

不同利用方式土地秋季大型土壤动物群落结构*

葛宝明, 孔军苗, 程宏毅, 郑祥, 鲍毅新*

(浙江师范大学生态研究所, 浙江金华 321004)

摘要: 为了解不同利用方式土地的大型土壤动物群落结构, 于2004年10—11月对浙江省金华市市区北部7种土地, 即农田(P)、菜园(K)、果园(O)、荒地(W)、庭院(Y)、草皮绿地(L)和建筑工地(B)进行垂直(上、中、下3层)取样, 共获得大型土壤动物1161只, 隶属3门8纲20目。分析表明: 大型土壤动物群落优势类群为近孔寡毛目、膜翅目, 常见类群为蜘蛛目、双尾目、正蚓目、等足目、柄眼目、鞘翅目、鳞翅目和双翅目, 其他均为稀有类群。大型土壤动物群落的群落复杂性指数(C)为 $O > K > W > B > L > P > Y$, Shannon-Weiner指数(H)为 $L > B > W > K > O > P > Y$, C比H更好体现了群落的复杂性与多样性。垂直分布显示大型土壤动物具明显的表聚现象。根据大型土壤动物群落聚类 and 排序的结果, 可将7种土地分为3组, 即强干扰无植被组、草本种植组和果园组, 显示了大型土壤动物对不同土地利用方式的响应情况。

关键词: 大型土壤动物; 群落; 多样性; 土地利用方式

中图分类号: Q958.15; Q958.1 文献标识码: A 文章编号: 0254-5853(2005)03-0272-07

Community Structure of Soil Macrofauna in Different Using Types of Soils in Autumn

GE Bao-ming, KONG Jun-miao, CHENG Hong-yi, ZHENG Xiang, BAO Yi-xin*

(Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: From October to November 2004 by using a sampling method, we investigated the soil macrofauna communities at 7 using types of soils, paddy field (P), kaleyard (K), orchard (O), wilderness (W), yard (Y), lawn (L) and building site (B) in Jinhua, Zhejiang. There were 1161 soil macrofauna individuals belonged to 20 orders, 8 classes, and 3 phylums in total samplings. The dominant orders were Nematoda and Hymenoptera, the frequent orders were Araneae, Diplura, Lumbricida, Isopoda, Stylogmatophora, Coleoptera, Lepidoptera and Diptera, and then the remnant orders were rare orders. the complexity index of community (C) tended $O > K > W > B > L > P > Y$, and Shannon-Weiner index (H) $L > B > W > K > O > P > Y$. C was manifested better than H in representing the complexity and the diversity of communities. The vertical distribution of soil macrofauna had obvious surface assembly. Using the Hierarchical Cluster and the Non-metric Multi-dimensional Scaling method, the 7 communities were classed to 3 groups: highly disturbing and non-ber-strow group, herbage growth group and orchard group, which shows the response of soil macrofauna communities to the different soil using types.

Key words: Soil macrofauna; Community; Diversity; Soil using type

土壤动物在分解生物残体、改变土壤理化性质、促进土壤物质循环和能量转化过程中起着重要作用, 同时土壤生态因子也决定了土壤动物的生存与活动。近年来国内外学者已从生理学、生态学、

分子生物学等方面 (Pandhurst & Doube, 1997; Torstensson et al, 1998; Yin, 2000) 研究了土壤动物与土壤生境的密切关系, 内容涉及土壤动物与微生物相互作用对土壤理化性质的作用, 生境状况、

* 收稿日期: 2004-12-01; 接受日期: 2005-03-01

基金项目: 浙江省重点扶持学科经费资助; 浙江师范大学研究生学术创新基金; 浙江师范大学学生课外学术活动基金

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: sky90@zjnu.cn, baoyix@21cn.com

第一作者简介: 葛宝明, 男, (1981-), 安徽绩溪人, 硕士研究生, 主要研究方向为动物生态学。E-mail: ahgebaoming@163.com, gebaoming@etang.com

环境压力、食物资源等对土壤动物耐受力的影响, 土壤动物作为指示生物在土壤质量评价体系中的重要作用等, 使土壤动物的研究提升到了新的高度。随着生态科学研究的日趋深入, 土壤动物在生态系统中的作用也愈显重要。

对不同环境下土壤动物群落结构多样性的研究主要集中在农业耕作方式以及森林植被不同等方面 (Qian & Wang, 1995; Tang et al, 2002; Fu et al, 2002; Yang & Zhang, 1997), 其中关于不同的土地利用方式下土壤动物群落结构比较研究则鲜见报道 (Yang & Gao, 2002)。本文就不同土地利用方式下的大型土壤动物群落结构特征、垂直分布进行了研究, 并对不同土地利用方式下的大型土壤动物群落结构及其生物多样性作了比较。

1 方 法

1.1 研究地点

研究地点在金华市区北部的浙江师范大学以及高村区域内。金华市位于浙江省中部, 属中亚热带季风气候, 四季分明, 气温适中, 平均年降雨量为 1 500~1 800 mm, 年平均气温 15.1℃, 7 月均温 26.4℃, 1 月均温 3.6℃, 极端最高温 41.3℃, 极端最低温 -9.5℃。

分别选取农田 (paddy field, P)、菜园 (kaleyard, K)、果园 (orchard, O)、荒地 (wilderness, W)、庭院 (yard, Y)、草皮绿地 (lawn, L) 和建筑工地 (building site, B) 7 种利用方式不同的土地。其中, 农田为稻田, 土壤含水量为 30%—40%, 取样时水稻已收割完毕, 没有积水; 菜园种植的蔬菜为白菜、青菜和一些豆科植物等, 还有一些杂草如: 狗尾草 (*Setaria viridis*)、马齿苋 (*Portulaca oleracea*) 等, 土壤含水量 20%—30%; 果园内种植桔树, 土壤含水量 10%—15%, 伴生杂草主要有狗尾草 (*Setaria viridis*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、蔊草 (*Humulus scandens*) 等; 荒地为路边和庭院外围有荒草的地带, 主要植物为狗尾草 (*Setaria viridis*)、牛筋草 (*Eleusine indica*)、小飞蓬 (*Conyza canadensis*) 等, 土壤含水量 15%—25%; 庭院为农户的土质院子, 土壤含水量 10%—15%; 草皮绿地为浙江师范大学种植 2 年以上的绿地, 草皮种类为细叶结缕草 (*Zoysia tenuifolia*), 土壤含水量 10%—20%; 建筑工地为浙江师范大学内的建筑场地, 土壤含水量 5%—15%, 庭院和建筑工

地均无植被覆盖。

1.2 取样和鉴定

于 2004 年 10—11 月, 在每种研究样地中选取 4 个样方, 每个样方面积为 50 cm × 50 cm, 分 3 个土壤层 (: 0—5 cm; : 5—10 cm; : 10—15 cm) 进行取样。共取 28 个样方, 采集土样 84 个, 土样容积 1.05 × 10⁶ cm³。手拣法获得大型土壤动物, 用 70% 酒精杀死固定, 带回室内分类鉴定。本文大型土壤动物的分类鉴定采用 Junich (1973) 和 Yin (1998) 的大类别 (纲、目) 分类方法。

1.3 数据分析

大型土壤动物的多度按以下标准划分: 个体数量占总捕获量 10.00% 以上者为优势类群, 占 1.00%—10.00% 者为常见类群, 不足 1.00% 者为稀有类群。

采用下述公式 (Pielou, 1975; Ma & Liu, 1994; Ma, 1994) 计算动物群落结构指标: Shannon-Weiner 多样性指数 $H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$; Pielou 均匀性指数 $J = H / \ln s$; Simpson 优势度指数 $D = \frac{1}{\sum_{i=1}^s P_i^2}$; 群落欧氏距离 (Euclidean distance) $ED = \sqrt{\sum_{i=1}^s (X_{ij} - X_{ik})^2}$ 。 P_i 指 i 类群在群落中的个体比例即 $P_i = n_i / N$, n_i 为该样地内第 i 个类群的个体数量, N 为样地内所有类群的个体数量, s 为样地内类群的数目, X_{ij} 为 i 类群在群落 j 中的密度的 4 次方根。

另采用下述公式计算群落 j 的复杂性指数 C_j (Fu et al, 2002):

$$C_j = H_j \times r_j = H_{jmax} \times e_j \times r_j$$

其中 H_j 、 H_{jmax} 和 e_j 分别为群落 j 的 Shannon-Weiner 多样性指数、最大多样性和均匀度; r_j 为校正系数, 代表群落间相对丰度对群落 j 复杂性的影响, 由下式求得: $r_j = A_j / \bar{A}$, $A_j = (1/S_j) \sum_{i=1}^s (N_{ij}/N_i)$ 。其中, N_{ij} 为群落 j 中类群 i 的个体数, N_i 为所有群落中类群 i 的总个体数 ($N_i = \sum_{j=1}^s N_{ij}$), S_j 为群落 j 的类群数, S 为各群落的总类群数, A_j 为群落 j 中各类群群落间相对丰度 (N_{ij}/N_i) 的平均值 (即群落 j 的个体丰盛度), \bar{A}

为各群落的平均个体丰盛度 $\bar{A} = (1/n) \sum_{j=1}^n A_j$ 。

2 结果与分析

2.1 群落组成及数量

在 7 种不同利用方式的土地中共获得各类大型土壤动物 1 161 只, 隶属 3 门 8 纲 20 目 (表 1)。

从表 2 可见, 优势类群为近孔寡毛目、膜翅目, 这 2 个类群就达到了全部捕获量的 63.56%; 再加上 8 个常见类群蜘蛛目、双尾目、正蚓目、等

表 1 本研究获得的大型土壤动物组成
Tab. 1 Composition of soil macrofaunas communities in this study

门 Phyla	纲 Class	目 Order
软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	柄眼目 Stylommatophora
环节动物门 Annelida	寡毛纲 Oligochaeta	近孔寡毛目 Oligochaeta
节肢动物门 Arthropoda	蛛形纲 Arachnoidea	蜘蛛目 Araneae
	唇足纲 Chilopoda	石蜈蚣目 Lithobiomorpha
		地蜈蚣目 Geophilomorpha
	综合纲 Symphyla	蜈蚣目 Scolopendromorpha
	甲壳纲 Crustacea	综合目 Symphyla
	倍足纲 Diplopoda	等足目 Isopoda
	昆虫纲 Insecta	圆马陆目 Sphaerotherida
		鞘翅目 Coleoptera
		膜翅目 Hymenoptera
		同翅目 Homoptera
		直翅目 Orthoptera
		蜚蠊目 Blattaria
		半翅目 Hemiptera
		双翅目 Diptera
		双尾目 Diplura
		鳞翅目 Lepidoptera
		虱目 Anoplura

表 2 7 种土地中大型土壤动物的群落组成和密度
Tab. 2 Community's composition and density of soil macrofauna at 7 types of soils

类群 Order	土地类型 Soil type							总计 Total (ind./m ²)	频度 Frequency (%)	多度 Abundance
	P	K	O	W	Y	L	B			
近孔寡毛目	73	144	145	56	40	12	10	480	41.34	+++
膜翅目	14	48	62	55	42	14	23	258	22.22	+++
蜘蛛目	8	14	26	22	9	7	8	94	8.10	++
双尾目	6	24	36	12	2	1	0	81	6.98	++
正蚓目	30	24	6	2	2	4	0	68	5.86	++
等足目	3	8	5	3	7	12	8	46	3.96	++
柄眼目	4	15	6	3	0	2	0	30	2.58	++
鞘翅目	0	3	7	3	0	4	3	20	1.72	++
鳞翅目	4	4	7	5	0	0	0	20	1.72	++
双翅目	4	6	0	1	0	2	0	13	1.12	++
蜈蚣目	0	4	0	2	1	0	4	11	0.95	+
同翅目	0	1	2	1	0	3	0	7	0.60	+
半翅目	0	2	0	2	0	1	0	5	0.43	+
石蜈蚣目	0	3	1	0	0	0	1	5	0.43	+
圆马陆目	0	0	0	2	1	0	2	5	0.43	+
蜚蠊目	0	0	1	1	1	0	2	5	0.43	+
直翅目	1	0	2	1	0	0	0	4	0.35	+
地蜈蚣目	0	0	1	0	1	0	2	4	0.35	+
综合目	0	0	3	0	0	0	0	3	0.26	+
虱目	0	0	0	2	0	0	0	2	0.17	+
总计 Total	147 ^{bc}	300 ^d	310 ^d	173 ^c	106 ^{ab}	62 ^a	63 ^a	1 161	100	

P: 农田 (Paddy field); K: 菜园 (Kaleyard); O: 果园 (Orchard); W: 荒地 (Wilderness); Y: 庭院 (Yard); L: 草皮绿地 (Lawn); B: 建筑工地 (Building site)。

+++ : 优势类群 (Dominant Order); ++ : 常见类群 (Frequent Order); + : 稀有类群 (Rare Order)。

各土地类型下的数据为密度的平均值 (个体数/m²) [The means of the data of soil types are the density (ind./m²)]。

上标不同的平均值间差异显著 (SNK 法多重比较, = 0.05) [The means with different superscripts are significantly different (SNK test, = 0.05)]。

足目、柄眼目、鞘翅目、鳞翅目和双翅目，占全部捕获量的 94.75 %。它们构成了调查区域大型土壤动物的主体，对大型土壤动物群落特征起着决定性作用。其余动物均属稀有类群（表 2），虽然它们仅拥有很少的个体，但其中个体较大的类群，如地蜈蚣目、石蜈蚣目、圆马陆目等却是碎裂植物残体的主力，在物质循环过程中也发挥着重要作用。

不同利用方式土地中的大型土壤动物密度存在极显著差异（One-way ANOVA: $F_{6,21} = 41.1$, $P < 0.01$ ），其中 L、B、Y、Y、P、P、W、K、O 四组不同利用方式土地中的大型土壤动物组内差异不显著，而各组间差异显著（表 2）。

2.2 动物多样性

图 1 给出了 7 种不同利用方式土地中的大型土壤动物的群落结构指数 H' 、 J' 、 D' 和 C' 值，其中 H' 为 $L > B > W > K > O > P > Y$ ， C' 为 $O > K > W > B > L > P > Y$ 。

2.3 动物的垂直分布

2 个优势类群和 8 个常见类群在不同土地利用

方式下的类群数和个体数垂直结构分布状况如表 3：类群数为 层 层 > 层，个体数为 层 > 层 > 层。12 个优势及常见类群中，层个体数占总数的 56.82 %，层占 32.82 %，层占 10.36 %。

7 种不同利用方式土地的、层与层大型土壤动物类群数之间有极显著差异（成对单尾 t 检验： $t = 8.118$, $t = 7.778$; $df = 6$, $P < 0.01$ ），层与层之间有显著差异（ $t = 3.055$; $df = 6$, $P < 0.05$ ）；个体数层与层之间有极显著差异（ $t = 4.473$; $df = 6$, $P < 0.01$ ），层与、层之间有显著差异（ $t = 2.492$, $t = 3.647$; $df = 6$, $P < 0.05$ ）。上述结果表明类群数和个体数都随土壤深度的增加而减少，其中除层与、层的类群数之间无显著相关外（ $r = 0.646$, $r = 0.647$; $n = 7$, $P > 0.05$ ），其余的成对比较均显著相关（类群数 $r = 0.819$ ，个体数 $r = 0.869$; $n = 7$, $P < 0.05$ ），且、层与层的个体数之间极显著相关（ $r = 0.963$, $r = 0.908$; $n = 7$, $P < 0.01$ ）。

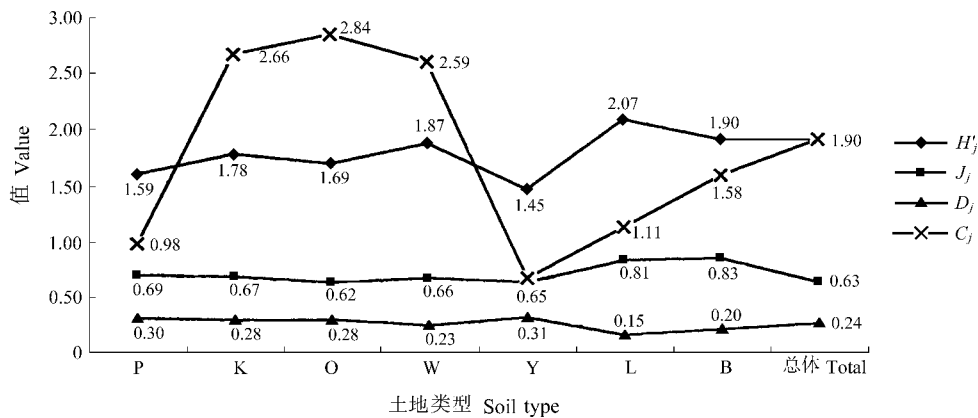


图 1 7 种土地中大型土壤动物的多样性

Fig. 1 Bio-diversities of soil macrofauna at 7 types of soils
土地类型缩写同表 2 (Soil types' abbreviation see Tab. 2)。

表 3 7 种土地中优势和常见大型土壤动物类群的垂直分布

Tab. 3 Vertical distribution of dominant and frequent orders of soil macrofauna in three soil layers of 7 types of soils

土层 Soil layer	土地类型 Soil type															
	P		K		O		W		Y		L		B		Total	
	NO	NI	NO	NI	NO	NI	NO	NI	NO	NI	NO	NI	NO	NI	NO	NI
(0 - 5 cm)	9	93	10	178	9	173	10	77	5	47	9	30	5	27	10	625
(5 - 10 cm)	5	30	8	79	9	98	7	69	5	41	5	24	4	20	10	361
(10 - 15 cm)	3	13	5	33	5	29	2	16	2	14	3	4	1	5	5	114

NO: 类群数 (Number of Orders); NI: 个体数 (Number of individuals)。
土地类型缩写同表 2 (Soil types' abbreviation see Tab. 2)。

2.4 群落聚类

对 7 种不同利用方式土地中大型土壤动物的密度，用欧氏距离进行组间平均聚类法的系统聚类分析 (Hierarchical Cluster)，以及非量度多维标度 (Non-metric Multi-dimensional Scaling, MDS) 的二维分析，结果分别见图 2 和图 3 (S 值为 0.018 14, $S < 0.05$ 说明图形吻合极好)。

通过聚类 and 排序发现，7 种不同土地利用方式下的大型土壤动物群落可以分为 3 类，即强干扰无植被型、草本植物种植型、果园型，特别是在图 3 中可以看出横向的端点分别是庭院及菜园大型土壤动物群落，纵向的端点是果园和草皮绿地。聚类 (图 2) 和排序图 (图 3) 从不同侧面反应了大型土壤动物群落对土壤利用方式的响应。

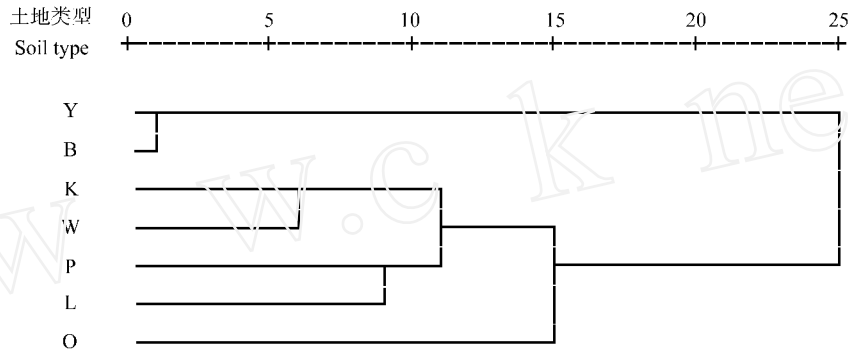


图 2 7 种土地中大型土壤动物群落系统聚类图

Fig. 2 Hierarchical cluster dendrogram of soil macrofauna communities at 7 types of soils (土地类型缩写同表 2 (Soil types' abbreviation see Tab. 2)).

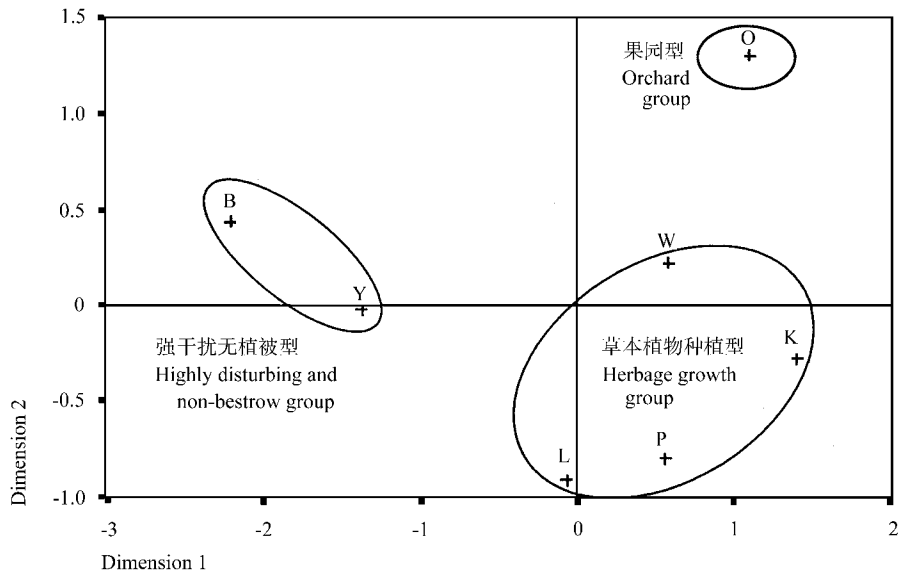


图 3 7 种土地中大型土壤动物群落的二维非度量标度排序图 (Stress = 0.018 14)

Fig. 3 The 2-dimensional MDS ordinal configuration of soil macrofauna communities at 7 types of soils (Stress = 0.018 14)

土地类型缩写同表 2 (Soil types' abbreviation see Tab. 2)。

3 讨论

3.1 群落组成

本研究结果表明，在不同土地利用方式下，大型土壤动物的群落组成有所不同，其类群数顺序为

B (10) = Y (10) = P (10) < L (11) < K (14) < O (15) < W (17); 数量构成也有差异，个体数顺序为 L (62) < B (63) < Y (106) < P (147) < W (173) < K (300) < O (310)。群落的类群组成和数量结构和土壤利用方式后的生境情况密切

相关，影响大型土壤动物群落结构的可能因素很多，包括气候、土壤理化性质（有机物含量/疏松程度/颗粒大小/污染程度/含水量等）、植被情况、人为干扰等（Liu & Yuan, 1998, 1999）。

本研究发现大型土壤动物对土地利用方式具有响应：在强干扰无植被条件下，大型土壤动物类群数和个体数均比其他条件下的少；在有植被的情况下，单一人工控制的草皮绿地以及稻田中大型土壤动物的类群数和个体数也较少，而荒草地和菜园的类群数和个体数均有增加，不过荒地个体数少于菜园，其原因可能是荒草地的土壤有机质含量、含水量不如菜园土壤优越，且菜园中还有腐败的菜叶等可以作为大型土壤动物的食物；果园下的大型土壤动物群落结构与其他几类不同，可能原因是人为干扰少，地表植被丰富造成的。

3.2 多样性

在表征群落多样性的指数中，Shannon-Weiner 多样性指数（ H ）运用最广，一些学者也将其用于土壤动物群落多样性分析比较。然而，由于土壤动物群落在分类时的分类单位常常较大，不同类群生态功能各异，彼此之间的关系复杂多样，因此不同类群的个体数量往往存在巨大的差异，使群落多样性与均匀度显著相关而与丰富度关系不密切，因此那些组成简单、各类群数量较低群落的值可能会比组成丰富、各类群数量较高群落的更高。

Fu et al (2002) 提出的利用 r_j 计算 C_j 值的方法可能是校正上述问题的比较好的方法。在本研究中，7 种不同利用方式土地的 r_j 值分别为 P (0.62)，K (1.50)，O (1.68)，W (1.39)，Y (0.45)，L (0.54)，B (0.83)，其相应的 C_j 值排序为 O (2.84) > K (2.66) > W (2.59) > B (1.58) > L (1.11) > P (0.98) > Y (0.65)。通过比较可以看出， C_j 比 H 更加合理。如草皮绿地和建筑工地的大型土壤动物的类群数较少，各类群的个体数也较少，可是其 H 值在 7 种土地中最高，分别为 2.07 和 1.90，通过 r_j 修正后的 C_j 值分别降为 1.11 和 1.58；而菜园、果园和荒草地 C_j 值则有较明显的提高（图 1），从而修正了类群个体数量给多样性带来的影响，得到比较合理的结果。

在进行复杂的土壤动物群落多样性的比较时， C_j 能同时体现群落的类群数、各类群在群落中的相对多度以及在群落间的相对丰度 3 个特征。而以群落中各类群群落间相对丰度的平均值作为最基本

的校正因子，可消除类群数的影响，使最终的校正 r_j 系数具有独立于 H 的特征；并且以群落的个体丰盛度与其平均值的比值作为最终的校正系数 r_j ，一方面有利于直接反映不同群落之间的相对数量关系，另一方面也使 r_j 的取值范围大致与 H_{jmax} 和 e 相似，使 3 个对立特征对于群落相似性的作用大致相当。经过校正，组成丰富、各类群数量比较接近且相对丰盛的群落将具有较高的 C_j 值。

3.3 垂直分布

由于土壤各层内有机质和营养元素的含量、理化特性和水热条件有差异，从而导致土壤动物在各层的差异（Fu et al, 2002）。本文的垂直分布研究显示，大型土壤动物在 7 种不同利用方式土地的 0—5 cm、5—10 cm、10—15 cm 3 个土壤层具表聚现象；而 Ke et al (2003) 对中型土壤动物的研究也发现类似现象。

本研究中土壤动物明显的表聚现象，同大多数优势类群和常见类群有明显的表聚性有关（Yang & Zhang, 1997；Liu & Yuan, 1999）。不同类群的丰富度随土层加深而递减的程度不同，且同一类群在不同的土地利用方式下随土层加深而递减的程度也不同。膜翅目在 5—10 cm 土壤层的个体数最高，而其他优势类群和常见类群主要集中在 0—5 cm 层，其中近孔寡毛目、鞘翅目、蜘蛛目表聚现象最明显。

3.4 群落聚类

仅凭数量多重比较的结果不能合理地解释不同土地利用情况下的大型土壤动物群落的差异（表 2），于是我们引入了多元统计手段。

我们在对围垦滩涂不同生境冬季大型底栖动物群落结构进行研究时，采用了聚类和排序分析的方法，而且通过排序图推测的影响群落的环境因素，对总体研究结果有较好的解释（Ge et al, 2005）。在本研究中，我们也采用了相同的方法。结果聚类分析（图 2）将大型土壤动物群落分成了 3 组：无植被强干扰组，草本植被种植组，果园组。而在排序图（图 3）中又很直观地将这种分组体现了出来，并在横轴上，无植被强干扰组明显在左侧，其他有植被类型均在右侧，因此第一维的主要影响因素可能是植被条件；在纵轴上，上方的大型土壤动物群落所处环境的含水量要比下方环境的小，第二维的主要影响因素可能是土壤湿度。当然，这是从排序图上结合实际的推测，还有待于后续研究的证

实。

通过研究可以看出,在不同的土地利用条件下,大型土壤动物群落的结构以及多样性均有不同的表现,这也反应了大型土壤动物对土地利用方式的响应。由此可见,将土壤动物研究与土地利用评

价相结合,作为合理利用土地的一项参考指标,是很有意义的。结合利用土地的理化特征,可以进一步开展深入的研究,也可以进一步进行季节变化的动态研究。

参考文献:

- Ge BM, Bao YX, Zheng X. 2005. Structure of macrobenthic communities in different habitats at the diked tidal flat in winter [J]. *Zool. Res.*, **26** (1): 47 - 54. [葛宝明, 鲍毅新, 郑祥. 2005. 围垦滩涂不同生境冬季大型底栖动物群落结构. *动物学研究*, **26** (1): 47 - 54.]
- Fu BQ, Chen W, Dong XH, Xing ZM, Gao W. 2002. The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan mountain in Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, **22** (2): 215 - 223. [傅必谦, 陈卫, 董晓晖, 邢忠民, 高武. 2002. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. *生态学报*, **22** (2): 215 - 223.]
- Junich A. 1973. Soil Zoology [M]. Tokyo: Beilonwan. [青木淳一. 1973. 土壤动物学. 东京: 北隆馆.]
- Ke X, Xu JM, Xie RD, Weng CL, Yang YM. 2003. Community structure and seasonal change of soil mesofauna in Quzhou Region, Zhejiang [J]. *Zool. Res.*, **24** (2): 86 - 93. [柯欣, 徐建明, 谢荣栋, 翁朝联, 杨毅明. 2003. 浙江衢州中型土壤动物群落结构及其季节性变化. *动物学研究*, **24** (2): 86 - 93.]
- Liu H, Yuan XZ. 1998. A study on community structure of soil animal in Taishan Mountain [J]. *Mountain Research*, **16** (2): 114 - 119. [刘红, 袁兴中. 1998. 泰山土壤动物群落结构特征. *山地研究*, **16** (2): 114 - 119.]
- Liu H, Yuan XZ. 1999. Ecological distribution of the soil animals in the Taishan Mountain [J]. *Chinese Journal of Ecology*, **18** (2): 13 - 16. [刘红, 袁兴中. 1999. 泰山土壤动物群的生态分布. *生态学杂志*, **18** (2): 13 - 16.]
- Ma KP. 1994. Measurement of biodiversity [A]. In: Qian YQ, Ma KP. Principle and Methods of Biodiversity Studies [M]. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press. 141 - 165. [马克平. 1994. 生物多样性的测度方法. 见: 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社. 141 - 165.]
- Ma KP, Liu YM. 1994. Methods of measure the bio-communities biodiversity: diversity () [J]. *Chinese Biodiversity*, **2** (4): 231 - 239. [马克平, 刘玉明. 1994. 生物群落多样性的测度方法: 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, **2** (4): 231 - 239.]
- Pandhurst C, Doube BN. 1997. Biological Indicators of Soil Health [M]. London: CAB International.
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity [M]. New York: John Wiley. 16 - 51.
- Qian FS, Wang ZY. 1995. Relationship between soil fauna and soil environment in Jujube Garden of Shuidong, Anhui Province [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **6** (1): 44 - 50. [钱复生, 王宗英. 1995. 水东枣园土壤动物与土壤环境的关系. *应用生态学报*, **6** (1): 44 - 50.]
- Tang JY, Zhao R, Wang ZY. 2002. A research of soil community and its diversity in mulberry tree orchard in Laibang Town Yuexi County [J]. *Chinese Journal of Ecology*, **21** (2): 9 - 13. [汤君友, 赵锐, 王宗英. 2002. 岳西县来榜镇桑园土壤动物群落及其多样性研究. *生态学杂志*, **21** (2): 9 - 13.]
- Torstensson L, Pell M, Stenberg B. 1998. Need of a strategy for evaluation of arable soil quality [J]. *AMBIO*, **27** (1): 4 - 8.
- Yang DQ, Gao J. 2002. Research and application of soil animals in urban ecosystem [J]. *Chinese Journal of Ecology*, **21** (5): 54 - 57. [杨冬青, 高峻. 2002. 城市生态系统中土壤动物研究及应用进展. *生态学杂志*, **21** (5): 54 - 57.]
- Yang XD, Zhang JH. 1997. Community structure of soil animals in man-made plant communities in dry seasons in Xishuangbanna [J]. *Zool. Res.*, **18** (4): 403 - 409. [杨效东, 张建候. 1997. 西双版纳人工群落林土壤动物的旱季群落结构. *动物学研究*, **18** (4): 403 - 409.]
- Yin WY. 1998. Pictorial Keys to Soil Animals of China [M]. Beijing: Science Press. [尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.]
- Yin WY. 2000. Soil Animal of China [M]. Beijing: Science Press. [尹文英. 2000. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社.]