

สำหรับค่า EI_{30} และค่า $KE>1$ มีความสัมพันธ์ต่อการสูญเสียดินรองลงมาตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ดัชนีทั้งสองก็ให้ผลถูกต้องแม่นยำได้ในระดับดี แต่อาจต้องเพิ่มปัจจัยอื่น ๆ เพื่อให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นดัชนีพลังงานของน้ำฝนรูปแบบต่างๆ กับปริมาณการสูญเสียดินมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ถ้ามีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) สูงแสดงว่า การสูญเสีย

ดินเกิดจากปัจจัยหลักสำคัญก็คือ น้ำฝน ซึ่งการใช้ดัชนีตัวใดเพื่อการประเมินปริมาณการสูญเสียดินนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่มี ลักษณะต่างๆ ของฝนที่นำไปใช้ และลักษณะพื้นที่ เป็นต้น

ฝนสตอร์มหนึ่ง ๆ (storm rainfall) ถึงแม้ว่ามีพลังงานรวมทั้งสตอร์มมากแต่มีความหนักเบาสูงสุดภายใน 30 นาทีค่า ก็จะมีดัชนี EI ต่ำไปด้วย เพราะฝนสตอร์มที่มีความหนักเบาดำเนิน แม้ฝนตกนานก็ไม่มีโอกาสทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินได้เลยนั่นเอง ในการเปิดเครื่องกำเนิดฝนทุกครั้งในทุกระยะการเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นกรณีที่ฝนทุกสตอร์มมีปริมาณของฝนตกไม่มากนัก แต่ความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีสูงมากทำให้มีดัชนี EI สูง การที่ค่าดัชนี EI มีอิทธิพลต่อการสูญเสียดินมากนั้น เนื่องจากพลังงานที่รุนแรงทำให้ดินแตกแยกแล้วมาอุดรูดิน จนอัตราการซึมน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ฝนกำลังตกอยู่ ส่งผลให้มีน้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดขึ้นได้เร็วและมาก ถึงแม้ว่าดัชนีดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนอย่างมาก แต่เมื่อปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของดินที่ถูกทำให้แตกโดยเม็ดฝนก็ลดลง เพราะผิวหน้าน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวดินช่วยลดแรงตกกระทบหน้าดินของเม็ดฝนด้วย ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การสูญเสียดินเฉลี่ยของทุกแปลงมีค่าน้อย

เมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยแผนที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2525) พบว่าดินบริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอวังทอง จังหวัดแพร่ เป็นหน่วยแผนที่ดินที่ 61 คือ หน่วยผสมของดินบริเวณพื้นที่สูงชัน (slope complex) กล่าวคือ เป็นหน่วยแผนที่ดินที่เป็นที่ลาดชันเชิงซ้อน เป็นพื้นที่ป่าไม้ ภูเขา และพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งรวมเอาดินหลาย ๆ ชนิดเข้าไว้ด้วยกัน เนื่องจากเกิดอยู่ปะปนกัน จนแยกขอบเขตของแต่ละชนิดออกจากกันไม่ได้ มีทั้งดินลึก ดินตื้น และบริเวณที่มีหินโผล่อย่างหนาแน่น รวมทั้งดินที่มีลักษณะที่ไม่แน่นอน และดินที่ยังไม่ได้ตั้งชื่อที่อยู่ในบริเวณนี้ ซึ่งเป็นดินที่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีความสูงชันมาก จนไปถึงภูเขา ซึ่งประกอบด้วยหินต้นกำเนิดดินชนิดต่าง ๆ

หน่วยแผนที่ดินในบริเวณนี้ ส่วนใหญ่ยังไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก เนื่องจากมีความสูงชันจนเกินไป และเป็นดินตื้น หรือมีหินโผล่มาก นอกจากบางแห่งพบเป็นไร่เลื่อนลอย ไร่ร้าง ซึ่งมีการพังทลายของหน้าดินตามมาอย่างรุนแรง บริเวณหน่วยแผนที่ดินนี้สมควรรักษาไว้เป็นป่าธรรมชาติเพื่อเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารของที่ราบลุ่มข้างล่าง แต่ความเป็นจริงแล้วราษฎรได้เข้าไปทำการแผ้วถางทำลายป่า เผาป่า เพื่อปลูกข้าวไร่ และถั่วเหลือง ต่อมาผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควรจึงเปลี่ยนมาปลูกข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดแล้ว ได้มีปลูกถั่วเขียว และถั่วเหลืองสลับกันไป นอกจากนี้บางแห่งยังมีการทำเป็นสวนมะขามหวาน และสวนลำไย

บางแห่งถูกทิ้งร้าง กลายเป็นไร่ร้าง ทำให้เกิด การชะล้างพังทลายของดินอย่างรุนแรง เมื่อเวลาผ่านไป หน้าดินถูกชะล้างพังทลายไปมาก ทำให้หน้าดินบาง บางแห่งมีหินโผล่ ไม่เหมาะแก่การเพาะปลูก เมื่อทำการทดลองเปิดเครื่องกำเนิดฝน และเก็บตะกอนดินจากแปลงทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหา ปริมาณการสูญเสียดิน จากสมการสูญเสียดินสากลพบว่า ปริมาณการสูญเสียดินจึงมีค่าเท่ากับ 0.55 ตัน ต่อเฮกแตร์ต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ หรือ slight (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ระดับการสูญเสียดินในประเทศไทย จากการประเมินของกรมพัฒนาที่ดิน

ชั้น	ระดับ	การสูญเสียดิน		CER (มิลลิเมตร/ปี)
		ตัน/ไร่/ปี	ตัน/เฮกแตร์/ปี	
1	slight	0-2	0.00-12.25	0.00-0.96
2	moderate	2-5	12.25-31.25	0.96-2.40
3	severe	5-15	31.25-93.75	2.40-7.20
4	very severe	15-20	93.75-125.00	7.20-9.60
5	extreamly severe	>20	>125.00	>9.60

หมายเหตุ : soil loss tolerance (permissible soil loss) = 2 ton/rai/yr

CER = Catchment erosion rate = 0.96 mm/yr

1.2 การประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor)

C-factor สำหรับพืชเกษตร ส่วนใหญ่เป็นค่าที่ได้จากแปลงทดลองของพืชเกษตรในสหรัฐอเมริกา ซึ่งต้องใช้ทั้งเวลา และแปลงทดลองเป็นจำนวนมาก กล่าวคือ ได้ใช้แปลงทดลองทั้งสิ้นเป็นจำนวนกว่า 10,000 แปลง และข้อมูลเหล่านั้นได้ใช้เวลาในการรวบรวมถึงกว่า 40 ปี หากจะรอผลจากการทดลองก็ต้องใช้เวลาอีกยาวนานซึ่งไม่ทันการในการนำไปใช้ในการคาดคะเน ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายในพื้นที่ลุ่มน้ำหนึ่ง ๆ โดยอาศัยสมการสูญเสียดินสากล จำเป็นต้องมี ค่า C-factor ของชนิดพืชที่ปกคลุมในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ๆ ดังนั้นจึงได้นำเครื่องกำเนิดฝนมาใช้ในการศึกษาค่า C-factor เพื่อช่วยย่นระยะเวลาในการศึกษาลง จากการเก็บข้อมูลตะกอนดิน ในถังรองรับน้ำตะกอนจากแปลงทดลอง ได้แก่ แปลงว่างเปล่า ไถพรวนขึ้นลง แปลงปลูกข้าวโพด แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา แปลงปลูกถั่วเหลือง และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา สามารถประเมิน C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง ได้ดังตารางที่ 12

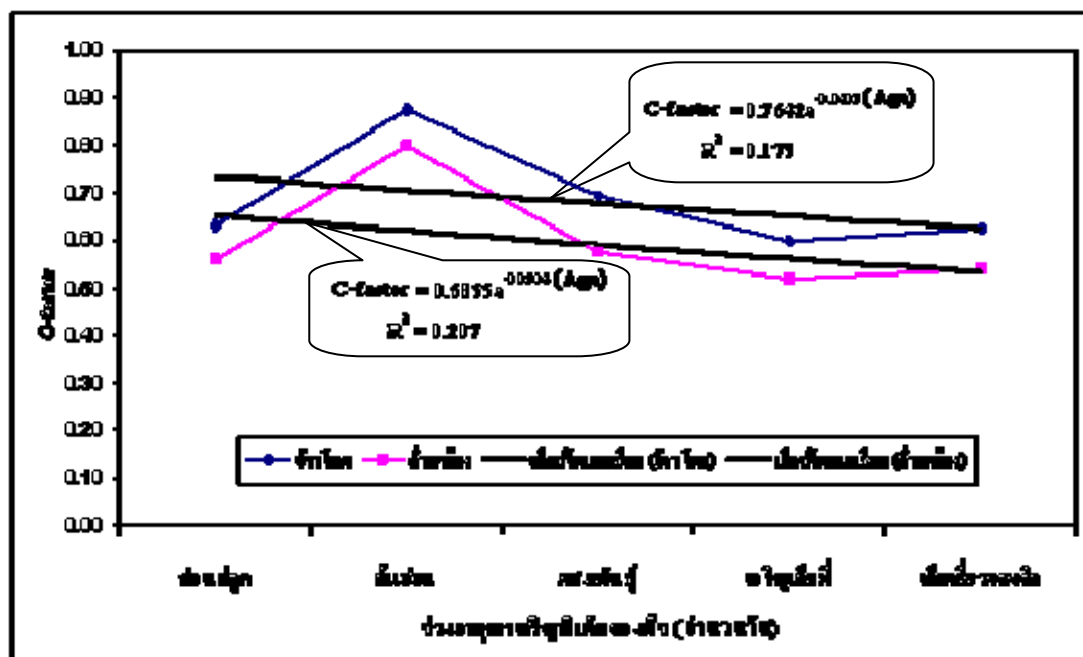
ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ย C-factor และ CP-factor ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดและถั่วเหลือง บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต ของพืช	C-factor		CP-factor	
	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง
ก่อนปลูก	0.63	0.56	0.43	0.30
ต้นอ่อน	0.87	0.80	0.75	0.68
ผสมพันธุ์	0.69	0.57	0.44	0.39
เจริญเต็มที่	0.60	0.52	0.41	0.32
เก็บเกี่ยวผลผลิต	0.62	0.54	0.42	0.27
เฉลี่ย	0.68	0.60	0.49	0.39

1.2.1 C-factor ของข้าวโพด

C-factor เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดเท่ากับ 0.68 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.87 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.60 ในระยะเจริญเต็มที่ และจะเห็นได้ว่า C-factor ของข้าวโพดในระยะก่อนปลูกมีค่าน้อยกว่าระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ เนื่องจากเป็นช่วงก่อนทำการเขตกรรม การศึกษาในครั้งนี้ได้สร้างแปลงสำหรับปลูกข้าวโพดที่ไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินไว้โดยไม่ทำการไถพรวน หรือขุดเพื่อทำการเปิดหน้าดินโดยวิธีการใด ๆ เนื่องจากได้ทำการปลูกข้าวโพดแบบหยอดหลุม ทำให้การรบกวนหน้าดินมีไม่มากนัก และก่อนที่จะทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝนในระยะก่อนปลูกนี้มีฝนจริงตกลงมาทำให้ดินที่เคยแห้งนั้นกลายเป็นดินเปียกบางส่วน เมื่อทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน และเมล็ดพืชที่ตกกระแทกผิวดินด้วยพลังงานจลน์ที่ไม่มากนัก เนื่องจากระยะห่างในการติดตั้งหัวฉีดกับพื้นดินอยู่ห่างกันไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติที่เมล็ดพืชตกจากที่สูงกว่าหลายเท่า เมื่อเมล็ดพืชตกกระทบผิวดินจึงเกิดการแตกกระจายของอนุภาคดินน้อยกว่าดินที่แห้งซึ่งอนุภาคของดินเกาะกันเพียงหลวม ๆ จึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียดินน้อยกว่าในระยะอื่น ๆ โดยเฉพาะในระยะต้นอ่อนซึ่งเป็นช่วงที่มีการเตรียมดิน เพื่อการเขตกรรม เช่น การไถพรวน การขุดทำร่อง และการจัดการพืช ทำให้หน้าดินถูกรบกวนเป็นอย่างมาก และมีการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินโดยการใส่ปุ๋ยบำรุงดินทุกแปลง ส่งผลให้มีการสูญเสียดินมากกว่าระยะอื่น นอกจากนี้ ความสามารถในการปกคลุมดินของข้าวโพดยังมีน้อยมาก เนื่องจากมีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 107 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย

90 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 8 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 60 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 12 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 53 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำ เมื่อทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝนในระยะต้นอ่อนนี้ เกิดการชะล้างพังทลาย และเกิดการสูญเสียดินมากที่สุด จึงทำให้ C-factor ของข้าวโพด มีค่าสูงที่สุดในระยะนี้ และค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเจริญเต็มที่ ซึ่งเป็นระยะที่ C-factor มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากในระยะนี้เป็นระยะที่สรีรวิทยาของข้าวโพดเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งได้ผ่านระยะผสมพันธุ์เมื่อผสมเกสรแล้ว รังไข่เจริญเป็นเมล็ดอ่อน และแก่ตามลำดับ เป็นระยะที่ฝักโตเต็มที่ เมล็ดเจริญเต็มที่ และแห้งในที่สุด ทำให้ความสามารถในการปกคลุมดินมีมากที่สุดตลอดช่วงอายุของข้าวโพด นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับแปลงปลูกข้าวโพดมีน้อยลง ส่งผลให้การรบกวนหน้าดินเกิดขึ้นน้อยมาก อีกทั้งพืชมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกมากที่สุด ในระยะนี้ข้าวโพดจึงมีความสามารถในการปกคลุมดินได้มากที่สุด ทำให้ C-factor ที่ได้มีค่าน้อยที่สุด ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูงที่สุด เกิดการชะล้างพังทลายของดินน้อยที่สุด ทำให้ค่าการสูญเสียดินน้อยที่สุด หลังจากนั้นเป็นระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ระยะนี้เป็นช่วงที่ฝักสดของข้าวโพดมีไหมออกจากฝักได้ประมาณ 15-20 วัน ไหมมีสีดํา เปลือกหุ้มฝักจะบวม และเป็นสีเหลืองอ่อน ระยะนี้ได้ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปก่อนจึงทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ในช่วงที่เข้าไปเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดนั้นได้ทำการเหยียบย่ำเข้าไปในแปลง ซึ่งเป็นการรบกวนหน้าดิน หลังจากเปิดเครื่องกำเนิดฝนแล้วทำให้เกิดการสูญเสียดินมากขึ้น C-factor ที่ได้จึงมีค่ามากกว่าระยะเจริญเต็มที่เล็กน้อย เนื่องจากยังมีเศษซาก และตอซังของข้าวโพด ทำหน้าที่ปกคลุมดินอยู่บางส่วน จึงทำให้การชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นไม่มากนัก และประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินยังมีอยู่มาก C-factor ที่ได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้จึงมีค่าน้อยกว่าในระยะก่อนปลูก ระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 C-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

1.2.2 C-factor ของถั่วเหลือง

C-factor เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเท่ากับ 0.60 โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.80 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.52 ในระยะเจริญเต็มที่ ดังตารางที่ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่า C-factor ของถั่วเหลืองในระยะก่อนปลูกซึ่งเป็นช่วงก่อนทำการเกษตรกรรม การศึกษาในครั้งนี้ได้สร้างแปลงสำหรับปลูกถั่วเหลืองที่ไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินไว้โดยไม่ทำการไถพรวน หรือขุดเพื่อทำการเปิดหน้าดินโดยวิธีการใด ๆ เนื่องจากได้ทำการปลูกถั่วเหลืองแบบหยอดหลุม ทำให้การรบกวนหน้าดินมีไม่มากนัก เมื่อทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝนในระยะนี้ จึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียดินน้อยกว่าในระยะต้นอ่อนซึ่งเป็นช่วงที่มีการเตรียมดิน เพื่อการเกษตรกรรม เช่น การไถพรวน การขุดทำร่อง และการจัดการวัชพืช ทำให้น้ำดินถูกรบกวนเป็นอย่างมาก ส่งผลให้มีการสูญเสียดินมากกว่าระยะอื่น นอกจากนี้ ความสามารถในการปกคลุมดินของถั่วเหลืองยังมีน้อยมาก เนื่องจากสรีรวิทยาของถั่วเหลืองยังไม่สมบูรณ์ มีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 30 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 20 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 3.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 6.0 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 33 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 97 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพ

ในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำ เมื่อทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝนในระยะต้นอ่อนนี้ เกิดการชะล้างพังทลาย และเกิดการสูญเสียดินมากที่สุด จึงทำให้ C-factor ของถั่วเหลืองมีค่าสูงสุด และค่อย ๆ ลดลง จนถึงระยะเจริญเต็มที่ ซึ่งเป็นระยะที่ C-factor มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากในระยะนี้เป็นระยะที่สรีรวิทยาของถั่วเหลืองเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งมีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 67 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 43 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 7.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 13 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 45 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 111 ต้นต่อแปลง ซึ่งเป็นระยะที่ผ่านการผสมพันธุ์มาแล้ว รังไข่เจริญเป็นเมล็ดอ่อน และแก่ตามลำดับ เป็นระยะที่ฝักโตเต็มที่ เมล็ดเจริญเต็มที่ และแห้งในที่สุด ทำให้ความสามารถในการปกคลุมดินมีมากที่สุดตลอดช่วงอายุของถั่วเหลือง นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับแปลงปลูกถั่วเหลืองมีน้อยลง ส่งผลให้การรบกวนหน้าดินเกิดขึ้นน้อยมาก อีกทั้งพืชมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกมากที่สุด ในระยะนี้ถั่วเหลืองจึงมีความสามารถในการปกคลุมดินได้มากที่สุด ดังนั้น C-factor ในระยะนี้จึงมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดการชะล้างพังทลายของดินน้อยที่สุด ทำให้ค่าการสูญเสียดินน้อยที่สุด ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูงสุด หลังจากนั้นในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ในระยะนี้เป็นช่วงที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองออกไปก่อนจึงทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ในช่วงที่เข้าไปเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองนั้นได้ทำการเหยียบย่ำเข้าไปในแปลง ซึ่งเป็นการรบกวนหน้าดิน หลังจากเปิดเครื่องกำเนิดฝนแล้วทำให้เกิดการสูญเสียดินมากขึ้น C-factor ที่ได้จึงมีค่ามากกว่าระยะเจริญเต็มที่เล็กน้อย เนื่องจากยังมีเศษซากลำต้น ราก กิ่งก้าน และใบของถั่วเหลืองหลงเหลืออยู่ อีกทั้งมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดิน และเนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนในดินได้ ทำให้ดินร่วนซุยเพิ่มประสิทธิภาพในการซึมซับน้ำของดิน ส่งผลให้น้ำมีช่องว่างและน้ำซึมลงได้ดินได้มากขึ้น เมื่อปลูกถั่วเหลืองหรือพืชตระกูลถั่วในพื้นที่นี้เป็นระยะเวลานาน จะเพิ่มความหนาของหน้าดิน สามารถทำการเกษตรได้ดีขึ้น ในระยะนี้เศษซากของถั่วเหลืองทำหน้าที่ปกคลุมดินได้เป็นอย่างดี C-factor ที่ได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้จึงมีค่าน้อยกว่าในระยะก่อนปลูก ระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ จึงทำให้การชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นไม่มากนัก และประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินมีอยู่มาก ดังแสดงในภาพที่ 10

จากภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่ามากกว่า C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลืองทุกช่วงอายุของพืช แสดงว่า ถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าข้าวโพดในทุกช่วงการเจริญเติบโต และพืชทั้งสองชนิดมีความสามารถในการปกคลุมดินได้ดีขึ้นเมื่อพืชเจริญเติบโตขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rao (1981) ที่พบว่าค่า C-factor

ของพืชเดี่ยว ๆ แต่ละชนิด ผันแปรไปตามชนิดพืช ระดับความลาดเทของพื้นที่ และปริมาณฝนที่ตกแตกต่างกันในแต่ละปี โดยที่ค่า C-factor ของข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 0.35 และ C-factor ของถั่วฝักยาวมีค่าเท่ากับ 0.17 จะเห็นว่า ค่า C-factor ของข้าวโพดมากกว่า C-factor ของพืชตระกูลถั่ว

1.3 การประเมินค่าดัชนีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor)

CP-factor ถือได้ว่าเป็นค่าที่ไม่ค่อยได้ศึกษาไว้มากนักในประเทศที่กำลังพัฒนา ไม่ว่าในพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ทุ่งหญ้าและที่รกร้างว่างเปล่า หรือแม้กระทั่งในพื้นที่ปลูกพืชเกษตร และการปลูกพืชหมุนเวียนแบบต่าง ๆ ก็ตาม เนื่องจากต้องหาจากแปลงทดลองมาตรฐาน และใช้เวลาหลายปีเช่นเดียวกับค่า C-factor จึงมักใช้ค่าที่ได้จากการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้มีการศึกษาค่าของ C-factor และ CP-factor อย่างละเอียด จึงควรที่ประเทศต่าง ๆ ต้องศึกษาหาเป็นค่าประจำของพืชพรรณ และป่าแต่ละชนิดของตนเอง เพื่อให้ค่าที่มั่นใจและเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษา CP-factor ไว้บ้างเล็กน้อย โดยที่ ชาตรี (2534) ได้ใช้ข้อมูลจากแปลงทดลองการชะล้างพังทลายของดิน จากการปลูกสร้างสวนป่าไม้โตเร็ว บนพื้นที่ลาดเขาที่ทำเป็นขั้นบันไดดิน บริเวณสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยสรุปว่า โดยภาพรวมแล้ว เมื่อต้นไม้อายุมากขึ้น สมรรถนะในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน ของสวนป่าที่ปลูกโดยทำขั้นบันไดเพิ่มขึ้น ทำให้ CP-factor ลดลง โดยเฉพาะภายหลังปีที่ 3 เมื่อต้นไม้และขั้นบันไดดินมีการปรับสภาพดีแล้ว

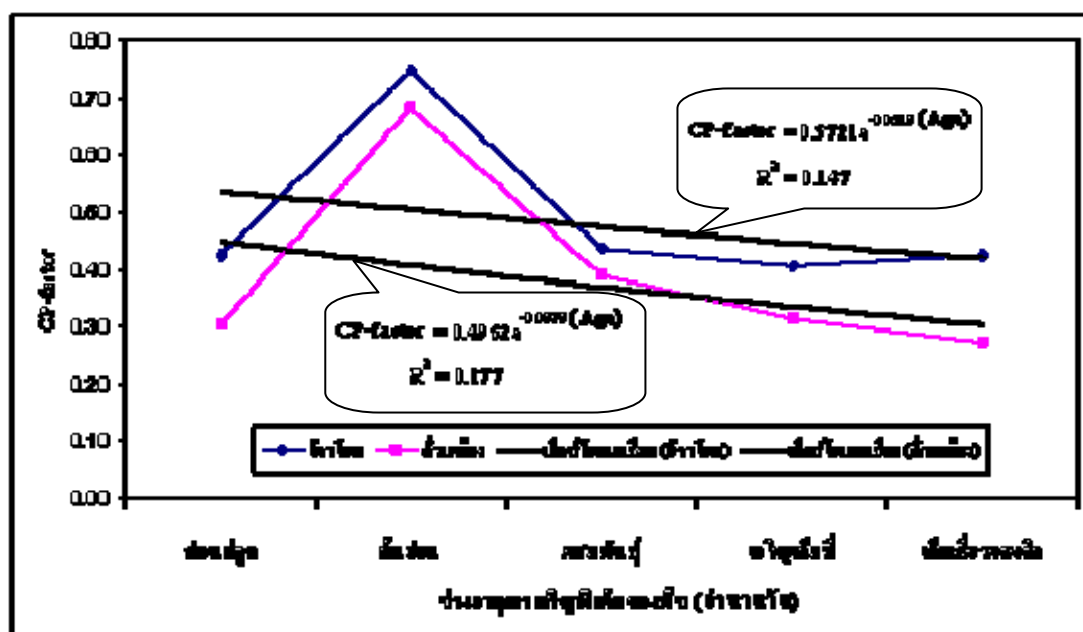
นอกจากนี้ยังมีการศึกษา CP-factor โดยใช้แบบจำลองต่าง ๆ เพื่อประหยัดเวลาในการศึกษามากกว่าการใช้แปลงทดลอง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สุภูมิตร (2539) ได้ทำการศึกษาค่า CP-factor ของระบบวนเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำภูเวียง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้แบบจำลอง 4 รูปแบบ ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง CP-factor ในสมการ USLE ที่ผันแปรไปกับอายุของสวนป่าที่ปลูกควบคู่กับพืชเกษตร ผลการศึกษาสรุปไว้ว่า เมื่อพืชป่าไม้ที่ปลูกมีอายุมากขึ้น CP-factor มีแนวโน้มต่ำลง และมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นโค้ง อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง CP-factor กับอายุต้นไม้อายุและการใช้ที่ดินในระบบวนเกษตร แม้มีค่า R^2 สูงพอสมควรในหลายสมการ แต่ยังไม่มีความสำคัญทางสถิติ วัชพืชและพืชชั้นล่างที่ปกคลุมกัน เช่น หญ้าคาและสาบเสือ มีอิทธิพลต่อ CP-factor อยู่มาก เมื่อเทียบกับบทบาทของระบบวนเกษตรและอายุของสวนป่า

การศึกษาในครั้งนี้ได้นำเครื่องกำเนิดฝนมาใช้ในการหา C-factor และ CP-factor เพื่อเปรียบเทียบกับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ เนื่องจากว่า หากนำเครื่องกำเนิดฝนมาใช้แทนฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติในช่วงฤดูแล้งที่ไม่มีฝนตก จะสามารถย่นระยะเวลาในการประเมินค่าปัจจัยต่าง ๆ ได้หรือไม่ และเครื่องกำเนิดฝนที่สร้างขึ้นมานี้ทำให้ประเมิน C-factor และ CP-factor ออกมาแตกต่างจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติหรือไม่ หากค่าที่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติแล้ว แสดงว่าสามารถนำเครื่องกำเนิดฝนมาใช้ในการย่นระยะเวลาในการศึกษาได้ และการเลือกพืชเกษตรมาเป็นตัวแทนในการประเมิน C-factor และ CP-factor ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่เอาง อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่นี้ เนื่องจาก พื้นที่ส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยการบุกรุกแผ้วถาง เผาทำลายป่าไม้เป็นบริเวณกว้าง เพื่อทำไร่ข้าวโพดในพื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าว จึงได้เลือกทำการประเมิน CP-factor เพื่อให้เกษตรกรสามารถปลูกข้าวโพด และถั่วเหลืองได้โดยเกิดการสูญเสียดินปริมาณน้อย

1.3.1 CP-factor ของข้าวโพด

CP-factor เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดเท่ากับ 0.49 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.75 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.41 ในระยะเจริญเต็มที่ ดังตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่า CP-factor ของข้าวโพดมีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนและค่อย ๆ ลดลง จนถึงระยะเจริญเต็มที่แล้วจึงค่อย ๆ สูงขึ้นในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต และระยะก่อนปลูก สังเกตได้ว่า CP-factor ของข้าวโพดในระยะก่อนปลูกมีค่าน้อยกว่าระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ซึ่งเป็นค่าแนวโน้มที่ลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎี ที่ว่าระยะก่อนปลูกต้องมีค่าสูงที่สุดนั้นเนื่องาก่อนทำการเกษตรกรรมต่าง ๆ ได้สร้างแปลงสำหรับปลูกข้าวโพดที่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินไว้เพื่อทำการปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขาแต่ในระยะนี้ได้สร้างมาตรการดังกล่าวไว้ก่อนที่จะทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน มีฝนจริงตกลงมาทำให้ดินที่เคยแห้งกลายเป็นดินเปียกแล้วบางส่วน ในการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ฝนที่ตกลงมามีปริมาณของฝนตกไม่มากนัก แต่ความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีสูงมากทำให้มีดัชนี EI สูง พลังงานจลน์ของฝนทำให้ดินแตกแยกแล้วมาอุดรูดิน จนอัตราการซึมน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ฝนกำลังตกอยู่ ส่งผลให้น้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดขึ้นได้เร็วและมาก อย่างไรก็ตาม ดัชนีดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนอย่างมาก แต่เมื่อปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของดินที่ถูกทำให้แตกโดยเม็ดฝนก็ลดลง เพราะผิวหน้าน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวดินช่วยลดแรงตกกระทบหน้าดินของเม็ดฝนด้วย จึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียดินน้อยกว่าในระยะอื่น ๆ โดยเฉพาะในระยะต้นอ่อนซึ่งเป็นช่วงที่มีการเตรียมดิน เพื่อการเกษตรกรรม เช่น การไถ

พรวน การขุดทำร่อง และการจัดการวัชพืช ทำให้หน้าดินถูกรบกวนเป็นอย่างมาก ส่งผลให้มีการสูญเสียดินมากกว่าระยะอื่น นอกจากนี้ ความสามารถในการปกคลุมดินของข้าวโพดยังมีน้อยมาก เนื่องจากมีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 107 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 90 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 8 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 60 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 12 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 53 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำ เมื่อทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝนในระยะต้นอ่อนนี้ จึงทำให้ CP-factor ของข้าวโพด มีค่าสูงสุดในระยะนี้ ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลาย และเกิดการสูญเสียดินได้มากที่สุด และค่อย ๆ ลดลง จนถึงระยะเจริญเต็มที่ ซึ่งเป็นระยะที่ CP-factor มีค่าต่ำสุด เนื่องจากในระยะนี้เป็นระยะที่สรีรวิทยาของข้าวโพดเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งได้ผ่านระยะผสมพันธุ์เมื่อผสมเกสรแล้ว รังไข่เจริญเป็นเมล็ดอ่อน และแก่ตามลำดับ เป็นระยะที่ฝักโตเต็มที่ เมล็ดเจริญเต็มที่ และแห้งในที่สุด ทำให้ความสามารถในการปกป้องคลุมดินมีมากที่สุดตลอดช่วงอายุของข้าวโพด นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับแปลงปลูกข้าวโพดมีน้อยลง ส่งผลให้การรบกวนหน้าดินเกิดขึ้นน้อยมาก อีกทั้งพืชมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกมากที่สุด ในระยะนี้ข้าวโพดจึงมีความสามารถในการปกคลุมดินได้มากที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูงที่สุด ดังนั้น C-factor ในระยะนี้จึงมีค่าต่ำที่สุด ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินน้อยที่สุด และมีการสูญเสียดินน้อยที่สุดด้วย หลังจากนั้นในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ในระยะนี้เป็นช่วงที่ฝักสดของข้าวโพดมีไหมดอกจากฝักได้ประมาณ 15-20 วัน ไหมมีสีดำ เปลือกหุ้มฝักจะบวม และเป็นสีเหลืองอ่อน ในระยะนี้ได้ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปก่อนจึงทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ในช่วงที่เข้าไปเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดนั้นได้ทำการเหยียบย่ำเข้าไปในแปลง ซึ่งเป็นการรบกวนหน้าดิน หลังจากเปิดเครื่องกำเนิดฝนแล้วทำให้เกิดการสูญเสียดินมากขึ้น CP-factor ที่ได้จึงมีค่ามากกว่าระยะเจริญเต็มที่เล็กน้อย เนื่องจากยังมีเศษซาก และตอซังของข้าวโพด ทำหน้าที่ปกป้องคลุมดินอยู่บางส่วน จึงทำให้การชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นไม่มากนัก และประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินยังมีอยู่มาก CP-factor ที่ได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้จึงมีค่าน้อยกว่าในระยะก่อนปลูก ระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 CP-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

1.3.2 CP-factor ของถั่วเหลือง

CP-factor เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเท่ากับ 0.39 โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.68 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.27 ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ดังตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่า CP-factor ของถั่วเหลืองมีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนและค่อย ๆ ลดลง จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต CP-factor มีค่าต่ำสุด แล้วจึงค่อย ๆ สูงขึ้นในระยะก่อนปลูก สังเกตได้ว่า CP-factor ของถั่วเหลือง ในระยะก่อนปลูกมีค่าน้อยกว่าระยะต้นอ่อน ระยะผสมพันธุ์ และระยะเจริญเต็มที่ ซึ่งเป็นค่าแนวโน้มที่คลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎี ที่ว่าระยะก่อนปลูกต้องมีค่าสูงสุดและ CP-factor ค่อย ๆ ลดลง จนถึงระยะเจริญเต็มที่ CP-factor มีค่าต่ำสุดนั้น เนื่องจากก่อนทำการเกษตรกรรมต่าง ๆ ได้สร้างแปลงสำหรับปลูกถั่วเหลืองที่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินไว้เพื่อทำการปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา แต่ในระยะนี้ได้สร้างมาตรการดังกล่าวไว้ก่อนที่ทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝน มีฝนจริงตกลงมาทำให้ดินที่เคยแห้งกลายเป็นดินเปียกแล้วบางส่วน ในการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ฝนที่ตกลงมามีปริมาณของฝนตกไม่มากนัก แต่ความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีสูงมากทำให้มีดัชนี EI สูง พลังงานจลน์ของฝนทำให้ดินแตกแยกแล้วมาอุดรูดิน จนอัตราการซึมน้ำลดลงอย่างรวดเร็วใน

ขณะที่ฝนกำลังตกอยู่ ส่งผลให้มีน้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดขึ้นได้เร็วและมาก อย่างไรก็ตาม ดัชนีดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนอย่างมาก แต่เมื่อปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของดินที่ถูกทำให้แตกโดยเม็ดฝนก็ลดลง เพราะผิวหน้าน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวดินช่วยลดแรงตกกระทบหน้าดินของเม็ดฝนด้วย จึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียดินน้อยกว่าในระยะอื่น ๆ โดยเฉพาะในระยะต้นอ่อนซึ่งเป็นช่วงที่มีการเตรียมดิน เพื่อการเกษตรกรรม เช่น การไถพรวน การขุดทำร่อง และการจัดการพืช ทำให้หน้าดินถูกรบกวนเป็นอย่างมาก และมีการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินโดยการใส่ปุ๋ยบำรุงดินทุกแปลง ส่งผลให้มีการสูญเสียดินมากกว่าระยะอื่น นอกจากนี้ ความสามารถในการปกคลุมดินของถั่วเหลืองยังมีน้อยมาก เนื่องจากสรีรวิทยาของถั่วเหลืองยังไม่สมบูรณ์ มีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 30 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 20 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 3.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 6.0 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 33 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 97 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำ เมื่อทำการเปิดเครื่องกำเนิดฝนในระยะต้นอ่อนนี้ CP-factor ของถั่วเหลืองมีค่าสูงสุด จึงเกิดการชะล้างพังทลาย และเกิดการสูญเสียดินมากที่สุด ถึงแม้ว่ามีการทำมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินโดยการปลูกพืชตามแนวระดับขอบเขากก็ตาม เนื่องจากในระยะแรกเริ่มของการทำมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในระยะผสมพันธุ์จนถึงระยะเจริญเต็มที่ ขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 45 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 40 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 4.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 37 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 233 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะต้นอ่อนถึงตั้งตัวได้ และเมื่อพิจารณาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตซึ่งในระยะนี้ถั่วเหลืองมีความสามารถในการปกป้องคลุมดินได้มากที่สุด เนื่องจากสรีรวิทยาของถั่วเหลืองหลังระยะเจริญเต็มที่นั้น ความสูงของต้น รวมทั้งการเจริญเติบโตทางด้านข้างต่าง ๆ ลดลง ทำให้ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ถูกลองแนบกับพื้นผิวดิน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการปกคลุมดินอย่างหนึ่ง นอกจากนี้ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วยังเหลือซากลำต้น ราก และใบของถั่วเหลืองที่ทำหน้าที่ปกคลุมดินต่อไประยะหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปซากต่าง ๆ ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยบำรุงดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินในบริเวณที่ปลูกถั่วเหลือง ซึ่งเป็นอีกประการหนึ่งในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ทำให้ CP-factor ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าต่ำสุด ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินในระยะนี้จึงสูงที่สุด ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน และการสูญเสียดินน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 11

จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่ามากกว่า CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลืองทุกช่วงอายุของพืช แสดงว่าถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าข้าวโพดในทุกช่วงการเจริญเติบโต และพืชทั้งสองชนิดมีความสามารถในการปกคลุมดินได้ดีขึ้นเมื่อพืชเจริญเติบโตขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Gupta (1981) ที่ศึกษาจากแปลงทดลองขนาดเล็ก และพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่า พื้นที่ป่าหรือทุ่งหญ้าที่หนาแน่นนั้น มีการสูญเสียดินออกจากพื้นที่น้อยมากในระหว่างช่วงฤดูฝน คือมีเพียง 2 ตันต่อเฮกเตอร์ เท่านั้น ในขณะที่การสูญเสียดินจากพื้นที่ว่างเปล่าที่ไถพรวนทิ้งไว้มีสูงถึง 44 ตันต่อเฮกเตอร์ และพบว่าการทำไร่เลื่อนลอยบนพื้นที่ลาดเขาชันจะทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินประมาณ 41 ตันต่อเฮกเตอร์ แต่เมื่อมีการทำคันดินขึ้นบันไดจะลดการสูญเสียดินเหลือเพียง 5 ตันต่อเฮกเตอร์ เท่านั้น

2. การสูญเสียดินจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ

2.1 ดัชนีพลังงานจลน์ของฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน (R-factor)

ดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝน (EI_{30}) เป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่มีผลทำให้เกิดการสูญเสียดินและน้ำจากพื้นที่ ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากมวลของฝน ผนวกกับความเร็วของฝนที่ตกกระทบผิวดิน (E) ที่ตกในครั้งนั้น ๆ คูณกับอัตราความหนักเบาในช่วง 30 นาทีที่สูงสุด (I_{30}) ของฝนที่ตกครั้งนั้น ๆ ซึ่งจากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพลังงานจลน์ของฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาทั้งหมด 21 สดอร์ม ผลปรากฏว่า ได้ค่าดัชนีพลังงานจลน์ของฝนสูงสุด 19.87 เมตริก-ตันต่อเฮกเตอร์ และต่ำสุด 1.65 เมตริก-ตันต่อเฮกเตอร์ โดยเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ตก 31.20 และ 4.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าของดัชนีพลังงานจลน์ของฝนมีผลรวมตลอดทั้งปี 222.37 เมตริก-ตันต่อเฮกเตอร์ต่อปี โดยเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายทั้งสิ้น 387.60 มิลลิเมตร ความหนักเบาของฝนเฉลี่ย เท่ากับ 9.07 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 13 ซึ่งแสดงค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝนโดยการคำนวณจากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ พบว่า จากการประเมินดัชนี EI_{30} , $KE > 1$, AI_m และ $KE_s \cdot I_{30-max}$ มีค่าเท่ากับ 222.37 เมตริก-ตันต่อเฮกเตอร์, 9.57 เมตริก-ตันต่อเฮกเตอร์, 114.25 ตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง และ 117.84 เมตริก-ตันต่อเฮกเตอร์-ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 13 การคำนวณค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝนวิธีการต่าง ๆ ในแต่ละสตรัม โดยการคำนวณจากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ บริเวณแปลงทดลองน้ำไหลบ่าหน้าดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

สตรัม ที่	วัน/เดือน/ปี	ระยะการเจริญ เติบโตของพืช	ปริมาณฝน (มม.)	ระยะเวลาที่ ฝนตก (นาท)	ความหนัก เบาของฝน (มม./ชม.)	ความหนัก เบาของฝน (ชม./ชม.)	Log I	ดัชนีพลังงานจลน์ของฝน (เมตริก-ตันต่อเฮกแตร์)			
								KE _s ^{1/}	E ^{2/}	KE >1 ^{3/}	EI ₃₀ ^{4/}
1	30/05/07	ต้นอ่อน	15.2	39.21	23.26	2.33	0.37	242.93	369.25	0.00	10.88
2	03/06/07		4.2	184.14	1.37	0.14	-0.86	133.43	56.04	0.00	1.65
3	14/06/07		22.8	110.38	12.39	1.24	0.09	218.59	498.40	0.00	14.69
4	18/06/07		22.4	190.45	7.06	0.71	-0.15	196.83	440.89	0.00	13.00
5	19/06/07		11.6	177.21	3.93	0.39	-0.41	174.18	202.05	0.00	5.96
6	26/06/07	ผสมพันธุ์	25.6	555.84	2.76	0.28	-0.56	160.59	411.11	0.00	12.12
7	27/06/07		21.0	720.59	1.75	0.17	-0.76	142.90	300.09	0.00	8.85
8	20/07/07		13.2	85.58	9.25	0.93	-0.03	207.31	273.64	0.00	8.07
9	31/07/07		12.6	408.17	1.85	0.19	-0.73	145.12	182.86	0.00	5.39
10	08/08/07	เจริญเต็มที่	15.6	334.56	2.80	0.28	-0.55	161.07	251.26	0.00	7.41
11	09/08/07		11.6	382.44	1.82	0.18	-0.74	144.44	167.56	0.00	4.94
12	18/08/07		31.2	161.42	11.60	1.16	0.06	216.03	674.00	0.00	19.87
13	25/08/07		29.6	145.09	12.24	1.22	0.09	218.11	645.62	0.00	19.03
14	30/08/07		21.4	96.32	13.33	1.33	0.12	221.41	473.82	0.00	13.97
15	01/09/07		17.0	108.16	9.43	0.94	-0.03	208.03	353.66	0.00	10.42
16	03/09/07		15.6	202.27	4.63	0.46	-0.33	180.52	281.60	0.00	8.30

ตารางที่ 13 (ต่อ)

สตอร์ม ที่	วัน/เดือน/ปี	ระยะการเจริญ เติบโตของพืช	ปริมาณฝน (มม.)	ระยะเวลาที่ ฝนตก (นาท)	ความหนัก เบาของฝน (มม./ชม.)	ความหนัก เบาของฝน (ชม./ชม.)	Log I	ดัชนีพลังงานจลน์ของฝน (เมตริก-ตันต่อเฮกแตร์)			
								$KE_s^{1/}$	$E^{2/}$	$KE > 1^{3/}$	$EI_{30}^{4/}$
17	15/09/07	เก็บเกี่ยว	21.4	43.56	29.48	2.95	0.47	252.08	539.46	539.46	15.90
18	19/09/07	ผลผลิต	16.8	37.23	27.07	2.71	0.43	248.80	417.98	417.98	12.32
19	20/09/07		16.4	113.26	8.69	0.87	-0.06	204.86	335.98	0.00	9.90
20	05/10/07	ก่อนปลูก	25.6	774.35	1.98	0.20	-0.70	147.77	378.30	0.00	11.15
21	09/10/07		16.8	266.00	3.79	0.38	-0.42	172.79	290.29	0.00	8.56
รวม			387.60	-	-	-	-4.70	3997.79	7543.85	957.44	222.37
เฉลี่ย-			-	244.58	9.07	0.91	-0.22	190.37	359.23	45.59	10.59
			I_{30max} (mm/hr)	I_{30max} (cm/hr)	EI_{30} (m-ton/ha)	A (mm)	A (cm)	I_m (cm/hr)	AI_m (cm ² /hr)	$KE > 1$ (m-ton/ha)	$KE_s \cdot I_m$ (m-ton/ha)
			29.48	2.95	222.37	387.60	38.76	2.95	114.25	9.57	117.84

หมายเหตุ : ^{1/} คำนวณจากสูตร $KE_s = 210.3 + 89.0 \log I$

^{2/} คำนวณจากสูตร $E = (KE_s \times \text{ปริมาณฝน}) / 10$

^{3/} คือ ปริมาณพลังงานจลน์ที่เกิดจากฝนที่มีอัตราหนักเบาสูงกว่า 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

^{4/} คือ ผลคูณของพลังงานของฝนที่ตกในครั้งนั้น ๆ กับความหนักเบา 30 นาที สูงสุดที่เกิดขึ้นในฝนครั้งนั้น

2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพลังชลประทานของฝนกับปริมาณน้ำฝน

ค่าดัชนีพลังชลประทานของฝนที่คำนวณได้มีความผันแปรเล็กน้อย แตกต่างกันไปตามปริมาณและความหนักเบาของฝนที่ตกลงมา จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) และ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (simple linear regression analysis) หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับค่าดัชนีพลังชลประทานของฝนเป็นรายวัน ในช่วงฤดูปลูกข้าวโพดและถั่วเหลืองนั้น แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝน คือ 18.46 มิลลิเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 6.50 มิลลิเมตร และมีจำนวนฝนที่ตก 21 สตอร์ม ค่าเฉลี่ยของ EI_{30} คือ 10.59 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 4.56 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.902 แสดงว่า EI_{30} กับปริมาณฝน มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน สำหรับสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) มีค่าเท่ากับ 0.81 แสดงว่าสมการถดถอยนี้สามารถอธิบายการกระจายของ EI_{30} ได้ 81 เปอร์เซ็นต์ หรือ ปริมาณฝนมีอิทธิพลต่อ EI_{30} 81 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย มีค่าเท่ากับ 2.02 ค่าที่ได้นี้มีค่าไม่มาก แสดงว่าสมการถดถอยมีค่าความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งจะเห็นความสัมพันธ์ได้ชัดเจนในตารางผนวกที่ 7

2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพลังงานจลน์ของฝน (R-factor) กับการสูญเสียดิน

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า R-factor กับค่าการสูญเสียดิน โดยวิธีต่าง ๆ นั้นได้คำนวณจากค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝนบริเวณสถานีวิจัยต้นน้ำยม ในปี พ.ศ. 2550 พบว่าจากการรวบรวมข้อมูลฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ ทั้งหมด 21 สตอร์ม เกิดการสูญเสียดินในแปลงไถพรวนขึ้นลงตามแนวระดับ (bare soil) ทั้งหมด 1.79 ตันต่อเฮกแตร์ แปลงปลูกข้าวโพด (maize without contouring) ทั้งหมด 1.21 ตันต่อเฮกแตร์ แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา (maize with contouring) ทั้งหมด 0.76 ตันต่อเฮกแตร์ แปลงปลูกถั่วเหลือง (soybean without contouring) ทั้งหมด 1.04 ตันต่อเฮกแตร์ และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา (soybean with contouring) ทั้งหมด 0.613 ตันต่อเฮกแตร์ ดังตารางที่ 14 เมื่อคาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน คือ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองทั้ง 5 แปลงดังกล่าว โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) สามารถอธิบายได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง มีค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.375, 0.310, -0.053 และ 0.170 ตามลำดับ แปลงปลูกข้าวโพด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.353, 0.265, -0.086 และ 0.111 ตามลำดับ แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.352, 0.316, -0.125 และ 0.160 ตามลำดับ แปลงปลูกถั่วเหลือง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.352, 0.231, -0.134 และ 0.069 ตามลำดับ และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.300, 0.254, -0.179 และ 0.132 ตามลำดับ แสดงว่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินกับปริมาณการสูญเสียดิน มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ยกเว้น $KE > 1$ ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับวิธีอื่น เมื่อทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน เปรียบเทียบกันทั้ง 4 วิธีการ พบว่า KE_s มีความสัมพันธ์กับ $KE > 1$ มากที่สุด ส่วน EI_{30} มีความสัมพันธ์กับ AI_m มากที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กันสูงสุดทุกแปลงทดลอง ดังได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 8 ถึงตารางผนวกที่ 12 และภาพผนวกที่ 4 ถึงภาพผนวกที่ 6

ตารางที่ 14 ปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลอง โดยการคำนวณค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายโดยน้ำฝน จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณ
ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ในปี พ.ศ. 2550

สตอร์ม ที่	วัน/ เดือน/ปี	ระยะการ เจริญเติบโต ของพืช	ปริมาณ ฝน (มม.)	ระยะเวลา ที่ฝนตก (นาท.)	ความหนัก เบาของฝน (มม./ชม.)	ความหนัก เบาของฝน (ชม./ชม.)	$KE_s^{1/}$ (เมตริก-ตัน/เฮกเตอร์)	$KE > I^{2/}$	$EI_{30}^{3/}$	$AI_m^{4/}$ (ชม. ² /ชม.)	การสูญเสียดิน (ตัน/เฮกเตอร์)				
											BS	Maize	Maize+C	Soybean	Soybean+C
1	30/05/07	ต้นอ่อน	15.2	39.21	23.26	2.33	417.31	0.00	10.88	4.48	0.138	0.111	0.077	0.109	0.070
2	03/06/07		4.2	184.14	1.37	0.14	222.48	0.00	1.65	1.24	0.057	0.049	0.037	0.046	0.030
3	14/06/07		22.8	110.38	12.39	1.24	320.60	0.00	14.69	6.72	0.141	0.124	0.074	0.101	0.067
4	18/06/07		22.4	190.45	7.06	0.71	273.11	0.00	13.00	6.60	0.074	0.052	0.043	0.052	0.037
5	19/06/07		11.6	177.21	3.93	0.39	245.26	0.00	5.96	3.42	0.056	0.045	0.027	0.034	0.026
6	26/06/07	ผสมพันธุ์	25.6	555.84	2.76	0.28	234.89	0.00	12.12	7.55	0.056	0.047	0.034	0.042	0.029
7	27/06/07		21.0	720.59	1.75	0.17	225.86	0.00	8.85	6.19	0.103	0.060	0.032	0.045	0.029
8	20/07/07		13.2	85.58	9.25	0.93	292.67	0.00	8.07	3.89	0.086	0.056	0.034	0.051	0.023
9	31/07/07		12.6	408.17	1.85	0.19	226.78	0.00	5.39	3.71	0.091	0.056	0.036	0.051	0.031
10	08/08/07	เจริญเต็มที่	15.6	334.56	2.80	0.28	235.20	0.00	7.41	4.60	0.094	0.047	0.019	0.041	0.016
11	09/08/07		11.6	382.44	1.82	0.18	226.50	0.00	4.94	3.42	0.086	0.053	0.033	0.046	0.021
12	18/08/07		31.2	161.42	11.60	1.16	313.51	0.00	19.87	9.20	0.080	0.059	0.043	0.049	0.035
13	25/08/07		29.6	145.09	12.24	1.22	319.24	0.00	19.03	8.73	0.115	0.072	0.049	0.062	0.036
14	30/08/07		21.4	96.32	13.33	1.33	328.94	0.00	13.97	6.31	0.086	0.041	0.024	0.038	0.021
15	01/09/07		17.0	108.16	9.43	0.94	294.23	0.00	10.42	5.01	0.094	0.057	0.034	0.052	0.028
16	03/09/07		15.6	202.27	4.63	0.46	251.48	0.00	8.30	4.60	0.092	0.061	0.031	0.051	0.022

ตารางที่ 14 (ต่อ)

สตอร์ม ที่	วัน/ เดือน/ปี	ระยะการ เจริญเติบโต ของพืช	ปริมาณ ฝน (มม.)	ระยะเวลา ที่ฝนตก (นาท)	ความหนัก เบาของฝน (มม./ชม.)	ความหนัก เบาของฝน (ชม./ชม.)	$KE_s^{1/}$	$KE > I^{2/}$	$EI_{30}^{3/}$	$AI_m^{4/}$	การสูญเสียดิน (ตัน/เฮกแตร์)				
							(เมตริก-ตัน/เฮกแตร์)			(ชม. ² /ชม.)	BS	Maize	Maize+C	Soybean	Soybean+C
17	15/09/07	เก็บเกี่ยว	21.4	43.56	29.48	2.95	472.64	539.46	15.90	6.31	0.081	0.052	0.032	0.046	0.020
18	19/09/07	ผลผลิต	16.8	37.23	27.07	2.71	451.27	417.98	12.32	4.95	0.082	0.051	0.028	0.036	0.023
19	20/09/07		16.4	113.26	8.69	0.87	287.62	0.00	9.90	4.83	0.069	0.042	0.027	0.036	0.018
20	05/10/07	ก่อนปลูก	25.6	774.35	1.98	0.20	227.95	0.00	11.15	7.55	0.061	0.033	0.021	0.029	0.014
21	09/10/07		16.8	266.00	3.79	0.38	244.03	0.00	8.56	4.95	0.051	0.036	0.021	0.029	0.018
		รวม-	387.60	-	-	-	6111.58	957.44	222.37	114.25	1.791	1.206	0.756	1.043	0.613
		เฉลี่ย	18.46	244.58	9.07	0.91	291.03	45.59	10.59	5.44	0.09	0.06	0.04	0.05	0.03

หมายเหตุ : ^{1/} คำนวณจากสูตร $KE_s = 210.3 + 89.0 \log I$

^{2/} คือ ปริมาณพลังงานจลน์ที่เกิดจากฝนที่มีอัตราหนักเบาสูงกว่า 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

^{3/} คือ ผลคูณของพลังงานของฝนที่ตกในครั้งนั้น ๆ กับความหนักเบา 30 นาที สูงสุดที่เกิดขึ้นในฝนครั้งนั้น

^{4/} คำนวณจากปริมาณฝนคูณความหนักเบาของฝน

BS = แปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง, Maize = แปลงปลูกข้าวโพดแบบไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน

Maize+C = แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา, Soybean = แปลงปลูกถั่วเหลืองแบบไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน

Soybean+C = แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีน้ำฝนแบบต่าง ๆ วิธีที่ควรนำมาใช้ หรือเหมาะกับการนำมาใช้สำหรับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติมากที่สุด คือ ดัชนี KE_s เนื่องจาก ดัชนี KE_s แสดงให้เห็นอิทธิพลของฝนที่มีต่อปริมาณการสูญเสียดินได้อย่างเด่นชัดกว่าลักษณะอื่น ๆ ของฝน และถ้าเพิ่มปัจจัยเกี่ยวกับน้ำไหลบ่าหน้าดินเข้าไปด้วยทำให้สามารถคาดคะเนการสูญเสียดินได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน เป็นตัวการในการพัดพาอนุภาคดินที่ถูกเม็ดฝนกัดชะให้เคลื่อนย้ายออกไป จึงสามารถคาดคะเนปริมาณการสูญเสียดินได้ถูกต้องมากกว่าสมการที่ใช้ปัจจัยเกี่ยวกับน้ำฝนเพียงอย่างเดียว

สำหรับค่า EI_{30} , AI_m และค่า $KE > 1$ มีความสัมพันธ์ต่อการสูญเสียดินรองลงมา ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ดัชนีทั้งสามก็ให้ผลถูกต้องแม่นยำได้ในระดับดี แต่อาจต้องเพิ่มปัจจัยอื่น ๆ เพื่อให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นดัชนีพลังงานของน้ำฝนรูปแบบต่าง ๆ กับปริมาณการสูญเสียดินมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ถ้ามีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) สูงแสดงว่า การสูญเสียดินเกิดจากปัจจัยหลักสำคัญก็คือ น้ำฝน ซึ่งการใช้ดัชนีตัวใดเพื่อการประเมินปริมาณการสูญเสียดินนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่มี ลักษณะต่าง ๆ ของฝนที่นำไปใช้ และลักษณะพื้นที่เป็นต้น ฝนสตอร์มหนึ่ง ๆ (storm rainfall) ถึงแม้ว่ามีพลังงานรวมทั้งสตอร์มมากแต่มีความหนักเบาสูงสุดภายใน 30 นาทีต่ำ ก็มีดัชนี EI ต่ำไปด้วย เพราะฝนสตอร์มที่มีความหนักเบาดำเนิน แม้ฝนตกนานก็ไม่มีโอกาสทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินได้นั่นเอง การที่ค่าดัชนี EI มีอิทธิพลต่อการสูญเสียดินมากนั้น เนื่องมาจาก พลังงานของฝนทำให้ดินแตกแยกแล้วมาอุดรูดิน จนอัตราการซึมน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ฝนกำลังตกอยู่ ส่งผลให้มีน้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดขึ้นได้เร็วและมาก ถึงแม้ว่าดัชนีดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนอย่างมาก แต่เมื่อปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของดินที่ถูกทำให้แตกโดยเม็ดฝนก็ลดลง เพราะผิวหน้าน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวดินช่วยลดแรงตกระทบหน้าดินของเม็ดฝนด้วย ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การสูญเสียดินเฉลี่ยของทุกแปลงมีค่าน้อย

บริเวณหน่วยแผนที่ดินนี้ ส่วนใหญ่ยังไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก เนื่องจากมีความสูงชันจนเกินไป และเป็นดินตื้น หรือมีหินโผล่มาก นอกจากบางแห่งจะพบเป็นไร่เลื่อนลอย ไร่ร้าง ซึ่งจะมีการพังทลายของหน้าดินตามมาอย่างร้ายแรง บริเวณหน่วยแผนที่ดินนี้สมควรที่จะรักษาไว้เป็นป่าธรรมชาติเพื่อเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารของที่ราบลุ่มข้างล่าง หน่วยแผนที่ดินนี้ไม่เหมาะในการเพาะปลูก แต่ความเป็นจริงแล้วราษฎรได้เข้าไปทำการแผ้วถางทำลายป่า เผาป่า เพื่อปลูกข้าวไร่ และถั่วเหลือง ต่อมาผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควรจึงเปลี่ยนมาปลูกข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดแล้ว ได้มีปลูกถั่วเขียว และถั่วเหลืองสลับกันไป นอกจากนี้บางแห่งยังมีการทำเป็นสวนมะขามหวาน และสวนลำไย บางแห่งถูกทิ้งร้าง กลายเป็นไร่ร้าง ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินอย่างรุนแรง เมื่อเวลาผ่านไป หน้าดินถูกชะล้างพังทลายไปมาก ทำให้หน้าดินบาง บางแห่งมีหินโผล่ ไม่เหมาะแก่การเพาะปลูก เมื่อทำการทดลองเปิดเครื่องกำเนิดฝน และเก็บตะกอนดินจากแปลงทดลองน้ำไหลบ่าหน้าดิน เมื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการสูญเสียดิน จากสมการสูญเสียดินสากลพบว่า ปริมาณการสูญเสียดินมีค่าเท่ากับ 3.21 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ หรือ slight (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ดังตารางที่ 11

2.2 การประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดิน (C-factor)

จากการรวบรวมข้อมูลตะกอนดิน ในถังรองรับน้ำตะกอนจากแปลงทดลอง ได้แก่ แปลงว่างเปล่า ไถพรวนขึ้นลง แปลงปลูกข้าวโพด แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา แปลงปลูกถั่วเหลือง และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา ทำให้สามารถประเมิน C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ ได้ดังตารางที่ 15

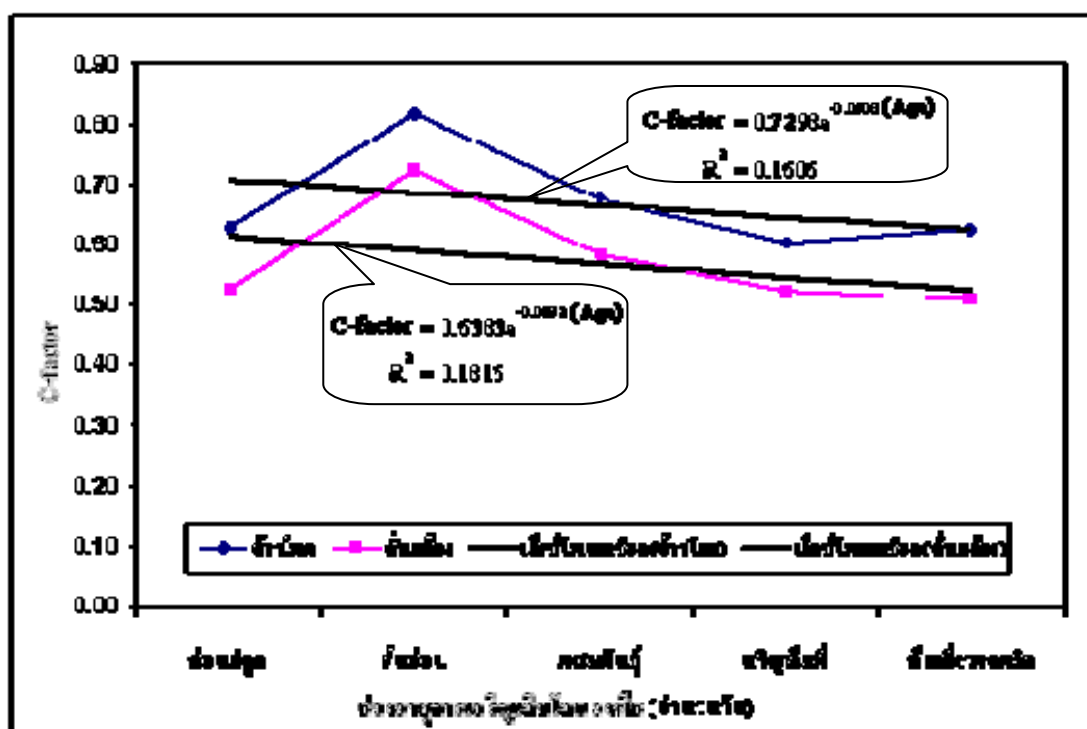
ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ย C-factor และ CP-factor ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการเจริญเติบโต ของพืช	C-factor		CP-factor	
	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง
ก่อนปลูก	0.63	0.53	0.38	0.29
ต้นอ่อน	0.82	0.72	0.56	0.50
ผสมพันธุ์	0.67	0.58	0.43	0.35
เจริญเต็มที่	0.60	0.52	0.36	0.28
เก็บเกี่ยวผลผลิต	0.63	0.51	0.38	0.27
เฉลี่ย	0.67	0.57	0.42	0.34

2.2.1 C-factor ของข้าวโพด

C-factor เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดเท่ากับ 0.67 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.82 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.60 ในระยะเจริญเต็มที่ (ตารางที่ 15) ซึ่งจะเห็นได้ว่า C-factor ของข้าวโพดในระยะก่อนปลูกมีค่าน้อยกว่าระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ เนื่องจากเป็นช่วงก่อนทำการเกษตรกรรม การศึกษาในครั้งนี้ได้สร้างแปลงสำหรับปลูกข้าวโพดที่ไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินไว้โดยไม่ทำการไถพรวน หรือขุดเพื่อทำการเปิดหน้าดิน โดยวิธีการใด ๆ เนื่องจากได้ทำการปลูกข้าวโพดแบบหยอดหลุม ทำให้การรบกวนหน้าดินมีไม่มากนัก เมื่อฝนตกลงมาในแต่ละครั้งด้วยพลังงานจลน์ที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปิดเครื่องกำเนิดฝนในทุกกระยะ ทำให้เม็ดฝนที่ตกกระทบผิวดินมีพลังงานมาก เนื่องจากกระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝนตามธรรมชาติกับพื้นผิวดินอยู่หากันมากกว่าระยะห่างในการติดตั้งหัวฉีดของเครื่องกำเนิดฝนกับพื้นดินซึ่งอยู่ห่างกันไม่มากนัก เมื่อเม็ดฝนตกกระทบผิวดินจึงเกิดการแตกกระจายของอนุภาคดินมากกว่าการเปิดเครื่องกำเนิดฝน จึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียดินมากกว่าการเปิดเครื่องกำเนิดฝน และเกิดการสูญเสียดินมากกว่าระยะอื่น ๆ โดยเฉพาะในระยะต้นอ่อนซึ่งเป็นช่วงที่มีการเตรียมดิน เพื่อการเกษตรกรรม เช่น การไถพรวน การขุดทำร่อง และการจัดการพืช ทำให้หน้าดินถูกรบกวนเป็นอย่างมาก และมีการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินโดยการใส่ปุ๋ยบำรุงดินทุกแปลง ส่งผลให้มีการสูญเสียดินมากกว่าระยะอื่น นอกจากนี้ ความสามารถในการปกคลุมดินของข้าวโพดยังมีน้อยมาก เนื่องจากมีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 107 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 90 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 8 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 60 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 12 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 53 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำ เมื่อฝนตกลงมาในระยะต้นอ่อนนี้ C-factor ของข้าวโพด มีค่าสูงสุด และลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเจริญเต็มที่ ซึ่งเป็นระยะที่ C-factor มีค่าต่ำสุด เนื่องจากในระยะนี้เป็นระยะที่สรีรวิทยาของข้าวโพดเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งได้ผ่านระยะผสมพันธุ์เมื่อผสมเกสรแล้ว รังไข่เจริญเป็นเมล็ดอ่อน และ แก่ตามลำดับ เป็นระยะที่ฝักโตเต็มที่ เมล็ดเจริญเต็มที่ และแห้งในที่สุด ทำให้ความสามารถในการปกป้องคลุมดินมีมากที่สุดตลอดช่วงอายุของข้าวโพด นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับแปลงปลูกข้าวโพดมีน้อยลง ส่งผลให้การรบกวนหน้าดินเกิดขึ้นน้อยมาก อีกทั้งพืชมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกมากที่สุด ในระยะนี้ข้าวโพดจึงมีความสามารถในการปกคลุมดินได้มากที่สุด ดังนั้น C-factor ในระยะนี้จึงมีค่าน้อยที่สุด ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียดินมากที่สุด ทำให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูงสุด ทำให้ค่าการสูญเสียดินน้อยที่สุด หลังจากนั้นในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของการเพาะปลูก

และช่วงเวลาดังกล่าวยังมีฝนตกจริงตามธรรมชาติ ซึ่งในระยะนี้เป็นช่วงที่ฝักสดของข้าวโพดมีไหมออกจากฝักได้ประมาณ 15-20 วัน ไหมมีสีดำเปลือกหุ้มฝักจะบวม และเป็นสีเหลืองอ่อน ในระยะนี้ได้ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปก่อน ช่วงที่เข้าไปเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดนั้น ได้ทำการเหยียบย่ำเข้าไปในแปลง ซึ่งเป็นการรบกวนหน้าดิน ทำให้เกิดการสูญเสียดินมากขึ้น C-factor ที่ได้จึงมีค่ามากกว่าระยะเจริญเต็มที่แล้วเล็กน้อย เนื่องจากยังมีเศษซาก และต่อซังของข้าวโพด ทำหน้าที่ปกป้องคลุมดินอยู่บางส่วน จึงทำให้การชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นไม่มากนักและประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินยังมีอยู่มาก C-factor ที่ได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้จึงมีค่าน้อยกว่าในระยะก่อนปลูก ระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 C-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

2.2.2 C-factor ของถั่วเหลือง

C-factor เหลือตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเท่ากับ 0.57 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.72 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.51 ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 15) จะเห็นได้ว่า C-factor ของถั่วเหลืองในระยะก่อนปลูกมีค่าเท่ากับ 0.53 ซึ่งน้อยกว่า C-factor ในระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า C-factor มีค่าสูงสุดในระยะก่อนปลูก และลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่พืชเจริญเติบโตขึ้น จนถึงระยะที่พืชเจริญเต็มที่ C-factor จะมีค่าต่ำสุด แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ C-factor ในระยะก่อนปลูกน้อยกว่าระยะต้นอ่อน เนื่องจาก เหตุผลเหมือนกับ C-factor ของถั่วเหลืองจากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน นอกจากนี้ ความสามารถในการปกคลุมดินของถั่วเหลืองในระยะต้นอ่อนยังมีน้อยมาก เนื่องจากสรีรวิทยาของถั่วเหลืองยังไม่สมบูรณ์ มีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 30 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 20 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 3.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 6.0 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 33 ใบต่อดัน และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 97 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเจริญเต็มที่ ในระยะนี้เป็นระยะที่สรีรวิทยาของถั่วเหลืองเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งมีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 67 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 43 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 7.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 13 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 45 ใบต่อดัน และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 111 ต้นต่อแปลง ซึ่งเป็นระยะที่ผ่านการผสมพันธุ์มาแล้ว รังไข่เจริญเป็นเมล็ดอ่อน และ แก่ ตามลำดับ เป็นระยะที่ฝักโตเต็มที่ เมล็ดเจริญเต็มที่ และแห้งในที่สุด ทำให้ความสามารถในการปกป้องคลุมดินมีมากกว่าระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ นอกจากนี้กิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับแปลงปลูกถั่วเหลืองมีน้อยลง ส่งผลให้การรบกวนหน้าดินเกิดขึ้นน้อยมาก อีกทั้งพืชมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาวะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกมากที่สุดอีกด้วย ดังนั้น C-factor ในระยะนี้จึงมีค่าน้อยกว่าระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ สำหรับระยะต้นอ่อนที่มีค่า C-factor สูงที่สุดนั้น เนื่องมาจากเหตุผลต่าง ๆ ข้างต้นทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูง เกิดการชะล้างพังทลายของดินต่ำ ทำให้ค่าการสูญเสียดินน้อย หลังจากนั้น C-factor ของถั่วเหลืองมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งเป็นระยะที่ C-factor มีค่าต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.51 (ตารางที่ 15) เนื่องจาก ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้เป็นช่วงที่ต้องผลผลิตถั่วเหลือง ดังนั้นจึงทำการเก็บเกี่ยวเฉพาะฝักของถั่วเหลืองออกไป เหลือเศษซากลำต้น กิ่ง ก้าน ใบ และรากไว้ ขณะที่เข้าไปเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองนั้นได้ทำการเหยียบย่ำเข้าไปในแปลงด้วย ซึ่งเป็นการรบกวนหน้าดิน ทำให้เกิดการสูญเสียดินมากขึ้น C-factor ที่ได้จึงมีค่ามากกว่าระยะเจริญเต็มที่เล็กน้อย เนื่องจากยังมีเศษซากของลำต้น ราก กิ่ง ก้าน และใบของถั่วเหลืองหลงเหลืออยู่ อีกทั้งมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง

อนุภาคดิน และเนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนให้กับดิน ทำให้ดินร่วนซุยเพิ่มประสิทธิภาพในการซึมซับน้ำของดิน ส่งผลให้น้ำมีช่องว่างและซึมลงได้ดินได้มากขึ้น เมื่อปลูกถั่วเหลืองหรือพืชตระกูลถั่วในพื้นที่นี้เป็นระยะเวลานาน จะทำให้ชั้นหน้าดินที่ตื้นนี้สึกกร่อนลงสามารถทำการเกษตรได้ดีขึ้น ในระยะนี้เศษซากของถั่วเหลืองทำหน้าที่ปกป้องคลุมดินได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นไม่มากนัก และประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินมีอยู่มาก C-factor ที่ได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้จึงมีค่าน้อยกว่าในระยะเจริญเต็มที่ในระยะก่อนปลูก ระยะผสมพันธุ์ และระยะต้นอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 12

จากภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่ามากกว่า C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลืองทุกช่วงอายุของพืช แสดงว่า ถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าข้าวโพดในทุกช่วงการเจริญเติบโต และพืชทั้งสองชนิดมีความสามารถในการปกคลุมดินได้ดีขึ้นเมื่อพืชเจริญเติบโตขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rao (1981) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

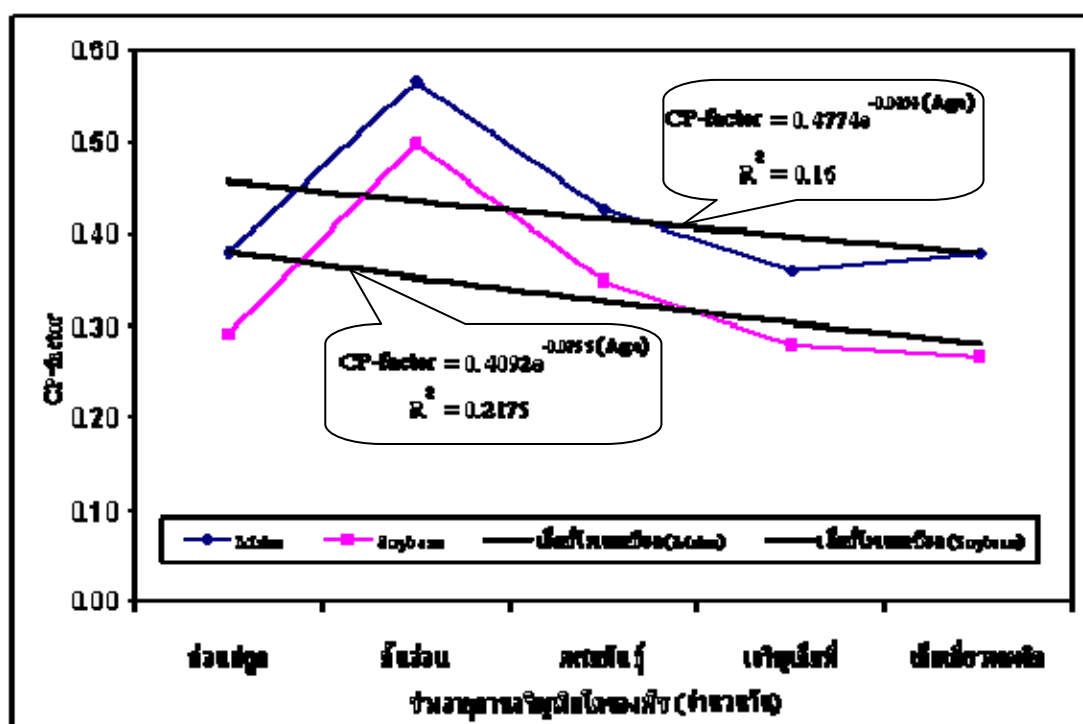
2.3 การประเมินค่าดัชนีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor)

การประเมินค่า CP-factor จากแผนที่ตกจริงตามธรรมชาติ โดยการรวบรวมข้อมูลตะกอนดินจากแปลงทดลองน้ำไหลบ่าหน้าดิน เพื่อให้ได้ CP-factor ที่แท้จริงของข้าวโพด และถั่วเหลือง ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ เพื่อนำไปคำนวณค่าการสูญเสียดินในสมการสูญเสียดินสากลอย่างถูกต้องและแม่นยำต่อไป

2.3.1 CP-factor ของข้าวโพด

CP-factor เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดเท่ากับ 0.42 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.56 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.38 ในระยะก่อนปลูก และระยะเจริญเต็มที่ (ตารางที่ 15) จะเห็นได้ว่า CP-factor ของข้าวโพดมีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนและลดลงเรื่อยๆ จนถึงระยะเจริญเต็มที่แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต และระยะก่อนปลูก สังเกตได้ว่า CP-factor ของข้าวโพดในระยะก่อนปลูกมีค่าน้อยกว่าระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ซึ่งเป็นค่าแนวโน้มที่คลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีที่ว่าระยะก่อนปลูกต้องมีค่าสูงที่สุดนั้นเนื่องจากก่อนทำการเกษตรกรรมต่างๆ ได้สร้างแปลงสำหรับปลูกข้าวโพดที่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินไว้เพื่อ

ทำการปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา แต่ในระยะนี้ได้สร้างมาตรการดังกล่าวไว้ก่อนฤดูฝนที่ฝนธรรมชาติจะตก และฝนที่ตกลงมามีปริมาณไม่มากนัก และความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.07 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าความหนักเบาของฝนที่ต่ำกว่าการเปิดเครื่องกำเนิดฝนอยู่มาก ทำให้มีดัชนี EI ต่ำ อย่างไรก็ตาม ดัชนีดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนอย่างมาก แต่เมื่อปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของดินที่ถูกทำให้แตกโดยเม็ดฝนก็ลดลง เพราะผิวหน้าน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวดินช่วยลดแรงตกกระทบหน้าดินของเม็ดฝนด้วย จึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียดินน้อยกว่าในระยะอื่น ๆ โดยเฉพาะในระยะต้นอ่อน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเตรียมดินเพื่อการเกษตรกรรม เช่น การไถพรวน การขุดทำร่อง และการจัดการพืช ทำให้หน้าดินถูกรบกวนเป็นอย่างมาก และมีการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน โดยการใส่ปุ๋ยบำรุงดินทุกแปลง ส่งผลให้มีการสูญเสียดินมากกว่าระยะอื่น นอกจากนี้ ความสามารถในการปกคลุมดินของข้าวโพดยังมีน้อยมาก เนื่องจากมีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 107 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 90 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 8 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 60 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 12 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 53 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำ เมื่อฝนตกในระยะต้นอ่อนนี้ เกิดการชะล้างพังทลาย และเกิดการสูญเสียดินมากที่สุด จึงทำให้ CP-factor ของข้าวโพด มีค่าสูงที่สุดในระยะนี้ และ ลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งเป็นระยะที่ CP-factor มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากในระยะนี้เป็นช่วงที่ฝักสดของข้าวโพดมีไหมออกจากฝักได้ประมาณ 15-20 วัน ไหมมีสีดำ เปลือกหุ้มฝักจะบวม และเป็นสีเหลืองอ่อน ในระยะนี้ได้ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไป และในช่วงที่เข้าไปเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดนั้นได้ทำการเหยียบย่ำเข้าไปในแปลง ซึ่งเป็นการรบกวนหน้าดิน ทำให้เกิดการสูญเสียดินมากขึ้น CP-factor ที่ได้จึงมีค่ามากกว่าระยะเจริญเต็มที่เล็กน้อย เนื่องจากยังมีเศษซาก และตอซังของข้าวโพด ทำหน้าที่ปกป้องคลุมดินอยู่บางส่วน จึงทำให้การชะล้างพังทลายของดินเกิดขึ้นไม่มากนักและประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินยังมีอยู่มาก CP-factor ที่ได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้จึงมีค่าน้อยกว่าในระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 CP-factor เฉลี่ยในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากพื้นที่ตก
จริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

2.3.2 CP-factor ของถั่วเหลือง

CP-factor เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเท่ากับ 0.34 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.50 ในระยะต้นอ่อน และต่ำสุดเท่ากับ 0.27 ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 15) จะเห็นได้ว่า CP-factor ของถั่วเหลืองมีค่าสูงสุดในระยะต้นอ่อนและลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต สังเกตได้ว่า CP-factor ของถั่วเหลือง ในระยะก่อนปลูกมีค่าต่ำกว่าระยะต้นอ่อน และระยะผสมพันธุ์ ซึ่งเป็นค่าแนวโน้มที่คลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎี ที่ว่าระยะก่อนปลูกต้องมีความสูงที่สุดและ CP-factor จะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเจริญเต็มที่ CP-factor จะมีค่าต่ำสุดนั้น เนื่องจาก ก่อนทำการเกษตรกรรมต่าง ๆ ได้สร้างแปลงสำหรับปลูกถั่วเหลืองที่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินไว้เพื่อทำการปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา แต่ในระยะนี้ได้สร้างมาตรการดังกล่าวไว้ก่อนที่ฝนจะตก เมื่อมีฝนจริงตกลงมาซึ่งมีปริมาณของน้ำฝนไม่มากนัก และความหนักเบาสูงสุดในช่วงเวลา 30 นาทีต่ำ ทำให้มีดัชนี EI ต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม ดัชนีดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนอย่าง

มาก แต่เมื่อปริมาณของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของดินที่ถูกทำให้แตกโดยเม็ดฝนก็ลดลง เพราะผิวหน้าน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวดินช่วยลดแรงตกกระทบหน้าดินของเม็ดฝนด้วย จึงเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และเกิดการสูญเสียน้อยกว่าในระยะอื่น ๆ โดยเฉพาะในระยะต้นอ่อน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเตรียมดิน เพื่อการเกษตรกรรม เช่น การไถพรวน การขุดทำร่อง และการจัดการวัชพืช ทำให้หน้าดินถูกรบกวนเป็นอย่างมาก ส่งผลให้มีการสูญเสียน้อยกว่าระยะอื่น นอกจากนี้ความสามารถในการปกคลุมดินของถั่วเหลืองยังมีน้อยมาก เนื่องจาก สรีรวิทยาของถั่วเหลืองยังไม่สมบูรณ์ มีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 30 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 20 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 3.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 6.0 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 33 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 97 ต้นต่อแปลง CP-factor ของถั่วเหลืองมีค่าสูงสุดในระยะนี้ ถึงแม้ว่ามีการทำมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินโดยการปลูกพืชตามแนวระดับขอบเขากก็ตาม เนื่องจากในระยะแรกเริ่มของการทำมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้เป็นอย่างดี ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินต่ำเมื่อฝนตกในระยะต้นอ่อน จึงเกิดการชะล้างพังทลาย และเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในระยะผสมพันธุ์จนถึงระยะเจริญเต็มที่ ขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 45 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้างเฉลี่ย 40 เซนติเมตร ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 4.5 เซนติเมตร ขนาดใบยาวเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ย 37 ใบต่อต้น และมีจำนวนต้นเฉลี่ย 233 ต้นต่อแปลง ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะต้นอ่อนถึงตั้งตัวได้ และเมื่อพิจารณาในระยะเก็บเกี่ยว ผลผลิตซึ่งในระยะนี้ถั่วเหลืองมีความสามารถในการปกป้องคลุมดินได้มากที่สุด เนื่องจาก สรีรวิทยาของถั่วเหลืองหลังระยะเจริญเต็มที่นั้น ความสูงของต้น รวมทั้งการเจริญเติบโตทางด้านข้างต่าง ๆ ลดลง ทำให้ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ถูกลงแนบกับพื้นผิวดิน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการปกคลุมดินอย่างหนึ่ง นอกจากนี้ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วยังเหลือซากลำต้น ราก และใบของถั่วเหลืองที่จะทำหน้าที่ปกคลุมดินต่อไประยะหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปซากต่าง ๆ ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยบำรุงดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินในบริเวณที่ปลูกถั่วเหลือง เป็นอีกปรากฏการณ์หนึ่งในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน มีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินสูงที่สุด ทำให้ CP-factor ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าต่ำสุด ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน และการสูญเสียน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 13

จากภาพที่ 13 จะเห็นได้ว่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่ามากกว่า CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลืองทุกช่วงอายุของพืช แสดงว่าถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุมได้ดีกว่าข้าวโพดในทุกช่วงการเจริญเติบโต และพืชทั้งสองชนิดมีความสามารถในการปกคลุมดินได้ดีขึ้นเมื่อพืชเจริญเติบโตขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ ชาตรี (2534) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

3. เปรียบเทียบ C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง ระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ

จากการประเมินค่า C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลืองสามารถทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิด ได้ดังตารางที่ 16 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 16 C-factor และ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง ระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ บริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่

ระยะการ เจริญเติบโต ของพืช	เครื่องกำเนิดฝน				ฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ			
	C-factor		CP-factor		C-factor		CP-factor	
	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วเหลือง
ก่อนปลูก	0.63	0.56	0.43	0.30	0.63	0.53	0.38	0.29
ต้นอ่อน	0.87	0.80	0.75	0.68	0.82	0.72	0.56	0.50
ผสมพันธุ์	0.69	0.57	0.44	0.39	0.67	0.58	0.43	0.35
เจริญเต็มที่	0.60	0.52	0.41	0.32	0.60	0.52	0.36	0.28
เก็บเกี่ยว	0.62	0.54	0.42	0.27	0.63	0.51	0.38	0.27
เฉลี่ย	0.68	0.60	0.49	0.39	0.67	0.57	0.42	0.34

3.1 การเปรียบเทียบ C-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากการใช้เครื่องกำเนิดฝน

C-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในระยะต้นอ่อน กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 0.87 และ 0.80 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณตะกอนในระยะต้นอ่อนจนกระทั่งพืชตั้งตัวได้มีปริมาณมากที่สุด ทำให้ประเมินค่า C-factor ได้สูงสุด และในระยะเจริญเต็มที่ C-factor มีค่าต่ำสุด ซึ่งในระยะดังกล่าวมีปริมาณตะกอนน้อยที่สุด ทำให้ประเมินค่า C-factor ได้ต่ำสุด โดยที่ C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 0.68 และค่า C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 0.60 จะเห็นได้ว่า ค่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าสูงกว่าค่า C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง เมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS พบว่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าแตกต่างจาก C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (sig. เท่ากับ 0.002) มีค่า CV (coefficient of variance) เท่ากับ 16.18 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรมีค่าน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ความผันแปรสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย ทำให้ไม่เปลี่ยนแปลงง่าย ในการวางแผนการทดลอง ขนาดของการทดลองนี้ให้ความแม่นยำสูง และได้ค่า F-test เท่ากับ 89.73

3.2 การเปรียบเทียบ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากการใช้เครื่องกำเนิดฝน

CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในระยะต้นอ่อน กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.68 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณตะกอนในระยะต้นอ่อนจนกระทั่งพืชตั้งตัวได้มีปริมาณมากที่สุด ทำให้ประเมินค่า CP-factor ได้สูงสุด สำหรับข้าวโพดในระยะเจริญเต็มที่ CP-factor มีค่าลดลง ซึ่งในระยะดังกล่าวมีปริมาณตะกอนน้อยลง ทำให้ประเมินค่า CP-factor ได้น้อยลง และมีค่าต่ำสุดในระยะนี้ แต่ค่า CP-factor ของถั่วเหลือง มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ค่า CP-factor มีค่าต่ำสุด เนื่องจาก ถั่วเหลืองมีความสามารถในการปกป้องคลุมดินได้ดีที่สุดเมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วลำต้นและใบจะโน้มลงติดกับพื้นดิน รวมทั้งการแผ่ปกคลุมดินของลำต้นและใบ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าระยะอื่น ๆ โดยที่ค่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 0.49 และค่า CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 0.39 จะเห็นได้ว่า ค่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่ามากกว่าค่า CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง เมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า ค่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (sig. เท่ากับ 0.005) มีค่า CV เท่ากับ 29.79 เปอร์เซ็นต์ และได้ค่า F-test เท่ากับ 55.16

3.3 การเปรียบเทียบ C-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ

C-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในระยะต้นอ่อน กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 0.82 และ 0.72 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณตะกอนในระยะต้นอ่อนจนกระทั่งพืชตั้งตัวได้มีปริมาณมากที่สุด ทำให้ประเมินค่า C-factor ได้สูงที่สุด และในระยะเจริญเต็มที่ C-factor มีค่าลดลง ซึ่งในระยะดังกล่าวมีปริมาณตะกอนน้อยลง ทำให้ประเมินค่า C-factor ได้น้อยลง และมีค่าต่ำสุดในระยะนี้ โดยที่ค่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 0.67 และค่า C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 0.57 จะเห็นได้ว่า ค่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าสูงกว่าค่า C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง เมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า ค่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (sig. เท่ากับ 0.002) มีค่า F-test เท่ากับ 101.63

3.4 การเปรียบเทียบ CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ

CP-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในระยะต้นอ่อน กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 0.56 และ 0.50 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณตะกอนในระยะต้นอ่อนจนกระทั่งพืชตั้งตัวได้มีปริมาณมากที่สุด ทำให้ประเมินค่า CP-factor ได้สูงสุด สำหรับข้าวโพดในระยะเจริญเต็มที่ CP-factor มีค่าลดลง ซึ่งในระยะดังกล่าวมีปริมาณตะกอนน้อยลง ทำให้ประเมินค่า CP-factor ได้น้อยลง และมีค่าต่ำสุดในระยะนี้ แต่ค่า CP-factor ของถั่วเหลือง มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ค่า CP-factor มีค่าต่ำสุด เนื่องจาก ถั่วเหลืองมีความสามารถในการปกป้องคลุมดินได้ดีที่สุดเมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วลำต้นและใบจะโน้มลงติดกับพื้นดิน รวมทั้งการแผ่ปกคลุมดินของลำต้นและใบ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าระยะอื่น ๆ โดยที่ค่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าเท่ากับ 0.42 และค่า CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 0.34 จะเห็นได้ว่า ค่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่ามากกว่าค่า CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง เมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า ค่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพดมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (sig. เท่ากับ 0.001) มีค่า CV เท่ากับ 19.28 เปอร์เซนต์ และได้ค่า F-test เท่ากับ 188.19

3.5 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกำเนิดฝนกับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ

จากตารางที่ 16 สามารถเปรียบเทียบค่า C-factor ของข้าวโพด และถั่วเหลือง ระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ กล่าวคือ C-factor ของข้าวโพดจากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน ไม่แตกต่างกันกับ C-factor ของข้าวโพดจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่า CV เท่ากับ 12.98 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ C-factor ของถั่วเหลืองจากการเปิดเครื่องกำเนิดฝนที่ไม่มีความแตกต่างกันกับ C-factor ของถั่วเหลืองจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่า CV เท่ากับ 15.26 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ CP-factor ของข้าวโพด ระหว่างการใช้เครื่องกำเนิดฝน กับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่า CV เท่ากับ 19.28 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ CP-factor ของถั่วเหลืองจากการเปิดเครื่องกำเนิดฝนที่ไม่มีความแตกต่างกันกับ CP-factor ของถั่วเหลืองจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า CV เท่ากับ 28.40 เปอร์เซ็นต์

3.6 การเปรียบเทียบระหว่างมีกับไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน

จากตารางที่ 16 สามารถเปรียบเทียบ ระหว่างมีกับไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินจากเครื่องกำเนิดฝน และฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ กล่าวคือ C-factor ของข้าวโพดจากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน มีความแตกต่างกันกับ CP-factor ของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นหมายความว่า แปลงปลูกข้าวโพดที่ไม่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงปลูกข้าวโพดที่มีมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา) เช่นเดียวกับ C-factor ของถั่วเหลืองที่มีความแตกต่างกันกับ CP-factor ของถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ สำหรับฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ C-factor ของข้าวโพด มีความแตกต่างกันกับ CP-factor ของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับ C-factor ของถั่วเหลืองที่มีความแตกต่างกันกับ CP-factor ของถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับ สุรัมย์ และคณะ (2523) ได้ทดลองเปรียบเทียบ 4 วิธีคือ ไถพรวนขึ้นลงและปล่อยทิ้งไว้ ไถพรวนขึ้นลงแล้วปลูกข้าวโพดสองครั้งติดต่อกัน ไถขวางความลาดเทแล้วปลูกข้าวโพดสองครั้งติดต่อกัน และ ไถขวางความลาดเท แล้วปลูกข้าวโพดตามด้วยถั่วเขียว พบว่า มีการสูญเสียดิน 44.38, 31.25, 26.25 และ 17.50 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลดีของการไถขวางความลาดเท และการปลูกพืชที่คลุมดินได้แน่นทึบ เช่น ถั่วเขียวนั่นเอง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน และค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม ในสมการสูญเสียดินสากล โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ โดยรวบรวมข้อมูลจากแปลงทดลองการสูญเสียดินที่สร้างขึ้นในปี 2550 จำนวน 15 แปลง มีความลาดชันของพื้นที่ 15 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาค่าดัชนี C-factor และค่าดัชนี CP-factor ในพื้นที่ รวมทั้งการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินแต่ละแปลงกับดัชนีพลังงานจลน์ของฝนวิธีต่าง ๆ โดยการเปิดเครื่องกำเนิดฝน และจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ มีผลการศึกษาพอสรุปได้ ดังนี้

1. ค่าดัชนีพลังงานจลน์ของฝน ที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน ในปี 2550 จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน มีผลรวมทั้งหมด 766.43 เมตร-ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี จากฝนที่ตกและมีผลทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน จำนวน 5 สตอร์ม คิดเป็นปริมาณน้ำฝน 285.44 มิลลิเมตร และค่าปัจจัยจากน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดิน (R-factor) มีค่าเท่ากับ 136.06 เมตร-ตันต่อเฮกแตร์ มีความหนักเบาของฝนเฉลี่ย เท่ากับ 90.83 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับค่าดัชนีพลังงานจลน์ของฝน ที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน ในปี 2550 จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ มีผลรวม ทั้งหมด 222.37 เมตร-ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี จากฝนที่ตกและมีผลทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน จำนวน 21 สตอร์ม คิดเป็นปริมาณน้ำฝน 387.60 มิลลิเมตร และค่าปัจจัยจากน้ำฝนที่ก่อให้เกิดการสูญเสียดิน (R-factor) มีค่าเท่ากับ 117.84 เมตร-ตันต่อเฮกแตร์ มีความหนักเบาของฝนเฉลี่ย เท่ากับ 9.07 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

2. การสูญเสียดินจากแปลงทดลองต่าง ๆ โดยการเปิดเครื่องกำเนิดฝน พบว่าแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลง มีการสูญเสียดินมากที่สุด รองลงไปได้แก่ แปลงปลูกข้าวโพด แปลงปลูกถั่วเหลือง แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา ตามลำดับ กล่าวคือมีการสูญเสียดินไป 0.15, 0.10, 0.09, 0.08 และ 0.06 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี สำหรับการสูญเสียดินจากแปลงทดลองต่าง ๆ จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ พบว่าแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้นลง มีการสูญเสียดินมากที่สุด รองลงไปได้แก่ แปลงปลูกข้าวโพด แปลงปลูกถั่วเหลือง

แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา และแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขาเช่นกัน กล่าวคือมีการสูญเสียดินไป 0.09, 0.06, 0.05, 0.04 และ 0.03 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ

3. ดัชนีของพืชคลุมดิน (C-factor) สามารถประเมินค่าดัชนีของพืชคลุมดิน 2 ชนิด คือ ข้าวโพด และถั่วเหลือง ตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช 5 ระยะ ได้แก่ ระยะต้นอ่อน ระยะผสมพันธุ์ ระยะเจริญเต็มที่ ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต และระยะก่อนปลูก จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน พบว่า C-factor เฉลี่ยของข้าวโพด มีค่าเท่ากับ 0.87, 0.69, 0.60, 0.62 และ 0.63 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.68 และ C-factor จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 0.82, 0.67, 0.60, 0.63 และ 0.63 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.67 สำหรับ C-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ประเมินได้จากแปลงทดลองโดยการเปิดเครื่องกำเนิดฝน มีค่าเท่ากับ 0.80, 0.57, 0.52, 0.54 และ 0.56 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.60 และ C-factor จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 0.72, 0.58, 0.52, 0.51 และ 0.53 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.57

4. ดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม (CP-factor) สามารถประเมินค่าดัชนีของมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินร่วมกับพืชปกคลุม 2 ชนิด คือ ข้าวโพด และถั่วเหลือง ตามช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช 5 ระยะ ได้แก่ ระยะต้นอ่อน ระยะผสมพันธุ์ ระยะเจริญเต็มที่ ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต และระยะก่อนปลูก จากการเปิดเครื่องกำเนิดฝน พบว่า CP-factor เฉลี่ยของข้าวโพด มีค่าเท่ากับ 0.75, 0.44, 0.41, 0.42 และ 0.43 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.49 และ CP-factor จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 0.56, 0.43, 0.36, 0.38 และ 0.38 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.42 สำหรับ CP-factor เฉลี่ยของถั่วเหลือง ที่ประเมินได้จากแปลงทดลองโดยการเปิดเครื่องกำเนิดฝน มีค่าเท่ากับ 0.68, 0.39, 0.32, 0.27 และ 0.30 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.39 และ CP-factor จากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 0.50, 0.35, 0.28, 0.27 และ 0.29 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.34 ซึ่งพืชทั้งสองชนิดมีค่า C-factor และ CP-factor ลดลงเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว นั่นคือ ข้าวโพด และถั่วเหลืองมีความสามารถในการป้องกันการสูญเสียดินได้มากขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของพืช และถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าข้าวโพดในทุกช่วงการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hamilton and King

(1983) ที่สรุปว่า การป้องกันการชะล้างพังทลายของดินที่ดีที่สุดนั้น ดินควรมีการปกคลุมของเรือนยอดของพืชพรรณตลอดเวลา

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะบางประการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้พอสรุปได้ ดังนี้

1. ควรทำการศึกษาการสูญเสียน้ำจากแปลงทดลองน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มเติมโดยการใช้เครื่องกำเนิดฝน เพื่อจะได้ทราบว่า น้ำไหลบ่าหน้าดิน มีอิทธิพลต่อการก่อให้เกิดการสูญเสียดิน จากกระบวนการชะล้างพังทลายของดินได้มากหรือน้อยกว่าอิทธิพลที่เกิดจากพลังชะล้างพังทลายของฝน
2. ในแต่ละพื้นที่ควรมีการประเมินค่า C-factor และ CP-factor เพื่อเป็นค่าเฉพาะของพืชแต่ละชนิดในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากค่า C-factor และ CP-factor ที่ได้จะแตกต่างกันไป ถึงแม้จะเป็นช่วงเวลาเดียวกันของปี ทั้งนี้เพราะการตกของฝนมีความหนักเบาแตกต่างกัน การกำหนดค่า C-factor และ CP-factor ของพืชชนิดใดชนิดหนึ่งในแต่ละท้องที่ จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการตก และการกระจายของฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบปีหนึ่ง ๆ ของแต่ละท้องที่ และรู้ถึงประสิทธิภาพของพืชชนิดนั้น ๆ ตลอดจนเศษซากสิ่งเน่าเปื่อยผุพังที่คลุมดินอยู่ รวมทั้งลักษณะการปฏิบัติการปลูกพืชต่อการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินด้วย
3. ควรส่งเสริมให้ราษฎรที่ขึ้นไปทำการเกษตรบริเวณลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร่องกวาง จังหวัดแพร่ ทำมาตรการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินโดยการปลูกข้าวโพด และถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา แทนการปลูกแบบดั้งเดิม เนื่องจากวิธีการดังกล่าวช่วยให้เกิดการสูญเสียดินน้อยกว่าการปลูกแบบเดิม คือการปลูกข้าวโพด และถั่วเหลืองโดยปราศจากมาตรการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2525. การประเมินการสูญเสียดินในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กัลยาณี ดอนสกุล, ประเดิมชัย แสงคู่วงศ์ และ สมาน รวยสูงเนิน. 2527. ปริมาณตะกอนและน้ำไหล
บ่าหน้าดินจากพื้นที่เกษตรกรรม บริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาดินน้ำแม่กลอง กาญจนบุรี. ฝ่าย
วิจัยกองอนุรักษ์ดินน้ำ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2525. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว และ นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2525. หลักปฏิบัติในการจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว, ปรีชา คูรัตน์, สามัคคี บุญยะวัฒน์, ปรีชา ธรรมานนท์ และ นฤตย์ พันธุ์บุรณะ. 2519.
การสูญเสียดินและน้ำ บริเวณป่าแม่หวด ลำปาง. การวิจัยลุ่มน้ำที่ห้วยคอกม้า เล่มที่ 28.
ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจนจิรา จรูญกิจถาวร. 2542. การสูญเสียดินและน้ำภายหลังการปลูกหญ้าแฝกร่วมกับสวนป่าบริเวณ
พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ถาง อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาติรี มากนวล. 2534. การประมาณค่าประสิทธิภาพการควบคุมการพังทลายของดินในสมการการ
สูญเสียดินสากลของสวนป่าไม้โตเร็วอายุ 7 ปี บนชั้นบันไดดิน บริเวณสถานีเกษตรหลวงอ่าง
ขาง เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ ตั้งธรรม, เกษม จันทรแก้ว และ สุรเชษฐ์ อังกุลภักดีกุล. 2515. น้ำไหลป่าหน้าดินและตะกอนจากป่าธรรมชาติและไร่ร้าง บริเวณลุ่มน้ำบนภูเขา. บันทึกวิจัย ฉบับที่ 10 สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ดอยปู่ เชียงใหม่. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2526. การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน ตอนที่ 2: กรรมวิธีในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2527. การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

_____. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิวัติ เรืองพานิช. 2514. ความหนาแน่นของเรือนยอดต้นไม้ที่มีผลต่อการสูญเสียดินและน้ำ การวิจัยลุ่มน้ำที่ห้วยคอกม้า เล่มที่ 7. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์. 2536. การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียดินระหว่างสมการสูญเสียดินสากล (USLE) กับแปลงทดลองในพื้นที่ลุ่มน้ำนาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

พรชัย ปรีชาปัญญา. 2527. การสูญเสียดินและน้ำจากการประยุกต์ระบบวนเกษตร : กรณีศึกษาเฉพาะกรณีการทำสวนกาแฟในป่าดิบเขาที่ดอยปู่ เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เรือง จันทรมหเสถียร. 2529. การสูญเสียดินและน้ำจากการปลูกป่าบนชั้นดินบริเวณดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันชัย วรรณันท์. 2524. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การควบคุมการพังทลายของดินที่ใช้ในสมการการสูญเสียดินสากลของป่าดิบเขา คอยปุย เชียงใหม่. ปัญหาพิเศษการจัดการลุ่มน้ำ ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระชาติ เทพพิพิธ. 2528. การใช้แปลงทดลองขนาดเล็กหาดัชนีการพังทลายและประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายตะกอนของป่าดิบเขา-คอยปุย เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กษิชาติ วรรณนะประทีป. 2525. ผลการทดลองหาค่าการสูญเสียดินและปริมาณน้ำไหลบ่าโดยใช้สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่โครงการทดลองจัดการลุ่มน้ำแม่สา พ.ศ. 2522- 2524. น. 263-271. ใน รายงานการประชุมอนุรักษ์ดินและน้ำแห่งชาติ พ.ศ. 2525, ชลบุรี.

สมเจตน์ จันทวัฒน์. 2522. การอนุรักษ์ดินและน้ำ เล่ม 1: การพังทลายของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2526. การอนุรักษ์ดินและน้ำ เล่ม 2: หลักการอนุรักษ์ดินและน้ำ. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมยศ กิจคำ. 2521. การอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่ภูเขา. โครงการจัดการลุ่มน้ำแม่สา กองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____. 2529. การอนุรักษ์ดินเพื่อการจัดการลุ่มน้ำบนที่สูง. สำนักงานป่าไม้จังหวัดเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สุชัย ปลัดสงคราม, วิรัช บัวคาและวินัส เจริญรุ่งรัตน์. 2523. การศึกษาการถูกชะล้างของดินบางชนิดที่เกิดจากความยาวของพื้นที่ลาดเทต่าง ๆ กัน. น. 79-83. ใน รายงานวิชาการประจำปี 2523. กองอนุรักษ์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ศุภมิตร จารุญญลักษณ์. 2539. การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงปลูกพืชระบบวนเกษตร บริเวณพื้นที่
ลุ่มน้ำภูเวียง อำเภอกุเวียง จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิรักษ์ ขอพร. 2538. ประสิทธิภาพของมาตรการการอนุรักษ์ดินและน้ำรูปแบบต่างๆ บนพื้นที่ลาด
เขา บริเวณโครงการทดลองจัดการลุ่มน้ำแม่สา จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Baver, L.D. 1965. **Soil Physics**. 3rd ed., John Wiley and Sons, In New York.

Bubenzer, G.D. 1979. **Inventory of Rainfall Simulators**. pp. 120-13. In Proceedings of the
Rainfall Simulator Workshop, Tucson Arizona, March 7-9, 1979. U.S. Department of
Agriculture Science and Education Administration Agricultural Reviews and Manuals.
ARM-W-10/July 1979.

De Ploey, J.E. 1983. **Rainfall Simulation, Runoff and Soil Erosion**. Catena Supp. 4,
Braunschweig.

Goor, A.Y. and C.W. Barney. 1968. **Forest Tree Planting in Arid Zones**. Ronald Press Co, New
York.

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

Hamilton, L.S. and P.N. King. 1983. **Tropical Forest Watershed: Hydraulic and Soils Response
to Major Uses or conservation**. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado.

- Hatch, T. 1981. Preliminary Results of Soil Erosion and Conservation Trails under Peper (Piper nigrum) in Sarawak, Malasia, pp. 225-262. In R.P.C. Morgan, ed. **Soil Conservation : Problems and Prospects**. John Wiley and Sons, Chichester.
- Hudson, N.W. 1971. **Soil Conservation**. Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Jantawat, S. 1977. **Erodibility of some Michigan Soils**. Ph.D. thesis, Michigan State University.
- Kinnel, P.I.A. 1991. **The Effect of Flow Depth on Sediment Transport Induced by Raindrops Impacting Shallow Flows**. Trans. Of ASAE 34 (1): 161-168.
- Lal, R. 1976. **Soil Erosion on Alfisols in Western Nigeria, III: Effect of Rainfall Characteristics**. Geoderma. 16: 389-401.
- Laws, J. O. 1941. **Measurements of Fall Velocity of Water drop Sand Raindrops**. Transactions of American Geophysics Union. 22:709-721.
- Laws, J. O. and D. A. Parsons. 1943. **The Relationship of Raindrop-size to Intensity**. Transaction of American Geophysics Union. 24:452-459.
- Meyer, L. D. and D. L. McCune. 1958. **Rainfall Simulator for Runoff plots**. Agricultural Engineering:10 644-648.
- Meyer, L. D. and W. C. Harmon. 1979. **Multiple- Intensity Rainfall Simulator for Erosion Research on Row Side Slopes**. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 22:100-103.
- Monchanov, A.A. 1963. **The Hydrological Roles of Forests**. Israel program for Scientific Ltd., Jerusalem.

- Moore, Ian D., Michael Hirschi C. and Billy J. Barfield. 1983. **Kentucky rainfall simulator.** Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 23:1085-1089.
- Nord, J.C. 1991. **A laboratory Rain Chamber for Testing Rain Fastness of Insecticide Deposits.** J. Entomol. Soc. Vol. 26, (1991): 267 - 270.
- Raghuvir, A.Y. and S.S. Sajwan. 1971. **Estimation of Runoff from Different Watershed Characteristics.** Agr. Consolidated Report of Soil Conservation Research Demonstration and Training Centers, Dehradun.
- Rao, Y.P. 1981. **Evaluation of Cropping Management in Universal Soil Loss Equation under Natural Rainfall Conditions of Kharagpur, India. South-East Asian Regional Symposium on PROBLEMS OF SOIL EROSION AND SEDIMENTATION,** pp. 241-253. In Organized by AIT., Bangkok,
- Rhoades, E.D., Welch N.H. and G.A. Coleman. 1975. **Sediment-Yield Characteristics from Unit Source Watersheds,** pp. 125-129. In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. Proceedings of the Sediment-Yield Workshop, USDA Sedimentation Lab., Oxford, Mississippi, Nov. 28-30, 1972. ARS-S-40, USD partment of Agriculture.
- Roose, E.J. 1977. Use of the Universal Soil loss Equation to Predict Erosion in West Africa, pp. 60-74. In G.R. Forter, ed. **Soil Erosion : Prediction and Control.** Soil Conservation, Society of America.
- Ruangpanit, N. 1971. **Effect of Crown Cover on Surface Runoff and Soil Erosion in Hill Evergreen Forest.** Master's Thesis, Kasetsart University.
- Satterlund, D.R. 1972. **Wild land Watershed Management.** Ronald Press Co. New York.

- Schulz, E.F. 1981. **Sediment Yield Estimated in Planning Land use Changed**, pp. 117-128. *In* Proc. South- East Asian Regional Symposium on Problems of Soil Erosion and Sedimentation. AIT and Hydraulic Res. Sta. (Walling ford, U.K.), Bangkok.
- Utomo, W.H. and E. Mahmud. 1984. The Possibility of using the Universal Soil Loss Equation in Mountainous Areas of East Java with Humus-Rich Andosols: A Case Study in Sumber Brantas Sub-Watershed, pp. E5.1-E5.12. *In* Proc. **5th Asia Soil Conference**, Vol. I, Bangkok, Thailand, June 10-13, 1984.
- Watanasak, M. 1978. **A preliminary Study on the Evolution of Soil Erosion Status using Universal Soil Loss Equation and Landsat Imagery Technique in Chonburi and Rayong Province**. Master's Thesis, Mahidol University.
- Watnaprateep, P. 1977. **Shifting Cultivation**. A Professional paper of Master of Science, Arizona Univ, Arizona.
- Wischmeier, W.H. 1975. **Estimating the Soil Loss Equations Cover and Management Factor for Undisturbed Areas**, pp. 118-124. *In* Proc. Sediment Yield Workshop. Oxford, Miss., ARS-S-40, US.Dept. of Agric.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1958. **Rainfall Energy and its Relationship to Soil loss**. Trans. Amer. Geophys. Union. 39 (2): 285-291.
- _____. 1965. **Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountain**. USDA Agr. Hand book No. 282.
- _____. 1978. **Predicting Rainfall Erosion Losses**. A Guide to Conservation Planning. USDA (Washington, D,C,) Agr. Hand book No. 537.

Wischmeier, W.H., Johnson C.B. and B.V. Cross. 1971. **A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites.** J. Soil and Water Conserv. 26: 189-193.

Wischmeier, W.H., Smith D.D. and R.E. Uhland. 1958. **Evaluation of Factors in the Soil-loss Equation.** Agri. Eng. 39: 458-462.

Wooldridge, D.D. 1964. **Effects of Parent Material and Vegetation on Properties related to Soil Erosion in Central Washington.** Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 430-432.

Zingg, A.W. 1940. **Degree and Length of Land Slope As it Affects Soil Loss in Runoff.** Agr. Eng. 21: 59- 64.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และการถดถอยเชิงเส้นตรง หาความสัมพันธ์ระหว่าง
ปริมาณน้ำฝนกับค่าดัชนีพลังชล้างพังทลายของฝนจากเครื่องกำเนิดฝน

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
EI30	153.2860	3.31603	5
Amount	57.0880	.57851	5

Correlations

		EI30	Amount
EI30	Pearson Correlation	1	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	5	5
Amount	Pearson Correlation	1.000(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	5	5

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	1.000(a)	1.000	1.000	.03461

a Predictors: (Constant), Amount

ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	43.981	1	43.981	36705.657	.000(a)
	Residual	.004	3	.001		
	Total	43.984	4			

a Predictors: (Constant), Amount

b Dependent Variable: EI30

Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error				Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-	1.708		-101.833	.000	-179.367	-168.496
	Amount	173.932	.030	1.000	191.587	.000	5.637	5.827

a Dependent Variable: EI30

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง

	Correlations	BareSoil	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
BareSoil	Pearson Correlation	1	-.602	-.602	-.601	-.603
	Sig. (2-tailed)	.	.282	.283	.283	.282
	N	5	5	5	5	5
KE_s	Pearson Correlation	-.602	1	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.282	.	.000	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
EI_{30}	Pearson Correlation	-.602	1.000(**)	1	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.283	.000	.	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
$KE>1$	Pearson Correlation	-.601	1.000(**)	1.000(**)	1	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.283	.000	.000	.	.000
	N	5	5	5	5	5
AI_m	Pearson Correlation	-.603	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.282	.000	.000	.000	.
	N	5	5	5	5	5

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพด

	Correlations	Maize	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
Maize	Pearson Correlation	1	-.618	-.619	-.618	-.620
	Sig. (2-tailed)	.	.267	.266	.267	.265
	N	5	5	5	5	5
KE_s	Pearson Correlation	-.618	1	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.267	.	.000	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
EI_{30}	Pearson Correlation	-.619	1.000(**)	1	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.266	.000	.	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
$KE>1$	Pearson Correlation	-.618	1.000(**)	1.000(**)	1	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.267	.000	.000	.	.000
	N	5	5	5	5	5
AI_m	Pearson Correlation	-.620	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.265	.000	.000	.000	.
	N	5	5	5	5	5

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินคือ KE_s , El_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงข้าวโพดตามระดับขอบเขา

	Correlations	Maize+C	KE_s	El_{30}	$KE>1$	AI_m
Maize+C	Pearson Correlation	1	-.499	-.501	-.500	-.502
	Sig. (2-tailed)	.	.392	.390	.391	.389
	N	5	5	5	5	5
KE_s	Pearson Correlation	-.499	1	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.392	.	.000	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
El_{30}	Pearson Correlation	-.501	1.000(**)	1	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.390	.000	.	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
$KE>1$	Pearson Correlation	-.500	1.000(**)	1.000(**)	1	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.391	.000	.000	.	.000
	N	5	5	5	5	5
AI_m	Pearson Correlation	-.502	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.389	.000	.000	.000	.
	N	5	5	5	5	5

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินได้แก่ KE_s , El_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลือง

	Correlations	Soybean	KE_s	El_{30}	$KE>1$	AI_m
Soybean	Pearson Correlation	1	-.572	-.574	-.573	-.574
	Sig. (2-tailed)	.	.313	.312	.313	.311
	N	5	5	5	5	5
KE_s	Pearson Correlation	-.572	1	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.313	.	.000	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
El_{30}	Pearson Correlation	-.574	1.000(**)	1	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.312	.000	.	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
$KE>1$	Pearson Correlation	-.573	1.000(**)	1.000(**)	1	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.313	.000	.000	.	.000
	N	5	5	5	5	5
AI_m	Pearson Correlation	-.574	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.311	.000	.000	.000	.
	N	5	5	5	5	5

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินคือ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงั่วเหลืองตามระดับขอบเขา

Correlations		Soybean+C	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
Soybean+C	Pearson Correlation	1	-.566	-.568	-.567	-.569
	Sig. (2-tailed)	.	.320	.318	.319	.317
	N	5	5	5	5	5
KE_s	Pearson Correlation	-.566	1	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.320	.	.000	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
EI_{30}	Pearson Correlation	-.568	1.000(**)	1	1.000(**)	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.318	.000	.	.000	.000
	N	5	5	5	5	5
$KE>1$	Pearson Correlation	-.567	1.000(**)	1.000(**)	1	1.000(**)
	Sig. (2-tailed)	.319	.000	.000	.	.000
	N	5	5	5	5	5
AI_m	Pearson Correlation	-.569	1.000(**)	1.000(**)	1.000(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.317	.000	.000	.000	.
	N	5	5	5	5	5

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และการถดถอยเชิงเส้นตรง หาความสัมพันธ์ระหว่าง
ปริมาณน้ำฝนกับค่าดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝนจากฝนที่ตกจริงตาม
ธรรมชาติ

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Amount	18.4571	6.49927	21
El ₃₀	10.5895	4.55525	21

Correlations

		Amount	El ₃₀
Amount	Pearson Correlation	1	.902(**)
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	21	21
El ₃₀	Pearson Correlation	.902(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	21	21

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.902(a)	.814	.804	2.01611

a Predictors: (Constant), Amount

ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	337.776	1	337.776	83.100	.000(a)
	Residual	77.229	19	4.065		
	Total	415.005	20			

a Predictors: (Constant), Amount

b Dependent Variable: El30

Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-1.081	1.354		-.799	.434	-3.915	1.752
	Amount	.632	.069	.902	9.116	.000	.487	.777

a Dependent Variable: El30

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไผ่พรวนขึ้นลง

	Correlations	BareSoil	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
BareSoil	Pearson Correlation	1	.375	.310	-.053	.170
	Sig. (2-tailed)	.	.094	.172	.820	.462
	N	21	21	21	21	21
KE_s	Pearson Correlation	.375	1	.559(**)	.759(**)	.212
	Sig. (2-tailed)	.094	.	.008	.000	.356
	N	21	21	21	21	21
EI_{30}	Pearson Correlation	.310	.559(**)	1	.271	.902(**)
	Sig. (2-tailed)	.172	.008	.	.235	.000
	N	21	21	21	21	21
$KE>1$	Pearson Correlation	-.053	.759(**)	.271	1	.047
	Sig. (2-tailed)	.820	.000	.235	.	.839
	N	21	21	21	21	21
AI_m	Pearson Correlation	.170	.212	.902(**)	.047	1
	Sig. (2-tailed)	.462	.356	.000	.839	.
	N	21	21	21	21	21

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพด

	Correlations	Maize	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
Maize	Pearson Correlation	1	.353	.265	-.086	.111
	Sig. (2-tailed)	.	.116	.245	.709	.631
	N	21	21	21	21	21
KE_s	Pearson Correlation	.353	1	.559(**)	.759(**)	.212
	Sig. (2-tailed)	.116	.	.008	.000	.356
	N	21	21	21	21	21
EI_{30}	Pearson Correlation	.265	.559(**)	1	.271	.902(**)
	Sig. (2-tailed)	.245	.008	.	.235	.000
	N	21	21	21	21	21
$KE>1$	Pearson Correlation	-.086	.759(**)	.271	1	.047
	Sig. (2-tailed)	.709	.000	.235	.	.839
	N	21	21	21	21	21
AI_m	Pearson Correlation	.111	.212	.902(**)	.047	1
	Sig. (2-tailed)	.631	.356	.000	.839	.
	N	21	21	21	21	21

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินคือ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงข้าวโพดตามระดับขอบเขา

	Correlations	MaizeC	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
MaizeC	Pearson Correlation	1	.352	.316	-.125	.160
	Sig. (2-tailed)	.	.118	.162	.589	.488
	N	21	21	21	21	21
KE_s	Pearson Correlation	.352	1	.559(**)	.759(**)	.212
	Sig. (2-tailed)	.118	.	.008	.000	.356
	N	21	21	21	21	21
EI_{30}	Pearson Correlation	.316	.559(**)	1	.271	.902(**)
	Sig. (2-tailed)	.162	.008	.	.235	.000
	N	21	21	21	21	21
$KE>1$	Pearson Correlation	-.125	.759(**)	.271	1	.047
	Sig. (2-tailed)	.589	.000	.235	.	.839
	N	21	21	21	21	21
AI_m	Pearson Correlation	.160	.212	.902(**)	.047	1
	Sig. (2-tailed)	.488	.356	.000	.839	.
	N	21	21	21	21	21

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินได้แก่ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลือง

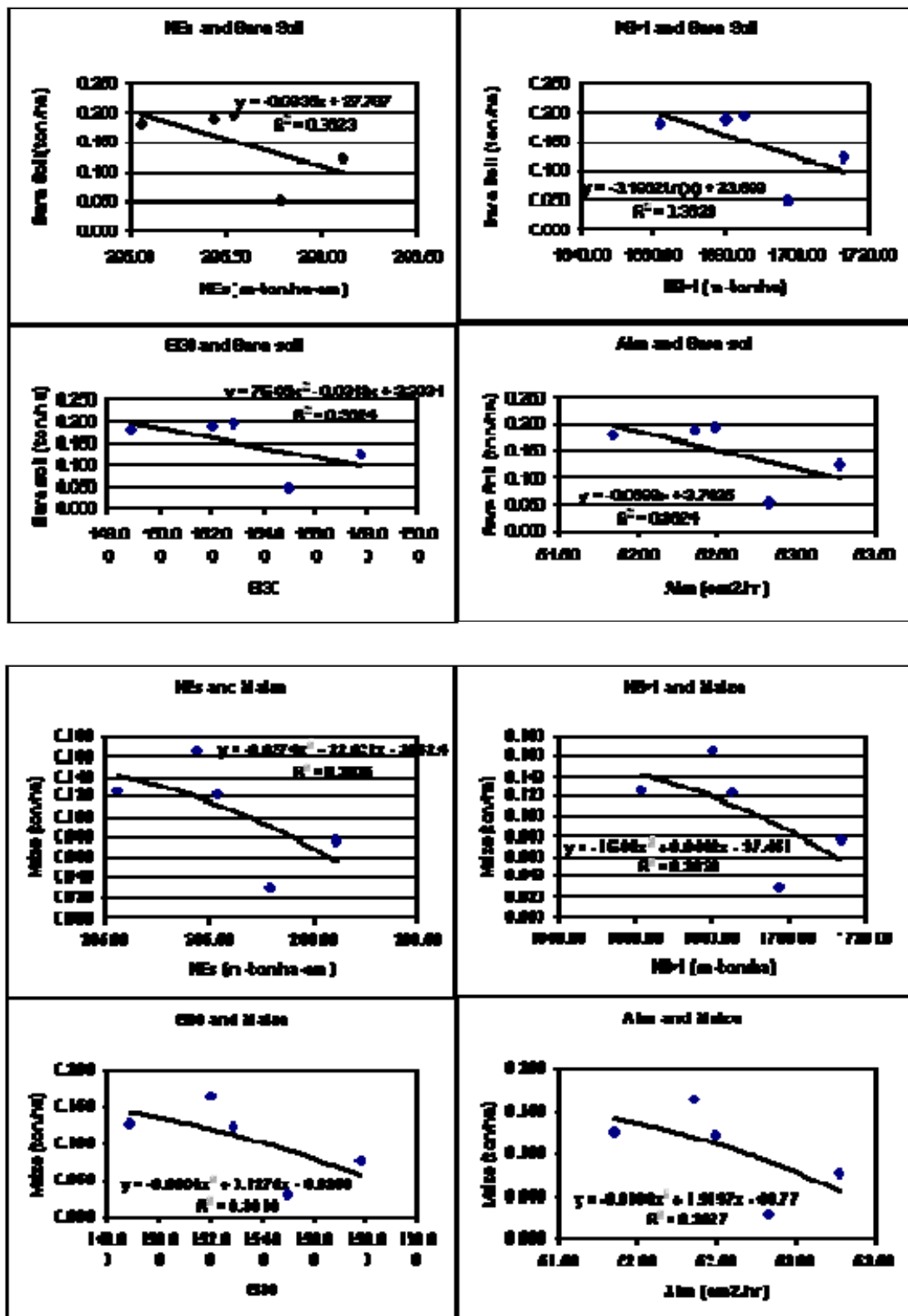
	Correlations	Soybean	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
Soybean	Pearson Correlation	1	.352	.231	-.134	.069
	Sig. (2-tailed)	.	.118	.313	.564	.766
	N	21	21	21	21	21
KE_s	Pearson Correlation	.352	1	.559(**)	.759(**)	.212
	Sig. (2-tailed)	.118	.	.008	.000	.356
	N	21	21	21	21	21
EI_{30}	Pearson Correlation	.231	.559(**)	1	.271	.902(**)
	Sig. (2-tailed)	.313	.008	.	.235	.000
	N	21	21	21	21	21
$KE>1$	Pearson Correlation	-.134	.759(**)	.271	1	.047
	Sig. (2-tailed)	.564	.000	.235	.	.839
	N	21	21	21	21	21
AI_m	Pearson Correlation	.069	.212	.902(**)	.047	1
	Sig. (2-tailed)	.766	.356	.000	.839	.
	N	21	21	21	21	21

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

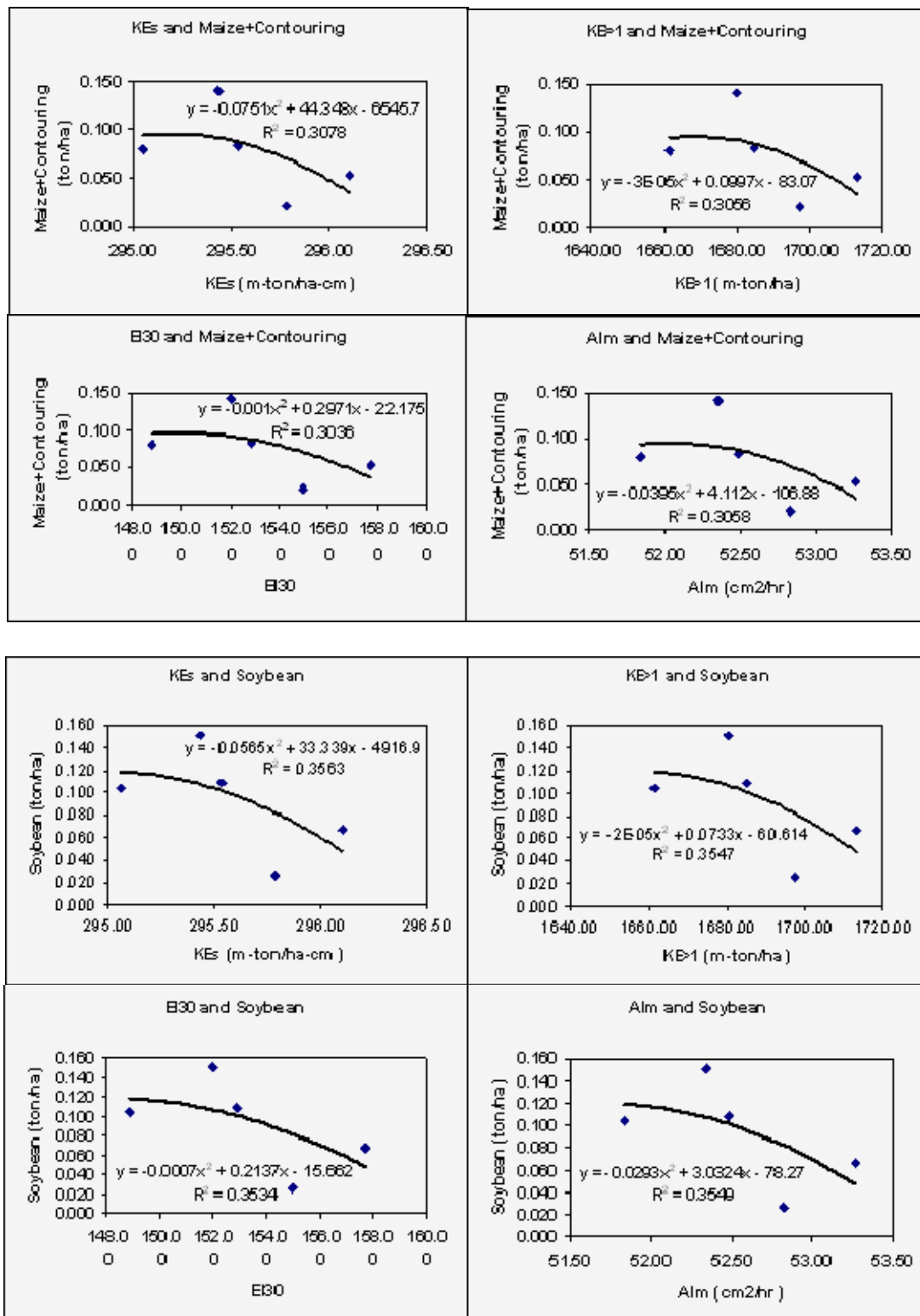
ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลายของดินคือ KE_s , EI_{30} , $KE>1$ และ AI_m กับปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงถั่วเหลืองตามระดับขอบเขา

	Correlations	SoybeanC	KE_s	EI_{30}	$KE>1$	AI_m
SoybeanC	Pearson Correlation	1	.300	.264	-.179	.132
	Sig. (2-tailed)	.	.187	.248	.437	.568
	N	21	21	21	21	21
KE_s	Pearson Correlation	.300	1	.559(**)	.759(**)	.212
	Sig. (2-tailed)	.187	.	.008	.000	.356
	N	21	21	21	21	21
EI_{30}	Pearson Correlation	.264	.559(**)	1	.271	.902(**)
	Sig. (2-tailed)	.248	.008	.	.235	.000
	N	21	21	21	21	21
$KE>1$	Pearson Correlation	-.179	.759(**)	.271	1	.047
	Sig. (2-tailed)	.437	.000	.235	.	.839
	N	21	21	21	21	21
AI_m	Pearson Correlation	.132	.212	.902(**)	.047	1
	Sig. (2-tailed)	.568	.356	.000	.839	.
	N	21	21	21	21	21

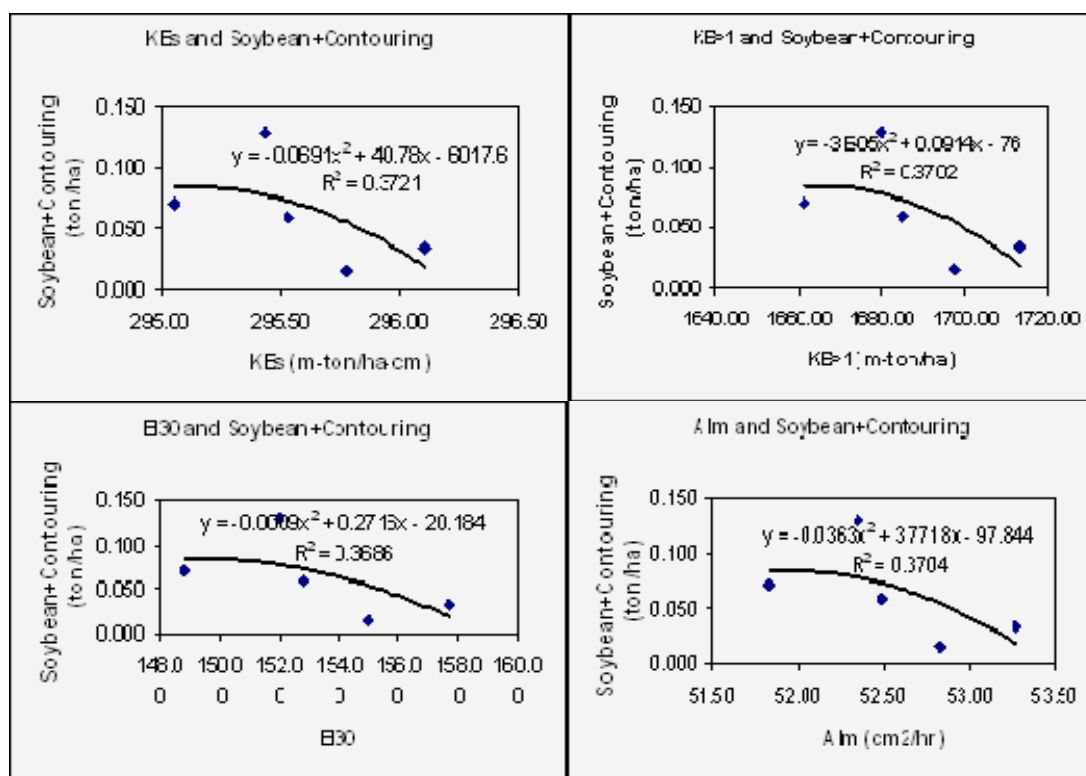
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



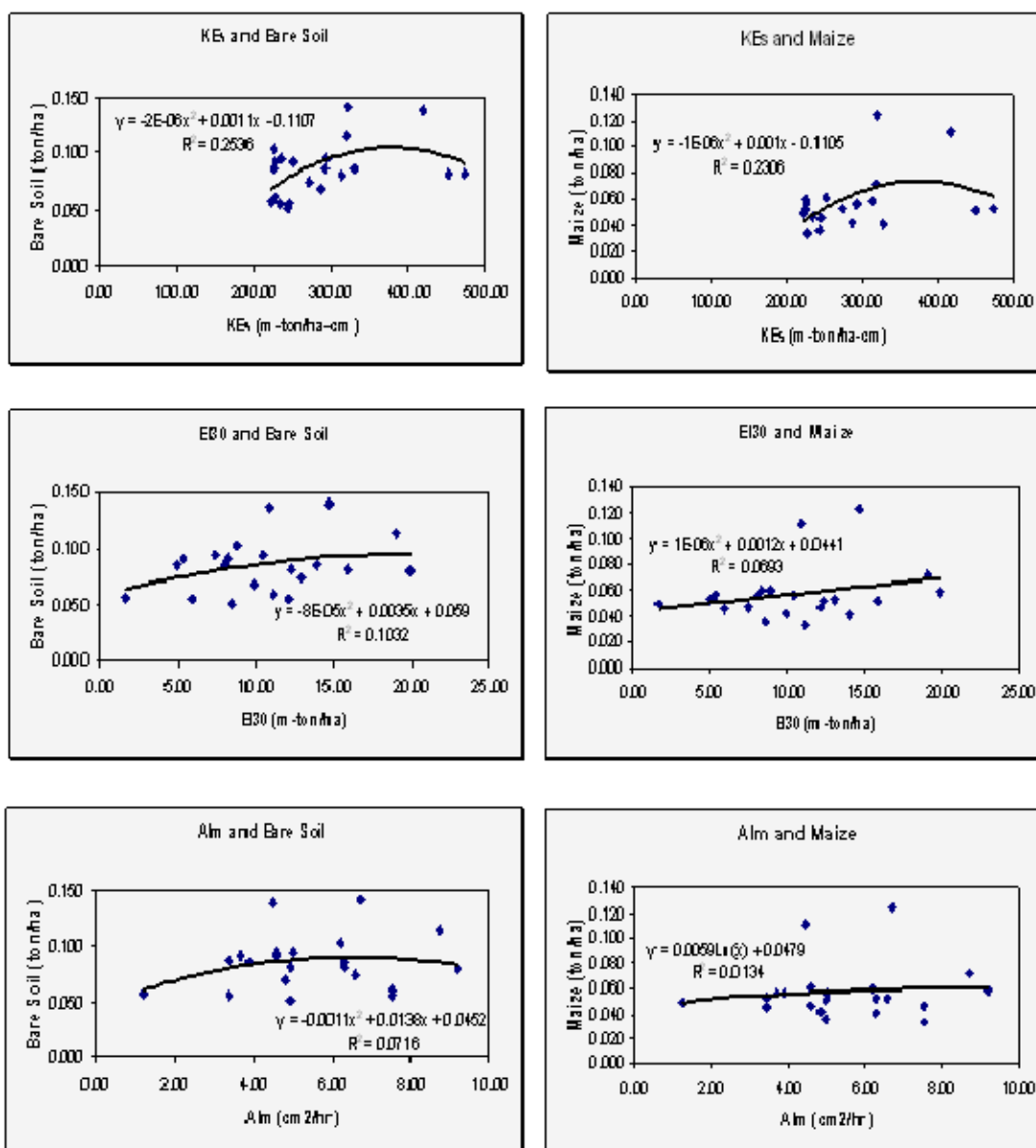
ภาพผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไถ
พรวนขึ้น-ลง และแปลงปลูกข้าวโพด โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน



ภาพผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา และแปลงปลูกถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน



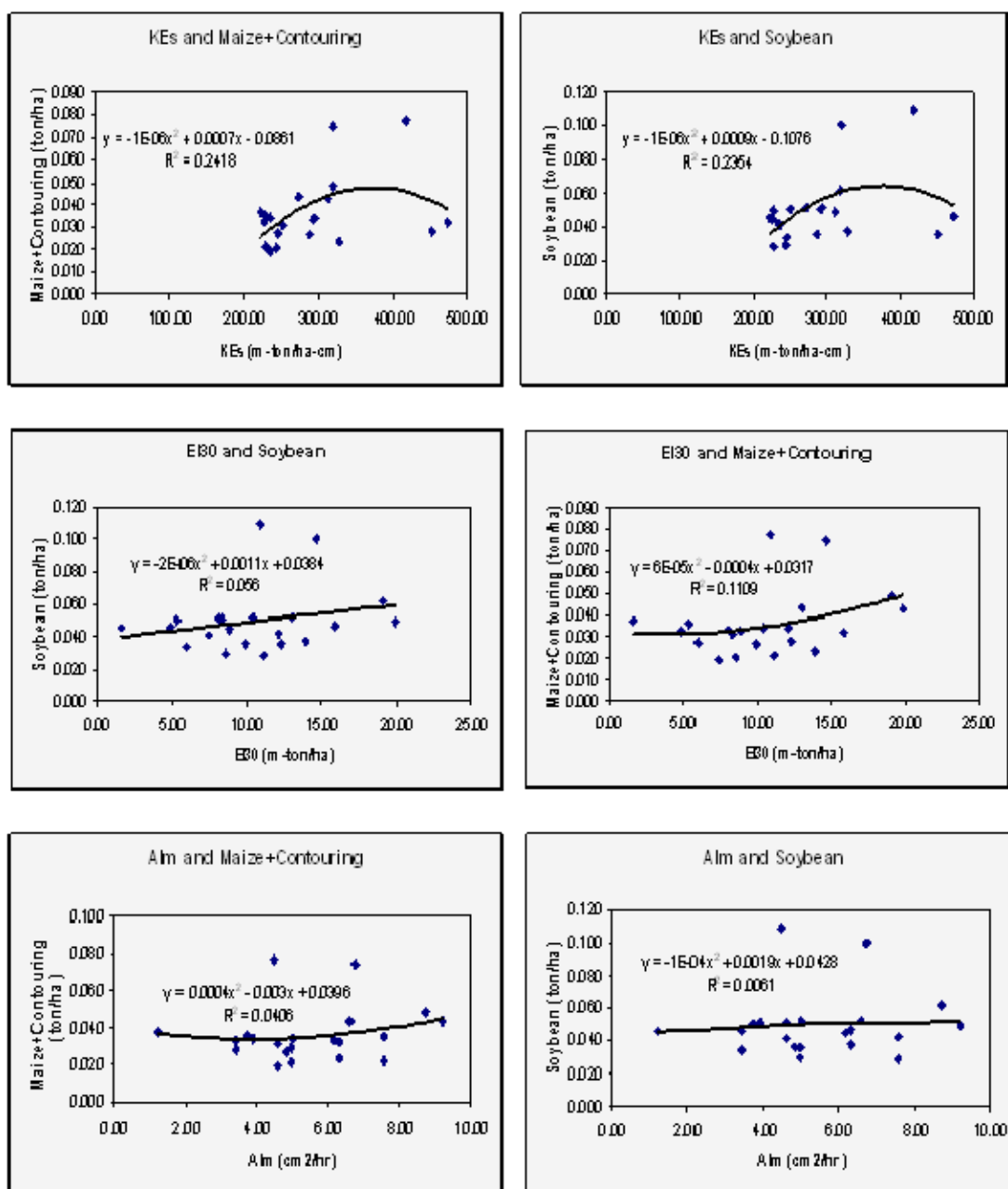
ภาพผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา โดยใช้เครื่องกำเนิดฝน



แปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง

แปลงปลูกข้าวโพด

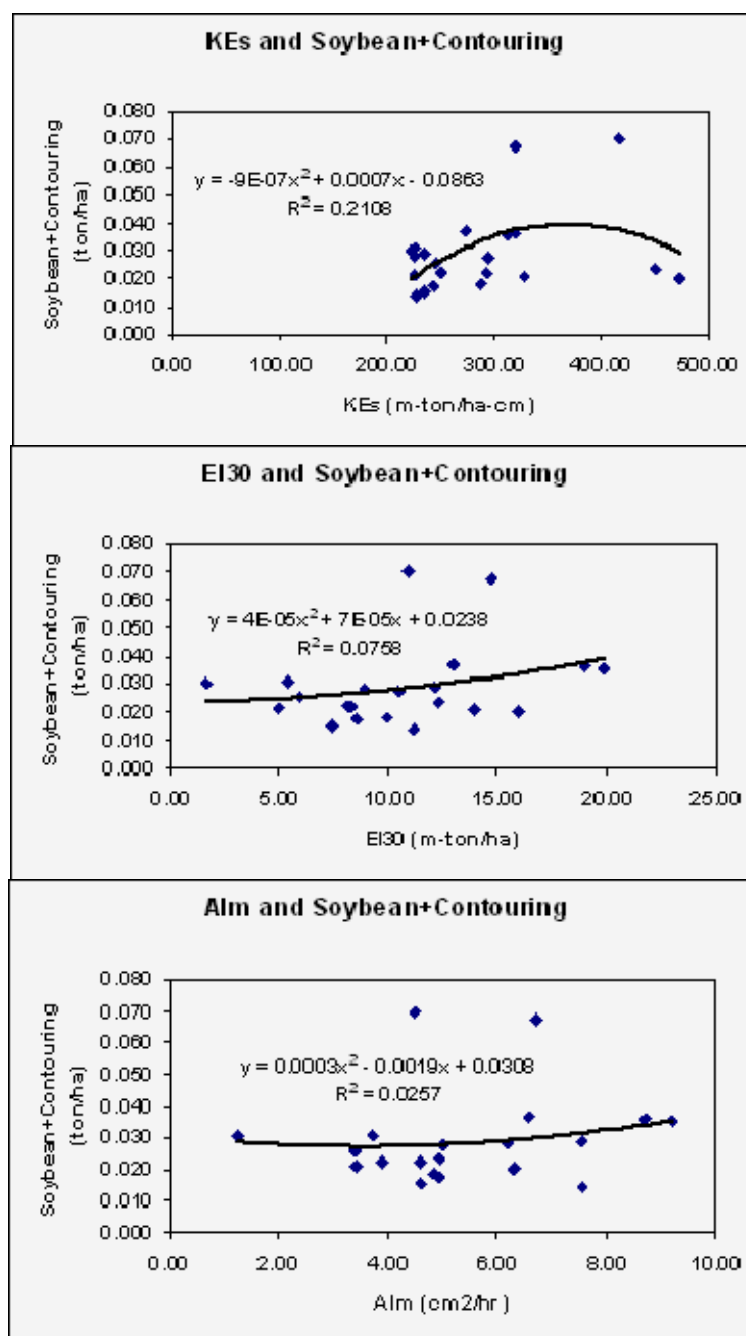
ภาพผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงว่างเปล่าไถพรวนขึ้น-ลง และแปลงปลูกข้าวโพดจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ



แปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา

แปลงปลูกถั่วเหลือง

ภาพผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกข้าวโพดตามแนวระดับขอบเขา และแปลงปลูกถั่วเหลืองจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ



แปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขา

ภาพผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง R-factor วิธีต่าง ๆ กับการสูญเสียดินจากแปลงปลูกถั่วเหลืองตามแนวระดับขอบเขาจากฝนที่ตกจริงตามธรรมชาติ

ประวัติการศึกษา

ชื่อ –นามสกุล

นางสาววรากร สุจริต

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 16 ธันวาคม 2525

สถานที่เกิด

ยโสธร

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

ทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปี
2550

