

棲蘭山地區檜木天然林與保育更新林 土壤性質的比較

張瑀芳¹ 蔡呈奇^{1*}

1. 國立宜蘭大學自然資源學系

摘要

本研究以棲蘭山區 130 線林道兩旁林地為研究區域，選擇天然林及檜木保育更新林設立調查樣區，主要的研究目的為(1)比較天然林及檜木保育更新林下兩者土壤性質的差異，以及(2)了解目前保育更新林下土壤性質的特性，以作為日後進一步監測檜木林更新的依據與基礎。研究結果指出：檜木天然林與檜木保育更新林兩樣區土壤性質的差異，主要是土壤表層有機碳的含量，以及所衍生的其它土壤性質(pH、可交換性鹽基、陽離子交換容量、鹽基飽和度等)的變化。強酸性(pH<3.3)、高有機碳含量(平均 15~31%)與低鹽基飽和度(<30%)，為兩林相土壤的共同特點。而植被組成的調查結果指出，喬木的株數與種類近似，但樹木與灌木的株數、種類與胸徑斷面積皆以天然林高於保育更新林，而草本的頻度與種類以保育更新林較高。樣區的土壤性質(0-20 cm)對於高大的喬木與樹木的生長(株數與種類)影響較小，對於灌木與草本的生長影響相對較大與較重要；而土壤性質對於兩種檜木林植被生長的影響，以保育更新林的影響較明顯。土壤有機碳、可交換性鉀、陽離子交換容量與鹽基飽和度為天然林下之土壤較重要影響植被生長的土壤性質，檜木保育更新林中主要的生長影響因子為可交換性鹽基(鉀、鈉、鈣、鎂)。

關鍵詞：檜木、土壤、土壤性質、天然林、保育更新地

Comparisons of Soil Properties between Cypress Nature Forest and Accelerated Regeneration Forest in Chilanshan Area

Yu-Fang Chang¹ Chen-Chi Tsai^{1*}

1. Department of Natural Resources, National Ilan University

Abstract

The study area was located in the Chilanshan area in northeastern Taiwan. The study plots were set up respectively in Cypress Nature Forest and Cypress Accelerated Regeneration Forest along the 130 Forest Road. The objectives of this study were (1) to examine and compare the differences of soil characteristics between this two Cypress forests, and (2) to understand the soil characteristics of accelerated regeneration forest and proposed as the database and basis for further monitoring of the regeneration of cypress forest. The results of this study suggested that the main difference of soil properties between this two Cypress forests was the soil organic carbon content, and the changes of other soil properties, including soil

pH, exchangeable bases, cation exchange capacity and base saturation percentage which were derived from the change of soil organic carbon. The similar soil characteristics of this two cypress forest were strongly acidic (pH<3.3)、higher soil organic carbon contents, and lower base saturation (BS%<30%). The investigation of vegetation compositions of study plot suggested that the stem and species of tree were similar in this two forest, and the stem, species, and basal area of timber and shrub were higher in cypress nature forest, but the frequency and species of herb were higher in cypress accelerated regeneration forest. The effects of soil properties of study plot on the growth of tree and timber (stem and species) were less, but it is greatly and important in the growth of shrub and herb vegetation. Also, the effects of soil properties on the growth of this two cypress forest were significantly in accelerated regeneration forest. In cypress nature forest, including soil organic carbon, exchangeable K, cation exchange capacity (CEC), and base saturation percentage (BS%) were more important soil properties affecting above-ground vegetation growth. Otherwise, the main growth affecting factors were exchangeable bases (K, Na, Ca, and Mg) in cypress accelerated regeneration forest.

Key words: Cypress, soil, soil properties, nature forest, accelerated regeneration forest

*Corresponding author E-mail: cctsai@niu.edu.tw

前言

傳統的森林經營以永續林木生產為目的，而近年來世界各國(包括臺灣地區)所提倡的新林業(new forest)、生態林業(ecological forest)、或生態系經營(ecosystem management)則強調永續性森林生態系經營的革新理念。生態系經營就適用生態方法，融合了人民的需求與環境的價值，達成森林的多目標利用經營，使得森林呈現出多樣的、健康的、生產的以及永續的生態系。應用森林生態系經營理念，以適應性經營模式保育檜木天然資源，維持檜木林結構之完整性，同時亦維護森林生態系之功能。

棲蘭山區檜木天然林中物種組成多樣，其中以紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)及台灣扁柏(*Chamaecyparis obtuse* Siebold & Zucc. var. *formosana* (Hayata) Rehder)兩種富有高經濟價值。光復初期為振興經濟，傳統林業經營為達提高收益、降低成本，多採大面積皆伐作業，後為降低環境及生態上的衝擊，作業方式調整為小面積皆伐，並曾進行單株擇伐及枯立倒木移除之更新試驗。

為能妥善利用森林資源，退輔會森林保育處辦理枯立倒木整理計畫，於整理後採自生苗保育、天然下種及人工造林三種方法建造複層林。皆伐作業、單株擇伐、枯立倒木整理等作業皆為檜木天然林人為干擾的方式，其干擾強度、大小及影響皆有不同。枯立倒木整理作業對後續檜木森林資源經營，不僅移除的木材可供進一步利用，整理後的林地亦可更新形成檜木林，促進森林資源的循環性以維持永續性，同時亦可運用不同的更新作業方式，形成包括天然下種更新、天然復育更新及人工復育更新等不同檜木森林類型，增加檜木森林的多樣性。本研究以棲蘭山區 130 線林道兩旁林地為研究區域，選擇天然林及檜木保育更新地設立調查樣區，比較

天然林及檜木保育更新林下兩者土壤性質的差異，以及了解目前保育更新林下土壤性質的特性，以作為日後進一步監測檜木林更新的依據與基礎。

材料與方法

一、研究區域

在棲蘭山區 130 線林道兩旁林地選擇兩處林相(天然林及保育更新地)，設立調查樣區。天然林位於 130 林道最末端(大溪事業區 54 林班)，為未受干擾的天然林，除了高大的紅檜與臺灣扁柏之外，林下密生闊葉樹，地被亦皆為草類與蕨類密生覆蓋，地被層極為鬆軟，覆蓋大量有機殘體；設置的樣區大小為 0.1 ha (25 m×40 m)，設立 3 個重複樣區。保育更新地位於 130 林道前端(大溪事業區 53 林班)，試驗地前身為檜木天然林，森林保育處在 1996-1997 年間實施枯立倒木移除作業，面積約 30 ha 左右，以高空索道集材的方式移運枯立木，1998 年 2-3 月間實施復育更新作業，將基徑 10 cm 以下的雜木清除，依水平橫坡帶狀方式整地，於林下人工栽植檜木苗作業(2 年生紅檜及臺灣扁柏裸根苗與紅豆杉袋苗)，栽植行株距為 2 m × 1.5 m，每公頃 3300 株，同時配合中耕培土方式整地進行天然下種更新作業(林進龍，2007)；在 1998 年時實施檜木保育更新作業，於 2.4 ha 的範圍內劃設 21 個 20 m×20 m (0.04 ha)的樣區，本研究之樣區為隨機選自其中的 6 個樣區，包括紅檜、臺灣扁柏及臺灣紅豆杉栽植區，視為 6 個重複樣區。

二、土壤採集與處理

在 0.1 ha (或 0.04 ha)的樣區內再畫分成四個小樣區，依土壤深度的變化，在每個小樣區內採集 0-10 與 10-20 cm 的土壤樣本與土環，攜回實驗室分析。總計採集樣本數為：9 個樣區(天然林 3 個樣區，檜木保育更新地 6 個樣區)×2 個土壤層次(0-10 與 10-20 cm)×4 重複 =

72 個土壤樣本。將野外採回的土壤經自然風乾，加以研磨、過篩(<2 mm)，均勻混合後裝入塑膠罐中，以備實驗分析用。

三、土壤物理化學性質分析

(一)水分含量(moisture content)：重量法(Gardner, 1986)。

(二)總體密度(bulk density)：(Blake and Hartge, 1986)。

(三)粒徑分析(soil particle size analysis)：吸管法(Gee and Bauder, 1986)。

(四)土壤反應(pH值)：玻璃電極法(McLean, 1982)。

(五)土壤有機碳：Walkley-Black濕氧化法(Nelson and Sommers, 1982)。

(六)可交換性鹽基(exchangeable bases)：1N醋酸鉍法(pH 7.0)(Thomas, 1982)。

(七)陽離子交換容量(cation exchange capacity, CEC₇)：1N醋酸鉍法(pH 7.0)(Thomas, 1982)。

(八)鹽基飽和度(percentage of base saturation, BS%)： $BS\% = [(可交換性K+Na+Ca+Mg)/CEC_7] \times 100\%$ 。

結果與討論

一、檜木天然林試驗樣區

檜木天然林試驗樣區位於 130 線林道 6 K 附近，共三個樣區(0.1 ha, 25 m × 40 m)。樣區 1 位於上坡處，海拔約 1610 m，地形坡度為 25°；樣區 2 位於上背坡處，海拔約 1505 m，地形坡度為 30°；樣區 3 位於下背坡處，海拔約 1406 m，地形坡度為 25°。

(一)土壤物理性質

3 個樣區之土壤總體密度(Bd)，除了樣區 3 之裏層土壤(10~20 cm)之外，都相當的低(<0.2 Mg/m³)(表 1)。推測造成此現象的原因，可能由於天然林下的土壤少受到擾動，地表枯枝落葉經年累月的聚積，形成一層很厚的有機質層(5~10 cm)覆蓋在土壤表層，並在有機質層與礦質土交界面發育密生的細根，增加表層土壤的孔隙，因此降低表層土壤的總體密度。3 個樣區土壤表層之總體密度平均值為 0.12 Mg/m³ 與底土平均值為 0.32 Mg/m³。

土壤質地分析方面，由於有機物含量相當高而大大影響質地機械分析，因此僅能以樣區 2 與樣區 3 之 10~20 cm 土層之結果來簡單說明：樣區 2 之底土較富含砂粒，因此土壤質地為砂質壤土(sandy loam, SL)；樣區 3 則砂粒含量較樣區 2 為少，粉粒與黏粒則較高，因此土壤質地為壤土(loam, L)。兩個樣區的結果皆說明了天然林下土壤較為鬆軟與顆粒較粗。

(二)土壤化學性質

不論是表土或底土，檜木天然林 3 個試驗樣區之土壤 pH(H₂O)值可歸類為非常酸性(extremely acid, pH 3.5 to 4.4)至超酸性(ultra acid, pH < 3.5)(表 1)。pH(H₂O)與

pH(KCl)兩者的差值為判斷土壤中是否具有潛在性的酸度(包括 H⁺與 Al³⁺)，差值愈大則土壤潛在酸度愈高。由表 1 中可知 pH(H₂O)與 pH(KCl)兩者的差值在 0.8~1.4 pH 單位之間，顯示檜木天然林下土壤的潛在酸度很高，由地表堆積之有機物層中容易釋放出各種有機酸(草酸、檸檬酸等)而強烈的酸化礦質土壤的表層。3 個樣區土壤(0~20 cm)之 pH(H₂O)平均值約為 3.3 與 pH(KCl)平均值約為 2.3。

土壤有機碳的含量相當高，3 個樣區土壤表層(0~10 cm)的含量高達 342~478 g/kg (34~48%)，底土(10~20 cm)則為 74~398 g/kg (7.4~40%)，位於上坡之樣區 1 含量最高，樣區 2 與 3 次之。雖然 3 個樣區之地形坡度在 25~30° 之間，但受到林相茂密的保護作用，地表所堆積的枯枝落葉層不易受暴雨冲刷下移，能較穩定的留在林下。每個樣區中 4 個小樣區之變異很高，變異係數(CV%)在 46~167%之間。3 個樣區土壤(0~20 cm)有機碳的平均值約為 312 g/kg (31%)。

土壤表層大量有機物的堆積也提供了較多的養分，可交換性鹽基(鉀鈉鈣鎂)的含量以鈣最高，其次為鎂、鉀與鈉。較高量的可交換性鈣與鎂應來自於地表未分解至半分解的枝條、樹皮等部分，受到雨水的淋洗溶出並洗入表土中。3 個樣區土壤(0~20 cm)可交換性鹽基的平均值，鉀約為 0.99 cmol(+)/kg、鈉約為 0.11 cmol(+)/kg、鈣約為 2.64 cmol(+)/kg 與鎂約為 1.82 cmol(+)/kg。陽離子的總量，3 個樣區之 0~10 cm 土層約 6.71~7.70 cmol(+)/kg，10-20 cm 土層約 1.96~5.81 cmol(+)/kg，平均(0~20 cm)為 5.55 cmol(+)/kg。高含量的有機物能夠帶有更多負電荷與因此能夠吸附較多的陽離子，因此 3 個樣區土壤表層的陽離子交換容量(CEC)為 29.1~35.2 cmol(+)/kg，底土為 8.6~37.4 cmol(+)/kg，平均(0~20 cm)為 26.8 cmol(+)/kg；鹽基飽和度(BS%)在表層為 20.3~26.5%，底土為 15.5~23.3%，平均(0~20 cm)為 21.4%。

二、檜木保育更新地試驗樣區

檜木保育更新地試驗樣區位於 130 線林道 1 K 附近，共 6 個樣區(H, I, L, N, P, Q) (每個樣區面積 0.04 ha, 20 m × 20 m)，其中樣區 L 與 N 可歸類為紅檜區，樣區 P 與 Q 可歸類為扁柏區，樣區 H 與 I 可歸類為紅豆杉(*Taxus sumatrana* (Miq.) de Laub.)區。紅檜區與扁柏區之地形位置相鄰，位於上背坡，海拔約 1560 m，地形坡度約為 11°；紅豆杉區位於背坡處，海拔約 1547 m，地形坡度約為 30°。各樣區間微地形的起伏變化明顯。

(一)土壤物理性質

檜木保育更新地 6 個樣區(L, N, P, Q, H, I)的土壤物理性質如表 2 所示。樣區 L 與 N 為紅檜栽植區，土壤表層(0~10 cm)的總體密度(Bd)在 0.50~0.59 Mg/m³ 之間，而裏層(10~20 cm)之總體密度在 0.68~0.73 Mg/m³ 之間；樣區 P 與 Q 為扁柏栽植區，土壤表層(0~10 cm)的總體密度在 0.58~0.67 Mg/m³ 之間，而裏層(10~20 cm)之總體密度

表 1 檜木天然林試驗樣區之土壤物理化學性質*

Table 1 Soil physiochemical properties in Cypress Nature Forest study site

Plot ¹	Bulk density Mg/m ³	Sand -----%-----	Silt	Clay	Tex. ²	pH		O.C. ³ g/kg	Exchangeable bases -----cmol(+)/kg soil-----				Sum of Cations	CEC ⁴	BSP ⁵ %
						H ₂ O	KCl		K	Na	Ca	Mg			
1-I	0.12 (0.01)	-- ⁶	--	--	--	3.48 (0.3)	2.56 (0.2)	478 (81)	1.04 (0.3)	0.07 (0.04)	4.47 (1.4)	2.13 (0.6)	7.70 (2)	29.1 (2)	26.5 (8)
1-II	0.13 (0.05)	--	--	--	--	3.22 (0.3)	2.24 (0.2)	398 (167)	1.07 (0.1)	0.08 (0.04)	2.30 (0.9)	2.37 (1.2)	5.81 (2)	37.4 (5)	15.5 (5)
2-I	0.12 (0.01)	--	--	--	--	3.22 (0.2)	2.30 (0.2)	342 (112)	1.21 (0.3)	0.12 (0.12)	3.64 (0.9)	2.65 (0.6)	7.62 (2)	34.4 (7)	22.3 (2)
2-II	0.19 (0.08)	57	27	16	SL	3.86 (0.5)	2.47 (0.2)	114 (114)	0.71(0.3)	0.02 (0.02)	1.67 (1.9)	1.07 (1.2)	3.47 (3)	16.1 (15)	23.3 (6)
3-I	0.13 (0.10)	--	--	--	--	3.05 (0.2)	2.17 (0.2)	463 (46)	1.42 (0.2)	0.36 (0.08)	2.89 (2.7)	2.05 (1.0)	6.71 (4)	35.2 (5)	20.3 (14)
3-II	0.64 (0.46)	43	32	25	L	2.82 (0.5)	2.06 (0.03)	74 (86)	0.46 (0.3)	0.02 (0.02)	0.86 (1.3)	0.62 (1.8)	1.96 (2)	8.6 (6)	20.3 (11)
Average⁷	0.22					3.3	2.3	312	0.99	0.11	2.64	1.82	5.55	26.8	21.4

*: Mean value of four sub-samples in each plot. The value in the parentheses is standard deviation (SD).

¹: I =0~10 cm, II = 10~20 cm

²: Tex. = texture; SL = sandy loam, L = loam

³: O.C =organic carbon

⁴: CEC = cation exchangeable capacity

⁵: BSP = base saturation percentage

⁶: not detected.

⁷:The average value was calculated from Plot L, N, P, Q, H, and I, including surface layer (0-10 cm) and subsurface layer (10-20 cm).

在 0.62~0.71 Mg/m³ 之間；樣區 H 與 I(紅豆杉栽植區)的土壤表層(0~10 cm)的總體密度在 0.37~0.39 Mg/m³ 之間，而裏層(10~20 cm)之總體密度在 0.55~0.68 Mg/m³ 之間。

樣區土壤之總體密度偏低的原因，應是受到土壤有機物含量較高的影響，尤其是表層土壤，而樣區的坡度較陡(例如樣區 H 與 I)所可能引起的干擾也會造成土壤總體密度的降低。扁柏樣區表土總體密度平均值為 0.55 Mg/m³ 與底土為 0.71 Mg/m³；紅檜區表土總體密度平均 0.63 Mg/m³ 與底土為 0.67 g/m³；紅豆杉樣區表土總體密度平均值為 0.38 Mg/m³ 與底土為 0.62 Mg/m³。檜木保育更新地 6 個樣區表土總體密度平均值為 0.52 Mg/m³ 與底土為 0.67 Mg/m³。

本研究區的地質主要為黏板岩，因此所生成的土壤多為細質地的土壤，粉粒與黏粒的含量較高。除了樣區 H 與 I 之表層之外，其餘樣區土壤中砂粒含量皆低於 10%；粉粒含量在 20~61% 之間，黏粒含量在 32~56% 之間。扁柏樣區的粉粒含量較高於紅檜與紅豆杉樣區，相對的黏粒含量則較低，兩者的差異顯示紅檜與紅豆杉樣區的土壤可能有較強的風化作用，或可能由樣區之上坡所沖蝕下來的細粒子在扁柏樣區表層土壤中累積所致，亦即可能是樣區微地形變化的影響。

(二)土壤化學性質

檜木保育更新地 6 個樣區(L, N, P, Q, H, I)的土壤化學性質如表 2 所示。紅檜樣區的土壤 pH(H₂O)值在 4.4~4.7 之間，屬於非常酸性(extremely acid, pH 3.5~4.4)至極強酸性(very strongly acid, pH 4.5~5.0)土壤，其 pH(KCl)值在 3.2~3.4 之間，與 pH(H₂O)兩者間的差值在 1.0~1.5 pH 單位之間，顯示土壤中有很高的可交換性酸度的存在。扁柏樣區之土壤 pH 值較低於紅檜樣區，土壤 pH(H₂O)值在 3.6~4.1 之間，屬於非常酸性(extremely acid)土壤，其 pH(KCl)值在 2.7~3.0 之間，與 pH(H₂O)兩者間的差值在 0.9~1.1 pH 單位之間，亦表示土壤中有很高的可交換性酸度的存在。紅豆杉樣區的土壤 pH(H₂O)值在 3.3~4.2 之間，屬於超酸性(ultra acid, pH <3.5)至非常酸性(extremely acid)土壤，其 pH(KCl)值在 2.6~3.0 之間，與 pH(H₂O)兩者間的差值在 0.7~1.2 pH 單位之間，土壤中亦有很高的可交換性酸度的存在。

土壤有機碳含量的部份，紅檜樣區土壤表層含量在 121~130 g/kg 之間，土壤裏層為 39~86 g/kg，樣區土壤平均值(0~20 cm)為 94 g/kg (9.4%)；扁柏樣區土壤表層含量在 131~219 g/kg 之間，土壤裏層為 132~155 g/kg，樣區土壤平均值(0~20 cm)為 159 g/kg (15.4%)；紅豆杉樣區土壤表層含量在 222~304 g/kg 之間，土壤裏層為 90~107 g/kg，樣區土壤平均值(0~20 cm)為 181 g/kg (18.1%)。紅豆杉樣區土壤有機碳含量最高，其次為扁柏樣區，紅檜樣區最低。紅豆杉樣區之高有機碳含量也造成土壤 pH 值相對較低。

土壤中可交換性鹽基的含量皆為鈣 > 鎂 > 鉀 > 鈉，陽離子總量(sum of cations)在紅檜樣區及紅豆杉樣區

以表層高於裏層，但扁柏樣區卻相反，以裏層含量高於表層。紅檜樣區之陽離子總量平均(0~20 cm)為 4.29 cmol(+)/kg，扁柏樣區為 3.59 cmol(+)/kg，紅豆杉樣區為 5.04 cmol(+)/kg。

陽離子交換容量(CEC)在 6 個樣區中皆以土壤表層高於裏層，紅檜樣區之土壤表層 CEC 為 73~78 cmol(+)/kg，土壤裏層 CEC 為 43~60 cmol(+)/kg，樣區平均值(0~20 cm)為 63 cmol(+)/kg；扁柏樣區之土壤表層 CEC 為 76~97 cmol(+)/kg，土壤裏層 CEC 為 66~88 cmol(+)/kg，樣區平均值(0~20 cm)為 81 cmol(+)/kg；紅豆杉樣區之土壤表層 CEC 為 46~49 cmol(+)/kg，土壤裏層 CEC 為 18~33 cmol(+)/kg，樣區平均值(0~20 cm)為 36 cmol(+)/kg。紅豆杉樣區之土壤有機碳含量在 3 個樣區中為最高，但 CEC 明顯較低於扁柏與紅檜樣區，應該是因為土壤 pH 較低與太酸，使得陽離子容易因淋洗而自表土中損失。

扁柏與紅檜樣區的土壤鹽基飽和度(BS%)皆小於 10%，扁柏樣區的鹽基飽和度平均值(0~20 cm)最低(3.0%)顯示強酸性土壤中陽離子不容易被土壤粒子所吸附而容易流失的特性；紅豆杉樣區之鹽基飽和度除了樣區 I 之 10~20 cm 土層 > 20%，其餘土層約在 10~17% 之間，高於扁柏與紅檜樣區，理論上 pH 較低其鹽基飽和度應較小，但分析結果顯示卻較高，推測可能是微地形的效應，紅豆杉樣區可能接受來自上坡物質並堆積。

三、綜合比較

檜木天然林試驗樣區由於有機物含量很高(平均 312 g/kg) (表 1)，造成土壤總體密度與土壤 pH 值都較低於檜木保育更新地，但陽離子總量與鹽基飽和度則高於檜木保育更新地；由於土壤太酸，容易使得陽離子成為易移動性，在土壤中隨土壤水的移動而流失，因此檜木天然林之陽離子交換容量(CEC)低於檜木保育更新地。

以樣區的土壤調查結果來比較兩種樣區植被的組成(表 3)(陳子英與魏瑞廷, 2006)，可以知道：喬木的株數與種類相近，但檜木保育更新地試驗樣區之喬木胸徑斷面積為檜木天然林樣區的 3 倍左右；樹木的株數則天然林樣區為保育更新地的 6 倍、種類為 2.5 倍與胸徑斷面積為 6 倍；灌木的株數則天然林樣區為保育更新地的 4 倍、種類為 11 倍與胸徑斷面積為 4 倍；但草本的頻度與種類則以保育更新地樣區較高於天然林樣區。而由於兩林地的樣區大小不相同(天然林每個樣區為 0.1 ha 與保育更新地樣區為 0.04 ha)，我們進一步將資料換算為每公頃所包含的株數與胸徑斷面積來探討(表 3)，結果顯示各植被組成在兩種林地的變化趨勢與上述相似。

由土壤性質與植被組成的相關分析結果(表 4)，我們發現：在檜木天然林樣區中，與喬木生長有相關的土壤性質為鹽基飽和度(BS%)、可交換性鉀(Exch. K)與陽離子交換容量(CEC)，其中前者與喬木株數為高度正相關(p<0.01)，而後二者皆與喬木種類是為高度負相關(p<0.05)；對於次冠層林木(樹木)生長的影響，只有土壤

表 2 檜木保育更新地試驗樣區之土壤物理化學性質*

Table 2 Soil physiochemical properties in Cypress Accelerated Regeneration Forest study site

Plot ¹	Bulk density Mg/m ³	Sand	Silt	Clay	Tex. ²	pH		O.C. ³	Exchangeable bases				Sum of Cations	CEC ⁴	BSP ⁵
						H ₂ O	KCl		K	Na	Ca	Mg			
		-----%-----					g/kg		-----cmol(+)/kg soil-----				%		
L-I	0.59 (0.12)	5	48	47	SiC	4.4 (0.2)	3.4 (0.2)	130 (43)	0.29 (0.1)	0.05 (0.02)	4.40 (2.8)	1.33 (1.1)	6.07 (4)	77.9 (15)	7.4 (4)
L-II	0.68 (0.11)	8	44	48	SiC	4.7 (0.2)	3.2 (0.2)	39 (13)	0.14 (0.1)	0.04 (0.03)	1.72 (0.2)	0.39 (0.2)	2.30 (2)	42.8 (9)	5.4 (5)
N-I	0.50 (0.12)	7	38	56	C	4.4 (0.2)	3.3 (0.2)	121 (67)	0.31 (0.2)	0.08 (0.06)	3.87 (3.0)	1.12 (0.9)	5.37 (4)	72.8 (30)	6.4 (4)
N-II	0.73 (0.15)	3	52	45	SiC	4.4 (0.2)	3.3 (0.2)	86 (54)	0.25 (0.1)	0.12 (0.13)	2.60 (0.2)	0.42 (0.2)	3.40 (2)	60.0 (16)	5.7 (2)
P-I	0.58 (0.27)	7	61	32	SiCL	3.6 (0.2)	2.7 (0.2)	219 (224)	0.23 (0.1)	0.07 (0.06)	0.59 (0.6)	0.80 (0.7)	1.68 (1)	96.8 (52)	1.6 (1)
P-II	0.62 (0.27)	7	39	55	C	3.9 (0.3)	2.8 (0.3)	132 (166)	0.23 (0.1)	0.11 (0.11)	2.56 (0.8)	0.84 (0.8)	3.74 (3)	87.5 (55)	3.5 (3)
Q-I	0.67 (0.13)	4	54	42	SiC	3.9 (0.2)	2.9 (0.2)	131 (43)	0.25 (0.1)	0.88 (1.69)	1.64 (2.7)	0.55 (0.2)	3.31 (3)	75.9 (18)	4.3 (3)
Q-II	0.71 (0.10)	4	52	44	SiC	4.1 (0.1)	3.0 (0.1)	155 (142)	0.18 (0.03)	0.06 (0.07)	5.05 (0.1)	0.34 (0.1)	5.62 (3)	65.5 (5)	2.7 (4)
H-I	0.39 (0.10)	40	20	40	CL	3.9 (0.2)	2.9 (0.2)	222 (75)	0.63 (0.02)	0.06 (0.02)	1.79 (0.9)	0.84 (0.1)	3.32 (1)	45.9 (28)	9.4 (5)
H-II	0.68 (0.24)	6	48	46	SiC	3.3 (0.4)	2.6 (0.3)	107 (27)	0.46 (0.1)	0.14 (0.15)	1.01 (1.2)	0.24 (0.1)	1.85 (1)	18.0 (7)	11.6 (9)
I-I	0.37 (0.18)	14	46	40	SiCL	3.8 (0.4)	3.0 (0.4)	304 (134)	0.66 (0.2)	0.09 (0.05)	5.74 (2.4)	1.65 (0.7)	8.14 (3)	49.1 (15)	17.1 (5)
I-II	0.55 (0.08)	2	49	49	SiC	4.2 (0.3)	3.0 (0.1)	90 (41)	0.45 (0.1)	0.14 (0.14)	1.59 (0.9)	0.50 (0.3)	6.84 (8)	32.5 (13)	23.7 (29)
Average⁶	0.60					4.1	3.0	145	0.34	0.15	2.71	0.75	4.30	60.4	8.23

*: Mean value of four sub-samples in each plot. The value in the parentheses is standard deviation (SD).

¹: I = 0~10 cm, II = 10~20 cm

²: Tex. = texture; C = clay, CL = clay loam, SiC = silty clay, SiCL = silty clay loam

³: O.C = organic carbon

⁴: CEC = cation exchangeable capacity

⁵: BSP = base saturation percentage

⁶: The average value was calculated from Plot L, N, P, Q, H, and I, including surface layer (0-10 cm) and subsurface layer (10-20 cm).

表 3 檜木天然林與檜木保育更新地試驗樣區植被的組成*

Table 3 Vegetation compositions in Cypress Nature Forest and Cypress Accretion Regeneration Forest study site*

Plot	Tree		Timber		Shrub		Herb
	Stem (species)	Basal area (m ²)	Stem (species)	Basal area (m ²)	Stem (species)	Basal area(m ²)	Frequency (species)
Cypress Nature Forest							
1	9 (1)	1.51	361 (24)	5.28	363 (28)	0.22	270 (64)
2	19 (4)	8.20	188 (26)	3.09	296 (38)	0.16	300 (81)
3	5 (5)	1.42	223 (24)	3.66	394 (40)	0.17	162 (40)
AVG.#	11 (3)	3.71	257 (25)	4.01	351 (35)	0.18	244 (62)
	(Stems/ha)	(m ² /ha)	(Stems/ha)	(m ² /ha)	(Stems/ha)	(m ² /ha)	(Frequency/ha)
1	90	15	3610	53	3630	2	2700
2	190	82	1880	31	2960	2	3000
3	50	14	2230	37	3940	2	1620
AVG.	110	37	2573	40	3510	2	2440
Cypress Accelerated Regeneration Forest							
L+N	5 (3)	5.21	78 (5)	0.55	71 (3)	0.07	478 (148)
P+Q	15 (3)	16.9	13 (7)	0.54	109 (1)	0.04	223 (98)
H+I	13 (4)	9.17	31 (15)	0.97	73 (5)	0.04	423 (145)
AVG.	11 (3)	10.4	41 (17)	0.69	84 (3)	0.05	375 (130)
	(Stems/ha)	(m ² /ha)	(Stems/ha)	(m ² /ha)	(Stems/ha)	(m ² /ha)	(Frequency/ha)
L+N	63	65	975	7	888	1	5975
P+Q	188	211	163	7	1363	1	2788
H+I	163	115	388	12	913	1	5288
AVG.	138	130	508	9	1054	1	4683

*: Tree = DBH > 35 cm; Timber = DBH 5~35cm; Shrub = DBH 1~5cm

#: The average values were calculated from plot 1~3 in cypress nature forest and from L, N, P, Q, H, and I plot in cypress accelerated regeneration forest.

(資料整理自陳子英與魏瑞廷(2006))

有機碳含量與樹木的胸徑斷面積有高度正相關(p<0.05); 在灌木的分析結果, 土壤有機碳含量、可交換性鉀、陽離子交換容量及鹽基飽和度分別與灌木的胸徑斷面積、種類及株數有高度正相關與負相關; 草本的頻度與種類只與土壤 pH 值之間有極顯著相關(p<0.05)。另外, 在檜木保育更新林樣區的相關分析結果, 土壤總體密度愈高, 喬木的種類有減少的趨勢(p<0.05), 可交換性鈣(Exch. Ca)含量愈高則喬木的株數有減少的趨勢(p<0.05)與可交換性鉀含量愈高則喬木的種類有增加的現象(p<0.05); 在樹木的部份, 土壤總體密度增加會減少樹木的胸徑斷面積(p<0.05), 而可交換性鉀含量增加則樹木的種類有增加的現象(p<0.05); 在灌木的分析結果, 可交換性鈉(Exch. Na)含量增加與可交換性鎂(Exch. Mg)含量的減少, 灌木的株數都有增加的趨勢(p<0.05), 陽離子總量的增加與陽離子交換容量的減少, 都使得灌木的種類有增加的趨

勢, 而灌木胸徑斷面積的增加趨勢與土壤 pH 值與可交換性鈣含量的增加有顯著相關(p<0.05); 草本的部份, 僅土壤可交換性鈉與頻度及種類有顯著負相關, 而可交換性鎂含量與草本的種類有極極顯著(p<0.01)的正相關。

整體而言, 在天然林中, 土壤總體密度對於植被生長都無顯著影響, 而土壤 pH 值只影響草本的生長, 推測應是天然林之植被的根系已深入較深土層, 即紮根較深, 較不容易受到表層土壤的總體密度與 pH 值的影響; 而土壤有機碳、可交換性鉀、陽離子交換容量與鹽基飽和度為天然林下之土壤較重要影響植被生長的土壤性質。檜木保育更新林中, 土壤總體密度、土壤 pH 值、有機碳、陽離子總量、陽離子交換容量與鹽基飽和度對植被的生長影響不大, 主要的生長影響因子為可交換性鹽基(鉀、鈉、鈣、鎂)。樣區的土壤性質(0-20 cm)對於高大的喬木與樹木的生長(株數與種類)影響較小, 對於

表 4 檜木天然林與檜木保育更新地試驗樣區植被的組成與土壤性質的相關性分析[#]

Table 4. Correlation analysis between vegetation compositions and soil properties in cypress nature forest and accelerated regeneration forest*

Soil Properties	Tree			Timber			Shrub			Herb	
	Stem	Species	Basal area	Stem	Species	Basal area	Stem	Species	Basal area	Frequency	Species
Cypress Nature Forest											
Bd	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
pH-H ₂ O	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.9946*	0.9936*
Organic C	NS	NS	NS	NS	NS	0.9975*	NS	NS	0.9996*	NS	NS
Exch. K	NS	-0.9969*	NS	NS	NS	NS	NS	-1.000**	NS	NS	NS
Exch. Na	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Exch. Ca	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Exch. Mg	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Sum of Cations	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	-0.9988*	NS	NS	NS	NS	NS	-0.9909*	NS	NS	NS
BS(%)	1.000**	NS	NS	NS	NS	NS	-0.9992*	NS	NS	NS	NS
Cypress Accelerated Regeneration Forest											
Bd	NS	-0.9922*	NS	NS	NS	-0.9945*	NS	NS	NS	NS	NS
pH-H ₂ O	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.9948*	NS	NS
Organic C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Exch. K	NS	0.9976*	NS	NS	NS	0.9988*	NS	NS	NS	NS	NS
Exch. Na	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.9938*	NS	NS	-0.9988*	-0.9945*
Exch. Ca	-0.9956*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.9954*	NS	NS
Exch. Mg	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0.9999**	NS	NS	NS	0.9999**
Sum of Cations	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.9998**	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0.9935*	NS	NS	NS
BS(%)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[#]: Abbreviation: Bd = bulk density, Exch. = exchangeable, CEC = cation exchange capacity, BS = base saturation; NS = not significant, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$

灌木與草本的生長影響相對較大與較重要；而土壤性質對於兩種檜木林植被生長的影響，以保育更新林的影響較明顯。

結 論

依據本研究初步探討的結果指出：檜木天然林與檜木保育更新地兩樣區土壤的性質確有不同，主要是土壤表層有機物量的變化，與因此而產生與影響其它土壤性質(包括 pH、可交換性鹽基、CEC、BSP 等)的變化。檜木天然林試驗樣區由於有機物含量很高(平均 312 g/kg)，造成土壤總體密度與土壤 pH 值都較低於檜木保育更新地，但陽離子總量與鹽基飽和度則高於檜木保育更新地；由於土壤太酸，容易使得陽離子成為易移動性，在土壤中隨土壤水的移動而流失，因此檜木天然林之陽離子交換容量(CEC)低於檜木保育更新地。兩種林相的植被組成調查結果，喬木的株數與種類近似，但樹木與灌木的株數、種類與胸徑斷面積皆以天然林高於保育更新林，而草本的頻度與種類以保育更新林較高。

由樣區土壤性質與植被組成的相關性分析結果指出：樣區的土壤性質(0-20 cm)對於高大的喬木與樹木的生長(株數與種類)影響較小，對於灌木與草本的生長影響相對較大與較重要；而土壤性質對於兩種檜木林植被生長的影響，以保育更新林的影響較明顯。天然林之植被的根系已深入較深土層，較不容易受到表層土壤的總體密度與 pH 值的影響；而土壤有機碳、可交換性鉀、陽離子交換容量與鹽基飽和度為天然林下之土壤較重要影響植被生長的土壤性質。檜木保育更新林中主要的生長影響因子為可交換性鹽基(鉀、鈉、鈣、鎂)。

誌 謝

本研究承行政院退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處補助經費(計畫編號：研究系列(94-01b-002))，謹此致謝。

參考文獻

- 林進龍。2007。棲蘭山檜木林冠層下檜木栽植苗之生長表現。國立宜蘭大學自然資源學系碩士論文。宜蘭。
- 陳子英、魏瑞廷。2006。棲蘭山130林道檜木林生態監測植物資源部分。pp.1-50。行政院退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處九十五年度委託計畫「棲蘭山130林道檜木林生態監測」期末報告(計畫編號：研究系列950522-2)。宜蘭。
- Blake, G. R. and K. H. Hartge 1986. Bulk density. *In* : Methods of soil analysis. A. Klute (ed.). Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agronomy monograph 9:363-382.

- Gardner, W. H. 1986. Water content. *In* : Methods of soil analysis. A. Klute (ed.). Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agronomy monograph 9:493-544.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder 1986. Particle-size analysis. *In* : Methods of soil analysis. A. Klute (ed.). Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agronomy monograph 9:383-411.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. *In* : Methods of soil analysis. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agronomy monograph 9:199-224.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommer 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In* : Methods of soil analysis. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agronomy monograph 9:539-577.
- Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cation. *In* : Methods of soil analysis. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agronomy monograph 9:159-165.

96年09月13日投稿

96年12月10日接受