

# 關刀溪森林生態系三種林分之土壤理化性質 及土壤水化學成分

許博行<sup>1</sup> 郭孟斯<sup>2</sup>

**【摘要】**本研究的目的是探討關刀溪森林生態系內同一集水區所含三種林分，杉木林、次生林及天然林之土壤及土壤水(張力水、重力水)的性質及其差異，且就不同林分不同土層深度探討其變化。結果顯示此三種林分的土壤物理性質為杉木林屬緊密黏土質地，次生林屬小石礫多之疏鬆壤土質地而天然林為大石礫含量多之疏鬆黏土質地。三種林分土壤化學性質方面，天然林養分含量最高，陽離子交換能力也明顯較強，而土層愈深養分含量愈少；土壤pH值則以天然林最高，次生林次之，杉木林最低。在土壤水方面，三種林分張力水之導電度、各種無機離子濃度及凱氏氮皆高於重力水；而以天然闊葉林之營養鹽含量最高，次生闊葉林林次之，杉木人工林最低，此結果與不同林分之土壤化學性質相同。愈往下層土壤的張力水，其離子濃度逐漸下降，但pH值則有上升的現象。當一林分處於未經干擾且歧異度較高的情形下，不論土壤之物理結構或養分狀態皆顯現較理想的狀態。

## Physical and Chemical Properties of Soil and Chemical Components of Soil Water of Three Stands in Kuandaushi Forest Ecosystem

Bor Hung Sheu<sup>1</sup> Meng Sy Guo<sup>2</sup>

**【Abstract】** The objectives of this study are to compare the properties of soil and soil water (including tension and zero tension water) of three types of forests, a plantation (*Cunninghamia lanceolata*), a secondary hardwood, and a natural hardwood at Kuandaushi forest ecosystem in central Taiwan. The texture of soil of plantation is heavy clay, secondary hardwood is light loam, and natural hardwood is light loam soil. Ion concentrations and cation exchange capacity are higher in soil of natural hardwood than in secondary hardwood and in plantation. The ion concentrations decrease and pH increase with increasing soil depth. Soil pH is lower in plantation stand than in secondary hardwood and natural hardwood. Soil waters under tension are higher in conductivity and ion concentration than those of under zero-tension. Soils are better structured and the fertility is higher under less disturbed natural forest than under secondary forest and plantation.

<sup>1</sup> 國立中興大學森林學系教授, 通訊作者  
Professor, Dept. of Forestry, NCHU, Corresponding author.

<sup>2</sup> 國立中興大學森林系研究生  
Graduate student, Department of Forestry, NCHU.

## 一、前言

土壤是森林生態系的主要組成分，不僅支持森林植群，且是植群礦物養分的主要供給者。土壤的物理、化學與生物特性與森林生態系中的植群產生多樣的交互作用，不僅可以緩衝外在環境因子的逆壓，也可以反應植群對於其他環境因子的作用。

森林生態系的主要功能可由兩方面顯現：一為能量流，另一為養分循環。土壤由於其膠體的性質及生物性質(如菌根菌，根瘤菌等)而可借各種機制保存其於生態系內，不致大量淋溶而流失(Richards, 1987)，故土壤為各種森林生態系的主要養分儲存庫之一(Vitousek and Sanford, 1986; Horng, 1987)。

土壤受氣候、地質、地形、生物與時間的綜合影響而產生演育。在同一個較均質的大區域內，如果地質、地形的變化較小，則影響土壤化育的環境因子主要是生物與氣候。以生物而言，土壤微生物固定養分被認為是生態系養分留存的重要機制(Vitousek and Matson, 1984)。以氣候而言，隨著季節產生的氣溫與水分變化，則影響土壤有機物的分解及微生物的活動，進而影響土壤有效養分出現的型態與量及其流失的可能性(Horng, 1988)。因此，了解一個生態系土壤養分是相當重要的基礎工作。

土壤水為土壤之流動組成，有如人體之血液，無水則所有土壤植物將趨於死亡，故土壤水可作為植物生態指標之一重要因子。植物所需之水分及養分直接或間接來自土壤水，土壤水含量減少，不僅使植物之可利用水(有效水)減少，並且降低植物對養分之可利用率，如磷之溶解性幾乎與水量成正比(有光, 1982)。土壤水常成限制林木生長之一因子，因土壤水會影響植物體內水分的平衡，遂而控制植物的生長過程(Kramer and Kozlowski, 1960)；且土壤水也為影響土壤化育過程之先決條件，如風化作用、腐植質增減及粘土堆積等。

土壤水主要來自大氣流動的雨水，少部分來

自汽態的空氣溼度經凝縮而成(如：雲、霧等)。依雨量、降雨強度、坡度、土壤之吸水量及穿透率的大小，雨水可形成地表水，此能導入溝渠或蒸發至大氣，另外進入土壤中之水，如仍留在土中者，稱曰附著水(adhesive water)，或滲入土壤成滲漏水並形成地下水(ground water)及阻滯水(stagnant water)。地下水及阻滯水經毛細管上升，可再補充附著水，附著水經由植物吸收而蒸散及土壤表面蒸發而散失至大氣。附著水可區分為吸著水(adsorbed water)及微管水(capillary water)，前者為存在於無機土壤顆粒表面之水，此水植物不易吸收利用；後者為存在於微管水，此為植物吸收之有效水來源。

在本試區之森林生態系中包含有三個相鄰的不同林分，即杉木人工林、次生闊葉林及天然闊葉林等，由於此三種林分之位置相當接近，但各種林分內之植被及樹種差異大，且坡度和土壤質地及土壤含水量也大不相同，以至三種不同林分土壤及土壤水養分的差異亦大，故本文主要在探討此森林生態系三種不同林分下，土壤及土壤水(張力水、重力水)的性質及差異性，且就不同林分不同土層深度探討其變化。

## 二、材料與方法

### (一)、試驗地概況

本試驗地位於南投縣仁愛鄉新生村中興大學實驗林管處惠蓀林場，在地理位置上位於台灣本島地理中心埔里鎮之東北，北緯 $24^{\circ}2'$ 至 $24^{\circ}6'$ 、東經 $120^{\circ}59'$ 至 $121^{\circ}59'$ 之間，地形狹長，東西水平距離約15公里，南北最寬處約7公里，林場內主要山峰有北東眼山(2,108 m)、南東眼山(1,879 m)、守關山(2,310 m)、守城大山(2,419 m)、關刀山(2,015 m)等，主要溪流有合水溪、椿谷溪、東峰溪及關刀溪等均向北注入北港溪(呂金誠、歐辰雄, 1996)。

本試驗地區屬於第三林班關刀溪水源集水區長期生態研究區內，海拔700至1,300 m，樣區內主要植群可分為：杉木人工林，於1964年栽植，1977年施行疏伐作業，取樣時林齡為35年。

天然闊葉林，未經人為干擾，林相組成已趨於穩定。次生闊葉林，於 1958 年實施砍伐後，未經造林，任由其根株萌蘖與種子萌芽而成，迄今已達 38 年。試驗區內之年平均溫 16.2 °C，年雨量 2,404 mm，平均相對濕度 90.8 %。

依呂金誠與歐辰雄(1996)調查區內林分植群，杉木林每公頃約 1,220 株，入侵之闊葉樹約 3,200 株。次生林每公頃約 7,600 株(胸徑大於 5 cm 以上者為 2,220 株)，主以柏拉木、竹葉楠、山紅柿、台灣黃杞、茜草樹、香桂、薯豆、大丁黃、小葉赤楠、反刺櫨、倒卵葉山龍眼、楊桐葉灰木、捲斗櫨、石櫨等。天然生闊葉林位於水源地上方，小溪谷之旁，潮濕未遭破壞，每公頃上層林木約 1,980 株(胸徑大於 5 cm 以上者為 1,380 株)。此林分之組成為台灣最典型之樟櫨群叢，且歧異度高，主要優勢樹種以台灣山龍眼、豬腳楠、台灣黃杞、鴨腳木、柏拉木、白匏子、琉球雞屎樹、裡白饅頭果、山紅柿、紅花柿等為主，下層植物則以赤車使者、廣葉鋸齒雙蓋蕨、黃蘗佔有較大優勢度。

## (二)、分析方法及步驟

### 1. 土壤採樣

本實驗樣區於 1996 年 6 月在關刀溪長期生態研究區內之杉木林、次生林及天然林三林分內各設定 3 個樣區，以採樣圓筒(直徑 5 cm，高 6 cm，容積為 118 ml)採取 0-5、15-20、30-35 及 60-65 cm 處之土樣分析，共計  $4 \times 3 \times 3 = 36$  個樣品。土壤之分析分物理、化學性質兩大部份：

(1) 土壤物理性質分析：土壤之透水性、容積重、孔隙量、最大容水量、最小容氣量及土壤之機械性質(鮑氏比重計法)等項目，其分析方法分別為容重 ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) = [細土烘乾重 / (採樣筒容積 - 石礫體積 - 生根體積)]  $\times 100\%$ 。細孔隙量 % (pF2.7 以上對採樣筒容積之 %) = 經索燒板(pF2.7)脫水後之圓筒總量 - (濾紙重 + 石礫烘乾重 + 生根重 + 細土烘乾重)。粗孔隙量 % (pF2.7 以下對採樣筒容積之 %) = 總孔隙量 - 細孔隙量。總孔隙量 % = [(採樣筒容積 - (石

礫體積 + 生根體積 + 烘乾細土體積)] / 採樣筒容積  $\times 100\%$ 。最大容水量 % = 飽和重 - (石礫烘乾重 + 生根重 + 細土烘乾重)。最小容氣量 % = 總孔隙量 - 最大容水量。採樣時含水量 % = 採樣時總重 - (石礫烘乾重 + 生根重 + 細土烘乾重)。

(2) 土壤化學性質分析：取新鮮土樣：水 = 1 : 2.5 及新鮮土樣：KCl (1N) 溶液 = 1 : 2.5，分別測 pH 值。採樣之土壤經風乾後並經 2 mm 過篩之土壤為分析樣品，各種化學性質之分析方法為氮以凱氏氮 (Kjeldahl 法)；磷以 Bray-1 法分析其有效性；另取風乾土樣 10 g，利用醋酸銨溶液(pH 7.0) 100 ml 以置換出土壤中的交換性陽離子，利用 Peech 法測其陽離子交換能力及以焰光光度計(flame photometer, Corning, 410, U.S.A.) 測交換性鉀、鈉，以原子吸收儀(atomic absorption spectrophotometer, Buck Scientific, Model 200A) 測定交換性鈣、鎂等。

### 2. 土壤含水率之量測

為了解各林分土壤之含水率與土壤張力之關係，先採取各林分之土樣至實驗室，以壓力鍋(pressure plate extractor, Soil Moisture Co. Cat. #1500) 做土壤水分張力曲線，再於現場分別設置土壤張力感應器(Watermark model 200) 於張力水樣區周圍，依土深 15、30 及 60 cm 埋入，並於每次前往取水時同時量測感應器之讀值，量測單位為 (centibar/kPa)，而由土壤水分張力曲線換算成相對應之土壤水分含量。

### 3. 土壤水採樣與分析

重力水收集裝置係先挖開土壤縱剖面，再將所須深度 15、30 及 60 cm 處，從剖面處向內挖，而不破壞原土層，將長 20 cm、寬 15 cm、高 10 cm 容量 3000 mL 之塑膠容器放入，容器內先裝滿 Pyrex 材質之玻璃珠，其上覆以玻璃棉，而後放入挖開之洞內，容器頂端須密接土壤，以使水分能由於重力作用而流入盤內，再從盤底接根水管至外面的塑膠桶以便收取重力水分，每月收集一次，共計 12 次。

張力水收集裝置則利用鑽土機先在土層中鑽

出所須之深度 15、30 及 60 cm，再利用事先已作好之陶瓷杯(可維持 0.1 MPa 之壓力)接於塑膠水管上，按所須之深度放入土層中，陶瓷杯須利用原土深之土漿使其密接於土壤中，約 2 星期即可收集水分，惟為使收集之水樣能真正代表該土層之性質最初半年所收集之水樣並未列入分析資料中。在收取水分時，此裝置須先抽取真空約 0.07 Mpa (利用真空幫浦 Model 2005 G1 抽取)，約 2 個星期後收取張力水，全年共計採樣 26 次。

土壤水之架設樣區在土壤採樣區周圍，每林分設 3 個樣區，每樣區分 15、30、60 cm 處收集水樣，水樣之收集區分為上述之重力水(無張力水)及張力水，每個林分計  $3 \times 3 \times 2 = 18$  個樣品，三個林分每一次採樣共計 54 個樣品。

收取重力水及張力水樣後，將水樣裝於聚乙烯瓶中並立即測定導電度、pH 值及凱氏氮等，水樣經過濾(0.45  $\mu$ m millipore filter)後，再進行碳酸氫根及各種化學分析。所有陰陽離子皆採用美國 ASTM (American Standard for Testing and Materials)的標準測定流程，即水樣經過保護管(guard column, 陽離子：Dionex P/N042766；陰離子：Dionex P/N044858)，分離管(separator column, 陽離子：Dionex CS12 P/N44001；陰離子：Dionex AS4A P/N43174)及抑制管(suppressor device, 陽離子：Dionex CSRS- I P/N043190；陰離子：Dionex ASRS- I P/N043189)，最後以電導度偵測器(conductivity detector, Dionex P/N 041439-01)偵測不同離子(APHA, 1992; 劉瓊霖、金恆鏞, 1996)。本試驗是以 Dionex-100 離子層析儀分析之(流洗液分別為：陽離子流洗液(20 mM methane sulfonic acid)；陰離子流洗液[(0.3816 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+0.2856 g NaHCO<sub>3</sub>)/2L (H<sub>2</sub>O)])。

### 三、結果

#### (一)、土壤之物理化學性質

於 1996 年 6 月自三個不同林分之三個樣區中，採取不同土層深度之土壤，共 4 個土層深度(0-5、15-20、30-35 及 60-65 cm)每個土層深度具 3 重複，共  $3 \times 3 \times 4 = 36$  個樣品。經分析其物

理及化學性質結果分述如下。

#### 1、物理性質：

三種林分之土壤砂粒、粉粒及粘粒百分比如表 1 所示。依國際土壤三相分佈圖顯示，三種林分之土壤質地分別為杉木林屬緊密黏土，次生林屬疏鬆壤土，而天然林屬疏鬆黏土。

表 1.三種林分土粒之三相分布及土壤質地

Table 1. Soil particles and texture in three forests.

	砂粒 %	粉粒 %	粘粒 %	質地級
杉-0	11.30	47.25	41.45	silty clay
杉-15	7.05	39.00	53.95	heavy clay
杉-30	12.08	33.25	53.95	heavy clay
杉-60	10.30	33.25	56.45	heavy clay
次-0	61.05	25.00	13.95	Loam
次-15	35.30	40.75	23.95	clay loam
次-30	32.80	58.25	8.95	silty loam
次-60	27.80	64.50	7.70	silty loam
天-0	37.80	30.75	31.45	light clay
天-15	52.80	22.00	25.20	light clay
天-30	35.30	32.00	32.70	light clay
天-60	40.30	27.38	32.33	light clay

註：每數據為三個樣區之平均值

各種物理性質如表 2 所示。由於土層愈往下層其土壤愈密實，故其透水性愈小，也就是其水分流動性愈小；三種林分比較上可發現天然林之透水性高於其它二林分。杉木林之土壤較密實，且其黏粘含量多，故其單位容積重較高，而天然林則由於石礫含量較多，故容積重較低，次生林則最低。孔隙量則以次生林最高，其次為天然林及杉木林。因細孔隙量控制容水量之多寡，故可由細孔隙量之次生林 > 杉木林 > 天然林中顯出，最大容水量依序為次生林 > 杉木林 > 天然林。土壤如屬粉質壤土質地，所含之粉粒量較多，可增加土壤之孔隙量而間接影響容氣量的多寡，因此由土壤質地(表 1)中之粘、粉及砂粒之含量符合表 2 測定之結果，即最小容氣量為次生林 > 天然林 > 杉木林。

三種林分土壤之物理性質隨深度之變化而有所不同(圖 1)。杉木林之細土含量多過其它二林分，而天然林之石礫卻占最多；由圖中亦顯示三

種林分的根系大皆分佈於 0-30 cm 處。

## 2、化學性質

各種土壤化學性質分析如表3所示，表中顯

表 2.三種林分土壤之物理性質

Table 2. Physical properties of soil in three forests.

### 杉木林

土層深度(cm)	透水性(ml/min)			容積重 (mg/cm <sup>3</sup> ) bulk density	孔隙量 porosity(%)			最大容水量 water max. %	最小容氣量 air min. %	採樣時含水量 moisture content of fresh soil %
	after 5 min.	after 15 min.	Average		粗孔隙 coarse	細孔隙 fine	總量 total			
0-5	3.55	4.45	4.00	88.74	31.9	12.8	44.7	35.09±2.50	9.55±1.13	22.84±2.24
15-20	2.92	3.05	2.98	88.65	36.6	8.4	45.0	37.61±2.52	7.35±1.23	23.09±1.54
30-35	1.50	1.55	1.52	100.12	32.2	6.3	38.5	33.44±2.00	5.06±1.04	19.97±2.17
60-65	0.63	0.64	0.65	124.14	17.4	8.3	25.7	24.23±7.57	1.49±0.25	14.48±5.25

### 次生林

土層深度(cm)	透水性(ml/min)			容積重 (mg/cm <sup>3</sup> ) bulk density	孔隙量 porosity(%)			最大容水量 water max. %	最小容氣量 air min. %	採樣時含水量 moisture content of fresh soil %
	after 5 min.	after 15 min.	Average		粗孔隙 coarse	細孔隙 fine	總量 total			
0-5	23.47	22.27	22.87	45.53	47.6	15.5	63.1	36.20±1.68	26.86±2.61	18.72±0.97
15-20	12.00	18.90	15.45	65.93	44.5	9.1	53.6	41.38±1.18	12.19±3.52	18.78±1.56
30-35	7.13	7.90	7.52	79.76	38.7	7.4	46.1	40.84±1.92	5.26±1.31	18.54±0.74
60-65	3.20	3.83	3.52	80.21	33.1	9.0	42.1	39.42±3.25	2.70±0.66	21.02±1.73

### 天然林

土層深度(cm)	透水性(ml/min)			容積重 (mg/cm <sup>3</sup> ) bulk density	孔隙量 Porosity(%)			最大容水量 water max. %	最小容氣量 air min. %	採樣時含水量 moisture content of fresh soil %
	after 5 min.	after 15 min.	Average		粗孔隙 coarse	細孔隙 fine	總量 total			
0-5	56.40	69.75	63.08	63.93	45.0	3.1	48.1	28.15±1.65	19.98±0.92	15.01±1.20
15-20	41.60	40.65	41.13	82.04	30.9	4.4	35.3	27.43±0.89	7.89±1.11	14.14±0.59
30-35	36.50	38.55	37.53	79.63	30.8	5.3	37.1	31.75±0.72	5.33±0.84	18.16±0.51
60-65	26.40	29.90	28.15	71.28	22.5	13.4	35.9	32.67±2.18	3.30±1.75	20.71±2.59

註：每數據為三個重複之平均值，土為標準偏差

示三種林分之土壤pH值皆是愈往下層愈高(酸性愈弱)，林分間之比較則杉木林之土壤最酸(pH 3.98 - 3.42)，次生林次之(pH 4.50 - 3.54)，天然林酸性最弱(pH 4.27 - 4.07)。三種林分之交換性鈣皆於0-5 cm處含量最高(如天然林上層為下層3倍)，而後即呈顯著下降；以0-5 cm之土層為例，天然林含量較高(2.0 meq/kg)，次生林次之(0.5 meq/kg)，杉木林最低(0.2 meq/kg)。交換性鎂在三種林分中其含量大多分布於土層上方(約佔 2-3 倍量)；天然林含量較高(4.1 - 1.2 meq/kg)，次生林次之(3.8 - 0.4 meq/kg)，杉木林最低(3.3 - 0.4 meq/kg)。交換性鉀含量則高過於鈣及鎂，亦隨土深而下降；

天然林含量較高(2.0 - 1.0 meq/kg)，杉木次之(1.5 - 0.3 meq/kg)，次生林最低(0.9 - 0.4 meq/kg)。交換性鈉含量亦隨土層深度而下降，杉木林之各土層顯著較其他二種林分為高。凱氏氮在三種林分中各土層之變化較不明顯，三種林分間之差異亦不顯著。有效性磷於天然林的各土層含量皆顯著較杉木林及次生林為高，而各林分亦是隨土層之深度而下降。

### (二)、各林分之土壤含水率

三種林分之土壤水分曲線經以壓力鍋測定後如圖 2 所示，每次前往量測不同林分之土壤張力，再依此曲線換算成含水率之結果如表 4

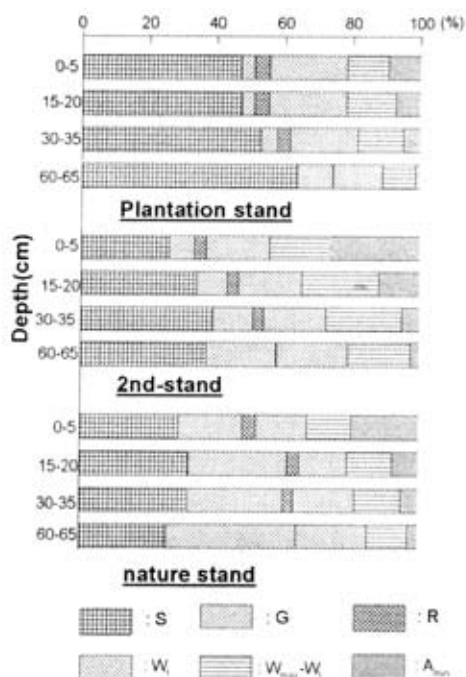


圖 1. 三種林分自然狀態下土壤之容積分配率

(S:細土(< 2 mm) ; G:石礫(> 2 mm) ; R:根 ; Wt:採樣時含水量 ; Wmax:最大含水量 ; Amin:最小容氣量)  
 (plantation stand : 杉木林 ; 2nd-stand : 次生林 ; nature stand : 天然林)

Fig.1. Soil volume percentage of three forests under natural condition.

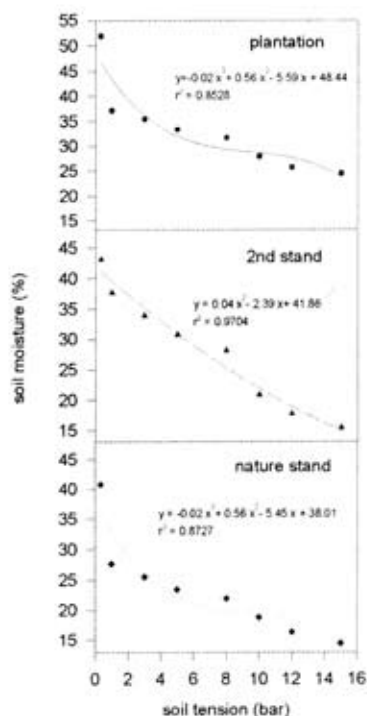


圖 2. 不同林分土壤之水分曲線

Fig.2. Soil water content curve of three forests.

表 3. 三種林分土壤之化學性質

Table 3. Chemical properties of soil in three forests.

## 杉木林

土層深 (cm)	pH 值 (H <sub>2</sub> O)	pH 值 (KCl)	交換性鈣 (meq/kg)	交換性鎂 (meq/kg)	交換性鉀 (meq/kg)	交換性鈉 (meq/kg)	凱氏氮 (%)	有效性磷 (mg/kg)
0-5	3.42±0.11 <sup>b</sup>	3.03±0.07 <sup>b</sup>	0.22±0.05 <sup>a</sup>	3.26±0.11 <sup>a</sup>	1.51±0.16 <sup>a</sup>	2.76±0.47 <sup>a</sup>	0.85±0.20 <sup>a</sup>	0.49±0.09 <sup>a</sup>
15-20	3.77±0.01 <sup>a</sup>	3.72±0.15 <sup>a</sup>	0.16±0.08 <sup>ab</sup>	1.35±0.21 <sup>b</sup>	0.73±0.05 <sup>b</sup>	2.52±0.77 <sup>a</sup>	0.85±0.14 <sup>a</sup>	0.24±0.00 <sup>b</sup>
30-35	3.88±0.04 <sup>a</sup>	3.85±0.14 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>b</sup>	0.80±0.37 <sup>bc</sup>	0.49±0.07 <sup>bc</sup>	2.15±0.63 <sup>a</sup>	0.96±0.10 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>b</sup>
60-65	3.98±0.04 <sup>a</sup>	3.96±0.13 <sup>a</sup>	0.02±0.01 <sup>b</sup>	0.40±0.23 <sup>c</sup>	0.31±0.02 <sup>c</sup>	1.11±0.07 <sup>a</sup>	1.23±0.08 <sup>a</sup>	0.30±0.06 <sup>ab</sup>
P values	0.001	0.002	0.048	0.000	0.000	0.238	0.239	0.056

## 次生林

土層深 (cm)	pH 值 (H <sub>2</sub> O)	pH 值 (KCl)	交換性鈣 (meq/kg)	交換性鎂 (meq/kg)	交換性鉀 (meq/kg)	交換性鈉 (meq/kg)	凱氏氮 (%)	有效性磷 (mg/kg)
0-5	3.54±0.23 <sup>a</sup>	3.32±0.08 <sup>c</sup>	0.45±0.36 <sup>a</sup>	3.84±0.46 <sup>a</sup>	0.86±0.07 <sup>a</sup>	2.29±0.12 <sup>a</sup>	0.75±0.10 <sup>ab</sup>	1.84±0.15 <sup>a</sup>
15-20	3.97±0.12 <sup>a</sup>	3.66±0.11 <sup>b</sup>	0.08±0.01 <sup>a</sup>	1.17±0.34 <sup>b</sup>	0.74±0.04 <sup>ab</sup>	0.84±0.00 <sup>b</sup>	0.56±0.07 <sup>b</sup>	0.41±0.05 <sup>b</sup>
30-35	4.07±0.14 <sup>a</sup>	3.82±0.09 <sup>ab</sup>	0.09±0.03 <sup>a</sup>	0.70±0.35 <sup>b</sup>	0.65±0.02 <sup>b</sup>	0.79±0.01 <sup>b</sup>	0.98±0.10 <sup>a</sup>	0.38±0.06 <sup>b</sup>
60-65	4.50±0.06 <sup>a</sup>	3.90±0.03 <sup>a</sup>	0.06±0.03 <sup>a</sup>	0.39±0.19 <sup>b</sup>	0.41±0.07 <sup>c</sup>	0.79±0.09 <sup>b</sup>	0.58±0.07 <sup>b</sup>	0.22±0.01 <sup>b</sup>
P values	0.290	0.001	0.425	0.000	0.002	0.000	0.028	0.000

## 天然林

土層深 (cm)	pH 值 (H <sub>2</sub> O)	pH 值 (KCl)	交換性鈣 (meq/kg)	交換性鎂 (meq/kg)	交換性鉀 (meq/kg)	交換性鈉 (meq/kg)	凱氏氮 (%)	有效性磷 (mg/kg)
0-5	4.07±0.17 <sup>b</sup>	3.72±0.11 <sup>b</sup>	1.97±0.23 <sup>a</sup>	4.12±0.51 <sup>a</sup>	1.96±0.04 <sup>a</sup>	0.84±0.01 <sup>a</sup>	0.88±0.23 <sup>a</sup>	3.08±0.13 <sup>a</sup>
15-20	4.15±0.09 <sup>a</sup>	3.85±0.07 <sup>ab</sup>	0.67±0.09 <sup>b</sup>	2.33±0.20 <sup>b</sup>	1.39±0.15 <sup>b</sup>	0.78±0.04 <sup>ab</sup>	0.87±0.03 <sup>a</sup>	2.44±0.58 <sup>a</sup>
30-35	4.17±0.21 <sup>a</sup>	3.99±0.20 <sup>ab</sup>	0.30±0.03 <sup>c</sup>	1.22±0.21 <sup>b</sup>	1.00±0.02 <sup>c</sup>	0.71±0.00 <sup>bc</sup>	1.16±0.07 <sup>a</sup>	2.37±0.09 <sup>a</sup>
60-65	4.27±0.16 <sup>a</sup>	4.14±0.24 <sup>a</sup>	0.05±0.02 <sup>d</sup>	1.20±0.38 <sup>b</sup>	1.00±0.02 <sup>c</sup>	0.63±0.06 <sup>c</sup>	0.87±0.03 <sup>a</sup>	1.76±0.53 <sup>a</sup>
P values	0.025	0.089	0.000	0.001	0.000	0.010	0.336	0.222

註：p values 為各林分 4 個採樣土層，每個土層有 3 個重複樣本，所有樣本經變方分析(ANOVA)所得之機率值。

p values < 0.05 為顯著，英文字母表示鄧肯氏統計分析之差異性，± 表示標準偏差。

所示。

## (三)、土壤水之化學性質

於 1997 年 1 月開始取樣至 1997 年 12 月結束，採自不同林分及不同土壤深度(0-5、15-20、30-35 及 60-65 cm)，每種林分再區分為張力水及重力水 2 種水分。張力水每 2 星期收取一次，重力水每月收取一次。經測定結果分述如下。

1. 由表 4 明顯地顯示天然林的土壤含水率最高(多數在飽和水狀態)，杉木林次之(平均為 48±4.5%，次生林則最低(平均為 40±3.2%)。

2. 土壤水之 pH 值方面，在三種林分的張力水比較下，天然林的 pH 值最低(pH 4.0±0.5)，次生林次之(pH 4.5±0.7)，杉木林最高(pH 5.0±0.7)；重力水亦為此趨勢，天然林 pH 4.5±0.7，次生林 pH 4.8±0.6，杉木林 pH 5.6±0.5。三種林分之張力水皆隨土層的加深而使 pH 值上升；但重力水則變化不明顯(圖 3)。

3. 導電度值可表示水中之離子濃度高低，圖 4 中之張力水顯示土深的變化相當明顯，愈下層的水分導電度愈低；惟重力水則較不明顯。張力

表 4.1997 年不同時期三種林分各土層土壤張力及其含水量。

Table 4. Soil tension and water content at different soil profiles at temporal variation in 1997 from three forests.

取樣日期	杉15 (bar)	杉15 (%)	杉30 (bar)	杉30 (%)	杉60 (bar)	杉60 (%)	次15 (bar)	次15 (%)	次30 (bar)	次30 (%)	次60 (bar)	次60 (%)	天15 (bar)	天15 (%)	天30 (bar)	天30 (%)	天60 (bar)	天60 (%)
2/23	0.9	43.85	0.3	46.81	0.2	47.34	1.2	39.05	1.3	38.82	1.5	38.37	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
2/26	1.1	42.94	0.5	45.78	0.5	45.78	1.9	37.46	1.6	38.14	1.6	38.14	0.0	飽和	0.1	37.47	0.0	飽和
3/29	0.6	45.28	0.3	46.81	0.2	47.34	0.4	40.91	0.1	41.62	0.5	40.68	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
4/12	0.5	45.78	0.1	47.89	0.2	47.34	0.5	40.68	0.2	41.38	0.3	41.15	0.0	飽和	0.1	37.47	0.0	飽和
4/20	0.9	43.85	0.3	46.81	0.2	47.34	0.9	39.74	0.5	40.68	0.6	40.44	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
5/9	0.5	45.78	0.1	47.89	0.1	47.89	0.4	40.91	0.1	41.62	0.3	41.15	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
5/25	0.1	47.89	0.1	47.89	0.1	47.89	0.1	41.62	0.1	41.62	0.1	41.62	0.1	37.47	0.0	飽和	0.0	飽和
6/7	0.3	46.81	0.1	47.89	0.0	飽和	0.2	41.38	0.1	41.62	0.2	41.38	0.3	36.43	0.0	飽和	0.0	飽和
6/20	0.8	44.32	0.1	47.89	0.1	47.89	0.7	40.21	0.3	41.15	0.4	40.91	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
7/4	0.5	45.78	0.1	47.89	0.0	飽和	0.4	40.91	0.0	飽和	0.2	41.38	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
7/18	0.3	46.81	0.0	飽和	0.0	飽和	0.2	41.38	0.1	41.62	0.2	41.38	0.0	飽和	0.3	36.43	0.0	飽和
8/3	1.7	40.46	0.8	44.32	1.1	42.94	1.5	38.37	1.0	39.51	1.1	39.28	0.2	36.94	1.2	32.24	0.3	36.43
8/16	0.7	44.80	0.1	47.89	0.1	47.89	0.5	40.67	0.1	41.62	0.4	40.91	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
9/1	0.4	46.29	0.1	47.89	0.0	飽和	0.2	41.38	0.0	飽和	0.2	41.38	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
9/14	1.2	42.50	0.5	45.78	0.5	45.78	1.2	39.05	0.6	40.44	0.8	39.97	0.0	飽和	0.0	飽和	0.0	飽和
9/27	2.2	38.64	1.3	42.08	1.4	41.66	2.1	37.02	1.3	38.82	1.4	38.59	0.9	33.54	1.7	30.27	0.8	34.00
10/10	0.1	47.89	0.2	47.34	0.0	飽和	1.7	37.91	0.9	39.74	1.7	37.91	1.7	30.27	0.9	33.54	1.3	31.83
10/23	2.5	37.65	1.5	41.25	2.4	37.97	3.0	35.05	1.6	38.14	2.2	36.78	1.1	32.67	1.1	32.67	0.9	33.54
11/7	5.0	31.99	2.7	37.04	3.9	33.97	5.2	30.51	2.3	36.58	3.8	33.36	2.9	26.43	4.4	23.17	3.2	25.65

水在三種林分比較下，不論在土層的任何深度皆顯現天然林最高，次生林次之，而人工林最低。如將三個土層深度之導電度值平均之，則天然林為  $200 \pm 100 \mu S/cm$ ，次生林為  $65 \pm 34 \mu S/cm$ ，而杉木林為  $45 \pm 17 \mu S/cm$ 。

4. 在離子之當量濃度 ( $\mu eq/L$ ) 方面，由不同深度之土壤水比較中可發現(表 5)，在張力水方面大多是愈深離子濃度愈低；在重力水方面較無明顯的變化趨勢。而大部份的離子都是以張力水較重力水的當量濃度為高；但鈉及氯離子則是重力水較張力水為高。在此三種林分中，天然林之張力水及重力水所含之離子當量濃度大多高於其它二種林分。表中亦可明顯發現統計資料之標準偏差甚大，此乃因在取樣的一年間，濃度的差異在季節的變化甚大。

#### 四、討論

本試驗地三種林分之土壤滲水性(表 2)，以

杉木林者最低，天然林最高，此與土壤質地(表 1)有著密切之關係，由於杉木林屬緊密黏土質地，而天然林屬疏鬆黏土質地，故二林地之土壤滲水性差異甚大。以土壤含水率而言，則以天然林最高(大多呈飽和水狀態)，杉木林次之，次生林則最低(表 4)，如配合土壤質地(圖 1)及林分所在位置之地形觀察，可顯示出由於杉木林屬緊密黏土質地，保水力強；次生林屬小石礫多之疏鬆壤土質地，且地勢高、坡度陡、水分易流失，故易乾燥；天然林雖屬大石礫多之疏鬆黏土質地，然因其林地處於水分匯集之溪流旁，相對濕度高，故其含水量變化大。大於 2 mm 之石礫在三種林分間亦差異甚大，杉木較少，次生林次之，而天然林最多，且各林分皆隨土層深度而增加石礫含量，此現象與台灣山區土壤淺而多石量常見的現象(洪富文、程煒兒，1996)相似。

三種林分的土壤 pH 值亦各有差異，以天然



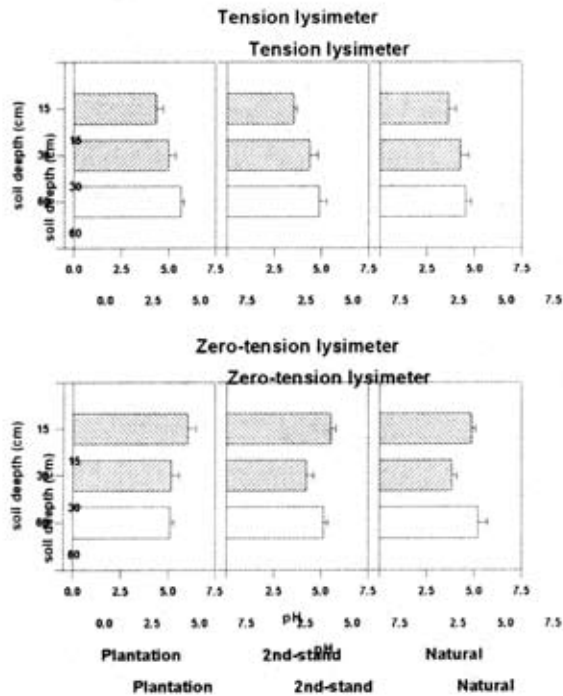


圖 3. 三種林分之張力水及重力水的 pH 值

Fig.3. The pH of tension and zero tension soil water in three forests.

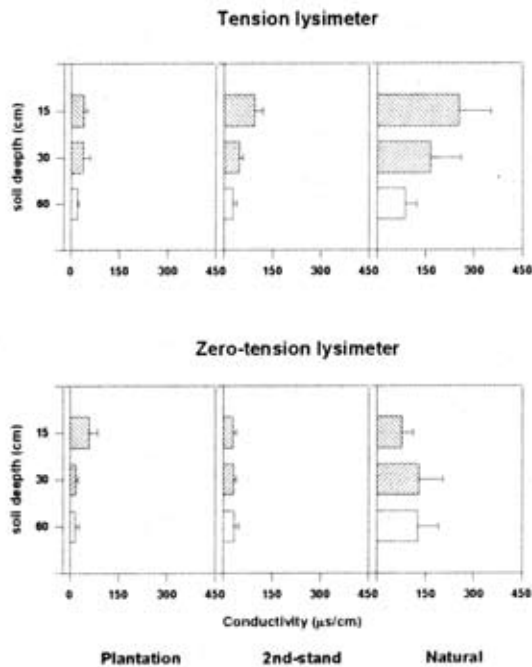


圖 4. 三種林分之張力水及重力水的導電度

Fig.4. The conductivities of tension and zero tension soil water in three forests.