

การสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในดินสวนป่าสนสามใบ หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่

Soil Carbon and Nutrient Accumulations in *Pinus kesiya* Plantations at Boa Kaew Watershed Management Station, Chiang Mai Province

สมชาย นองเนื่อง¹ สุนทร คำยอง¹ นิวัตี อนงค์รักษ์¹ และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง²
Somchai Nongnuang¹, Soontorn Khamyong¹, Niwat Anongrak¹ and Kriangsak Sri-ngernyung²

Abstract: Accumulations of carbon and nutrients in soils under *Pinus kesiya* Plantations at Boa Kaew Watershed Management Station, Chiang Mai Province were studied in four different ages of pine plantations; 21, 25, 29 and 33 years old, respectively. Five soil profile pits each of 1.6 x 2 x 2 m³ were made these stands and adjacent lower montane forest. Soil samples are taken from 11 depths; 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, 120-140 and 140-160 centimeters, respectively for analysis of physical and chemical properties. The results showed that soils had more developing profiles with increasing stand ages. Bulk density of the top soil within 10 centimeters depth was lower in older stands whereas change of soil reaction was unclear. Soil organic matter and nutrients particularly carbon, nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium tended to increase with stand ages. Other important factors have influenced on variations of soil carbon and nutrient storages especially present tree densities, species composition and density of succession trees, topographic variables and forest fire occurrence.

Keywords: Forest soil, soil carbon storage, soil nutrient accumulations, pine plantations

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

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

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

*Corresponding author E-mail: ampai44@hotmail.com

บทคัดย่อ: ปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดินสวนป่าสนสามใบของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว อ. สะเมิง จ. เชียงใหม่ ที่ศึกษาประกอบด้วยสวนป่า 4 ชั้นอายุ คือ 21, 25, 29 และ 33 ปี ขุดดินลึกถึง 160 เซนติเมตร หรือจนถึงดินชั้น C ในสวนป่าแต่ละชั้นอายุและป่าดิบเขาบริเวณใกล้เคียง รวม 5 หลุม เก็บตัวอย่างดินในหลุมดินแต่ละหลุมตามระดับความลึก 11 ระดับ คือ 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20, 20 - 30, 30 - 40, 40 - 60, 60 - 80, 80 - 100, 100 - 120, 120 - 140 และ 140 - 160 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่า ดินมีการพัฒนาของชั้นดินมากขึ้นตามอายุสวนป่า ความหนาแน่นรวมของดินชั้นบนมีค่าลดลงตามอายุสวนป่า ค่าปฏิกิริยาของดินเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า โดยเฉพาะ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียม แต่มีความแปรปรวนในการสะสมธาตุอาหารระหว่างอายุสวนป่า มีปัจจัยสำคัญหลายอย่างที่มีอิทธิพลร่วมกัน ได้แก่ ความหนาแน่นของต้นไม้ ชนิดพันธุ์และความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ที่ขึ้นทดแทน ความผันแปรสภาพภูมิประเทศและการเกิดไฟป่า

คำสำคัญ: ดินป่าไม้ การสะสมของคาร์บอนในดิน การสะสมของธาตุอาหารในดิน สวนป่าสนสามใบ

คำนำ

โดยทั่วไปพันธุ์ไม้ที่ปลูกเป็นสวนป่าที่มีระยะปลูกแน่นอนจะมีการเจริญเติบโตทางความสูงและขนาดเส้นรอบวงลำต้นตามอายุในอัตราที่รวดเร็วหรือค่อนข้างรวดเร็วกว่าไม้ในป่าธรรมชาติ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ไม้และสภาพของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ เมื่อต้นไม้เริ่มมีเรือนยอดชิดกันก็จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตทางเส้นรอบวงลำต้นลดลง แต่อาจมีอัตราการเจริญเติบโตทางความสูงเพิ่มขึ้น จนกระทั่งต้นไม้เจริญเติบโตเต็มที่และให้ผลผลิตไม้สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Bowen and Nambiar, 1989)

ในอดีตพื้นที่ต้นน้ำลำธารในภาคเหนือถูกบุกรุกทำลายเป็นพื้นที่กว้าง จำเป็นต้องทำการปลูกสร้างสวนป่าเพื่อฟื้นฟูที่ดินไร่ร้างบนพื้นที่สูงอย่างเร่งด่วน การจัดการสวนป่ามีเพียงการแผ้วถางวัชพืชเพื่อป้องกันไฟป่าโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยพรวนดินแต่อย่างใด ดังนั้น กรมป่าไม้จึงเลือกไม้สนสามใบปลูกเป็นสวนป่าบนพื้นที่ต้นน้ำที่ป่าดิบเขาถูกแผ้วถางทำให้เสื่อมลงย ข้อดีของสนสามใบนอกจากจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วแล้ว เป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถขึ้นในที่โล่งมีแสงแดดจัด ดินต้น ค่อนข้างแห้งและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การปลูกสนสามใบเป็นสวนป่าแต่เดิมนั้นใช้ระยะปลูกที่แน่นอน เช่น 4 x 4 ตร.ม. เป็นต้น ซึ่งจะเป็นผลดีทำให้มีการลดการแก่งแย่งแสง ธาตุอาหารและความชื้นในดิน ต้นสนก็จะมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว อย่างไรก็ตามสวนป่าไม้สนสามใบถ้าปล่อยให้มีการทดแทนของพันธุ์ไม้ใบกว้างชนิดต่าง ๆ (อาไฟและคณะ,

2553) ก็จะมีผลดีทำให้เกิดความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ในสวนป่า ทำให้ดินมีความชุ่มชื้นและอุดมสมบูรณ์มากขึ้น ถ้าปล่อยให้มีการทดแทนต่อไปจนพันธุ์ไม้ใบกว้างมีความสูงพอ ๆ กับไม้สนที่ปลูกก็จะเกิดการแก่งแย่งแสงกัน และเมื่อพันธุ์ไม้ที่ขึ้นทดแทนเริ่มมีความสูงมากกว่าและมีเรือนยอดคลุมไม้สน ในที่สุดไม้สนสามใบก็จะตายไปและสังคมพืชจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับป่าธรรมชาติที่เป็นป่าดิบเขา

สวนป่าไม้สนสามใบบริเวณหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ มีการทดแทนของพรรณไม้ใบกว้างในสวนป่าทุกชั้นอายุ ทำให้มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ในสวนป่า การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในดินสวนป่าไม้สนสามใบบริเวณหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการบริหารและจัดการปลูกป่าฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้บนพื้นที่ต้นน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการวิจัยในพื้นที่หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว อ. สะเมิง จ. เชียงใหม่ ห่างจาก อ. เมือง จ. เชียงใหม่ ไปทางทิศเหนือ 82 กม. เลือกสวนป่าไม้สนสามใบ 4 ชั้นอายุ คือ 21, 25, 29 และ 33 ปี ขุดหลุมดินลึก 160 ซม. ในแต่ละชั้นอายุและในป่าดิบเขาบริเวณใกล้เคียง เก็บตัวอย่างดินตามระดับความลึก เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน วิเคราะห์การกระจายของอนุภาค

ดินโดยวิธี hydrometer method และความหนาแน่นรวมโดยวิธี core method ศึกษาสมบัติเคมี ได้แก่ ค่าปฏิกิริยา (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ คาร์บอนไนโตรเจนทั้งหมด ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สามารถสกัดได้ หาปริมาณมวลดิน (soil mass) ต่อพื้นที่ เพื่อดำเนินการหาปริมาณของคาร์บอนและธาตุอาหารต่าง ๆ ที่สะสมในดิน

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical properties)

สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวม (bulk density) การกระจายของอนุภาคดิน (soil particle distribution) และเนื้อดิน (soil texture) ดังแสดงในตารางที่ 1

ความหนาแน่นรวมของดิน: ดินชั้นบนในสวนป่าทุกชั้นอายุมีความหนาแน่นรวมของดินต่ำและเพิ่มสูงขึ้นในดินชั้นล่าง โดยดินที่ระดับความลึก 0 - 10 ซม. มีความหนาแน่นรวมของดินผันแปรระหว่าง 0.78 - 1.11 Mg m^{-3} ความหนาแน่นของดินชั้นบนมีแนวโน้มลดลงใน

สวนป่ามีอายุมากขึ้น เป็นผลจากมีปริมาณการสะสมของฮิวมัสในดินมากขึ้นและดินมีการพัฒนามากขึ้นทำให้มีการผุสลายของหินและแร่มาก ทำให้มวลดินน้อยลง (ภาพที่ 1)

การกระจายของอนุภาคดิน: อนุภาคทรายในชั้นดินสวนป่าสนสามใบมีค่าผันแปรระหว่าง 33.6 - 79.6% อนุภาคทรายแป้งมีค่า 10.6 - 31.8% และอนุภาคดินเหนียวมีค่า 5.8 - 46.4% อนุภาคทรายมีค่อนข้างมากในดินชั้นบนและน้อยในดินชั้นล่าง ขณะที่ดินเหนียวจะมีสะสมในดินชั้นล่างมากกว่าดินชั้นบน สำหรับป่าดิบเขาที่อยู่บริเวณใกล้เคียงมีอนุภาคทรายในดินชั้นบนน้อยกว่าดินสวนป่าสนสามใบ ซึ่งแสดงว่ามีการพัฒนาการมากกว่า

เนื้อดิน: พิจารณาจากส่วนผสมของอนุภาคทราย ทรายแป้งและดินเหนียว พบว่า ดินชั้นบนของสวนป่าอายุ 21 ปี เป็นดินร่วนปนทรายปนเหนียว (sandy clay loam) และ อายุ 25, 29 และ 33 ปี เป็นแบบร่วนปนทราย (sandy loam) ความแตกต่างของเนื้อดินระหว่างชั้นอายุสวนป่าจะเกิดมาก่อนการปลูกสร้างสวนป่า เพราะการจัดการ การปฏิบัติ หรือการปลูกสนสามใบจะไม่มีผลกระทบต่อปริมาณอนุภาคทราย ทรายแป้งและดินเหนียว

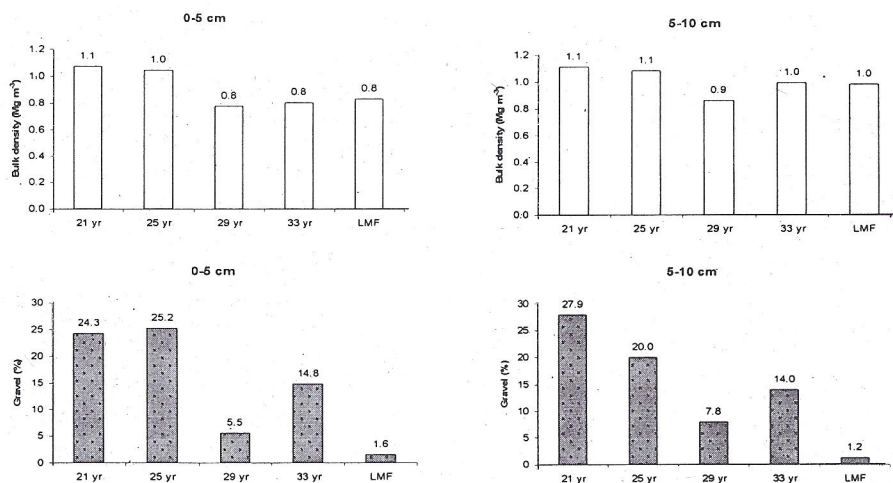


Figure 1 Bulk densities and gravel amounts at 0 - 5 and 5 - 10 cm depth under different-aged pine plantations and lower montane forest (LMF)

Table 1 Some physical properties of the soil profiles under different-aged pine plantations and LMF

Age (year)	Soil depth (cm)	Bulk density (Mg m ⁻³)	*	Gravel (%)	Soil particle distribution (%)			Soil texture
					Sand	Silt	Clay	
21	0-5	1.07	L	24.3	61.6	14.9	23.5	Sandy clay loam
	5-10	1.11	L	27.9	56.5	14.9	28.6	Sandy clay loam
	10-20	1.09	L	27.3	51.4	15.0	33.6	Sandy clay loam
	20-30	1.19	L	26.9	42.5	16.2	41.3	Clay
	30-40	1.13	L	26.4	37.5	16.1	46.4	Clay
	40-60	1.24	ML	27.5	33.6	20.0	46.4	Clay
	60-80	1.21	ML	25.8	36.1	24.2	39.7	Clay loam
	80-100	1.24	ML	21.3	38.7	26.7	34.6	Clay loam
	100-120	1.38	ML	21.5	41.2	31.0	27.8	Clay loam
	120-140	1.31	ML	20.9	43.8	30.9	25.3	Loam
	140-160	1.38	ML	22.1	43.8	31.8	24.4	Loam
25	0-5	1.05	L	25.2	72.0	20.6	7.4	Sandy loam
	5-10	1.08	L	20.0	71.4	19.5	9.1	Sandy loam
	10-20	0.97	L	17.5	68.2	14.3	17.5	Sandy loam
	20-30	1.21	ML	22.5	55.9	19.0	25.1	Sandy clay loam
	30-40	1.30	ML	21.6	46.5	19.9	33.6	Sandy clay loam
	40-60	1.34	ML	27.2	41.4	21.5	37.1	Clay loam
	60-80	1.32	ML	28.2	41.4	21.5	37.1	Clay loam
	80-100	1.53	M	21.2	38.9	26.5	34.6	Clay loam
	100-120	1.45	M	22.1	41.4	26.6	32.0	Clay loam
	120-140	1.42	M	20.9	46.5	25.9	27.6	Sandy clay loam
	140-160	1.37	ML	18.3	65.0	10.6	24.4	Sandy clay loam
29	0-5	0.78	L	5.5	66.9	21.5	11.6	Sandy loam
	5-10	0.86	L	7.8	72.0	18.1	9.9	Sandy loam
	10-20	0.91	L	9.6	66.9	18.1	15.0	Sandy loam
	20-30	0.96	L	13.6	59.3	19.8	20.9	Sandy clay loam
	30-40	1.10	L	12.7	54.2	18.2	27.6	Sandy clay loam
	40-60	1.15	L	13.8	46.5	19.9	33.6	Sandy clay loam
	60-80	1.24	ML	13.3	44.0	22.4	33.6	Clay loam
	80-100	1.26	ML	10.5	44.0	24.9	31.1	Clay loam
	100-120	1.32	ML	12.9	46.5	23.3	30.2	Sandy clay loam
	120-140	1.34	ML	12.9	49.1	27.4	23.5	Sandy clay loam
	140-160	1.36	ML	13.2	49.1	30.0	20.9	Loam
33	0-5	0.80	L	14.8	74.5	18.9	6.6	Sandy loam
	5-10	0.99	L	14.0	79.6	14.6	5.8	Loamy sand
	10-20	1.02	L	13.7	77.1	15.5	7.4	Sandy loam
	20-30	1.04	L	11.4	69.4	15.6	15.0	Sandy loam
	30-40	1.04	L	10.6	59.3	16.5	24.2	Sandy clay loam
	40-60	1.13	L	8.7	54.2	11.5	34.3	Sandy clay loam
	60-80	1.16	L	7.7	46.5	10.7	42.8	Sandy clay
	80-100	1.12	L	5.3	46.5	13.2	40.3	Sandy clay
	100-120	1.04	L	8.4	46.5	15.7	37.8	Sandy clay
	120-140	1.15	L	8.5	46.5	15.7	37.8	Sandy clay
	140-160	1.14	L	7.6	46.5	15.7	37.8	Sandy clay

Table 1 (continue) Some physical properties of the soil profiles under different-aged pine plantations and LMF

Age (year)	Soil depth (cm)	Bulk density (Mg m ⁻³)	*	Gravel (%)	Soil particle distribution (%)			Soil texture
					Sand	Silt	Clay	
LMF	0-5	0.83	L	1.6	59.5	20.7	19.8	Sandy loam
	5-20	1.03	L	1.2	54.4	18.2	27.4	Sandy clay loam
	20-36	1.13	L	3.1	51.9	20.7	27.4	Sandy clay loam
	36-50	1.19	L	4.8	46.8	20.7	32.5	Sandy clay loam
	50-66	1.22	ML	5.1	44.2	25.0	30.8	Clay loam
	66-92	1.32	ML	3.3	46.8	27.5	25.7	Sandy clay loam
	92-(115/124)	1.44	M	2.5	49.3	28.3	22.4	Loam
	(115/124)-145	1.54	M	4.1	49.3	35.9	14.8	Loam
	145+	1.65	MH	4.5	49.3	37.7	13.0	Loam

Note * L = low, ML = moderately low, M = medium, MH = moderately high (Kanchanaprasert, 1986)

2. สมบัติทางเคมีของดิน (soil chemical properties)

ผลกระทบของสนสามใบที่ปลูกต่อสมบัติทางเคมีของดินจะเกิดขึ้นมากในดินชั้นบน ซึ่งเป็นผลจากการร่วงหล่นของซากสนสามใบลงบนพื้นป่า สมบัติทางเคมีของดินในสวนป่าสนสามใบแสดงในตารางที่ 2

(1) ปฏิกริยาดิน (soil reaction, pH) ดินชั้นบน (0 - 5 และ 5 - 10 ซม.) ในสวนป่าทุกชั้นอายุมีค่าปฏิกริยาเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก ซากสนสามใบและพินธุ์ไม้ที่ขึ้นทดแทน ทั้งใบ กิ่งและส่วนอื่น ๆ ที่ร่วงหล่นลงบนดิน เมื่อย่อยสลายจะให้ปฏิกริยาเป็นกรดจัด อย่างไรก็ตามค่าปฏิกริยาเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนตามอายุสวนป่า เนื่องจากปัจจัยเกี่ยวกับการเกิดไฟป่ามีอิทธิพลต่อระดับความเป็นกรด (ภาพที่ 2)

(2) อินทรีย์วัตถุ (soil organic matter) พิจารณาความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบน (0 - 10 ซม.) ของสวนป่าทุกชั้นอายุมีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (27.8 - 115.1 g kg⁻¹) และลดลงตามความลึกของชั้นดิน อินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า ยกเว้นสวนป่าอายุ 33 ปี

(3) คาร์บอนในดิน (soil carbon) คาร์บอนในดินเปลี่ยนแปลงไปตามอินทรีย์วัตถุ เนื่องจากคาร์บอนใช้ค่าเฉลี่ยคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 58% คาร์บอนในดินชั้นบน (0 - 10 ซม.) ของสวนป่าทุกชั้นอายุจึงมีค่าสูงตามปริมาณอินทรีย์วัตถุและลดลงตามความลึกของชั้นดิน (16.1 - 66.8 g kg⁻¹) ปริมาณคาร์บอนในดินชั้นบนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า ยกเว้นสวนป่าอายุ 33 ปี

(4) ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total nitrogen) ความเข้มข้นของไนโตรเจนในดินชั้นบน (0 - 10 ซม.) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า (2.0 - 6.5 g kg⁻¹) ยกเว้นสวนป่าอายุ 33 ปี

(5) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในดินชั้นบน (0 - 10 ซม.) เพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า (3.5 - 15.2 mg kg⁻¹)

(6) โพแทสเซียมที่สกัดได้ (extractable potassium) ความเข้มข้นของโพแทสเซียมมีค่าสูงตลอดชั้นดินในสวนป่าและป่าดิบเขา

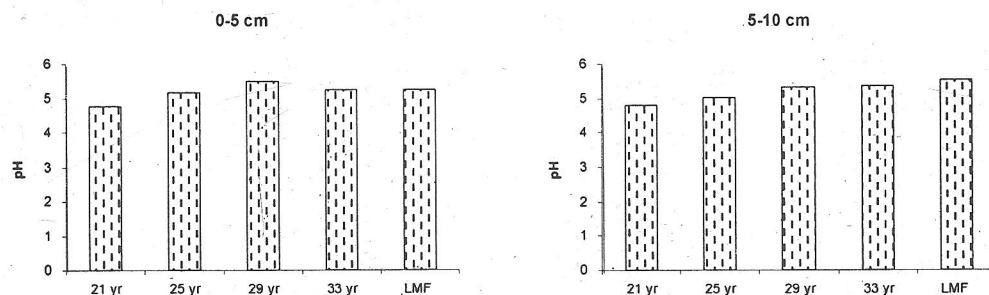


Figure 2 Soil pH at 0 - 5 and 5 - 10 cm depth under different-aged pine plantations and LMF

Table 2 Soil chemical properties and nutrient contents under different-aged pine plantations and LMF

Plot	Soil depth (cm)	pH	O.M.		C	Total N	Available P		Extractable (mg kg ⁻¹)				
			(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na	*
21 yr	0-5	4.77	54.9	VH	31.8	VH	2.8	L	7.5	ML	392.9	VH	28.2
	5-10	4.81	27.8	MH	16.1	MH	2.0	L	3.5	L	106.7	VL	22.1
	10-20	4.67	19.9	M	11.5	M	2.2	L	2.2	VL	62.0	VL	23.6
	20-30	4.89	15.8	M	9.2	M	0.9	VL	1.7	VL	28.0	VL	33.4
	30-40	4.88	9.3	L	5.4	L	0.4	VL	1.2	VL	24.1	VL	29.6
	40-60	5.17	6.1	L	3.5	L	0.3	VL	1.0	VL	17.5	VL	35.7
	60-80	5.41	3.8	VL	2.2	VL	0.2	VL	0.9	VL	13.3	VL	31.1
	80-100	5.55	2.3	VL	1.3	VL	0.3	VL	1.1	VL	12.1	VL	33.1
	100-120	5.80	2.9	VL	1.7	VL	0.3	VL	1.2	VL	11.6	VL	31.9
	120-140	5.87	0.7	VL	0.4	VL	0.2	VL	1.0	VL	9.5	VL	32.2
	140-160	5.89	1.0	VL	0.6	VL	0.1	VL	1.0	VL	5.9	VL	26.8
25 yr	0-5	5.18	82.6	VH	47.9	VH	3.9	M	7.4	ML	511.1	VL	29.9
	5-10	5.02	74.1	VH	43.0	VH	3.3	M	5.7	L	142.5	VL	33.4
	10-20	4.71	48.0	VH	27.8	VH	1.9	L	3.4	L	259.3	VL	34.3
	20-30	4.65	34.5	MH	20.0	MH	1.6	L	2.7	VL	142.4	VL	33.1
	30-40	4.87	16.4	M	9.5	M	1.2	L	1.2	VL	94.4	VL	32.2
	40-60	4.99	10.2	ML	5.9	ML	0.9	VL	0.9	VL	64.5	VL	31.4
	60-80	5.08	6.5	L	3.8	L	0.9	VL	1.1	VL	58.5	VL	32.2
	80-100	5.25	4.9	VL	2.8	VL	1.0	VL	1.1	VL	55.5	VL	33.4
	100-120	5.21	4.2	VL	2.4	VL	0.2	VL	0.9	VL	15.4	VL	32.5
	120-140	5.03	4.0	VL	2.3	VL	0.1	VL	0.9	VL	14.5	VL	31.9
	140-160	5.16	4.0	VL	2.3	VL	0.1	VL	1.0	VL	13.0	VL	32.5
29 yr	0-5	5.50	115.1	VH	66.8	VH	6.5	H	12.4	M	1594.7	M	38.9
	5-10	5.34	78.2	VH	45.4	VH	3.9	M	7.9	ML	498.5	M	34.0
	10-20	5.25	56.1	VH	32.5	VH	3.3	M	6.5	ML	448.1	L	36.0
	20-30	4.96	30.5	MH	17.7	MH	2.3	M	2.8	VL	436.2	L	37.4
	30-40	4.92	18.4	M	10.7	M	2.0	L	2.1	VL	256.3	VL	53.6
	40-60	5.13	12.0	ML	7.0	ML	1.4	L	1.7	VL	283.3	VL	30.3
	60-80	5.22	9.6	L	5.6	L	0.5	VL	1.6	VL	202.3	VL	31.9
	80-100	5.18	8.5	L	4.9	L	0.3	VL	1.6	VL	52.4	VL	31.9
	100-120	5.13	6.5	L	3.8	L	0.1	VL	1.9	VL	70.6	VL	34.8
	120-140	5.15	7.8	L	4.5	L	0.1	VL	1.8	VL	58.7	VL	32.5
	140-160	5.21	6.0	L	3.5	L	0.1	VL	1.8	VL	37.8	VL	35.4
33 yr	0-5	5.25	77.0	VH	44.7	VH	4.7	M	15.2	MH	1714.6	M	36.9
	5-10	5.37	47.0	VH	27.3	VH	2.9	M	7.3	ML	1187.1	M	36.0
	10-20	5.39	34.7	MH	20.1	MH	1.6	L	6.3	ML	879.8	L	38.9
	20-30	5.23	23.6	M	13.7	M	1.4	L	5.1	L	85.2	L	37.7
	30-40	5.23	21.2	M	12.3	M	1.4	L	5.9	L	589.0	L	39.2
	40-60	5.20	16.8	M	9.7	M	1.3	L	4.8	L	59.3	L	36.6
	60-80	5.27	11.3	ML	6.6	ML	0.9	VL	2.8	VL	457.1	L	36.9
	80-100	5.31	11.7	ML	6.8	ML	0.4	VL	3.7	L	400.2	L	34.5
	100-120	5.11	8.8	L	5.1	L	0.3	VL	4.8	L	388.2	VL	39.2
	120-140	5.08	7.7	L	4.5	L	0.1	VL	5.9	L	367.2	VL	36.3
	140-160	5.27	7.8	L	4.5	L	0.1	VL	3.7	L	304.3	VL	36.9
LMF	0-5	5.26	129.6	VH	75.2	VH	6.9	H	22.0	MH	1572.7	M	41.9
	5-20	5.56	102.9	VH	59.7	VH	4.3	M	11.5	MH	293.3	M	37.6
	20-36	5.65	51.8	VH	30.0	VH	1.3	L	2.7	VL	70.7	L	39.8
	36-50	5.61	33.4	MH	19.3	MH	0.6	VL	1.7	VL	37.5	VL	40.8
	50-66	5.46	15.9	M	9.2	M	0.5	VL	1.5	VL	105.4	VL	33.2
	66-92	5.52	10.4	ML	6.0	ML	0.5	VL	1.6	VL	87.6	VL	38.6
	92-(115/124)	5.64	7.2	L	4.1	L	0.5	VL	1.5	VL	17.1	VL	39.5
	(115/124)-145	5.52	3.4	VL	2.0	VL	0.3	VL	1.4	VL	20.3	VL	37.3
	145+	6.11	2.6	VL	1.5	VL	0.3	VL	1.4	VL	24.0	VL	41.7
											30.0	VL	36.1
											25.7	VL	

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

(Land Classification and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993; Land Use Planning Division, 1993)

(7) แคลเซียมที่สกัดได้ (extractable calcium) ในดินชั้นบน (0 - 10 ซม.) มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า (73.4 - 1,714.6 mg kg⁻¹)

(8) แมกนีเซียมที่สกัดได้ (extractable magnesium) ในดินชั้นบน (0 - 10 ซม.) มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า (62.0 - 259.5 mg kg⁻¹) ยกเว้นสวนป่าอายุ 33 ปี

(9) โซเดียมที่สกัดได้ (extractable sodium) พบว่ามีค่าต่ำในสวนป่าทุกชั้นอายุและทุกระดับชั้นความลึกของดิน (22.2 - 53.7 mg kg⁻¹) โดยมีแนวโน้มลดลงตามอายุสวนป่าในดินชั้นบน (0 - 5 ซม.)

3. ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในดิน (soil carbon and nutrient storages)

การสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในดินสวนป่าสนสามใบและป่าดิบเขาที่ระดับความลึก 160 ซม. ในหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว แสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 3

(1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ดินสวนป่าสนสามใบมีแนวโน้มในการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินลึก 160 ซม. มากขึ้นตามอายุสวนป่า (138.7 - 306.3 Mg ha⁻¹) ยกเว้นสวนป่าอายุ 33 ปี ที่มีค่าค่อนข้างต่ำ (280.1 Mg ha⁻¹) ขณะที่ดินป่าดิบเขามีค่าสูงกว่า (476.6 Mg ha⁻¹)

(2) ปริมาณคาร์บอน (carbon) ดินสวนป่าสนสามใบมีแนวโน้มในการสะสมคาร์บอนมากขึ้นตามอายุสวนป่า (80.4 - 177.7 Mg ha⁻¹) ยกเว้นสวนป่าอายุ 33 ปี ที่มีค่าค่อนข้างต่ำ (162.5 Mg ha⁻¹) ดินป่าดิบเขามีค่า 276.5 Mg ha⁻¹

(3) ปริมาณไนโตรเจน (nitrogen) ดินสวนป่าสนสามใบมีแนวโน้มในการสะสมไนโตรเจนในดินลึก 160 ซม. มากขึ้นตามอายุสวนป่า (10,145 - 18,935 kg ha⁻¹) ยกเว้นสวนป่าอายุ 33 ปี ที่มีค่าต่ำลง (14,856 kg ha⁻¹) ดินป่าดิบเขามีค่าสูงถึง 19,020 kg ha⁻¹

(4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (phosphorus) ดินสวนป่าสนสามใบมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินลึก 160 ซม. มากขึ้นตามอายุสวนป่า (27.8 - 85.0 kg ha⁻¹) ส่วนดินป่าดิบเขามีค่า 60.0 kg ha⁻¹

(5) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (potassium) ดินสวนป่าสนสามใบมีความแปรปรวนของปริมาณโพแทสเซียมระหว่างอายุสวนป่าที่ระดับความลึก 160 ซม. (4,828 - 6,021 kg ha⁻¹) สำหรับดินป่าดิบเขามีค่า 4,534 kg ha⁻¹

(6) ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (calcium) ดินสวนป่าสนสามใบมีปริมาณแคลเซียมในดินลึก 160 ซม. มากขึ้นตามอายุสวนป่า (423 - 8,198 kg ha⁻¹) ขณะที่ป่าดิบเขามีค่า 2,543 kg ha⁻¹

(7) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (magnesium) ดินสวนป่าสนสามใบมีปริมาณแมกนีเซียมในดินลึก 160 ซม. มากขึ้นตามอายุสวนป่า (353 - 1,211 kg ha⁻¹) ดินป่าดิบเขามีค่า 734 kg ha⁻¹

(8) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (sodium) ดินสวนป่าสนสามใบมีปริมาณโซเดียมในดินลึก 160 ซม. ลดลงตามอายุสวนป่า (619 - 694 kg ha⁻¹) ขณะที่ดินป่าดิบเขามีค่า 828 kg ha⁻¹

Table 3 Soil carbon and nutrient storage at 160 cm depth under different-aged pine plantations and LMF

Plot	OM	C	Total N	Available	Extractable (kg ha ⁻¹)			
	(Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na
21 yr	138.7	80.4	10,145	28	5,942	423	353	619
25 yr	286.6	166.36	18,935	31	6,021	1,255	462	694
29 yr	306.3	177.7	17,658	46	5,582	4,256	1,064	663
33 yr	280.1	162.5	14,856	85	4,828	8,198	1,211	646
LMF	476.6	276.5	19,020	60	4,534	2,543	734	828

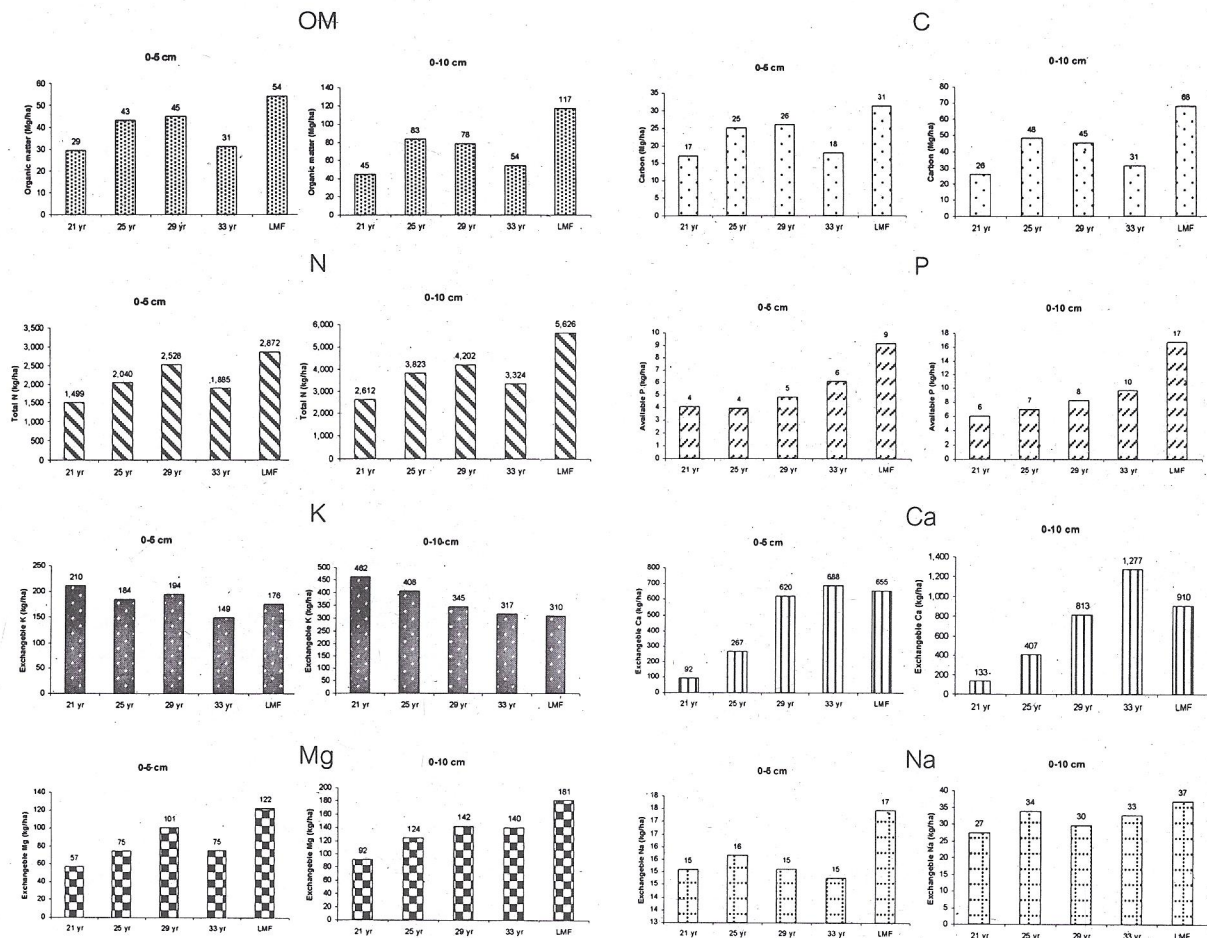


Figure 3 The comparative of nutrient storages at 0-5 and 0-10 cm depth under different-aged pine plantations and LMF

วิจารณ์ผล

การศึกษานี้พบว่าสวนป่าอายุ 33 ปี มีปริมาณการสะสมอินทรีย์วัตถุ คาร์บอน ไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในดินค่อนข้างต่ำ อาจเป็นเพราะสวนป่าชั้นอายุนี้อาศัยสนสามใบขึ้นอยู่หนาแน่นและเป็นไม้เด่นถึง 90.9% ในขณะที่สวนป่าอีกสามชั้นอายุมีไม้ใบกว้างขึ้นทดแทนมากกว่าและทำให้สนสามใบมีความเด่นลดลง (62.9 - 68.2%) (อำไพ และคณะ, 2553) ความผันแปรของพรรณไม้ที่ขึ้นทดแทน สภาพภูมิประเทศและการเกิดไฟป่าเป็นปัจจัยที่มีต่อผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน (Pampasit, 2000)

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับสวนป่าสนสามใบ ของสวนป่าดอยบ่อหลวง จ. เชียงใหม่ จำนวน 8 ชั้นอายุ คือ 7, 10, 14, 18, 21, 28, 32 และ 37 ปี ซึ่งดินชั้นบน (0 - 10 ซม.) มีความหนาแน่นรวม 1.0 - 1.6 Mg m⁻³ เป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดและมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในสวนป่าที่อายุมากขึ้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ คาร์บอน และไนโตรเจนสะสมในชั้นดินลึก 1 เมตร มีค่า 83.9 - 153.8, 48.6 - 89.2 และ 3.2 - 6.0 Mg ha⁻¹ ตามลำดับ (ทองศักดิ์, 2546) ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ คาร์บอน และไนโตรเจนในดินสวนป่าสนสามใบของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว (126.1 - 252.1, 73.1 - 146.2 และ 8.5 - 17.8 Mg ha⁻¹ ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 1 เมตร) เนื่องจากลักษณะป่าธรรมชาติดั้งเดิม

บริเวณสวนป่าดอยบ่อหลวงเป็นป่าเต็งรังผสมสน สภาพพื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้งกว่าหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้วซึ่งสภาพพื้นที่เป็นป่าดิบเขาผสมสน การเจริญเติบโตของไม้สนสามใบบริเวณหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้วจึงดีกว่าที่สวนป่าดอยบ่อหลวง ทำให้สวนป่าสนสามใบบริเวณหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้วมีมวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพมากกว่า

การสะสมคาร์บอนในดินของสวนป่าสนสามใบบริเวณหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว ($73.1 - 146.2 \text{ Mg ha}^{-1}$) ที่ระดับความลึก 1 เมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับป่าชนิดต่าง ๆ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีการสะสมคาร์บอนในดินของป่าเบญจพรรณมากที่สุด รองลงมาเป็นป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง ป่าสน และป่าเต็งรัง ($136.6, 122.9, 116.2, 110.2$ และ 49.72 Mg ha^{-1} ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 1 เมตร) (ณัฐลักษณ์, 2552) พบว่าสวนป่าสนสามใบที่มีอายุมากขึ้นและปล่อยให้มีการทดแทนของพรรณไม้ใบกว้างมีศักยภาพในการสะสมคาร์บอนในดินได้ดีเช่นเดียวกับป่าธรรมชาติ และหากมีการจัดการสวนป่าที่ดีตลอดจนมีการควบคุมไฟป่าจะสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตซึ่งเป็นการเพิ่มมวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศด้วย

สวนป่าสนสามใบที่ปลูกบนพื้นที่ต้นน้ำจะทำให้มีการพัฒนาของดินดีขึ้นตามอายุ โดยเฉพาะดินชั้นบนพบว่ามีสมบัติทางกายภาพและเคมีบางอย่างเปลี่ยนไป อันเป็นผลจากการย่อยสลายของซากพืชที่ร่วงหล่นเป็นฮิวมัส ทั้งจากสนสามใบและพันธุ์ไม้ที่ขึ้นทดแทน รากพืชจะช่วยทำให้ดินมีความพรุนมากขึ้น มีผลทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง มีการถ่ายเทอากาศและการซึมผ่านของน้ำดีขึ้น ทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุ คาร์บอน และธาตุอาหารในดินชั้นบนเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า ในระยะยาวสวนป่าสนสามใบที่มีการทดแทนของพรรณไม้จะสามารถทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เช่นเดียวกับป่าธรรมชาติที่เป็นป่าดิบเขา สวนป่าสนสามใบบนพื้นที่ต้นน้ำจึงเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนทั้งในพืชและดิน ซึ่งช่วยลดปัญหาการเกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการวิจัย

ดินในสวนป่าสนสามใบของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ มีการพัฒนาตัวดีขึ้นเมื่อสวนป่ามีอายุเพิ่มขึ้น เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย บางแห่งเป็นดินเหนียวปนทราย ดินเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก ค่าปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน แต่ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ดินจึงมีความพรุนมากขึ้น ทำให้มีการซึมผ่านของน้ำและการถ่ายเทอากาศดีขึ้น ส่งผลให้มีการสะสมของปริมาณอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนในดิน รวมทั้งธาตุอาหารอื่น ๆ เพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า มีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลร่วม ได้แก่ ชนิดพันธุ์และความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ที่ขึ้นทดแทน สภาพภูมิประเทศ ไฟป่า การชะกร่อนหน้าดิน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การจัดการสวนป่าสนสามใบในพื้นที่ต้นน้ำ ควรปล่อยให้มีการทดแทนตามธรรมชาติของไม้ใบกว้าง นอกจากนี้ ควรมีการปลูกเสริมป่าโดยใช้ไม้ใบกว้างท้องถิ่นเพื่อช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เช่นเดียวกับป่าธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนอุดหนุนการทำงานวิจัยนี้ รวมทั้งคุณนิรันดร์ คำทอง หัวหน้าหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ได้อำนวยความสะดวกต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

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

- ทงนศักดิ์ ประระไทย. 2546. สมบัติของดินและการเจริญเติบโตของไม้สนสามใบที่มีอายุต่างกันในส่วนป่าดอยป้อหลวง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 169 หน้า.
- อำไพ พรลีแสงสุวรรณ, สุนทร คำยอง, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และ นิวัติ อนงค์รักษ์. 2553. การเจริญเติบโต ผลผลิตและการทดแทนของพรรณไม้ในสวนป่าสนสามใบ พื้นที่ต้นน้ำในภาคเหนือ. การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 2. วันที่ 26 พฤศจิกายน 2553. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่. 10 หน้า.
- Bowen, G.D. and E.K.S. Nambiar. 1989. Nutrition of Plantation Forests Academic Press Limited. 516 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).
- Land Use Planning Division. 1993. Report on Land Suitability Study for High Land Development Planning in Chiang Mai Province. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 393 p. (in Thai).
- 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.