

# 塔塔加地區土壤動物動態變化之初步研究

莊俊逸<sup>1</sup> 袁孝維<sup>2</sup> 王亞男<sup>3</sup> 吳星輝<sup>4</sup>

(收件日期：民國 93 年 1 月 25 日、接受日期：民國 94 年 4 月 22 日)

**【摘要】**本研究主要探討塔塔加地區主要林相中土壤動物的種類組成及數量在不同季節的變動，且初步探討土壤動物數量在 12 個月中變化及其與土壤因子、微氣候因子間的關係，並通過食性分析，初步擬定其食物網結構。樣區為：鐵杉林區、玉山箭竹區及高山芒草之草原區。本研究從 1998 年 3 月正式開始至 1999 年 2 月每個月定期採樣調查一次，共採集 546 樣本數，包括 216 個乾烘土樣、216 個溼烘土樣及 24 個手挑土樣。共記錄大、中、小型土壤動物 2860 類群，分屬於 3 門 7 綱 20 目 34 科。土壤動物垂直分佈為土壤 0-5 cm 層的數量遠大於 5-10 cm 層及 10-15 cm 層。而 5-10 cm 層及 10-15 cm 層之間無顯著差異。土壤動物群落多樣性 (Diversity) 指數以草原為最高，其次為鐵杉林、箭竹林。各林相中鐵杉林土壤動物數量變化與氣溫最小值成相關性；玉山箭竹林內土壤動物數量變化與氣溫中最大值、月均值及最低值；相對濕度最低值及土壤表層溫度最高值均具相關性。鐵杉林及玉山箭竹林的優勢類群與其土壤含水率、有機質、鉀、鈣、鎂間相關性顯著；草原區土壤含水率及有機質皆較低，且土壤容重較大，所以此環境下土壤動物數量皆少於另外兩樣區。可根據本研究結果構建該地區土壤動物食物網。

**【關鍵詞】**土壤動物、多樣性、食物網

## CHANGES OF SPECIES COMPOSITION AND ABUNDANCE OF SOIL ANIMALS AT TA-TA-CHIA AREA

Chun-Yi Chuan<sup>1</sup> Hsiao-Wei Yuan<sup>2</sup> Ya-Nan Wang<sup>3</sup> Hsing-Hui Wu<sup>4</sup>

(Received: January 25, 2004; Accepted: April 22, 2005)

**【Abstract】**We studied the changes of species composition, abundance and diversity of soil animals in different seasons in the forest of Ta-Ta-Chia District from March 1998 to February 1999. We investigated the relationship between these changes and soil characters and microclimate. Through trophic analyses, we also established a preliminary structure of food web. Our study sites included three different habitat types: *Tsuga chinensis* var. *formosana*, *Yusania nitakayamensis* and *Miscanthus sinensis*. We collected soil samples monthly, a total of 546 samples including 216 dry, 216 wet and 24 hand-picked ones. We recorded 2,860 groups of soil animals belonging to 3 phyla, 7 classes, 20 orders and 34 families. The abundance of soil animals in terms of vertical distribution in 0-5 cm was significantly higher than 5-10 cm and 10-15 cm. However, there was no difference between 5-10 cm and 10-15 cm. *Miscanthus* habitat had

<sup>1</sup> 國立台灣大學森林環境暨資源學系碩士，本文為作者碩士論文之一部份。  
Master, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University. This paper was a part from the Master Thesis of the first author.

<sup>2</sup> 國立台灣大學森林環境暨資源學系副教授，通訊作者。  
Associate Professor, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, Corresponding author.

<sup>3</sup> 國立台灣大學森林環境暨資源學系教授。  
Professor, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

<sup>4</sup> 國立台灣大學森林環境暨資源學系研究生。  
Graduate Student, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

the highest community diversity, followed by Hemlock forest and *Yusania*-cane. The changes of soil animal abundance in Hemlock forest was correlated with the minimum air temperature; in *Yusania*-cane was with the maximum, average monthly and minimum air temperature, minimum relative humidity and maximum soil surface temperature. Dominant groups in Hemlock forest and *Yusania*-cane were significantly correlated with moisture, organic matter, K, Ca and Mg. The soil animal abundance was the lowest in *Miscanthus* because of with less moisture and organic matters. Soil animal food web of Ta-Ta Chia District can be established by this study.

【Key words】 Soil animal, Diversity, Food web

## I、前言

土壤動物群是森林生態系統不可缺少的一環，森林生長發育所需的營養主要來源於凋落物分解所釋放的可利用礦質元素。土壤動物將凋落物碎裂，增大微生物作用面，以體內酵素與寄生細菌將凋落物轉換成鹽類和植物易吸收的礦質元素，對森林土壤物質與能量的轉化具有特殊的功能（王宗英等，1996）。

森林枯枝落葉層的一部份食物網，包括千足蟲、甲形蟎、蟋蟀、彈尾目等食草性土壤動物及肉食動物，在此扮演這分解者角色，將無機的元素從有機物質中釋放出來。張雪萍等（1996）針對中國東北地區闊葉樹落葉分解過程與土壤動物的作用研究顯示，枯枝落葉分解過程中主要作用的有大型土壤動物蚯蚓、馬陸、腹足類、昆蟲類及其幼蟲，中小型土壤動物有線蟲、蟎類、彈尾類等 30 餘類；殷秀琴等（1993）也研究森林凋落物與大型土壤動物相關性中，揭示凋落物中礦質元素含量與大型土壤動物體內礦物質含量呈正相關。在土壤有機質的分解過程中，土壤動物與微生物之間有著密不可分的協同關係（張立宏，1990；張寶貴，1997；Karsten and Drack，1995）。

森林土壤動物群落組成常受周圍環境及時間和空間所影響。而在不同生態系統下土壤動物組成及數量也有所不同（王振中，1990；張雪萍等，1996；李朝達等，1997）。故影響土壤動物組成及數量的因子極為複雜，如生物因子及非生物因子。非生物因子中以土壤物理化學因子（土壤水、空氣、有機物、土壤深度（垂直）、孔隙、土質、pH 質、土壤溫度等）及微氣候因子。仲傳彥等（1997）及張培玉等（1997）

和傅必謙等（1997）對森林土壤動物的類群數及個體數在不同林型中的垂直分布狀況顯示，大型和中小型土壤動物類群數及個體數均隨土壤深度的增加而遞減，遞減的幅度因林相而異。極端氣溫常會影響土壤動物類群、數量及分佈，而溫度及降雨量常影響到土壤有機物的分解，所以也間接影響到土壤動物數量及活動（尹文英，1992；吳化前，1997；Price，1975）。

土壤動物的組成也常隨著森林群落的演替而改變，在不同的演替階段的森林中，土壤動物群落常有規律性變化。通常蟎類、蜘蛛及彈尾目等常是初始定居者，多足類半翅類和蟻類隨後出現，濕生動物個體數逐漸增加，直至平穩，昆蟲類中不穩定類群逐漸消失，蚯蚓及其他各類昆蟲和幼蟲大量出現於演替後期較成熟的森林群落中（廖崇惠、陳茂乾，1990；尹文英，1992）。

## II、材料與方法

本研究主要調查塔塔加地區主要林相中土壤動物組成及一年內時間序列的數量動態為指標，來探討各林相的土壤動物多樣性，及土壤動物組成及數量、優勢類群與養分循環及能量流動的關係，並進一步對與土壤及微氣候因子的關係進行探討，通過食性分析，初步構建其食物網結構。

### (I) 樣區概況及設置

塔塔加位於玉山國家公園境內，約於東埔山（2780 m）、麟趾山（2854 m）以及玉山前山（3239 m）之間，位於北緯 23°28'，東經

120°53'之間。樣區設置內主要河川為沙里仙溪，往北注入陳有蘭溪。其土壤質地為砂質壤土，土壤反應大部份呈酸性，pH 值介於 4.1-5.1 (H<sub>2</sub>O) (江博倫，1998)。本區年降雨量約 4000 mm，平均相對溼度在 75-91%，年平均溫度為 9°C，月平均溫度為 4.3-12.8°C，平均土溫度為 11°C，資料取於鹿林山氣象站，塔塔加地區與樣區設置地點如圖 1 所示。

樣區設置選擇鐵杉林及草原區為主，其中草原區再劃分為玉山箭竹及高山芒兩個樣區，樣區中鐵杉林分平均海拔 2670 m，坡度 45°-65°，方位為東南向，地形遮蔽度小上層主要優勢樹種為鐵杉 (*Tsuga chinensis* var. *formosana*) 樹冠較為開闊，偶爾可見紅檜 (*Chamaecyparia formosensis*) 散生其間，林下尚有玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis*)、森氏杜鵑 (*Rhododendron morii*) 及台灣馬醉木 (*Pieris tawanensis*) 等。玉山箭竹草原試驗地平均海拔 2650 m，優勢植群玉山箭竹平均植株高度 1 m-2 m 之間，其他草本植物則為高山芒 (*Miscanthus transmorrisonensis*) (郭城孟，

1988；呂理昌，1990)。草原地區植被主要以高山芒為主 (郭城孟，1991)。

## (II) 調查與取樣方法

為了解塔塔加地區鐵杉、玉山箭竹及高山芒中土壤動物的種類、優勢種群的數量變動，故設立三個取樣區：鐵杉林區、玉山箭竹區、高山芒區。自 1998 年 3 月至 1999 年 2 月每個月調查土壤動物一次。其中在 1998 年 11 月採集土壤樣本。為瞭解樣區內微氣候因子，本研究引用塔塔加高山草原森林長期生態研究之子計畫中生育地微環境之監測部分資料，加以整理得到一完整有利於本研究分析的微氣候資訊。其中有鐵杉林及草原地區的土溫、氣溫及濕度等，本研究僅引用自 1998 年 3 月至 1999 年 2 月共一年監測資料。

土壤動物取樣方法為在每個樣區內隨機選擇三個樣點進行樣本採集，首先掠去地表枯枝落葉物，挖掘土壤剖面 15 cm，按 0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm 三個層次取樣，每個層次分別利用 100 及 25 cm<sup>3</sup> 的圓形乾、濕採樣器各取一個土樣，放置封口袋中並帶回室內，將 100 及 25 cm<sup>3</sup> 的樣品分別置於烘蟲箱內的 Tullgren 漏斗上 (乾漏斗集蟲法) 及 Baermann 漏斗 (濕漏斗集蟲法) 內並編號，進行中小型土壤動物分離，時間約為 48 小時後，利用顯微鏡鑑定並紀錄。大型動物採集主要利用環形不銹鋼採集框 (直徑 28.5 cm，高 8 cm)，挖出框內 5 cm 深的落葉和土壤，收集肉眼可見的大型土壤動物如蜈蚣、鼠婦、大型昆蟲、馬陸、蚯蚓等。收集放置封口袋中，或在現場由所取之土壤中挑出 (手挑)，放置在裝滿 70% 之酒精的玻璃瓶中保存，然後鑑定其種類及紀錄數量 (尹文英，1992)。

資料監測方法利用資料蒐集器與感應器 (sensor) 在樣區內各設置資料蒐集器 (Datalogger) 1 部，是由 Campbell Scientific Inc. 生產之 CR10X 機型，資料儲存在隨機記憶體 (Static Random Access Memory SRAM

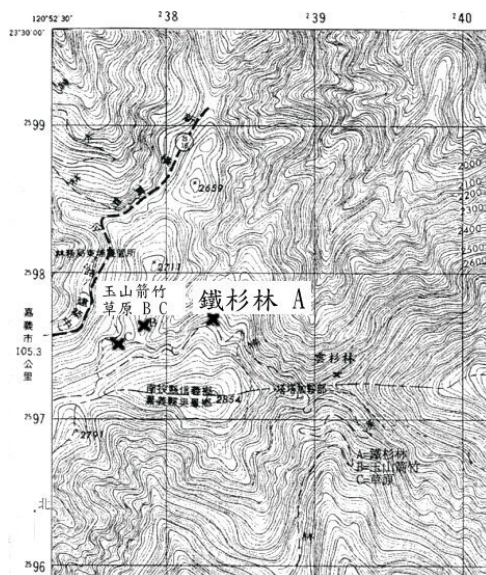


圖 1 塔塔加樣區設置地點  
Fig. 1 Ta-Ta-Chia study sites

128K)。資料蒐集器連接 3 種感測器 (Sensor) 分別為：1. 空氣溫度感測器：感測器位置在垂直高度 1 m 處；2. 濕度感測器：感測器位置在垂直高度 1 m 處；3. 土壤溫度感測器：感測器位置在土壤垂直深度 10 cm 處 (本文僅就土壤表層溫度進行討論)。蒐集資料的密度為每分鐘觀測 1 筆資料，觀測 1 小時之 60 筆資料，由微電腦將最高值、最低值以及平均值算出，記錄計算出 1 小時之數據，並將發生最高值與最低值的時間一併記錄。

### (III) 統計分析

調查後所得資料數據，以電腦統計軟體 Microsoft Excel 進行整理計算，再以 SAS Ver.6.12 統計軟體進行變方分析 (Analysis of variance)、相似性分析 (Analysis of similarity) 及相關性分析 (Analysis of correlation) 各種測試，以比較各林型與各土壤層次間的變項之差異及關係 (丁岩欽, 1994; 鄭師章等, 1994)。

各樣區土壤動物組成的多樣性、均勻度及相似性採用 Shannon & Shannon-Wiener 多樣性 (Diversity) 指數 (H)、均勻度 (E) 及 Jaccard 相似性指數 (S<sub>j</sub>) 公式如下：

$$H = -\sum P_i \ln P_i$$

P<sub>i</sub> 為該種類個體數佔總個體數的比率

$$E = H / \ln S$$

S 為所有種類數

$$S_j = c \div (a+b-c)$$

a 為 a 林分之所有總類群數

b 為 b 林分之所有總類群數

c 為 a、b 兩林分之共有類群數

## III、結果與討論

### (I) 土壤動物組成、個體數及優勢類群

塔塔加地區三個樣區自 1998 年 3 月至 1999 年 2 月經每月定期採樣調查，共採集 456 樣本數，包括 216 個乾烘土壤 (Tullgren 漏斗

集蟲法) 及 216 個濕烘土壤 (Baermann 漏斗集蟲法)、24 個手挑土樣。共紀錄大、中、小型土壤動物 2860 個，分屬於 3 門 7 綱 20 目 34 科。

其中優勢類群 (個體數佔總體數 > 10%) 以環節動物門線蚓類 (*Oligochaeta plesio-pora*)、節肢動物門跳蟲類 (Collembola) 及圓形動物門線蟲類 (Nematoda) 為主，分別佔全捕量的 27.76%、29.72%、10.35%。合計 67.83%，顯示線蚓類、跳蟲類及線蟲類為塔塔加地區森林土壤動物群落的主體。常見類群有蜚蠊類 9.37%、結合綱 3.57%、鞘翅類 4.06%、膜翅類 1.19%、雙翅類 8.53% 等。其餘為稀有類群，僅佔 5.45% (表 1)。

若以塔塔加地區共獲 3 門 7 綱 20 目 34 科與溪頭地區 4 門 10 綱 41 科 (陳子浩, 1998) 及其餘地區 (包括南仁山、陽明山、太平山、棲蘭山中大型土壤動物) 作一粗略比較，發現塔塔加地區土壤動物的組成較單純化且一般在低海拔常見優勢種如蜚蠊類、蚯蚓、倍足綱 (馬陸等) 及偽蠍類等大型節肢動物較少見 (廖崇惠、陳茂乾等, 1990; 李朝達等, 1997; 楊效東等, 1998; Swift *et al.*, 1979; Thomas and Maclean, 1988; Wood, 1989), Holt (1986) 認為針葉林土壤動物的減少，可能與針葉林有機質多樣性較低、無機碳含量降低、分解緩慢以及在某些針葉林土壤中含有大量土壤動物難以消化的植物混合物的原因。所以塔塔加地區土壤動物群落之性質因海拔高、氣壓較低、pH 值低及植群單一等因素，而屬於高山針葉林土壤動物類型。

### (II) 不同植物相之土壤動物種類與其優勢類群

植被對土壤動物的生存及分佈有很大的影響，不同的植被，其土壤動物區系也不一樣 (忻介六, 1986; 廖崇惠、陳茂乾, 1990)。以塔塔加森林土壤動物類群數及個體數作分析，其中類群數以鐵杉林 21 類最多，依序是鐵杉林 (21) > 玉山箭竹 (18) > 高山芒 (14)，

表 1 塔塔加地區不同林型土壤動物類群數量 (類群數、個體數) 統計

Table 1 Abundance (group and individual) of soil animals in Ta-Ta-Chia

Group	Plot of forest type			Total number of individuals	Percent (%)	Abundance**
	Hemlock forest*	Yushaia-cane	Grassland			
圓形動物門 Phylum Nematoda						
線蟲綱 <i>Nematoda</i>	58	148	90	296	10.35	+++
環節動物門 Phylum Annelida						
近孔寡毛目 <i>Oligochaeta plesiopora</i>	51	628	109	794	27.76	+++
後孔寡毛目 <i>Oligochaeta opisthopora</i>	-	14	10	24	0.84	+
節肢動物門 Phylum Arthropoda						
蜱蟎目 <i>Acarina</i>	64	108	96	268	9.37	++
擬蠍目 <i>Pseudoscorpionida</i>	1	-	-	1	0.03	+
蜘蛛目 <i>Araneae</i>	2	14	4	20	0.70	+
地蜈蚣目 <i>Geophilomorpha</i>	4	-	-	4	0.14	+
蜈蚣目 <i>Scoloenpdromorpha</i>	7	1	-	8	0.28	+
石蜈蚣目 <i>Lithobiomorpha</i>	2	2	-	4	0.14	+
倍足綱 <i>Diplopoda</i>	12	1	-	13	0.45	+
結合綱 <i>Symphyla</i>	99	2	1	102	3.57	++
原尾目 <i>Protura</i>	1	1	-	2	0.07	+
彈尾目 <i>Collembola</i>	739	57	54	850	29.72	+++
雙尾目 <i>Diplura</i>	1	-	-	1	0.03	+
纓尾目 <i>Thysanura</i>	1	-	-	1	0.03	+
直翅目 <i>Orthoptera</i>	1	3	-	4	0.14	+
嘴蟲目 <i>Psocoptera</i>	12	10	17	39	1.36	+
同翅目 <i>Homoptera</i>	13	3	13	29	1.01	+
半翅目 <i>Hemiptera</i>	-	-	3	3	0.10	+
鱗翅目 <i>Lepidoptera</i>	1	1	1	3	0.10	+
鞘翅目 <i>Coleoptera</i>	54	35	27	116	4.06	++
膜翅目 <i>Hymenoptera</i>	7	1	26	34	1.19	++
雙翅目 <i>Diptera</i>	79	95	70	244	8.53	++
Number Total	1215	1124	521	2860	100.00	
Group Total	21	18	14			

\* : Hemlock Forest = *Tsuga chinensis* var. *formosana*; *Yushania-cane* = *Yushania niitakaymensis*; *Grassland* = *Miscanthus transmorrisonensis*

\*\*Abundance > 10% 為優勢類群 (+++) ; 1-10% 為常見類群 (++) ; < 1% 為稀有類群 (+)

個體數也為鐵杉林最多 1215 隻，依次為鐵杉林 (1215) > 玉山箭竹 (1124) > 高山芒 (521) (圖 2)。故類群數及個體數兩者均以鐵杉林為最高，其主要原因為鐵杉林中的腐植質及林下植被比玉山箭竹及高山芒較豐富。

由 Jaccard 相似性指數可看出在塔塔加三個樣區中以鐵杉林與箭竹中土壤動物群落組成最為相似，其相似性係數達到 77.27%；其次為箭竹與高山芒，其相似性係數為 68.42%；而鐵

杉林與高山芒相似性最低，其相似性係數為 52.17% (表 2)。

由變方分析結果顯示，中小型土壤動物在這三個樣區間差異不顯著 ( $p = 0.9796$ )，而從大型土壤動物來看，其間差異較顯著 ( $p = 0.028$ )，尤其在鐵杉林與高山芒及玉山箭竹與高山芒間土壤動物數量有差異，但鐵杉林與玉山箭竹間無差異；若從總體來看這三個樣區間差異也顯著 ( $p = 0.0306$ )，而高山芒在土壤

動物總數和玉山箭竹林及鐵杉林間有差異，但鐵杉林與玉山箭竹間無差異（表 3）。

各林型土壤動物類群密度與優勢種資料見表四。其中鐵杉林以彈尾類（跳蟲）佔 60.82% 為主要優勢類群，而常見類群如線蟲綱、同翅目、線蚓目、蟬蟎目、綜合綱、鞘翅類及雙翅類。箭竹林以線蚓目（近孔寡毛目）佔 55.87% 為主要優勢類群，而線蟲綱佔 13.17% 為一般優勢類群，常見類群如蟬蟎類、線蚓類、蜘蛛類、彈尾類、鞘翅類、蚯蚓（後孔寡毛目）及雙翅類。高山芒中優勢類群及一般優勢類群較多如線蟲綱 17.27%、線蚓類 20.92%、蟬蟎類 18.42%、彈尾類 10.36% 及雙翅類 13.43% 等。故無主要優勢類群。其常見類群有蚯蚓類（後孔寡毛目）、嚙蟲類、同翅類、鞘翅類、膜翅類。

在本研究中鐵杉林的跳蟲類及箭竹林的線蚓類在密度及個體數比率分別在各林型所佔的比例較高，故為主要優勢類群，因跳蟲類及線蚓類分別在鐵杉林及箭竹林每月份土壤動物中出現頻次較高。高山芒中跳蟲類及線蚓類的數量低及出現頻次少，其原因可能為高山芒無林木之覆蓋，造成土壤溫度及溼度高且變化大。

### (III) 土壤動物群落時間序列狀態

影響土壤動物季節變化的主要因素為土壤含水率及土壤溫度等狀況的變化（忻介六，1986；王振中等，1990；錢復生、王宗英，1995）。若從時間序列上來比較各林型的類群數、個體數、大型及中小型土壤動物的變化，可瞭解土壤動物在時空條件的改變反應環境變化的敏感訊息，也為物質轉化能量提供重要訊息。

塔塔加地區森林土壤動物類群數在依年內時間序列上的變化，由圖 3 可看出鐵杉林以

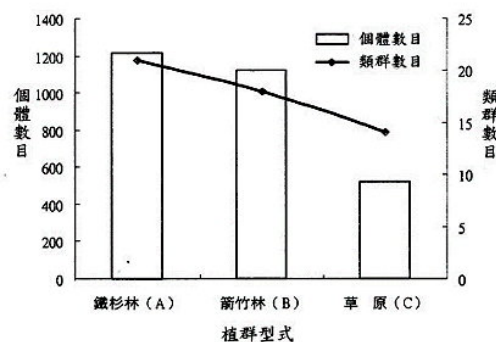


圖 2 各林型土壤動物個體數及類群數分布圖  
Fig. 2 Distribution of soil animal individuals and group in various habitat types

表 2 塔塔加地區各樣區土壤動物群落的相似性係數 (%)

Table 2 Similarity coefficient of soil animal community in each habitat type of Ta-Ta-Chia

Plots	Hemlock forest	Yushaia-cane	Grassland
Hemlock forest	100%	77.27%	52.17%
Yushaia-cane		100%	68.42%
Grassland			100%

表 3 塔塔加地區各樣區土壤動物群落的變異數分析表

Table 3 ANOVA table of soil animal community in each habitat type of Ta-Ta-Chia

Variable	Hemlock forest	Yushaia-cane	Grassland	n	F Value	Pr > F
Med. and min. soil animals	3.24±3.12a	3.15±3.06a	3.23±3.69a	108	0.02	0.9796
Surface-soil animals	71.92±70.99a	64.00±57.07a	14.32±7.83b	12	4.20	0.0238
Total	101.08±67.78a	93.83±63.23a	43.42±3.23b	12	3.88	0.0306



1998年3月採集到的類群數最低，4月至7月間無太大變動，8月為類群數最高，9至12月雖又開始下降，但1、2月間期變化亦不大。玉山箭竹林所採集到的最高類群數為8、11月份，3至7月間類群數無太大差異，而9月亦有下降的趨勢，10月後至次年2月期間變化幅度較明顯。草原區內一年變化較明顯，12月後數量開始下降至2月最低，而7、8月捕獲量最高，其餘月份的捕獲量均在6至10類之間。

就個體數而言，圖4可看出鐵杉林的總個體數量變化在5月最大，其餘月份變化幅度不大。玉山箭竹林以6、7月份捕獲量最大，而其餘月份變化的幅度也不大；箭竹林在整年中個體數量變化幅度不大，最大量出現在7月。

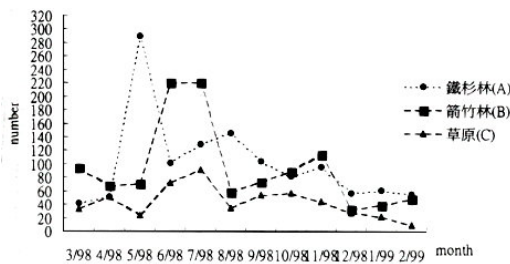


圖3 各林型土壤動物類群數在不同月份之比較

Fig. 3 Comparison of soil animal groups of in different habitat types from March 1998 to February 1999

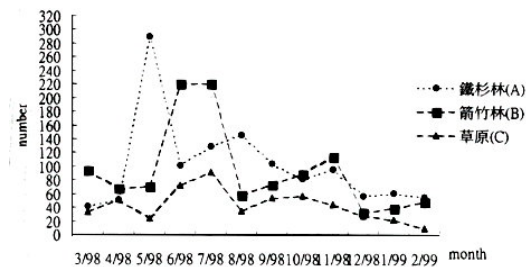


圖4 各林型總體土壤動物個體數在不同月份之比較

Fig. 4 Comparison of total soil animal numbers in different habitat types from March 1998 to February 1999

從大型土壤動物數量的變化而言(圖5)，變化幅度與圖8的個體數量變化幅度相似。中小型土壤動物數量變化(圖6)，可看出三個樣區的變化在8月前有相似的規律，大約在一段時間會出現一次高峰值，從3月數量較低，4月開始增加，又出現一次高峰值，5月數量稍下降，6月又開始上升至7月最大值。鐵杉林在8月份後期變化較為穩定。玉山箭竹林從8、9月下降，10月再次出現高峰值，11月又開始下降至2月數量均最低，草原區從10月份後開始下降至2月最低。

總體而言塔塔加地區三個樣區在這一箇年中個體數的變化較不明顯，此原因與不同月份中，森林土壤的溫度、濕度及微氣候等條件都

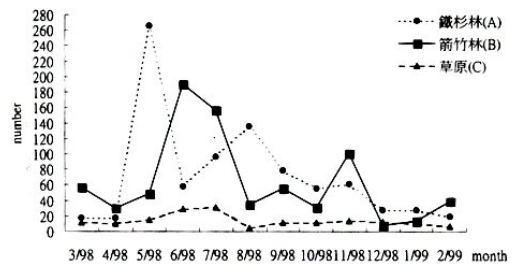


圖5 各林型大型土壤動物個體數在不同月份之比較

Fig. 5 Comparison of large soil animal numbers in different habitat types from March 1998 to February 1999

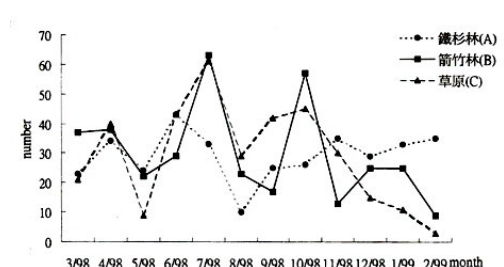


圖6 各林型中小型土壤動物個體數在不同月份之比較

Fig. 6 Comparison of medium and miniature soil animal numbers in different habitat types from March 1998 to February 1999

在變化，這些因子變化對於土壤動物的組成及數量均產生影響，尤其在相同林相組成或不同覆蓋下其變化影響也不一樣；另外常見優勢類群在不同月份變化常影響到群落整體變化及類群數，因為土壤動物群落的數量密度取決於群落的優勢類群，如以 5 月份鐵杉林為例其優勢類群跳蟲的數量大增，總個體數也大增；6 月優勢類群的數量有下降趨勢，其總個體數也有下降趨勢。以此類推箭竹林的變化也相同。

(IV) 土壤動物垂直分佈變化

土壤動物在土壤中的垂直分佈特性主要集中在上層，逐漸向下遞減（仲傳彥，1997；張培玉等，1997；傅必謙、高武，1997）。本研究中就各林型土壤動物個體數而言（圖 7），三個樣區的土壤 0-5 cm 層的數量遠大於 5-10 cm 層及 10-15 cm 層。

但 5-10 cm 層及 10-15 cm 層之間無顯著差異，且鐵杉林及玉山箭竹林 10-15 cm 層的均值大於 5-10 cm 層。將三個樣區中的表層土壤動物（大型土壤動物取樣法）的數量去除，其剩餘的乾生及濕生土壤動物在不同土壤層次中的區別，也顯示 0-5 cm 層的數量分別與 5-10 cm 層及 10-15 cm 層間有顯著差異，而 5-10 cm 層及 10-15 cm 層間有差異但不顯著（表 4）。表 4 表示塔塔加地區森林土壤動物在不同林型中的垂直分佈，其個體數、乾生及濕生其土壤動物會隨土層深度的增加而遞減，遞減的幅度依

林型而異，但土壤深度愈深時，其差異較不顯著。

若分別就各林型不同月份土壤動物個體數垂直分佈狀況來分析（圖 8、9、10），可看出鐵杉林中每月份 0-5 cm 層的數量都大於 5-10 cm 層及 10-15 cm 層，而箭竹林及草原也有相同狀況，但總會有某些月份出現例外的結果，如鐵杉林在 9 月、箭竹林在 4、7 月及草原 5、9 月的土壤 0-5 cm 層的數量卻小於 5-10 cm 層，而且也會出現 10-15 cm 層的數量在某些月份中大於 5-10 cm 層的結果。此現象可能與氣候因素影響到土壤溫度和水分變動有關；因為土壤動物都屬於變溫動物，因而對環境的依賴性大，對土壤溫度和水分的變化只能被動地適應（王振中，1990）。此外表層腐植質及土壤深度間的容重、有機質、pH 等的理化性質與此現象可能也有關係。（錢復生、王宗英，1995；張雪萍等，1996）。

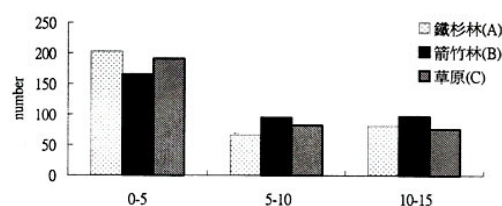


圖 7 塔塔加地區森林土壤動物個體數垂直分佈

Fig. 7 Vertical distribution of soil animal numbers in Ta-Ta-Chia

表 4 不同層次土壤動物數量差異分析表

Table 4 The ANOVA table of soil animal abundance in different soil layer

Variable	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	N	F Value	Pr > F
Hemlock Forest*	5.64±3.70 <sup>a</sup>	1.83±1.50 <sup>b</sup>	2.25±2.20 <sup>b</sup>	108	22.62	0.0001
Yushania-cane	4.61±3.28 <sup>a</sup>	2.64±2.79 <sup>b</sup>	2.69±2.74 <sup>b</sup>	108	5.22	0.069
Grassland	5.31±4.90 <sup>a</sup>	2.28±1.99 <sup>b</sup>	2.11±2.65 <sup>b</sup>	108	9.97	0.0001
Dry soil animals	3.15±3.58 <sup>a</sup>	1.29±1.72 <sup>b</sup>	1.41±1.89 <sup>b</sup>	324	12.23	0.0001
Wet soil animals	2.04±2.10 <sup>a</sup>	0.96±1.44 <sup>b</sup>	0.85±1.55 <sup>b</sup>	324	15.65	0.0001
Total (Dry + Wet)	5.19±4.01 <sup>a</sup>	2.25±2.17 <sup>b</sup>	2.35±2.53 <sup>b</sup>	324	33.12	0.0001

註：每一橫行之均值以不同英文字母標示者，表示有 5% 顯著水準的差異（LSD 最小顯著差異）



(V) 土壤動物群落多樣性 (Diversity) 分析

土壤動物群落結構指標除了利用類群數、個體數、密度及優勢度表示外，多樣性及均勻性常利用反應土壤結構和功能，如土壤動物棲息環境的穩定性和群落食物網的複雜程度等，也可測定環境間差異性 (孫儒泳, 1992; 張雪萍等, 1996; 廖崇惠、陳茂乾, 1997; 楊效東等, 1998; Debauche, 1962)。為了進一步理解當地土壤動物的群落特性，本研究進行了多樣性及均勻度測定，有關數據如表 5 所示。

以表 5 可知三種植物相土壤動物類群數以鐵杉林最高，其次為玉山箭竹和高山芒個體數也為相同趨勢。多樣性指數分別為高山芒 2.121>鐵杉林 1.541>玉山箭竹 1.522 及均勻度指數分別為高山芒 0.667>鐵杉林 0.484>玉山箭竹 0.478。出現這種現象的原因是鐵杉林及玉山箭竹有顯著類群，而高山芒的優勢類群不明顯，而優勢類群對多樣性及均勻性影響很大

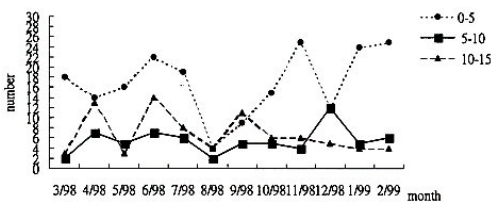


圖 8 鐵杉林土壤動物個體數在不同月份的垂直分佈

Fig. 8 Vertical distribution of individuals in Hemlock forest from March 1998 to February 1999

(陶正良等, 1992)，由於多樣性指數是群落豐富度和均勻度的函數，優勢類群比例越高，均勻數越低，勢必影響多樣性指數。例如圖 13 表現 4 月份鐵杉林中跳蟲數量最少，在圖 11 反映多樣性值最高；5 月份跳蟲數量最高，圖 11 表現多樣性最低，其餘類推。從生態學的角度

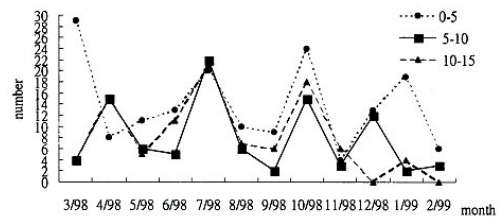


圖 9 玉山箭竹林土壤動物個體數在不同月份的垂直分佈

Fig. 9 Vertical distribution of individuals in Yushania-cane forest from March 1998 to February 1999

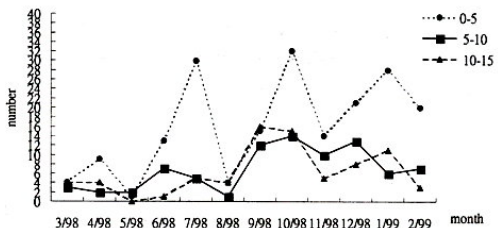


圖 10 高山芒草原區土壤動物個體數在不同月份的垂直分佈

Fig. 10 Vertical distribution of individuals in Miscanthus grassland from March 1998 to February 1999

表 5 塔塔加土壤動物群落重要指標值

Table 5 Important index of soil animal communities in Ta-Ta-Chia

Index	Plot of forest type		
	Hemlock forest	Yushaia-cane	Grassland
Group number	21	18	14
Total number	1215	1124	521
Dominant Group	跳蟲類	線蚓類	-
H(Diversity)	1.541	1.522	2.121
E(Evenness)	0.484	0.478	0.667

度理解草原上多樣性指數高的原因是當地生態條件不具備如鐵杉林和玉山箭竹內某些類群大量繁殖的條件，因此無突出優勢類群，從而在低密度下的類群間平衡。這就出現相同區域下不同地塊情況下土壤動物多樣性差異的原因。William (1981) 認為影響物種豐富度關係的主要因子為環境異質性等生物因子。對於跳蟲類及線蚓類為何能在各自環境中迅速繁衍需要進一步深入研究。

不同林相土壤動物多樣性及均勻度在時間序列變化幅度(見圖 11、12)表現相同趨勢。

(VI) 土壤動物與微氣候因子關係

本研究應用塔塔加長期生態(LTER)中1998年3月至1999年2月的微氣候資料，加以整理後，在經過一年調查中發現，將土壤動物的總數、表層土壤動物(圓形採樣器)及中

小型土壤動物(乾、濕型採樣器)數量與各月份氣溫、相對濕度及土壤表層溫度的最高值、平均及最低值做統計與相關性的分析，就鐵杉林表層土壤動物及總個體數在5月量達最高，此時的溫度正開始升高；當其數量在8月後開始減少，而溫度也趨於下降(圖 13)；土壤動物總數及表層土壤動物與氣溫中最小值分別有顯著相關(表 6)，表示鐵杉林內土壤動物總數及表層土壤動物量在月份變化較受氣溫中最小值影響。在玉山箭竹內其土壤動物數量的變化也受溫度的影響，如總數及表層土壤動物量在6、7月最高時，其間平均溫度或最大及最小溫度值也均達最高(圖 14)。且土壤總個體數與溫度的月均值及月最大、月最小值間相關性顯著，表層土壤動物數量也與月均值及月最大值有顯著相關性(表 7)，表示玉山箭

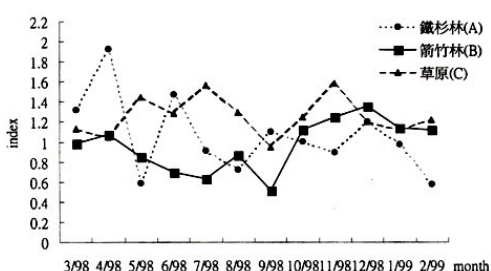


圖 11 各林型多樣性指數在不同月份之比較  
Fig. 11 Comparison of diversity index in different habitat types from March 1998 to February 1999

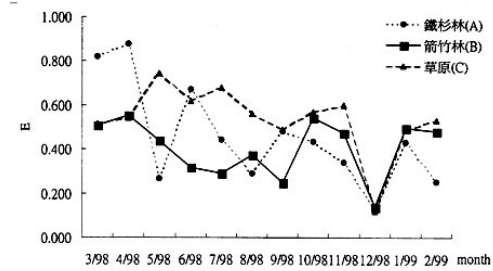


圖 12 各林型均勻度在不同月份之比較  
Fig. 12 Comparison of evenness index in different habitat types from March 1998 to February 1999

表 6 鐵杉林土壤動物類群數、總數、表層土壤動物及中小型土壤動物與氣溫和相對濕度月最高值、平均值、最低值之相關性

Table 6 Correlation coefficient of soil animals abundance (groups, total number, surface-soil animals and Med. and min.) and mean, max., min. of air temperature and relative humidity in Hemlock forest

Hemlock forest Variables	Air-temperature (°C)			Relative Humidity (%)		
	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum
Groups	0.11	0.41	0.47	0.37	0.09	0.11
Total number	0.48	0.53	0.63*	0.11	0.34	0.45
Surface-soil animals	0.46	0.51	0.58*	0.06	0.31	0.41
Med. and min. soil animals	-0.03	-0.05	0.20	0.39	0.16	0.22

註：\*表示該 P<0.05

竹內總個體數及表層土壤動物數量受溫度波動影響最大。具體而言，高溫較有利於某些昆蟲類群，如鞘翅目、膜翅目等。但低溫時對一些敏感的類群影響較大 (Elzinga, 1997)。故兩樣區土壤動物消長與氣溫成正相關。

相對濕度對於土壤動物數量的變動較不明顯，從鐵杉林土壤動物數量月份變動與該地區相對濕度的關係皆不顯著 (表 6)，圖 15 中也可看出鐵杉林內相對濕度變化幅度較小有別與土壤動物數量的變化幅度大。但在玉山

箭竹區內其土壤動物總個體數與相對濕度月最小值間相關性顯著，表層土壤動物數量也與月最小值有顯著相關性 (表 7)，從圖 16 也可看出當相對濕度最低值的變動幅度與土壤動物總個體數及表層土壤動物變化幅度較相似。此結果可能和玉山箭竹的優勢類群為濕生的線蚓，而鐵杉林的優勢類群為乾生的跳蟲類，過高的水分會限制了乾生土壤動物數量的增長，但有利於濕生土壤動物的繁殖有關 (吳化前, 1997; 尹文英, 1992)

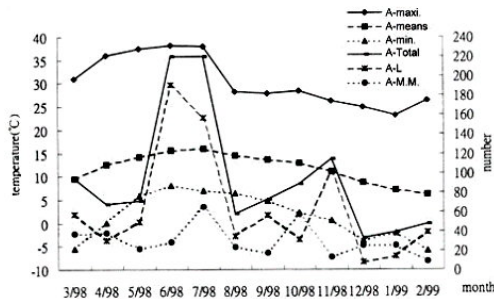


圖 13 鐵杉林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物與氣溫月最高溫、平均值、最低值之比較

Fig. 13 Comparison of soil animals abundance (total number, surface and Med. and min.) and mean, max. and min. of air temperature in Hemlock forest

註：A-maxi., means, min = 鐵杉林氣溫月最高溫、平均、最低溫；A-total,L,M.M. = 鐵杉林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物

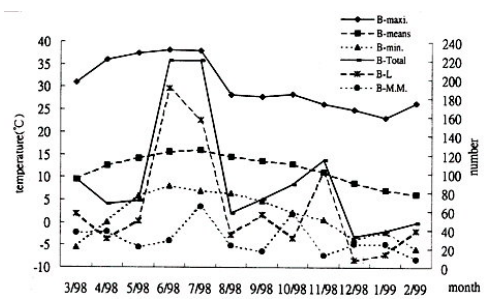


圖 14 玉山箭竹林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物與氣溫月最高溫、平均值、最低值之比較

Fig. 14 Comparison of soil animals abundance (total number, surface and min.) and mean, max. and min. of air temperature in Yushania-cane

註：B-maxi.,means,min = 玉山箭竹林氣溫月最高溫、平均、最低溫；B-total,L,M.M. = 玉山箭竹林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物

表 7 玉山箭竹林土壤動物類群數、總數、表層土壤動物及中小型土壤動物與氣溫和相對濕度月最高值、平均值、最低值之相關性

Table 7 Correlation coefficient of soil animals abundance (groups, total number, surface-soil animals and Med. and min.) and mean, max., min. of air temperature and relative humidity in Yushania-cane

Yushania-cane Variables	Air-temperature (°C)			Relative Humidity (%)		
	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum
Groups	0.12	0.51	0.52	0.021	0.34	0.07
Total number	0.68*	0.64*	0.58*	-0.24	0.34	0.63*
Surface-soil animals	0.63*	0.59*	0.57	-0.16	0.39	0.58*
Med. and min. soil animals	0.44	0.43	0.26	-0.36	-0.04	0.41

註：\*表示該 P<0.05

絕大多數土壤動物均屬於變溫動物，因而對於環境的依賴性很大，對於土溫的改變只是被動地適應（王振中，1990）。鐵杉林內表層土壤溫度月平均在 8 月時最高，且表層土壤動物在當月也有升高的趨勢，但並非最高量，土壤表層月均溫在 8 月後開始下降，表層土壤動物數也有此趨勢（圖 17），但這兩變數間相關性卻不顯著（表 8）。土壤表層月最高及最低值與 0-5 cm 及中小型土壤動物變化幅度皆不大（圖 18），且之間相關性也不顯著（表 8）。玉山箭竹林中表層土壤動物數在一年變化幅

度很大，期間出現多次高峰（圖 18），且最高值及最高量皆出現在 6、7 月間。其餘土壤表層月均溫及月最低溫與 0-5 cm 及中小型土壤動物變數之間相關性不高（表 9）。土壤溫度變化緩和較有利於土壤動物的繁殖及活動，且部分文獻說明土壤表層溫度對土壤動物數量的變動明顯（忻介六，1986；王振中，1990；吳化前，1997）

綜上所述，土壤動物是反應環境變化的敏感指標生物，當環境因素的變化若超過一定限度時，即會影響到土壤動物的生存及活動。本

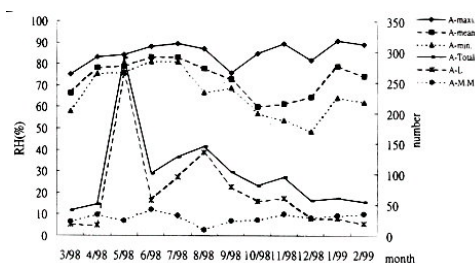


圖 15 鐵杉林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物與相對濕度月最高值、平均值、最低值之比較

Fig. 15 Comparison of soil animals abundance (total number, surface and Med. and min.) and mean, max. and min. of relative humidity in Hemlock forest

註：A-maxi.,means,min = 鐵杉林相對濕度月最高值、平均、最低值；A-total,L,M.M. = 鐵杉林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物

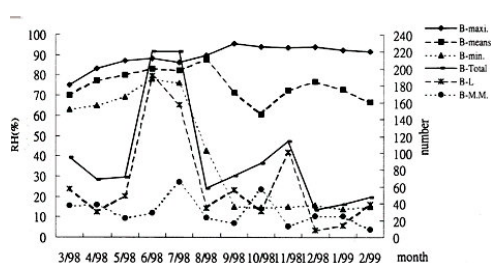


圖 16 玉山箭竹林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物與相對濕度月最高值、平均值、最低值之比較

Fig. 16 Comparison of soil animals abundance (total number, surface and Med. and min.) and mean, max. and min. of relative humidity in Yushania-cane

註：B-maxi.,means,min = 玉山箭竹林相對濕度月最高值、平均、最低值；B-total,L,M.M. = 玉山箭竹林土壤動物總數、表層及中小型土壤動物

表 8 鐵杉林 0-5 cm、表層土壤動物及中小型土壤動物與土壤表層溫度月最高值、平均值、最低值之比較

Table 8 Correlation coefficient of soil animals abundance (0-5 layer, surface-soil animals and Med. and min.) and mean, max. and min. of surface soil temperature in Hemlock forest

Variables	Soil-temperature (°C)		
	Maximum	Average	Minimum
0-5 layer	-0.58	-0.47	-0.23
Surface-soil animals	0.56	0.44	0.41
Med. and min. soil animals	-0.40	-0.25	0.08

表 9 玉山箭竹林 0-5 cm、表層土壤動物及中小型土壤動物與土壤表層溫度月最高值、平均值、最低值之比較

Table 9 Correlation coefficient of soil animals abundance (0-5 layer, surface-soil animals and Med. and min.) and mean, max. and min. of surface soil temperature in *Yushania*-cane

Yushania-cane Variables	Soil-temperature (°C)		
	Maximum	Average	Minimum
0-5 layer	0.11	-0.07	-0.25
Surface-soil animals	0.69*	0.46	0.16
Med. and min. soil animals	0.52	0.31	-0.01

註：\*表示該 P<0.05

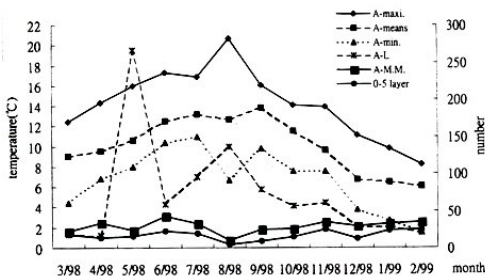


圖 17 鐵杉林 0-5 cm、大型及中小型土壤動物與土壤表層溫度月最高值、平均值、最低值之比較

Fig. 17 Comparison of soil animals abundance (0-5 cmlayer, large and Med. and min.) and mean, max. and min. of surface soil temperature in Hemlock forest.

註：A-maxi.,means,min = 鐵杉林土壤表層溫度月最高值、平均、最低值；0-5 layer = 0-5 cm 層土壤動物；A-L,M.M.= 鐵杉林大型及中小型土壤動物

研究所做的微氣候因子與土壤動物在不同月份下消長的關係較為粗略，若能細分土壤動物的類群及數量從中針對敏感性類群與各微氣候因子間找出相關，就能更具體說明該地區土壤動物的消長及主要影響因子。但本文依所收集資料，分析後認為塔塔加地區三個樣區間其土壤動物會出現不同類群及數量變化，在所調查的微氣候因子中無明顯的差異，故無法說明微氣候因子是造成三個樣區間土壤動物的差異；但各林相中鐵杉林土壤動物數量變化與氣

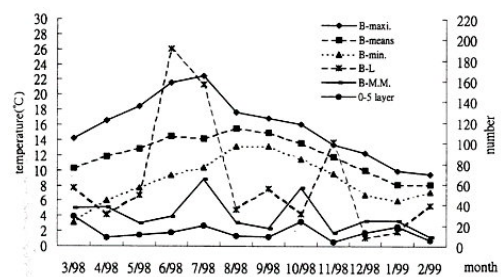


圖 18 玉山箭竹林 0-5 cm、大型及中小型土壤動物與土壤表層溫度月最高值、平均值、最低值之比較

Fig. 18 Comparison of soil animals abundance (0-5 cmlayer, large and Med. and min.) and mean, max. and min. of surface soil temperature in *Yushania*-cane

註：B-maxi.,means,min = 玉山箭竹林土壤表層溫度月最高值、平均、最低值；0-5 layer = 0-5 cm 層土壤動物；B-L,M.M.= 玉山箭竹林大型及中小型土壤動物

溫最小值呈相關性；相對濕度最低值及土壤表層溫度最高值也呈相關性。

(VII) 土壤動物與土壤因子關係

鐵杉林土壤物理環境中容重有別於其餘兩個樣區且孔隙密度較小，尤其在第一層（0-5 cm），但容重與跳蟲相關性不高。含水率及有機質可能是影響鐵杉林中優勢類群跳蟲類適應此環境的原因之一，表 19 中表示含水率及有機質與跳蟲呈正相關；至於 pH 值越酸較不



受土壤動物喜好，但 Hagver (1987) 認為跳蟲類和蟎類的競爭與 pH 值有一定相關性，尤其在含水率不高的情況下，所以此因素可能是跳蟲類能優勢於其他類群的原因。本試驗中 pH 值與跳蟲呈負相關，但不顯著。玉山箭竹林中在含水率、有機質及容重皆大於另外兩個樣區，但在 pH 值酸鹼度卻越低，Killham (1994) 指出酸鹼度越低，若低於 pH 值 5 的土壤中，線蚓類的數量會大增；而玉山箭竹的根系發達可能是土壤有機質量大於另外兩樣區的原因，且本研究在調查期間曾觀察到線蚓取食玉山箭竹的細根，且線蚓與有機質具有顯著相關性；忻介六 (1986) 認為決定線蚓分佈重要條件中水分不能過於乾燥，本試驗中線蚓類與含水率也呈正相關，以上的因素可能是成為玉山箭竹林下線蚓成為優勢類群的原因。高山芒草原區在土壤環境條件中，與玉山箭竹林較相似，可能是地緣關係，但因草原區無植群覆蓋，所以土壤含水率及有機質量皆較低，且土壤容重較大，所以此環境下土壤動物數量皆少於另外兩樣區。

#### (VIII) 塔塔加地區土壤動物群落食性分析與食物網初步建構

確定一個特定系統的生物群落食物網結構應具備兩個基本條件，一是要明確該系統中生物組成成份；二是對這些成份類群的食性要有不同程度的瞭解。本研究經過一年週期，每月定點的取樣調查分析鑑定，基本掌握該地區三種植物相下土壤動物組成類群，對某些類群的食性通過實際觀察及文獻查閱有所認識，因此擬初步構建該地區土壤動物食物網，雖然只是初步的，但可供後續研究的學者參考。

##### 1. 食物源：

- (1) 根系 據 Gunn *et al.* 1993 年報導，他們用根視系統 (rhizotron) 從土壤中直接觀察到根系是許多土壤動物的食物源。塔塔加地區鐵杉林、玉山箭竹林及草原的根系都非常發達，是土壤動物的主要食物來源。

源。

- (2) 枯死植物組織 積累在土壤中的植物枯枝落葉及其分解物。
- (3) 腐屍 動物死亡後遺留在土壤中屍體也是許多土壤動物的食源。
- (4) 糞便、岩屑 許多土壤動物以其他動物的糞便和岩屑為食。
- (5) 活動物 各種動物在食物網中作為食物網的一個環節。

##### 2. 食物類型劃分：

- (1) 植食性類群 已有標本發現同翅目蚜科的根蚜類、葉蟬科的小葉蟬類、飛蝨科的褐飛蝨類，但後兩類頻次低數量少，且無土生記錄，因此可視為偶然採到不列入群落組成成份。而根蚜則以根系為食物，且有一定出現頻次及密度（在土壤深度中每  $1\text{m}^2$  有 5000-7000 隻左右）因此可視為系統成員，有記載螞蟻可利用根蚜分泌的蜜露 (Gunn *et al.*, 1993)。
- (2) 植食兼腐食類群 叩頭蟲、金龜子科及擬步行蟲科等鞘翅目的幼蟲植食性兼腐食，但在森林中腐食為主 (Stehr, 1991)。
- (3) 捕食性類群 已知蜘蛛、鞘翅目的花蝽科及步行蟲科幼蟲、膜翅目的螞蟻科、雙翅目的鵲虻科、舞虻科幼蟲為主要捕食者 (Stehr, 1991)，蜘蛛以小型無脊椎動物特別是跳蟲、蟎類為食。步行蟲為典型捕食者，以小型節肢動物及其他軟體動物如蝸牛等為食。螞蟻以捕食其他小型昆蟲、節肢動物，有時也能捕食蚯蚓、鵲虻幼蟲及有捕食蚯蚓、線蚓的紀錄 (Gunn *et al.*, 1993)。
- (4) 雜食性及腐食性類群 除上述類群外，其餘種類均屬於雜食及腐食類群。蚯蚓、線蚓、線蟲類均以腐食為主，蚯蚓數量不多，但其生物量巨大，在物質循環及能量流動研究中不可忽視，線蚓在玉山箭竹林中為主要優勢種，佔該樣區總數的 50% 以上，在歐洲有分解杉針葉的紀錄



(Ponge, 1991; Didden *et al.*, 1998), 主要以腐爛植物及植物根系為食。結合類全部為腐食類群, 在本地有一定數量, 每 m<sup>2</sup> 可達 5000 隻左右。蟎類在本系統中數量不多, 且以前氣門和中氣門亞目為主, 而這些類群主要為腐食性, 有少量甲蟎出現不過還需繼續調查觀察其發展趨勢。跳蟲在鐵杉林中為主要優勢類群, 本類群種類很多, 但其總體食性類型雜食性及腐食性, 以腐爛植物、動物糞便等物質為食。由於在本系統中數量最豐富, 因而它構成食物鏈中的被捕者(獵物)。對整個系統中維持其他捕食性類群的種群的食物源有重要作用。搖蚊幼蟲出現頻次, 其數量中等, 但主要為腐食性 (Stehr, 1991)。

3. 綜合以上分析初步構建二類捕食網:

- (1) 以土壤動物取食基本食源範圍而定食物網 (圖 19)
- (2) 以土壤動物相互關係為基礎的食物網 (圖 20)

IV、結論

(I) 本研究在塔塔加地區自 1998 年 3 月至 1999 年 2 月, 經每月定期採樣調查, 共採集

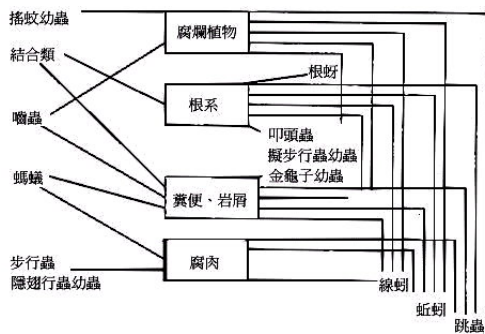


圖 19 根據土壤動物對基本食物源的取食範圍之食物網

Fig. 19 Food web structure based on the food resources of soil animal

456 樣本數, 包括 216 個乾烘土樣及 216 濕烘土樣、24 個手挑土樣。共紀錄大、中、小型土壤動物 2255 類群, 分屬 3 門 7 綱 19 目 33 科。

- (II) 塔塔加地區土壤動物的組成較單純化且一般在低海拔森林中常見優勢種如蟬蟎類及倍足綱(馬陸等)、擬蠍類等大型節肢動物較少見, 屬於高山針葉林土壤動物類型。
- (III) 相似性指數及變方分析結果顯示塔塔加三個樣區中以鐵杉林與玉山箭竹林中土壤動物群落組成最為相似, 其次為玉山箭竹林與高山芒, 而鐵杉林與高山芒相似性最低; 但中小型土壤動物在這三個樣區間差異不顯著。
- (IV) 各林相中土壤動物數量及類群數以鐵杉林最多, 其次為箭竹林及草原。優勢類群上鐵杉林為跳蟲類、箭竹林為線蚓類, 高山芒無明顯之優勢類群。
- (V) 塔塔加地區三個樣區森林土壤動物類群數在時間序列上的變化, 在這一年中個體數的變化明顯, 另外常見優勢類群在不同月份變化常影響該群落整體變化及類群數。
- (VI) 就土壤動物個體數而言, 土壤動物之垂直分佈三個樣區的在土壤 0-5 cm 層的數量遠大於 5-10 cm 層及 10-15 cm 層。本研究中 5-10 cm 層及 10-15 cm 層之間無顯著差異。

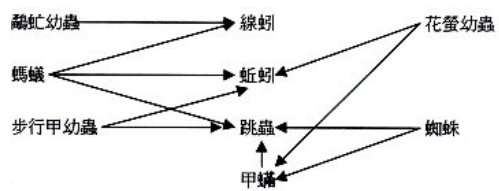


圖 20 根據土壤動物相互關係為基礎之食物網

Fig. 20 Food web based on the observed interaction of the soil animal

- (VII) 土壤動物群落多樣性 (Diversity) 指數以高山芒為最高，其次為鐵杉林、玉山箭竹。
- (VIII) 各林相中鐵杉林土壤動物數量變化與氣溫最小值呈相關性；玉山箭竹內土壤動物數量變化與氣溫中最大值、月均值及最低值呈顯著相關性；與相對濕度最低值及土壤表層溫度最高值也相關。
- (IX) 本研究土壤動物類群數及總個體數與土壤理化性質間之相關性皆不顯著。但鐵杉林及玉山箭竹的優勢類群與土壤含水率、有機質、鉀、鈣、鎂間呈顯著相關；草原區土壤含水率及有機質量皆較低，且土壤容重較大，所以此環境下土壤動物數量皆少於另外兩樣區。
- (X) 本研究初步構建該地區土壤動物食物網，包括以土壤動物取食基本食源範圍而定食物網及以土壤動物相互關係為基礎的食物網，雖然只是初步，但希冀可供後續學者研究參考用。

## V、致謝

本文調查所獲得土壤動物類群由中國科學院上海昆蟲所羅志義教授鑑定，其中一部份鑑定至綱，一部份鑑定至目或科為單位。數量統計上以綱或目為基本單位。

## VI、引用文獻

- 丁岩欽 (1994) 昆蟲數學生態學。科學出版社。北京市。654 頁。
- 王宗英、路有成、潘志強、余益勝、蔣業科 (1996) 寧國縣馬尾松林土壤動物和松葉蜂生態學研究。林業科學 32(3) : 230-237。
- 王振中、張友梅、胡覺蓮 (1990) 長沙岳麓山森林生態系統中土壤動物群落結構的研究。湖南師範大學自然學報 13(9) : 808-817。
- 尹文英 編 (1992) 中國亞熱帶土壤動物。科學出版社。北京市。第 13~35 頁。

- 仲傳彥、殷秀琴、陳鵬 (1997) 涼水自然保護區土壤動物群結構特徵。東北林業大學學報 (哈爾濱) 25(3):80-85
- 李朝達、肖寧年、楊大榮、匡薄人 (1997) 西雙版納片段熱帶雨林土壤動物組成的比較。動物學研究 18(1) : 45-49。
- 江博倫 (1998) 塔塔加鞍部森林、草原土壤間的消長。台大碩士論文。70 頁。
- 忻介六 (1986) 土壤動物知識。科學出版社。北京市。第 26~39 頁。
- 呂理昌 (1990) 玉山國家公園東埔玉山區植物開花週期之研究—塔塔加—玉山主峰。內政部營建署玉山國家公園管理處。台北市。88 頁。
- 吳化前 (1997) 天童常綠闊葉林不同演替階段中土壤動物群落學。上海華東師範大學博士論文。118 頁。
- 孫儒泳 (1992) 動物生態學原理。北京師範大學出版社。北京。第 100~102 頁。
- 郭城孟 (1988) 玉山國家公園東埔玉山維管束植物細部調查(二)。內政部營建署。216 頁。
- 陳子浩 (1998) 溪頭地區七種林相中土壤動物之初步研究。台大碩士論文。63 頁。
- 殷秀琴、張桂榮 (1993) 森林凋落物與大型土壤動物相關關係的研究。生態學報 4(4) : 167-173。
- 張立宏 (1990) 微生物和蚯蚓的協同作用對土壤肥力影響的研究。生態學報 10(2) : 150-154。
- 張雪萍、仲傳彥、馬志傳 (1996) 闊葉樹落葉分解過程與土壤動物的作用。林業科技 (黑龍江) 21(3) : 1-4。
- 張培玉、袁興中、劉紅 (1997) 泰山油松土壤動物垂直分佈調查。資源開發與市場 (四川) 13(2) : 90-93。
- 張寶貴 (1997) 蚯蚓與微生物的相互作用。生態學報 17(5) : 557-560。
- 傅必謙、高武 (1997) 白塔山楊樺木林土壤動物群落及其季節動態。動物學雜誌 (北

- 京) 32(2) : 10-15。
- 鄭師章、吳千紅、王海波、桃芸 (1994) 普通生態學—原理、方法及應用。復旦大學 pp.107-109。
- 錢復生、王宗英 (1995) 水東棗園土壤動物與土壤環境的關係。應用生態學報 6(1):41-50。
- 楊效東、余宇平、陶滔、朱啟中、扈克明 (1998) 思余茶園土壤節之動物群落與生境關係。雲南地理環境研究 10(1) : 26-33。
- 廖崇惠、陳茂乾 (1990) 熱帶人工林土壤動物群落的次生演替和發展過程探討。應用生態學報 1(1) : 53-59。
- Debauche, H. R. (1962) The structure analysis of animals communities of the soil In: Murphy, P. W. (ed) Progress in soil Zoology 10-25.
- Didden, W. A. M. and R. de Fluiter (1998) Dynamics and stratification of Enchytraeidae in the Organic layer of a Scots pine forest. Biol. Fertil. Soils 26: 305-312.
- Elzinga, R. J. (1997) Fundamentals of Entomology. Department of Entomology. Kansas State University. Kansas. 456p.
- Gunn, A., J. M. Cherrett (1993) The exploitation of food resources by soil meso- and macro invertebrates. Pedobiologia 37: 303-320.
- Hagver, S. (1987) What is the importance of soil acidity for the soil fauna? Fauna(oslo) 40(20): 64-72.
- Holt, J. A. (1986) Some biological and change in a north queensland soil following replacement of rainforest with *Araucaria Cunninghamii* (Coniferae: Araucariaceae) Journal of Applied Ecology 23: 227-237.
- Karsten, G. R. and H. L. Drack (1995) Comparative assessment of the aerobic and anaerobic and anaerobic microflora of earthworm guts and forest soils. Appl. Environ. Microbiol. 16: 1039-1044.
- Killham, K. (1994) Soil ecology, Cambridge University, New York, pp. 25-27.
- Ponge, J. F. (1991) Food resources and diets of soil animals in a small area of Scots pines litter. Geoderma 49: 33-62.
- Price, P. W. (北京大學生物系昆蟲學教研室譯) (1975) 昆蟲生態學。人民教育出版社。514p.
- Stehr, F. W. (1991) Immature Insect. Vol. 2 Ohio State University Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Pub. Co pp. 23-28.
- Swift, M. J., O. W. Heal and J. M. Anderson (1979) Decomposition in Terrestrial, Ecosystems Univ. of California Press, Berkeley, pp.15-39.
- Thomas, R. H. and S. F. Jr. Maclean (1988) Community structure in soil Acari along latitudinal transect of Tundra sites in Northern Alaska. Pedobiologia 31: 113-138.
- Hunt, H. W. (1981) Assimilation model for decomposition in grassland. In "Ecology Studies 26: Grassland Simulation Model" (Georges S. Innis ed.) Springer Verlag New York Inc. 155-182.
- Wood, M. (1989) Soil Biology, Published in the USA by Chapman and Hall, New York pp. 10-20.

