ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน | วิศวกรรมชลประทาน
สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง

A Study on an Effect of Runoff for Seed Losses on Steep Slopes Area

นามผู้วิจัย นางสาวมตินันท์ จงไกรจักร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(อาจารย์สมชาย ดอนเจดีย์, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง

A Study on an Effect of Runoff for Seed Losses on Steep Slopes Area

โดย

นางสาวมตินันท์ จงไกรจักร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)
พ.ศ. 2556

มตินันท์ จงไกรจักร 2556: การศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สมชาย ดอนเจดีย์, D.Eng. 155 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูงของแปลงที่หว่านเมล็ดถั่วเหลืองหรือถั่วเขียว โดยศึกษาปัจจัยของปริมาณความเข้มฝน ความลาดชันของพื้นที่ และปริมาณฟางข้าวที่นำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดิน แปลงทดลองที่ใช้มีความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยการจำลองน้ำฝนด้วยชุดจำลองน้ำฝนที่ความเข้มฝน 3 ค่า คือ 57 มม./ชม. 81 มม./ชม. และ 95 มม./ชม. ปริมาณฟางข้าว 3 ค่า คือ 800 กก./ไร่ 1,200 กก./ไร่ และ 1,600 กก./ไร่ ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินบนแปลงที่หว่านเมล็ดถั่วเหลือง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มีปริมาณเพิ่มขึ้นหากปริมาณความเข้มฝนหรือความลาดชันของพื้นที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่า การสูญเสียเมล็ดพันธุ์ลดลงหากเพิ่มปริมาณฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุคลุมดิน โดยมีการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ปริมาณ 8.216 เปอร์เซ็นต์ ถึง 18.223 เปอร์เซ็นต์ ในแปลงที่ปลูกถั่วเหลืองและ ปริมาณ 9.928 เปอร์เซ็นต์ ถึง 39.124 เปอร์เซ็นต์ ในแปลงที่ปลูกถั่วเขียว ที่ความเข้มฝน 57 มม./ชม. ถึง 95 มม./ชม. ฟางข้าวสามารถลดการเกิดน้ำไหลเลยท้ายแปลงได้ 74.07 เปอร์เซ็นต์ ลดการสูญเสียดิน 98.25 เปอร์เซ็นต์ และลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ 11.047 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้ฟางข้าวคลุมดิน

โดยสรุปฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดินที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการลดการเกิดน้ำไหลเลยท้ายแปลง ลดการสูญเสียดินและลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง

________________ ________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Matinan Jongkrijuk 2013: A Study on an Effect of Runoff for Seed Losses on Steep Slopes Area. Master of Engineering (Irrigation Engineering), Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Mr. Somchai Donjadee, D.Eng. 155 pages.

This research investigated an effect of runoff for seeds losses on steep slopes areas by determining the effects of rainfall intensity, land slope and quantity of rice straw in conserving runoff and trapping sediment. The research study involved field experiments with land slopes of 30 and 50% and varying rainfall intensities using an artificial rainfall simulator. The rainfall intensities which were used in the study were 57, 81 and 95 mm h^{-1}. Also, three quantities of 800, 1200 and 1600 kg/rai of rice straw were used for mulching in soybean or mungbean filed.

The experiment data showed that seeds losses increase with increasing rainfall intensity and land slope. In the opposite way, seed losses decrease with increasing quantity of rice straw. In the field experiment, the percents seeds losses corresponded to rainfall intensities with values ranging from 8.216 % to 18.223 % in soybean filed and from 9.928 % to 39.124 % in mungbean filed. The rice straw conserved runoff effectively by 74.07 %, reduces soil loss by 98.25 % and reduce seed loss by 11.047 % as compared with similar plot without rice straw.

In conclusion the rice straw had a good potential in trapping sediment, conserving runoff and reducing seed loss under steep slopes areas.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สมชาย ดอนเจดีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไข คำแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอกราบขอบพระคุณ คุณสุรพล เจริญชีพ คุณฉลอง มาตรทอง คุณอนิวรรต คงสกูล และคุณดิษฐพงษ์ มิตรรัตน์ ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในการทดลองจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

มตินันท์ จงไกรจักร

พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ | หน้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ตารางผนวกที่

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า

สารบัญภาพ

สารบัญภาพ (ต่อ)

สารบัญภาพ (ต่อ)

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

การศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง

A Study on an Effect of Runoff for Seed Losses on Steep Slopes Area

คำนำ

การชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำบนพื้นที่เพาะปลูกที่มีความลาดชันสูง เป็นสัญญาณเตือนที่สำคัญในพื้นที่การเกษตร (FAO, 1965; Morgan, 1995; Yong,1997) โดยเฉพาะทางภาคเหนือ (Sang-Arun et al.,2006; Turkelboon et al.,1997) และภาคตะวันตก (Rerkasem et al., 1994; Sang-Arun et al., 2006) ของประเทศไทย จากสภาวะอากาศแปรปรวนทำให้ฝนที่ตกมีความเข้มฝนมากขึ้น ประกอบกับการจัดการดินที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้อัตราการชะล้างพังทลายของดินเพิ่มขึ้น (Nearing et al., 2005) ดังนั้นการกัดเซาะและการพัดพาดินโดยน้ำจะเกิดขึ้นและหลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับการทำการเกษตรบนพื้นที่ลาดชัน (Food and Agriculture Organization [FAO], 1986) เป็นสัญญาณเตือนที่สำคัญของการชะล้างพังทลายของดินที่อยู่ในพื้นที่การพัฒนาการเกษตรในพื้นที่ลาดชัน ซึ่งทำให้ผิวดินซึ่งอุดมไปด้วยแร่ธาตุ และสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์กับพืชถูกชะล้างออกไปด้วย ซึ่งจะส่งผลกระทบให้ระบบนิเวศน์บริเวณพื้นที่ดังกล่าวเสื่อมโทรม (Harris et al., 2001; Sui et al., 2009) นอกจากนี้หากพื้นที่ดังกล่าวถูกกัดเซาะในช่วงของการเพาะปลูก โดยเฉพาะหากเกิดกับพื้นที่การเกษตรที่ใช้ระบบหว่านเมล็ดเพื่อการเพาะปลูก เช่น การปลูกผักชี ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ข้าวฝาง เป็นต้น อาจทำให้เมล็ดพันธุ์เหล่านั้นเคลื่อนตัวออกจากตำแหน่งที่หว่านหรือเคลื่อนไปบริเวณท้ายแปลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการงอกของพืชลดลง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ จากการกัดเซาะซึ่งมีน้ำเป็นตัวการได้แก่ ขนาดและรูปร่างเมล็ดพันธุ์พันธุ์ (Cerda’ and Garcia-Fayos , 2002) ความลาดชัน (Cerda’ and Garcia, 1997) และความเข้มฝน (Luyan et al., 2010) เหตุนี้การวิจัยครั้งนี้จึงจัดทำเพื่อจะการศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง

วัตถุประสงค์

การศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียของเมล็ดพันธุ์ บนพื้นที่ความลาดชันสูง

2. เพื่อศึกษาหาปริมาณฟางข้าวที่เหมาะสม ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดิน เพื่อประโยชน์ในการลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์

การตรวจเอกสาร

1. การชะล้างพังทลายของดิน

การชะล้างพังทลาย (erosion) เป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่มีแรง ซึ่งอาจเกิดจากน้ำ ลม หรือแรงถ่วงของโลก มากระทำให้วัตถุหรือสารแตกแยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคของดิน หรือสารหรือวัตถุธาตุดังกล่าวไปตกตะกอนทับถมอีกทีหนึ่ง

2. รูปแบบการชะล้างพังทลายของดิน

2.1 การชะล้างพังทลายแบบกระเด็น (splash erosion) ดังภาพที่ 1 การตกกระทบของเม็ดฝนติดต่อกันไป จากน้ำฝนนับหมื่นๆนับล้านเม็ด จะทำให้อนุภาคดินบนผิวหน้าแตกกระจาย และกระเด็นออกไปจากตำแหน่งเดิม โดยเฉพาะจะเกิดอย่างรุนแรงบนผิวดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม การชะล้างพังทลายชนิดนี้ถ้าเกิดในที่ราบ เม็ดดินก็จะไปไม่ได้ไกลนัก แต่ถ้าเกิดบนพื้นที่ลาดเขาจะถูกน้ำไหลบ่าหน้าดินพัดพาไป

ภาพที่ 1 การชะล้างพังทลายแบบกระเด็น

ที่มา: WOCAT/FAO (2000)

2.2 การชะล้างพังทลายแบบผิวแผ่น (sheet erosion) ดังภาพที่ 2 เม็ดดินที่ถูกกัดเซาะโดยกระบวนการชะล้างพังทลายแบบกระเด็นนี้ นับเป็นแหล่งดินตะกอนที่จะถูกพัดพาเคลื่อนที่ออกไปจากพื้นที่ลาดเขาโดยแรงน้ำไหลบ่าหน้าดินซึ่งไหลเอ่อเหนือผิวดินเป็นแผ่นบางๆ อัตราการถูกพัดพาลงสู่ที่ต่ำขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นสำคัญขนาด รูปร่าง และความหนาของตะกอนก็มีส่วนอยู่มากในการที่จะถูกพัดพาไปได้มากหรือน้อย

ภาพที่ 2 การชะล้างพังทลายแบบผิวแผ่น

ที่มา: WOCAT/FAO (2000)

2.3 การชะล้างพังทลายแบบร่องริ้ว (rill erosion) ดังภาพที่ 3 การชะล้างพังทลายในลักษณะนี้เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินรวมกันเป็นทางน้ำเล็กๆ แล้วกัดเซาะลงไปในเนื้อดิน แต่เนื่องจากความคงทนของดินแตกต่างกันไป ประกอบกับแผ่นน้ำไหลบ่าหน้าดินยังไม่หนามากนัก การกัดกร่อนจึงเป็นไปในลักษณะร่องตื้นๆ เล็กๆ กระจายทั่วผิวหน้าดิน ปกติ ร่องเล็กๆ ดังกล่าวจะมีแนวเกือบเป็นเส้นตรงยาวติดต่อกันไปและขนานกันไปเป็นริ้วๆ ร่องดังกล่าวนี้ตื้นจนสามารถปรับให้หายไปได้โดยการไถพรวนแบบธรรมดาๆ

ภาพที่ 3 การชะล้างพังทลายแบบร่องริ้ว

ที่มา: WOCAT/FAO (2000)

2.4 การชะล้างพังทลายแบบร่องลึก (gully erosion) ดังภาพที่ 4 การเกิดการชะล้างพังทลายของดินลักษณะนี้เกิดขึ้น เนื่องจากไม่ได้มีการป้องกันหรือปรับปรุงหน้าดินที่มีลักษณะการชะล้างพังทลายแบบร่องริ้ว ปล่อยให้น้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินกัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ ร่องริ้วจึงขยายตัวขึ้นเป็นร่องลึกลงไปถึงชั้นล่าง การเกิดการชะล้างพังทลายแบบร่องลึกนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำไหลในร่องทั้งในลักษณะการกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายดิน รูปตัดของร่องลึกนี้มักเป็นรูปตัว U หรือตัว V แล้วแต่ชนิดของดิน การชะล้างพังทลายแบบร่องลึกนี้ ยากที่จะปรับหน้าดินใหม่ด้วยเครื่องไถพรวนชนิดใด

ภาพที่ 4 การชะล้างพังทลายแบบร่องลึก

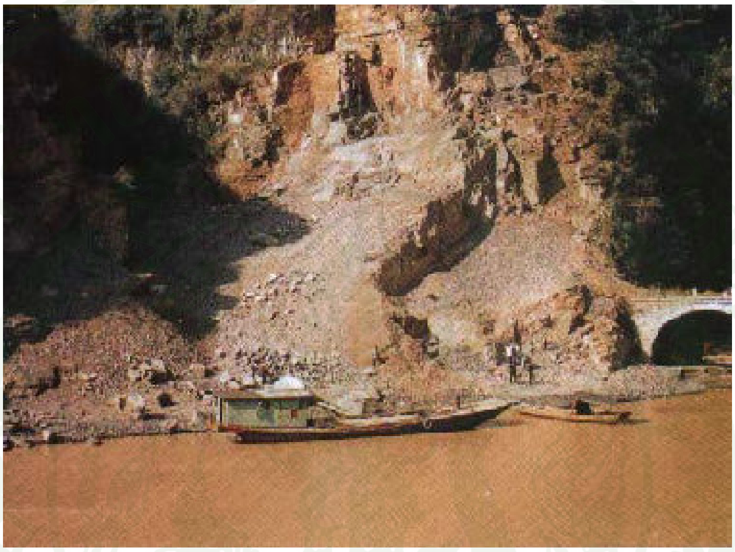
ที่มา: WOCAT/FAO (2000)

2.5 การพังทลายแบบเลื่อนไหล (mass soil movement) ดังภาพที่ 5 การพังทลายของดินแบบเลื่อนไหลนี้เป็นการเคลื่อนที่ของมวลดินหรือหินบนที่ที่มีความลาดชันสูง เนื่องจากแรงถ่วงของโลก และความแตกต่างของความชื้นของมวลสารชนิดเดียวกันหรือคนละชนิดกัน การพังทลายแบบนี้อาจเกิดตามธรรมชาติ

ภาพที่ 5 การพังทลายแบบเลื่อนไหล

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2553)

2.6 การชะล้างพังทลายโดยธารน้ำ (stream U-bank erosion หรือ channel erosion) ดังภาพที่ 6 การพังทลายแบบนี้เกิดขึ้นเพราะลำน้ำค่อนข้างใหญ่นั้นจะมีน้ำไหลผ่านในร่องน้ำเป็นปริมาณมากและเวลายาวนาน โดยเฉพาะภายหลังฝนตกหนัก พลังน้ำไหลตามร่องหรือลำน้ำนี้จะกัดซะดินชายฝั่งซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับผิวหน้าดิน ทำให้เกิดชะโงกงํ้า ใต้ผิวน้ำลึกเข้าไปในฝั่งจนดินบนเหนือระดับน้ำไม่มีฐานค้ำยันที่แข็งแรงเพียงพอก็จะไหลเลื่อนและพังลงมาสู่ท้องลำธารได้ (นิพนธ์, 2545)



ภาพที่ 6 การชะล้างพังทลายแบบโดยธารน้ำ

ที่มา: WOCAT/FAO (2000)

กรณีที่ความชันมากกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป Foster and Martin (1969) พบว่าการกัดเซาะหน้าดินของเม็ดฝนนั้นจะมีมากจนถึงขีดสุดที่ระดับหนึ่งแล้วจะลดต่ำลง หากกำหนดให้ความหนักเบาของฝนสม่ำเสมอตลอด อัตราที่หน้าดินถูกกัดเซาะยังขึ้นอยู่กับเวลาอีกด้วย ซึ่งตามความเป็นจริงแล้ว มักคิดร่วมการกัดเซาะนั้นเกิดมาจากเม็ดฝนอย่างเดียว กระบวนการสำคัญที่จะเกิดขึ้นบนพื้นที่ที่มีความชันสูง คือ กระบวนการชะล้างพังทลายที่มีน้ำไหลบ่าบนหน้าดินกับการตกกระทบของเม็ดน้ำฝนบนผิวหน้าดิน

Hudson (1963) พบว่าการชะล้างพังทลายหน้าดินจากน้ำฝน เม็ดฝนขนาดใหญ่สุดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เม็ดฝนที่มีขนาดใหญ่กว่านี้จะแตกออกเป็นเม็ดฝนฝอยเล็กๆ ใน

ทำนองเดียวกัน Blanchard (1950) ก็พบเช่นกันว่าเม็ดฝนที่มีขนาดที่คงตัวอยู่ได้ตั้งแต่ขนาดเล็กๆ จนไปถึงขนาด 4.5 มิลลิเมตร แต่ถ้าขนาดขึ้นจนถึง 5 มิลลิเมตร ขนาดรูปร่างจะไม่อยู่ในสภาพคงตัว

3. ปัจจัยที่มีการผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน

นิวัติ (2537) กล่าวว่า เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนและชุ่มชื้น ซึ่งเกิดการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำ เป็นตัวการที่สำคัญสามารถแบ่งเป็น 4 แบบ คือ

3.1 ความสามารถของฝนในการกัดเซาะ (precipitation erosivity) หมายถึง การกัดเซาะโดยขึ้นอยู่กับปัจจัยของลักษณะฝน เช่น ความหนักเบา ระยะเวลา ปริมาณฝน ขนาด ชนิดและการแผ่กระจายของฝนในแต่ละฤดูกาล

3.2 ความสามารถของดินที่มีผลต่อการกัดเซาะ (soil erodibility) หมายถึง คุณสมบัติของดินที่ยากหรือง่ายต่อการกัดเซาะ จะขึ้นอยู่กับชนิดดิน แรงจับตัวระหว่างอนุภาคของดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

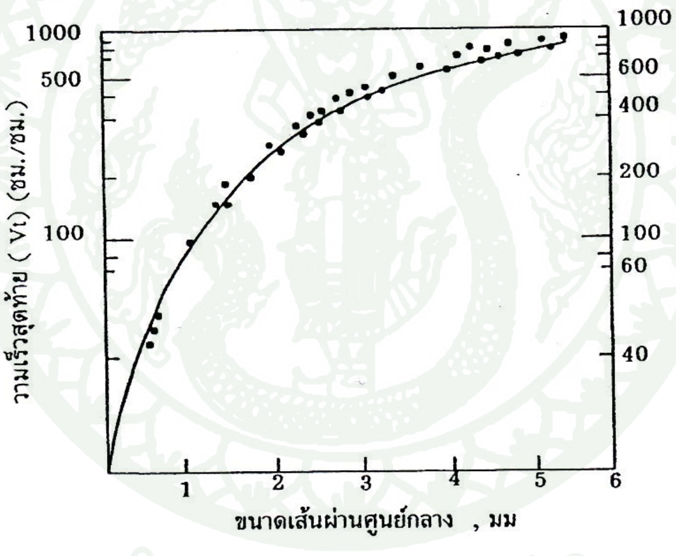
3.3 ความชันและความยาวของด้านลาด (Steepness and Length of slopes) คือ ลักษณะของสภาพภูมิประเทศ ถ้ามีความลาดชันมากจะเกิดการชะล้างพังทลายของดินมากขึ้น ส่วนความยาวจะยิ่งทวีความรุนแรงของน้ำไหลบ่าและทำให้อนุภาคของดินพัดพาไปโดยง่าย

3.4 สภาพสิ่งปกคลุมดินผิวดิน (Cover condition) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land uses) จะเป็นชนิดพืชและลักษณะการปกคลุม เพราะช่วยป้องกันฝนตกกระทบดินโดยตรง และลดอัตราน้ำไหลบ่า ควรจะรักษาให้มีพืชคลุมดินอย่างน้อย 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท จะย่อมมีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินที่แตกต่างกันไปด้วย

4. การชะล้างพังทลายหน้าดินจากน้ำฝน

4.1 ความเร็วท้ายสุดและรูปร่างของเม็ดฝน

เมื่อเม็ดฝนตกลงสู่พื้นโลก จะมีอัตราเร่งให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงเสียดทานของอากาศใต้เม็ดฝนที่มีค่าเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อใดเม็ดฝนก็จะตกลงสู่พื้นโลกด้วยอัตราความเร็วคงที่จนกระทั่งถึงผิวดิน จะเรียกว่า ความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝน ความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝนนั้นจะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดเม็ดฝน เม็ดฝนที่มีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตรจะมีความเร็วท้ายสุดประมาณ 9 เมตรต่อวินาที ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วท้ายสุดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน แสดงผลที่ได้ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความเร็วท้ายสุด (V_t) ของเม็ดฝนขนาดต่างๆในภาวะอากาศคงตัว

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

5. กลุ่มขนาดของอนุภาคดิน

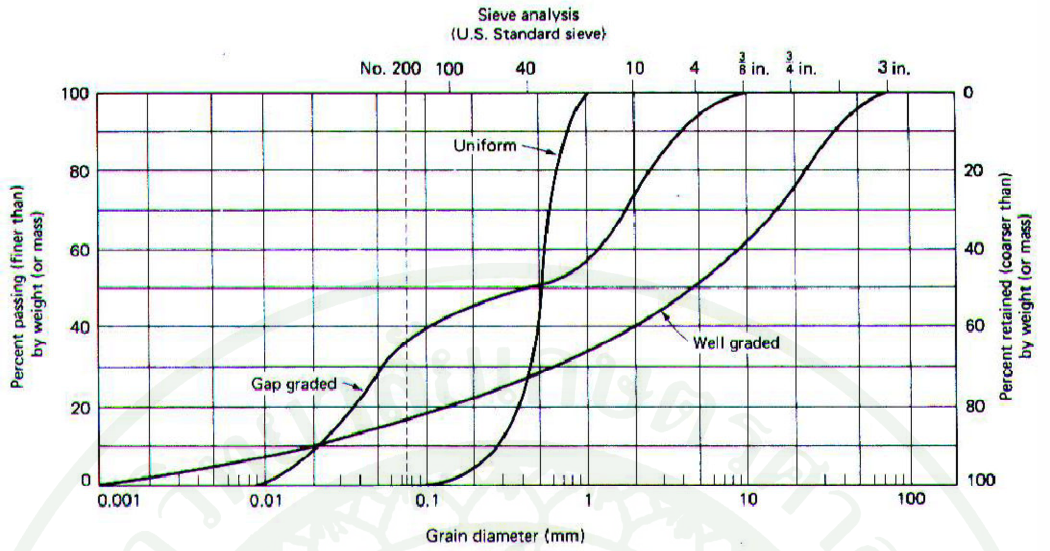
นักวิทยาศาสตร์ทางดิน แบ่งอนุภาคดินเป็น 3 กลุ่ม คือ ทราย, ทรายแป้ง และดินเหนียว ตามขนาด (Size class) ของระบบ USDA (United states department of agriculture) และระบบสากล ISSS (International society of soil science) ในการวิเคราะห์ ใช้ระบบสากล ISSS เพราะได้เป็นที่ยอมรับทั่วโลก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มอนุภาคดิน

กลุ่มขนาดดิน	**เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)**	
	USDA	**ISSS**
ทราย (Very coarse sand)	1.00 -2.00	-
ทรายหยาบ (Coarse sand)	0.50 – 1.00	0.20 – 2.00
ทรายขนาดปานกลาง (Medium sand)	0.25 – 0.50	-
ทรายละเอียด (Fine sand)	0.10 – 0.25	0.02 – 0.20
ทรายละเอียดมาก (Very fine sand)	0.05 – 0.10	-
ทรายแป้ง (Site)	0.002 – 0.05	0.002 – 0.02
ดินเหนียว (Clay)	< 0.002	< 0.002

ที่มา: Wischmeier *et al.* (1971)

เมื่อรู้ขนาดของดินแล้ว สามารถทราบได้อีกว่าการกระจายและขนาดคละกันของเม็ดดินเป็นอย่างไร แสดงจากภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟแสดงการกระจายของขนาดเม็ดดิน

ที่มา: Wischmeier *et al.* (1971)

ภาพที่ 8 Well graded soil คือ กราฟที่เม็ดดินมีขนาดเม็ดคละกันดี ดินมีขนาดคละกันดี

Uniform graded soil คือ กราฟที่เม็ดดินมีขนาดเดียวกัน

Gap graded soil คือ กราฟที่เม็ดดินมีขนาดขาดช่วง กราฟบางช่วงเป็นเส้นระนาบ

6. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประเมินค่าปัจจัยต่างๆในสมการการสูญเสียดินสากล (USLE) สมการการสูญเสียดินมีสมการในการคำนวณหลากหลายสมการ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ สมการการสูญเสียดินสากล USLE เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมาประเมินค่าการสูญเสียดินในลักษณะรายปีสำหรับเฉพาะพื้นที่และเฉพาะการใช้ประโยชน์ที่ดินการเกษตรกรรมแต่ละชนิด ถึงแม้ปัจจัยของ USLE ได้มีการประเมินกันไว้บ้างแล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นตัวเลข หรือข้อมูลในสหรัฐอเมริกาซึ่งการนำมาใช้ในประเทศไทย ย่อมให้ค่าที่ผิดพลาดแน่นอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องประเมินค่าใหม่สำหรับบางปัจจัย และดัดแปลง หรือปรับปรุงค่าใหม่สำหรับบางปัจจัย ซึ่งจะกล่าวละเอียดต่อไปดังนี้

สมการสูญเสียดินสากล (Universal soil loss equation, USLE) เป็นที่รู้จักกันดีสำหรับวงการนักอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$A = (R)(K)(LS)(C)(P) \tag{1}$$

โดยที่ A คือ ปริมาณดินที่สูญเสียที่คำนวณได้ต่อหน่วยพื้นที่

R คือ Rainfall factor เป็นดัชนีของการชะล้างพังทลายดินของฝนในปีที่มีฝนตกระดับปกติ

K คือ ค่าความคงทนต่อการชะล้างพังทลายดิน เป็นการสูญเสียดินต่อหนึ่งหน่วยของดัชนีการชะล้างพังทลาย (Erosion index)

L คือ ค่าอิทธิพลของความยาวของความชันที่มีต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Slope length factor) เป็นค่าได้จากอัตราส่วนการสูญเสียดิน จากความยาวของความลาดชันช่วงใดช่วงหนึ่งกับความยาวมาตรฐาน ซึ่งอยู่บนแนวความลาดเทอันเดียวกัน

S คือ ค่าอิทธิพลของความลาดชัน (Slope-gradient factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากความลาดชันระดับใดระดับหนึ่งต่อความลาดชัน

C คือ ค่าอิทธิพลของพืชหรือสิ่งปกคลุมดิน (Cropping management factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินระหว่างพื้นที่ที่มีพืชชนิดใดชนิดหนึ่งปกคลุมอยู่กับการสูญเสียดิน จากบริเวณไถพรวนที่ปราศจากพืชคลุมดิน ซึ่งใช้ในการหาค่าความคงทนของดิน

P คือ ค่าอิทธิพลของมาตรการที่ใช้ในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน (Erosion-control factor) เป็นอัตราส่วนของการสูญเสียดินจากพื้นที่ที่มีวิธีการอนุรักษ์ดินแบบต่างๆ

6.1 การประเมินค่าดัชนีพลังชะล้างพังทลายของฝน (R-Factor)

R-Factor เป็นผลรวมของพลังงานจลน์ของฝนที่ตกแต่ละครั้ง ซึ่งเรียกว่า ดัชนี EI สำหรับช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนดขึ้น ซึ่งปกติมักใช้รอบปีหนึ่งๆ หรือช่วงรอบการปลูกพืชเกษตรชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นเกณฑ์ ดัชนี EI แท้จริงประกอบด้วยค่าพลังงานของใน (E) ที่ตกในครั้ง

นั้นๆ คูณกับอัตราความหนักเบาในช่วง 30 นาทีสูงที่สุด (I) ของฝนที่ตกครั้งนั้นๆค่าของ R-Factor สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$R = \sum_{j=1}^{n} (EI)_j \tag{2}$$

ซึ่ง n คือจำนวนครั้งที่ฝนตกในช่วงเวลาที่กำหนดขึ้น ดังนั้นค่าของ R จะต้องผูกพันอยู่กับช่วงเวลาด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วหน่วยของ R นี้ จะไม่บ่งบอกช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อให้เข้าใจในรายละเอียดของการประเมินค่า R-Factor มีรายละ เอียดดังนี้

$$E = \sum_{k=1}^{p} Ke_k \, \Delta Ra_k \tag{3}$$

โดยที่ Ke_k คือ พลังงานของฝนในช่วงเวลา k

Rak คือ ปริมาณของฝนในช่วงเวลา k

k คือ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งในจำนวน P ช่วง ที่กำหนดขึ้นจากกราฟวัดปริมาณน้ำฝน

หน่วยพลังงาน Ke_k นั้นขึ้นอยู่กับความหนักเบาของฝนในแต่ละช่วงเวลาในสหรัฐอเมริกาใช้สมการ

$$KE = 916 + 330\log_{10} \quad \text{เมื่อ } I \leq 3 \text{ นิ้ว/ชม.} \tag{4}$$

แต่ถ้าต้องการให้มีหน่วยเป็น Metric System ต้องปรับใหม่เป็น

$$KE = 210.3 + 89\log_{10}(i_{cm}) \tag{5}$$

เมื่อ Ke มีหน่วยเป็นเมตร-ตัน(แรง)/เฮคแตร์-ซม.

i_{cm} คือความหนักเบาของฝนเป็น ซม./ซม

จากการประมาณค่าต่างๆดังกล่าว ค่า EI_{30} ของสมการที่กล่าวมา จะประเมินใหม่โดยการคูณค่า I เข้าด้วยกันแล้วแสดงเป็นสมการ

$$EI_{30} = KE \times I \tag{6}$$

$$R = \frac{E_i \, I_{30}}{100} \tag{7}$$

โดยที่ E_i คือ ดัชนีแสดงพลังชะล้างพังทลายของดินของฝนที่ตกในครั้งหนึ่งๆ

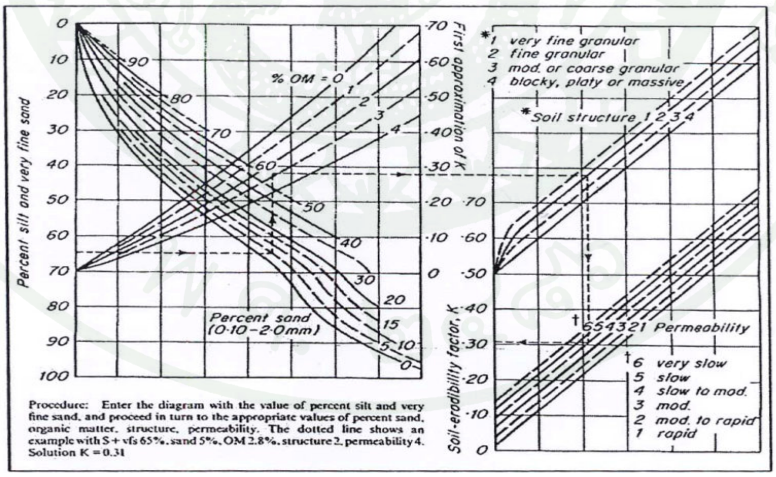
I_{30} คือ ความหนักเบาของฝนในช่วง 30 นาทีที่สูงสุด

6.2 การประเมินค่าปัจจัยความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility factor, K-factor)

ปริมาณการสูญเสียดินจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ ความรุนแรงของฝน ปริมาณการปกคลุมดินของพืช และมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่ ค่า K ที่ได้จากการทดลองจะสะท้อนให้เห็นถึงสมบัติของดินทุกรูปแบบที่มีผลต่อการถูกชะล้างโดยพลังน้ำฝน และน้ำไหลบ่าบนหน้าดิน

การประมาณค่า K จากเนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

กรณีที่ไม่มีข้อมูลสามารถใช้แผนภาพ nomograph แทนได้ นอกจากนี้หน่วยงานวิจัยของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งสหรัฐอเมริกา (ORD – EPA,1975) ก็ได้ประเมินค่าของ K ไว้โดยประมาณ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงแผนภาพ ค่า K ใน USLE

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

ในปี ค.ศ. 1990 Williums และคณะ ได้สร้างสมการหาค่า K ใหม่ขึ้นมาเพื่อใช้กับแบบจำลองการชะล้างพังทลายของดิน โดยใช้เนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน สมการประมาณค่า K ในกรณีนี้คือ

$$100K = 2.1M^{1.14}(10^{-4})(12\text{-}a) + 3.25(b\text{-}2) + 2.5(c\text{-}3) \tag{8}$$

โดยที่ M = Particle size parameter, (%Silt + %very fine sand) × (100- %clay)

a = % OM

b = Soil structure code ; 1 – 4 ดังแสดงในภาพที่ 9

c = Profile permeability code ; 1 – 6 ดังแสดงในภาพที่ 9

โดยมีค่าดัชนีความยากง่ายต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K) โดยประมาณ ซึ่งพิจารณาจากเนื้อและอินทรียวัตถุในดินดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีความยากง่ายต่อการชะล้างพังทลายของดิน (K) โดยประมาณ เมื่อพิจารณาจากเนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

ชนิดของเนื้อดิน	ค่า K – Factor ใน USLE กรณีที่ดินมีอินทรียวัตถุ		
	0.50%	2%	4%
ทราย (Sand)	0.005	0.03	0.02
ทรายละเอียด (Fine sand)	0.15	0.14	0.10
ทรายละเอียดมาก (Very fine sand)	0.42	0.36	0.28
ทรายร่วน (Loamy sand)	0.12	0.10	0.08
ทรายละเอียดร่วน (Loamy fine sand)	0.24	0.20	0.16
ทรายละเอียดร่วนมาก (Very loamy fine sand)	0.44	0.38	0.30
ดินร่วนปนทราย (Sandy loam)	0.27	0.24	0.19
ดินร่วนปนทรายละเอียด (Fine sandy loam)	0.35	0.30	0.24
ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก (Very fine sandy	0.47	0.41	0.33
loam)	0.38	0.34	0.29
ดินร่วน (Loam)	0.48	0.42	0.33
ดินร่วนปนซิลท์ (Silt loam)	0.60	0.52	0.42
ดินซิลท์ (Silt)	0.27	0.25	0.21
ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam)	0.28	0.25	0.21
ดินร่วนเหนียว (Clay loam)	0.37	0.32	0.26
ดินร่วนเหนียวปนซิลท์ (Silt clay loam)	0.14	0.13	0.12
ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay)	0.25	0.23	0.18
ดินเหนียวปนซิลท์ (Silt clay)	-	0.13-0.29	-
ดินเหนียว (Clay)			

ที่มา: ARS-USDA and ORD-EPA (1975)

6.3 ค่าดัชนีความลาดเทของพื้นที่ (LS – Factor)

สมการของ Wischmeier and Smith, 1978 ได้มีการดัดแปลงสมการ ปัจจุบันใช้สมการคือ

$$S = (0.43 + 0.30s + 0.043s^2)/6.613 \quad (9)$$

หรือ $$S = 0.065 + 0.045s + 0.0065s^2 \quad (10)$$

และ $$L = (\lambda/22.13)^m \quad (11)$$

เมื่อ s เป็นเปอร์เซ็นต์ความลาดเท

λ เป็นความยาวของความลาดเท, เมตร

m เป็นค่ายกกำลังตั้งแต่ 0.2 – 0.5 ซึ่งขึ้นกับความลาดเท

ถ้า $s > 5\%$, $m = 0.5$

$s = 3.5 – 4.5\%$, $m = 0.4$

$s = 1 – 3\%$, $m = 0.3$

$s < 1\%$, $m = 0.2$

ค่าดังกล่าวได้มีการประเมินไว้บ้างแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าของ LS – Factor ในสมการการสูญเสียสากล ในกรณีระดับและความยาวของความลาดเทต่าง

ระดับความลาดเท		ความยาวของแนวความลาดเท											
	ft	25	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
%	m	7.5	15	22.5	30	45	60	90	120	150	180	240	300
1		0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26
2		0.13	0.16	0.19	0.20	0.23	0.24	0.28	0.32	0.33	0.30	0.38	0.40
3		0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.35	1.40	0.44	0.47	0.49	0.84	0.57
4		0.23	0.30	0.36	0.40	0.47	0.53	0.62	0.70	0.76	0.84	0.92	1.00
5		0.27	0.38	0.46	0.54	0.66	0.76	0.93	1.10	1.20	0.92	1.50	1.70
6		0.34	0.48	0.58	0.67	0.82	0.95	1.20	1.40	1.50	1.50	1.90	2.10
8		0.50	0.70	0.86	0.99	0.20	1.40	1.70	2.00	2.20	1.90	2.80	3.10
10		0.69	0.97	1.20	1.40	1.70	1.90	2.40	2.70	3.10	2.80	3.90	4.30
12		0.90	1.30	1.60	1.80	2.20	2.60	3.10	3.60	4.00	3.90	5.10	5.70
14		1.20	1.60	2.00	2.30	2.80	3.30	4.00	4.60	5.10	5.10	6.50	7.30
16		1.40	2.00	2.50	2.80	3.50	4.00	4.90	5.70	6.40	6.50	8.00	9.00
18		1.70	2.40	3.00	3.40	4.20	4.90	6.00	6.90	7.70	8.00	9.70	11.0
20		2.00	2.90	3.50	4.10	5.00	5.80	7.10	8.20	9.10	9.70	12.0	23.0
30		4.00	5.60	6.90	8.00	9.70	11.0	22.0	16.0	18.0	17.0	23.0	25.0
40		6.30	9.00	11.0	13.0	16.0	18.0	31.0	25.0	28.0	23.0	-	-
50		8.90	13.0	15.0	18.0	22.0	25.0	-	-	-	-	-	-
60		12.0	16.0	20.0	23.0	28.0	-	-	-	-	-	-	-
80		26.3	37.6	46.2	53.2	-	-	-	-	-	-	-	-
100		40.4	57.8	71.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2543)

6.4 การประเมินค่าดัชนีพืชคลุมดินและการจัดการพืช (C – Factor)

ค่า C สะท้อนถึงประสิทธิภาพของพืช ลักษณะการปกคลุม และวิธีการปฏิบัติในการปลูกพืช รวมทั้งลักษณะแปลงทดลอง การกำหนดค่า C ของพืชชนิดใดชนิดหนึ่งในแต่ละท้องที่ จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการตกและการกระจายของฝนในช่วงเวลาต่างๆของแต่ละพื้นที่และรู้ประสิทธิภาพของพืชนั้นๆ รวมทั้งลักษณะการปฏิบัติการปลูกพืชต่อการควบคุมการชะล้างพังทลายของดินด้วย ดังแสดงตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การกำหนดค่า C – factor และ P – factor สำหรับหน่วยในแผนที่การใช้ที่ดิน 1:50,000

ชนิดพืช	ค่า C	ค่า P
พืชไร่ พืชไร่ผสม	0.34	1.0
สัก ประดู่ กระถิน	0.088	1.0
สตอเบอรี่ แรสเบอรี่	0.27	1.0
ไม้ดอก	0.386	1.0
พืชผัก (หมุนเวียน)	0.25	1.0
สวนป่า สวนป่าผสม	0.088	1.0
ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม	0.048	1.0
ป่าไม้เสื่อมโทรม	0.25	1.0
ชา ไม้ผล สวนผลไม้	0.15	1.0
กล้วย ขนุน ลำไย ชมพู่	0.15	1.0
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	0.10	1.0
ถั่วดำ งา ถั่วแดง	0.386	1.0
นาข้าว นาดำ	0.28	1.0
พื้นที่ป่าไม้ ป่าเบญจพรรณ	0.02	1.0
ป่าไผ่	0.15	1.0
ป่าชายเลน	0.45	1.0
นาดำเขตชลประทาน	0.10	1.0
ป่าชายหาด	0.45	1.0
ถั่ว + ยูคาลิปตัส	0.1258	1.0
มัน + ยูคาลิปตัส	0.1328	1.0
มัน + กระถินยักษ์	0.1236	1.0
ถั่ว + กระถิน	0.1764	1.0
กระถิน	0.0206	1.0
ไม้ยืนต้น	0.15	1.0
ป่าละเมาะ	0.048	1.0

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2543)

6.5 การประเมินค่าดัชนีลดการสูญเสียดินของโครงสร้าง อนุรักษ์ดินและน้ำ (P – Factor)

ค่าของดัชนี P – Factor สำหรับการไถพรวนตามแนวเส้นระดับขอบเขาบนพื้นที่ที่มีระดับความลาดเทต่างๆ และในขีดจำกัดของความยาวของแนวความลาดเทตั้งแต่ 17 ถึง 130 เมตร แสดงไว้ที่ตารางที่ 4 – 5

ตารางที่ 5 ค่าของ P สำหรับการไถพรวนตามแนวระดับขอบเขาในกรณีความยามของแนวความลาดเทต่างๆกัน

เมื่อพื้นที่มีความลาดเท %	ค่าของ P ใน USLE	ความยาวของแนวความลาดเท ฟุต	เมตร (ประมาณ)
1 ถึง 2	0.6	400	130
3 ถึง 5	0.5	300	90
6 ถึง 9	0.5	200	60
9 ถึง 12	0.6	120	30
13 ถึง 16	0.7	80	24
17 ถึง 20	0.8	60	20
21 ถึง 25	0.9	50	17

ค่าที่อยู่ในช่วงความลาดเทเกินกว่า 17 ถึง 130 เมตร เป็นค่าที่อยู่นอกช่วงผลการทดลอง การนำไปใช้ควรพิจารณาให้รอบคอบ

การศึกษาค่า K C และ P ในประเทศไทย ได้มีศึกษาอย่างจำกัดเฉพาะชนิดดิน ชนิดพืช และมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำไม่กี่ชนิดที่สนใจ เนื่องจากจะต้องหาแปลงทดลองมาตรฐาน และใช้เวลานานหลายปี สำหรับประเทศไทยแล้ว หากจะใช้สมการ USLE อย่างจริงจังในอนาคต ทั้งค่า K C และ P ควรจะดำเนินการศึกษาอย่างจริงจัง ทั้งในแปลงการทดลองมาตรฐานและการจำลองทางคณิตศาสตร์ (นิพนธ์, 2545)

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

7.1 การทดลองแฟคทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย เป็นปัจจัยกำหนด

สมมติว่ามีปัจจัย 3 ปัจจัย คือ A, B และ C ผู้วิจัยกำหนดจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยที่สนใจศึกษา ให้ปัจจัย A มี a ระดับ ปัจจัย B มี b ระดับปัจจัย C มี c ระดับทำการทดลอง n จำนวนซ้ำ เขียนตัวแบบสถิติของการทดลองได้ดังนี้

$$y_{ijk1} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk1} \quad (12)$$

$$i = 1, 2, \ldots, a \ ; \ j = 1, 2, \ldots, b \ ; \ k = 1, 2, \ldots, c \ ; \ 1 = 1, 2, \ldots, n$$

วิธีการคำนวณผลบวกกำลังสอง

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_i^a y_{i\ldots}^2 - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (13)$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_i^b y_{.j.}^2 - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (14)$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_k^c y_{..k.}^2 - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (15)$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_i^a\sum_j^b y_{ij\cdot}^2 - SS_A - SS_B - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (16)$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_i^a\sum_k^c y_{i\cdot k\cdot}^2 - SS_A - SS_C - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (17)$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_j^b\sum_k^c y_{\cdot jk\cdot}^2 - SS_B - SS_C - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (18)$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n}\sum_i^a\sum_j^b\sum_k^c y_{ijk\cdot}^2 - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (19)$$

$$SS_{Total} = \sum_i^a\sum_j^b\sum_k^c\sum_\ell^n y_{ijk\ell}^2 - \frac{y_{\ldots.}^2}{abcn} \quad (20)$$

$$SS_E = SS_{total} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC} \quad (21)$$

เมื่อ	SS_A	=	Sun of Square factor A
	SS_B	=	Sun of Square factor B
	SS_C	=	Sun of Square factor C
	SS_{AB}	=	Sun of Square factor AB
	SS_{AC}	=	Sun of Square factor AC
	SS_{BC}	=	Sun of Square factor BC
	SS_{ABC}	=	Sun of Square factor A B C
	SS_T	=	Sun of Square total
	SS_E	=	Sun of Square error

การคำนวณค่าสถิติทดสอบ F_0 ต้องอาศัยการพิจารณาจากตารางค่าคาดหมายของกำลังสองเฉลี่ยในตาราง 6

ตารางที่ 6 ค่าคาดหมายของกำลังสองเฉลี่ยของการทดลองแฟคทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย เป็นปัจจัยกำหนด

องค์ประกอบของตัวแบบ	F a i	F b j	F c k	R n ℓ	ค่าคาดหมายของกำลังสองเฉลี่ย E(MS)
τ_i	0	b	c	n	$\sigma^2 + bcn\sum_i^a \tau_i^2/(a-1)$
β_j	a	0	c	n	$\sigma^2 + acn\sum_j^b \beta_j^2/(b-1)$
γ_k	a	b	0	n	$\sigma^2 + abn\sum_k^c \gamma_k^2/(c-1)$
$(\tau\beta)_{ij}$	0	0	c	n	$\sigma^2 + cn\sum_i^a \sum_j^b (\tau\beta)_{ij}^2/(a-1)(b-1)$
$(\beta\gamma)_{jk}$	a	0	0	n	$\sigma^2 + an\sum_j^b \sum_k^c (\beta\gamma)_{jk}^2/(b-1)(c-1)$
$(\tau\gamma)_{ik}$	0	b	0	n	$\sigma^2 + bn\sum_i^a \sum_k^c (\tau\gamma)_{ik}^2/(a-1)(c-1)$
$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$	0	0	0	n	$\sigma^2 + n\sum_i^a \sum_j^b \sum_k^c (\tau\beta\gamma)_{ijk}^2/(a-1)(b-1)(c-1)$
$\varepsilon_{(ijk)1}$	1	1	1	1	σ^2

ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแฟคทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย เป็นปัจจัยกำหนด

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	Expected Mean Square	F_0
A	SS_A	a - 1	MS_A	$\sigma^2 + \frac{bcn\sum\tau_i^2}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	b - 1	MS_B	$\sigma^2 + \frac{acn\sum\beta_j^2}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
C	SS_C	c - 1	MS_C	$\sigma^2 + \frac{abn\sum\gamma_k^2}{c-1}$	$F_0 = \frac{MS_C}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	(a - 1)(b - 1)	MS_{AB}	$\sigma^2 + \frac{cn\sum\sum(\tau\beta)_{ij}^2}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	(a - 1)(c - 1)	MS_{AC}	$\sigma^2 + \frac{bn\sum\sum(\tau\gamma)_{ik}^2}{(a-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	SS_{BC}	(b - 1)(c - 1)	MS_{BC}	$\sigma^2 + \frac{an\sum\sum(\beta\gamma)_{ik}^2}{(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	SS_{ABC}	(a - 1)(b - 1)(c - 1)	MS_{ABC}	$\sigma^2 + \frac{n\sum\sum\sum(\tau\beta\gamma)_{ijk}^2}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Error	SS_E	abc(n - 1)	MS_E	σ^2	
Total	SS_{Total}	abcn - 1			

7.2. การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis)

7.2.1 ระดับข้อมูลของตัวแปร

ตัวแปรเกณฑ์ และตัวแปรพยากรณ์ อยู่ในมาตราอันตรภาคชั้น (Interval scale) หรือมาตราวัดอัตราส่วน (Ratio scale) ในกรณีที่ตัวแปรพยากรณ์ไม่เป็นไปตามมาตรวัดข้างต้น ให้แปลงข้อมูลเป็นตัวแปรหุ่น (Dummy variable) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูล

7.2.2 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

7.2.2.1 Normality ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality) ตรวจสอบได้โดยการดูกราฟ หรือวิธีการทางสถิติเช่น เช่นใช้ Kolmogorov-Smirnov Test ในกรณีที่ไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากร จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างแทน หรือใช้ Shapiro-Wilk Test ในกรณีที่ทราบหรือไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากรก็ได้ แต่กลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดไม่เกิน 50 หรือ Lilliefors test ซึ่งเป็นวิธีการที่ปรับปรุงมาจากวิธีของ Kolmogorov-Smirnov แต่จะให้ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบน้อยกว่าวิธีของ Kolmogorov-Smirnov (ศิริชัย, 2551)

7.2.2.2. Linearlity ตัวแปรพยากรณ์กับตัวแปรเกณฑ์มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง (Linearity) ตรวจสอบได้โดยใช้วิธีการทางสถิติ เช่น ดูจากค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r_{xy}

7.2.2.3. Homoscedasticity หมายถึง ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีความคงที่ทุกค่าการสังเกต ตรวจสอบได้โดยการดูจากกราฟ หรือใช้วิธีการทางสถิติ เช่น Non-constant variance score test หรือ The spearman rank-correlation test หรือ The goldfeld and quarndt test หรือ White’s test

7.2.2.4. ตัวแปรที่นำมาใช้พยากรณ์ต้องไม่มีปัญหาเรื่อง Multicollinearity หมายถึง ตัวแปรที่นำมาใช้พยากรณ์ไม่ควรมีความสัมพันธ์กันสูงเกินไป ตรวจสอบได้ด้วยการดูกราฟ หรือด้วยวิธีการทางสถิติเช่น ดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r_{xy} หรือดูจากค่า variance inflation factors (VIF)

7.2.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

7.2.3.1. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คำนวณด้วยสมการที่ 22 ของเพียร์สัน (r_{xy}) (สมบัติ, 2551)

$$r_{xy} = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\left[\sum X^2 - (\sum X)^2\right]\left[n\sum Y^2 - (\sum Y)^2\right]}} \qquad (22)$$

7.2.3.2. ค่า b หาจากสมการที่ 23 (บุญชม, 2547)

$$b_j = \beta_j \frac{S_Y}{S_j} \qquad (23)$$

เมื่อ b_j คือ ค่าน้ำหนักคะแนนหรือสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ (ตัวแปรอิสระ) ตัวที่ j ที่ต้องการหาค่าน้ำหนักคะแนน

βj คือ ค่าน้ำหนักเบต้าของตัวพยากรณ์ (ตัวแปรอิสระ) ตัวที่ j

S_Y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวเกณฑ์ (ตัวแปรตาม)

S_j คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวพยากรณ์ (ตัวแปรอิสระ) ตัวที่ j

7.2.3.3. ค่า β หาจากสมการที่ 24 (สมบัติ, 2546)

$$\beta_j = b_j \frac{S_j}{S_Y} \qquad (24)$$

7.2.3.4. สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple correlation) แทนด้วย R คำนวณหาค่า R โดยใช้สมการที่ 25 (สมบัติ, 2546)

$$R = \sqrt{\beta_1 r_{1y} + \ldots + \beta_p r_{py}} \qquad (25)$$

7.2.3.5. การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (หรือสัมประสิทธิ์การถดถอย) ทดสอบโดยใช้สถิติ F จากสมการที่ 26

$$F = \frac{R^2/k}{\left(1 - R^2\right)/(N - k - 1)} \tag{26}$$

เมื่อ F คือ ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ F เพื่อทราบความมีนัยสำคัญของ R

R คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

N คือ จำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่าง

k คือ จำนวนตัวพยากรณ์ (ตัวแปรอิสระ)

7.2.3.6. การทดสอบนัยสาคัญของตัวแปรที่เพิ่มเข้ามาในสมการการถดถอย มีสมการที่ 27 การทดสอบนัยสาคัญดังนี้

$$F = \frac{(R^2_{Y.12...I} - R^2_{Y.12...k})/(1-k)}{(1-R^2_{Y.12...I})(N-1-1)} \tag{27}$$

เมื่อ F คือ ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤติจากการแจกแจงแบบ F เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

$R_{Y.12...k}$ คือ กำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณสาหรับการถดถอยของ Y บนตัวแปร k ตัว

$R_{Y.12...I}$ คือ กำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณสาหรับการถดถอย ของ Y บนตัวแปร k ตัว

k คือ จำนวนของตัวพยากรณ์ที่มีจำนวนน้อยกว่า

I คือ จำนวนของตัวพยากรณ์ที่มีจำนวนมากกว่า

7.2.3.7. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ (Standard errors of estimate) เขียนแทนด้วยตัวย่อ SE_{est} สมการที่ 28 ในการหา SE_{est} ดังนี้

$$SE_{est} = \sqrt{\frac{SS_{res}}{N - K - 1}} \tag{28}$$

เมื่อ SE_{est} คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์

SE_{res} คือ ผลรวมของกำลังสอง (Sum of squares) ของส่วนที่เหลือ (ของ Residual) = $\sum d^2$

7.2.3.8. การหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย (Standard errors of b coefficients) เขียนแทนด้วยตัวย่อ SE_{bj} สามารถคำนวณได้หลายวิธี สมการที่ 29 ได้แก่

$$SE_{b1} = \sqrt{\frac{SE^2_{est}}{SS_{x1}\left(1 - R^2_1\right)}} \qquad (29)$$

เมื่อ SE_{bj} คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย (ของ b)

SE^2_{est} คือ กำลังสองของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์

SS_{xj} คือ ผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบน (Sum of squares) ของตัวพยากรณ์ตัวที่ j

R^2_j คือ กำลังสองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างตัวพยากรณ์ตัวที่ j

7.2.3.9. การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อทดสอบว่าตัวแปรพยากรณ์แต่ละตัวส่งผลต่อการทำนายตัวเกณฑ์หรือไม่ ทดสอบโดยใช้สมการที่ 30

$$t_j = \frac{b_j}{SE_{b1}} \qquad (30)$$

เมื่อ t_j คือ ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ t เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

b_j คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวพยากรณ์ที่ j ที่ต้องการทดสอบนัยสำคัญ

SEb_j คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย

8. สมการณ์พยากรณ์ในรูปคะแนนมาตรฐาน

ถ้าต้องการพยากรณ์เกณฑ์ในรูปของคะแนนมาตรฐาน เขียนสมการพยากรณ์ได้สมการที่ 31 ดังนี้

$$Z'_Y = \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \ldots + \beta_k Z_k \quad (31)$$

เมื่อ Z'_Y คือ คะแนนพยากรณ์ในรูปของคะแนนมาตรฐาน ของตัวเกณฑ์ (ตัวแปรตาม)

$\beta_1 \beta_2, \beta_k$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปของคะแนนมาตรฐานของตัวพยากรณ์ตัวที่ 1 ถึง ตัวที่ k ตามลำดับ

Z_1, Z_2, Z_k คือ คะแนนมาตรฐานของตัวพยากรณ์ (ตัวแปรอิสระ) ตัวที่ 1 ถึง ตัวที่ k ตามลาดับ

K คือ จำนวนตัวพยากรณ์

8.1. การคัดเลือกตัวแปรเพื่อการพยากรณ์

วิธีคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์เข้าสู่สมการถดถอยมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น

8.1.1. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบปกติ (Enter regression)

8.1.2. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบคัดเลือกออก (Remove regression)

8.1.3. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบเดินหน้า (Forward regression)

8.1.4. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบถอยหลัง (Backward regression)

8.1.5. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นบันได (Stepwise regression)

วิธีที่มักจะนำมาใช้กัน คือ วิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบปกติ (Enter regression) และวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นบันได (Stepwise regression) โดยที่ทั้งสองวิธีตอบสนองความต้องการของผู้ใช้แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ คือ วิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบปกติ ผู้ใช้สามารถเลือกตัวแปรทำนายเข้าสู่สมการได้เอง ส่วนการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นบันได (Stepwise regression) นำเสนอสมการตัวแปรพยากรณ์ที่ ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการทำนาย

8.2. ขั้นตอนการวิเคราะห์

8.2.1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น

8.2.2. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (r_{xy}) ของตัวแปรพยากรณ์กับตัวแปรเกณฑ์

8.2.3. คัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่มีความสัมพันธ์สูงสุดกับตัวแปรเกณฑ์เข้าสมการ และ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R)

8.2.4. ทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) ว่าทดสอบว่าตัวแปรพยากรณ์ที่เข้าในสมการยังคงอยู่ในสมการต่อไปได้หรือไม่ด้วยสถิติ F

8.2.5. หาค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรพยากรณ์ (b) หรือ β หรือทั้งสองอย่าง เพื่อนำมาใช้ในการเขียนสมการพยากรณ์ และเปรียบเทียบว่าตัวแปรพยากรณ์ตัวใดพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้ดีกว่า

8.2.6. ทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรพยากรณ์สามารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้หรือไม่ ด้วยสถิติ t

8.2.7. คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรพยากรณ์ที่เข้าสมการ (SE_b) และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ (SE_{est})

8.2.8. คัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่มีความสัมพันธ์สูงกับตัวแปรเกณฑ์รองลงมาเข้าสมการและทาการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลง (R^2 change) ด้วยสถิติ F ถ้า R^2 change ไม่มีนัยสำคัญก็แสดงว่าตัวแปรพยากรณ์ไม่สามารถอยู่ในสมการพยากรณ์ได้ แต่ถ้ามีนัยสำคัญก็ดำเนินการตามข้อ 8.2.4, 8.2.5, 8.2.6 และ 8.2.7 และดำเนินการต่อไปจนกว่าจะไม่มีตัวแปรพยากรณ์ใดเข้าในสมการ (บุญชม, 2547)

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Han *et al.* (2010) ศึกษากระบวนการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนความลาดชันบนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผิวดินและปริมาณตะกอนโดยจำลองฝนที่ความเข้มฝน 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ 150 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยมีความลาดชัน 4 ความลาดชันคือ 10 ,15 , 20 และ 25 องศา ใช้เมล็ดจำนวน 75 เมล็ดในการทดลองแต่ละซ้ำ เมล็ดพันธุ์ที่ใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ของพืชพื้นเมือง พบว่าปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณตะกอนและปริมาณน้ำไหลบ่า คือ เมื่อปริมาณตะกอนและปริมาณน้ำไหลบ่าเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ 27.7 – 69.3 เปอร์เซ็นต์

Cerda′ and Garcia-Fayos (2002) ศึกษาอิทธิพลของขนาดของเมล็ดและรูปร่างในการเคลื่อนที่ของเมล็ดพันธุ์โดยการกัดเซาะของน้ำ โดยการจำลองฝนในห้องปฏิบัติการที่ความเข้มฝน 55 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีช่วงเวลา 25นาที บนแปลงขนาด 26 x 26 เซนติเมตร ที่ความชัน 11องศา สายพันธุ์ที่ใช้ 5 สายพันธุ์แต่ละสายพันธุ์ใช้ 50 เมล็ด พบว่าน้ำหนักเมล็ดควรจะมีน้ำหนักมากกว่า 50 มิลลิกรัมเพื่อลดผลกระทบของการกัดเซาะโดยน้ำ

Arnaez *et al.* (2007) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลการไหลบ่าและการกัดกร่อนภายใต้ปริมาณน้ำฝนจำลองในไร่องุ่นแถบเมดิเตอร์เรเนียน การทดลองในไร่องุ่น พื้นที่ความลาดชันมีความลาดชันเฉลี่ย 3.8 องศา โดยมีความเข้มฝนต่ำสุด (30 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) และมี return period (2 ปี) กับการทดลองกับความเข้มฝนสูงสุด (104 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) และมี return period (68ปี) น้ำไหลบ่าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น และการสูญเสียดินเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนี้ การสูญเสียดินเท่ากับ 18.2 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง สำหรับความเข้มฝน 30 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ 93.2 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง สำหรับความเข้มฝน 104 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

Assouline and Ben-Hur (2006) ศึกษาผลกระทบของความเข้มฝนและความลาดชันของการกัดเซาะเป็นร่องริ้วบนผิวดินโดยในการทดลองได้ใช้พื้นที่มีความลาดชัน 5 ความลาดชันคือ 5, 9, 15, 20 และ 25เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำฝนที่ในการทดลองคือ 24 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงและ 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีการวัดการสูญเสียของดินสามารถพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนเกิดการกัดเซาะเป็นสายน้ำเล็กๆ การกัดเซาะที่เกิดขึ้นขณะฝนตกจะส่งผลกระทบจากน้ำไหลบ่ากับพื้นที่

ความลาดชันสูง ปริมาณน้ำไหลบ่าจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเกิดปริมาณน้ำไหลบ่าและปริมาณความเข้มฝน จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ความลาดชันสูง

Cerdh and Garcia-Fayos (1997) ทำการศึกษาอิทธิพลของความลาดชันของพื้นที่ในการสูญเสียตะกอนดินน้ำและเมล็ดพันธุ์ในสภาพพื้นที่ไม่ดี โดยการจำลองปริมาณน้ำฝนที่ความเข้ม 55 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นอิทธิพลจากความลาดชัน และอัตราการกัดเซาะ ความลาดชันมีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อปริมาณน้ำไหลบ่าในช่วงเริ่มต้นการเกิดน้ำไหลบ่า และที่สภาวะคงที่ของอัตราการซึม ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความลาดชัน ซึ่งปริมาณการสูญเสีย 1.5- 3.58 เปอร์เซ็นต์

Jiao Juying et al. (2009) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของการพังทลายของดินเป็นการศึกษาจากบทความที่ผ่านมาโดยในบทความนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพืชและพังทลายของดิน ผลการวิจัยพังทลายของดินที่เป็นแรงผลักดันที่สำคัญที่สุดของการเสื่อมโทรมของไร่และระบบนิเวศภูเขา พังทลายของดินเป็นตัวการสำคัญทีส่งผลกระทบต่อกระบวนการของการพัฒนาอย่างของพืช การพังทลายของดินส่งผลกระทบต่อระยะการเจริญเติบโตและมีผลกระทบต่อเมล็ดการกระจาย การงอกและการกระจายเชิงพื้นที่ของพืช

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูงและการหาปริมาณฝางข้าวที่ปกคลุมเพื่อลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเกษตรสามารถนำไปปรับใช้ได้ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาทำการวิจัยที่ความลาดชันต่ำ ไม่เกิน 25 องศา และเมล็ดที่ใช้เป็นเมล็ดที่ปลูกในท้องถิ่น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำการทดลองที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการวิจัยจะชนิดเมล็ดพันธุ์ 2 ชนิด โดยมีขนาดแตกต่างกัน โดยมีสมมุติฐานดังนี้ ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเมล็ดพันธุ์ บนพื้นที่ความลาดชันสูงและ เพื่อศึกษาหาปริมาณ ฟางข้าวที่เหมาะสม ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดิน เพื่อประโยชน์ในการลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์

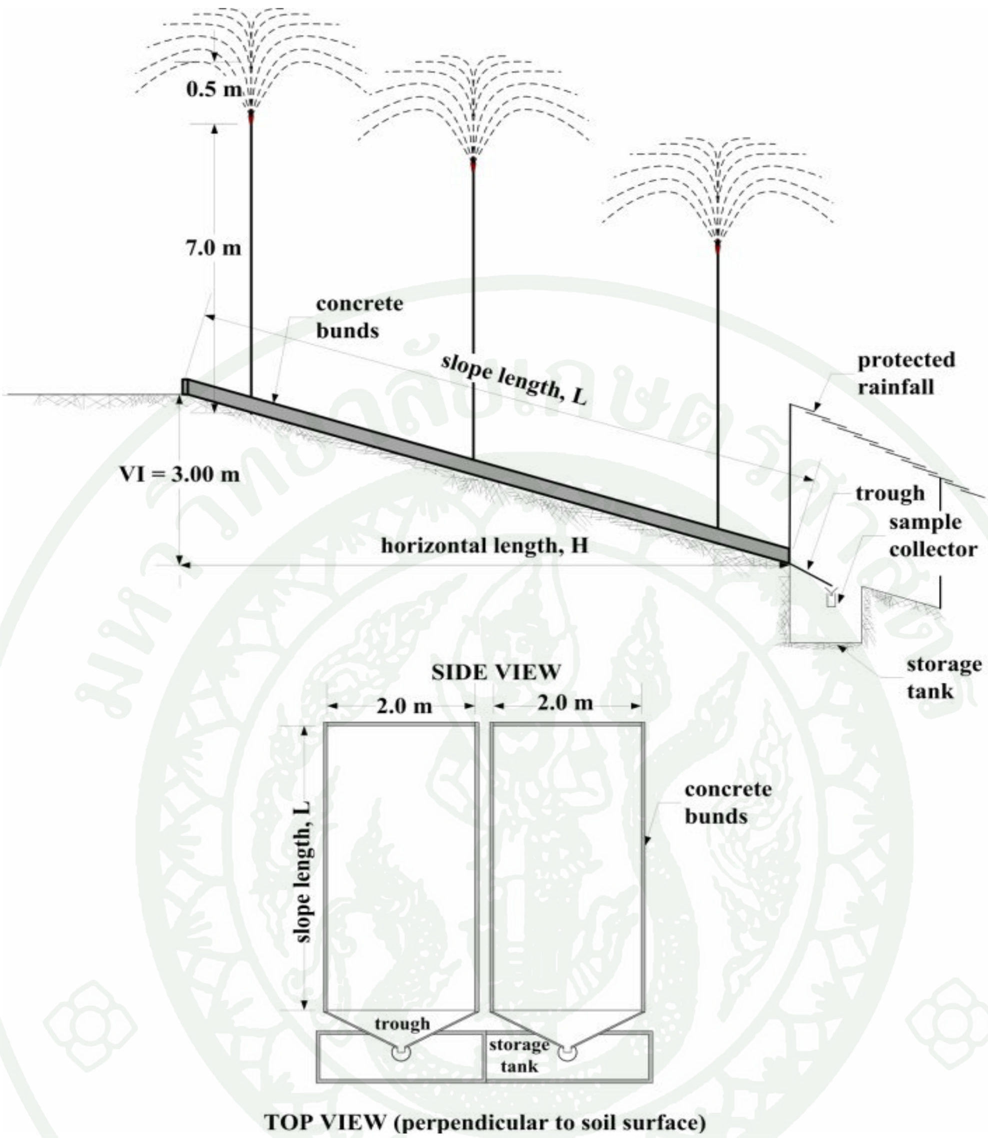
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การศึกษาผลกระทบขอน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง และการลดผลกระทบของปริมาณน้ำผิวดิน นั้นจะใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดินบนแปลงทดลอง ในการทดลองนี้ได้ใช้เมล็ดพันธุ์ 2 ชนิดคือ ถั่วเหลือง และถั่วเขียว ทำการทดสอบบนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ทำการติดตั้งชุดจำลองน้ำฝนบนแปลงทดลอง พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ กว้าง 2 เมตร ยาว 10.44 เมตร และพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ กว้าง 2 เมตร ยาว 6.71 เมตร สำหรับการทดลองที่ใช้วัสดุคลุมดินนั้นได้ทำการทดลอง ใช้ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณวัสดุที่ปริมาณ 800, 1200 และ 1600 กิโลกรัมต่อไร่ ได้ใช้เมล็ดพันธุ์เป็น ถั่วเขียว สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีอุปกรณ์และวิธีการสำหรับการศึกษาดังนี้

1. แปลงทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในแปลงวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งแปลงทดลองนี้ได้เคยถูกใช้เพื่อการวิจัยเรื่องศึกษาวิจัยการลดปริมาณน้ำไหลบ่าและการสูญเสียดินบนพื้นที่ความลาดชันสูงโดยใช้หญ้าแฝก (Donjadee and Chinnarasri, 2012) ในการออกแบบพื้นที่การทดลองนั้น ให้มีขนาดแปลงการทดลอง กว้าง 2 เมตร และความยาวความลาดชัน มีความยาว 10.44 เมตร และ 6.71 เมตร สำหรับความลาดชันที่ 30 เปอร์เซ็นต์และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พร้อมทั้งติดตั้งรางรองรับตะกอนไว้ที่บริเวณท้ายแปลง ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 รูปแปลงทดลองการชะล้างพังทลายของดิน

2. ทำการไถพรวนดินในแปลงทดลอง

ทำการไถพรวนดินในแปลงทดลองด้วยจอบ และทำการเกลี่ยพื้นที่ให้มีความสม่ำเสมอทั่วแปลงการทดลองด้วยคราด ดังภาพที่ 11

ภาพที่ 11 การไถพรวนแปลงทดลอง

3. อุปกรณ์

3.1 ชุดจำลองน้ำฝน

เพื่อจำลองฝนตามธรรมชาติ พบว่าเม็ดฝนที่ตกลงมาจากความสูงที่ 7.5 เมตร จะให้ความเร็วท้ายสุดเท่ากับหรือมากกว่า 95% ของความเร็วท้ายสุดที่เกิดฝนตามธรรมชาติ (Morgan, 1995) โดยการจำลองฝนตามธรรมชาติได้ใช้หัวน้ำฝนยี่ห้อ 3/8 HH-27WSQ FullJet (Donjadee *et al.*, 2010) ดังภาพที่ 12 ในการจำลองฝนตามธรรมชาติ ทำการติดตั้งหัวน้ำในแปลงการทดลอง และการวิจัยครั้งนี้จะทำการทดลองหาค่าความเข้มฝนและความสม่ำเสมอของหัวน้ำฝนใหม่ เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้อง

ภาพที่ 12 หัวน้ำฝน

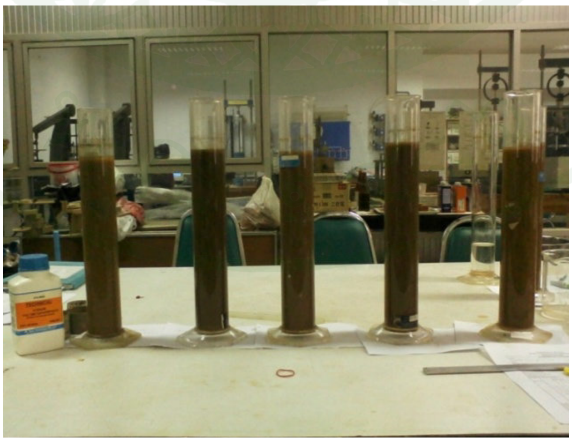
3.2 ชุดเก็บปริมาณน้ำไหลบ่า

ในการทดลองได้ใช้กระป๋องอลูมิเนียมในการรองรับปริมาณน้ำผิวดินและปริมาณตะกอนท้ายแปลง ดังภาพที่ 13 ซึ่งกระป๋องอลูมิเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร

ภาพที่ 13 กระป๋องอลูมิเนียม

3.3 ชุดเครื่องมือหาขนาดเม็ดดิน

วิธีการหาขนาดเม็ดดินทำได้ 2 วิธี คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) เหมาะสำหรับดินพวกเม็ดหยาบ ขนาดเม็ดดินใหญ่กว่า 0.075 มิลลิเมตร และวิธี Hydrometer analysis เหมาะสำหรับดินเม็ดละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร วิธีนี้จะอาศัยกฎการตกตะกอนของสโตรค (Strokes' Law) กล่าวว่าความเร็วของการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน เกษมศรี (2541) ชุดเครื่องมือหาขนาดเม็ดดินแบบตกตะกอนแสดงดังภาพที่ 14 ประกอบไปด้วยไฮโดรมิเตอร์ชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะจาก 0.995 – 1.030 กระบอกไฮโดรมิเตอร์ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 14 การทำไฮโดรมิเตอร์

4. วัสดุที่ใช้คลุมดินและเมล็ดพันธุ์

4.1 เมล็ดพันธุ์

4.1.1 เมล็ดถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชไร่ที่มีอายุสั้นเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย สามารถปลูกได้ตลอดปี พันธุ์แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำ วิธีปลูกและอัตราปลูก โดยการโรยเป็นแถว ระยะแถว 50 เซนติเมตร จำนวน 20 ต้นต่อแถว ยาว 1 เมตร จะได้จำนวน 64,000 ต้น/ไร่ และการหว่าน ใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตรา 5-7 กิโลกรัมต่อไร่ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่, 2542) โดยเมล็ดถั่วเขียวมีลักษณะเฉพาะมีรูปร่างเมล็ดเป็นรูปไข่ และกลม ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการชั่งน้ำหนัก วัดความกว้าง ความยาว ความสูงของเมล็ดถั่วเหลือง โดยมีน้ำหนักเมล็ด 0.057 กรัม ดัชนีความเรียบเท่ากับ 1.146 พื้นที่ผิวเท่ากับ 0.204 ตารางเซนติเมตร ปริมาตรเท่ากับ 0.081 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ ความหนาแน่นเท่ากับ 0.618 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 15

ภาพที่ 15 เมล็ดถั่วเขียว

4.1.2 เมล็ดถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยออกเป็นพันธุ์ไทย จีน และญี่ปุ่น มีพื้นที่การปลูกในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน โดยสามารถปลูกได้ปีละ 3 ฤดู คือ ต้นฤดูฝน ปลายฤดูฝน และฤดูแล้ง และปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ 15 - 20 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีวิธีปลูกได้ทั้งวิธีโรยเป็นแถว หยอดเป็นหลุม หรือหว่าน ขึ้นอยู่กับฤดูปลูก (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่, 2542) โดยเมล็ดถั่วเหลืองมีลักษณะเฉพาะมีรูปร่างเมล็ดเป็นรูปไข่ และกลม ผิวสีเหลืองมันตา ค่อยข้างไปทางสีน้ำตาลอ่อน ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการชั่งน้ำหนัก วัดความกว้าง ความยาว ความสูงของเมล็ดถั่วเหลือง โดยมีน้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 2.39 กรัม ดัชนีความเรียบเท่ากับ 15.04 พื้นที่ผิวเท่ากับ 6.72 ตารางเซนติเมตร ปริมาตรเท่ากับ 4.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ ความหนาแน่นเท่ากับ 4.545 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 16

ภาพที่ 16 เมล็ดถั่วเหลือง

4.2 วัสดุคลุมดิน

ในการทดลองครั้งได้ใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน เพื่อลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ซึ่งฟางข้าวมีคุณสมบัติ ดังนี้

4.2.1 ต้นข้าว (Rice straw)

ข้าว (*Oryza sativa* L.) มีลักษณะใบตรง ไม่โค้งงอ แผ่นใบไม่กว้าง และไม่ยาวจนเกินไป ขนาดเล็กยาวแต่ภายในกลวง (ภาพที่ 17, 18) ที่ได้จากหลังการเก็บเกี่ยวในนาข้าว เรียกว่า ฟางข้าว นิยมใช้ในการคลุมดินในแปลงผัก เพื่อรักษาความชื้นในดิน ซึ่งหาได้ง่ายในพื้นที่ทั่วไป ในปัจจุบันมีการซื้อขายอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก

ภาพที่ 17 ต้นข้าว

ภาพที่ 18 ฟางข้าว

วิธีการ

การศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง และการลดผลกระทบของปริมาณน้ำผิวดิน โดยการใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดินบนแปลงทดลอง งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในแปลวิจัยภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในการทดลองนี้ได้ใช้เมล็ดพันธุ์ 2 ชนิดคือ ถั่วเหลือง และถั่วเขียว ทำการทดสอบบนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ โดยติดตั้งชุดจำลองน้ำฝนบนแปลงทดลอง พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ กว้าง 2 เมตร ยาว 10.44 เมตร และพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ กว้าง 2 เมตร ยาว 6.71 เมตร สำหรับการทดลองที่ใช้วัสดุคลุมดินนั้นได้ทำการทดลอง โดยใช้ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณฟางข้าวที่ใช้ในการคลุมบนแปลงทดลองคือ 800, 1,200 และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เมล็ดพันธุ์

เมล็ดพันธุ์ที่ใช้คือ เมล็ดถั่วเขียว และเมล็ดถั่วเหลือง ทำการวัด น้ำหนักเมล็ด (M) ความยาว (L) ใช้แกนที่ยาวที่สุด ความกว้าง (W) ใช้แกนยาวปากกลาง และความสูง (H) ใช้แกนที่สั้นที่สุด คำนวณพื้นที่ผิว (S = LxW) ปริมาตร (V = LxWxH) ความหนาแน่น (D = M/V) และดัชนีความเรียบ (FI = (L+W)/2H) (Cerda′ and García-Fayos, 2002)

2. การจำลองฝนในแปลงทดลอง

ในการวิจัยครั้งได้จำลองฝนให้เหมือนฝนธรรมชาติขึ้นในแปลงทดลอง โดยใช้หัวน้ำฝน 3/8 HH 27 WSQ FullJet (Donjadee *et al.*,2010) จำนวน 9 หัว แต่ละพื้นที่ความลาดชัน .ใช้หัวฝนต่อกับท่อพีวีซีขนาด ½ นิ้ว และมีความสูงของหัวน้ำฝน 7 เมตร ซึ่งค่าความเข้มฝนที่ใช้ในการทดลอง เป็นค่าความเข้มฝนเฉลี่ยรอบการเกิด 2 – 200 ปี ในภาคกลางของประเทศไทย (พิสิษฐ ,2544) ในการทดลองครั้งนี้ใช้ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

3. เปิดแบบจำลองน้ำฝน

ทำการหว่านเมล็ดพันธุ์ให้มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแปลง ทำการเปิดชุดจำลองน้ำฝน ตามที่ได้ออกแบบไว้เก็บตัวอย่างน้ำตะกอนท้ายแปลง ซึ่งจะใช้เพื่อประเมินหาปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ปริมาณการสูญเสียดิน และปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง สำหรับการหาปริมาณการสูญเสียเมล็ด ทำโดยนับจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่หว่านบนแปลงทดลอง ก่อนเปิดแบบจำลองฝน และนับจำนวนหลังปิดแบบจำลองฝนก่อนการจำลองฝน จำลองแปลงทดลองให้เหมือนแปลงเพาะปลูก ดังภาพที่ 10 ใช้เวลาทดลอง 60 นาที ออกแบบให้มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง และทำการทดลองโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมเพื่อลดการชะล้างโดยมีปริมาณฟาง 3 น้ำหนักต่อตารางเมตร มีปริมาณฟางที่ใช้ 0.50, 0.75 และ 1.00 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ใช้ความเข้มฝนที่ 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. การเก็บข้อมูล

นับเมล็ดพันธุ์เริ่มต้นก่อนเปิดแบบจำลองฝนและนับเมล็ดพันธุ์ที่เหลืออยู่ในแปลงทดลอง เมื่อปิดแบบจำลองฝน เพื่อหาการสูญเสียของเมล็ดพันธุ์

วัดขนาดของร่องริ้วที่เกิดขึ้นโดยวัดความกว้าง ความลึกของร่องริ้ว และจำนวนร่องริ้วที่เกิดขึ้น จากนั้นนำตัวอย่างน้ำไหลบ่าชั่งกระป๋องที่เก็บน้ำไหลบ่า แล้วนำเข้าตู้อบไฟฟ้านำกระป๋องที่อบแห้งแล้วมาชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ชะล้าง และหาขนาดเม็ดดิน โดยใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์ โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

น้ำหนักน้ำและตะกอนท้ายแปลง = น้ำหนักกระป๋องพร้อมตัวอย่างน้ำ – น้ำหนักกระป๋อง (32)

น้ำหนักตะกอน = น้ำหนักตะกอนที่อบแห้งพร้อมน้ำหนักกระป๋อง – น้ำหนักกระป๋อง (33)

น้ำหนักน้ำไหลท้ายแปลง = น้ำหนักปริมาณน้ำและตะกอนท้ายแปลง – น้ำหนักกระป๋อง (34)

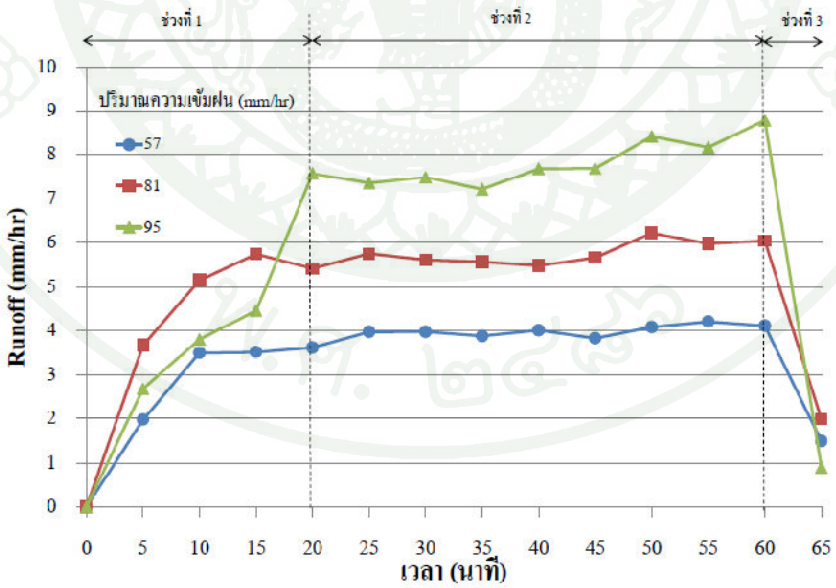
$$\text{ปริมาณการสูญเสียเมล็ด} = \frac{(\text{จำนวนเมล็ดก่อนทดลอง} - \text{จำนวนเมล็ดหลังทดลอง})}{\text{จำนวนเมล็ดก่อนทดลอง}} \times 100 \qquad (35)$$

ผลและวิจารณ์

การศึกษาผลกระทบของน้ำผิวดินต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง และการลดผลกระทบของปริมาณน้ำผิวดิน โดยการใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดินบนแปลงทดลอง เก็บข้อมูลปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ปริมาณการสูญเสียดิน และปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ มีผลการทดลองดังนี้

1. ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง

การเก็บปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง หลังจากทดลองการชะล้างของดินโดยเปิดชุดจำลองหัวน้ำฝน ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งความเข้มฝนมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8.68, 12.65 และ 16.23 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่เริ่มไหลบริเวณท้ายแปลง เวลาในการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง 60 นาที และหาปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงโดยใช้วิธีชั่งน้ำหนักน้ำ และคำนวณเป็นความลึก ได้ผลการทดลอง ดังนี้



ภาพที่ 19 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 30 % (ถั่วเหลือง)

จากภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลาของถั่วเหลืองบนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มฝน 3 ความเข้มฝนคือ 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วจากกราฟแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงแรกจะเกิดกัดเซาะโดยน้ำเป็นร่องริ้วเริ่มจากร่องริ้วขนาดเล็กๆ และถูกกัดเซาะเพิ่มขึ้นจนมีขนาดร่องริ้วที่ใหญ่ขึ้น

ช่วงที่ 2 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงจะค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการกัดเซาะโดยน้ำจนร่องริ้วมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ช่วงที่ 3 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงจะลดลง เนื่องจากฝนหยุดตก

มีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง 3.355, 5.253 และ 6.322 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับสำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 8

ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลาของถั่วเหลืองบนพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงภาพผนวกที่ ง1 ที่ความเข้มฝน 3 ความเข้มฝนคือ 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าลักษณะการเกิดปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงเช่นเดียวกับภาพที่ 19 คือ ในช่วงแรกจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะค่อนข้างคงที่และเมื่อฝนหยุดตกอัตราการเกิดปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงจะลดลง และซึ่งมีค่าเฉลี่ย 4.21, 5.814 และ 6.653 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับสำหรับพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 8

ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงของถั่วเขียวบนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการเกิดปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงในช่วงแรกจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะค่อนข้างคงที่และเมื่อฝนหยุดตกอัตราการเกิดปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงจะลดลงเช่นเดียวกับภาพที่ 19 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 4.493, 5.355 และ 6.288 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับสำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงภาพผนวกที่ ง2 ดังแสดงในตารางที่ 8

ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ของถั่วเขียวบนพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มฝน 3 ความเข้มฝน ดังแสดงภาพผนวกที่ ง3 ปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงใน

ช่วงแรกจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะค่อนข้างคงที่และจะลดลงเมื่อฝนหยุดตกอัตรา เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงดังภาพที่ 19และซึ่งมีค่าเฉลี่ย 4.849, 5.666 และ 7.772 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับสำหรับพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 8

ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ฟางข้าวมาเป็นวัสดุคลุมดินที่ปริมาณ 800, 1,200 แล 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ผลดังกล่าวได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ดังภาพผนวกที่ ง4 จากลักษณะของกราฟชี้ให้เห็นว่า อัตราการเกิดปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนมีอัตราค่อนข้างคงที่ในอัตราการเกิดปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงช่วงที่ค่อนข้างคงที่จะมีการแปรผันการเกิดเล็กน้อยเนื่องจากฝนหยุดตกอัตราการเกิดปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงจะลดลง มีทิศทางเดียวกับภาพที่ 19 ฟางข้าวมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง 61.97, 65.91, 64.44 เปอร์เซ็นต์สำหรับแปลงที่ใช้ฟางข้าวในปริมาณ 800, 1,200 และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 9 รายละเอียดผลการทดลองแสดงดังตารางภาคผนวก ก19 – ก21

ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพผนวกที่ ง5 จากลักษณะของกราฟชี้ให้เห็นว่า อัตราการเกิดปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนมีอัตราค่อนข้างคงที่ในอัตราการเกิดปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงช่วงที่ค่อนข้างคงที่ จะลดลงเนื่องจากฝนหยุดตก เช่นเดียวกับภาพที่ 19 ฟางข้าวมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง 34.34, 65.09, 74.07 เปอร์เซ็นต์สำหรับแปลงที่ใช้ฟางข้าวในปริมาณ 800, 1,200 และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 9 รายละเอียดผลการทดลองแสดงดังตารางภาคผนวก ก22 – ก24

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน

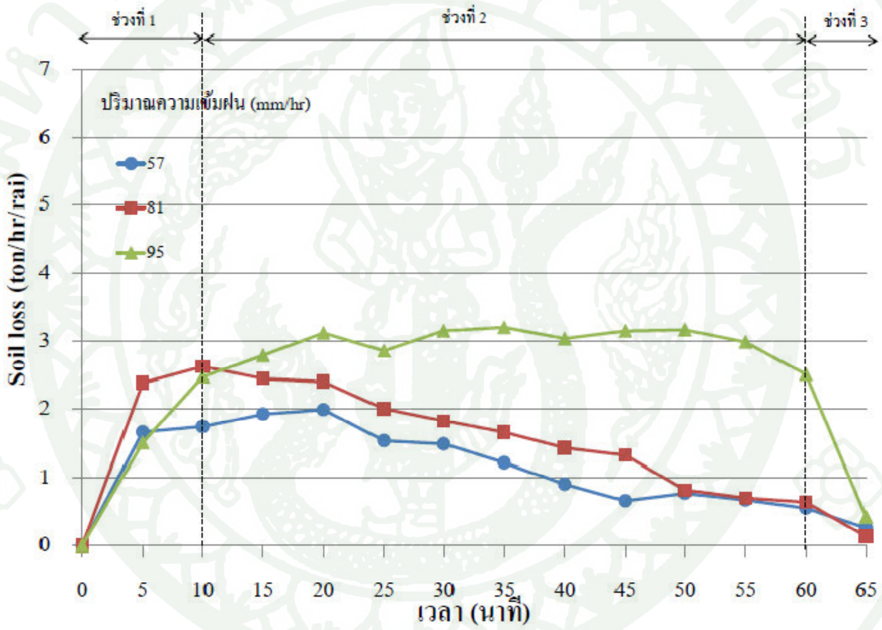
เมล็ดพันธุ์	**พื้นที่ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)**	**ความเข้มฝน (มม./ชม.)**	**การสูญเสียปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง (มม./ชม.)**	
			ค่าเฉลี่ย	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**
ถั่วเหลือง	30	57	46.174 (a)	12.074
		81	68.296 (b)	6.624
		95	82.198 (c)	10.966
	50	57	54.734 (a)	7.293
		81	75.589 (b)	12.109
		95	86.488 (c)	9.511
ถั่วเขียว	30	57	58.411 (a)	8.494
		81	69.615 (b)	8.027
		95	81.750 (c)	15.451
	50	57	63.037 (a)	10.083
		81	64.639 (b)	14.061
		95	92.037 (c)	13.653

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง กรณีใช้วัสดุคลุมดินเป็นฟางข้าว ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

เมล็ดพันธุ์	พื้นที่ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟางข้าว (กิโลกรัม/ไร่)	การสูญเสียปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง (มม./ชม.)	
			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ถั่วเขียว	30	800	68.500	7.858
		1200	74.000	9.539
		1600	82.600	22.052
	50	800	79.653	11.322
		1200	74.633	9.455
		1600	100.000	17.321

2. ปริมาณการสูญเสียดิน

การหาปริมาณการสูญเสียดิน หลังจากทดลองการชะล้างของดินโดยเปิดชุดจำลองหัวน้ำฝน ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งความเข้มฝนมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8.68, 12.65 และ 16.23 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่เริ่มไหลบริเวณท้ายแปลง เวลาในการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง 60 นาที และหาปริมาณการสูญเสียดินโดยใช้วิธีชั่งน้ำหนักน้ำ ได้ผลการทดลอง ดังนี้



ภาพที่ 20 ปริมาณการสูญเสียดินกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 30 % (ถั่วเขียว)

จากภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียดินกับเวลา เมื่อมีปริมาณฝน57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ณ ช่วงเวลาต่างๆ บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ใช้วัสดุคลุมดิน และได้หว่านเมล็ดถั่วเขียวบนแปลงทดลอง จากลักษณะของกราฟชี้ให้เห็นว่า

ช่วงที่ 1 ปริมาณการสูญเสียดินจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงแรกจะเกิดกัดเซาะโดยน้ำเป็นร่องริ้วเริ่มจากร่องริ้วขนาดเล็กๆ และถูกกัดเซาะเพิ่มขึ้นจนมีขนาดร่องริ้วที่ใหญ่ขึ้น

ช่วงที่ 2 ปริมาณการสูญเสียดินจะค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการกัดเซาะโดยน้ำจนร่องริ้วมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ช่วงที่ 3 ปริมาณการสูญเสียดินจะลดลง เนื่องจากฝนหยุดตก

อัตราการกัดเซาะของผิวดินมีมากกว่าอัตราการพัดพาของตะกอน จะทำให้ค่าสูญเสียตะกอนดินเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุด จนมีค่าอัตราการกัดเซาะเท่ากับค่าอัตราการพัดพาตะกอน จะทำให้ค่าการสูญเสียตะกอนดินคงที่ กาญจนวรรณ และฉวีวรรณ (2551) อธิบายสาเหตุของอัตราการกัดเซาะที่ลดลง เนื่องจากเม็ดฝนกระทบหน้าดินนานขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดความทนทานต่อการกัดเซาะของดิน

โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.18, 1.568 และ 2.643 ตันต่อชั่วโมงต่อไร่ สำหรับความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 10

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียดินกับเวลา ของถั่วเหลือง บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ดังภาพผนวกที่ ง6 เห็นได้ว่า ปริมาณการสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนมีอัตราค่อนข้างคงที่ในอัตราการสูญเสียดินช่วงที่ค่อนข้างคงที่ จะมีการแปรผันการเกิดเล็กน้อยเนื่องจากฝนหยุดตกอัตราการสูญเสียดินจะลดลง เช่นเดียวกันกับภาพที่ 20 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.18, 1.568 และ 2.643 ตันต่อชั่วโมงต่อไร่ สำหรับความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 10

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียดินกับเวลา ของถั่วเหลืองบนพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ใช้วัสดุคลุมดิน จากลักษณะของกราฟเช่นเดียวกับภาพที่ 20 ชี้ให้เห็นว่าอัตราการสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนมีอัตราค่อนข้างคงที่ในอัตราการสูญเสียดินช่วงที่ค่อนข้างคงที่ จะมีการแปรผันการเกิดเล็กน้อยเนื่องจากฝนหยุดตกอัตราการสูญเสียดินจะลดลง ดังภาพผนวกที่ ง7 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.72, 2.213 และ 2.854 ตันต่อชั่วโมงต่อไร่ สำหรับความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 10

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียดินกับเวลา ของถั่วเขียว บนพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ใช้วัสดุคลุมดิน จากลักษณะของกราฟดังภาพผนวกที่ ง8 ชี้ให้เห็นว่า อัตราการ

สูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนมีอัตราค่อนข้างคงที่ในอัตราการสูญเสียดินช่วงที่ค่อนข้างคงที่ จะมีการแปรผันการเกิดเล็กน้อยเนื่องจากฝนหยุดตกอัตราการสูญเสียดินจะลดลง คล้ายคลึงกับภาพที่ 20 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.265, 2.693 และ 4.169 ตันต่อชั่วโมงต่อไร่ สำหรับความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 10

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียดินกับเวลา เมื่อมีปริมาณฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ณ ช่วงเวลาต่างๆ บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ฟางข้าวมาเป็นวัสดุคลุมดินที่ปริมาณ 800, 1,200 แล 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ผลดังกล่าวได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้วัสดุคลุมดินดังภาพผนวกที่ ง9 จากลักษณะของกราฟชี้ให้เห็นว่า อัตราการสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนมีอัตราค่อนข้างคงที่ในอัตราการสูญเสียดินช่วงที่ค่อนข้างคงที่ จะลดลงเนื่องจากฝนหยุดตกอัตราการสูญเสียดินจะลดลง มีทิศทางเดียวกับภาพที่ 20 แต่ที่ปริมาณฟางข้าว 1,200 กิโลกรัมต่อไร่สามารถลดการสูญเสียดินได้มากกว่าปริมาณฟางข้าว 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งขัดแย้งกันเนื่องจากปริมาณความเข้มฝนและปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงที่วัดได้จริงของการทดลองที่ปริมาณฟางข้าว 1,200 กิโลกรัมต่อไร่มากกว่าที่ปริมาณฟางข้าว 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.133, 0.03 และ 0.052 ตันต่อชั่วโมงต่อไร่ และฟางข้าวมีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียดิน 92.12, 98.25 และ 96.91 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแปลงที่ใช้ฟางข้าวในปริมาณ 800, 1,200 และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 11 และรายละเอียดผลการทดลองแสดงดังตารางภาคผนวกที่ ก20 และ ก21

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสีย บนพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ฟางข้าวมาเป็นวัสดุคลุมดินที่ปริมาณ 800, 1,200 แล 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ผลดังกล่าวได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ดังภาพผนวกที่ ง10 จะเห็นได้ว่า อัตราการสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนมีอัตราค่อนข้างคงที่ในอัตราการสูญเสียดินช่วงที่ค่อนข้างคงที่ จะลดลงเนื่องจากฝนหยุดตกอัตราการสูญเสียดินจะลดลง คล้ายคลึงกับภาพที่ 20 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.569, 1.06 และ 0.092 ตันต่อชั่วโมงต่อไร่ และฟางข้าวมีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียดิน 53.68, 68.71 และ 97.28 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแปลงที่ใช้ฟางข้าวในปริมาณ 800, 1,200 และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาณการสูญเสียดิน กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน

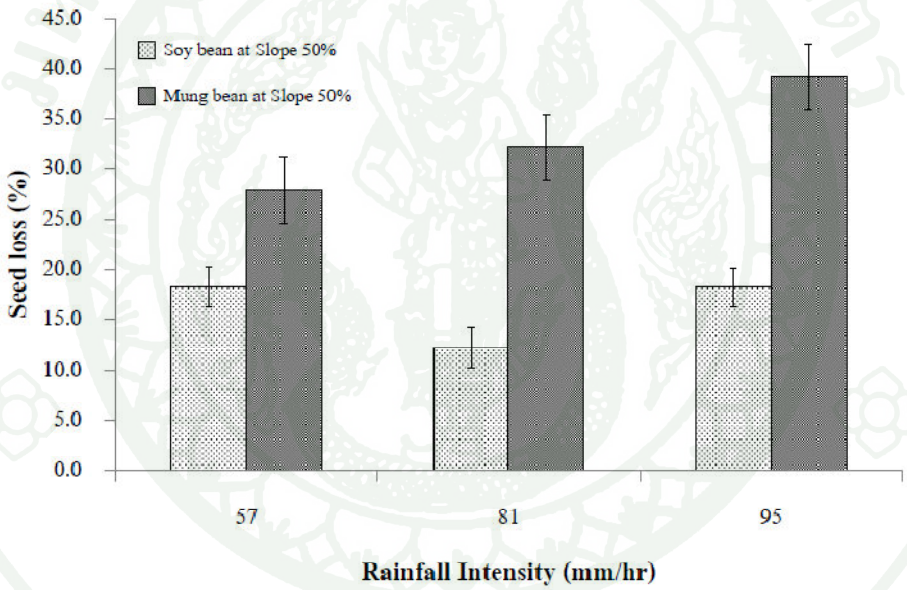
เมล็ดพันธุ์	พื้นที่ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มฝน (มม. ชม$^{-1}$)	การสูญเสียดิน (ตัน/ชม/ไร่) ค่าเฉลี่ย	การสูญเสียดิน (ตัน/ชม/ไร่) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ถั่วเหลือง	30	57	7.426 (a)	4.509
		81	11.920 (b)	0.724
		95	10.809 (c)	1.585
	50	57	22.357 (a)	12.351
		81	20.447 (b)	17.672
		95	37.108 (c)	5.814
ถั่วเขียว	30	57	15.348 (a)	4.813
		81	20.382 (b)	4.266
		95	34.364 (c)	1.707
	50	57	29.449 (a)	6.505
		81	35.013 (b)	3.530
		95	49.884 (c)	7.773

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาณการสูญเสียดิน กรณีใช้วัสดุคลุมดินเป็นฟางข้าว ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

เมล็ดพันธุ์	พื้นที่ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟางที่คลุมดิน (กิโลกรัม ไร่$^{-1}$)	การสูญเสียดิน (ตัน ชม$^{-1}$ ไร่$^{-1}$)	
			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ถั่วเขียว	30	800	1.735	1.802
		1200	0.384	0.135
		1600	0.681	0.492
	50	800	20.404	5.166
		1200	13.781	4.528
		1600	1.196	0.450

3. ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์

การหาปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ด้วยการเปิดชุดจำลองหัวน้ำฝน ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งความเข้มฝนมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8.68, 12.65 และ 16.23 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองได้เปิดแบบจำลองฝนเป็นเวลา 60 นาที เพื่อหาปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ โดยนับจำนวนเมล็ดพันธุ์ก่อนเปิดชุดจำลองฝน และนับจำนวนเมล็ดพันธุ์หลังปิดชุดจำลองฝน ได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน ที่ความลาดชัน 50 %
(บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน ที่ 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง บนพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมล็ด 2 ชนิดคือ เมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดถั่วเขียว โดยปริมาณการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองเฉลี่ย 18.223, 12.245 และ 15.062 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการปริมาณสูญเสียเมล็ดถั่วเขียวเฉลี่ย 27.88, 32.178 และ 39.124 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากลักษณะความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าปริมาณการสูญเสียของเมล็ดถั่วเขียว

มากกว่าเมล็ดถั่วเหลืองทั้งสองพื้นที่ความลาดชัน และปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น และเนื่องด้วยถั่วเขียวมีน้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 0.057 กรัม และถั่วเหลืองมีน้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 0.203 กรัม เมื่อน้ำหนักเมล็ดมีน้ำน้อยกว่า 5 กรัมจะถูกพัดพาโดยน้ำได้ง่ายกว่าเมล็ดที่มีน้ำหนักมากกว่า 5 กรัม (Cerda′ and Garcia-Fayos , 2002) ซึ่งถั่วเขียวมีน้ำหนักน้อยกว่าจึงทำให้สามารถถูกพัดพาได้ง่ายกว่า ดังแสดงในตารางที่ 12

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมล็ด 2 ชนิดคือ เมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดถั่วเขียว โดยปริมาณการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองเฉลี่ย 10.53, 8.216 และ 17.446 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการปริมาณสูญเสียเมล็ดถั่วเขียวเฉลี่ย 12.21, 9.928 และ 12.253 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงภาพผนวกที่ ง11 จากลักษณะความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าปริมาณการสูญเสียของเมล็ดถั่วเขียวมากกว่าเมล็ดถั่วเหลืองทั้งสองพื้นที่ความลาดชัน และปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับภาพที่ 21 แต่สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มฝน 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณการสูญเสียของเมล็ดถั่วเหลืองมากกว่าถั่วเขียว เนื่องจากค่าความเข้มฝนเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าความเข้มฝนที่ทำการทดลองโดยใช้ถั่วเหลืองนั้น มีค่าความเข้มฝนเท่ากับ 101.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และค่าความเข้มฝนที่ทำการทดลองโดยใช้ถั่วเขียวมีค่าความเข้มฝนเท่ากับ 86.9 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จึงส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองมากกว่าถั่วเขียว ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก8 และ ก 9 ดังแสดงในตารางที่ 12

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองกับความเข้มฝน ที่ 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงภาพผนวกที่ ง12 เปรียบเทียบปริมาณการสูญเมล็ดของสองพื้นที่ความลาดชัน โดยปริมาณการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองเฉลี่ย 10.53, 8.216 และ 17.446 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และการปริมาณสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองเฉลี่ย 18.223, 12.245 และ 15.062 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ คล้ายคลึงกับภาพที่ 21 จากลักษณะความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ความลาดชันเพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวกับความเข้มฝน ที่ 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณการสูญเสียเมล็ดถั่วเขียวเฉลี่ย 12.21, 9.928 และ 12.253 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ความลาด

ชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองเฉลี่ย 27.88 , 32.178 และ 39.124 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงภาพผนวกที่ ง13 จากลักษณะความสัมพันธ์เห็นได้ว่าจะการสูญเสียเมล็ดถั่วเขียวเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ความลาดชันเพิ่มขึ้น และปริมาณการสูญเสียถั่วเขียวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านคล้ายคลึงกับภาพที่ 21 (Luyan et al., 2010) ดังตารางที่ 12

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน ดังภาพผนวกที่ ง14 จากลักษณะความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ความลาดชันเพิ่มขึ้น และปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 12 แต่สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มฝน 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณการสูญเสียของเมล็ดถั่วเหลืองมากกว่า พื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าความเข้มฝนเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งค่าความเข้มฝนที่ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดถั่วเหลืองที่พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเข้มฝนเท่ากับ 101.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง แต่สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์มีค่าความเข้มฝนเท่ากับ 99.7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่งผลให้การสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองที่พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์มากกว่าพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก8 และ ก17

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงกับความเข้มฝน ที่ 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมล็ด 2 ชนิด คือ เมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดถั่วเขียว ดังภาพผนวกที่ ง15 จากลักษณะความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงแต่ละการทดลองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น และที่ความเข้มฝนเดียวกันปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงของพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 8

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสูญเสียดินกับความเข้มฝน ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมล็ด 2 ชนิด คือ เมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดถั่วเขียว ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง16 จากลักษณะความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะค่าเฉลี่ยปริมาณการสูญเสียดินแต่ละการทดลองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น และที่ความเข้มฝนเดียวกันปริมาณการสูญเสียดินของพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์ มากกว่า พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 10

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง17 จากลักษณะความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะปริมาณการสูญเสียเมล็ดที่พื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์มากกว่าพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณการสูญเสียเมล็ดจะลดลงเมื่อมีปริมาณฟางที่ปกคลุมเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ย 8.849, 10.935 และ 10.157 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแปลงที่ใช้ฟางข้าวในปริมาณ 800, 1,200 และ 1600 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ย 10.16, 11.047 และ 8.141 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับแปลงที่ใช้ฟางข้าวในปริมาณ 800, 1200 และ 1600 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 13 แต่ที่ปริมาณฟางข้าว 1,200 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มากกว่าปริมาณฟางข้าว 800 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งสองพื้นที่ความลาดชัน เนื่องจากที่ปริมาณฟางข้าว 800 กิโลกรัมต่อไร่มีการสูญเสียน้อยที่สุดเป็นเพราะปริมาณความเข้มฝนที่วัดได้จริงมีปริมาณน้อยกว่าที่ปริมาณฟางข้าว 1,200 และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก19 – ก24

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน

เมล็ดพันธุ์	พื้นที่ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)	ความเข้มฝน (มม. ชม$^{-1}$)	การสูญเสียเมล็ด (%) ค่าเฉลี่ย	การสูญเสียเมล็ด (%) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ถั่วเหลือง	30	57	10.530 (a)	2.472
		81	8.216 (b)	3.443
		95	17.446 (c)	5.715
	50	57	18.223 (a)	3.293
		81	12.245 (b)	1.515
		95	15.062 (c)	19.403
ถั่วเขียว	30	57	12.210 (a)	5.517
		81	9.928 (b)	7.364
		95	12.253 (c)	4.038
	50	57	27.880 (a)	3.042
		81	32.178 (b0	6.851
		95	39.124 (c)	2.113

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ กรณีใช้วัสดุคลุมดินเป็นฟางข้าว ใช้ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

เมล็ดพันธุ์	พื้นที่ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟางที่คลุมดิน (กิโลกรัม ไร่$^{-1}$)	การสูญเสียเมล็ด (%)	
			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ถั่วเขียว	30	800	8.849	1.756
		1200	10.935	2.862
		1600	19.793	5.048
	50	800	10.160	4.113
		1200	11.047	1.207
		1600	8.141	2.563

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยจำนวนร่องริ้ว ขนาดร่องริ้ว ความลึกร่องริ้ว พื้นที่หน้าตัดร่องริ้ว และพื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด

Seed	Slope (%)	ความเข้ม (มม. ชม$^{-1}$)	จำนวนร่องริ้ว		ขนาดร่องริ้ว (ซม)		ความลึกร่องริ้ว (ซม)		พื้นที่หน้าตัดร่องริ้ว (ซม^2)		พื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด (ซม^2)	
			ค่าเฉลี่ย	S.D	ค่าเฉลี่ย	S.D	ค่าเฉลี่ย	S.D	ค่าเฉลี่ย	S.D	ค่าเฉลี่ย	S.D
Soybean	30	58	4.33	1.16	2.90	1.31	1.30	0.27	3.94	2.38	18.37	13.64
		81	6.33	0.58	6.73	0.45	2.23	0.25	15.06	2.18	94.58	6.16
		95	4.00	0.00	7.00	0.00	3.33	1.16	23.33	8.08	93.33	32.33
	50	58	5.67	2.08	3.40	0.66	1.90	0.20	6.55	1.91	39.60	25.03
		81	6.00	1.00	6.13	0.70	3.23	0.21	19.85	2.86	118.82	23.43
		95	5.00	0.00	5.44	2.22	3.33	1.76	20.74	19.07	103.70	95.36
Mung bean	30	58	3.67	0.58	11.50	0.87	2.61	0.10	29.97	1.11	109.47	13.62
		81	5.00	1.73	11.00	4.33	5.61	2.70	69.52	47.34	402.11	309.96
		95	4.00	1.73	12.22	3.94	4.22	1.58	52.87	30.54	202.11	101.99
	50	58	5.33	1.16	10.94	0.60	8.28	0.50	90.77	10.02	481.68	106.51
		81	6.33	0.58	9.33	1.16	5.00	0.87	47.33	13.28	294.67	61.20
		95	4.33	0.58	9.44	1.92	7.00	1.16	67.59	25.66	302.78	158.77

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยจำนวนร่องริ้ว ขนาดร่องริ้ว ความลึกร่องริ้ว พื้นที่หน้าตัดร่องริ้ว และพื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด กรณีใช้วัสดุคลุมดินเป็นฟางข้าว ใช้ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

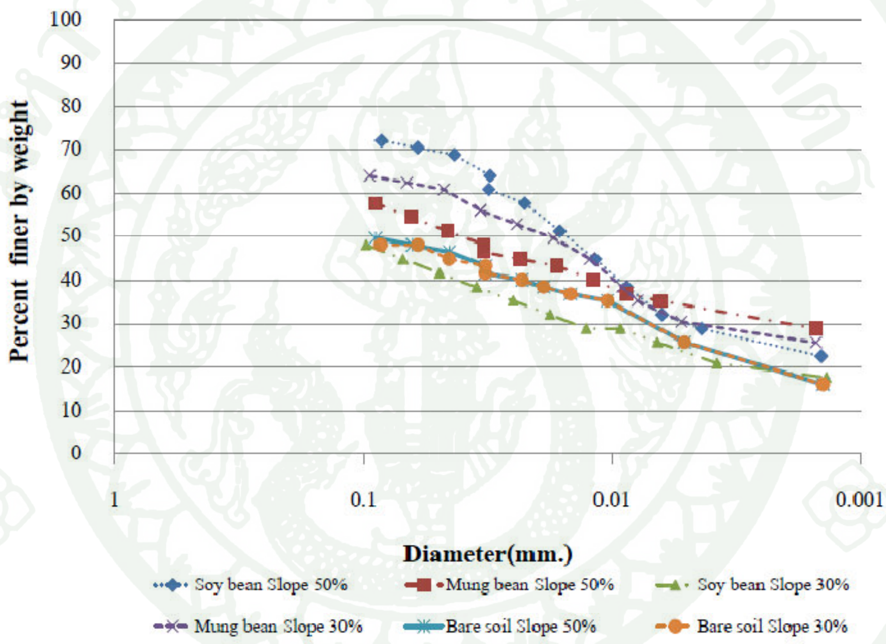
Seed	Slope (%)	ปริมาณฟางที่คลุมดิน (กิโลกรัม ไร่$^{-1}$)	จำนวนร่องริ้ว		ขนาดร่องริ้ว (ซม)		ความลึกร่องริ้ว (ซม)		พื้นที่หน้าตัดร่องริ้ว (ซม^2)		พื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด (ซม^2)	
			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
Mung bean	30	800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		1200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		1600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	50	800	6.000	0.000	10.111	0.192	6.667	2.021	67.667	21.939	406.000	131.636
		1200	4.000	0.000	8.667	0.289	7.000	0.000	17.333	0.577	69.333	2.309
		1600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 14 และ 15 พบว่าพื้นที่ร่องริ้วจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนและพื้นที่ความลาดชันเพิ่มขึ้น และขนาดร่องริ้ว และความลึกของร่องริ้วจะมากขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น

4. ขนาดเม็ดดิน

การหาค่าการกระจายตัวของขนาดของเม็ดดินจากปริมาณตะกอนดินที่เก็บบริเวณท้ายแปลงการทดลอง มีผลดังนี้



ภาพที่ 22 ขนาดเม็ดดินที่ความเข้มฝน 57 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน

จากภาพที่ 22 แสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน โดยการทดลองที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งความเข้มฝนมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8.68, 12.65 และ 16.23 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ ดังภาพผนวกที่ ง18 และ ง19 โดยใช้เมล็ดพันธุ์ 2 ชนิดคือ ถั่วเหลือง และถั่วเขียว บนที่พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำการหาขนาดเม็ดโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ จากทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดดินที่แปลงไม่มีวัสดุคลุมดิน 0.0271, 0.0261 และ 0.0765 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันมากระหว่างที่ความเข้มฝน 57, 81และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของเม็ดดิน ซึ่งขนาดเม็ดดินที่ไม่คลุมดินกับขนาดเม็ดดิน

ที่ปกคลุมดินด้วย จะแตกต่างกันมากระหว่างปริมาณฟางที่ 1,600 กิโลกรัมต่อไร ซึ่งมีขนาดเม็ดดินเล็กกว่ามากทั้งสองพื้นที่ความลาดชัน ดังแสดงในตารางที่ 16 – 17

การกระจายตัวของเม็ดดิน ดังภาพผนวกที่ ง20 และ ง21 จากทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดดินที่แปลงไม่มีวัสดุคลุมดิน 0.0271, 0.0261 และ 0.0765 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันมากระหว่างที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของเม็ดดิน ซึ่งขนาดเม็ดดินที่ไม่คลุมดินกับขนาดเม็ดดินที่ปกคลุมดินด้วย จะแตกต่างกันมากระหว่างปริมาณฟางที่ 1,600 กิโลกรัมต่อไร ซึ่งมีขนาดเม็ดดินเล็กกว่ามากทั้งสองพื้นที่ความลาดชัน ดังแสดงในตารางที่ 16 - 17

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดดิน กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน

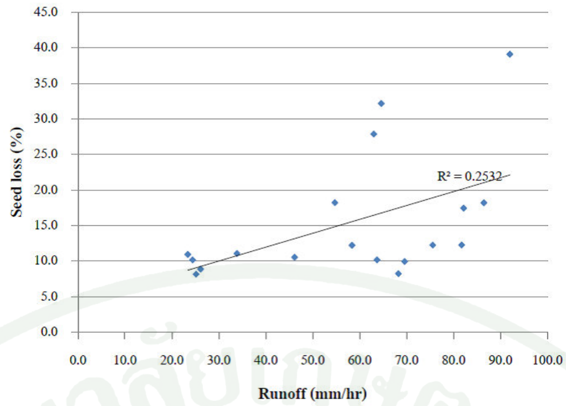
ค่าความเข้มฝน (มม. ชม.$^{-1}$)	ค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดดิน (มิลลิเมตร)					
	ไม่คลุมดิน					
	ไม่มีเมล็ดพันธุ์		ถั่วเหลือง		ถั่วเขียว	
	พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์	พื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์	พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์	พื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์	พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์	พื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์
57	0.0277	0.0282	0.0281	0.0250	0.0256	0.0280
81	0.0275	0.0268	0.0258	0.0250	0.0259	0.0259
95	0.0278	0.0269	0.0276	0.3259	0.0253	0.0253

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดดิน กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน

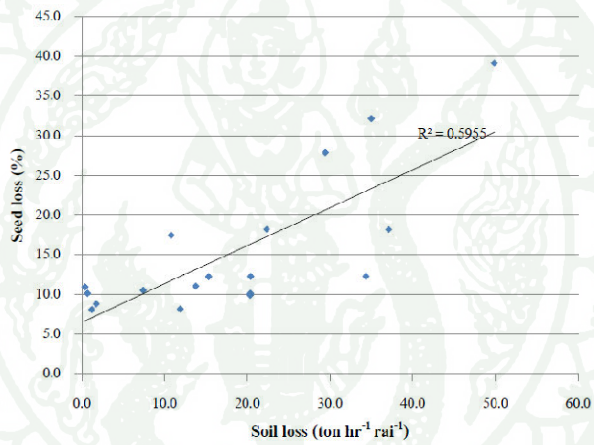
ปริมาณฟาง (กก.ไร่$^{-1}$)	ค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดดิน (มิลลิเมตร) ฟางข้าว	
	พื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์	พื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์
800	0.0266	0.0245
1200	0.0287	0.0254
1600	0.0295	0.0253

5. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์

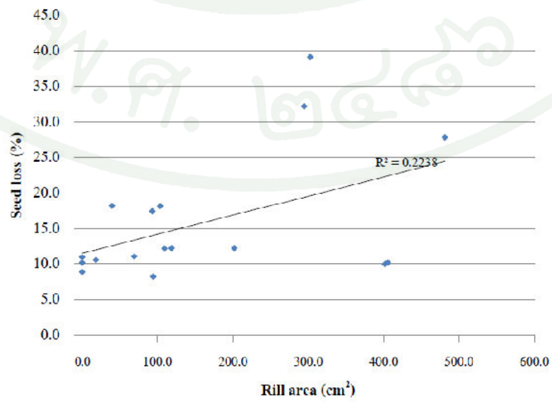
ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ จะแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับปัจจัยที่พบคือ ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ปริมาณการสูญเสียดิน และพื้นที่ร่องริ้ว ดังนี้



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับปริมาณการสูญเสียดิน



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับพื้นที่ร่องริ้ว

5.1 ความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง

จากภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง เห็นได้ว่า ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์กันน้อยกับปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ดูได้จากค่า R^2 = 0.253 ซึ่งมีค่าน้อย สอดคล้องกับการทดสอบโดยใช้ ANOVA ปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย คือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง พบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางภาคผนวกที่ ค3

5.2. ความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับปริมาณการสูญเสียดิน

จากภาพที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับปริมาณการสูญเสียดินเห็นได้ว่า ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์กันน้อยกับปริมาณการสูญเสียดิน ดูได้จากค่า R^2 = 0.595 เมื่อปริมาณการสูญเสียดินเพิ่มขึ้นปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบโดยใช้ ANOVA ปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย คือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และปริมาณการสูญเสียดิน พบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางภาคผนวกที่ ค4

5.3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับพื้นที่ร่องริ้ว

จากภาพที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับพื้นที่ร่องริ้ว เห็นได้ว่า ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์กันน้อยกับพื้นที่ร่องริ้ว ดูได้จากค่า R^2 = 0.223 ซึ่งมีค่าน้อย สอดคล้องกับการทดสอบโดยใช้ ANOVA ปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย คือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และ พื้นที่ร่องริ้ว พบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางภาคผนวกที่ ค5

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสียเมล็ดพันธุ์

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P-Value
พื้นที่ความลาดชัน	1	1492.143	1492.143	36.346	0.000003
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	593.477	593.477	14.456	0.00087
ความเข้มฝน	2	241.793	120.896	2.945	0.07182
พื้นที่ความลาดชันกับน้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	684.542	684.542	16.674	0.00043
พื้นที่ความลาดชันกับความเข้มฝน	2	7.092	3.546	0.086	0.91754
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน	2	40.131	20.065	0.489	0.61936
Intercept (CM)	2	124.220	62.110	1.513	0.24054
Error	24	985.281	41.053		
Total	35	4168.678			

* มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Df = ค่าความเป็นอิสระ

SS = ค่าผลรวมของกำลังสอง

MS = ค่าเฉลี่ยของกำลังสอง

F = ทฤษฎีในการทดสอบ

p-value = ค่าระดับนัยสำคัญ

จากตารางที่ 18 ปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย คือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และ ความเข้มฝนพบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ปัจจัยควบคุม 2 ปัจจัย คือ พื้นที่ความลาดชัน และความเข้มฝน พบว่าความลาดชันมีผลต่อปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง และอิทธิพลร่วมระหว่างความลาดชันและความเข้มฝนมีผลต่อปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงตารางภาคผนวกที่ ค1

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการสูญเสียดิน ปัจจัยควบคุม 2 ปัจจัย คือ พื้นที่ความลาดชัน และ ความเข้มฝน พบว่าพื้นที่ความลาดชัน อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มฝนและความลาดชันมีผลต่อปริมาณการสูญเสียดิน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงตารางภาคผนวกที่ ค2

เมื่อเปลี่ยนปัจจัยควบคุมเป็น พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง พบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงตารางภาคผนวกที่ ค3

เมื่อเปลี่ยนปัจจัยควบคุมเป็น พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และปริมาณการสูญเสียดิน พบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงตารางภาคผนวกที่ ค4

เมื่อเปลี่ยนปัจจัยควบคุมเป็น พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และพื้นที่ร่องริ้ว พบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงตารางภาคผนวกที่ ค5

6. เปรียบเทียบการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับงานวิจัยที่ผ่านมา

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิจัยบนพื้นที่ความลาดชัน 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มฝน 57 มิลลิเมตรต่อชั่ว 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และใช้เมล็ดพันธุ์เป็นเมล็ดถั่วเหลือง และถั่วเขียว พบว่า มีการสูญเสียเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 8.21 – 39.124 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Han et al (2010) พบว่า มีการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ 27.7 – 69.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มฝน 50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง บนพื้นที่ความลาดชัน 10º, 15º, 20º และ 20º และ Cerda′ and Garcia-Fayos (2002) พบว่า การสูญเสียเมล็ดพันธุ์ 11 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มฝน 55 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีความลาดชันของแปลงการทดลอง 11 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากที่ความเข้มฝนใกล้เคียงกันจะมีค่าการสูญเสียเมล็ดใกล้เคียง

7. การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นของการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลือง ถั่วเขียว และการสูญเสียเมล็ดพันธุ์รวม ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรหลายตัวแปร ประกอบด้วย ปริมาณความเข้มฝน ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ปริมาณการสูญเสียดิน ระดับพื้นที่ความลาดชัน พื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด จำนวนร่องริ้ว และน้ำหนักเมล็ด สามารถประมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้เลือกใช้วิธีการ Backward เนื่องจากแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำเข้าตัวแปรทีละตัวจะส่งผลให้ความถูกต้องของสมการเพิ่มขึ้น ซึ่งการเลือกใช้สมการจะคำนึงถึงตัวแปรที่มี ซึ่งความถูกต้องก็จะลดลงหากตัวแปรที่ใช้น้อยลง สมการที่เหมาะสมในการประมาณค่าปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์รวม คือ สมการที่ 32, 33 และ 34 ตามลำดับ

$$S = 5.008-0.05\,Sl - 0.042R + 0.009Ra -0.405Rn + 0.218Ro - 0.171So + 2.839W \quad (32)$$

$$S = -20.360 + 1.104Sl \quad (33)$$

$$S = -9.738 + 0.619Sl + 0.169R + 0.014Ra - 0.646Rn - 0.091Ro + 0.027So - 29.159W \quad (34)$$

เมื่อ	S	=	การสูญเสียเมล็ด (%)
	R	=	ปริมาณความเข้มฝน (มม./ชม)
	Ra	=	พื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด (ตารางเซนติเมตร)
	W	=	น้ำหนักเมล็ด (กรัม)

Rn	=	จำนวนร่องริ้ว
Ro	=	ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง (มม./ชม.)
Sl	=	ระดับพื้นที่ความลาดชัน (%)
So	=	ปริมาณการสูญเสียดิน (ตัน/ชม/ไร่)

ในการเลือกสมการเหมาะสมที่สุดดังสมการที่ 32 และ 34 เนื่องจากให้ค่า R^2 ที่สูงสุด แต่สมการประมาณปริมาณการสูญเสียของเมล็ดเขียว ดังสมการที่ 33 เนื่องจากให้ค่า R^2 มีค่าสูงยอมรับได้แต่ใช้ตัวแปรในการคาดการณ์น้อย จึงสามารถนำไปใช้ได้ง่าย ในนำไปใช้จริงสมการปริมาณการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองจะมีความคลาดเคลื่อนสูง แสดงสมการดังตารางที่ 19, 20 และ 21

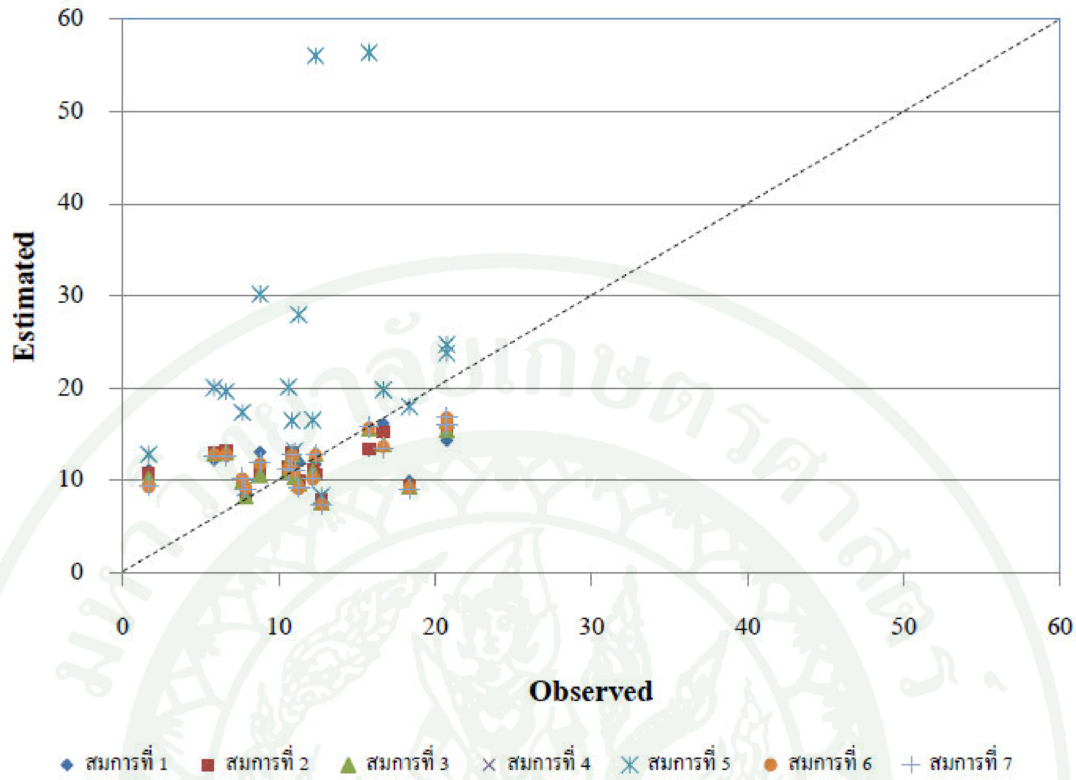
ตารางที่ 19 สมการถดถอยเชิงเส้นของเมล็ดถั่วเหลือง เลือกตัวแปรโดยวิธี Backward

Equation	R^2	SS	MS	P_{value}
S = 2.360 + 0.139Ro	.181	82.004	82.004	.079
S = 1.833 + 0.176Ro - 0.121So	.217	98.587	49.294	.159
S = 1.855 + 0.006Ra + 0.175Ro - 0.174So	.248	112.654	37.551	.248
S = 1.833 - 0.049R + 0.007Ra + 0.237Ro - 0.201So	.254	115.442	28.861	.394
S = 2.921- 0.047R + 0.08Ra - 0.23Rn + 0.234Ro - 0.211So	.257	116.660	23.332	.552
S = 5.609-0.051 Sl - 0.044 R + 0.009 Ra -0.389Rn + 0.22Ro - 0.174So	.260	117.843	19.640	.695
S = 5.008-0.05 Sl - 0.042 R + 0.009 Ra -0.405Rn + 0.218 Ro - 0.171 So + 2.839 W	.260	117.984	16.855	.814

S = การสูญเสียเมล็ด (%) R = ปริมาณความเข้มฝน (มม./ชม.) Ra = พื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด (ตร.ซม.)

W = น้ำหนักเมล็ด (กรัม) Rn = จำนวนร่องริ้ว Ro = ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง (มม./ชม.)

Sl = ระดับพื้นที่ความลาดชัน (%) So = ปริมาณการสูญเสียดิน (ตัน/ชม/ไร่)



ภาพที่ 26 การสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองโดยประมาณเมื่อเทียบกับวัด

จากภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองโดยประมาณจากสมการดังแสดงในตารางที่ 19 กับค่าการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองที่วัดได้จริง จะได้เห็นได้ว่าสมการที่ 7 คือ

S = 5.008-0.05 Sl - 0.042 R + 0.009 Ra -0.405Rn + 0.218 Ro - 0.171 So + 2.839 W ซึ่งให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.26 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงมากที่สุด

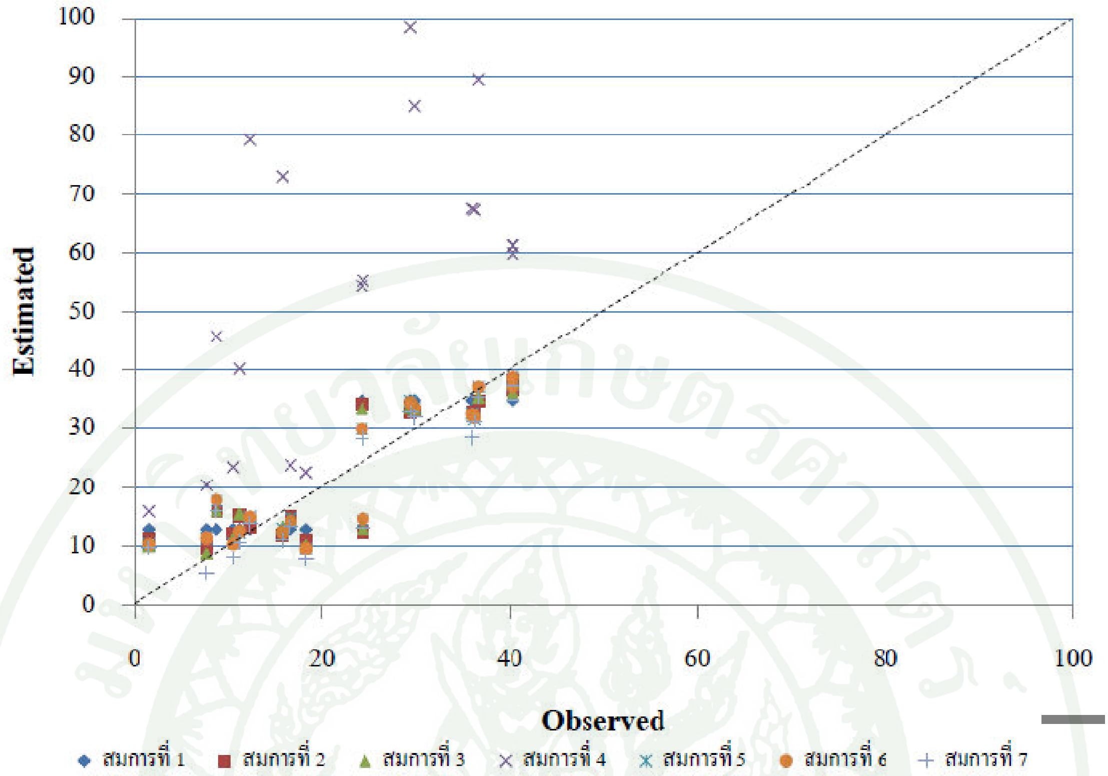
ตารางที่ 20 สมการถดถอยเชิงเส้นของเมล็ดถั่วเขียว เลือกตัวแปรโดยวิธี Backward

Equation	R^2	SS	MS	P_{value}
S = -20.360 + 1.104Sl	0.787	2308.778	2308.778	0.000
S = -19.205 + 0.886Sl + 0.231So	0.815	2391.238	1195.619	0.000
S = -19.745 + 0.844Sl + 0.005Ra + 0.251So	0.820	2406.157	802.052	0.000[e]
S = -16.671 + 0.953Sl + 0.12Ra - 1.651Rn + 0.202So	0.833	2443.493	610.873	0.000
S = -17.686 + 0.926Sl + 0.013Ra - 1.571Rn + 0.227So +11.115W	0.833	2446.203	489.241	0.000
S = -16.282 + 0.911Sl + 0.013Ra - 1.618Rn - 0.023Ro + 0.258So + 11.883W	0.834	2446.990	407.832	0.000
S = -16.358 + 0.904Sl + 0.052R + 0.014Ra - 1.816Rn - 0.074Ro + 0.267So - 14.208W	0.835	2451.226	350.175	0.001

S = การสูญเสียเมล็ด (%) R = ปริมาณความเข้มฝน (มม./ชม.) Ra = พื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด (ตร.ซม.)

W = น้ำหนักเมล็ด (กรัม) Rn = จำนวนร่องริ้ว Ro = ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง (มม./ชม.)

Sl = ระดับพื้นที่ความลาดชัน (%) So = ปริมาณการสูญเสียดิน (ตัน/ชม/ไร่)



ภาพที่ 27 การสูญเสียเมล็ดถั่วเขียวโดยประมาณเมื่อเทียบกับวัด

จากภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของการสูญเสียเมล็ดถั่วเขียว โดยประมาณจากสมการดังแสดงในตารางที่ 20 กับค่าการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองที่วัดได้จริง จะได้เห็นได้ว่าสมการที่ 7 คือ

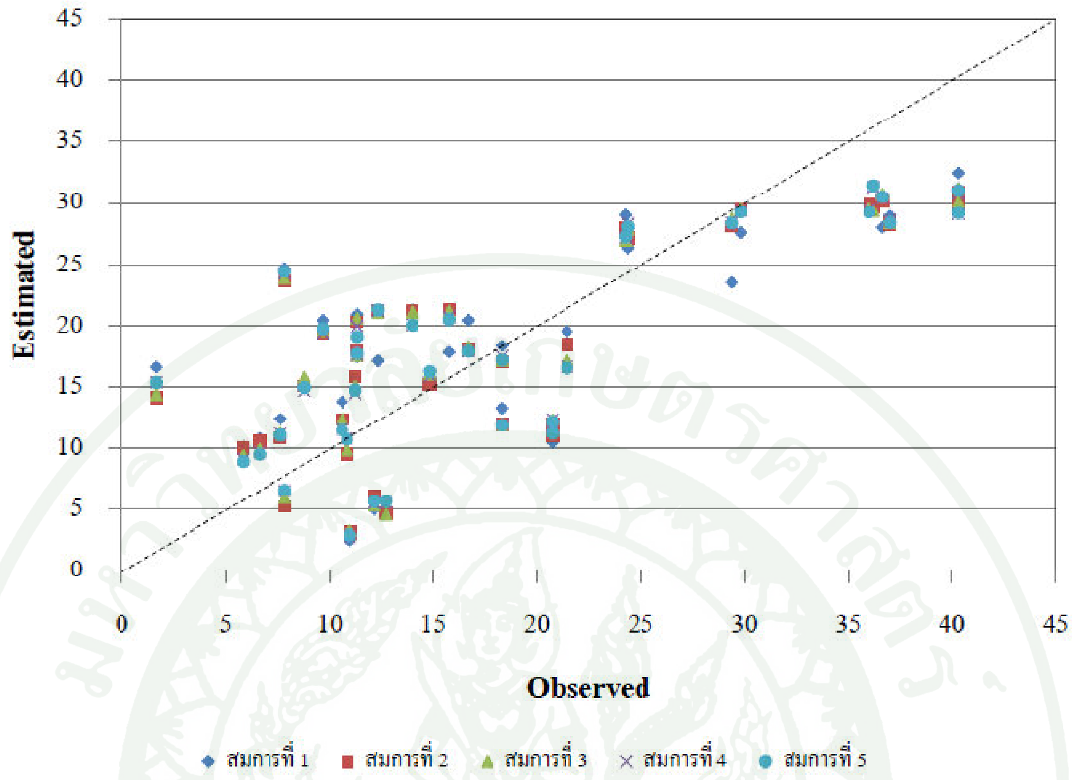
$$S = -16.358 + 0.904Sl + 0.052R + 0.014Ra - 1.816Rn - 0.074Ro + 0.267So - 14.208W$$

ซึ่งให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.835 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงมากที่สุด

ตารางที่ 21 สมการถดถอยเชิงเส้น เลือกตัวแปรโดยวิธี Backward

Equation	R^2	SS	MS	P_{value}
S = -10.579 + 0.639Sl + 0.126R - 51.534W	0.566	2360.832	786.944	.000
S = -12.358 + 0.598Sl + 0.116R + 0.012Ra -36.552W	0.588	2451.697	612.924	.000
S = -11.172 + 0.613Sl + 0.113R + 0.014Ra - 0.478Rn - 32.635W	0.590	2460.856	492.171	.000
S = -10.318 + 0.637Sl + 0.167R + 0.014Ra - 0.627Rn - 0.079Ro - 31.041W	0.594	2474.750	412.458	.000
S = -9.738 + 0.619Sl + 0.169R + 0.014Ra - 0.646Rn - 0.091Ro + 0.027So - 29.159W	0.594	2476.493	353.785	.000

S = การสูญเสียเมล็ด (%)
R = ปริมาณความเข้มฝน (มม./ชม)
Ra = พื้นที่ร่องริ้วทั้งหมด (ตร.ซม.)
W = น้ำหนักเมล็ด (กรัม)
Rn = จำนวนร่องริ้ว
Ro = ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง (มม./ชม)
Sl = ระดับพื้นที่ความลาดชัน (%)
So = ปริมาณการสูญเสียดิน (ตัน/ชม/ไร่)



ภาพที่ 28 การสูญเสียเมล็ดโดยประมาณเมื่อเทียบกับวัด

จากภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของการสูญเสียเมล็ดรวม โดยประมาณจากสมการดังแสดงใน ตารางที่ 21 กับค่าการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองที่วัดได้จริง จะได้เห็นได้ว่าสมการที่ 7 คือ

$S = -9.738 + 0.619Sl + 0.169R + 0.014Ra - 0.646Rn - 0.091Ro + 0.027So - 29.159W$ ซึ่งให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.594 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงมากที่สุด จะมีค่า R^2 ต่ำลงเพราะปริมาณการสูญเสียเมล็ดถั่วเหลืองมีคลาดเคลื่อนสูง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูง ระดับพื้นที่ความลาดชัน และน้ำหนักเมล็ดพันธุ์ ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียเมล็ดพันธุ์มากที่สุด รองลงมาคือ ความเข้มฝน ปริมาณการสูญเสียดิน พื้นที่ร่องริ้ว และปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ตามลำดับ ปริมาณการสูญเสียของเมล็ดถั่วเขียวมากกว่าเมล็ดถั่วเหลืองทั้งสองพื้นที่ความลาดชัน เนื่องจากถั่วเขียวมีน้ำหนักเมล็ดน้อยกว่าถั่วเหลืองจึงทำให้สามารถถูกพัดพาได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง และปริมาณการสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้นหรือเมื่อความลาดชันเพิ่มขึ้น

จากวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยออกแบบการสุ่มแบบสมบูรณ์ โดยมีปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย คือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และ ความเข้มฝนพบว่าพื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ และอิทธิพลร่วมของพื้นที่ความลาดชันและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

วัสดุคลุมดินที่ใช้ในการเกษตรโดยทั่วไป คือ ฟางข้าว ซึ่งระดับความรุนแรงของการชะล้างของดินนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน ความลาดชันสภาพภูมิประเทศ และสภาพพืชปกคลุมดิน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญกับการอนุรักษ์ดินและน้ำ และการใช้วัสดุคลุมดินจะเป็นวิธีการช่วยอนุรักษ์ดินและน้ำอีกทางหนึ่ง สำหรับแปลงทดลองที่ใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน พบว่าเมื่อปริมาณฟางข้าวเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ปริมาณการสูญเสียดิน และปริมาณการสูญเสียเมล็ดลดลง แต่เมื่อพื้นที่ความลาดชันของพื้นที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง ปริมาณการสูญเสียดิน และปริมาณการสูญเสียเมล็ดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณฟางข้าวที่เหมาะสม คือ 800 กิโลกรัมต่อไร่สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 30 เปอร์เซ็นต์และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่สำหรับพื้นที่ความลาดชัน 50 เปอร์เซ็นต์

ขนาดเม็ดดินที่ได้จากน้ำไหลท้ายแปลง พบว่ากรณีไม่มีวัสดุคลุมดินมีขนาด 0.0271, 0.0261 และ 0.0765 มิลลิเมตร ที่ความเข้มฝน 57, 81 และ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบขนาดของเม็ดดิน ซึ่งขนาดของเม็ดดินกรณีไม่มีวัสดุคลุมดินกับขนาดเม็ดดินกรณีมีวัสดุ

คลุมดิน จะมีขนาดเม็ดดินที่แตกต่างกันที่ปริมาณฟางข้าว 1600 กิโลกรัมต่อไร ซึ่งมีขนาดเม็ดดินเล็กที่สุดทั้งสองพื้นที่ความลาดชัน

งานวิจัยนี้ ชี้ให้เห็นประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินที่มีผลต่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัสดุคลุมดินควรจะศึกษาความคงทนของวัสดุคลุมดินต่อสภาพอากาศ หาได้ง่ายในพื้นที่ เพื่อที่จะทำให้ลดลงต้นทุนในการผลิต อีกทางหนึ่งก็คือ การเลือกใช้ปริมาณของวัสดุคลุมดิน ควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมกับพื้นที่การเกษตร โดยต้องคลุมดินให้มีความสม่ำเสมอทั่วพื้นที่แปลงเกษตร จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์ดินและน้ำ อีกทั้งจะเป็นการพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำผิวดินต่อการเคลื่อนที่ของเมล็ดพันธุ์บนพื้นที่ความลาดชันสูงและการหาปริมาณฟางข้าวที่เหมาะสมปกคลุมเพื่อลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ โดยมีข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1.การศึกษาการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ ควรมีการป้องกันลมในพื้นที่แปลงการทดลองเพื่อได้ผลที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

2. การศึกษาผลกระทบการสูญเสียเมล็ดพันธุ์และปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง หากพื้นที่การทดลองเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ควรมีถังวัดน้ำฝนให้ครอบคลุมพื้นที่

3. ศึกษาการใช้วัสดุคลุมดินร่วมกับวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น การปลูกพืชเป็นแถว การปลูกพืชหมุนเวียน หรือการไถกลบวัสดุคลุมดินกันดินโดย และเสนอวิธีการที่จะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมของการใช้วัสดุคลุมดินร่วมกับวิธีที่แตกต่างกัน

4. การศึกษาต่ออาจจะนำเอาวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำร่วมกับการหาปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ เช่น การปลูกหญ้าแฝกเป็นแถว ในแปลงทดลองเป็นระยะ อาจจะช่วยลดการสูญเสียเมล็ดพันธุ์ได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กาญจนวรรณ นิลกลัด และฉวีวรรณ สุขลิ้ม. 2551. **การประเมินศักยภาพการกรองตะกอนของหญ้าแฝกพันธุ์ประจวบศีรีขันธ์.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

กรมทรัพยากรธรณี. 2553. ความรู้เกี่ยวกับดินถล่ม. แหล่งที่มา: http//www.dmr.go.th/download/Landslide/what_landslide1.htm, 19 เมษายน 2256.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. **การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทยระดับประเทศ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เกษมศรี ซับซ้อน. 2541. **ปฐพีวิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักนานาสิ่งพิมพ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2542. **พืชเศรษฐกิจ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิรา สุขกล่ำ และ พิสิษฐ บำเพ็ญกิจ. 2544. **ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลา ความถี่ฝนและเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ภาคกลาง**. 41.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. **แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ: Mathematical Models of Soil Erosion and Sediment Pollution in Watershed**. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิวัติ เรืองพานิช. 2537. **การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ.

บุญชม ศรีสะอาด. 2547. **วิธีการทางสถิติสาหรับการวิจัย เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ.

สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2551. **ระเบียบวิธีวิจัยสาหรับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. ประสานการพิมพ์, กาฬสินธุ์.

สมบัติ ท้ายเรือคำ. 2545. การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (MRA) การวิเคราะห์เส้นทาง (PA) และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (FA). **IJEAD.** 8: 37-46.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2551. **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์.** พิมพ์ครั้งที่ 19. สำนักพิมพ์วี.พรินทร์ (1991), กรุงเทพฯ.

ARS-USDA and ORD-EPA. 1975. Control of water Pollution from Cropland: Vol.I. A manual for guideline development. **Agriculture Res.** Service and Office of Res, and Development Environmental Projection Agency.

Arnaez, J., T. Lasanta, P. Ruiz-Flano and L. Ortigosu. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. **Sill Till Res**. 93: 324–334.

Assouline, S. and M. Ben-Hur. 2006. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. **Catena** 66: 211-220.

Blanchard, D.C. 1950. Behavior of water drops at terminal velocity. **Trasactions of the American Geophysical Union** 31: 836.

Cerda′, A. and P. Garci′a-Fayos. 1997. The influence of slope angle on sediment, water and seed losses on badland landscapes. **Geomorphology** 18: 77-90.

Cerda′, A. and P. Garci′a-Fayos. 2002. The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. **Catena** 48: 293-301.

Donjadee, S. and C. Chaiyuth. 2012. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the application of vetiver grass mulch in soil and water conservation, **Sediment Research** 27: 168-177.

Donjadee, S., R.S. Clemente, T. Tingsanchali and C. Chinnarasri. 2010. Effects of vertical hedge interval of vetiver grass on erosion on steep agricultural lands**. Land Degradation & Development** 21(3): 219-227.

FAO. 1965. **Soil erosion by water: FAO Land and Water Development Series, Food and Agriculture Organization of The United Nations**.

FAO. 1986. **Strategies, approaches and systems in integrated watershed management**. Rome, Italy.

Foster, R.L. and G.L. Martin. 1969. Effect of unit weight and slope on erosion. **Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers** 95 (IR4): 99-102.

Gunn, R. and G.D. Kinzer. 1949. Terminal velocity of water droplets in stagnant air. **J Meteorol**. 6: 243.

Han, L., J. Jiao, Y. Jia, N. Wang, D. Lei and L. Li. 2010. Seed removal on loess slope in relation to runoff and sediment yield. **Catena.**

Harris, D., W.R. Horwath and C.V. Kessel. 2001. Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or CARBON-13 isotopic analysis. **Soil Sci Soc Am J**. 65: 1853-1856.

Huang, D., K. Wang and W.L. Wu. 2007. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. **J Arid Environ.** 70: 120-136.

Hudson, N.W. 1963. Raindrop size distribution in high intensities storms. **Rhod J Agr Res**. 1: 6-11.

Juying, J., Z. Huyuan, J. Yanfeng and W. Ning. 2009. Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. **Acta Geol Sin-Engl**. 29: 85-91.

Morgan, R.P.C. 1995. **Soil erosion and conservation.** Longman, UK.

Nearing, M.A., V. Jetten, C. Baffaut, O. Cerdan, A. Couturier, M. Hernandez, V. Souchere and K. Van Oost. 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. **Catena** 61: 131-154.

Rerkasem, K., M. Khaosa-ard, C. Roongruangsee, S. Jesdapipat, B. Shinawtara and P. Wijukprasert. 1994. Assessment of sustainable agricultural systems. **TDRI**. :149.

Sang-Arun, J., M. Mihara, Y. Horaguchi and E. Yamaji. 2006. Soil erosion and participatory remediation strategy for bench terraces in northern Thailand. **Catena** 65: 258-264.

Sui, Y., X. Liu, J. Jin, S. Zhang, X. Zhang, S.J. Herbert and G. Ding. 2009. Differentiating the early impacts of topsoil removal and soil amendments on crop performance/productivity of corn and soybean in eroded farmland of Chinese Mollisols. **Field Crop Res**. 111: 276-283.

Turkelboom, F., J. Poesen, I. Ohler, K.V. Keer and S. Ongprasent. 1997. Assessment of tillage erosion rates on steep slope in northern Thailand. **Catena** 29: 29-44.

WOCAT/FAO. 2000. World Overview of Conservation Approaches and Technologies. CDE WOCAT. **Land and Water Digital Medie Sesier 9 Hailerstrasse 12 CH-3012** Berne Switzerland.

William, J. R., C.A. Jones and P.T. Dyke. 1990. The EPIC model,EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator,1:Model Documentation. **USDA**1768**.**

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of American Geophysical Union** 39: 285 – 291.

Young. 1997. **Agroforestry for soil management**. Walingford, UK.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลค่าการชะล้างของดิน

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 57 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	247.90	189.39	1755.30	237.00	0.036	0.168
2	10	849.40	281.80	17028.00	2819.10	0.432	1.631
3	15	1494.30	390.44	33115.80	3537.90	0.542	3.172
4	20	1649.91	439.60	36309.30	5891.40	0.903	3.478
5	25	1877.87	491.57	41589.00	6481.80	0.993	3.984
6	30	2211.76	622.05	47691.30	7563.30	1.159	4.568
7	35	2184.70	576.14	48256.80	6047.10	0.927	4.622
8	40	2368.92	580.91	53640.30	6183.90	0.948	5.138
9	45	2183.71	542.41	49239.00	5245.80	0.804	4.716
10	50	2082.97	524.74	46746.90	4953.30	0.759	4.478
11	55	2146.35	529.00	48520.50	4505.40	0.690	4.648
12	60	1880.04	475.44	42138.00	2949.30	0.452	4.036
13	65	909.85	328.62	17436.90	1502.40	0.230	1.670
รวม						8.646	46.309

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 51.07 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1004.12	317.10	20610.50	3510.30	0.538	1.974
2	10	1625.49	408.58	36507.10	4738.70	0.726	3.497
3	15	1633.42	410.65	36682.90	4360.80	0.668	3.514
4	20	1649.67	390.27	37782.00	3882.20	0.595	3.619
5	25	1811.33	427.76	41507.20	4388.40	0.673	3.976
6	30	1868.87	484.59	41528.50	4456.00	0.683	3.978
7	35	1830.48	479.87	40518.30	4261.60	0.653	3.881
8	40	1827.22	430.94	41888.40	4267.50	0.654	4.012
9	45	1752.22	418.83	40001.80	3935.30	0.603	3.832
10	50	1884.81	463.79	42630.60	3762.40	0.577	4.083
11	55	1916.43	452.33	43923.10	3549.10	0.544	4.207
12	60	1853.13	421.89	42937.10	2540.50	0.389	4.113
13	65	819.85	301.95	15536.90	802.40	0.123	1.488
รวม						7.426	46.174

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 59.13 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเขียว)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1768.73	616.29	34573.00	10848.88	1.663	3.312
2	10	1825.22	650.04	35255.36	11362.00	1.741	3.377
3	15	2304.40	742.92	46844.13	12561.93	1.925	4.487
4	20	2772.87	802.49	59111.32	12990.74	1.991	5.662
5	25	2479.82	642.24	55127.22	10009.78	1.534	5.280
6	30	2539.17	678.92	55807.43	9704.43	1.487	5.346
7	35	2349.03	627.82	51636.25	7928.69	1.215	4.946
8	40	2161.18	488.78	50172.10	5852.64	0.897	4.806
9	45	2153.77	547.25	48195.72	4273.30	0.655	4.616
10	50	2331.45	549.07	53471.42	4991.16	0.765	5.122
11	55	2310.75	508.70	54061.42	4351.36	0.667	5.178
12	60	2248.64	542.03	51198.29	3582.95	0.549	4.904
13	65	7599.86	1855.71	14360.37	1688.19	0.259	1.376
รวม						15.348	58.411

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ ($ซม^3$./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	371.85	284.09	2632.95	3077.85	0.252	0.472
2	10	1274.10	422.70	25542.00	7046.10	2.447	1.080
3	15	2241.45	585.66	49673.70	9394.50	4.758	1.440
4	20	2474.87	659.40	54463.95	12485.40	5.217	1.913
5	25	2816.81	737.36	62383.50	13855.35	5.975	2.123
6	30	3317.64	933.08	71536.95	16894.05	6.852	2.589
7	35	3277.05	864.21	72385.20	14689.20	6.933	2.251
8	40	3553.38	871.37	80460.45	14897.55	7.707	2.283
9	45	3275.57	813.62	73858.50	13381.95	7.075	2.051
10	50	3124.46	787.11	70120.35	12824.40	6.717	1.965
11	55	3219.53	793.50	72780.75	12440.40	6.971	1.907
12	60	2820.06	713.16	63207.00	10080.90	6.054	1.545
13	65	979.85	368.62	18336.90	2702.40	1.756	0.414
รวม						68.715	22.034

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 79.93 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1610.42	333.78	38299.20	3292.80	0.505	3.669
2	10	2397.87	605.33	53776.00	7065.30	1.083	5.151
3	15	2671.61	672.58	59970.90	9138.40	1.401	5.744
4	20	2551.35	665.95	56562.00	8685.80	1.331	5.418
5	25	2712.89	710.31	60077.40	7726.00	1.184	5.755
6	30	2573.30	620.13	58595.20	7494.80	1.149	5.613
7	35	2533.29	595.32	58139.00	6706.40	1.028	5.569
8	40	2552.87	644.66	57246.40	5272.50	0.808	5.483
9	45	2627.87	657.70	59105.20	5297.50	0.812	5.661
10	50	2886.43	719.89	64996.00	4968.80	0.762	6.226
11	55	2625.49	545.11	62411.20	5009.70	0.768	5.978
12	60	2808.94	705.83	63093.30	4217.00	0.646	6.043
13	65	1066.52	375.29	20736.90	2902.40	0.445	1.986
รวม						11.920	68.296

ตารางผนวกที่ ก6 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 89.40 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเขียว)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	2429.10	951.19	44337.30	15557.70	2.384	4.247
2	10	2618.37	943.08	50258.60	17120.00	2.624	4.814
3	15	2419.52	883.01	46095.20	15975.60	2.448	4.415
4	20	2640.41	893.76	52399.50	15666.00	2.401	5.019
5	25	2896.94	903.96	59789.50	13083.00	2.005	5.727
6	30	3006.86	868.33	64156.00	11915.20	1.826	6.145
7	35	3007.36	778.28	66872.30	10824.30	1.659	6.405
8	40	2935.48	741.38	65823.00	9336.40	1.431	6.305
9	45	3246.10	836.97	72274.00	8642.80	1.325	6.923
10	50	2737.62	578.32	64779.20	5311.90	0.814	6.205
11	55	2793.80	646.19	64428.40	4549.90	0.697	6.171
12	60	2652.24	589.38	61885.90	4159.00	0.637	5.928
13	65	8569.15	1730.80	13676.71	849.19	0.130	1.310
รวม						20.382	69.615

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	495.80	378.78	3510.60	5918.70	0.907	0.336
2	10	1698.80	563.60	34056.00	11273.10	1.728	3.262
3	15	2988.60	780.88	66231.60	15251.10	2.337	6.344
4	20	3299.82	879.20	72618.60	19079.40	2.924	6.956
5	25	3755.74	983.14	83178.00	21228.90	3.253	7.967
6	30	4423.52	1244.10	95382.60	26224.80	4.019	9.136
7	35	4369.40	1152.28	96513.60	23331.30	3.576	9.245
8	40	4737.84	1161.82	107280.60	23611.20	3.619	10.276
9	45	4367.42	1084.82	98478.00	21518.10	3.298	9.433
10	50	4165.94	1049.48	93493.80	20695.50	3.172	8.955
11	55	4292.70	1058.00	97041.00	20375.40	3.123	9.295
12	60	3760.08	950.88	84276.00	17212.50	2.638	8.072
13	65	1079.85	418.62	1079.85	4202.40	0.644	418.620
รวม						34.593	507.898

ตารางผนวกที่ ก8 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 101.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1285.23	354.21	27930.60	4095.90	0.628	2.675
2	10	1801.40	477.39	39720.20	6386.00	0.979	3.805
3	15	2224.25	673.97	46508.40	9970.80	1.528	4.455
4	20	3401.04	764.99	79081.70	8403.50	1.288	7.575
5	25	3291.70	732.63	76772.10	6821.40	1.045	7.354
6	30	3279.05	674.93	78123.80	6391.50	0.980	7.483
7	35	3197.59	687.47	75303.60	5895.00	0.903	7.213
8	40	3341.24	667.52	80211.70	5159.30	0.791	7.683
9	45	3321.53	644.78	80302.50	4543.00	0.696	7.692
10	50	3576.12	647.72	87852.20	4543.20	0.696	8.415
11	55	3517.07	673.42	85309.30	4069.90	0.624	8.171
12	60	3806.89	751.29	91668.20	3863.50	0.592	8.780
13	65	5522.16	990.95	9365.15	386.60	0.059	0.897
รวม						10.809	82.198

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 86.87 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเขียว)

กระป๋อง	**เวลา (นาที)**	**กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)**	**กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)**	**น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)**	**ตะกอน (กรัม/5 นาที)**	**ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)**	**ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)**
1	5	1224.05	495.41	21859.08	9819.42	1.505	2.094
2	10	2377.13	799.40	47331.72	16163.06	2.477	4.534
3	15	3049.00	954.18	62844.78	18219.84	2.792	6.020
4	20	3355.71	1046.31	69281.76	20344.02	3.118	6.636
5	25	3177.56	846.90	69919.68	18648.30	2.858	6.697
6	30	3341.19	995.75	70363.38	20553.38	3.150	6.740
7	35	3539.44	1064.76	74240.34	20880.24	3.200	7.111
8	40	3509.42	949.47	76798.38	19815.12	3.037	7.356
9	45	3942.81	1065.01	86333.94	20544.82	3.149	8.270
10	50	4188.11	1188.46	89989.50	20654.84	3.165	8.620
11	55	3851.26	1053.23	83940.90	19480.66	2.986	8.040
12	60	3627.40	944.00	80502.12	16376.14	2.510	7.711
13	65	14298.62	2872.88	20069.25	2728.10	0.418	1.922
รวม						34.364	81.750

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 57 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	923.50	407.46	15481.20	4600.80	1.097	2.307
2	10	983.43	451.60	15954.90	5267.40	1.256	2.378
3	15	1431.24	497.67	28007.10	7562.70	1.803	4.174
4	20	1411.35	446.28	28952.10	5957.40	1.421	4.315
5	25	1434.66	444.74	29697.60	5121.30	1.221	4.426
6	30	1503.35	407.10	32887.50	4959.90	1.183	4.901
7	35	1384.90	391.75	29794.50	4509.00	1.075	4.440
8	40	1425.57	420.42	30154.50	4428.00	1.056	4.494
9	45	1461.61	438.61	30690.00	4492.50	1.071	4.574
10	50	1585.20	462.72	33674.40	5145.60	1.227	5.019
11	55	1642.96	457.53	35562.90	5034.90	1.201	5.300
12	60	1312.89	360.19	28581.00	3190.20	0.761	4.259
13	65	839.85	318.62	15636.90	1202.40	0.287	2.330
รวม						14.658	52.917

ตารางผนวกที่ ก11 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 49.77 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	949.21	387.96	16837.50	5686.60	1.356	2.509
2	10	1403.87	624.31	23386.70	10802.30	2.576	3.485
3	15	1603.60	589.98	30408.60	10698.70	2.551	4.532
4	20	1479.18	509.23	29098.50	8564.30	2.042	4.337
5	25	1508.28	527.82	29414.00	7916.30	1.888	4.384
6	30	1644.59	556.26	32650.10	8414.50	2.006	4.866
7	35	1624.02	535.78	32647.20	8295.00	1.978	4.865
8	40	1686.70	587.19	32985.40	8655.50	2.064	4.916
9	45	1547.87	490.55	31719.70	6955.60	1.659	4.727
10	50	1501.68	450.87	31524.30	5620.00	1.340	4.698
11	55	1500.85	460.78	31202.00	5610.80	1.338	4.650
12	60	1593.02	490.57	33073.60	5738.50	1.368	4.929
13	65	716.52	305.95	12316.90	802.40	0.191	1.836
รวม						22.357	54.734

ตารางผนวกที่ ก12 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 59.13 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัด 50 % (เมล็ดถั่วเขียว)

กระป๋อง	**เวลา (นาที)**	**กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)**	**กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)**	**น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)**	**ตะกอน (กรัม/5 นาที)**	**ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)**	**ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)**
1	5	925.32	438.68	14599.26	7796.24	1.859	2.176
2	10	1478.31	615.94	25871.11	12205.34	2.910	3.856
3	15	1525.90	583.44	28274.06	13031.66	3.107	4.214
4	20	1902.88	782.04	33624.95	16094.44	3.838	5.011
5	25	2202.25	864.98	40118.13	16803.95	4.007	5.979
6	30	2238.21	928.45	39292.83	13803.28	3.291	5.856
7	35	1810.64	559.64	37530.12	10201.29	2.432	5.593
8	40	1795.80	512.86	38488.38	8473.94	2.021	5.736
9	45	1868.85	527.13	40251.47	7591.45	1.810	5.999
10	50	1878.02	484.59	41803.04	6557.67	1.564	6.230
11	55	1737.63	412.50	39754.03	5482.01	1.307	5.925
12	60	1708.29	419.12	38675.01	4895.78	1.167	5.764
13	65	3702.37	883.96	4697.36	565.77	0.135	0.700
รวม						29.449	63.037

ตารางผนวกที่ ก13 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัด 50 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1662.30	733.43	27866.16	14379.84	3.429	4.153
2	10	1770.17	812.88	28718.82	16105.80	3.840	4.280
3	15	2576.23	895.81	50412.78	19506.78	4.651	7.513
4	20	2540.43	803.30	52113.78	16668.12	3.975	7.767
5	25	2582.39	800.53	53455.68	15795.06	3.766	7.967
6	30	2706.03	732.78	59197.50	14730.30	3.512	8.822
7	35	2492.82	705.15	53630.10	13911.00	3.317	7.993
8	40	2566.03	756.76	54278.10	14518.08	3.462	8.089
9	45	2630.90	789.50	55242.00	15019.14	3.581	8.233
10	50	2853.36	832.90	60613.92	16250.88	3.875	9.033
11	55	2957.33	823.55	64013.22	16015.62	3.819	9.540
12	60	2363.20	648.34	51445.80	11834.76	2.822	7.667
13	65	1511.73	573.52	28146.42	8849.28	2.110	4.195
รวม						46.160	91.056

ตารางผนวกที่ ก14 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 72.67 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัด 50 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1754.28	712.52	31252.70	10350.80	2.468	4.658
2	10	2232.23	834.06	41945.00	12578.80	2.999	6.251
3	15	1935.64	668.61	38010.90	12032.80	2.869	5.665
4	20	1985.01	650.77	40027.10	11361.70	2.709	5.965
5	25	1943.80	644.87	38967.70	11404.20	2.719	5.807
6	30	2048.05	658.39	41689.80	11390.40	2.716	6.213
7	35	2361.17	808.98	46565.90	10389.80	2.477	6.940
8	40	2302.12	694.30	48234.70	9539.60	2.275	7.188
9	45	2236.10	664.71	47141.70	10049.30	2.396	7.026
10	50	2012.48	601.89	42317.70	7716.70	1.840	6.307
11	55	1830.19	544.85	38560.10	6579.50	1.569	5.747
12	60	1888.15	579.86	39248.80	6376.60	1.521	5.849
13	65	757.52	316.29	13236.90	902.40	0.215	1.973
รวม						28.774	75.589

ตารางผนวกที่ ก15 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 85.80 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัด 50 % (เมล็ดถั่วเขียว)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	994.70	469.54	15755.00	8509.40	2.029	2.348
2	10	1471.77	616.17	25668.20	12510.50	2.983	3.825
3	15	2672.05	979.87	50765.50	17320.30	4.130	7.566
4	20	2636.13	924.37	51352.90	17594.10	4.195	7.653
5	25	2803.60	1047.57	52680.90	20507.20	4.890	7.851
6	30	2462.17	837.41	48743.00	14205.50	3.387	7.264
7	35	2180.22	695.25	44549.10	12521.70	2.986	6.639
8	40	2304.85	746.52	46750.00	11406.70	2.720	6.967
9	45	2209.91	697.49	45372.80	10416.60	2.484	6.762
10	50	1970.69	610.36	40809.80	8474.90	2.021	6.082
11	55	1772.31	568.05	36127.70	6781.70	1.617	5.384
12	60	1571.34	477.63	32811.20	6332.90	1.510	4.890
13	65	1668.64	392.09	2836.78	254.75	0.061	0.423
รวม						35.013	64.639

ตารางผนวกที่ ก16 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัด 50 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ ($ซม^3$./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1847.00	814.92	30962.40	16824.60	4.012	4.614
2	10	1966.86	903.20	31909.80	18815.40	4.487	4.756
3	15	2862.48	995.34	56014.20	22492.80	5.363	8.348
4	20	2822.70	892.56	57904.20	19345.80	4.613	8.630
5	25	2869.32	889.48	59395.20	18463.50	4.403	8.852
6	30	3006.70	814.20	65775.00	17172.90	4.095	9.803
7	35	2769.80	783.50	59589.00	16261.50	3.878	8.881
8	40	2851.14	840.84	60309.00	17040.60	4.063	8.988
9	45	2923.22	877.22	61380.00	17650.80	4.209	9.148
10	50	3170.40	925.44	67348.80	19027.20	4.537	10.037
11	55	3285.92	915.06	71125.80	18760.80	4.474	10.600
12	60	2625.78	720.38	57162.00	13995.90	3.337	8.519
13	65	1679.70	637.24	19117.20	10761.00	2.566	2.849
รวม						54.036	104.023

ตารางผนวกที่ ก17 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 99.67 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัด 50 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1855.45	677.96	35324.80	13557.80	3.233	5.265
2	10	2832.31	991.32	55229.70	18146.30	4.327	8.231
3	15	2655.35	931.61	51712.20	19136.10	4.563	7.707
4	20	3030.27	1143.16	56613.30	18525.30	4.417	8.437
5	25	2786.98	934.52	55573.80	16222.70	3.868	8.282
6	30	2513.31	780.78	51976.00	13434.90	3.204	7.746
7	35	2650.43	833.35	54512.40	13325.20	3.177	8.124
8	40	2127.30	615.30	45360.10	11542.90	2.752	6.760
9	45	2106.24	640.26	43979.40	9890.00	2.358	6.554
10	50	2142.35	601.57	46223.40	8691.70	2.073	6.889
11	55	1900.19	548.70	40544.70	7256.80	1.730	6.042
12	60	1860.23	519.64	40217.80	5547.40	1.323	5.994
13	65	2586.01	604.12	3066.52	342.64	0.082	0.457
รวม						37.108	86.488

ตารางผนวกที่ ก18 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 96.27 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัด 50 % (เมล็ดถั่วเขียว)

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	1379.26	653.20	21781.80	13989.82	3.336	3.246
2	10	3182.73	1285.29	56923.08	28225.36	6.730	8.483
3	15	3542.24	1362.98	65377.80	27875.48	6.647	9.743
4	20	3353.94	1305.31	61458.72	24459.86	5.832	9.159
5	25	3117.72	1117.61	60003.36	23188.56	5.529	8.942
6	30	2919.46	1002.82	57499.32	20243.50	4.827	8.569
7	35	3068.75	1100.43	59049.48	19581.86	4.669	8.800
8	40	2901.73	999.90	57055.08	17056.08	4.067	8.503
9	45	2985.43	969.00	60492.96	15982.50	3.811	9.015
10	50	3026.23	1019.27	60208.68	14497.46	3.457	8.973
11	55	2704.89	733.89	59129.88	11082.06	2.643	8.812
12	60	2481.66	759.47	51665.76	10427.24	2.486	7.700
13	65	4686.92	1032.57	7308.69	710.01	0.169	1.089
รวม						54.204	88.737

ตารางผนวกที่ ก19 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีใช้วัสดุคลุมดิน ปริมาณ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 68.5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	507.51	204.61	9087.10	509.30	0.078	0.870
2	10	783.36	207.43	17277.90	582.40	0.089	1.655
3	15	786.60	208.70	17337.00	782.70	0.120	1.661
4	20	842.99	214.71	18848.20	907.00	0.139	1.805
5	25	1120.74	280.29	25213.60	1172.50	0.180	2.415
6	30	1162.57	316.62	25378.60	1286.40	0.197	2.431
7	35	1173.75	316.10	25729.60	1254.50	0.192	2.465
8	40	1175.40	315.03	25811.20	1173.00	0.180	2.472
9	45	1159.19	306.60	25577.70	1098.80	0.168	2.450
10	50	1157.14	307.97	25475.20	904.90	0.139	2.440
11	55	1105.45	276.68	24863.00	752.00	0.115	2.382
12	60	1116.69	285.73	24929.00	688.70	0.106	2.388
13	65	3481.98	563.05	7297.33	208.09	0.032	0.699
รวม						1.735	26.133

ตารางผนวกที่ ก20 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีใช้วัสดุคลุมดิน ปริมาณ 1200 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 74 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ ($ซม^3$./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	753.78	217.74	16081.20	102.40	0.016	1.540
2	10	841.53	210.01	18945.50	181.10	0.028	1.815
3	15	790.92	176.50	18432.50	224.90	0.034	1.766
4	20	841.04	223.68	18520.80	227.20	0.035	1.774
5	25	870.96	199.14	20154.40	253.50	0.039	1.930
6	30	885.04	223.85	19835.70	237.30	0.036	1.900
7	35	913.07	227.38	20570.80	235.90	0.036	1.970
8	40	921.66	230.68	20729.60	233.50	0.036	1.986
9	45	1007.67	249.13	22756.30	226.70	0.035	2.180
10	50	958.77	213.40	22361.10	211.20	0.032	2.142
11	55	1021.28	223.48	23933.90	198.50	0.030	2.293
12	60	922.79	243.12	20390.10	166.00	0.025	1.953
13	65	2131.46	378.03	1774.01	10.20	0.002	0.170
รวม						0.384	23.418

ตารางผนวกที่ ก21 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีใช้วัสดุคลุมดิน ปริมาณ1600 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 82.6 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

กระป๋อง	**เวลา (นาที)**	**กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)**	**กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)**	**น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)**	**ตะกอน (กรัม/5 นาที)**	**ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)**	**ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)**
1	5	400.93	94.90	9181.10	203.10	0.031	0.879
2	10	641.14	154.81	14589.90	455.20	0.070	1.398
3	15	718.42	154.65	16913.20	422.20	0.065	1.620
4	20	882.13	155.28	21805.50	438.80	0.067	2.089
5	25	889.24	186.31	21087.80	369.50	0.057	2.020
6	30	841.68	188.81	19586.30	379.60	0.058	1.876
7	35	984.63	220.13	22935.00	346.70	0.053	2.197
8	40	945.31	209.95	22060.70	335.10	0.051	2.113
9	45	1019.75	153.92	25975.00	372.70	0.057	2.488
10	50	1142.67	223.73	27568.30	419.70	0.064	2.641
11	55	1048.13	206.83	25239.10	338.30	0.052	2.418
12	60	1103.76	187.83	27478.10	360.40	0.055	2.632
13	65	656.82	189.51	665.81	3.19	0.000	0.064
รวม						0.681	24.434

ตารางผนวกที่ ก22 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีใช้วัสดุคลุมดิน ปริมาณ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 79.65 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม ^{3}./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	2145.11	862.34	38483.33	12722.89	3.034	5.735
2	10	2501.56	844.88	49700.18	15731.49	3.751	7.407
3	15	2487.39	823.66	49911.92	13556.24	3.232	7.438
4	20	2171.52	640.44	45932.30	7611.22	1.815	6.845
5	25	2179.36	595.48	47516.45	6176.38	1.473	7.081
6	30	2068.25	571.52	44902.02	4920.11	1.173	6.692
7	35	2233.87	646.52	47620.49	5496.23	1.311	7.097
8	40	1904.50	499.01	42164.68	4718.80	1.125	6.284
9	45	1815.63	512.86	39082.92	5440.05	1.297	5.825
10	50	1580.95	436.37	34337.45	3168.52	0.756	5.117
11	55	1675.06	510.97	34922.68	3491.29	0.832	5.205
12	60	957.60	279.70	20337.02	2153.46	0.513	3.031
13	65	2992.51	729.22	3772.16	382.27	0.091	0.562
รวม						20.404	74.319

ตารางผนวกที่ ก23 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีใช้วัสดุคลุมดิน ปริมาณ 1200 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 74.63 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม^3./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	447.71	259.34	5651.00	3480.70	0.830	0.842
2	10	668.82	337.79	9930.80	5892.20	1.405	1.480
3	15	1052.34	391.29	19831.40	7562.50	1.803	2.955
4	20	1007.20	363.17	19320.80	6695.40	1.597	2.879
5	25	1206.22	381.25	24749.20	7422.70	1.770	3.688
6	30	1186.95	413.46	23204.80	5973.60	1.424	3.458
7	35	1016.47	349.30	20015.00	4599.60	1.097	2.983
8	40	863.54	248.95	18437.70	3259.80	0.777	2.748
9	45	958.69	297.07	19848.80	3222.60	0.768	2.958
10	50	970.67	313.66	19710.50	3388.50	0.808	2.937
11	55	1031.19	297.91	21998.30	3092.80	0.737	3.278
12	60	851.36	299.12	16567.00	2908.40	0.694	2.469
13	65	4434.90	839.30	8043.78	295.64	0.070	1.199
รวม						13.781	33.876

ตารางผนวกที่ ก24 ผลการชะล้างของดินในแปลง กรณีใช้วัสดุคลุมดิน ปริมาณ 1600 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

กระป๋อง	เวลา (นาที)	กระป๋อง +ดิน +น้ำ (กรัม)	กระป๋อง + ตะกอน (กรัม)	น้ำ (ซม ^{3}./ 5 นาที)	ตะกอน (กรัม/5 นาที)	ตะกอน ท้ายแปลง (ตัน/ชม/ไร่)	ปริมาณน้ำ ท้ายแปลง (มม/ชม)
1	5	633.34	250.26	11492.30	303.90	0.072	1.713
2	10	710.35	225.95	14532.00	564.60	0.135	2.166
3	15	696.09	170.96	15753.90	499.10	0.119	2.348
4	20	703.28	176.92	15790.80	473.40	0.113	2.353
5	25	643.89	151.11	14783.60	483.50	0.115	2.203
6	30	717.27	176.23	16231.30	495.60	0.118	2.419
7	35	648.65	152.16	14894.70	442.40	0.105	2.220
8	40	675.39	169.92	15164.10	405.80	0.097	2.260
9	45	777.18	245.49	15950.50	383.90	0.092	2.377
10	50	743.23	172.33	17127.00	404.30	0.096	2.552
11	55	753.84	203.63	16506.10	335.90	0.080	2.460
12	60	733.59	267.06	13996.00	182.60	0.044	2.086
13	65	2782.86	474.25	6221.86	40.11	0.010	0.927
รวม						1.196	25.164

ภาคผนวก ข

ข้อมูลค่าขนาดเม็ดดิน

ตารางผนวกที่ ข1 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 57 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	10	30	15.0	48.061	12.24	0.0854
0.5	10	30	15.0	48.061	12.24	0.0604
1	9	30	14.0	44.857	13.80	0.0454
2	8.5	30	13.5	43.255	13.95	0.0322
2	8	30	13.0	41.653	14.10	0.0324
4	7.5	30	12.5	40.051	14.20	0.0230
6	7	30	12.0	38.449	14.35	0.0189
10	6.5	30	11.5	36.847	14.50	0.0147
20	6	30	11.0	35.245	14.60	0.0104
108	3	30	8.0	25.633	15.40	0.0051
1312	0	30.5	5.0	16.020	16.20	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข2 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 51.07 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	11	33	15.0	48.061	16.30	0.0975
0.5	10	33	14.0	44.857	16.50	0.0694
1	9	33	13.0	41.653	16.75	0.0494
2	8	33	12.0	38.449	16.93	0.0351
2	8	33	12.0	38.449	16.93	0.0351
4	7	33	11.0	35.245	17.15	0.0250
8	6	33	10.0	32.041	17.35	0.0178
16	5	33	9.0	28.837	17.60	0.0127
30	5	33	9.0	28.837	17.60	0.0093
60	4	33	8.0	25.633	17.75	0.0066
245	2.5	33	6.5	20.827	18.10	0.0038
1504	1.5	33	5.5	17.623	16.30	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข3 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 59.13 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %(เมล็ดถั่วเขียว)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	16	33	20.0	64.082	15.25	0.0944
0.5	15.5	33	19.5	62.480	15.35	0.0669
1	15	33	19.0	60.878	15.50	0.0476
2	13.5	33	17.5	56.072	15.75	0.0339
2	13.5	33	17.5	56.072	15.75	0.0339
4	12.5	33	16.5	52.868	16.00	0.0242
8	11.5	33	15.5	49.663	16.20	0.0172
16	10	33	14.0	44.857	16.50	0.0123
30	8	33	12.0	38.449	17.00	0.0091
40	7	33	11.0	35.245	17.15	0.0079
132	5.5	33	9.5	30.439	17.45	0.0053
1270	4	33	8.0	25.633	17.80	0.0015

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข4 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	13	30	18.0	57.674	12.75	0.0872
0.5	12.5	30	17.5	56.072	12.90	0.0620
1	12	30	17.0	54.470	13.00	0.0440
2	11.5	30	16.5	52.868	13.15	0.0313
2	11	30	16.0	51.266	13.30	0.0315
4	10.5	30	15.5	49.663	13.45	0.0224
6	10	30	15.0	48.061	13.55	0.0183
10	9.5	30	14.5	46.459	13.70	0.0143
20	9	30	14.0	44.857	13.80	0.0101
108	6	30	11.0	35.245	14.60	0.0050
1312	3.5	30.5	8.5	27.235	15.30	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข5 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 79.93 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^{o})	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	12	33	16.0	51.266	16.09	0.0969
0.5	12	33	16.0	51.266	16.09	0.0685
1	12	33	16.0	51.266	16.09	0.0485
2	11.5	33	15.5	49.663	16.20	0.0344
2	13	33	17.0	54.470	15.88	0.0340
4	12.5	33	16.5	52.868	16.00	0.0242
8	10	33	14.0	44.857	16.50	0.0173
16	9.5	33	13.5	43.255	16.60	0.0123
30	7	33	11.0	35.245	17.15	0.0091
60	5	33	9.0	28.837	17.55	0.0065
321	2.5	33	6.5	20.827	18.10	0.0032
1579	1.5	33	5.5	17.623	18.20	0.0015

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข6 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 89.4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเขียว)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	22.5	30.5	26.5	84.908	13.89	0.0900
0.5	22	30.5	26	83.306	14.00	0.0639
1	22	30.5	26	83.306	14.00	0.0452
2	21	30.5	25	80.102	14.21	0.0322
2	20	30.5	24	76.898	14.42	0.0324
4	18.5	30.5	22.5	72.092	14.73	0.0232
8	17	30.5	21	67.286	15.04	0.0166
16	14.5	30.5	18.5	59.276	15.57	0.0119
30	12.5	30.5	16.5	52.868	15.98	0.0088
60	11	30.5	15	48.061	16.30	0.0063
1156	5	30.5	9	28.837	17.55	0.0015

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข7 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	13	30	18.0	57.674	12.75	0.0872
0.5	12.5	30	17.5	56.072	12.90	0.0620
1	11.5	30	16.5	52.868	13.15	0.0443
2	9.5	30	14.5	46.459	13.70	0.0320
2	8	30	13.0	41.653	14.10	0.0324
4	7.5	30	12.5	40.051	14.25	0.0230
6	7	30	12.0	38.449	14.35	0.0189
10	6.5	30	11.5	36.847	14.50	0.0147
20	6	30	11.0	35.245	14.60	0.0104
108	3	30	8.0	25.633	15.40	0.0051
1312	0	30.5	5.0	16.020	16.20	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข8 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 101.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^{o})	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	20	30.5	22.0	70.490	13.50	0.0888
0.5	19	30.5	21.0	67.286	13.70	0.0632
1	17	30.5	19.0	60.878	14.00	0.0452
2	15.5	30.5	17.5	56.072	14.30	0.0323
2	15	30.5	17.0	54.470	14.35	0.0324
4	14	30.5	16.0	51.266	14.50	0.0230
8	12	30.5	14.0	44.857	14.85	0.0165
16	11	30.5	13.0	41.653	15.00	0.0117
30	10	30.5	12.0	38.449	15.20	0.0086
60	8.5	30.5	10.5	33.643	15.45	0.0061
1206	4	30.5	6.0	19.225	16.20	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข9 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 86.87 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 % (เมล็ดถั่วเขียว)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	23	30.5	27	86.511	13.79	0.0897
0.5	23	30.5	27	86.511	13.79	0.0634
1	22	30.5	26	83.306	12.95	0.0435
2	20	30.5	24	76.898	13.30	0.0312
2	20	30.5	24	76.898	13.30	0.0312
4	19	30.5	23	73.694	13.50	0.0222
8	17	30.5	21	67.286	13.84	0.0159
16	14	30.5	18	57.674	15.67	0.0120
30	12.5	30.5	16.5	52.868	14.65	0.0084
60	11	30.5	15	48.061	14.90	0.0060
1156	5	30.5	9	28.837	15.95	0.0015

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข10 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 57 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	10.5	30	15.5	49.663	13.43	0.0895
0.5	10	30	15.0	48.061	13.57	0.0636
1	9.5	30	14.5	46.459	13.70	0.0452
2	8.5	30	13.5	43.255	13.96	0.0323
2	8	30	13.0	41.653	14.10	0.0324
4	7.5	30	12.5	40.051	14.23	0.0230
6	7	30	12.0	38.449	14.36	0.0189
10	6.5	30	11.5	36.847	14.49	0.0147
20	6	30	11.0	35.245	14.63	0.0104
108	3	30	8.0	25.633	15.42	0.0051
1312	0	30.5	5.0	16.020	16.22	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข11 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 49.77 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	10	31	15	48.061	13.601	0.0891
0.5	9.9	31	14.9	47.741	13.630	0.0631
1	9.8	31	14.8	47.421	13.650	0.0446
2	9.7	31	14.7	47.100	13.700	0.0316
2	9.7	31	14.7	47.100	13.700	0.0316
4	9	31	14	44.857	13.900	0.0225
8	8	31	13	41.653	14.050	0.0160
16	7.5	31	12.5	40.051	14.250	0.0114
30	6.5	31	11.5	36.847	14.550	0.0084
60	6	31	11	35.245	14.700	0.0060
1125	4	30.5	9	28.837	15.200	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข12 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 66.31 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 % (เมล็ดถั่วเขียว)

ช่วงเวลา (นาที)	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง**	**อุณหภูมิ (C^{o})**	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้**	**N (เปอร์เซ็นต์)**	**h (ซม.)**	**ขนาดตะกอน (มม.)**
0.25	13	31	18	57.674	13.788	0.0897
0.5	12	31	17	54.470	14.101	0.0642
1	11	31	16	51.266	14.415	0.0459
2	10	31	15	48.061	14.729	0.0328
2	9.5	31	14.5	46.459	14.886	0.0330
4	9	31	14	44.857	15.043	0.0234
8	8.5	31	13.5	43.255	15.199	0.0167
16	7.5	31	12.5	40.051	15.513	0.0119
30	6.5	31	11.5	36.847	15.827	0.0088
60	6	31	11	35.245	16.808	0.0064
1125	4	30.5	9	28.837	16.611	0.0015

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข13 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

ช่วงเวลา (นาที)	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง**	**อุณหภูมิ (C^o)**	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้**	**N (เปอร์เซ็นต์)**	**h (ซม.)**	**ขนาดตะกอน (มม.)**
0.25	17	30	22.0	70.490	11.71	0.0836
0.5	16	30	21.0	67.286	11.98	0.0598
1	15	30	20.0	64.082	12.24	0.0427
2	14.5	30	19.5	62.480	12.37	0.0304
2	12	30	17.0	54.470	13.04	0.0312
4	10.5	30	15.5	49.663	13.43	0.0224
6	10	30	15.0	48.061	13.57	0.0184
10	9.5	30	14.5	46.459	13.70	0.0143
20	9	30	14.0	44.857	13.83	0.0102
108	6	30	11.0	35.245	14.63	0.0050
1312	3.5	30.5	8.5	27.235	15.29	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข14 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 72.67 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	18	33	23	73.694	12.200	0.0844
0.5	17	33	22	70.490	12.600	0.0606
1	16	33	21	67.286	12.800	0.0432
2	15	33	20	64.082	13.000	0.0308
2	14	33	19	60.878	13.500	0.0314
4	12	33	17	54.470	14.100	0.0227
8	11	33	16	51.266	14.300	0.0162
16	8	33	13	41.653	15.400	0.0119
30	7	33	12	38.449	15.600	0.0087
60	5.5	33	10.5	33.643	16.200	0.0063
187	4	33	9	28.837	16.800	0.0044
1398	2	33	7	22.429	17.239	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข15 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 85.80 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 % (เมล็ดถั่วเขียว)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาด ตะกอน (มม.)
0.25	17.5	33	22.5	72.092	12.376	0.0850
0.5	17	33	22	70.490	12.533	0.0605
1	16.5	33	21.5	68.888	12.689	0.0430
2	15	33	20	64.082	13.160	0.0310
2	14	33	19	60.878	13.474	0.0314
4	13	33	18	57.674	13.788	0.0224
8	11	33	16	51.266	14.415	0.0162
16	9	33	14	44.857	15.043	0.0117
30	7	33	12	38.449	15.670	0.0087
60	5	33	10	32.041	16.298	0.0063
187	4	33	9	28.837	16.611	0.0044
1398	2	33	7	22.429	17.239	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข16 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	18	30	23.0	73.694	11.45	0.0826
0.5	17.5	30	22.5	72.092	11.58	0.0588
1	15.5	30	20.5	65.684	12.11	0.0425
2	12.5	30	17.5	56.072	12.90	0.0310
2	10	30	15.0	48.061	13.57	0.0318
4	8.5	30	13.5	43.255	13.96	0.0228
6	7.5	30	12.5	40.051	14.23	0.0188
10	6.5	30	11.5	36.847	14.49	0.0147
20	5	30	10.0	32.041	14.89	0.0105
108	3	30	8.0	25.633	15.42	0.0051
1312	0	30.5	5.0	16.020	16.22	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข17 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 99.67 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 % (เมล็ดถั่วเหลือง)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	17	33	22	70.490	12.533	0.086
0.5	16.5	33	21.5	68.888	12.689	0.061
1	16	33	21	67.286	12.846	0.043
2	15.5	33	20.5	65.684	13.003	0.031
2	14	33	19	60.878	13.474	0.031
4	13	33	18	57.674	13.788	0.022
8	11	33	16	51.266	14.415	0.016
16	8	33	13	41.653	15.356	0.012
30	7.5	33	12.5	40.051	15.513	0.009
60	5.5	33	10.5	33.643	16.141	0.006
187	4	33	9	28.837	16.611	0.004
1398	3	33	8	25.633	16.925	0.001

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข18 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 96.27 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 % (เมล็ดถั่วเขียว)

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาด ตะกอน (มม.)
0.25	17.5	33	22.5	72.092	12.376	0.085
0.5	17	33	22	70.490	12.533	0.060
1	16.5	33	21.5	68.888	12.689	0.043
2	15.5	33	20.5	65.684	13.003	0.031
2	13	33	18	57.674	13.788	0.032
4	12	33	17	54.470	14.101	0.023
8	11	33	16	51.266	14.415	0.016
16	8	33	13	41.653	15.356	0.012
30	7	33	12	38.449	15.670	0.009
60	5	33	10	32.041	16.298	0.006
187	4	33	9	28.837	16.611	0.004
1398	2	33	7	22.429	17.239	0.001

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข19 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดินปริมาณ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 68.5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	20	33	24.0	76.898	14.40	0.0917
0.5	20	33	24.0	76.898	14.40	0.0648
1	19.5	33	23.5	75.296	14.50	0.0460
2	18.5	33	22.5	72.092	14.80	0.0329
2	18	33	22.0	70.490	14.90	0.0330
4	17	33	21.0	67.286	15.05	0.0234
8	14	33	18.0	57.674	15.70	0.0169
16	12	33	16.0	51.266	16.10	0.0121
30	10	33	14.0	44.857	16.50	0.0090
55	9	33	13.0	41.653	16.75	0.0067
171	6	33	10.0	32.041	17.35	0.0047
1461	3	33	7.0	22.429	18.00	0.0014

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข20 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดิน ปริมาณ 1200 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 74 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

ช่วงเวลา (นาที)	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง**	**อุณหภูมิ (C^o)**	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้**	**N (เปอร์เซ็นต์)**	**h (ซม.)**	**ขนาดตะกอน (มม.)**
0.25	13	30	18.0	57.674	15.04	0.0937
0.5	13	30	18.0	57.674	15.04	0.0662
1	12.5	30	17.5	56.072	15.13	0.0470
2	12	30	17.0	54.470	15.22	0.0333
2	12	30	17.0	54.470	15.22	0.0333
4	12	30	17.0	54.470	15.22	0.0236
8	11	30	16.0	51.266	15.40	0.0168
16	9	30	14.0	44.857	15.77	0.0120
30	7.5	30	12.5	40.051	16.04	0.0088
60	5.5	30	10.5	33.643	16.41	0.0063
1206	1	30.5	6.0	19.225	17.24	0.0015

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข21 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดิน ปริมาณ 1600 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 82.6 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 30 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	13.5	33	17.5	56.072	15.77	0.0960
0.5	13	33	17.0	54.470	15.88	0.0681
1	12.5	33	16.5	52.868	15.98	0.0483
2	12	33	16.0	51.266	16.09	0.0343
2	12	33	16.0	51.266	16.09	0.0343
4	12	33	16.0	51.266	16.09	0.0242
8	11	33	15.0	48.061	16.30	0.0172
16	10	33	14.0	44.857	16.51	0.0123
30	9	33	13.0	41.653	16.72	0.0090
60	5.5	33	9.5	30.439	17.45	0.0065
1206	1	33	5.0	16.020	18.39	0.0015

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข22 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดิน ปริมาณ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 79.65 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	21	33	26	83.306	13.997	0.090
0.5	20.5	33	25.5	81.704	14.100	0.064
1	20	33	25	80.102	14.250	0.046
2	18	33	23	73.694	14.650	0.033
2	18	33	23	73.694	14.650	0.033
4	16	33	21	67.286	15.050	0.023
8	13	33	18	57.674	15.650	0.017
16	10	33	15	48.061	16.298	0.012
30	8	33	13	41.653	16.750	0.009
60	7	33	12	38.449	16.900	0.006
218	4	33	9	28.837	17.600	0.004
1393	3.5	33	8.5	27.235	17.700	0.001

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข23 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดิน ปริมาณ 1200 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 74.63 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

ช่วงเวลา (นาที)	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ อ่านจริง**	**อุณหภูมิ (C^o)**	**ค่าไฮโดรมิเตอร์ ปรับแก้**	**N (เปอร์เซ็นต์)**	**h (ซม.)**	**ขนาดตะกอน (มม.)**
0.25	20	31	25	80.102	13.119	0.088
0.5	19.5	31	21.5	68.888	13.700	0.063
1	19.5	31	21.5	68.888	13.700	0.045
2	19	31	21	67.286	13.783	0.032
2	18	31	20	64.082	13.948	0.032
4	17.5	31	19.5	62.480	14.031	0.023
8	15	31	17	54.470	14.446	0.016
16	12	31	14	44.857	14.943	0.012
30	11	31	13	41.653	15.109	0.009
60	8	31	10	32.041	15.607	0.006
1155	4	31	6	19.225	16.270	0.001

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ตารางผนวกที่ ข24 ผลขนาดเม็ดดินของตะกอนท้ายแปลง กรณีใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดิน ปริมาณ 1600 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความเข้มฝน 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับความลาดชัน 50 %

ช่วงเวลา (นาที)	ค่าไฮโดรมิเตอร์อ่านจริง	อุณหภูมิ (C^o)	ค่าไฮโดรมิเตอร์ปรับแก้	N (เปอร์เซ็นต์)	h (ซม.)	ขนาดตะกอน (มม.)
0.25	21	31	26	83.306	12.953	0.087
0.5	20	31	22	70.490	13.600	0.063
1	20	31	22	70.490	13.600	0.045
2	19	31	21	67.286	13.800	0.032
2	18.5	31	20.5	65.684	13.850	0.032
4	17	31	19	60.878	14.100	0.023
8	15	31	17	54.470	14.500	0.016
16	12.5	31	14.5	46.459	14.850	0.012
30	11	31	13	41.653	15.100	0.009
60	8.5	31	10.5	33.643	15.500	0.006
1095	4	31	6	19.225	16.250	0.001

N = เปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

h = ความลึกที่มีอัตราส่วนของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะกอน

ภาคผนวก ค

ตารางความแปรปรวน

ตารางภาคผนวกที่ ค1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำไหลท้ายแปลง

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P-Value
พื้นที่ความลาดชัน	1	113.090	113.090	1.843	2.00E-01
ความเข้มฝน	2	2709.845	1354.922	22.076	9.53E-05
พื้นที่ความลาดชันกับความเข้มฝน	2	33.795	16.898	0.275	7.64E-01
Error	12	736.516	61.376		
Total	17	3593.247	113.090		

* มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Df = ค่าความเป็นอิสระ

SS = ค่าผลรวมของกำลังสอง

MS = ค่าเฉลี่ยของกำลังสอง

F = ทฤษฎีในการทดสอบ

p-value = ค่าระดับนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ ค2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการสูญเสียดิน

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P-Value
พื้นที่ความลาดชัน	1	1104.707	1104.707	76.064	1.54E-06
ความเข้มฝน	2	682.660	341.330	23.502	7.08E-05
พื้นที่ความลาดชันกับความเข้มฝน	2	68.264	34.132	2.350	1.38E-01
Error	12	174.280	14.523		
Total	17	2029.910			

* มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Df = ค่าความเป็นอิสระ

SS = ค่าผลรวมของกำลังสอง

MS = ค่าเฉลี่ยของกำลังสอง

F = ทฤษฎีในการทดสอบ

p-value = ค่าระดับนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ ค3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสียเมล็ดพันธุ์เมื่อเปลี่ยนปัจจัยควบคุม คือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P-Value
พื้นที่ความลาดชัน	1	672.098	672.098	13.396	0.001
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	1373.518	1373.518	27.377	0.000
ปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง	2	180.076	90.038	1.795	0.188
พื้นที่ความลาดชันกับน้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	769.009	769.009	15.328	0.001
พื้นที่ความลาดชันกับปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง	2	42.684	21.324	0.425	0.658
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์กับปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลง	2	3.240	1.620	0.32	0.968
Intercept (CM)	2	169.963	84.982	1.694	0.205
Error	24	1204.102	50.171		
Total	35	4414.690			

* มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Df = ค่าความเป็นอิสระ

SS = ค่าผลรวมของกำลังสอง

MS = ค่าเฉลี่ยของกำลังสอง

F = ทฤษฎีในการทดสอบ

p-value = ค่าระดับนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ ค4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสียเมล็ดพันธุ์เมื่อเปลี่ยนปัจจัยควบคุมคือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และปริมาณการสูญเสียดิน

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P-Value
พื้นที่ความลาดชัน	1	672.098	672.098	13.396	0.001
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	1373.518	1373.518	27.377	0.000
ปริมาณการสูญเสียดิน	2	180.076	90.038	1.795	0.188
พื้นที่ความลาดชันกับน้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	769.09	769.09	15.328	0.001
พื้นที่ความลาดชันกับปริมาณการสูญเสียดิน	2	42.684	21.342	0.425	0.658
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์กับปริมาณการสูญเสียดิน	2	3.240	1.620	0.032	0.968
Intercept (CM)	2	169.963	84.982	1.694	0.205
Error	24	1204.102	50.171		
Total	35	4414.690			

* มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Df = ค่าความเป็นอิสระ

SS = ค่าผลรวมของกำลังสอง

MS = ค่าเฉลี่ยของกำลังสอง

F = ทฤษฎีในการทดสอบ

p-value = ค่าระดับนัยสำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ ค5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสียเมล็ดพันธุ์เมื่อเปลี่ยนปัจจัยควบคุมคือ พื้นที่ความลาดชัน น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ และพื้นที่ร่องริ้ว

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P-Value
พื้นที่ความลาดชัน	1	672.098	672.098	13.396	0.001
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	1373.518	1373.518	27.377	0.000
พื้นที่ร่องริ้ว	2	180.076	90.038	1.795	0.188
พื้นที่ความลาดชันกับน้ำหนักเมล็ดพันธุ์	1	769.09	769.09	15.328	0.001
พื้นที่ความลาดชันกับพื้นที่ร่องริ้ว	2	42.684	21.342	0.425	0.658
น้ำหนักเมล็ดพันธุ์กับพื้นที่ร่องริ้ว	2	3.240	1.620	0.032	0.968
Intercept (CM)	2	169.963	84.982	1.694	0.205
Error	24	1204.102	50.171		
Total	35	4414.690			

* มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Df = ค่าความเป็นอิสระ

SS = ค่าผลรวมของกำลังสอง

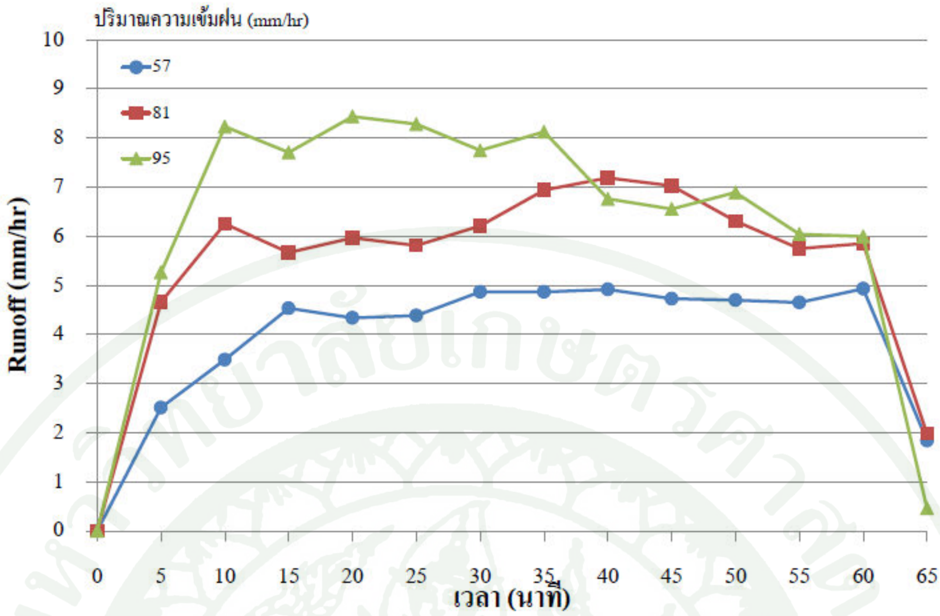
MS = ค่าเฉลี่ยของกำลังสอง

F = ทฤษฎีในการทดสอบ

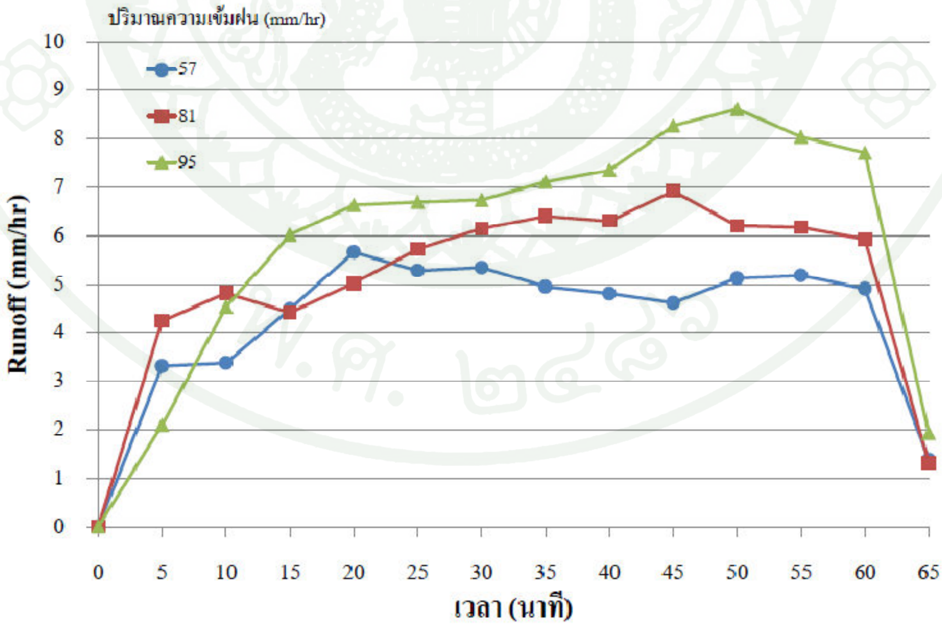
p-value = ค่าระดับนัยสำคัญ

ภาคผนวก ง

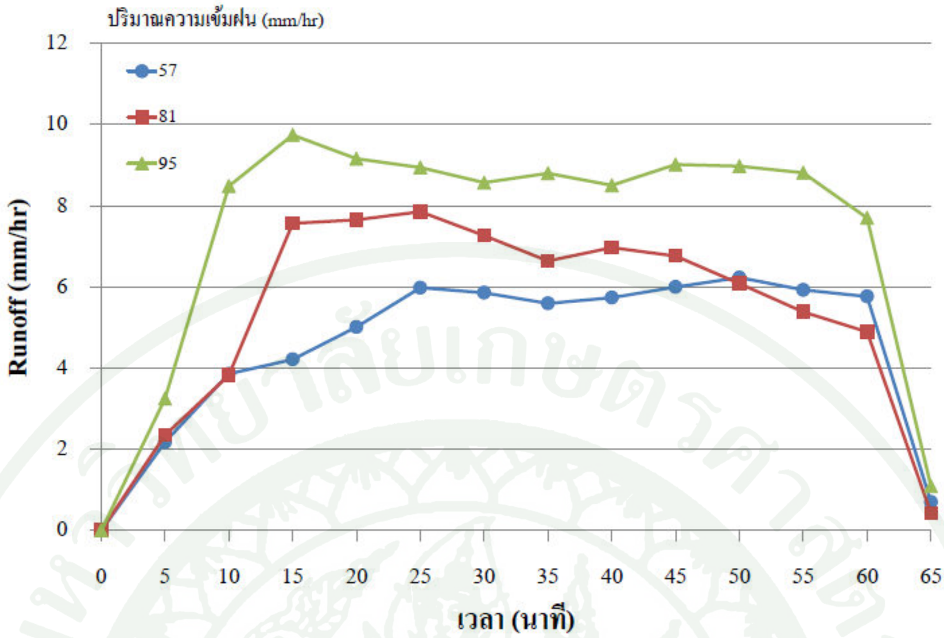
กราฟการแสดงผลการทดลอง



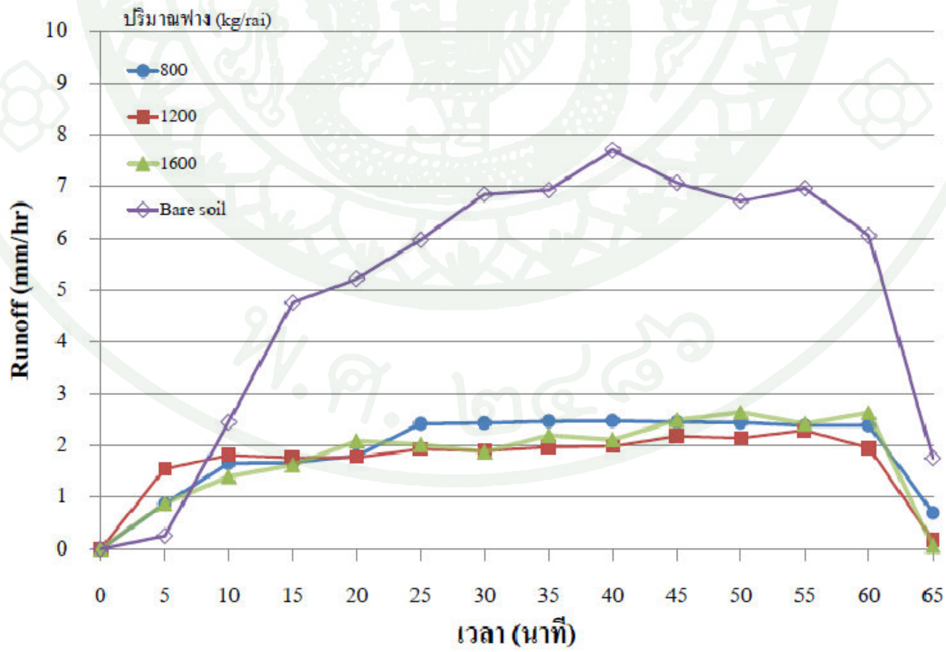
ภาพผนวกที่ ง1 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 50 % (ถั่วเหลือง)



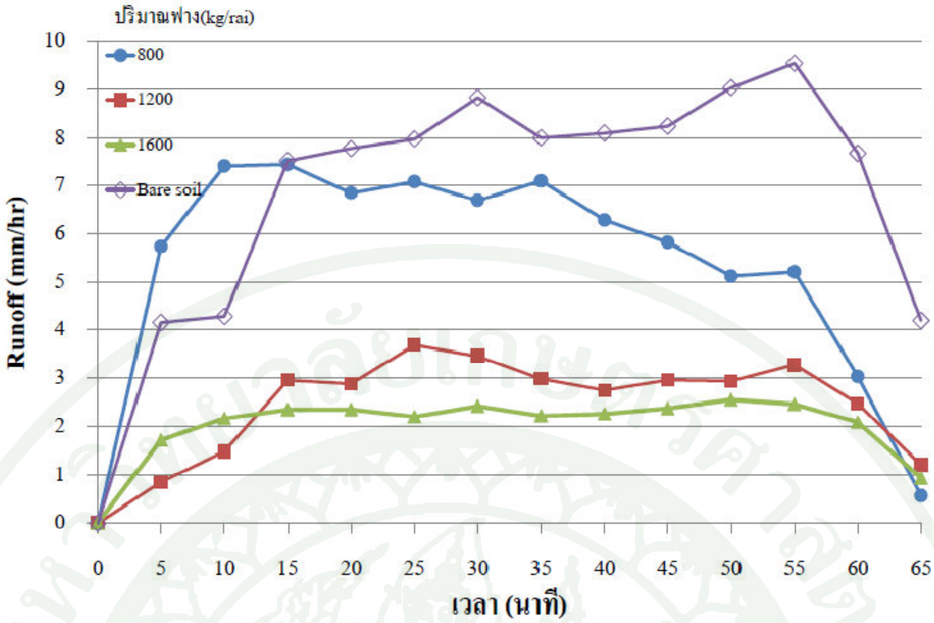
ภาพผนวกที่ ง2 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 30 % (ถั่วเขียว)



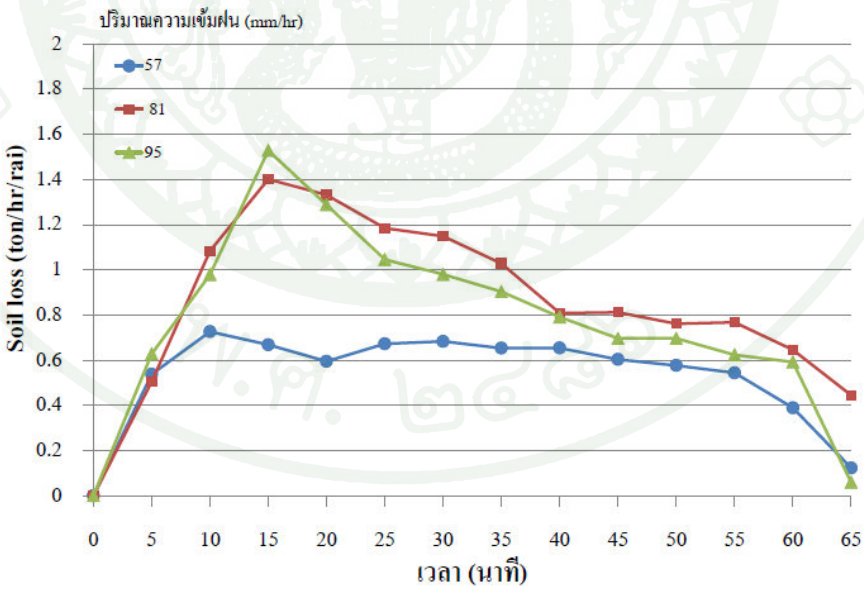
ภาพผนวกที่ ง3 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 50 % (ถั่วเขียว)



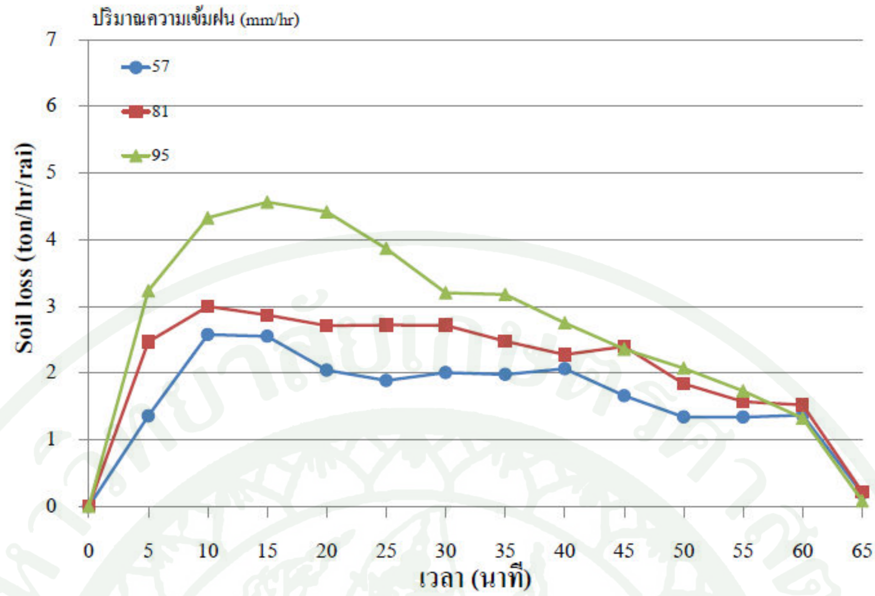
ภาพผนวกที่ ง4 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 30 %



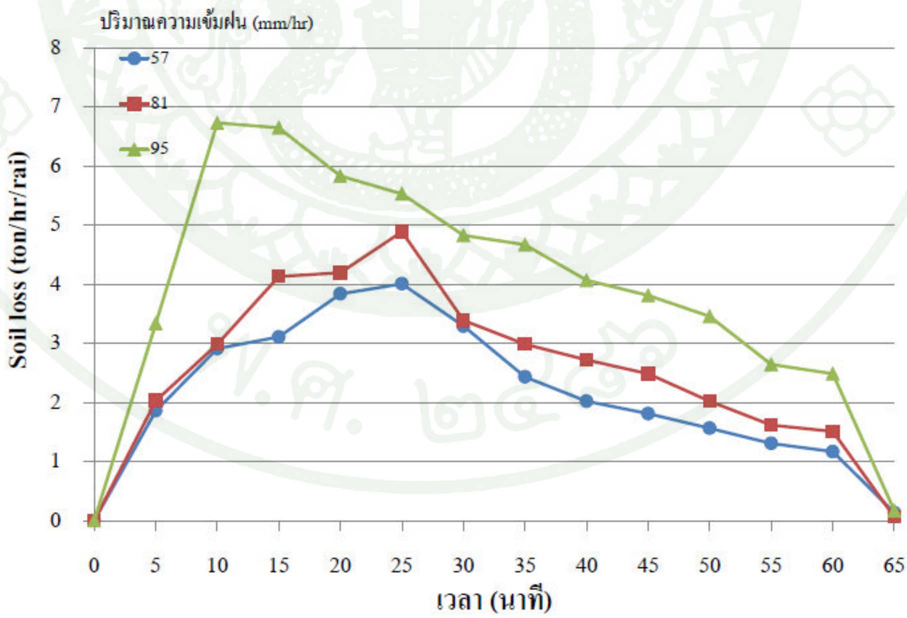
ภาพผนวกที่ ง5 ปริมาณน้ำไหลท้ายแปลงกับเวลา กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 50 %



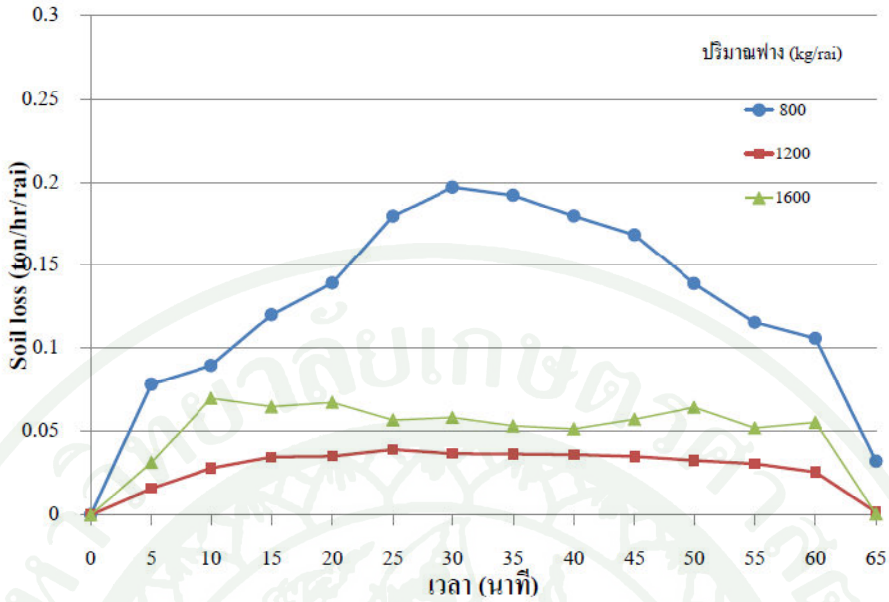
ภาพผนวกที่ ง6 ปริมาณการสูญเสียดินกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 30 % (ถั่วเหลือง)



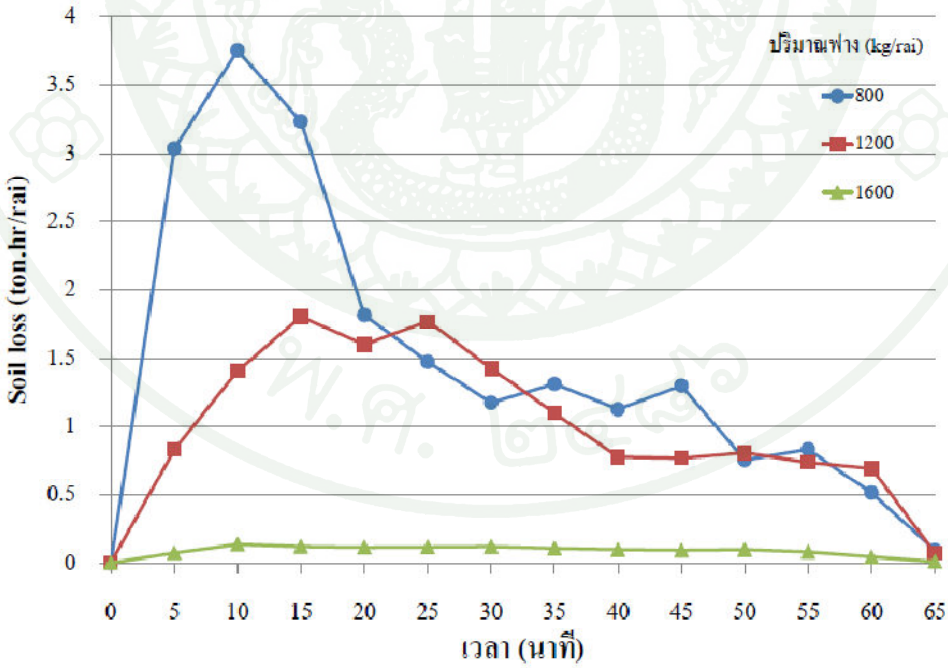
ภาพผนวกที่ ง7 ปริมาณการสูญเสียดินกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 50 % (ถั่วเหลือง)



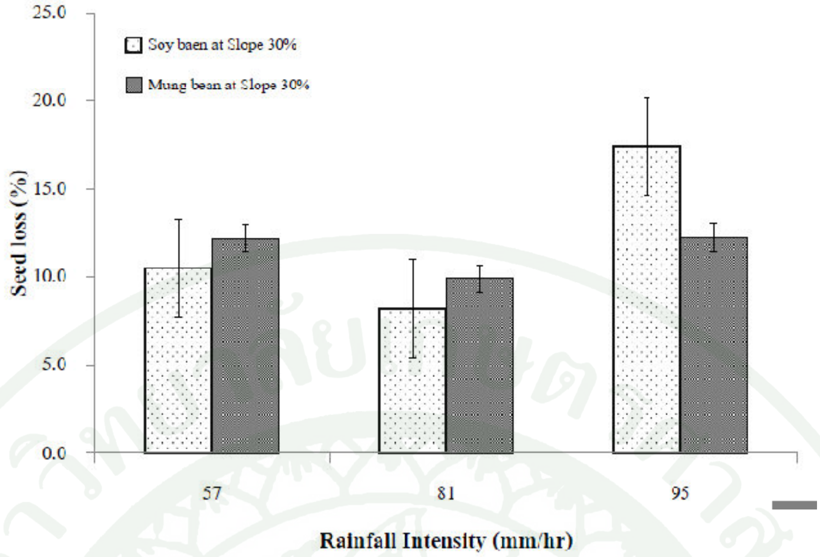
ภาพผนวกที่ ง8 ปริมาณการสูญเสียดินกับเวลา ที่ความเข้มฝนต่างๆ ที่ความลาดชัน 50 % (ถั่วเขียว)



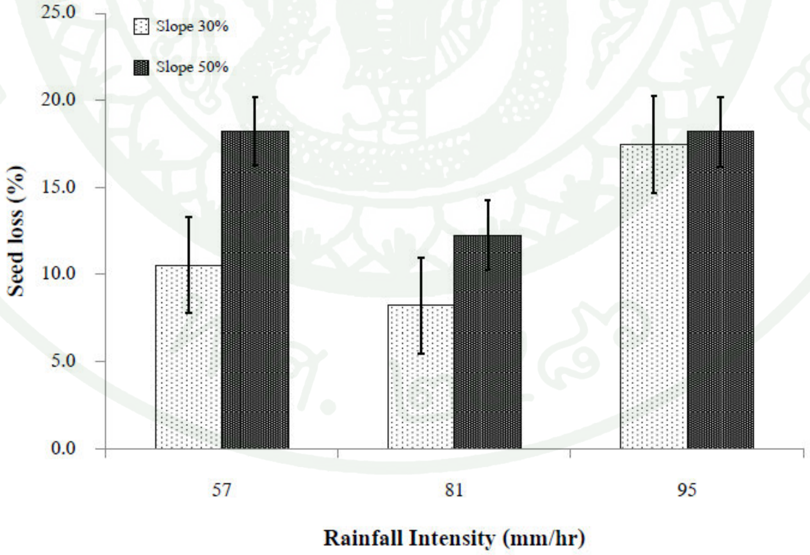
ภาพผนวกที่ ง9 ปริมาณการสูญเสียดินกับเวลา กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 30 %



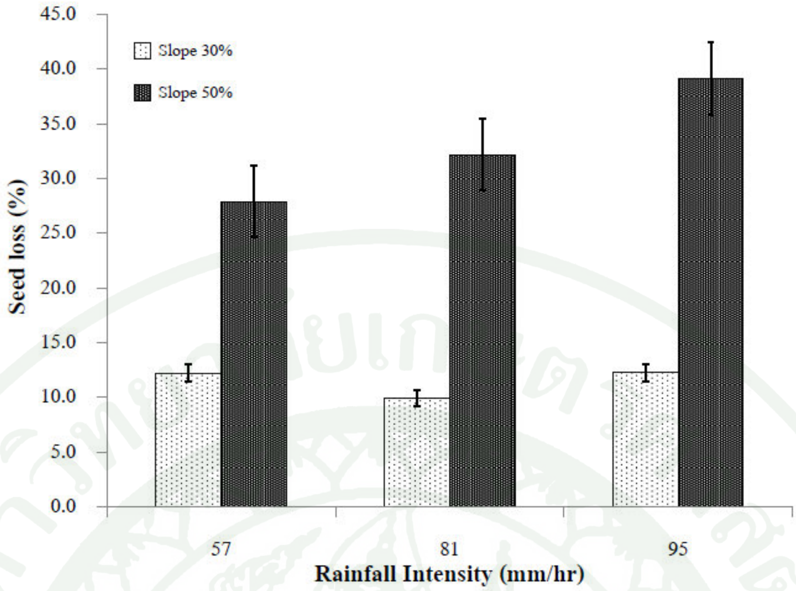
ภาพผนวกที่ ง10 ปริมาณการสูญเสียดินกับเวลา กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 50 %



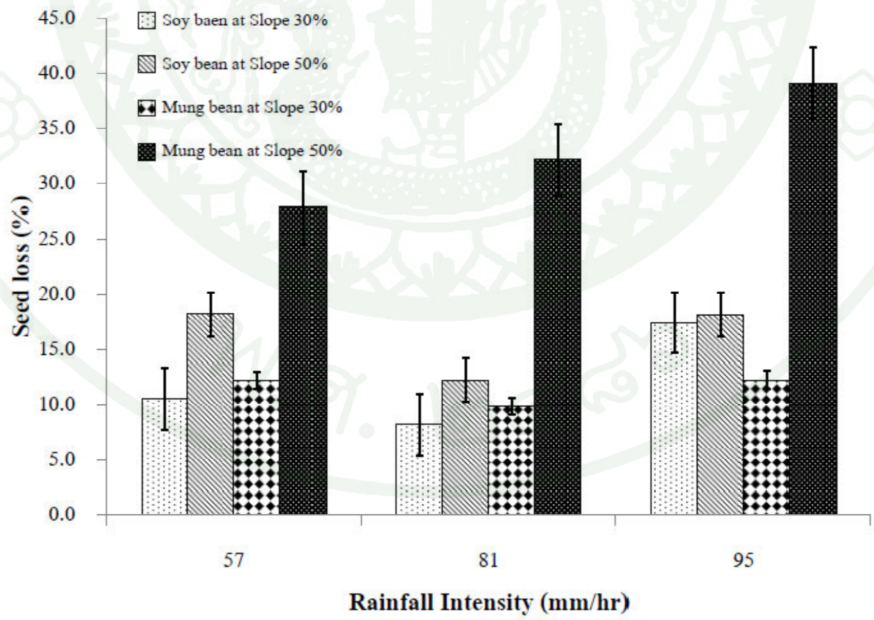
ภาพผนวกที่ ง11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน ที่ความลาดชัน 30 % (บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



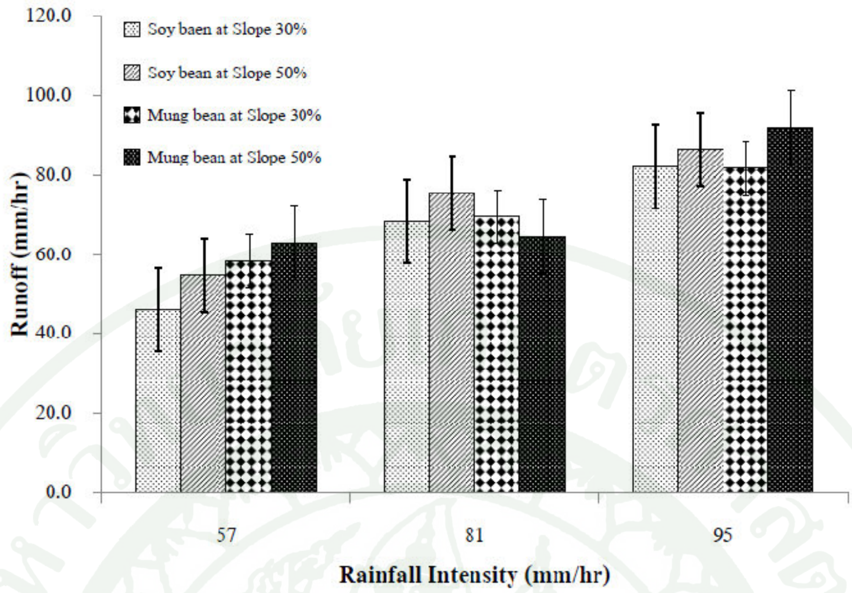
ภาพผนวกที่ ง12 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน เมล็ดถั่วเหลือง (บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



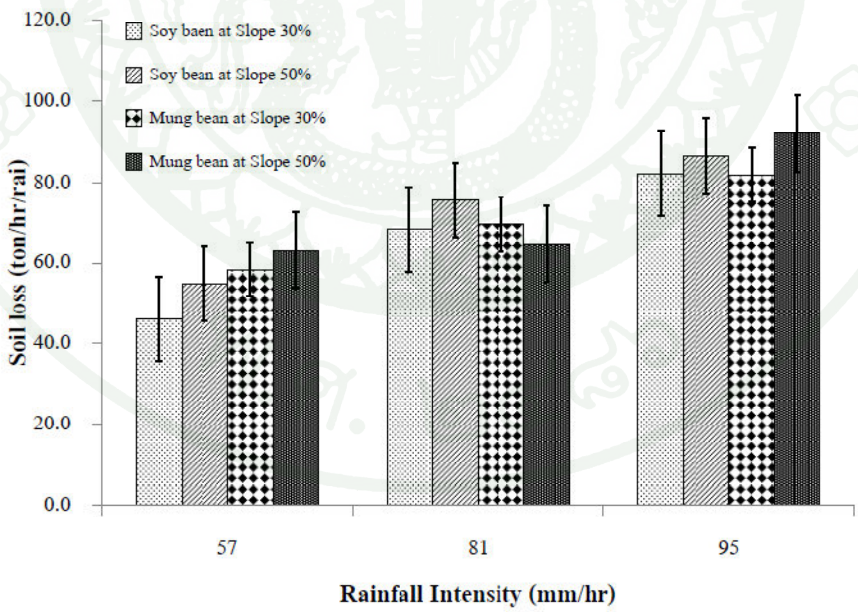
ภาพผนวกที่ ง13 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน เมล็ดถั่วเขียว (บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



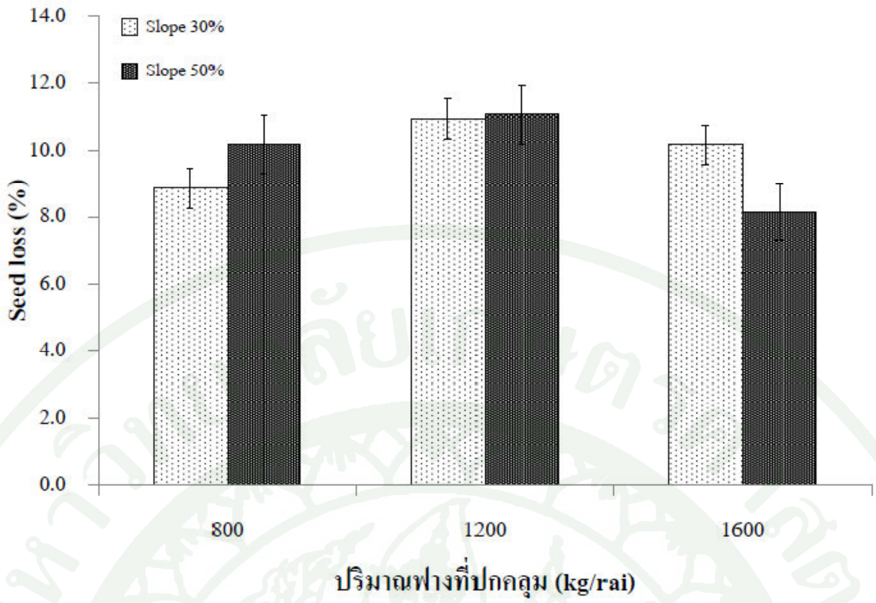
ภาพผนวกที่ ง14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดพันธุ์กับความเข้มฝน (บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



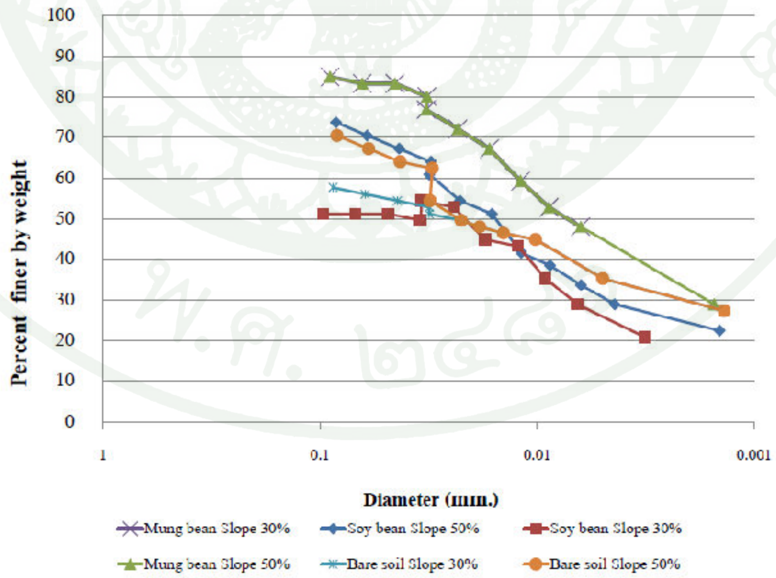
ภาพผนวกที่ ง15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลเลยท้ายแปลงกับความเข้มฝน (บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



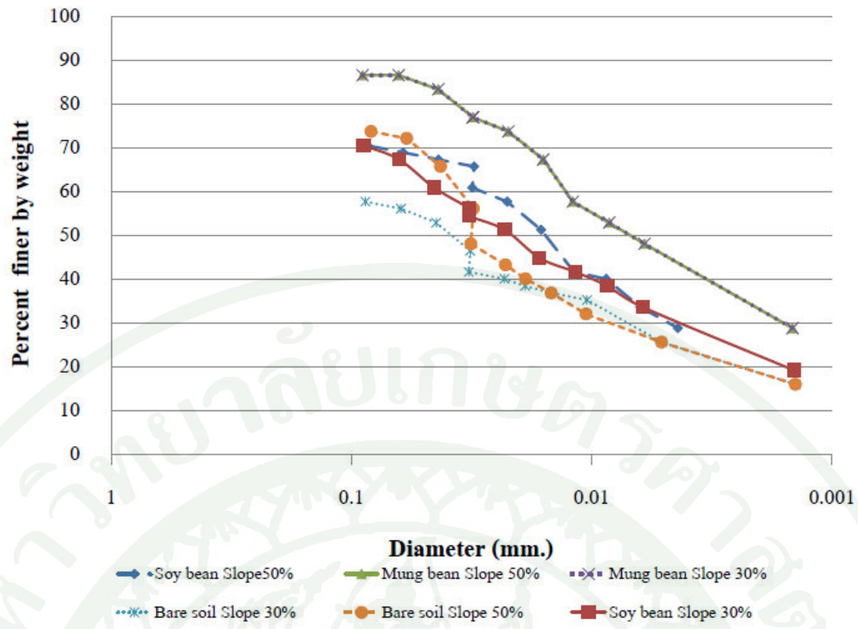
ภาพผนวกที่ ง16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินกับความเข้มฝน (บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



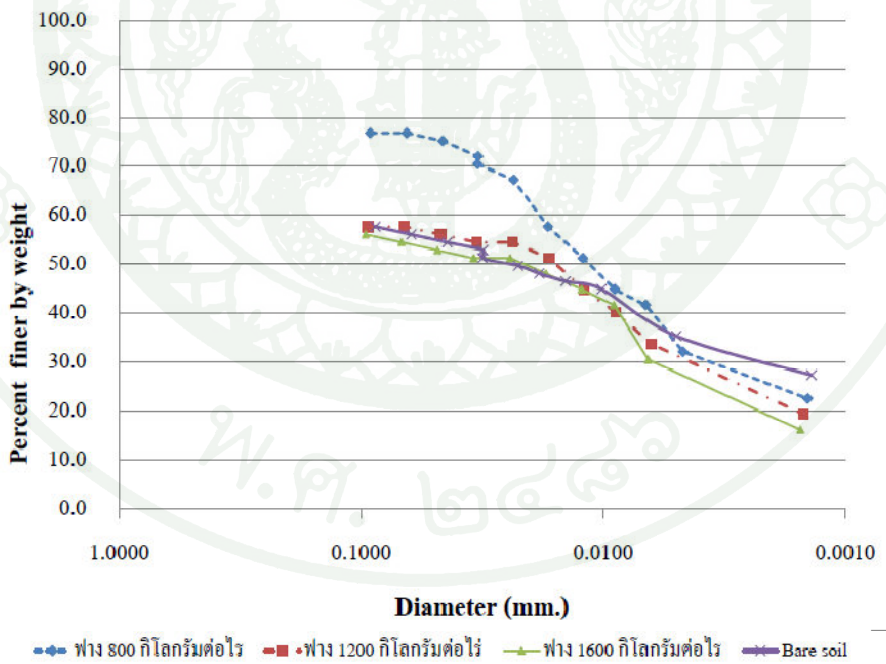
ภาพผนวกที่ ง17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียเมล็ดกับความเข้มฝน กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (บาร์ แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)



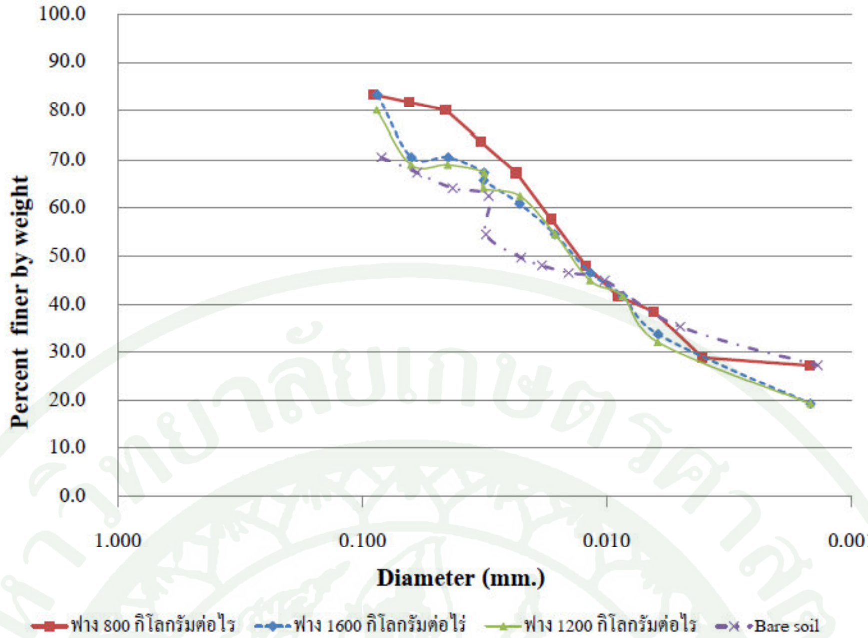
ภาพผนวกที่ ง18 ขนาดเม็ดดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน



ภาพผนวกที่ ง19 ขนาดเม็ดดิน ที่ความเข้มฝน 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง กรณีไม่ใช้วัสดุคลุมดิน



ภาพผนวกที่ ง20 ขนาดเม็ดดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 30 %



ภาพผนวกที่ ง21 ขนาดเม็ดดิน ที่ความเข้มฝน 81 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง กรณีใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมดิน ที่ความลาดชัน 50 %

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นางสาวมตินันท์ จงไกรจักร
เกิดวันที่	29 ตุลาคม 2530
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (โยธา-ชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์