การประเมินมูลค่าคาร์บอนและธาตุอาหารสะสม ในดินป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

Evaluation of Accumulated Carbon and Nutrients in Montane Forest Soils at Doi Inthanon, Chiang Mai Province

ขนิษฐา เสถียรพีระกุล[1/] สุนทร คำยอง[1/] นิวัติ อนงค์รักษ์[1/] และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง[2/]*

Kanitta Satienperakul[1/], Soontorn Khamyong[1/], Niwat Anongrak[1/] and Kriangsak Sri-ngernyuang[2/]*

Abstract: Evaluation of accumulated carbon and nutrients in Montane forest soils was studied at Doi Inthanon, Chiang Mai Province. A 15-ha permanent plot (1,700 m MSL) was established, and 3, 50x50 m^2 sampling plots were arranged along slope gradient. A soil pit was made in each site to the depth of 2.00 meters. Soil samples were taken from 13 depths; 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, 120-140, 140-160, 160-180 and 180-200 cm. The samples were later analyzed for physical and chemical properties in a laboratory. Accumulated nutrients valued in soil were adopted by market valuation and cost replacement method.

The results showed that the soil texture was mainly sandy loam. Specific properties of the top soils were observed; bulk density: low; soil reaction: very strongly acid to extremely acid; organic matter and carbon: very high; total nitrogen: medium to high. Extractable K was high throughout the soil profiles at all slope whereas available P, extractable Ca, Mg and Na were low to very low. The high amounts of organic matter, carbon and nitrogen were found in the top soils and lower in the subsoils. Valuation of carbon, available nitrogen and phosphorus, extractable potassium, calcium, magnesium and sodium were 170.73, 7,962.31, 1,197.25, 48,531.97, 3,286.77, 787.84 and 744.31 baht/ha, respectively. The total value was calculated as 62,681 baht/ha.

Keywords: Montane forest, valuation of soil carbon, valuation of soil nutrients

[1/] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

[2/] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

[1/] Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

[2/] Faculty of Architecture and Environmental Design, Mae Jo University, Chiang Mai 50200, Thailand

* Corresponding author E-mail: kanitta@mju.ac.th

บทคัดย่อ: ประเมินมูลค่าคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดินป่าดิบเขา ดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ในแปลงสุ่มตัวอย่างแบบถาวร ขนาด 15 เฮกตาร์ (1,700 ม. ร.ท.ก.) โดยใช้แปลงสุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 แปลง ขนาด 50 x 50 ตร.ม. วางกระจายตามพื้นที่ลาดเท ขุดหลุมดินลึกถึง 200 ซม. 3 หลุม เก็บตัวอย่างดินตามความลึก 13 ระดับ คือ 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, 120-140, 140-160, 160-180 และ 180-200 ซม. เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ และประยุกต์ใช้วิธีการตีมูลค่าทางการตลาดและต้นทุนที่ต้องจ่ายเพื่อฟื้นฟูคืนสภาพเดิม ในการประเมินมูลค่าของธาตุอาหารที่สะสมในชั้นดิน พบว่า เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ในดินชั้นบนมีความหนาแน่นรวมของดินต่ำ ค่าปฏิกิริยาของดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดรุนแรงมาก อินทรียวัตถุและคาร์บอนมีค่าสูงมาก ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าปานกลางถึงสูงในดินชั้นบน โพแทสเซียมที่สกัดได้มีสูงมากตลอดชั้นดิน ขณะที่ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมมีค่าต่ำถึงต่ำมาก ปริมาณการสะสมของอินทรียวัตถุ คาร์บอนและไนโตรเจนในดินชั้นบนมากและลดลงในชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป มูลค่าของการสะสมคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกเนเซียม และโซเดียม เท่ากับ 170.73, 7,962.31, 1,197.25, 48,531.97, 3,286.77, 787.84 และ 744.31 บาทต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่ารวม เท่ากับ 62,681 บาทต่อเฮกตาร์

คำสำคัญ: ป่าดิบเขา มูลค่าคาร์บอนในดิน มูลค่าธาตุอาหารในดิน

คำนำ

ป่าดิบเขาในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 สังคมย่อย (subtype communities) คือ ป่าดิบเขาระดับต่ำ (lower montane forests) พบที่ระดับความสูงประมาณ 1,000-1,800 ม. และป่าดิบเขาระดับสูง (upper montane forests) พบในระดับความสูงเกิน 1,800 ม. ขึ้นไป (Santisuk, 1988) มีเมฆหมอกปกคลุม อากาศหนาวเย็น มีความชุ่มชื้นสูงตลอดปี และเป็นป่าต้นน้ำลำธารที่สำคัญของประเทศ ในระบบนิเวศป่าไม้ความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันระหว่าง ดิน น้ำและป่าไม้ ก่อให้เกิดการหมุนเวียนของสสารและพลังงาน ป่าไม้เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารที่สำคัญ ทั้งการสะสมในรูปของเนื้อไม้และการสะสมในดินป่าไม้ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์สาร ดินป่าไม้ชนิดต่าง ๆ มีการสะสมธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ไม้เด่น ชนิดพันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่เป็นองค์ประกอบ ความผันแปรของสภาพภูมิประเทศและชนิดหินต้นกำเนิดดิน โดยปกติดินป่าไม้มีความแตกต่างจากดินเกษตรกรรม ดินป่าทุ่งหญ้าหรือดินทะเลทรายอยู่หลายประการ เช่น การสะสมของอินทรียวัตถุ ปริมาณซากพืชชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ดิน นอกจากนี้ดินป่าไม้ยังมีความสำคัญในทางอุทกวิทยา คือ เป็นแหล่งกักเก็บและปลดปล่อยน้ำ (เกษม, 2551) การทำลายป่าไม้ที่ปกคลุมดินถือเป็นการทำลายแหล่งน้ำ ทำลายดินและทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากการพัดพาของน้ำไปในรูปตะกอนด้วย โดยเฉพาะบนพื้นที่สูงที่เป็นป่าดิบเขา ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงชันง่ายต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน การตัดไม้ทำลายป่าบนพื้นที่สูงในภาคเหนือของประเทศไทย ทำให้การกักเก็บปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารโดยเฉพาะคาร์บอนในระบบนิเวศลดลงอย่างมากและกระทบต่อภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ดังนั้นการวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินมูลค่าของปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดินป่าดิบเขา บริเวณดอยอินทนนท์ ซึ่งมีสภาพป่าอุดมสมบูรณ์มาก เพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณประโยชน์ทางอ้อมของป่าดิบเขาในการช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

อุปกรณ์และวิธีการ

ลักษณะพื้นที่และภูมิอากาศ

พื้นที่วิจัยเป็นพื้นที่ป่าดิบเขา ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 18°31'24" N เส้นแวงที่ 98°29' 42" E มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,700 ม. พื้นที่แปลงทดลองเป็นแปลงถาวร ขนาด 15 เฮกตาร์ (500 x 300 ตร.ม.)

ภายใต้เครือข่ายของ CTFS (Center for Tropical Forest Science) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ จากสถานีตรวจวัดอากาศของสถานีวิจัยเกษตรหลวงดอยอินทนนท์ มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี ประมาณ 1,908 มม. (ปี 2536-2542) โดยมีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 1,229–2,561 มม. สภาพอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (tropical monsoonal climate) ระดับความสูงตั้งแต่ 1,500 ม. ขึ้นไป สภาพป่ามีเมฆและหมอกปกคลุมเกือบตลอดทั้งปี (Santisuk, 1988) อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 20 องศาเซลเซียส พื้นที่วิจัยมีความลาดชันตั้งแต่ 0-45.6 องศา มีระดับความสูงของพื้นที่แตกต่างกันประมาณ 78 ม. วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินแกรนิต ในยุคพรีแคมเบรียน (Pampasit, 1995)

การเก็บตัวอย่างดิน และการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

วางแปลงทดลองขนาด 15 เฮกตาร์ สุ่มตัวอย่างแปลงขนาด 50x50 ตร.ม. จำนวน 3 แปลง กระจายอยู่ตามความลาดเท คือ ส่วนบนของความลาดเท (upper slope) ส่วนกลาง (middle slope) และส่วนล่าง (lower slope) ทำการขุดหลุมทดลอง จำนวน 1 หลุมต่อแปลง แต่ละหลุมขุดดินลึก 200 ซม. และเก็บตัวอย่างดินในหลุมดินแต่ละหลุมตามระดับความลึก 13 ระดับ คือ 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, 120-140, 140-160, 160-180 และ 180-200 ซม. มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน ทำการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคดินโดยวิธี hydrometer method และหาความหนาแน่นรวมของดินโดยวิธี core method ของชั้นดินแต่ละชั้น ศึกษาสมบัติเคมีของดินใน ห้องปฏิบัติการ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) โดยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม

การประเมินมูลค่าคาร์บอนและธาตุอาหารในดิน

การหาปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดิน พิจารณาปริมาณมวลดินต่อหน่วยพื้นที่ เพื่อคำนวณหาปริมาณของธาตุอาหารสะสมในดิน ที่ระดับความลึก 0-100 ซม. และประเมินมูลค่ารวมของธาตุอาหารที่สะสมในชั้นดิน โดยประยุกต์ใช้วิธีการตีมูลค่าทางการตลาด (market valuation) มาคำนวณต้นทุนที่ต้องจ่ายเพื่อฟื้นฟูคืนสภาพเดิม (cost replacement method) (พงษ์ศักดิ์ และพิณทิพย์, 2552) ทั้งนี้มูลค่าของคาร์บอนในดิน ประเมินจากการซื้อขายคาร์บอนในตลาดโลก โดยเป็นการซื้อขายในตลาดแบบสมัครใจ (voluntary carbon market: VCM) (Katherine, *et al.* 2008.) มูลค่าการซื้อขายคาร์บอนเท่ากับ 0.05 US$ $tonC^{-1}$ หรือ 1.52 บาทต่อตันคาร์บอน (อัตราแลกเปลี่ยน 30.42 บาทต่อดอลล่าห์สหรัฐ) และประเมินมูลค่าของธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) จากปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในแต่ละชั้นดินต่อหน่วยพื้นที่ ประเมินจากราคาของปุ๋ยยูเรีย (ธาตุไนโตรเจน) ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (ฟอสฟอรัส) ปุ๋ยโปแตสเซียมคลอไรด์ (โพแทสเซียม) ปูนโดโลไมต์ (แคลเซียมและแมกเนเซียม) และเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (โซเดียม) ซึ่งราคาของปุ๋ยเคมีต่อราคา 1 กระสอบน้ำหนัก 50 กก. มีดังนี้ ราคาปุ๋ยยูเรีย (46%N สำหรับธาตุไนโตรเจน) 600 บาท ราคาปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (46%P_2O_5 สำหรับธาตุฟอสฟอรัส) 600 บาท ราคาปุ๋ยโปแตสเซียมคลอไรด์ (60%K_2O สำหรับธาตุโพแทสเซียม) 400 บาท ปูนโดโลไมต์ (31%CaO, 21%MgO สำหรับธาตุแคลเซียมและแมกเนเซียม) 1,500 บาท/ตัน และเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ บริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (39%Na สำหรับธาตุโซเดียม) 923.45 บาท/ตัน เมื่อคำนวณเปรียบเทียบราคาปุ๋ยต่อน้ำหนักธาตุอาหารพืช 1 หน่วย (กิโลกรัม) เท่ากับ 26.09 , 26.09 , 13.33 , 5.77 , 5.77 และ 2.37 บาท/กก. ตามลำดับ ทั้งนี้การประเมินมูลค่าธาตุอาหารสะสมในดินพิจารณาจากธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (readily available form) โดยเปลี่ยนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่สกัดได้ (exchangeable forms) ณ ช่วงเวลาที่ศึกษาให้อยู่ในรูปธาตุอาหารที่ปลดปล่อยและพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้

ผลการศึกษา

1. **สมบัติทางกายภาพของดิน** (physical properties)

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ความหนาแน่นรวม (bulk density) ดินชั้นบนในป่าดิบเขาที่ความลึก 0-40/60ซม. มีค่าความหนาแน่นต่ำถึงต่ำมาก และเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำในดินชั้นล่าง โดยเฉพาะดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. มีค่าผันแปรระหว่าง 0.43-0.65 mg/m^3 พบปริมาณก้อนกรวด (gravel) ในชั้นดินน้อย ผันแปรระหว่าง 0.07-17.30% ความหนาแน่นต่ำเกิดจากมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินมาก

เนื้อดิน (soil texture) การกระจายของอนุภาคดิน (soil particle-size distribution) ดินในป่าดิบเขานั้นพบว่ามีอนุภาคทราย (sand) มากที่สุด มีปริมาณผันแปรระหว่าง 49.20-74.70% โดยมีปริมาณมากในดินชั้นบนและมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) มีน้อยในดินชั้นบนและเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน อนุภาคทรายแป้งผันแปรระหว่าง 11.20-31.70% อนุภาคดินเหนียวผันแปรระหว่าง 9.80-25.90% ส่งผลทำให้ดินชั้นบนทุกพื้นที่เป็นดินเนื้อหยาบแบบดินร่วนปนทราย (sandy loam) และดินชั้นล่างเป็นดินเนื้อปานกลางและเนื้อละเอียดประกอบด้วยดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) และดินร่วน (loam) ยกเว้นพื้นที่ด้านล่าง (lower slope) ที่พบดินร่วนปนทรายเกือบทุกระดับความลึกและมีการสะสมของดินเหนียวในดินล่างบ้าง ซึ่งผันแปรระหว่างหลุมดิน จึงจัดจำแนกดินให้อยู่ใน order ultisols ซึ่งเป็นดินที่มีพัฒนาการมานานและมีร้อยละของการอิ่มตัวด้วยเบสต่ำ

2. **สมบัติทางเคมีของดิน** (chemical properties)

สมบัติทางเคมีของดินมีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยเกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินในป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ แสดงในตารางที่ 2

ค่าปฏิกิริยาดิน (soil reaction) มีความแตกต่างกันระหว่างดิน 3 หลุมบนพื้นที่ลาดเท ชั้นดินบนที่ระดับความลึก 0-30 ซม. ของพื้นที่ด้านลงมีค่าปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid) (pH = 3.38-4.60) และเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดมากในดินชั้นลึกลงไปดินชั้นบน (ความลึก 0-60 ซม.) ในพื้นที่ส่วนไหล่เขาเป็นกรดจัดมาก (strongly acid) และกรดจัดในดินชั้นที่ลึกลงไป ส่วนดินชั้นบน (ความลึก 0-60 ซม.) ในพื้นที่บนเนินเป็นกรดจัดมากถึงรุนแรงมาก มีค่า pH = 3.53-5.84 ขณะที่ดินชั้นล่าง มีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของปฏิกิริยาดิน เช่น ความผันแปรของสภาพภูมิประเทศ ชนิดพันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ เป็นต้น

ปริมาณอินทรียวัตถุและความเข้มข้นของธาตุอาหาร (nutrient contents) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ของสามพื้นที่มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (48.5-130.20 g/kg) และลดลงตามความลึก ปริมาณคาร์บอนมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอินทรียวัตถุ ดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. มีปริมาณคาร์บอนสูงมาก (48.5-75.52 g/kg) มีไนโตรเจนทั้งหมดในระดับสูง ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. (5.20-6.80 g/kg) และลดลงตามความลึก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่มีค่าค่อนข้างต่ำถึงต่ำ (0.76-5.16 mg/kg) ตลอดชั้นดิน ยกเว้นดินที่ความลึก 0-10 ซม. ของดินด้านล่างของพื้นที่ลาดเท มีค่าปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ ขณะที่โพแทสเซียมที่สามารถสกัดได้มีค่าสูงมากตลอดชั้นความลึกของดิน (121.91-479.05 mg/kg) แคลเซียมที่สามารถสกัดได้อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก(5.72-172.39 mg/kg) และค่าแมกนีเซียมที่สกัดได้ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำมาก (2.82-32.70 mg/kg) ยกเว้นดินที่ความลึก 0-10 ซม. ตรงพื้นที่ไหล่เขาที่มีค่าปานกลาง เช่นเดียวกับค่าโซเดียมที่สกัดได้ที่มีค่าต่ำทุกระดับชั้นความลึกของดิน (21.41-37.39 mg/kg)

Table 1 Some physical properties in soil profiles of montane forest at Doi Inthanon

Location	Soil depth	Bulk Density		Gravel	Soil particle-size distribution (%)			Soil texture
	(cm)	(mg/m^3)	Rating[1/]	(%)	Sand	Silt	Clay	
Upper	0-5	0.43	L	0.00	69.6	16.3	14.1	Sandy loam
slope	5-10	0.44	L	0.07	67.0	15.5	17.5	Sandy loam
	10-20	0.77	L	3.08	59.4	18.1	22.5	Sandy clay loam
	20-30	1.02	L	0.00	56.8	20.7	22.5	Sandy clay loam
	30-40	1.13	L	0.14	51.7	22.4	25.9	Sandy clay loam
	40-60	1.26	ML	0.95	49.2	24.9	25.9	Sandy clay loam
	60-80	1.21	ML	0.00	51.7	29.1	19.2	Loam
	80-100	1.28	ML	0.06	51.7	31.7	16.6	Loam
	100-120	1.34	ML	0.10	51.7	31.7	16.6	Loam
	120-140	1.34	ML	0.01	54.3	29.9	15.8	Sandy loam
	140-160	1.36	ML	0.00	56.9	26.6	16.5	Sandy loam
	160-180	1.17	L	0.00	54.4	20.6	25.0	Sandy clay loam
	180-200	1.25	ML	0.00	62.0	24.1	13.9	Sandy loam
Middle	0-5	0.54	L	1.45	74.7	15.5	9.8	Sandy loam
slope	5-10	0.69	L	17.30	69.6	15.5	14.9	Sandy loam
	10-20	0.76	L	2.40	64.6	17.2	18.2	Sandy loam
	20-30	0.78	L	1.84	59.5	19.8	20.7	Sandy clay loam
	30-40	0.87	L	4.98	56.9	17.3	25.8	Sandy clay loam
	40-60	1.31	ML	0.82	54.4	21.5	24.1	Sandy clay loam
	60-80	1.41	ML	1.96	51.8	24.1	24.1	Sandy clay loam
	80-100	1.34	ML	0.73	49.3	26.6	24.1	Sandy clay loam
	100-120	1.46	ML	0.66	51.8	24.1	24.1	Sandy clay loam
	120-140	1.19	L	0.09	54.4	23.2	22.4	Sandy clay loam
	140-160	1.27	ML	0.13	51.8	26.6	21.6	Sandy clay loam
	160-180	1.25	ML	0.81	51.8	28.4	19.8	Loam
	180-200	1.24	ML	0.42	56.9	25.8	17.3	Sandy loam
Lower	0-5	0.51	L	2.63	74.7	11.2	14.1	Sandy loam
slope	5-10	0.65	L	1.03	72.1	13.8	14.1	Sandy loam
	10-20	0.71	L	2.99	64.5	16.4	19.1	Sandy loam
	20-30	0.67	L	3.51	64.5	16.4	19.1	Sandy loam
	30-40	0.78	L	1.86	64.5	15.6	19.9	Sandy loam
	40-60	0.91	L	2.32	59.4	19.8	20.8	Sandy clay loam
	60-80	1.20	L	0.48	64.5	23.2	12.3	Sandy loam
	80-100	1.11	L	1.21	62.0	20.6	17.4	Sandy loam
	100-120	1.21	ML	0.19	61.4	24.5	14.1	Sandy loam
	120-140	1.09	L	1.78	61.4	26.3	12.3	Sandy loam
	140-160	1.04	L	0.33	56.9	28.2	14.9	Sandy loam
	160-180	1.20	L	0.30	62.0	23.1	14.9	Sandy loam
	180-200	1.17	L	0.18	59.4	25.7	14.9	Sandy loam

[1/] Classification of bulk density (mg/m^3): L = low; ML = moderately low (Kanchanaprasert, 1986)

Table 2 Chemical properties in soil profiles of montane forests at Doi Inthanon

Location	Soil Depth	pH		O.M.		C		Total N		Available P		Extractable (mg/kg)							
	(cm)		Rating[1/]	(g/kg)	Rating	(g/kg)	Rating	(g/kg)	Rating	(mg/kg)	Rating	K	Rating	Na	Rating	Ca	Rating	Mg	Rating
Upper	0-5	4.38	very strongly acid	130.20	VH	75.52	VH	6.40	H	4.33	L	210.53	VH	147.14	VL	32.70	VL	34.34	L
slope	5-10	4.12	extremely acid	60.40	VH	35.03	VH	5.10	H	2.38	VL	197.10	VH	25.93	VL	6.25	VL	29.33	L
	10-20	4.60	very strongly acid	48.50	VH	28.13	VH	3.90	M	1.57	VL	172.93	VH	17.51	VL	9.68	VL	26.94	L
	20-30	4.89	very strongly acid	23.80	M	13.81	M	3.30	M	0.98	VL	132.65	VH	15.82	VL	4.82	VL	32.82	L
	30-40	5.00	very strongly acid	8.70	ML	5.05	L	3.20	M	0.92	VL	121.91	VH	19.19	VL	4.10	VL	29.99	L
	40-60	5.22	strongly acid	6.60	ML	3.83	L	2.90	M	1.01	VL	175.62	VH	17.51	VL	3.39	VL	29.33	L
	60-80	5.00	very strongly acid	12.70	ML	7.37	ML	1.10	L	0.83	VL	151.45	VH	20.88	VL	3.53	VL	27.16	L
	80-100	5.17	strongly acid	4.50	VL	2.61	VL	1.00	L	0.90	VL	138.02	VH	19.19	VL	2.82	VL	29.55	L
	100-120	5.14	strongly acid	2.80	VL	1.62	VL	0.40	VL	0.87	VL	170.25	VH	15.20	VL	4.53	VL	32.60	L
	120-140	5.17	strongly acid	3.00	VL	1.74	VL	0.30	VL	0.76	VL	202.47	VH	20.88	VL	5.68	VL	37.39	L
	140-160	5.21	strongly acid	2.60	VL	1.51	VL	0.30	VL	0.86	VL	100.43	H	24.24	VL	5.10	VL	27.81	L
	160-180	5.23	strongly acid	3.90	VL	2.26	VL	0.30	VL	0.78	VL	164.88	VH	22.51	VL	6.68	VL	28.68	L
	180-200	5.33	strongly acid	5.40	L	3.13	L	0.30	VL	1.43	VL	207.84	VH	20.88	VL	4.25	VL	32.38	L
Middle	0-5	4.46	very strongly acid	121.80	VH	70.65	VH	6.80	H	3.50	L	293.77	VH	941.41	L	138.7	M	33.47	L
slope	5-10	4.45	very strongly acid	86.30	VH	50.06	VH	5.40	H	5.16	L	234.69	VH	933.8	L	141.2	M	27.37	L
	10-20	4.42	very strongly acid	60.30	VH	34.98	VH	2.40	M	2.15	VL	248.12	VH	59.6	VL	16.54	VL	28.46	L
	20-30	4.57	very strongly acid	36.80	H	21.35	H	0.80	VL	1.23	VL	312.57	VH	19.19	VL	8.11	VL	30.86	L
	30-40	4.78	very strongly acid	26.60	MH	15.43	MH	0.80	VL	1.03	VL	393.13	VH	17.51	VL	6.25	VL	25.63	L
	40-60	4.95	very strongly acid	12.10	ML	7.02	ML	0.70	VL	1.30	VL	446.83	VH	15.82	VL	5.1	VL	33.47	L
	60-80	5.16	strongly acid	8.30	L	4.81	L	0.50	VL	1.12	VL	428.03	VH	14.14	VL	3.96	VL	34.78	L
	80-100	5.25	strongly acid	3.00	VL	1.74	VL	0.30	VL	1.16	VL	250.81	VH	12.46	VL	3.25	VL	28.90	L
	100-120	5.31	strongly acid	3.10	VL	1.80	VL	0.40	VL	1.32	VL	138.02	VH	14.14	VL	3.25	VL	25.85	L
	120-140	5.33	strongly acid	2.90	VL	1.68	VL	0.30	VL	1.8	VL	146.08	VH	15.82	VL	3.39	VL	28.68	L
	140-160	5.36	strongly acid	3.10	VL	1.80	VL	0.30	VL	1.73	VL	293.77	VH	12.46	VL	2.82	VL	30.21	L
	160-180	5.38	strongly acid	2.30	VL	1.33	VL	0.10	VL	1.71	VL	213.21	VH	10.77	VL	3.25	VL	27.81	L
	180-200	5.20	strongly acid	1.70	VL	0.99	VL	0.10	VL	2.01	VL	146.08	VH	10.77	VL	3.67	VL	23.45	L
Lower	0-5	3.58	extremely acid	110.50	VH	64.10	VH	5.20	H	13.08	M	280.34	VH	172.39	VL	24.98	VL	26.29	L
slope	5-10	3.53	extremely acid	98.80	VH	57.31	VH	4.00	M	8.72	ML	296.46	VH	36.63	VL	10.54	VL	21.41	L
	10-20	3.93	extremely acid	69.80	VH	40.49	VH	3.80	M	3.75	L	382.38	VH	84.85	VL	13.11	VL	31.95	L
	20-30	4.16	extremely acid	28.60	MH	16.59	MH	0.90	VL	2.09	VL	342.11	VH	17.51	VL	5.53	VL	29.12	L
	30-40	4.60	very strongly acid	18.20	M	10.56	M	0.70	VL	2.79	VL	207.84	VH	19.19	VL	3.39	VL	27.81	L
	40-60	5.19	strongly acid	13.90	ML	8.06	ML	0.60	VL	2.49	VL	454.89	VH	14.14	VL	3.53	VL	31.51	L
	60-80	5.45	strongly acid	4.90	VL	2.84	VL	0.60	VL	3.42	VL	304.51	VH	10.77	VL	3.39	VL	27.59	L
	80-100	5.72	moderately acid	2.60	VL	1.51	VL	0.40	VL	3.39	VL	479.05	VH	12.46	VL	3.39	VL	33.69	L
	100-120	5.72	moderately acid	3.20	VL	1.86	VL	0.30	VL	2.72	VL	240.06	VH	17.51	VL	4.67	VL	37.37	L
	120-140	5.78	moderately acid	1.90	VL	1.10	VL	0.30	VL	2.13	VL	121.91	VH	19.19	VL	4.53	VL	27.37	L
	140-160	5.84	moderately acid	3.10	VL	1.80	VL	0.20	VL	2.43	VL	151.45	VH	20.88	VL	4.82	VL	29.12	L
	160-180	5.82	moderately acid	1.40	VL	0.81	VL	0.20	VL	2.70	VL	140.71	VH	27.61	VL	5.1	VL	29.99	L
	180-200	5.71	moderately acid	2.20	VL	1.28	VL	0.10	VL	2.48	VL	186.36	VH	10.77	VL	5.39	VL	28.46	L

[1/] Classification of pH, O.M. (g/kg), C (g/kg), Total N (g/kg), Available P (mg/kg), Exchangeable form K, Na, Mg and Ca (mg/kg)

VL = very low, L = low, ML = moderately low, M = medium, MH = moderately high, H = high, VH = very high

3. ปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดิน

ปริมาณอินทรียวัตถุ คาร์บอน ไนโตรเจนและธาตุอาหารที่สกัดได้ในดินป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ ในดินที่ระดับความลึก 0-100 ซม. มีปริมาณการสะสมของอินทรียวัตถุในดิน (O.M.) สูงมาก พบว่ามากกว่า 50% ของปริมาณอินทรียวัตถุถูกกักเก็บไว้ดินที่ความลึก 0-30 ซม. และมีปริมาณลดลงในชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป โดยมีปริมาณการสะสมในดินบริเวณยอดเนิน ไหล่เขาและเชิงเขา จำนวน 171.10, 223.74 และ 186.11 Mg/ha ตามลำดับ (เฉลี่ย 193.65 Mg/ha) คิดเป็นปริมาณคาร์บอนสะสมแปรผันระหว่าง 99.24-129.78 Mg/ha (เฉลี่ย 112.32 Mg/ha) การสะสมของไนโตรเจนในดิน (N) มีปริมาณระหว่าง 9,895.60-24,982.87 kg/ha (เฉลี่ย 15,261.10 kg/ha) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) มีค่า 11.54-32.67 kg/ha (เฉลี่ย 20.04 kg/ha) โพแทสเซียมที่สกัดได้ (K) มีค่า 1,654.91-3,992.74 kg/ha (เฉลี่ย 3,033.25 kg/ha) แคลเซียมที่สกัดได้ (Ca) มีค่า 222.23-766.67 kg/ha (เฉลี่ย 406.93 kg/ha) แมกนีเซียมที่สกัดได้ (Mg) มีค่า 47.55-143.84 kg/ha (เฉลี่ย 80.33 kg/ha) และโซเดียมที่สกัดได้ (Na) มีค่า 275.74-350.41 kg/ha (เฉลี่ย 314.34 kg/ha) (ตารางที่ 3)

4. การประเมินมูลค่าคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดิน

การประเมินมูลค่ารวมของธาตุอาหารที่สะสมในชั้นดิน ที่ระดับความลึก 0-100 ซม. ซึ่งประยุกต์ใช้วิธี market valuation และ cost replacement method ผลการศึกษาพบว่า มูลค่าของคาร์บอนที่สะสมในดินเฉลี่ยเท่ากับ 170.73 บาทต่อเฮกตาร์ มูลค่าธาตุอาหารสะสมในดิน อันได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกเนเซียม และโซเดียม มีมูลค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7,962.31 , 1,197.25 , 48,531.97 , 3,286.77 , 787.84 และ 744.31 บาทต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่ารวมของธาตุอาหารสะสมในดินป่าดิบเขา บริเวณดอยอินทนนท์ เท่ากับ 62,681 บาทต่อเฮกตาร์ (ตารางที่ 4)

วิจารณ์

ดินในระบบนิเวศป่าไม้มักจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสังคมพืช หินต้นกำเนิดดิน สภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ ทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินแตกต่างกัน (Pritchett and Fisher,1987) การศึกษาเปรียบเทียบดินป่าดิบเขา ดอยอินทนนท์ และดินป่าดิบเขา ดอยสุเทพ-ปุย จ.เชียงใหม่ พบว่าดินป่าดิบเขา ดอยสุเทพ-ปุย มีความหนาแน่นรวมต่ำ (0.8-1.2 mg/m^3) ดินชั้นบนเป็นดินร่วนเนื้อหยาบปานกลางถึงดินร่วนเนื้อละเอียดปานกลาง ดินเป็นกรดจัดมากถึงรุนแรงมาก ปริมาณอินทรียวัตถุและไนโตรเจนมีค่าสูงถึงสูงมาก มีปริมาณ P, K, Na, Ca และ Mg เท่ากับ 0.7-8.3, 121.1-235.1, 5.1-8.2, 26.2-192.1, และ 8.3-112.4 mg/kg ตามลำดับ (ณัฐลักษณ์, 2552) แสดงให้เห็นได้ว่ามีสมบัติของดินที่คล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันในด้านปริมาณธาตุอาหาร ซึ่งมักจะเกิดจากอิทธิพลของชนิดพันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ รวมทั้งการเกิดไฟป่า ขณะเดียวกันความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ก็จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการหมุนเวียนธาตุอาหาร จากการศึกษา Khamyong *et at.* (2001) พบปริมาณอินทรียวัตถุและคาร์บอนในดินป่าดิบเขามากที่สุด รองลงมา คือ ป่าสนผสมป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ตามลำดับ

นอกจากนี้ดินป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์มีดินลึก ความพรุนมากและความหนาแน่นรวมต่ำ ซากพืชที่ร่วงหล่นมีการย่อยสลายเป็นฮิวมัสอย่างช้า ๆ และสะสมในชั้นดิน ดินจึงมีปริมาณอินทรียวัตถุและคาร์บอนระดับสูงมาก จากการศึกษาของสุนทรและคณะ (2551) พบการสะสมของคาร์บอนในระบบนิเวศป่าดิบเขาต่ำ และป่าดิบเขาสูงบริเวณดอยอินทนนท์ มีค่าเท่ากับ 104.8 และ 288.8 Mg/ha ทั้งนี้ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการสะสมธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ชนิดพันธุ์ไม้ที่ขึ้นเป็นองค์ประกอบ ตลอดจนสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ เช่น ความลาดชัน พื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยมีการสะสมของธาตุอาหารมากกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก (Pampasit *et al*., 2000) นอกจากนี้บริเวณ

Table 3 Soil carbon and nutrient accumulations in soil profiles of montane forests at Doi Inthanon

Location	Soil Depth (cm)	Soil Mass (kg/m^2)	O.M. (Mg/ha)	C (Mg/ha)	Total N (kg/ha)	Available (kg/ha)	Extractable Nutrients (kg/ha)			
							K	Ca	Mg	Na
Upper slope	0-5	21.31	27.75	16.09	1,363.84	0.92	44.86	31.36	6.97	7.32
	5-10	21.78	13.15	7.63	1,110.53	0.52	42.92	5.65	1.36	6.39
	10-20	76.74	37.22	21.59	2,992.86	1.21	132.71	13.44	7.43	20.67
	20-30	102.44	24.38	14.14	3,380.52	1.01	135.89	16.21	4.94	33.62
	30-40	113.11	9.84	5.71	3,619.52	1.04	137.89	21.71	4.64	33.92
	40-60	251.90	16.63	9.64	7,305.10	2.54	442.39	44.11	8.54	73.89
	60-80	241.10	30.62	17.76	2,652.10	2.00	365.15	50.34	8.51	65.47
	80-100	255.84	11.51	6.68	2,558.40	2.30	353.11	49.10	7.21	75.60
	100-120	268.62	7.52	4.36	1,074.48	2.34	457.33	40.83	12.17	87.57
	120-140	268.20	8.05	4.67	804.60	2.04	543.02	56.00	15.23	100.28
	140-160	272.86	7.09	4.12	818.58	2.35	274.03	66.14	13.92	75.88
	160-180	234.54	9.15	5.31	703.62	1.83	386.71	52.79	15.67	67.27
	180-200	250.90	13.55	7.86	752.70	3.59	521.47	52.39	10.66	81.25
	Total (0-100 cm)		171.10	99.24	24,982.87	11.54	1,654.91	231.90	49.60	316.88
Middle slope	0-5	26.95	32.83	19.04	1,832.60	0.94	79.17	253.71	37.38	9.02
	5-10	34.52	29.79	17.28	1,863.81	1.78	81.00	322.30	48.76	9.45
	10-20	76.29	46.00	26.68	1,830.96	1.64	189.29	45.47	12.62	21.71
	20-30	77.85	28.65	16.62	622.80	0.96	243.34	14.94	6.31	24.02
	30-40	87.16	23.18	13.45	697.28	0.90	342.65	15.26	5.45	22.34
	40-60	262.40	31.75	18.42	1,836.80	3.41	1,172.48	41.51	13.38	87.83
	60-80	282.92	23.48	13.62	1,414.60	3.17	1,210.98	40.00	11.21	98.39
	80-100	268.66	8.06	4.67	805.98	3.12	673.83	33.48	8.73	77.64
	100-120	292.08	9.05	5.25	1,168.32	3.86	403.13	41.30	9.49	75.50
	120-140	238.86	6.93	4.02	716.58	4.30	348.93	37.79	8.10	68.51
	140-160	254.52	7.89	4.58	763.56	4.40	747.70	31.71	7.18	76.88
	160-180	249.36	5.74	3.33	249.36	4.26	531.66	26.86	8.10	69.34
	180-200	247.96	4.22	2.45	247.96	4.98	362.22	26.71	9.10	58.16
	Total (0-100 cm)		223.74	129.78	10,904.83	15.92	3,992.74	766.67	143.84	350.41
Lower slope	0-5	25.69	28.39	16.47	1,335.88	3.36	72.02	44.29	6.42	6.75
	5-10	32.48	32.09	18.61	1,299.20	2.83	96.29	11.90	3.42	6.95
	10-20	70.98	49.54	28.74	2,697.24	2.66	271.41	60.23	9.31	22.68
	20-30	66.67	19.07	11.06	600.03	1.39	228.08	11.67	3.69	19.41
	30-40	77.51	14.11	8.18	542.57	2.16	161.10	14.87	2.63	21.56
	40-60	182.82	25.41	14.74	1,096.92	4.55	831.63	25.85	6.46	57.61
	60-80	239.44	11.73	6.81	1,436.64	8.18	729.12	25.79	8.12	66.06
	80-100	221.78	5.77	3.34	887.12	7.52	1,062.44	27.63	7.52	74.72
	100-120	241.76	7.74	4.49	725.28	6.58	580.37	42.33	11.29	90.36
	120-140	217.70	4.14	2.40	653.10	4.64	265.40	41.78	9.86	59.59
	140-160	208.88	6.48	3.76	417.76	5.08	316.35	43.61	10.07	60.82
	160-180	239.22	3.35	1.94	478.44	6.46	336.61	66.05	12.20	71.73
	180-200	233.68	5.14	2.98	233.68	5.80	435.49	25.17	12.60	66.51
	Total (0-100 cm)		186.11	107.95	9,895.60	32.67	3,452.09	222.23	47.55	275.74
	Average (0-100 cm)		193.65	112.32	15,261.10	20.04	3,033.25	406.93	80.33	314.34

Table 4 Valuation of carbon and nutrient storages in one-meter soil profile of montane forests

	C	Available forms (kg/ha)					
	(Mg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	Na
Nutrient Storages	112.32	305.22	45.89	3,639.90	569.71	136.56	314.34
Price (baht/Mg or kg)	1.52 [1]	26.09 [2]	26.09 [2]	13.33 [2]	5.77 [2]	5.77 [2]	2.37 [2]
Value (baht/ha)	170.73	7,962.31	1,197.25	48,531.97	3,286.77	787.84	744.31
Total (Baht/ha)				62,681.18			

[1] baht/Mg [2] baht/kg

พื้นที่ศึกษาพบปริมาณของธาตุโพแทสเซียมมีค่าสูงมากตลอดชั้นความลึกของดิน เนื่องจากหินต้นกำเนิดเป็นหินแกรนิต ซึ่งมีองค์ประกอบของแร่ไมกาขาว (muscovite) ไมกาสีดำ (biotite) และแร่ออร์โทเคลส (orthoclase) เมื่อผุพังสลายตัวทางเคมีทำให้ดินเป็นกรดและให้ธาตุโพแทสเซียมในปริมาณสูง (Fisher and Binkley, 2000) ประกอบกับพื้นที่ป่าดิบเขาดอยอินทนนท์มีปริมาณการตกทับถมของกิ่งไม้ ใบไม้บนพื้นดินสะสมในปริมาณมาก (สุนทรและคณะ, 2549)

ทั้งนี้การประเมินมูลค่าคาร์บอนในดินป่าธรรมชาตินี้มูลค่าคาร์บอนมีค่าต่ำ เนื่องจากป่าดิบเขาเป็นป่าอนุรักษ์ที่มิได้ใช้ประโยชน์ทางการค้า สำหรับมูลค่าไนโตรเจนที่คำนวณ คิดเฉพาะรูปที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งปกติมีค่าไม่เกิน 2% ของไนโตรเจนทั้งหมด ถ้าคิดปริมาณทั้งหมดจะมีมูลค่าสูงถึง 398,116 บาท/เฮกตาร์

สรุป

ดินป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ มีความหนาแน่นรวมของดินต่ำในดินชั้นบนและเพิ่มสูงขึ้นในดินชั้นล่าง ความพรุนของดินจึงมีมาก ทำให้มีการซึมผ่านของน้ำและการถ่ายเทอากาศดีขึ้น ส่งผลให้มีการสะสมของปริมาณอินทรียวัตถุและคาร์บอนในดินมีปริมาณสูงมากกว่า 50% ของปริมาณอินทรียวัตถุ และลดลงตามความลึกของชั้นดิน เนื้อดินในดินชั้นบนและชั้นดินล่างเป็นดินร่วนปนทราย แทรกด้วยดินร่วนเหนียวปนทราย ดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดรุนแรงมาก มีปริมาณธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมในดินระดับมากถึงมากที่สุด สำหรับธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมมีปริมาณน้อยมาก เมื่อประเมินมูลค่าของธาตุอาหารที่สะสมในดิน จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในดินนั้น คิดเป็นมูลค่าของธาตุอาหารสะสมในดินโดยประมาณเท่ากับ 62,681 บาทต่อเฮกตาร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนสนับสนุนส่วนหนึ่งในการทำงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คุณเกรียงศักดิ์ ถนอมพันธ์ หัวหน้าอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

เกษม จันทร์แก้ว. 2551. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ. 341 หน้า.

ณัฐลักษณ์ คำยอง. 2552. ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ ลักษณะดินและการสะสมคาร์บอนในป่าชนิดต่าง ๆ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 334 หน้า.

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล และพิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์. 2552. แบบจำลองเพื่อประเมินมูลค่าป่าต้นน้ำ. เอกสารบันทึกวิจัย ที่ 1/2552. สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธ์พืช. 14 หน้า.

สุนทร คำยอง, ตฤณ เสรเมธากุล และเสวียน เปรมประสิทธิ์. 2551. การศึกษาการสะสมของคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ชนิดต่าง บริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่. *ใน* การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 4. ระหว่างวันที่ 26-27 พฤษภาคม 2551. มหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จังหวัดพะเยา. น. 126-136.

สุนทร คำยอง, รวีวรรณ ศิริไสยาสน์ และดุสิต เสรเมธากุล. 2549. ป่าเทียมเมฆกับข้อมูลทางนิเวศวิทยาสำหรับการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 273 หน้า.

Fisher, R.F. and D. Binkley. 2000. Ecology and management of forest soils. Third Editor. John Wiley & Sons, New York. 16-26 p.

Katherine, H., M. Sjardin, T. Macello and G. Xu. 2008. Forging a frontier: State of the voluntary carbon market 2008. Ecosystem marketplace & new carbon finance. 8th May 2008. (Online). Available: http://www.ecosystemmarketplace.com/documents/cms_documents/2008_StateofVoluntaryCarbonMarket2.pdf (February 10, 2011).

Khamyong, S., J. Pinthong, D. Seramethakun and S.Sangawongse. 2001. Characterization of some forest soils in the Doi Inthanon National Park: Relationship between forests and soils. Thai-Danish Research Cooperation on Forest and People in Thailand, Chiang Mai University. A paper presented to the International Conference on Forest and People in Thailand during 11-14 December 2001 at Kasetsart University. 9 p.

Kanchanaprasert, N. 1986. A Study on vital diagnostic features in soil development and land potential evaluation of alfisols and inceptisols in Mae Klong drainage basin. Ph.D. Thesis, Department of Soil Science, Kasetsart University, Bangkok. 483 p. (in Thai)

Pampasit, S. 1995. Ecological study on relationship between plant associations in the dry dipterocarp forest and soil properties in the Doi Inthanon National Park, Chiang Mai Province. Master Thesis. Chiang Mai University. 175 p.

Pampasit, S., S. Khamyong, G. Breulmann, I. Ninomiya and K. Ogino. 2000. Mineral element accumulation in soil and tree in tropical hill evergreen forest, northern Thailand. Tropics 9(4): 275-286.

Pritchett, W.L. and R.F. Fisher. 1987. Properties and management of forest soils. Second Editor. John Wiley & Sons, New York. 494 p.

Santisuk, T. 1988. An account of the vegetation of northern Thailand. Geoecological Research. 5 (ed. U. Schweinfurth). Franz Steiner Verlag Weisbaden GMBH, Stuttgart. 61 p.