ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินในพื้นที่เกิดดินถล่ม

The Available Water Capacity in Landslide Area

อลงกรณ์ วงศ์หมั่น[1], กัญจน์ชญา เม้าสิ้ว[1] และ จรัณธร บุญญานุภาพ[1*]

Alongkorn Wongmun[1], Kanchaya Maosew[1] and Jaruntorn Boonyanuphap[1*]

บทคัดย่อ: ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน (AWCA) มีความสำคัญมากในด้านเกษตรกรรม และการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรม เนื่องจากการเกิดดินถล่มและสูญเสียหน้าดินส่งผลต่อการเก็บกักน้ำของดิน ซึ่งพื้นที่ต้นน้ำตำบลแม่พูลเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากดินถล่มในปี 2549 การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปริมาณและวิเคราะห์ความแตกต่างของ AWCA 2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์และจัดกลุ่มองค์ประกอบหลักระหว่างตัวแปรคุณสมบัติดินกับ AWCA 3) การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม AWCA ด้วยวิธีการแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (GLMs) โดยทำการศึกษาในระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่และสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร ภายใต้สถานการณ์ปกติและเกิดดินถล่มเมื่อปี 2549 พบว่า ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ (BN) มี AWCA สูงที่สุดในทุกระดับความลึกโดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 16.76 โดยปริมาตร รองลงมาเป็นระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่เกิดดินถล่ม (FS) ป่าเบญจพรรณผสมไผ่ที่เกิดดินถล่ม (BS) และสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร (FN) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.50 12.36 และ 8.32 โดยปริมาตรตามลำดับ โดย BN ที่มี AWCA สูงสุด พบตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ AWCA ในเชิงบวก ได้แก่ ความจุความชื้นสนาม ปริมาณสัดส่วนของรากพืช ปริมาณสัดส่วนที่เป็นอากาศ ความพรุน พีเอชดิน และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ขณะที่ตัวแปรองค์ประกอบดินสัดส่วนที่เป็นของแข็ง ความหนาแน่น และอนุภาคดินเหนียวมีความสัมพันธ์ในเชิงลบ นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ PCA ยังพบว่า ดินที่มีค่า AWCA สูง จะมีปริมาณสัดส่วนที่เป็นอากาศสูงเช่นกัน แต่ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร และองค์ประกอบดินสัดส่วนที่เป็นน้ำจะมีค่าต่ำ ทั้งนี้ BN มีลักษณะเฉพาะ คือ องค์ประกอบสัดส่วนที่เป็นอากาศ และอัตราการซึมขณะไม่อิ่มตัวสูง ขณะที่ความจุความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร และองค์ประกอบดินสัดส่วนที่เป็นน้ำมีค่าต่ำ ดังนั้น BN จึงมีปริมาณของ AWCA สูงที่สุด และการวิเคราะห์ GLMs ยังบ่งชี้ได้อย่างชัดเจนว่าการเกิดดินถล่มเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง AWCA

คำสำคัญ: ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน, แหล่งต้นน้ำ, ป่าเบญจพรรณผสมไผ่, สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร, ดินถล่ม, ลุ่มน้ำแม่พูล, จังหวัดอุตรดิตถ์

ABSTRACT: Available water capacity (AWCA) is very important for agriculture and recovery of degraded area resulting from landslide and surface soil loss affected soil water storage. Maepoon sub-district is an area that affected by landslide in 2006. This study conducted with the aim at 1) measurement of the volume and the difference of AWCA 2) analyzing of the relationship and grouping of the major component between soil property variables and AWCA using Principle component analysis (PCA) 3) analyzing of the factors that affect the AWCA using the General linear models (GLMs). The experiments were done in two ecosystems, Bamboo Mixed deciduous

Received July 3, 2018
Accepted October 16, 2018

[1] คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000 Thailand
* Corresponding author: charuntornb@nu.ac.th

forest (BN) and Mixed fruit tree-based agroforestry (FN), at normal condition and landslide occurrence in 2006**.** The results showed that BN had the highest AWCA with an approximate mean of 16.76% by volume in all depths of soil followed by Mixed fruit tree-based agroforestry-Landslide (FS), Bamboo Mixed deciduous forest -Landslide **(**BS) and FN with mean AWCA of 12.50, 12.36 and 8.32%, respectively. The BN showed highest AWCA, the AWCA correlated positively with field capacity, root ratio, air ratio, porosity, soil pH and cation exchange capacity, while negatively correlating with solid phase ratio, bulk density and clay particles. Furthermore, results of PCA showed that soil with high AWCA also had high air ratio but low permanent wilting point (PWP) and water ratio. The specific properties of BN are including high air ratio and infiltration rate (Unsaturated soil but low moisture at PWP and water ratio. These results indicated that BN has highest AWCA and GLMs clearly indicates that the landslide occurrence can affect the available water capacity.

Keywords: Soil water holding capacity, Upstream regions, Bamboo mixed deciduous forest, Mixed fruit tree-based agroforestry, Landslide, Maepoon watershed, Uttaradit province

บทนำ

พื้นที่ต้นน้ำลำธารเป็นแหล่งกำเนิดของแม่น้ำลำธาร และช่วยรักษาความสมบูรณ์และความชุ่มชื้นในระบบนิเวศ โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งรองรับน้ำ เมื่อเกิดเหตุการณ์ฝนตก น้ำจะถูกเก็บกักน้ำไว้ในชั้นดินด้วยการดูดยึดไว้ของดินส่วนหนึ่ง (Soil water) ส่วนที่เหลือจะถูกลำเลียงออกไปโดยการซึมลึก (Percolation) และการซึมผ่านชั้นหิน (Ground water) การดูดซึมของพืช (Plant water uptake) การคายระเหย (Evapo-transpiration) และน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Surface runoff) รวมถึงน้ำที่ไหลอยู่ในชั้นดินออกสู่นอกพื้นที่แหล่งต้นน้ำด้วย (Lateral flow/Baseflow) กระบวนการทางอุทกวิทยาดังกล่าวสามารถส่งผลต่อสมดุลน้ำในพื้นที่ โดยขึ้นอยู่กับโครงสร้าง (Structure) การให้บริการ (Service) และบทบาทหน้าที่ (Function) ของระบบนิเวศ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2554) โดยเฉพาะคุณสมบัติดิน ซึ่งระบบนิเวศแต่ละประเภทมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกันจากการศึกษาลักษณะดินภายใต้สภาพป่าต่างชนิดบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา พบว่า สมบัติของดินมีความแปรปรวนภายใต้สภาพป่าที่ต่างชนิดกัน (วรนันท์ และคณะ, 2555) และมีอิทธิพลต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินในระบบนิเวศแต่ละประเภท นอกจากนี้ระบบนิเวศที่เสื่อมโทรมหรือถูกรบกวนจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเชิงนิเวศวิทยาต่างๆ ได้เช่นกัน โดยเฉพาะการหมุนเวียนของน้ำและธาตุอาหาร (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2554; Alliaume et al., 2013)

น้ำที่ถูกเก็บกักในชั้นดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ น้ำผลึก (Chemically combined water) น้ำเยื่อ (Hygroscopic water) น้ำซับ (Capillary water) และน้ำซึม (Gravitational water) โดยความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน (Available water capacity : AWCA) คือ น้ำซับ ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ สัตว์ พืช หรือจุลินทรีย์ เนื่องจากใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์แสงของพืช เป็นต้น รวมถึงการปรับอุณหภูมิและการลำเลียงธาตุอาหารของพืชเพื่อให้สามารถเจริญเติบโตได้อย่างเหมาะสม (บุญแสน, 2548) ดังนั้น ความจุน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจึงมีความสำคัญมากต่อกระบวนการการตัดสินใจและการจัดการด้านเกษตรกรรมหรือทรัพยากรธรรมชาติ (Easton et al., 2016) และด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรม (บัญชา, 2552)

แหล่งต้นน้ำบริเวณพื้นที่ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นพื้นที่เกษตรเศรษฐกิจ (Agro-economic zone) ที่สำคัญมากที่สุดแห่งหนึ่งของจังหวัดอุตรดิตถ์ พื้นที่ดังกล่าวมีสภาพเป็นสวนไม้ผลเศรษฐกิจผสมป่าไม้แบบวนเกษตรบนที่สูงชัน โดยปะปนสลับกับผืนป่าเบญจพรรณผสมไผ่ตามธรรมชาติ (จรัณธร และคณะ, 2559) มีลักษณะภูมิประเทศแบบที่ราบเชิงเขาและที่ราบระหว่างหุบเขาแคบๆ พื้นที่ไหล่เขามีความลาดชันสูง (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์ดินโคลนถล่มในปี 2549 บริเวณพื้นที่ตำบลแม่พูล ส่งผลให้พื้นที่สวนไม้ผลเศรษฐกิจถูกทำลายถึง 4,992 ไร่ หรือ ร้อยละ 6.1 ของพื้นที่

ตำบลแม่พูล (จรัณธร และประสิทธิ์, 2556) เหตุการณ์ดินถล่มดังกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินในพื้นที่ และอาจส่งผลกระทบต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจและพรรณไม้ป่าในท้องถิ่น เนื่องจากน้ำในดินเป็นน้ำส่วนที่สามารถเก็บกักไว้ให้พืชดึงไปใช้ประโยชน์ได้ตลอดเวลา การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสมบัติดินที่มีความสัมพันธ์กับความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ พร้อมทั้งการประเมินความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน และวิเคราะห์สมการสำหรับประมาณค่า ภายใต้ระบบนิเวศ 2 ประเภทหลักในพื้นที่ ได้แก่ ป่าเบญจพรรณผสมไผ่และสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร โดยแบ่งแต่ละระบบนิเวศออกเป็น 2 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ปกติและสถานการณ์ที่เคยเกิดดินถล่มเมื่อปี 2549 ซึ่งมีการฟื้นตัวตามธรรมชาติมาแล้ว 10 ปี ของพื้นที่แหล่งต้นน้ำในเขตตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่พร่อง-แม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ (ละติจูด 17°3910″ ถึง 17°48′40″ N และลองติจูด 99°57′10″ ถึง 100°02′10″ E) มีเนื้อที่ประมาณ 116 ตารางกิโลเมตร ความสูงของพื้นที่ตั้งแต่ 80-765 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ระดับความลาดชันของพื้นที่โดยทั่วไปอยู่ในพิสัย 40-75 องศา สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแถบมรสุม (Tropical monsoon climate : Am) ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,641.24 มิลลิเมตร อุณหภูมิรายปีเฉลี่ย 27.4 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยน้ำเท่ากับ 1,601 มิลลิเมตรต่อปี และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศโดยเฉลี่ยร้อยละ 73 (ข้อมูลโดยเฉลี่ยปี 2535 ถึง 2559) สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปของพื้นที่ตำบลแม่พูลเป็นเทือกเขาสูงชันปกคลุมไปด้วยผืนป่าธรรมชาติและสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร (Figure 1) ประชากรส่วนใหญ่ทำสวนไม้ผลผสมทั้งแบบวนเกษตร โดยปลูกไม้ผลเศรษฐกิจ (เช่น ทุเรียน ลางสาด ลองกอง มังคุด และกาแฟ) ร่วมกับพันธุ์ไม้ป่าท้องถิ่น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554; จรัณธร และประสิทธิ์, 2556) สำหรับป่าเบญจพรรณผสมไผ่และสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรเป็นระบบนิเวศหลักที่พบในบริเวณแหล่งต้นน้ำของตำบลแม่พูล โดยส่วนใหญ่พบอยู่บริเวณตำแหน่งที่ลาดชันตอนบน (Upper slope) และที่ลาดชันตอนล่าง (Down slope) ของพื้นที่ตามลำดับ

การเก็บตัวอย่างดิน

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในระบบนิเวศหลักของลุ่มน้ำแม่พูล ได้แก่ ป่าเบญจพรรณผสมไผ่และสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร โดยใช้ตัวอย่างบริเวณเขาม่อนน้ำชำเป็นตัวแทน เนื่องจากมีลักษณะภูมิทัศน์และตำแหน่งลาดดินของระบบนิเวศแบบเดียวกันกับพื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลแม่พูล โดยศึกษาโครงสร้างและสัณฐานวิทยาสนามของดิน โดยศึกษาหน้าตัดดิน (Soil Profile) จากหลุมขนาด 1 เมตร x 1 เมตร และถึงระดับความลึก 1.5 เมตร ดำเนินการศึกษาสมบัติดินภายในหน้าตัดดินและเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 4 หลุม ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณผสมไผ่และสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร โดยทั้ง 2 ระบบนิเวศอยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติและสถานการณ์ที่เคยเกิดดินถล่ม อย่างละ 1 หลุม รวมทั้งหมด 4 หลุม และเก็บตัวอย่างที่ 6 ระดับความลึกของชั้นดิน (Soil layer) ได้แก่ 0-10, 10-30, 30-60, 60-80, 80-110 และ 110-150 เซนติเมตร ดำเนินการเก็บตัวอย่างดิน 2 แบบ คือ เก็บตัวอย่างแบบไม่ทำลายโครงสร้างดิน (undisturbed soil sample) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) ขนาด 100 cm^3) และการเก็บตัวอย่างแบบทำลายโครงสร้างดิน (disturbed soil sample) จากแต่ละชั้นดินตามที่กำหนด

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างดินและเก็บข้อมูลตัวแปรสมบัติดิน

วิเคราะห์สมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน โดยตากตัวอย่างดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบทำลายโครงสร้างให้แห้ง จากนั้นบดดินและร่อนดินผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 2 มม. เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการดังนี้ 1) อินทรียวัตถุในดิน ใช้วิธีการของ Walkley (1947)

แก่นเกษตร 47 (2) : 211-224 (2562). /doi: 10.14456/kaj.2019.39

2) พีเอชดิน วัดโดยใช้เครื่อง pH meter ใช้อัตราส่วนระหว่างดินและน้ำ 1 ต่อ 1 (Peech, 1965) 3) เนื้อดินโดยใช้วิธี Hydrometer (Day, 1965) 4) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน โดยใช้วิธีการ Ammonium acetate pH 7.0 method โดยการชะดิน 10 กรัม ด้วย 1 N NH_4OAc pH 7 แล้วแทนที่ NH_4^+ ด้วย 10% NaCl และหาปริมาณ NH_4 ที่ถูกแทนที่ออกมาโดยวิธีกลั่นแล้วคำนวณปริมาณ NH_4^+ (Burt, 2004) สำหรับ ตัวอย่างดินที่เก็บโดยไม่ทำลายโครงสร้างดินนำมาวิเคราะห์ตัวแปรดังนี้ 1) ความจุความชื้นสนามที่ระดับความดันบรรยากาศ 0.33 bar และจุดเหี่ยวถาวรที่ระดับความดัน 15 bar โดยใช้วิธีการ Pressure plate apparatus (Kirkham, 2014) ซึ่งเป็นการหาปริมาณโดยน้ำหนัก 2) สัดส่วนระหว่างปริมาตรของแข็ง น้ำ และอากาศในดิน โดยใช้เครื่อง Three phase meter (Daiki, DIK-1120, Akagidai, Japan) 3) ความหนาแน่นรวมของดิน โดยใช้วิธี Core method (Blake and Hartge, 1986) 4) ความหนาแน่นอนุภาคของดิน โดยใช้วิธีการคำนวณจากสัดส่วนมวลแห้งของดิน ต่อหน่วยปริมาตรขององค์ประกอบของดินสัดส่วนที่เป็นของแข็ง 5) ความพรุนรวมของดิน โดยใช้วิธีการคำนวณจากความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Dingus, 1999)

การศึกษาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินในขณะที่ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated inflitration rate) และ ปริมาณของดิน หิน และรากพืชในแต่ละชั้นดิน (Soil layer) จากหลุมศึกษาชั้นหน้าตัดดิน ทั้งนี้ อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ใช้เครื่องมือ Handheld mini disk Infiltrometer (Decagon Devices, 2005 Decagon Devices, Pullman, Washington, USA) สำหรับปริมาณของดิน หิน และรากพืชในแต่ละชั้นดินใช้วิธีการแปลภาพถ่ายจากหน้าตัดดิน เพื่อหาปริมาณและสัดส่วนของพื้นที่ที่เป็นหิน และรากพืช (Poesen and Lavee, 1994)

การคำนวณความสามารถในการเก็บกักน้ำของแต่ละชั้นดิน

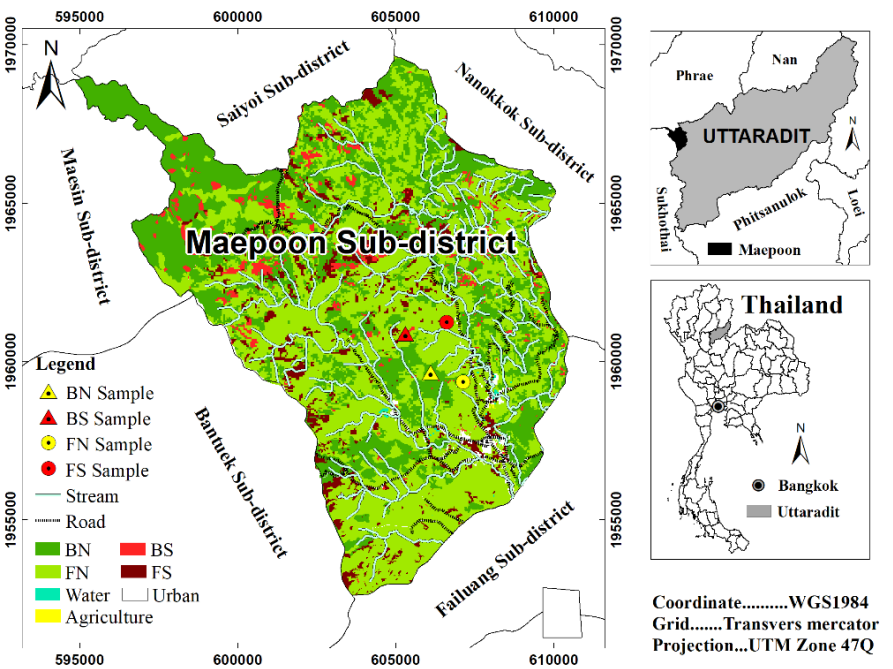


Figure 1 Study area and location of sampling sites in Maepoon Sub-district, Uttaradit Province, Thailand.

ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน หรือน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำการวิเคราะห์ตามลำดับของชั้นดินแต่ละชั้น โดยคำนวณจากค่าความต่างของความจุความชื้นสนาม (Field capacity: FC) และความจุความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point : PWP) ของแต่ละชั้นดินดังสมการ

$$AWCA = FC - PWP$$

AWCA คือ ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน

FC คือ ความจุความชื้นสนาม (ความชื้นของดินที่ถูกแรงดึงดูดน้อยกว่า -1/3 bars)

PWP คือ ความชื้น ณ จุดเหี่ยวถาวร (ความชื้นของดินที่ถูกแรงดึงดูดน้อยกว่า -15 bars)

การวิเคราะห์ความแตกต่างของความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน

วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณการเก็บกักน้ำของดินแต่ละระบบนิเวศ โดยเปรียบเทียบในแต่ละชั้นดิน ได้แก่ ป่าเบญจพรรณผสมไผ่ (Bamboo Mixed deciduous forest: BN) ป่าเบญจพรรณผสมไผ่ที่เกิดดินถล่ม (Bamboo Mixed deciduous forest – Landslide: BS) สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร (Mixed fruit tree-based agroforestry: FN และสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่เกิดดินถล่ม (Mixed fruit tree-based agroforestry-Landslide: FS) โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics 17.0 for Windows

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสมบัติดินและความสัมพันธ์ของสมบัติดินต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle component analysis : PCA) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Pearson Correlation) และจัดกลุ่มองค์ประกอบหลักของตัวแปรสมบัติดิน ซึ่งสามารถบ่งชี้ตัวแปรสมบัติดินที่มีความสัมพันธ์กับความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน และลักษณะเฉพาะสมบัติดินในแต่ละระบบนิเวศ โดยตัวแปรสมบัติดินจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในแกนแต่ละแกนจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ทั้งนี้ แกนที่เลือกใช้ในการศึกษาต้องมีค่า Eigen values มากกว่า 2.0 เพื่ออธิบายความแปรปรวนของตัวแปรสมบัติดินได้มากที่สุด โดยประกอบด้วยตัวแปรเชิงปริมาณ ได้แก่ ความจุความชื้นสนาม (FC) ความจุความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (PWP) ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน (AWCA) ปริมาตรส่วนที่เป็นของแข็งของดิน (Solid volume : Vs) ปริมาตรส่วนที่เป็นน้ำของดิน (Water volume : Vw) และปริมาตรส่วนที่เป็นอากาศของดิน (Air volume : Va) ความหนาแน่นรวม (Bulk density : BD) ความหนาแน่นอนุภาค (Particle density : PD) ความพรุน (Porosity) ปริมาณสัดส่วนของหิน (Rock fragment : RockF) ปริมาณสัดส่วนของรากพืช (Root fragment : RootF)และปริมาณสัดส่วนของดิน (Soil fragment : SoilF) ในแต่ละชั้นดิน อินทรียวัตถุในดิน (Organic matter : OM) พีเอชดิน (pH) อัตราการแทรกซึมของน้ำในดินขณะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated infiltration rate) ปริมาณอนุภาคทราย (Sand) ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง (Silt) ปริมาณอนุภาคดินเหนียว (Clay) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity : CEC) ในขณะที่ตัวแปรสมบัติดินทางสัณฐานวิทยาสนาม (Field soil morphological properties) ที่เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ ได้แก่ ชนิดของโครงสร้างดิน (Structure Type) ขนาดของโครงสร้าง (Structure Grade) ความต้านทางการเปลี่ยนรูปร่าง (Consistence) และความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่าง (Plasticity) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักใช้โปรแกรม XLSTAT version 2017 (Trial version)

วิเคราะห์สมการประมาณค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน

การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้วิธีการ Linear regression จากโปรแกรม XLSTAT version 2017 (Trial version)

แก่นเกษตร 47 (2) : 211-224 (2562). /doi: 10.14456/kaj.2019.39

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรสมบัติดินด้วยวิธีการแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models: GLMs)

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามด้วยวิธีแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models: GLMs) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระบบนิเวศที่ปกคลุมดิน ความลึกของดิน และสถานการณ์เกิดดินถล่ม เนื่องจากปกพืชคลุมดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสมบัติดินได้ (วรนันท์ และคณะ, 2555) ส่วนความลึกดินและการเกิดดินถล่มมักมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงคัดเลือก 3 ปัจจัยดังกล่าว เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่อ AWCA พร้อมทั้งวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ และอิทธิพลของปัจจัยร่วมต่อตัวแปรสมบัติดิน โดยวิเคราะห์ปัจจัยร่วมระหว่างความลึก และระบบนิเวศ (Ecosystem) ปัจจัยร่วมระหว่างความลึก และสถานการณ์เกิดดินถล่ม ปัจจัยร่วมระหว่างระบบนิเวศ และสถานการณ์เกิดดินถล่ม และปัจจัยร่วมทั้งหมดระหว่างความลึก ระบบนิเวศ และสถานการณ์เกิดดินถล่ม โดยวิธีการวิเคราะห์ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics 17.0 for Windows

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดิน

การวิเคราะห์สมบัติดินในระบบนิเวศและสถานการณ์ดินถล่มในพื้นที่ศึกษา พบว่า สมบัติดินชั้นบนของ BN พบปริมาณ Vs น้อยกว่าระบบนิเวศอื่นๆ พร้อมทั้งมี Va และ Porosity มากที่สุด รองลงมาได้แก่ BS FN และ FS ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ BD ที่พบใน BN มีค่าน้อยกว่าระบบนิเวศอื่นๆ ขณะที่ Vw มีความแตกต่างกันระหว่างระบบนิเวศ โดยที่ FN มีปริมาณของ Vw มากกว่า BN แต่ไม่มีความแตกต่างภายใต้สถานการณ์ดินถล่มในระบบนิเวศเดียวกัน ส่วนในดินชั้นล่าง (ความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร) สามารถพบชั้นดินที่ปะปนไปด้วยหิน โดยเฉพาะพื้นที่เกิดดินถล่มที่พบการปะปนของหินในปริมาณมากและเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกดิน อย่างไรก็ตาม ในด้านอุทกวิทยา พบว่า ปริมาณ FC มีค่าสูงทั้ง BN และ FN แต่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบ PWP ซึ่ง FN มีปริมาณ PWP สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Vw ที่แสดงถึงการดูดยึดน้ำไว้ได้ดี มีปริมาณมากเช่นกัน

ความสามารถในการเก็บกักน้ำของดินและความแตกต่างระหว่างระบบนิเวศ และสถานการณ์ดินถล่ม

BN มีค่า AWCA สูงที่สุดในทุกระดับความลึก โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 16.76 เนื่องจากสมบัติดินใน BN มีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุด ขณะที่มีค่า Va และ Porosity สูงที่สุด รวมถึงองค์ประกอบสังคมพืชที่ความหนาแน่นของจำนวนไม้ใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 4.5 ซม) และพืชพื้นล่างระดับสูง (92.27 และ 9,120 ต้น/ไร่) อีกทั้งมีการปกคลุมของพรรณไม้ที่หนาแน่นกว่าระบบนิเวศอื่นๆ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างองค์ประกอบดินที่สำคัญต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน (จรัณธร และคณะ 2559) รองลงมา ได้แก่ FS (ยกเว้นที่ระดับความลึก 0-10 cm และ 10-30 cm) โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.50 ทั้งนี้ FS อยู่บริเวณลาดดินตอนล่าง จึงได้รับอิทธิพลจากการชะล้างหน้าดินและมีการสะสมหน้าดิน อีกทั้งยังมีความหนาแน่นของจำนวนไม้ใหญ่และพืชพื้นล่าง 73.60 และ 15,786.67 ต้นต่อไร่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ BN (จรัณธร และคณะ, 2559) ขณะที่ FN มีค่า AWCA ต่ำที่สุดในทุกระดับความลึก โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.32 แม้ว่า ค่า FC ของดินภายใต้ระบบนิเวศดังกล่าวมีค่าสูงกว่าระบบนิเวศประเภทอื่นเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละชั้นดิน แต่มีค่า PWP สูงในทุกระดับความลึกเช่นกัน จึงส่งผลให้ดินมีค่า AWCA น้อยกว่าระบบนิเวศประเภทอื่นๆ (**Table 1**) เนื่องจาก AWCA เป็นน้ำที่ถูกยึดเหนี่ยวไว้ในดินที่มีช่วงแรงยึดอยู่ระหว่าง FC และ PWP ซึ่งได้รับอิทธิพลจากสมบัติดินที่แตกต่างกันไป (Campos et al., 2016) โดยการศึกษาของ บุญมา และคณะ (2553) ซึ่งบ่งชี้ถึงดินที่มี PWP สูง ทำให้ AWCA ต่ำ โดยเฉพาะพื้นที่การทำสวน (สวนยางพารา) ที่มีการรบกวนพื้นที่จนอาจส่งผลต่อสมบัติดินและการเก็บกักน้ำของดิน

Table 1 Available water capacity (% by weight) in different soil layers under two ecosystems

Depth	Mixed fruit tree-based agroforestry		Bamboo Mixed deciduous forest	
	Non Landslide(FN)	Landslide(FS)	Non Landslide(BN)	Landslide(BS)
0-10 cm	7.87 c ± 1.05	9.66 c ± 0.58	19.25 a ± 1.76	15.54 b ± 1.97
10-30 cm	6.35 c ± 0.21	8.67 bc ± 0.66	16.06 a ± 0.99	10.92 b ± 2.99
30-60 cm	8.67 b ± 2.47	14.68 a ± 1.23	15.76 a ± 0.93	9.37 b ± 2.65
60-80 cm	6.99 c ± 0.68	9.41 b ± 0.52	15.59 a ± 1.32	7.99 bc ± 1.30
80-110 cm	5.51 c ± 1.19	10.77 b ± 0.90	16.39 a ± 1.55	9.50 b ± 1.23
110-150 cm	6.22 b ± 0.01	9.30 b ± 1.00	17.50 a ± 1.49	8.46 b ± 2.81
Average	8.32	12.50	16.76	12.36

Notes: means with different lowercase letters within a row indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

การศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติดินต่อการเก็บกักน้ำในดินของระบบนิเวศ

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสมบัติดินกับความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินใน 2 ระบบนิเวศภายใต้สถานการณ์ปกติ และที่เกิดดินถล่มมีดังนี้

ระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร (FN)

ตัวแปรสมบัติดินที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ AWCA ได้แก่ FC (r = 0.79**) RockF (r = -0.52*) และ SoilF (r = 0.52*) โดยที่ FC และ SoilF มีความสัมพันธ์เชิงบวก โดยทั้ง 2 ตัวแปรมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อศักยภาพสูงสุดในการจุน้ำไว้ในดิน เนื่องจากปริมาณสัดส่วนที่เป็นดิน SoilF สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ตามช่องว่างในดินจึงทำให้เพิ่ม FC และ AWCA ขณะที่ RockF เป็นองค์ประกอบดินที่ไม่สามารถเก็บกักน้ำได้หรือเก็บกักได้น้อยมาก เนื่องจากปริมาณหินส่งผลต่อความหนาแน่นสูงขึ้นและความพรุนลดลง (วิทยา, 2526) ทำให้ AWCA ลดลงตามไปด้วย

ระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่เกิดดินถล่ม (FS)

ระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่เคยเกิดดินถล่ม พบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ AWCA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (*P<0.01*) ได้แก่ PWP (r = -0.68**) Vw (r=-0.64**) Sand (r = -0.70**) และ RootF (r = 0.68**) ซึ่งองค์ประกอบสัดส่วนที่เป็นน้ำ (Vw) มีปริมาณมากทำให้ดินมีแรงดึงน้ำค่อนข้างสูงส่งผลให้พืชไม่สามารถดึงน้ำในดินส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์ได้หรือเรียกว่า จุดเหี่ยวถาวร (PWP) (บุญมา และคณะ, 2553)

ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ (BN)

ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ พบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ AWCA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ FC (r = 0.88**) Clay (r = -0.64**) RootF (r = 0.65**) Vs (r = -0.58*) Va (r = 0.58;*) BD (r = -0.60*) Porosity (r = 0.58*) pH (r = 0.54*) และ CEC (r = 0.53*) โดยที่ FC RootF Va Porosity CEC มีความสัมพันธ์เชิงบวก ขณะที่ Clay Vs และ BD มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ AWCA เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมีเนื้อดินละเอียดมาก อาจส่งผลให้เม็ดดินที่มีขนาดเล็กจับตัวกันแน่น ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยากขึ้น (สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2557)

ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ที่เกิดดินถล่ม (BS)

ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ที่เคยเกิดดินถล่ม พบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ AWCA

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ได้แก่ FC (r = 0.76**) Vs (r = -0.66**) Va (r = 0.69**) BD (r = -0.65**) Porosity (r = 0.66**) อินทรียวัตถุ (r = 0.86**) pH (r = -0.66**) RockF (r = -0.71**) RootF (r = 0.84**) Sand (r = -0.59*) และ SoilF (r = 0.55*) โดยมีลักษณะของตัวแปรเชิงบวกและเชิงลบคล้ายกับป่าเบญจพรรณผสมไผ่ที่ไม่เกิดดินถล่ม แต่สามารถพบความสัมพันธ์ของอินทรียวัตถุต่อ AWCA ได้ชัดเจน เนื่องจากพื้นที่ป่าเกิดดินถล่มมีการสูญเสียหน้าดินค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีสภาพทางสัณฐานวิทยาประกอบด้วยหินเป็นส่วนใหญ่และทำให้มีปริมาณดินน้อย ส่งผลให้อินทรียวัตถุที่สามารถเพิ่มความโปร่งพรุน การระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศได้ดี มีบทบาทในการเก็บกักน้ำของดิน (บุญแสน, 2548)

อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ของตัวแปรสมบัติดินต่อ AWCA ในระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรมีจำนวนน้อย ขณะที่ป่าเบญจพรรณผสมไผ่พบตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ AWCA มากกว่าชัดเจน (**Table 2**) โดยอาจเป็นผลของการทำเกษตรกรรมที่เป็นการรบกวนพื้นที่จากการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน การปรับหน้าดิน การเข้าเก็บเกี่ยวผลผลิต และการทำระบบชลประทาน เป็นต้น ซึ่งทำให้โครงสร้างดินมีความแปรปรวน เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ บุญมา และคณะ (2553) และไม่สามารถบ่งชี้ความสัมพันธ์ได้ชัดเจนในสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร

Table 2 Important factor relationships of soil water holding capacity

Ecosystem	Scenario	Important soil water relationships	
		Positive	Negative
Mixed fruit tree-based agroforestry	Non Landslide	FC, SoilF	RockF
	Landslide	RootF	PWP, Vw, Sand
Bamboo Mixed deciduous forest	Non Landslide	FC, Va, Porosity, pH, RootF, CEC	Vs, BD, Clay
	Landslide	FC , Va, Porosity, OM, Silt, RootF, SoilF	Vs, BD, Soil pH, Sand, RockF

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสมบัติดิน

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสมบัติดินในแต่ละระบบนิเวศภายใต้สถานการณ์ที่เกิดดินถล่มและไม่เกิดดินถล่ม โดยแสดงเฉพาะตัวแปรสมบัติดินที่มีค่า Eigen values มากกว่า 2.0 สำหรับแกนหลักทั้ง 3 แกน (แกน F1, F2 และ F3) ซึ่งมีค่า Eigen values เท่ากับ 7.83 5.18 และ 2.03 ตามลำดับ ทั้ง 3 แกนหลัก สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 71.69 ทั้งนี้ แกน F1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้มากที่สุดคือร้อยละ 37.23% โดยตัวแปร Vs BD RockF และมีลักษณะเป็นพลาสติกเล็กน้อย (Plasticness-SP) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแกน F1 ขณะที่ตัวแปร FC Porosity และ CEC มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามในแกน F1 ซึ่งปริมาณหินและองค์ประกอบดินส่วนที่เป็นของแข็งทำให้ดินมีความหนาแน่นสูง พร้อมทั้งส่งผลให้ความพรุนลดลง (สุนทรี, 2536) ซึ่งช่องว่างในดินที่ลดน้อยลงจะส่งผลต่อความจุน้ำของดินลดลงตามไปด้วย ส่วนแกน F2 พบว่า AWCA, Va, Sand และ RootF ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับ PWP และ Vw ในขณะตัวแปร AWCA และ Infiltration เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกในแกน F3 (**Table 3**)

Table 3 Variable of soil factor applied for PCA and result of PCA

Variable analysis				
FC, PWP, AWCA, Vs, Vw, Va, BD, PD, Porosity, OM, Infiltration, CEC, RockF, RootF, SoilF				
	Value	F1	F2	F3
Variable with high Correlation coefficients (>0.5)	+	Vs, BD, RockF, Plasticness-SP	AWCA, Va, Sand, RootF	AWCA, Infiltration
	-	FC, Porosity, CEC	PWP, Vw	
Contribution		37.32%	24.69%	9.68%

Note: FC = Field capacity; PWP = Permanent wilting point; AWCA = Available water capacity; Vs = Soil volume; Vw = Water volume; Va = Air volume; BD = Bulk density; PD = Particle density; OM = Organic matter; Infiltration, Infiltration rate (Unsaturated soil); CEC = Cation exchangeable capacity. RockF = Rock fragment; RootF = Root fragment; SoilF = Soil fragment.

แผนภาพ Biplot ระหว่างแกน F1 และ F2 ใน **Figure 2** พบว่า ตัวแปรสมบัติดินมีความแตกต่างชัดเจนระหว่างระบบนิเวศทั้ง 2 ประเภท ทั้งเกิดดินถล่มและไม่เกิดดินถล่ม โดยดินชั้นบนของ FN และ FS มีค่า FC, Porosity และ CEC ในปริมาณสูง ส่วนดินชั้นล่างของ FN มีค่า PWP และ Vw ในระดับสูง ขณะที่ดินชั้นล่างของ FS มีค่า PWP Vw และ Infiltration rate ในระดับสูง สำหรับดินชั้นบนของ BN มีค่า FC, CEC, Porosity, AWCA, Va, Sand และ RootF ในระดับสูง ส่วนดินชั้นล่างของ BN มีค่า BD, Vs, RockF, AWCA และ Infiltration rate ในระดับสูง และยังมีลักษณะเป็นพลาสติกเล็กน้อย (Slightly plastic: Plasticness-SP) ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับดินชั้นล่างของ BS ขณะที่ดินชั้นบนของป่า BN และ BS มีค่า AWCA, Va, Sand และ RootF ค่อนข้างสูงกว่า FN นอกจากนี้ วิทยา (2526) กล่าวว่า ความหนาแน่นรวมของดินที่เพิ่มขึ้นสามารถส่งผลให้ความพรุนของดินลดลง และช่องว่างในดินมีน้อย จึงมีอิทธิพลในเชิงลบต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน รวมถึงอนุภาคดินเหนียวมีเนื้อดินละเอียดมาก อาจส่งผลให้เม็ดดินที่มีขนาดเล็กจับตัวกันแน่น ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยากขึ้น (สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2557) ซึ่งอาจส่งผลให้ FN มี PWP ที่สูง

อย่างไรก็ตาม แผนภาพ Biplot ระหว่างแกน F2 และ F3 ใน **Figure 2** แสดงให้เห็นถึงสมบัติของดินในแต่ละระบบนิเวศมีลักษณะเฉพาะอย่างชัดเจน โดยเฉพาะชั้นผิวดินที่ระดับความลึก 0-10 cm ของ BN มีค่า AWCA, Va และ RootF ในระดับที่สูงมาก ขณะที่ดินชั้นล่างของค่า PWP ระดับต่ำ นอกจากนี้ ดินชั้นล่างของ BN มี Infiltration ในระดับสูง ส่วน BS มีลักษณะเด่น คือ พบ Sand และ RootF ในปริมาณสูง แต่มีปริมาณค่า PWP และ Vw ค่อนข้างต่ำ ขณะที่ FN มีค่า Vw และ PWP สูงที่สุด แต่มีค่า AWCA Va และ Infiltration ค่อนข้างต่ำ ส่วนดินชั้นล่างของ FS มี Infiltration ในระดับสูง แต่มีปริมาณ Va และ RootF ค่อนข้างต่ำ โดยที่ Va หรือช่องว่างในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อ AWCA (Liu et al., 2014) ดังนั้น ดินใน BN จึงมีค่า AWCA สูงกว่าระบบนิเวศประเภทอื่น ดังแสดงใน **Figure 2** โดยผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ บุญมา และคณะ (2553) ที่พบว่า ความพรุนและปริมาณช่องว่างในดินส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการเก็บกักน้ำในดิน

การวิเคราะห์สมการประมาณค่า (Regression Analysis)

การวิเคราะห์สมการประมาณค่า FC, PWP และ AWCA ด้วยวิธีสมการการถดถอยเชิงเส้น โดยใช้ตัวแปรสมบัติดินในการประมาณค่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินในพื้นที่แหล่งต้นน้ำ พบว่า ตัวแปรสมบัติดินด้านฟิสิกส์มีอิทธิพลต่อการเก็บกักน้ำของดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะองค์ประกอบดิน เนื้อดิน ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นอนุภาคของดิน ความพรุน และสัดส่วนปริมาณของรากพืช ซึ่งในแต่ละ

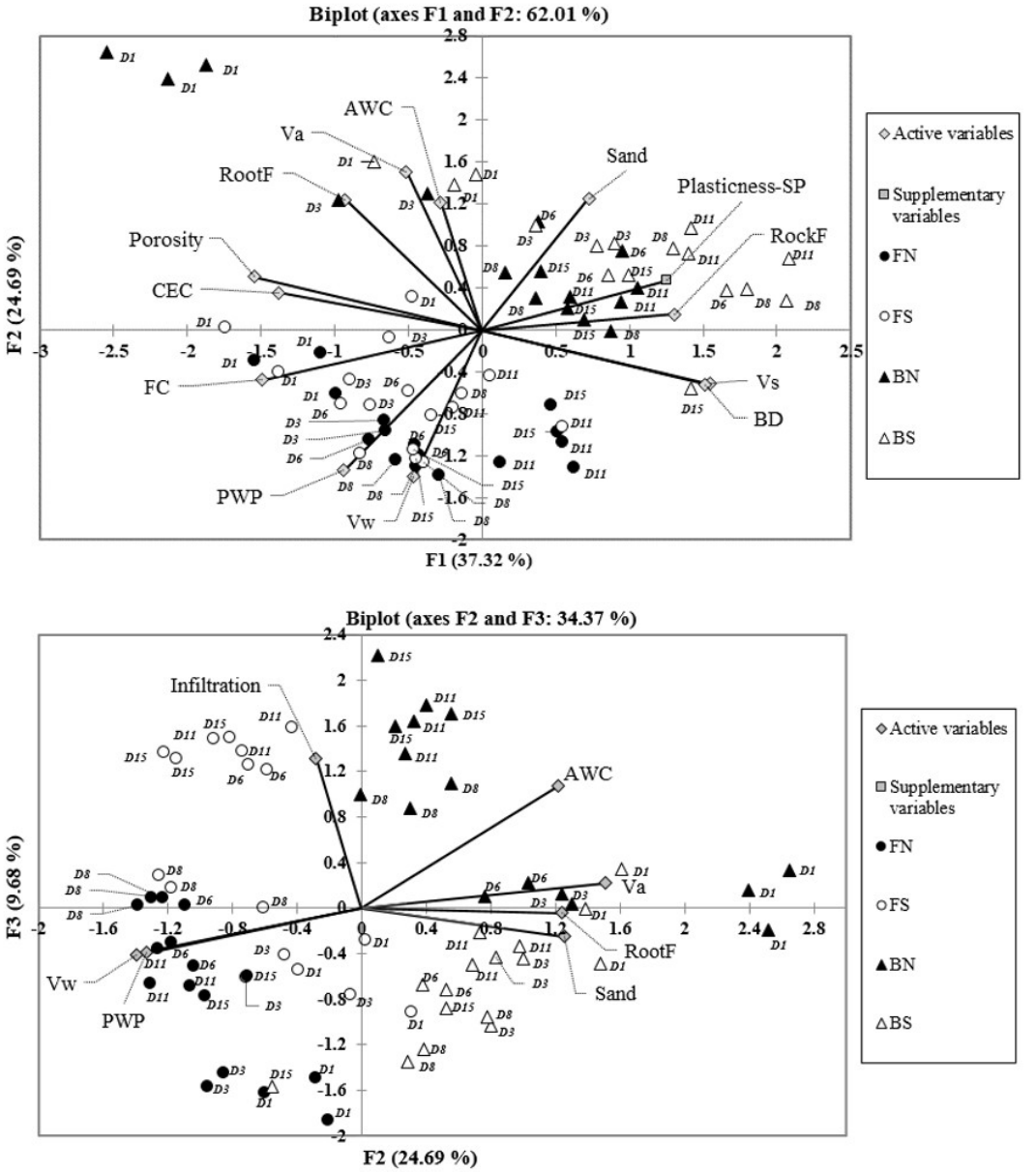


Figure 2 Bi-plots of F1-F2 and F2-F3 of the soil properties in relation to soil layers and ecosystem types.

Note: FN (●) : Mixed fruit tree-based agroforestry, FS (○): Landslide-damaged mixed fruit tree-based agroforestry, BN (▲): Mixed deciduous forest with bamboo, BS (△): Landslide-damaged mixed deciduous forest with bamboo. Plasticity: np, non plastic; sp, slightly plastic; p, plastic; vp, very plastic. Soil layer Depth, D1 : 0-10 cm; D3 : 10-30 cm; D6 30-60 cm; D8 : 60-80 cm; D11 : 80-110 cm; D15 : 110-150. (Correlation coefficients >0.5).

ระบบนิเวศมีตัวแปรสมบัติดินที่ใช้ประมาณค่าแตกต่างกันไปตามความสัมพันธ์และอิทธิพลของตัวแปรในระบบนิเวศนั้นๆ โดยผลการประมาณค่าในแต่ละระบบนิเวศมีดังนี้

ระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่ไม่เกิดดินถล่ม (FN)

FC = 2.60+0.54[%Clay] R^2=0.499

PWP = 17.61+0.74[Water volume]-12.93[Bulk density] R^2=0.998

AWCA = 3.44+0.05[Soil fragment] R^2=0.271

ระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่เคยเกิดดินถล่ม (FS)

FC = 11.64+0.62[Water volume]+0.60[Root fragment] R^2=0.759

PWP = 16.90+0.73[Water volume]-12.24[Bulk density] R^2=0.995

AWCA = 25.86-0.27[%Sand]-0.26[Rock fragment]-0.23[CEC] R^2=0.863

ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ (BN)

FC = 17.29+0.24[K]+0.69[Root fragment] R^2=0.807

PWP = -6.76-0.73[Air volume]+0.90[Porosity]-0.04[%Clay] R^2=0.991

AWCA = 62.43-17.26[Particle density]+0.20[Root fragment] R^2=0.551

ระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ที่เคยเกิดดินถล่ม (BS)

FC = 44.93-0.50[Soil volume] R^2=0.658

PWP = 5.20+0.21[Water volume] R^2=0.515

AWCA = 4.93+0.11[Air volume]+0.58[Root fragment] R^2=0.697

สมการสมการประมาณค่าความสามารถในการเก็บกักน้ำในดินโดยทั่วไป มักใช้เนื้อดินในการประมาณค่าดังการศึกษาของ Mbah (2012) และ Jiang et al. (2007) ขณะที่การศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวแปรคุณสมบัติดินด้านกายภาพ อุทกวิทยา และเคมี เนื่องจากแต่ละระบบนิเวศในพื้นที่ศึกษามีโครงสร้างดิน สมบัติดิน และองค์ประกอบต่างๆ ในดินแตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องในการวิเคราะห์สมการประมาณค่า AWCA ตามสภาพความเป็นจริง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์สมการประมาณค่าสามารถนำไปใช้ในการประเมิน AWCA ในแหล่งต้นน้ำตำบลแม่พูลได้ดีใน FS BN และ BS ขณะที่ FN ควรใช้การหา AWCA จากผลความต่างของสมการ FC และ PWP

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามด้วยวิธีการแบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (GLMs) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความลึกดิน ระบบนิเวศ และสถานการณ์ดินถล่ม มีอิทธิพลต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดิน (AWCA) ทั้งหมด นอกจากนี้การวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัย พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความลึกและระบบนิเวศ มีอิทธิพลต่อความ AWCA ส่วนปัจจัยร่วมระหว่างความลึกและสถานการณ์เกิดดินถล่ม ไม่มีอิทธิพลต่อ AWCA ขณะที่ปัจจัยร่วมระหว่างระบบนิเวศและสถานการณ์เกิดดินถล่ม มีอิทธิพลต่อ AWCA และเมื่อวิเคราะห์ปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัย พบว่า ไม่มีอิทธิพลต่อ AWCA (**Table 4**) ทั้งนี้ ปัจจัยที่มีอิทธิพลชัดเจนที่สุด คือ ระบบนิเวศ เนื่องจากพบความแปรปรวนมากที่สุดเมื่อแบ่งชุดข้อมูลตามระบบนิเวศ นอกจากนี้ในพื้นที่ศึกษามีการคัดเลือกและบุกรุกทำลายป่าธรรมชาติที่มีความเหมาะสมต่อทำสวนผลไม้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) ดังนั้น พื้นที่การทำสวนไม้ผลจึงมีลักษณะแตกต่างกับป่าธรรมชาติ ซึ่งอาจรวมถึงสมบัติดินด้วย ขณะที่การวิเคราะห์แบบเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยความลึกกับการเกิดดินถล่ม และความเชื่อมโยงทั้ง 3 ปัจจัย ไม่มีอิทธิพลต่อ AWCA มีสาเหตุมาจากเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยมีความแปรปรวนของ AWCA ต่ำ ส่งผลให้ไม่อิทธิพลของปัจจัยร่วมมีค่าต่ำไปด้วย

Table 4 Results of factors analysis influencing available water by generalized linear models (GLMs)

Factors	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Soil depth	84.590	5	16.918	6.726	<0.001*
Ecosystem	383.791	1	383.791	152.583	<0.001*
Landslide	36.307	1	36.307	14.434	<0.001*
Depth * Ecosystem	88.564	5	17.713	7.042	<0.001*
Depth * Landslide	15.816	5	3.163	1.258	0.300
Ecosystem * Landslide	402.469	1	402.469	160.008	<0.001*
Depth * Ecosystem * andslide	28.910	5	5.782	2.299	0.062

* Significant at 0.05 pobility (*P<0.05*)

สรุป

BN มี AWCA สูงที่สุดในทุกระดับความลึก รองลงมาเป็น FS BS และ FN ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละระบบนิเวศมีตัวแปรสมบัติดินที่เป็นองค์ประกอบหลักที่แตกต่างกัน โดย BN มี Va และ Infiltration ค่อนข้างสูง ส่วน BS มี Sand และ RootF ในปริมาณสูง แต่มีปริมาณค่า PWP และ Vw ค่อนข้างต่ำ ส่วน FN มีค่า Vw และ PWP สูงที่สุด แต่มีค่า Va และ Infiltration ค่อนข้างต่ำ และ FS มี Infiltration ในระดับสูง แต่มีปริมาณ Va และ RootF ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า FC RootF Va Porosity pH และ CEC มีความสัมพันธ์กับ AWCA ในเชิงบวก ส่วน Vs BD และ Clay มีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อ AWCA ดังนั้น BN จึงมีปริมาณ AWCA สูงที่สุด ขณะที่ปัจจัยด้านความลึกดิน ระบบนิเวศ และการเกิดดินถล่ม ทั้ง 3 ปัจจัยสามารถส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง AWCA โดยเฉพาะปัจจัยระบบนิเวศ ส่วนการวิเคราะห์สมการประมาณค่าสามารถนำไปใช้ในการประเมินความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินในแหล่งต้นน้ำตำบลแม่พูลได้ดีใน FS BS และ BN ขณะที่ระบบ FN ควรใช้การหาความสามารถในการเก็บกักน้ำจากผลความต่างของสมการ FC และ PWP ทั้งนี้ บริเวณพื้นที่ตำบลแม่พูลยังมีประเภทของป่าหรือการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ นอกจากระบบนิเวศหลักในการศึกษาครั้งนี้ โดยมีการทำการเพาะปลูกสวนไม้ผลหลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นสวนไม้ผลผสมและสวนไม้ผลเชิงเดี่ยว ซึ่งการศึกษาสมบัติดินและการเก็บกักน้ำให้มีความละเอียดในแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดินจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่ต้นน้ำแม่พูลได้อย่างยั่งยืน

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาที่ได้ร่วมแสดงความคิดเห็นในการอำนวยความสะดวกและอนุญาตให้ใช้พื้นที่เพื่อศึกษาโครงสร้างและสัณฐานวิทยาของหน้าตัดชั้นดินอันเป็นข้อมูลที่สำคัญยิ่งสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดินต่อความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินในพื้นที่แหล่งต้นน้ำที่ได้รับผลกระทบจากดินถล่ม

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2554. แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชน จังหวัดอุตรดิตถ์. รายงานฉบับสมบูรณ์. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. http://www.dmr.go.th/download/north/Uttaradit_final.pdf. ค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2561.

จรัณธร บุญญานุภาพ, ประสิทธิ์ ทองเล่ม และ แหลมไทย อาษานอก. 2559. การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของวิธีเพิ่มเสถียรภาพของลาดดินสำหรับการป้องกันดินถล่มบริเวณพื้นที่ตำบลแม่พูล: นัยสู่การจ่ายค่าตอบแทนการให้บริการของระบบนิเวศ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มูลนิธิชัยพัฒนา.

จรัณธร บุญญานุภาพ และ ประสิทธิ์ ทองเล่ม. 2556. การประเมินศักยภาพที่ดินและแนวทางการจัดรูปที่ดินเพื่อกำหนดเขตเกษตรเศรษฐกิจและพื้นที่คุ้มครองบริเวณแหล่งต้นน้ำบนพื้นที่ภูเขาสูงชัน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.).

ชลดา อ่อนอาษา. 2551. ความผันแปรของความชื้นในดินในป่าดิบแล้งที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศระดับต่าง ๆ. สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

บัญชา รัตนีทู. 2552. ปุ๋ยอินทรีย์ฟื้นฟูสภาพดิน. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 1: 1-16

บุญมา ดีแสง, ชลดา อ่อนอาษา และ พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล. 2553. ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินลุ่มน้ำระยอง. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. 2548. บทเรียน E – learning วิชาปฐพีวิทยา. สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. http://elearning.nsru.ac.th/web_elearning/soil/lesson_3_5.php. ค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2561.

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล, สำเริง ปานอุทัย และ พิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์. 2554. บทบาททรัพยากรป่าไม้กับปัญหาน้ำบ่าไหลหลาก-แผ่นดินถล่ม: ข้อสังเกตจากข้อมูลเชิงประจักษ์.ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ, กรมอุทยานสัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

วรนันท์ สนกันหา, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, ศุภิฌา ธนะจิตต์, เอิบ เขียวรื่นรมณ์ และ ทักษิณ อาชวาคม. 2555. ลักษณะดินภายใต้สภาพป่าต่างชนิดบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช. แก่นเกษตร. 40: 7-18.

วิทยา ตรีโลเกศ. 2526. สมบัติการนำน้ำ และความเป็นประโยชน์ต่อพืชของน้ำในดินชุดหลักของบริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2557. สมบัติที่สำคัญๆ ของดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2536. บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 4. ฝ่ายโรงพิมพ์ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพฯ.

Alliaume, F., W.A.H. Rossing, M. García, K.E. Giller and S. Dogliotti. 2013. Changes in soil quality and plant available water capacity following systems re-design on commercial vegetable farms. European Journal of Agronomy. 46:10 - 9.

Blake, G. R and K. H. Hartge. 1986. Bulk density, In: Klute, Ed. A. Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, SSSA Book Series 5. Soil Science Society of America, Madison.

Campos, I., J. G. Piqueras, A. Carrara, J. Villodre and A. Calera. 2016. Estimation of total available water in the soil layer by integrating actual evapotranspiration data in a remote sensing-driven soil water balance. Journal of Hydrology. 534: 427- 439.

Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, In Methods of Soil Analysis, C.A. Black, editor. Agronomy no. 9, Part 1. American Society of Agronomy, Madison.

Easton, Z. M. 2016. Soil and Soil Water Relationships. VCE publication. BSE-194.

Jiang, P., S.H. Anderson, N.R. Kitchen, K.A. Sudduth and E.J. Sadler. 2007. Estimating plant-available water capacity for claypan landscapes using apparent electrical conductivity. Soil Science Society of America Journal. 71: 1903-1908.

Kirkham, M. B. 2014. Chapter 10 – Field Capacity, Wilting Point, Available Water, and the Nonlimiting Water Range. Principles of Soil and Plant Water Relations. 32: 153-170.

Liu, J., C. H. Wei, Q. Xie, and W. H. Zhang. 2014. Capacities of soil water reservoirs and their better regression models by combining "merged groups PCA" in Chongqing, China. Acta Ecologica Sinica. 34: 53-65.

Mbah, C.N. 2012. Determining the field capacity, wilting point and available water capacity of some southeast Nigerian soils using soil saturation from capillary rise. Nigerian Journal of Biotechnology. 24: 35-42.

Peech, M. 1965. Hydrogen-ion Activity, In Methods of Soil Analysis, C.A. Black, Ed. Agronomy no. 9, Part 2. American Society of Agronomy, Madison.

Poesen, J. and B. Lavee. 1994. Rock fragments in top soils: significance and processes. Catena. 23: 1-28.