

# 溪頭地區紅檜根圈與本體土壤理化性質與金屬形態分佈之研究<sup>1</sup>

江凱楹<sup>2</sup>、王亞男<sup>3</sup>、王明光<sup>4</sup>

( 收件日期：民國 91 年 7 月 19 日、接受日期：民國 91 年 8 月 30 日 )

**【摘要】**本研究以一個較微觀的「根圈」為焦點，來看林木與土壤在養分循環的關係。我們採取溪頭紅檜根圈與本體土壤，除了使用一般的分析方法來分析土壤基本性質之外，並採用連續性抽取法 ( multiple-step extraction ) 來分析根圈土壤與本體土壤。結果顯示根圈土壤的 pH 值低於本體土壤、陽離子交換容量大於本體土壤；粒徑分析上根圈土壤的質地較粗；有機碳、氮的含量以根圈土壤較高，但是碳氮比並無差異。根圈土壤中金屬離子的生物有效性含量大致比本體土壤高。土壤中的各種金屬形態分佈都不同，但大體而言，根圈土壤以有機質的鍵結形態比例較高，本體土壤以無機質鍵結的比例較高。

**【關鍵詞】**紅檜、根圈土壤、連續性抽取法、溪頭。

## PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES, AND DISTRIBUTION OF METAL SPECIES IN RHIZOSPHERE AND BULK SOILS OF *CHAMAECYPARIS FORMOSENSIS* AT CHI-TOU REGION

Kai-Ying Chiang<sup>1</sup> Ya-Nan Wang<sup>2</sup> Ming-Kung Wang<sup>3</sup>

( Received July 19, 2002; Accepted August 30, 2002 )

**【Abstract】** This research was to study the relationship between tree species and nutrient cycle of *Chamaecyparis formosensis*, particularly focused on the rhizosphere soils in Chi-Tou, central Taiwan. The multiple-step extraction method was employed to differentiate the different soil properties between bulk and rhizosphere soils. pH of the rhizosphere soils is usually lower and CEC is greater than bulk soils. On the other hand, the particle of rhizosphere soils were coarser than bulk soils, respectively. Organic carbon and nitrogen contents of rhizosphere soils were greater than bulk soils. However, the C/N ratio showed no significant differences between the rhizosphere and bulk soils. The contents of bioavailable metals in the rhizosphere soils were greater than that of bulk soils. The fractionations of each metal showed patterns of different distribution. Higher concentration of Organic-bound metals, is found in rhizosphere soils. and the bulk soils contained more in inorganic-bound metals than rhizosphere soils.

**【Key words】** *Chamaecyparis formosensis*, Chi-Tou, mutiple-step extraction, rhizosphere soil.

<sup>1</sup> 本研究為國科會補助計劃 ( 編號 NSC90-2625-Z-002-019 )，謹此致謝。

This project was sponsored by the National Science Council, R.O.C. (NSC90-2625-Z-002-019).

<sup>2</sup> 國立台灣大學森林系碩士班研究生。

Graduate Student, Department of Forestry, National Taiwan University.

<sup>3</sup> 國立台灣大學森林系教授 ( 通訊作者 )。

Professor, Department of forestry, National Taiwan University. Corresponding Author.

<sup>4</sup> 國立台灣大學農化系教授。

Professor, Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University.

## I、前言

在過去的森林土壤研究上，較少去注意林木根部活動的範圍 - 根圈 (rhizosphere)，這是因為森林是由許多不同的生物群落所組成，因此研究人員往往以宏觀的角度進行土壤的分類、林木所需的養分條件和不同植被下土壤的性質。本研究將以一個較微觀的焦點，來看林木與土壤在養分循環的關係，特別將焦點放在「根圈」這個區域中，並利用連續性抽出來探討金屬離子存在於根圈中的情形。

基本上，根圈 (rhizosphere) 可被廣泛定義為一個經由根的生長即透過根部養分吸收消耗而不斷更新的動態微環境 (Lipton *et al.*, 1987; Peterson and Bottger, 1991)。根圈土壤 (rhizosphere soil) 是指根部所影響的土壤範圍 (Sakar *et al.*, 1979; Jones and Darrah, 1994)，並不包括根系本身的部分。這個區域是一個被植物根系所影響的土壤微生物區系、有機物堆積、土壤有機資源混合的區域 (Rovira and Davey, 1971; Stanton, 1988)。

本研究目的在於分析林木的根圈以及本體土壤基本性質上的差異，並藉由金屬離子的生物有效性 (AAAc-method, Lankanen and Ervio, 1971) 分析法與金屬離子連續性抽取 (multiple-step successive extraction) (Krishnamurti *et al.*, 1995) 來探討不同型態金屬離子存在於根圈土壤與本體土壤中的情形。

## II、材料與方法

### (I)材料

表 1 採樣地點 GPS 座標與紅檜林地基本資料

Table 1 GPS location of sampling sites and fundamental information

Sample	海拔 (m)	橫座標	縱座標	備註
紅檜 1	1310	228522	2618474	為 84 年生，方向東南，坡度 8°，母岩為
紅檜 2	1315	228530	2618463	砂岩
紅檜 3	1307	228537	2618450	

試驗採用的土壤樣品，來自南投縣鹿谷鄉之台大實驗林溪頭營林區，位置靠近溪頭氣象觀測站 (N: 2340, E: 12047, 海拔: 1150 m) 的 84 年生紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*) 造林地 (表 1)。

### 1. 根圈土壤：

以小鏟子輕輕撥開土壤，剪斷紅檜根系，輕輕抖落大部分之土壤，而留根系上的視為根圈土壤，連同根系一同放入封口袋中 (傅, 1997; 陳, 1998; 宋, 1999)。

### 2. 本體土壤：

至於距離林木根部 10 cm 以上，且無其它根系存在的土壤視為本體土壤。採集的根圈以及本體土壤置於攜帶型保溫箱中，以乾冰低溫保存。

當日帶回實驗室後根圈土壤以鬃毛刷將附著在植物根上之土壤刷下，然後過篩 (2 mm) 陰乾；本體土壤直接過篩 (2 mm) 後皆密封保存於 - 40°C 冷凍櫃中保存，待欲分析時再取出，等到土壤恢復為正常溫度時再進行實驗。

### 3. 所有土壤樣本進行三重複試驗。

## (II)方法

### 1. 土壤基本性質

#### (1)pH 值

處理過的土壤樣品，以水土比 5:1 混合均勻後，測定 pH 值 (玻璃電極法)。

#### (2)粒徑分析

取 75 克土壤以雙氧水 (35%) 除去有機質後，以鮑氏比重計法測定 (Gee and Bauder, 1986)

## (3) 有機碳量、全氮量的分析：

土壤樣品以 1M CH<sub>3</sub>COONa ( pH 5 ) 處理，去除碳酸鹽類之無機態碳，去除前後以 C-N analyzer 測定有機碳量、全氮量。在本實驗採用 ( Perkin-Elmer 240C, 2400 EA II ) 分析，同時測定樣品中碳、氮的個別重量百分比。測定的基本原理是根據乾燒法 ( flash combustion )。

## (4) 陽離子交換容量

- a. 交換性鹽基陽離子含量 ( Thomas, 1982 )
- b. 陽離子交換容量 ( Cation- Exchangeable Capacity ) ( Rhoades, 1982 )
- c. 鹽基飽和度 ( Base Saturation )

交換性鹽基陽離子 ( Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> ) 含量之總合與陽離子交換容量之比值，計算方

式如下：

$$BS\% = \frac{[K^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{CEC} \times 100$$

## 2. 金屬養分之分析

- (1) 土壤中金屬離子的生物有效性 ( AAAC-method )

本研究採用 ( Lankanen and Ervio, 1971 ) 之方法其步驟如下：

- a. 抽取液 ( ammonium acetate-acetic acid-ethylene-diamine-tetraacetic acid ) 的配製：

溶解 74.4 g 的 Na<sub>2</sub>EDTA 在 57.1 mL 100% CH<sub>3</sub>COOH 及 37.3 mL 25% NH<sub>4</sub>OH 中，以 H<sub>2</sub>O 稀釋至 1 公升，以 CH<sub>3</sub>COOH 或 NH<sub>4</sub>OH 調整 pH 至 4.56。

表 2 金屬的型態分佈操作步驟一至七

Table 2 Distribution of metal species operation step1 to step 7

步 驟	藥 品	震 盪	
		溫度 (°C)	時間 (小時)
Step1. 可交換性 (exchangeable)	10 mL 1M Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> pH7	25	4
Step2. 與碳酸鹽類鍵結 (carbonate-bound)	25 mL 1M CH <sub>3</sub> COONa (pH5)	25	6
Step3. 與金屬和有機物形成的複合物鍵結 (metal-organic complex-bound)	30 mL 0.1 M Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (pH10)	25	20
Step4. 與易還原金屬氧化物鍵結 (easily reducible metal oxide-bound)	20 mL 0.1M NH <sub>2</sub> OH • HCl / 0.01 M HNO <sub>3</sub>	25	0.5
Step5. 與過氧化氫可抽出之有機物鍵結 (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> extractable organic-bound)	5 mL 30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	85	2
	3 mL 0.02 M HNO <sub>3</sub>		
	3 mL 30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	85	2
	10 mL 2M Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /20% HNO <sub>3</sub>	25	0.5
Step6. 與無定形礦質膠體鍵結 (amorphous mineral colloid-bound)	10 mL 0.2M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (以錫箔紙包裹避光)	25	4
Step7. 與結晶性鐵氧化物鍵結 (crystalline Fe oxide-bound)	25 mL 0.2 M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (pH3) / 0.1M ascorbic acid	95	0.5

- b. 取 3 g 土壤樣品置於離心管中，加入 30 mL 的抽取液，在 25°C 下振盪 1 小時，以 Millex 0.45mm 的濾膜過濾，濾液以 ICP-AES，測定鐵、鋁、錳、銅與鋅共計五種元素。

(2) 金屬的型態分佈：

取 < 2 mm 的土壤 1 g 置於 50 mL 之離心瓶中，以 Krishnamurti 等人在 1995 年提出方式進行連續抽出。步驟一至七如表二所述，每一個步驟完成之後，皆會離心 ( 12000×g, 10 min )，上清液以 Millex 0.45mm 的濾膜過濾後，以 ICP 測定金屬離子 ( 鋁、鐵、錳、銅與鋅 ) 的濃度。樣品以 10 mL 去離子水洗三次，以備下一步驟之處理。

最後一個步驟為殘留物 ( residual )，經過以上步驟剩下的樣品都將在此步驟中消解。將樣品移置一個白金坩鍋加熱至水分蒸乾，加入 2 mL 71% HClO<sub>4</sub>，10 mL 48% HF，再加熱至快乾時，加入 1 mL HClO<sub>4</sub> 及 10 mL HF 再加熱至乾。再加入 1 mL HClO<sub>4</sub>，加熱至有白煙，將殘渣溶在 12 M HCl 5 mL 中，稀釋到 25 mL。以 Millex 0.45 mm 的濾膜過濾後，以 ICP 測定金屬離子的濃度。

3. 資料之處理

所有資料會藉由微軟 ( Microsoft ) 所生產的 Excel 2000 進行資料的整理與單位的換算，最後以 SAS V8 版進行 Duncan 檢定分析。

### III、結果與討論

(I) 土壤基本性質

1. pH 值

根圈土壤的 pH 值皆低於本體土壤 ( 表 3 )，而且有極顯著差異。造成根圈土壤 pH 值較低的原因可能是根部養分的吸收或根部有機酸的分泌，而根部有機酸的分泌取決於植物的種類與養分的概況 ( Marschner 和 Romheld, 1983 )。

2. 粒徑分佈

樣品為砂質壤土且根圈土壤的質地均略比本體土壤粗 ( 表 3 )。這是因為根圈內的有機質含量較高，因此土壤與有機質會聚合形成團粒，此種團粒結構比本體土壤的團粒穩定，因此實驗處理過程中不一定可以全數分散，造成根圈土壤的質地略為粗糙。

3. 有機碳量、全氮量的分析

結果顯示根圈土壤的有機碳含量均比本體土壤高 ( 表 3 )。根圈有機碳較高的來源可能是根部分泌的一些物質與根部的死細胞，這些物質包括滲出物、分泌物、溶胞物質與植物黏液等 ( Cushman, 1982; Rovira *et al.*, 1983; Lynch and Whipps, 1990 )。

總氮含量也是以根圈土壤的含量比較高。由於根圈的淋洗作用與 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( 根部的區域 ) 的

表 3 土壤之基本理化性質

Table 3 Fundamental physical and chemical properties of soil

Sample	pH	OC <sup>‡</sup> %	TN <sup>‡</sup> %	C-N ratio	Exchangeable Cation					BS <sup>‡</sup> %	Texture			Texture	
					CEC <sup>‡</sup>	Ca	K	Mg	Na		Sum	Sand %	Silt %		Clay %
FRS <sup>‡</sup>	4.48 <sup>a*</sup>	5.18 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>	12.74 <sup>b</sup>	33.50 <sup>a</sup>	3.02 <sup>a</sup>	2.32 <sup>a</sup>	2.33 <sup>a</sup>	1.69 <sup>a</sup>	9.36 <sup>a</sup>	28.05 <sup>a</sup>	66.3	18.1	15.6	SL <sup>‡</sup>
FBS	4.94 <sup>b</sup>	2.44 <sup>b</sup>	0.17 <sup>b</sup>	14.46 <sup>a</sup>	21.57 <sup>b</sup>	1.42 <sup>b</sup>	1.32 <sup>b</sup>	0.76 <sup>b</sup>	1.12 <sup>b</sup>	4.62 <sup>b</sup>	21.46 <sup>b</sup>	60.9	25.0	14.1	SL

<sup>‡</sup> FRS : *Chamaecyparis formosensis* rhizosphere soil; FBS: *Chamaecyparis formosensis* bulk soil

<sup>‡</sup> CEC : Cation Exchangeable Capacity; BS: base saturation; SL: sandy loams; OC: Organic-C; TN: Total N

\* The number followed by the same letter is not significantly different ( p<0.05 ) as determined by Duncan's test.

脫氮作用較少，導致硝化作用在根圈是比本體土壤緩慢，促使銨的淨釋放量較高 ( Rovira and Davey, 1971 )。綜合上述兩者造成根圈土壤的碳氮比與本體土壤差異並不大。

#### 4. 陽離子交換容量

在根圈土壤的鈣、鉀、鎂、鈉等四種可交換性陽離子均顯著多於本體土壤 ( 表 3 )，其原因應為有根圈土壤的有機質濃度較高，提供更多位置與陽離子鍵結、根圈中有機酸的分泌造成礦物膠體表面改變。根圈中微生物的活動以及根部吸收水分的能力大於吸收離子的能力，導致離子在根部堆積。

## (II) 金屬養分生物有效性及型態分佈

### 1. 土壤之金屬元素的生物有效性

本研究結果如表 4 所示，生物有效性含量為鋁 > 鐵 > 錳 > 銅 ≅ 鋅。

#### (1) 鋁：

根圈土壤的生物有效性鋁的含量較本體土壤高，而且有顯著差異 ( 表 4 )。

林地中鋁的養分往往是不足的，因此植物會降低根圈的 pH 值增加鋁的吸收。Zhang 等人 ( 1998 ) 指出，在小麥的培養基中增加少量  $Al^{3+}$  會促使根分泌  $H^+$ ，促使根圈的 pH 下降，來提

表 4 土壤的金屬生物有效性與型態分佈

Table 4 Metal bioavailability and pattern distribution of soil

		Al concentration ( mg kg <sup>-1</sup> )							
	Step1 <sup>#</sup>	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7	Step8	Bio.
FRS <sup>‡</sup>	5.13 <sup>a*</sup>	34.76 <sup>a</sup>	61.98 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	611.89 <sup>a</sup>	36.68 <sup>a</sup>	36.42 <sup>a</sup>	458.18 <sup>a</sup>	875.09 <sup>a*</sup>
FBS	2.86 <sup>b</sup>	18.31 <sup>b</sup>	37.26 <sup>b</sup>	0.34 <sup>a</sup>	443.90 <sup>b</sup>	46.51 <sup>b</sup>	36.01 <sup>a</sup>	610.68 <sup>b</sup>	566.13 <sup>b</sup>
		Fe concentration ( mg kg <sup>-1</sup> )							
	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7	Step8	Bio.
FRS	7.57 <sup>a</sup>	33.33 <sup>a</sup>	409.44 <sup>a</sup>	71.83 <sup>b</sup>	129.26 <sup>a</sup>	73.18 <sup>b</sup>	313.33 <sup>a</sup>	105.19 <sup>a</sup>	465.53 <sup>a</sup>
FBS	7.13 <sup>a</sup>	19.17 <sup>b</sup>	306.94 <sup>b</sup>	104.52 <sup>a</sup>	111.72 <sup>b</sup>	90.28 <sup>a</sup>	382.67 <sup>a</sup>	147.15 <sup>a</sup>	319.06 <sup>a</sup>
		Mn concentration ( mg kg <sup>-1</sup> )							
	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7	Step8	Bio.
FRS	2.80 <sup>a</sup>	7.00 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	3.41 <sup>a</sup>	2.48 <sup>a</sup>	2.57 <sup>a</sup>	41.07 <sup>a</sup>	14.60 <sup>a</sup>
FBS	1.83 <sup>a</sup>	6.40 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	3.24 <sup>a</sup>	2.98 <sup>a</sup>	2.63 <sup>a</sup>	42.07 <sup>a</sup>	11.99 <sup>b</sup>
		Cu concentration ( mg kg <sup>-1</sup> )							
	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7	Step8	Bio.
FRS	1.20 <sup>a</sup>	1.08 <sup>a</sup>	1.14 <sup>a</sup>	22.18 <sup>a</sup>	1.73 <sup>a</sup>	15.17 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>	20.83 <sup>a</sup>	5.87 <sup>a</sup>
FBS	1.02 <sup>b</sup>	0.91 <sup>a</sup>	0.98 <sup>b</sup>	23.13 <sup>a</sup>	0.75 <sup>b</sup>	16.64 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	22.77 <sup>a</sup>	4.18 <sup>b</sup>
		Zn concentration ( mg kg <sup>-1</sup> )							
	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7	Step8	Bio.
FRS	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.45 <sup>a*</sup>	1.63 <sup>a</sup>	1.55 <sup>a</sup>	57.27 <sup>a</sup>	5.31 <sup>a</sup>
FBS	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.58 <sup>a</sup>	1.53 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	56.29 <sup>a</sup>	3.93 <sup>b</sup>

<sup>‡</sup>FRS : *Chamaecyparis formosensis* rhizosphere soil; FBS: *Chamaecyparis formosensis* bulk soil

<sup>#</sup>Step1 : exchangeable, Step2 : carbonate-bonate-bound, Step3 : metal-organic complex-bound, Step4 : easily reducible metal oxide-bound, Step5 : Hydrogen Peroxide extractable organic-bound, Step6 : amorphous mineral colloid-bound, Step7 : crystalline Fe oxide-bound, Step8 : residual, Bio. : Bioavailability

\*The number followed by the same letter in same species is not significantly different ( p<0.05 ) as determined by Duncan's test.

Method Detected Limited ( MDL ) : <0.05 mg kg<sup>-1</sup>

高  $H^+$ -ATPase 的活性並減少  $H^+$ -PPase 的活性。越酸的土壤可溶性鋁的量會越多，由於根圈土壤的 pH 值要低於本體土壤，因此其生物有效性鋁比較高。

(2) 鐵：

當增加根圈的 pH 值上升，鐵的生物有效性會下降 (Haynes, 1990)。因此植物會維持低根圈 pH 值來適應鐵的不足。許多植物在缺乏鐵時會發現根圈土壤的酸化現象，在本研究中根圈土壤也有明顯的酸化現象，且鐵離子的生物有效性大於本體土壤 (表 4)。

(3) 錳：

植物在缺乏養分的時候其根系分泌物具有把  $Mn^{4+}$  還原成  $Mn^{2+}$  的能力，且

分泌物會和  $Mn^{2+}$  鉗合以提高其有效性 (Mengel and Kirby, 1978)。因此，錳的有效性與該區有機質的性質有關。此外當根圈的酸度下降，錳的濃度會上升 (Haynes, 1990)。由於根圈土壤中的 pH 值低與有機質含量高，因此根圈土壤錳的生物有效性濃度大於本體土壤 (表 4)。

(4) 銅：

銅在根圈土壤之生物有效性濃度大於本體土壤 (表 4)。因此不論是在本體土或是根圈土壤中，銅除了存在礦質中以外，以有機質中的含量較高。銅多與胺基酸結合形成復合物，再由土壤溶液至木質部的運送過程中以複合態 (complex) 移動 (Graham, 1981)。Linehan *et al.* (1985) 的報告指出銅在大麥根圈的流動的情況表示銅會在根圈堆積。

(5) 鋅：

根圈土壤之鋅的生物有效性與濃度大於本體土壤 (表 4)。大麥 (*Triticum spp.*) 在鋅的濃度偏低時會促使其從根部分泌清除金屬植物性蛋白 (phytosiderophore) (siderophore=iron-scavenging protein) (Hopkins *et al.* 1998)，來吸收鋅離子，因此根圈中鋅離子較高是合理的。

## 2. 金屬型態分佈

### (1) 鋁

鋁分佈形態趨勢集中在與氫氧化物鍵結與殘留物的兩部分 (表 4)。在可交換性金屬離子、與碳酸鹽類鍵結、與金屬和有機物形成的複合物鍵結、與過氧化氫可抽出之有機物鍵結等四個部分是根圈土壤大於本體土壤，而且有顯著差異。這個結果顯示根圈土壤的提供了比本體土壤多的有機質與鋁進行鍵結，因此含量較高。而且有有機物中的有機酸與鋁可形成錯何物，以這些溶解及沉澱之物種，可以表示鋁在土壤中之移動之可能機制 (Wang *et al.*, 1989, 1993)。

相對的與易還原金屬氧化物鍵結、與結晶性鐵氧化物鍵結及殘留物的部分是本體土壤的量大於根圈土壤。在自然界之岩石與礦物中，鋁元素之含量僅次於矽 (Brosset *et al.*, 1954)。除了與無定形礦質膠體鍵結的部分本體土壤與根圈土壤無差異外，其他部分皆有顯著差異 (表 4)。

### (2) 鐵

在本研究中鐵的型態分佈較其他金屬離子分布平均 (表 4)，除了可交換性金屬離子和與碳酸鹽類鍵結的這兩種型態所佔的比較少之外，其他部分都佔有一定的比例。其中以與金屬和有機物形成的複合物鍵結以及與結晶性鐵氧化物鍵結佔的比例較多。

### (3) 錳

但是土壤中錳主要是以二價錳和一些錳氧化物存在。土壤中二價錳的數量取決於土壤氧化還原反應，所有影響這個過程的因子對於錳的有效性都有影響。這些因素包括土壤 pH 值、有機質含量、微生物活性和土壤水分等 (Tanaka and Yoshida, 1970)。

在本研究中根圈土壤的錳多以殘留物的型態存在於土壤中 (表 4)，其次與碳酸鹽類鍵結，三種樹種的趨勢極為一致；在可交換性金屬離子、與碳酸鹽類鍵結、與金屬和有機物形成的

複合物鍵結、與過氧化氫可抽出之有機物鍵結以及與容易還原的金屬氧化物鍵結等五個部分是根圈土壤大於本體土壤。但是在統計分析後根圈土壤與本體土壤所有型態分布皆無顯著差異。

#### (4) 銅

銅是植物所需的微量元素之一，土壤中差不多是以二價的型態存在，通常及大部分存在於原生與次生礦物之間。銅在植物體內是難於移動的，在中性土壤反應時，常會缺銅。銅更能與有機物形成複合體以降低其有效性(張，1986)。土壤溶液中銅的含量很少，其範圍在 $1 \times 10^{-8} \sim 60 \times 10^{-8} \text{ M}$ 。此外，銅也存在於有機化合物內，作為交換性陽離子吸附於土壤膠體上。

銅的型態分布集中在與易還原金屬氧化物鍵結、與無定形礦質膠體鍵結與殘留物三者(表4)。可交換性金屬離子、與碳酸鹽類鍵結、與金屬和有機物形成的複合物鍵結、與過氧化氫可抽出之有機物鍵結等四個部分是根圈土壤大於本體土壤(表4-10)，因此在這四個有關於有機質的形態分布部分，根圈土壤表現出較高含量是合理的。Hodgson *et al.* (1966) 觀察土壤溶液中的銅離子有98%會與有機物質結合，因此銅較其他微量元素陽離子(如 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ )更牢固的結合在有機質上。由於有機物質在根圈土壤的累積，提供了比本體土壤多的有機質與銅進行鍵結。

#### (5) 鋅

本研究顯示，鋅在本區的含量不高，絕大部分是以殘留物存在。在可交換性金屬離子、與碳酸鹽類鍵結、與金屬和有機物形成的複合物鍵結以及與易還原金屬氧化物鍵結等四個部分的含量都非常的低，低於儀器偵測極限(表4)。在與過氧化氫可抽出之有機物鍵結的部分具有較多的含量(表4)，這表示鋅在土壤中和有機物鍵結的部分也是相當重要。根據Hodgson *et al.* (1966) 的研究結果顯示，土壤中可溶解的鋅有60%存在於可溶性有機化合物

中。由於根圈土壤中有機碳的含量比較高，和鋅形成鍵結，造成鋅的含量也比本體土壤來的高，但並未達到顯著差異。

## IV、結論

- (I) 根圈土壤的 pH 值皆低於本體土壤；根圈中的土壤陽離子交換能量比本體土壤的高出許多；有機碳與全氮量以根圈土壤的含量較高，但是碳氮比沒有差異；因此根圈與本體土壤的基本理化性質是有差異的。
- (II) 在金屬離子的生物有效性方面，分析元素(鋁、鐵、銅、錳與鋅)，在根圈土壤的含量較多，顯示在缺乏養分的林地中，根圈土壤可以吸納更多金屬元素供林木進行利用。
- (III) 在金屬元素形態分佈方面，得到的結果與前人研究的結果有些許差異，這是因為本實驗採樣是依土壤深度採集，而非化育層，但是金屬元素形態分佈趨勢很類似。
- (IV) 鐵與鋁的金屬型態分佈在可交換性金屬離子、與碳酸鹽類鍵結、與金屬和有機物形成的複合物鍵結和與過氧化氫可抽出之有機物鍵結等四種型態分布方面，根圈土壤的量均大於本體土壤；在與易還原金屬氧化物鍵結、與無定形礦質膠體鍵結、與結晶性鐵氧化物鍵結和殘留物等四種型態分布方面，是以本體土壤的量均大於根圈土壤，顯示出根圈土壤與本體土壤中金屬離子鍵結型態上的不同。
- (V) 而銅、錳與鋅在根圈土壤中的有機鍵結部分的量有大於本體土壤的趨勢，但在統計分析上並無顯著差異，這是因為此三種重金屬在林地中的含量很少所致。

## V、引用文獻

宋燭輝 (1999) 塔塔加地區台灣二葉松造林地

- 的根圈與本體土壤之理化性質與金屬型態分佈。國立台灣大學森林研究所碩士論文。
- 張仲民 (1986) 普通土壤學。國立編譯館。
- 陳孟君 (1998) 玉山塔塔加鞍部鐵杉林之根圈土壤與本體土壤之物理化學性之比較。國立台灣大學農業化學研究所碩士論文。
- 傅孝婷 (1997) 阿里山紅檜的本體土壤與根圈土壤之理化性質與金屬型態分佈。國立台灣大學農業化學研究所碩士論文。
- Brosset, C. G. Biederman and L. G. Sillen (1954) Studies on the hydrolysis of metal-ion. XI. The aluminum ion,  $Al^{3+}$ . Acta Chem. Scand. 8: 1917-1926.
- Cushman, J. H. (1982) Nutrient transport inside and outside the root rhizosphere: Theory. Soil Sci. Am. J. 46: 704-709.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder (1986) In method of soil analysis. part I physical and mineralogical method, 2nd ed. Chapter 15 pp.383-411.
- Graham, R. D. (1981) Copper in soil and plants, New York: Academic press.
- Haynes, R. J. (1990) Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: a critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. Plant Soil 126: 247-264.
- Hedley, M. J., P. H. Nye, and R. E. White (1982) Plant induced changes in Rhizosphere of rape seedling. II The origin of pH changes. New Phytol. 91: 31-44.
- Hodgson, J. F., W. L. Lindsay and J. F. Trierweiler (1966) Micronutrient cation complexing in soil solution. II. Complexing of zinc and copper in displacing solution from calcareous soils. Soil Sci. Amer. Proc. (3): 723-726.
- Hopkins, B. G., D. A. Whitney, R. E. Lamond, and V. D. Jolley (1998) PhytoSider-phore release by sorghum, wheat and corn under zinc deficiency. J. Plant Nutr. 21: 2623-2637.
- Jones, D. L. and P. R. Darrah (1994) Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere. Plant and Soil. 166: 247-257.
- Krishnamurti, G S. R., P. M. Huang, K. C. J. Van Rees., L. M. Kozak, and H. P. W.
- Rostad (1995) Speciation of particulate-bound Cd in soils and its bioavailability. Analyst 120: 659-665.
- Lankanen E., and R. Ervio (1971) A comparison of eight extraction for the determination of plant available micro nutrients in soils. Acta. Agral. Fenn. 123: 223-232.
- Linehan, D. J., A. H. Sinclair, and M. C. Mitchell (1985) Mobilization of Cu, Mn, and Zn in the soil solutions of barley rhizospheres. Plant Soil 86: 147-149.
- Lipton, D. S., R. W. Blanchard and Dale G. Blevins (1987) Citrate, malate and succinate concentration in exudates from P-sufficient and P-stressed *Medicago sativa* L. seedlings. Plant Physiol. 85: 315-317.
- Lynch, J. M., and J. M. Whipps (1990) Substrate flow in the rhizosphere. Plant Soil 129: 1-10.
- Marschner, H. (1986) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby (1987) Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Mengel, K., and E. A. Kirby (1978) Principles of plant nutrition. International Potash Institute.
- Peterson, W. and M. Bottger (1991) Contribute of organic acids to the acidification of the rhizosphere of maize seedling. Plant and Soil 32: 159-163.
- Rhoades, J. D. (1982) Cation exchange capacity. In Page, A.L. *et al.* (eds.) Methods of soil analysis, Part II. Chemical and microbi-

- ological properties-Agronomy monograph 9: 149-157.
- Rovira, A. D., and C. B. Davey (1971) Biology of rhizosphere. In : E. W. Carson (ed.), *The Plant Root and its Environment*, pp. 158-213. University Press of Virginia, Charlottesville.
- Rovira, A. D., G. D. Bowen, and R. C. Foster (1983) The significance of rhizosphere microflora and mycorrhizal in plant nutrition. *In*: A. Lauchli, and R. L. Bielecki (eds), *Inorganic plant nutrition.encyclopedia of plant physiology Vol. 15A*: pp. 61-93. Springer-Verlag, Berlin/New York.
- Sakar., A. N., D. A. Jenkins and R. G. W. Jones (1979) Modifications to mechanical and mineralogical composition of soil within the rhizosphere. *The Soil-Root Interface 2*: 125-136
- Stanton, N. L. (1988) The underground in grasslands. *Ann. Rev. Syst. Ecol.* 19: 573-589.
- Tanaka, A. and S. Yoshida (1970) Nutritional disorders of the rice plant in Asia. *Inter. Rice Res. Inst., Technical Bulletin* 10.
- Thomas, G. W. (1982) Exchangeable cation. In Page, A. L. *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph 9*: 149-157.
- Wang, C., G. J. Ross and R. Protz (1989) Effect of crystalline iron oxides on development and classification of podzolic soil in western Labrador, Newfoundland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 870-875.
- Wang, H. D., G. N. White, F. T. Turner and J. B. Dixon (1993) Ferrihydrite, lepidocrocite and Goethite in coatings from east Texas Vertic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1381-1386.
- Zhang, W., F. Zhang, Z. Shen, and Y. Liu (1998) Changes of H<sup>+</sup> pumps of tonoplast Vesicle from wheat roots in vivo and in Vitro under aluminum treatment and effect of calcium. *J. Plant Nutr.* 21: 2515-2526.

