

การสูญเสียดินและน้ำจากพื้นที่ปลูกป่าบนชั้นบันไดดิน บริเวณคอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่

SOIL AND WATER LOSSES FROM THE TERRACED REFORESTATION AT ANGKHANG HIGHLAND, CHIANG MAI

โดย

นิพนธ์ ตังธรรม^๑
Nipon Tangtham

บุญวงศ์ ไทยอุตุคำ^๒
Bunvong Thaiutsa

เรือง จันทรมหเสถียร^๓
Ruang Janmahasatien

บทคัดย่อ

การศึกษการสูญเสียดินและน้ำจากพื้นที่สวนป่าที่ทำชั้นบันไดดิน บนพื้นที่สูงของโครงการหลวง
อ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนสิงหาคม ๒๕๒๖ ถึงเดือนตุลาคม ๒๕๒๗ กระ-
ทำโดยใช้แปลงทดลองขนาด ๔x๑๕ เมตร จำนวน ๕ แปลง โดยแต่ละแปลงจะปลูกไม้โตเร็วจากต่างประเทศ
แปลงละชนิดคือ *Aleurites montana* Wils., *Zelkova formosana* Hay., *Liquidambar for-*
mosana Hance., *Acacia confusa* Merr., และ *Fraxinus graffithii* C.B. Clarke. ไม้โต
เร็วทุกชนิดปลูกด้วยระยะ ๒.๐x๒.๕ เมตร นอกจากนี้ยังใช้แปลงทดลองขนาดเดียวกันอีก ๒ แปลง ซึ่งสร้าง
ขึ้นในปี พ.ศ. ๒๕๒๗ เพื่อศึกษการสูญเสียดินและน้ำจากการปลูกต้นเพาโลเนีย (*Paulowia taiwan iana*
Huert Chang. sp. nov.) โดยไม่ทำชั้นบันไดดิน และอีกแปลงหนึ่งไม่ปลูกอะไร แต่ไถพรวนขึ้นลงตามแนว
ลาดเขา เพื่อศึกษาค่าความคงทนของดิน (K-Factor ใน Universal Soil Loss Equation, USLE) ซึ่ง
จะสามารถใช้หาค่า PC-Factor ใน USLE สำหรับไม้โตเร็วชนิดต่าง ๆ ดังกล่าว

ผลการศึกษาปรากฏว่า ในปี พ.ศ. ๒๕๒๖ นั้น การสูญเสียดินและน้ำโดยเฉลี่ยจากแปลงไม้โตเร็ว
ทุกชนิดมีประมาณ ๐.๒ ตัน/เฮกแตร์/ปี และ ๑๗ มม./ปี ตามลำดับ ในปีต่อมาค่าเฉลี่ยของการสูญเสียดินและ
น้ำดังกล่าวลดเหลือ ๐.๑ ตัน/เฮกแตร์ และ ๑๔ มม./ปี ตามลำดับอย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเชิงสถิติแล้ว
การสูญเสียดินและน้ำจากแปลงทดลองที่ปลูกต้นไม้ชนิดต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น ๒
แปลงหลังที่ปลูกเพาโลเนีย และแปลงที่ไถพรวนขึ้นลงโดยไม่ปลูกอะไร โดยที่ ๒ แปลงหลังนี้มีการสูญเสียดิน
มากกว่าแปลงที่ปลูกไม้โตเร็วชนิดต่าง ๆ ประมาณ ๑๖ และ ๖๐๐ เท่า (คิดต่อ ๑ มม. ของน้ำป่าหน้าดิน) การ
สูญเสียหรือการเกิดน้ำป่าหน้าดินจากแปลงปลูกเพาโลเนียโดยไม่ทำชั้นบันไดดิน และแปลงไถพรวนขึ้นลงมาก
กว่าในแปลงไม้โตเร็วชนิดต่าง ๆ ที่ทำชั้นบันไดดินประมาณ ๖ และ ๑๕ เท่า ตามลำดับ

ค่า K ของดินบริเวณแปลงทดลองคำนวณจากพลังงานของฝนในปี ๒๕๒๗ เฉลี่ยได้ประมาณ ๐.๐๔
ซึ่งจัดเป็นดินที่มีสมรรถนะการพังทลายต่ำ และค่า PC ของไม้โตเร็วชนิดต่าง ๆ ภายใต้การใช้ชั้นบันไดดินช่วยมี
ค่าประมาณ ๐.๐๐๐๓๕ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่า PC ของป่าดิบเขาที่ศึกษาไว้ที่สถานีวิจัยห้วยคอกม้า แสดงว่า
การปลูกสวนป่าไม้โตเร็วโดยใช้ชั้นบันไดดินช่วยนั้นสามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ดีกว่าป่าธรรมชาติ
ซึ่งมีร่องท้องที่

^๑/ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กท. ๑๐๙๐๓

^๒/ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กท. ๑๐๙๐๓

^๓/กองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้ กท. ๑๐๕๐๐

ABSTRACT

Soil and water losses from terraced reforestation at Angkhang Highland, Fang District, Chiang Mai was carried out during August 1983 to October 1984. Five 4x15 m plots were set up on the terraced reforestation of five exotic tree species namely : *Aleurites montana* Wilt., *Zelkova formosana* Hay., *Liquidambar formosana* Hance., *Acacia confusa* Merr., and *Fraxinus griffithii* C.B. Clarke. These species were introduced from Taiwan through the Forest Development Administration of VACRS and the Highland Agriculture Project of KU, then, to be planted in 1982 with spacing of 2.0x2.5 m. Two additional plots were established in 1984 aiming to compare soil and water losses from unterraced planting of *Paulownia taiwaniana* Hu et Chang, sp. nov. to those mentioned species. It was also aimed to determine soil erodibility (K—Factor) and crop management and conservation practice factor (CP—Factor) used for predicting soil erosion in Universal Soil Loss Equation (USLE) at Angkhang Highland Reforestation Project.

Results obtained from the 1983—investigation plots indicated that average soil and water losses from those five plots were 0.2 ton/ha and 17 mm, respectively with highly statistical significance. In 1984, the average soil and water losses were reduced to 0.1 ton/ha and 14 mm, respectively but with non—significant difference. There was however highly statistical significance between the former five plots and the latter two plots. It was also found that the average soil loss from non—terraced *Paulownia* and bare plot with up and down fallow was estimated at 16 and 600 times (per mm of runoff) greater than those measured from the terraced reforestation plots. In a similar manner, the amount of water loss were found to be 6 and 15 times, respectively.

Soil erodibility (K) estimated based on soil loss from up and down bared plot and 1984 rainfall factor (R) was averaged at 0.04. The combination of crop management factor and conservation factor (terracing) (called CP—Factor) for 2 year investigation was estimated at 0.00035 which more or less equals to C—factor of the natural hill—evergreen forest occupying on mountainous watershed of northern Thailand.

คำนำ

พื้นที่ต้นน้ำลำธารทางภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งส่วนใหญ่เป็นภูเขาสลับซับซ้อนและสูงชันนั้น ปัญหาการเกิดภัยการของดิน^๑ นั้นเป็นปัญหาสำคัญในด้านการจัดการลุ่มน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากจะมีปริมาณและความหนักเบาของฝนที่สูงแล้ว ดินยังมีสมบัติที่จะเกิดภัยการได้ง่ายอีกด้วย ดังนั้นการใช้ดินบนที่สูงไม่ว่าจะเพื่อกิจการรวมถ้าน

การเกษตรหรือการป่าไม้ก็ตามก็จะต้องคำนึงถึงปัญหาดังกล่าว เป็นส่วนประกอบที่สำคัญด้วย ในกรณีที่สามารถใช้พื้นที่ให้ถูกต้องตามสมรรถนะที่ดินได้นั้น ก็ไม่จำเป็นจะต้องมีกลวิธีในการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นพิเศษแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามมีหลายกรณีด้วยกันที่ต้องอาศัยมาตรการอนุรักษ์ดิน และน้ำด้วยวิธีกลเข้าช่วย เพื่อลดปัญหาการเกิด

๑/ ภัยการของดิน : เป็นศัพท์บัญญัติทางปฐพีวิทยาจากคำภาษาอังกฤษว่า soil erosion มีความหมายเช่นเดียวกับคำว่า การชะล้างพังทลายของดิน การกัดกร่อน การเซาะกร่อน ที่ใช้กันทั่วไปในตำราหรือเอกสารทางวิชาการ

กษัยการของดิน เช่นบริเวณต้นน้ำลำธาร ซึ่งมักถูกทำลายเกือบหมดสิ้น เมื่อจะทำการปรับปรุงสภาพต้นน้ำลำธารขึ้นมาใหม่ โดยการปลูกป่าก็จำเป็นต้องเปิดพื้นที่โดยการถางและเผาวัชพืชเสียก่อน ซึ่งถ้าเป็นพื้นที่ลาดชันมากและหน้าดินแน่นทึบเนื่องจากถูกใบไม้เผาเป็นประจำหรือผ่านการเหยียบย่ำของสัตว์เลื้อยคลาน การเปิดพื้นที่เพื่อปลูกป่าโดยไม่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ย่อมทำให้มีโอกาสเกิดกษัยการดินที่รุนแรงได้ และดินก็มักไม่มีโอกาสเก็บกักน้ำไว้ให้เกิดความชุ่มชื้นแก่ต้นไม้นานพอแล้ว ทำให้อัตราการรอดตายต่ำ การเจริญเติบโตช้า ส่งผลให้มีการพัฒนาสวนป่าในพื้นที่ต้นน้ำลำธารหรือบนเขาที่มีความลาดชันมาก ๆ ไม่ได้ผลและประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

การใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยเฉพาะขั้นบันไดดินแบบแคบ ช่วยปลูกบนพื้นที่ลาดชัน คาดว่าน่าจะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์ดินและน้ำในช่วงแรกของการปลูกสร้างสวนป่าเป็นอย่างมากทั้งยังจะช่วยลดความชุ่มชื้นแก่พื้นที่ลุ่มน้ำ มีผลตามมาคือการลดการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้ทำให้ช่วงเวลากการไหลของน้ำที่ตื้นเขินและมีน้ำมีคุณภาพดี มีตะกอนแขวนลอยในน้ำน้อยด้วย อย่างไรก็ตามการศึกษาในเบื้องต้นสำหรับประเทศไทยแล้วยังไม่ได้มีการ

ศึกษากันเลย ในบริเวณต้นน้ำลำธาร การศึกษาเรื่องนี้จึงน่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการปรับปรุงต้นน้ำลำธารที่เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเรื่องนี้ประกอบด้วย (๑) เพื่อทราบถึงปริมาณการสูญเสียดินและน้ำในพื้นที่ปลูกป่าไม้โตเร็วที่ใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดิน (๒) เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพ หรือสมรรถนะการควบคุมการเกิดกษัยการดินของการปลูกป่าด้วยการทำขั้นบันไดดินและ (๓) เพื่อทราบถึงความยากง่ายของดินบริเวณโครงการเกษตรหลวงศอย่างช้างต่อการเกิดกษัยการ ซึ่งจะทำได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการคาดคะเนกษัยการของดินในพื้นที่ภูเขาที่เป็นหินปูน และการวางแผนบูรณะพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อลดปัญหาการชะล้างพังทลายของดินในที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นไปในอนาคต

การเกิดกษัยการของดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การเกิดกษัยการของดินเป็นปัญหาสำคัญยิ่งประการหนึ่งในการจัดการลุ่มน้ำบนที่สูงไม่ว่าการใช้ที่ดินบนภูเขาสูงจะเพื่อกิจการด้านป่าไม้หรือเพื่อการเกษตรกรรมก็ตามย่อมมีผลต่อการเกิดกษัยการทั้งสิ้น แต่จะมี

มากน้อยต่างกันไปตามลักษณะภูมิอากาศ
ภูมิประเทศ ชนิดของดินและการมั่วสุมใน
การใช้ที่ดิน

ประสิทธิภาพการควบคุมกษัยการของบน บันไดดิน

ในส่วนที่เกี่ยวกับลักษณะภูมิอากาศ
และชนิดของดินนั้นย่อมเป็นการยากที่จะจัด
การมิให้ส่งผลต่อการเกิดกษัยการของดิน
แต่การเปลี่ยนลักษณะภูมิประเทศ หรือการ
อนุรักษ์ดินโดยใช้การปรับหรือตัดแปลงความ
ลาดเท และการรู้จักใช้พืชคลุมที่ดี สามารถ
ลดกษัยการของดินลงได้มาก Hamilton และ
King (1983) กล่าวว่า การปลูกสร้างสวน
ป่าสามารถลดปริมาณตะกอนลงสู่ลำน้ำได้
อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ดิน
เกิดการเลื่อนไหลได้ง่ายในภาคกลางของชวา
Hardjono (1980) ศึกษาพบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำ
ที่ใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม พื้นที่ลุ่มน้ำ
ที่มีการปลูกป่า ๒๕% และพื้นที่ที่มีการปลูก
ป่า ๑๐๐% โดยแต่ละพื้นที่มีความลาดเท
เฉลี่ย ๒๕, ๒๘ และ ๔๓ เปอร์เซ็นต์ อยู่ใน
สภาพภูมิอากาศเหมือนกัน ทำให้เกิด
ตะกอนในลำธารเท่ากับ ๒๐, ๑๔ และ
๘ ตัน/เฮกตาร์/ปี และมีน้ำไหลบ่าในอัตรา
๐.๑๘, ๐.๑๖ และ ๐.๑๔ ลบ.ม/วินาที/
เฮกตาร์ ตามลำดับ

การทำไร่เลื่อนลอยบนพื้นที่ลาดเขา
นั้นจะทำให้เกิดกษัยการของดินประมาณ
๔๑ ตัน/เฮกตาร์ แต่ถ้าใช้ขั้นบันไดดิน
(terrace) ช่วยก็จะลดการสูญเสียหน้าดินลง
เหลือเพียง ๕ ตัน/เฮกตาร์ เท่านั้น การ
ศึกษาของ Hatch (1981) ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่
ที่ปลูกสวนชาขึ้นเมื่อใช้ขั้นบันไดดินแบบ
ม้านั่ง (bench terrace) สามารถลดการ
สูญเสียหน้าดินจาก ๖๓ ตัน/เฮกตาร์/ปี ลง
เหลือเพียง ๑.๔ ตัน/เฮกตาร์/ปี ในประเทศ
ศรีลังกา การปลูกสวนชาโดยวิธีเก่าคือ
ปลูกเป็นแนวขนาลงตามความลาดเทของภูเขา
ทำให้หน้าดินสูญเสียไปถึงปีละ ๔๐ ตัน/
เฮกตาร์ แต่เมื่อใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและ
น้ำโดยการปลูกพืชตามแนวระดับ และขุด
หลุมดักน้ำและตะกอนขนาดยาว ๓ เมตร
กว้าง ๔๕ ซม. และลึก ๓๐ ซม. ขวางไป
ตามแนวลาดเทเป็นระยะๆ (contour trench
systems) พร้อมทั้งใส่เศษวัชพืชในหลุมทำ
ให้ลดตะกอนในพื้นที่ลาดเท ๓๐ - ๔๐ %
เหลือเพียง ๐.๓๓ ตัน/เฮกตาร์/ปี และ
เกิดน้ำไหลบ่าเพียงปีละ ๐.๓๓% ของพื้นที่
ตกทั้งปีเท่านั้น (Krishnarajah, 1984).
การศึกษาการปลูกข้าวไร่ บนพื้นที่ที่ทำ
มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบ Contour
Bund (C.B.), Bench Terrace (B.T.), In-
termittent terrace (I.T.) และแบบ Hillside

Ditches (H.D.) ที่โครงการจัดการลุ่มน้ำแม่สา ระหว่างปี ค.ศ. ๑๙๗๙ - ๑๙๘๑ (Kraayenhagen, et al, 1981) พอสรุปได้ว่า ความแตกต่างของน้ำไหลบ่าหน้าดินมากที่สุดเกิดขึ้นระหว่าง C.B. และ H.D. มีถึง ๔๐% โดยในพื้นที่ทำ C.B. จะมีน้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดขึ้นน้อยที่สุด ในส่วนของการควบคุมการเกิดกษัยการเน B.T. มีประสิทธิภาพที่สุด และ H.D. มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด ส่วนโครงสร้างแบบ I.T, C.B. และ H.D. มีผลกษัยการของดินได้ประมาณ ๘๖, ๙๑ และ ๘๐ เปอร์เซ็นต์ ของแปลงที่ไม่ได้ใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำเลย โดยภาพรวมแล้วกล่าวได้ว่า C.B. เป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำสำหรับการปลูกข้าวไร่บนลาดชันที่สูงมากที่สุด

ผลของดินและกรรมวิธีปลูกพืชร่วมกับการใช้มาตรการอนุรักษ์

นอกเหนือจากกษัยการดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านมาตรการอนุรักษ์ ดินและน้ำแล้วตัวดินเองก็มีส่วน ในการกำหนดความมากน้อยของการเกิดกษัยการด้วยซึ่ง Wischmeier และคณะ (๑๙๕๘) กล่าวว่าสมบัติของดินที่มีความคงทนต่อการเกิดกษัยการของดิน (soil erodibility) เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดกษัยการด้วย ค่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินที่ง่ายหรือยากต่อการพังทลาย (delacha-

bility) ดินชนิดใดพังง่ายและถูกเคลื่อนย้าย (transportability) ไปได้ง่ายก็เรียกว่ามีอัตราการเกิดกษัยการสูง (high erodibility) ซึ่งค่านี้จะได้จากการใช้แปลงทดลอง ในทำนองเดียวกันกับที่ Wischmeier and Smith (1965) ใช้ในการพัฒนาสมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE) หรือไม่กี่ประเินอย่างหยาบ ๆ ได้จากการใช้ Soil Erodibility Nomograph ที่สร้างขึ้นโดย Wischmer และคณะ (๑๙๗๑) โดยอาศัยสมบัติของดิน เกี่ยวกับเนื้อดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ โครงสร้างของดินและอัตราการซึบน้ำของดิน ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้นำมาดัดแปลงใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในปัจจุบัน

กรรมวิธีในการปลูกพืชและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำมีส่วน ในการลดปริมาณตะกอนและน้ำไหลบ่าหน้าดินอยู่มาก Utomo และ Mahmad (1984) ศึกษาจากการประยุกต์ USLE ประเมินค่าประสิทธิภาพการควบคุมกษัยการดิน ของวิธีการปลูกพืชร่วมกับมาตรการอนุรักษ์ดิน และน้ำ (ค่า CP-Factor ใน USLE) พบว่าเฉพาะปัจจัย CP จะมีค่าลดลงเมื่อความลาดชัน ของพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการใช้พืชพรรณควบคุมกษัยการดินในที่ลาดชันแต่เพียงอย่างเดียว จึงไม่มีประสิทธิภาพพอเพียง

สมการในการประเมินความยากง่าย ในการเกิดกษัยการ และประสิทธิภาพในการควบคุมกษัยการดินของพืช และมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

สมการที่ประยุกต์ใช้กันกว้างขวางที่สุด ในวงการอนุรักษ์ดินและน้ำก็คือ สมการการสูญเสียดินสากล (USLE) ของ Wischmeier และ Smith (1965) ซึ่งมีรูปแบบสมการเป็น

$$A = RKLSCP$$

โดยที่ A คือปริมาณกษัยการที่เกิดขึ้น (ตัน/เอเคอร์) เนื่องจากมีฝนตกทำให้มีพลังชะล้างพังทลาย R (ฟุต-ตัน/เอเคอร์) บนดินที่มี

ความยากง่ายต่อการเกิดกษัยการ K มีค่าบ่งชี้ของความลาดชัน และความยาวของความลาดชันเท่ากับ LS และมีปัจจัยเกี่ยวกับการจัดการพืชและมาตรการอนุรักษ์ดิน และน้ำเท่ากับ CP

ค่าของ R ประมาณจากความหนักเบาของฝน และปริมาณของฝน ส่วนค่าของ K นั้น ก็ได้จากการใช้แปลงทดลองที่กำหนดให้ค่า LS และ CP มีค่าเป็น ๑.๐ ซึ่งรายละเอียดในเรื่องนี้ศึกษาได้จากเอกสารที่กล่าวถึงแล้ว และของ Dangler และ El-Swaify (1976)

ลักษณะพื้นที่ในการศึกษา

คอยอ่างขาง ตั้งอยู่ในเขตตำบลม่อนปิ่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ลักษณะทั่วไปเป็นแอ่งคล้ายกะทะ ประกอบด้วยเขาหินปูนและหินดินดานกว้าง ๑-๓ กม. ยาวประมาณ ๘ ก.ม. ภายในบริเวณอ่างจะมีพื้นที่ค่อนข้างราบ ตอนกลางมีหลุมยุบตัว (sink hole) ขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไป ความลาดชันของพื้นที่ไหล่เขาสองด้านเฉลี่ยอยู่ระหว่าง ๓๕-๕๕ องศาชันค้ำยอดเขาสูงสุด ๑๘๐๐ เมตร และที่ราบขอบอ่างสูงประมาณ ๑๔๐๐ เมตร จากระดับน้ำทะเล

ลักษณะธรณีประกอบด้วย กลุ่มหินตะกอนที่ ชุดแก่งกระจาน ที่มีองค์ประกอบพวก

ดินโคลนหินดินดานสีเทาดำ น้ำตาล และหินทราย และควอร์ตไซต์ ดินที่ปกคลุมฐานธรณีมี ๒ กลุ่มใหญ่คือ กลุ่มดินที่มีกำเนิดมาจากหินดินดาน หินทรายแป้ง และบางส่วนของหินแปร จำแนกได้เป็น Typic Palehumulfs มีเนื้อดินร่วนเหนียว ถึงดินเหนียวอินทรีย์วัตถุสูง ส่วนดินอีกกลุ่มหนึ่งเกิดจากหินดินดาน และหินปูน จำแนกเป็น Rhodic Paleudalfs ซึ่งได้รับการเสนอตั้งเป็นดินชนิดใหม่ คือดินชุดอ่างขาง มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ถึงดินเหนียวปนทรายแป้ง และมีอินทรีย์วัตถุสูงมาก (บุญยงค์, ๒๕๒๓)

อุปกรณ์และวิธีการ

ลักษณะการทดลอง

การศึกษากการสูญเสียดิน และน้ำจากพื้นที่ปลูกป่าโดยใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินครั้งนี้ ดำเนินการในบริเวณสถานีเกษตรหลวงดอยอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ทดลองขนาด ๔x๐.๕ เมตร จำนวน ๗ แปลง วางขนาดไปตามด้านลาดเทของพื้นที่ ซึ่งมีความลาดชันระหว่าง ๔๐-๖๐% ทุกแปลงมีทิศด้านลาดไปทางทิศตะวันตก

พันธุ์ไม้ที่ปลูกในแปลงทดลอง เป็นพันธุ์ไม้โตเร็วที่คัดเลือกพันธุ์ เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการบูรณะพื้นที่ต้นน้ำลำธาร และเป็นประโยชน์ต่อการใช้เพาะเห็ดหรือเป็นไม้ประดับสำหรับราษฎรบนพื้นที่สูง โดยได้รับการสนับสนุนด้านเมล็ดพันธุ์ และงบประมาณจาก Forest Development Administration Vocational Assistance Commission For Retired Servicemen (VACRS) แห่งประเทศสาธารณรัฐจีน (ไต้หวัน) ผ่านโครงการความร่วมมืองานเกษตรที่สูง แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปลูกป่า และสร้างแปลงทดลองดำเนินการโดยโครงการปลูกป่าบนที่สูง คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยเลือก

สร้างแปลงตามชนิดพันธุ์ไม้ ที่มีระยะปลูก ๒.๐x๒.๕ ม. ตามแนวขั้นบันไดดินที่สร้างไว้ให้มีระยะห่างของขั้นบันได ๒.๕ ม. โดย

แปลงที่ ๑ : ปลูก *Aleurittes montana* Wils บนขั้นบันไดดินที่สร้างบนความลาดชันของพื้นที่ ๔๕%

แปลงที่ ๒ : ปลูก *Zelkova formosana* Hay. บนพื้นที่ทำขั้นบันไดดิน ที่มีความลาดเทเดิม ๖๕%

แปลงที่ ๓ : ปลูก *Liquidambar formosana* Hance. บนพื้นที่ทำขั้นบันไดดินที่มีความลาดเทเดิม ๕๐%

แปลงที่ ๔ : ปลูก *Acacia confusa* Merr. บนขั้นบันไดดินที่มีความลาดเทเดิม ๖๐%

แปลงที่ ๕ : ปลูก *Fraxinus griffithii* C.B. Clarke. บนพื้นที่ทำขั้นบันไดดินซึ่งมีความลาดเทเดิม ๕๕%

แปลงที่ ๖ : ปลูก *Paulownia taiwaniana* Hu et Chang. sp. nov. บนพื้นที่ที่มีความลาดชัน ๔๐% และไม่มีการทำขั้นบันไดดิน

แปลงที่ ๗ : เป็นแปลงว่างเปล่า ไผ่พรวนขึ้นลงในลักษณะที่เกษตรกรมักใช้ปลูกพืช มีความลาดชันของแปลง ๔๐% เพื่อใช้ศึกษาความคงทนต่อการเกิดภัยการของดิน

เนื่องจากชี้จำกัดในงบประมาณ และสถานที่ซึ่งสูงชัน และการขนส่งวัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนการก่อสร้างแปลงทดลอง จึงมีจำนวนซ้ำของแปลงเพียงชนิดกันไม้ละ ๑ แปลง แต่ได้ใช้การตกซ้ำของฝน ช่วยในการวิเคราะห์ความแตกต่าง ในเรื่องกษัยการดิน และการเกิดน้ำบ่าหน้าดิน

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

๑. ปริมาณความหนักเบา ของฝน บันทึกโดยเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติในบริเวณใกล้เคียงแปลงทดลอง ๑ เครื่อง

๒. การวิเคราะห์ดัชนีพลังงาน ของฝน (rainfall factor) ดำเนินการตามกรรมวิธีของ Wischmeier and Smith (1958) และ Dangler and El-Swaify (1976).

๓. ความคงทน ต่อการเกิดกษัยการ ของดิน (soil erodibility) หรือ K-value ในสมการสูญเสียดินสากล (USLE) ของ

Wischmeier และ Smith (1958) นั้นใช้วิธีประเมินจาก Nomograph (Wischmeier et al, 1971) และคำนวณจากข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลอง ตามวิธีการของ Dangler และ El-Swaify (1976)

๔. ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน และตะกอนหิน วัดจากถังรองรับน้ำและตะกอน ทุกวันหลังวันที่มีฝนตก แล้วเทียบออกมาเป็นน้ำหนักของดินตะกอนต่อพื้นที่ และความสูงของน้ำบ่าหน้าดิน

๕. ค่าดัชนีการควบคุมกษัยการ ของพืชและมาตรการอนุรักษ์ (crop and conservation practice factor) หรือค่า CP ใน USLE ประเมินจากตะกอนที่ตรวจวัดได้ในแต่ละครั้งที่ฝนตกกับค่าดัชนี พลังงานฝน (R) และปัจจัยอื่นๆ ใน USLE ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับของ Utomo และ Mahmud (1984)

ผลและวิจารณ์ผล

การศึกษาการสูญเสียดิน และน้ำจากการปลูกป่าบนพื้นที่ลาดชัน โดยใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดิน บริเวณโครงการเกษตรหลวงดอยอ่างขาง โดยใช้ข้อมูลที่บ้านที่กระหว่างเดือนสิงหาคม ๒๕๒๖ ถึงเดือนตุลาคม ๒๕๒๗ ได้ผลพอสรุปได้ดังนี้

๑. พลังงานของฝน ที่คิดเป็นดัชนีพลังงานที่ใช้ใน USLE ของฝนที่ตกในช่วงเวลาดังกล่าว (๑๒๒ วัน) มีค่ารวมทั้งสิ้น ๑,๗๒๕ เมตร-ตัน/เฮกแตร์ เป็นค่าที่ได้จากฝนที่ตกในปี พ.ศ. ๒๕๒๖ (๑,๖๔๓ มม.) เท่ากับ ๑,๐๘๓ เมตร-ตัน/เฮกแตร์

และจากฝนที่ตกในปี พ.ศ. ๒๕๒๗(๑,๑๙๓ มม) เท่ากับ ๖๔๒ เมตร-ตัน/เฮกเตอร์
 ๒. ข้อมูลจากการสูญเสียดินจากแปลงทดลองในการางที่ ๑ ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่ ๆ ปลูกป่าโดยการทำชั้นบันไดดินนั้น มีกษัยการดินเกิดได้ไม่ถึงครึ่งตัน/เฮกเตอร์ เมื่อต้นไม้มีอายุ ๑ ปี ถึงแม้จะมีความแตกต่างกันบ้างในทางสถิติระหว่างแปลงที่ปลูก *F. gaiffithii*

Table 1 : Soil and water losses from terraced plot of 2.5 m vertical interval with various types of fast growing tree planted in 1982 by 2x2.5 m spacing: Dio Angkhang, Chiang Mai

Tree species and Land condition	Rainfall Erosivity and Soil and Water Losses					
	1983			1984		
	R-FAC. (m-ton/ha)	Runoff (mm)	Sediment (ton/ha)	R-FAC. (m-ton/ha)	Runoff (mm)	Sediment ton/ha)
<i>A. montana</i> , on 45% slope	1,083	18.5	0.322	642	17.5	0.102
<i>L. formosana</i> , on 65% slope	1,083	9.6	0.127	642	5.9	0.052
<i>L. formosana</i> , on 50% slope	1,083	12.7	0.105	642	13.1	0.102
<i>A. confusa</i> , on 60% slope	1,083	13.6	0.065	642	14.6	0.096
<i>F. gaiffithii</i> , on 55% slope	1,083	31.0	0.469	642	16.8	0.124
<i>P. chinensis</i> , on 42% slope	—	—	—	642	41.5	3.604
Bare, up and down, continuous hillow, 40% slope	—	—	—	642	111.8	370.043

Note : 1/ Amount of rainfall in 1985 is 1,643 mm and in 1984 is 1,193 mm.

และต้นไม้โตเร็วชนิดอื่น ๆ แต่ในด้านการอนุรักษ์ดินแล้วถือว่าต่ำกว่าค่าที่ยอมให้สูญเสียหน้าดิน ๕ ตัน/เฮกแตร์อยู่มาก ในปีต่อมาก็มีแนวโน้มทำนองเดียวกัน เพียงแต่มีการสูญเสียหน้าดินน้อยลงกว่าในปีแรก โดยเฉลี่ยเกือบเท่าตัวในบางแปลงทดลอง

การเกิดกษัยการดินลดลงในพื้นที่ ๆ ทำชั้นบันไคดินนี้ ส่วนหนึ่งน่าจะเกิดการซุดดินทำชั้นบันไคดิน ในปีแรกย่อมรบกวนดินให้ง่ายต่อการเกิดกษัยการได้ เพราะจะถูกพลังงานฝนชะล้างได้มากกว่าปกติ ประการต่อมาปริมาณของฝน และดัชนีพลังงานฝนมากกว่าในปีที่สอง และอีกประการหนึ่ง การปรับสภาพของดินและการขึ้นทดแทน ของวัชพืช ทำให้การปกคลุมดินดี ดินเข้าสู่สภาวะปกติ กษัยการของดินในปีที่สอง จึงลดลงอย่างมาก อย่างไรก็ตามแม้ว่าในทางสถิติ จะยังแสดงความแตกต่างของกษัยการของดินจากพื้นที่ ๆ ปลูกต้นไม้ชนิดต่าง ๆ อยู่บ้าง แต่ก็น่าจะเกิดจากการคลาดเคลื่อน ในการตรวจวัดตะกอน หรือความลาดเทของพื้นที่ ๆ แตกต่างกันอยู่บ้าง มากกว่าที่จะเกิดจากอิทธิพลของต้นไม้ที่ปลูก เพราะต้นไม้ยังเล็กอยู่มาก และการปกคลุมของเรือนยอดคนยังสู้การปกคลุม ของวัชพืชและหญ้าคาไม่ได้

ข้อมูลในปีที่สอง (พ.ศ. ๒๕๒๗) แสดงให้เห็นว่าแปลงทดลอง ที่ปลูกต้นเพาโลเนีย

(*P. taiwaniana*) โดยไม่ใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำเข้าช่วย มีกษัยการของดินเกิดขึ้นถึงเกือบ ๔ ตัน/เฮกแตร์ ทั้งที่มีความลาดเทน้อยกว่าแปลงอื่น ๆ ที่ทำชั้นบันไคดิน และมีดัชนีพลังงานการชะล้างพังทลาย น้อยกว่าปีแรก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบชั้นบันไคดิน ลดกษัยการดินในกรณีปลูกป่าบนภูเขาในปีแรก ๆ ได้มากที่สุดทีเดียว อย่างไรก็ตาม การสรุปประสิทธิภาพของมาตรการอนุรักษ์ดินแบบนี้ ควรจะต้องติดตามต่อไปเมื่อพื้นที่ ปรับสภาพการขึ้นทดแทนให้เท่าเทียมกันเสียก่อน

๓. การเกิดน้ำป่าหน้าดิน และการสูญเสียออกจากพื้นที่ เห็นได้จากข้อมูลในตารางที่ ๒ เช่นกันความแตกต่างในเชิงสถิติเป็นไปในทำนองเดียวกับการ สูญเสียหน้าดิน แต่โดยภาพรวมแล้ว การสูญเสียหน้าดินออกไปจากพื้นที่ ๆ ทำชั้นบันไคดินต่ำมากไม่เกินร้อยละ ๒ ของฝนที่ตกลงมา ส่วนในพื้นที่ ๆ ไม่ได้ทำชั้นบันไคดิน จะมีการสูญเสียหน้าดินมากชันเป็น ๔% อย่างไรก็ตามข้อมูลในแปลงว่างเปล่าไถพรวนชั้นลง ชี้ให้เห็นว่าโอกาสเกิดน้ำป่าหน้าดิน ในพื้นที่ขึ้นข้างน้อย ไม่เกิน ๑๐% ของฝนที่ตกซึ่งน่าจะเนื่องมาจากฝนที่ตกในเวลาดังกล่าว มีความหนักเบา (intensity) ไม่ค่อยรุนแรงนัก เพราะดินในพื้นที่นี้มีอัตราการยอม ให้น้ำซึมผ่านในระดับ

Table 2 : Average and ratio of soil and water losses from various types of treatment on runoff plots at Angkhang Highland Project, Chiang Mai.

Year and Tree species	Water loss		Soil loss		Annual average		Soil loss ratio/mm. runoff based on 2-y loss of terraced plot	
	mm	% of rain	ton/ha	ton/ha/mm of runoff	1-year	2-year	Actual	Adjusted*

1983 :								
<i>A. montana</i>	18.5	1.12	0.232	0.013	Ave.=0.011			
<i>Z. formosana</i>	9.7	0.6	0.127	0.013				
<i>L. formosana</i>	12.7	0.8	0.105	0.008				
<i>A. confusa</i>	13.6	0.83	0.065	0.005				
<i>F. griffithii</i>	31.0	1.9	0.469	0.015				
1984 :								
<i>A. montana</i>	17.5	1.5	0.102	0.006	Ave.=0.007		0.009 (0.01) \Rightarrow 1	1
<i>Z. formosana</i>	5.9	0.5	0.052	0.009				
<i>L. formosana</i>	13.1	1.1	0.102	0.008				
<i>A. confusa</i>	14.6	1.2	0.096	0.007				
<i>F. griffithii</i>	16.8	1.4	0.124	0.007				
<i>P. taiwaniana</i>	41.5	3.5	3.604	0.087	0.087		9	16
Bare, up and down fallow	111.8	9.4	370.043	3.311	3.311		331	596

*Note : Ratio after slope adjusted using S-Factor Ratio of 1.8 which derived from average S-Factor of untterraced plots/average S-Factor of terraced plots.

ถ้าถึงปานกลางเท่านั้น ถ้าหากมีฝนตกในอัตราความหนักเบาสูงแล้ว คาดว่าชั้นดินใต้ดินจะยังคงประสิทธิภาพ ในการควบคุมน้ำ ไหลบ่าไม่แตกต่างกว่าที่ได้จากข้อมูลทั้ง ๒ ปี เลยโดยนัก แต่พื้นที่ ๆ ไม่มีมาตรการอนุรักษ์ คาดว่าจะมีปัญหามากขึ้น

๔. ประสิทธิภาพของการปลูกป่าโดยใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบขั้นบันไดดินจะช่วยลดอัตราการเกิดภัยการได้ถึง ๑๖ เท่า ถ้าเทียบกับการปลูกป่าบนพื้นที่ลาดชันมากกว่า ๔๐% โดยไม่ใช้ชั้นบันไดดิน (ดูตารางที่ ๓) และสามารถลดการสูญเสีย

Table 3 : Soil erodibility (K-Factor) and Conservation and Crop Management Factor (CP-Factor) in the USLE for soil and various combination of tree and terraced plantation at Angkhang Highland Project, Chiang Mai.

Tree species at 2×2.5 m spacing on 2.5 VI. terraces	Overland slope. %	K-Value from		Average CP-Factor in USLE			
		Mono-graph	Exp. plot	1983	1984	2-Y average	C
<i>A. montana</i>	45	0.15	—	0.00047	0.00031	0.0004	0.036
<i>Z. formosana</i>	65	0.10	—	0.00019	0.00010	0.0001	0.009
<i>L. formosana</i>	50	0.08	—	0.00015	0.00040	0.0003	0.027
<i>A. confusa</i>	65	0.07	—	0.00016	0.00029	0.0002	0.018
<i>F. griffithii</i>	55	0.09	—	0.00099	0.00038	0.0007	0.063
Average	56	0.1	—	0.0004	0.0003	0.00035	—
<i>P. taiwaniana</i> (non terraced)	42	0.09	—	—	0.511	0.011	0.011
Bare, up and down fallow	40	0.08	0.04	—	1.0	1.0	—

หน้าดินได้ประมาณ ๕ ถึง ๖ เท่า เมื่อเทียบกับการปลูกป่าโดยไม่ทำขั้นบันไดดิน ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่าขั้นบันไดดิน สามารถช่วยเพิ่มการเก็บกักน้ำไว้ในดินได้มาก และยาวนานกว่าการปลูกป่าแบบปกติ

๕. ดัชนีความคงทนต่อการเกิดภัยของการของดิน (ค่า K ใน USLE) ประเมินจากสมบัติของดินและ Nomograph ของ Wischmeier และคณะ (๑๙๗๑) ได้ค่าอยู่ระหว่าง ๐.๐๗ ถึง ๐.๑๕ และวิเคราะห์จากผลที่ได้จากแปลงทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง ๐.๐๐๑

ถึง ๐.๑๕ โดยเฉลี่ยประมาณ ๐.๐๔ (ตารางที่ ๓) ซึ่งจัดเป็นดินที่ค่อนข้างยากต่อการเกิดภัยการเนื่องจากเนื้อดินเป็นดินเหนียวสูงและมีปริมาณของเหล็กและอลูมินัมออกไซด์ปนอยู่มาก และชั้นน้ำใต้ดินปานกลาง โอกาสเกิดภัยการที่รุนแรงจึงเป็นไปได้ยาก นอกจากดินถูกรบกวนและเกิดมีฝนตกมากและรุนแรง

ความแตกต่างระหว่างค่า K ที่หาได้จาก Nomograph และจากแปลงทดลองนั้นตรวจพบเสมอในพื้นที่ๆ สหสัมพันธ์ระ-

หว่างการเกิดกษัยการดินกับดัชนีพลังงานฝน มีค่าต่ำโดยเฉพาะในเขตร้อน ซึ่งฝนที่ตกมก มีความรุนแรงสูง แต่ตกในช่วงเวลาอันสั้น ในหลายครั้งที่ฝนตกแต่ไม่เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินที่จะเคลื่อนย้ายตะกอนได้ การประเมินค่าของ K โดยอาศัยแต่เพียงค่าดัชนีน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียว จึงได้ค่าที่ต่ำกว่าเป็นจริง การใช้ค่าดัชนีพลังงาน ที่เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินจึงจำเป็น ถ้าต้องการให้สมการ USLE ประมาณกษัยการของดินในท้องที่ได้ถูกต้อง

๖. ประสิทธิภาพ ในการควบคุมการเกิดกษัยของดินของชั้นบันไดดิน รวมกับต้น-

ที่ไม่ปลูก พิจารณาจากตารางที่ ๓ เห็นได้ว่าการปลูกป่าโดยใช้ชั้นบันไดดิน ของต้นไม้ชนิดที่เลือกจะมีค่า CP-Factor โดยเฉลี่ยประมาณ ๐.๐๐๐๔ ในปีแรก และประมาณ ๐.๐๐๐๓ ในปีที่สอง ซึ่งเป็นค่าดัชนีที่เทียบได้กับค่า C-Factor ของป่าดิบเขา ดอยปู่เชียงใหม่ (พรชัย, ๒๕๒๗) จึงกล่าวได้ว่า ในด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำบนภูเขาสูงชันแล้ว ป่าที่ปลูกบนบันไดดินในช่วง ๒ ปีแรกมีประสิทธิภาพควบคุมกษัย การของดินได้เท่าเทียมกับป่าดิบเขาธรรมชาติ ซึ่งเป็นป่าต้นน้ำลำธารส่วนใหญ่ ทางภาคเหนือของประเทศไทยทีเดียว

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการสูญเสียดินและน้ำจากพื้นที่ปลูกป่าไม้โตเร็ว โดยใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบชั้นบันไดดิน บริเวณโครงการเกษตรหลวงดอยอ่างขาง ระหว่างปี พ.ศ. ๒๕๒๖-๒๕๒๗ โดยใช้แปลงทดลองขนาด ๔×๑๕ เมตร ทำชั้นบันไดดิน ห่างกันในแนวตั้ง ๕.๕ เมตร และปลูกต้นไม้ห่างกัน ๒×๒.๕ เมตร จำนวน ๕ แปลง ผนวกกับแปลงศึกษาความคงทนต่อสภาวะการเกิดกษัยการดิน และการปลูกต้นไม้แบบปกติอีกอย่างละ ๑ แปลง มีผลการศึกษาในช่วง ๒ ปีแรก สรุปได้ดังนี้

๑. การใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบชั้นบันไดดิน ปลูกไม้โตเร็วบนพื้นที่ลาดเทมากกว่า ๔๐% ขึ้นไป ทำให้ลดกษัยการของดินลงได้ ๑๖ เท่า ต่อการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินหนา ๑ มม. และมีค่าการสูญเสียดินน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับการปลูกป่าโดยไม่ใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยเฉลี่ยแล้วกษัยการที่เกิดจากการปลูกป่าไม้โตเร็วบนชั้นบันไดดินน้อยกว่าครั้งต้นต่อเฮกเตอร์ ในขณะที่การปลูกป่าแบบปกติจะสูญเสียหน้าดินประมาณ ๔ ตัน/เฮกเตอร์

๒. พื้นที่ๆ ปลุกป่าโดยใช้ชั้นบนไคดินจะมีน้ำบ่าหน้าดินสูญเสียออกไปจากพื้นที่ไม่เกิน ๒% ของพื้นที่ตก แต่จะมีมากกว่า ๒-๖ เท่า ในพื้นที่ปลุกป่าแบบธรรมชาติ โดยภาพรวมแล้วน้ำบ่าหน้าดินที่เกิดชั้นบนพื้นที่ๆ ทำชั้นบนไคดินหนา ๑ มม. จะกวาดตะกอนดินออกไปได้เพียง ๐.๐๐๙ ตัน/เฮกแตร์ เท่านั้น ในขณะที่พื้นที่ปลุกป่าแบบธรรมชาติ น้ำบ่าหน้าดินปริมาณดังกล่าวจะเคลื่อนย้ายตะกอนได้ ๐.๐๙ ตัน/เฮกแตร์

๓. ดัชนีความง่ายต่อการเกิดกษัยการของดิน (K-Factor) ในสมการสูญเสียดินสากลประเมินจากแปลงทดลอง มีค่าเฉลี่ยเพียง ๐.๐๔ และจาก nomograph ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ ๐.๐๘ ซึ่งเป็นค่าที่ชี้บอกว่าดินเกิดกษัยการได้ค่อนข้างยาก

๔. ประสิทธิภาพการควบคุมการเกิดกษัยการดินของการปลูกไม้โตเร็วบนชั้นบนไคดิน (CP-Factor) ในท้องถิ่นมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ต้นไม้อายุ ๑-๓ ปี เท่ากับ ๐.๐๐๐๓๕ ซึ่งเทียบได้กับค่า C-Factor ของป่าดิบเขาที่ห้วยคอกม้า ดอยปุย จึงเป็นมาตรการที่น่าประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงต้นน้ำลำธารบริเวณภูเขาหินปูน ทางภาคเหนือของประเทศ ซึ่งป่าถูกทำลายไปแล้ว

๕. ผลที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา ยังเป็นผลระยะสั้น การติดตามผลนี่ยังต้องมียุ่ต่อไป รวมถึงการศึกษาในเรื่องการสูญเสียธาตุอาหารพืช และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการดังกล่าว เพื่อหาข้อสรุปที่เกิดผลต่อทางปฏิบัติในการปรับปรุงต้นน้ำลำธารต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

บุญยงค์ ภูเขาเรือง. ๒๕๒๓. การสำรวจจำแนกดินและการกำหนดศักยภาพของที่ดินในบริเวณเทือกเขา ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรชัย ปรีชาปัญญา. ๒๕๒๗. การสูญเสียดินและน้ำจากการประยุกต์ระบบวนเกษตร : การศึกษาเฉพาะกรณีการทำ

สวนกาแฟในป่าดิบเขาที่ดอยปุย เชียงใหม่ วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dangler, E.W. and S.A. EL-Swaify. 1976. Erosion of selected Hawaii soil by simulated rainfall. Soil Sci. Amer. J. 40 : 769-773.

Humilton, L.S. and P.N. King. 1983.

- Tropical Forest Watershed: Hydrologic and Soils Response to Major Uses or Conversions. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado. 168 p.
- Hardjono, H.W. 1980. The effect of permanent vegetation and its distribution on streamflow of three sub-watersheds in Central Java. Paper presented of Seminar on Hydrology and Watershed Management, Surakarta, 5 June, 1980., 23 pp.
- Hatch, T. 1981. Preliminary results of soil erosion and conservation trials under pepper (*Piper nigrum*) in Sarawak, Malaysia, pp. 225-262. In R.P.C. Morgan (ed.). Soil Conservation: Problems and Prospects, John Wiley and Sons, Inc., Chichester.
- Kraayenhagen, J., P. Watnaprateep and N. Nakasathien. 1981. The effects of different structures on erosion and runoff for the year 1981. Tech. Note 48. Mae Sa Integrated Watershed and Forest Land-Use Project, Chiang Mai
- Krishnarajah, P. 1984, Soil erosion control measures in Sri Lanka with reference to tea land. Paper presented at the International Workshop on Soil Erosion and its Countermeasures, Chiang Mai, Thailand, Nov., 11-19, 1984, 13 p.
- Utomo, W.H. and E. Mahmud. 1984. The possibility of using the universal soil loss equation in mountainous areas of East Java with humus-rich Andosols: A case study in Sumber Brantas Sub-watershed, pp. E. 5.1-E. 5.12. In Proc. 5th Asian Soil Conference, Vol. I, Bangkok, Thailand. June 10-13, 1984.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1985. Predicting rainfall erosion losses from eroplant east of the Rocky Mountain, USDA. Agri. Handbook No. 282., 47 p.
- Wischmeier, W.H., C.B. Johnson and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Water Conserv. 26: 189-193.
- Wischmeier, W.H., D.D. Smith and R.E. Uhland. 1958. Evaluation of factors in soil-loss equation. Agr. Eng. 39: 458-462.