

# 浙江金华不同城市绿地大型土壤动物群落结构与多样性

葛宝明 程宏毅 郑 祥 孔军苗 鲍毅新\*

(浙江师范大学生态研究所 金华 321004)

**摘要:** 2004年10—11月对金华市市区8种城市绿地生境中的大型土壤动物群落进行了调查, 共获得大型土壤动物1231只, 隶属3门8纲20目。其中优势类群为近孔寡毛目、膜翅目、双尾目和蜘蛛目, 常见类群为正蚓目、等足目、柄眼目、鞘翅目、鳞翅目、双翅目和同翅目, 其余类群为稀有类群。不同城市绿地生境中的土壤动物的类群组成以及个体数不同。在土壤动物研究中, 群落复杂性指数( $C$ )比Shannon-Wiener指数( $H'$ )更能体现群落的复杂性与多样性, 且能修正不同类群个体数对多样性的影响。大型土壤动物显示了明显的表聚现象, 垂直分布有明显差异, 类群数和个体数随深度增加而减少。群落聚类以及排序的结果显示, 8种城市绿地生境中的大型土壤动物群落可以分为6大类: 草坪类、草地类、新植草坪类、无草本层的人工林类、有草本层的人工林类和灌木林类。

**关键词:** 大型土壤动物, 群落复杂性指数, 系统聚类, 非度量多维标度排序

## Community structure and diversity of soil macrofauna from different urban greenbelts in Jinhua City, Zhejiang Province

Baoming Ge, Hongyi Cheng, Xiang Zheng, Junmiao Kong, Yixin Bao\*

*Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China*

**Abstract:** From October to November, 2004, we investigated eight soil macrofauna communities from urban greenbelts at Jinhua City, Zhejiang Province. We found a total of 1231 soil macrofauna individuals, belonging to 20 orders, 8 classes, and 3 phyla. The dominant orders were Plesiopora, Hymenoptera, Diplura, and Araneida, while the frequent orders were Lumbricida, Isopoda, Stylommatophora, Coleoptera, Lepidoptera, Diptera, and Homoptera, and others were rare orders. The compositions and the quantities of soil macrofauna communities differed in different habitats. We found that the complexity index of community ( $C$ ) was better than the Shannon-Wiener index ( $H'$ ) in indicating the complexity and diversity of the communities, and it could adjust for the influence of the number of individuals. The vertical distribution of soil macrofauna showed obvious surface assembly phenomenon. Using the hierarchical cluster and non-metric multi-dimensional scaling methods, the eight communities were classified into six groups: the turf group, grassland group, new turf group, man-made forest with herbage group, man-made forest without herbage group, and suburban shrubbery group. The hierarchical cluster and the non-metric multi-dimensional scaling ordination are suitable for analyzing biodiversity differences among soil fauna communities.

**Key words:** soil macrofauna, index of community complexity, hierarchical cluster, non-metric multi-dimensional scaling ordination

收稿日期: 2004-12-06; 接受日期: 2005-04-02

基金项目: 浙江省重点扶持学科经费、浙江师范大学课外学术活动基金

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: baoyix@21cn.com

关于土壤动物的研究已经有150年的历史,以往国内的研究对土壤动物在农业和森林生态系统中的状况和作用比较关注,包括不同生境土壤动物的种类分布和数量统计(刘红和袁兴中,1998,1999;傅必谦等,2002;廖崇惠等,2003);不同的耕作方式对土壤动物数量、栖息环境的影响(汤君友等,2002);土壤动物群落或种群特征对农业生态系统的影响(钱复生和王宗英,1995),不同演替等级的森林生态系统中土壤动物类群分布(杨效东和张建候,1997;王振中等,1998)等。国外也有研究者将土壤动物的研究范围拓展到了城市生态系统(McIntyre *et al.*, 2001),并将土壤动物作为土壤质量评价体系中的指示生物(Pankhurst *et al.*, 1997; Torstensson *et al.*, 1998)。但是,对于城市生态系统中的重要生态类型——城市绿地中的土壤动物群落研究却鲜有报道(杨冬青和高峻,2002)。

本文对不同城市绿地类型中的土壤动物群落组成、垂直分布状况、多样性以及群落聚类 and 排序等进行研究,以期在城市绿地大型土壤动物群落生态学研究方面取得一定进展。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地点概况

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。年均降雨量1500–1800 mm,年均气温15.1℃,7月均温26.4℃,1月均温3.6℃,极端高温41.3℃,极端低温–9.5℃。在金华市区选取以下几种城市绿地:

(1)新种植草坪(半年):种植细叶结缕草(*Zoysia tenuifolia*),为铺设的草坪,植被盖度100%。

(2)短期草坪(0.5–2年):种植细叶结缕草,为铺设的草坪,植被盖度100%。

(3)草坪(2–5年):种植细叶结缕草,为铺设的草坪,植被盖度100%。

(4)草地(2–5年):种植地毯草(*Axonopus comorensis*),为土地清理后播种而成,植被盖度100%。

(5)有草本层的人工林:主要木本植物种类为桂花(*Osmanthus fragrans*)、悬铃木(*Platanus orientalis*)、樟树(*Cinnamomum camphora*),雪松

(*Cedrus deodara*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)等,盖度为60%左右。草本主要为细叶沿阶草(*Ophiopogon japonicus*),盖度100%。

(6)无草本层的人工林:木本种类同第(5)种生境,但基本无草本。

(7)荒草地:金华市区北部浙江师范大学附近的未开发荒地,主要植被为狗尾草(*Setaria viridis*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)等,盖度90%左右。

(8)郊区灌木林:为浙江师范大学校内的灌木丛,主要灌木为夹竹桃(*Nerium indicum*)、月季(*Rosa chinensis*)、黄杨(*Buxus sinica*)、海桐(*Pittosporum tobira*)等,地表草本主要有细叶沿阶草、爵床(*Rostellularia procumbens*)等。

### 1.2 取样和鉴定

于2004年10–11月,选取绿地内部(离主要道路边缘5–10 m以上)的位置进行取样。每个研究样地选取4个样方,样方间隔为1 m,每个样方面积为50 cm×50 cm,分3个土壤层(I: 0–5 cm; II: 5–10 cm; III: 10–15 cm)进行土壤动物调查,手拣法取得大型土壤动物,用70%酒精杀死固定后带回室内鉴定。大型土壤动物的分类鉴定采用尹文英(尹文英,2000)的大类别(纲、目或科)分类方法。

### 1.3 数据分析

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。

土壤动物群落结构多样性指标的测定,采用公式如下(Pielou, 1975; 马克平和刘玉明, 1994; 马克平, 1994):

Shannon-Wiener多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Pielou均匀度指数:  $E = H'/\ln s$

Simpson优势度指数:  $c = \sum_{i=1}^s p_i^2$

群落欧氏距离(Euclidean distance):

$$ED = \sqrt{\sum_{i=1}^s (X_{ij} - X_{ik})^2}$$

其中 $p_i$ 指 $i$ 类群在群落中的个体比例,即 $p_i = n_i/N$ ,  $n_i$ 为样区内第 $i$ 个类群的个体数量,  $N$ 为样区内所有

类群的个体数量,  $s$  为样区内类群的数目,  $X_{ij}$  和  $X_{ik}$  分别为  $i$  类群在群落  $j$ 、 $k$  中的密度  $Y_{ij}$ 、 $Y_{ik}$  的 4 次方根。数据处理在 Microsoft Excel 以及 SPSS10.0 上进行: 利用群落欧氏距离进行系统聚类, 并在密度四次开方的基础上运用 SPSS10.0 进行非度量多维标度 (Non-metric Multi-Dimensional Scaling, MDS) 的二维分析。

当进行土壤动物群落多样性比较时, 可在  $H'$  指数的基础上进行一定改进, 使其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。傅必谦等 (2002) 提出一种新的计算土壤动物群落多样性的指数:

$$C = H' \times r = H'_{\max} \times E \times r$$

其中  $C$  为群落的复杂性指数 (complexity index of community),  $H'$ 、 $H'_{\max}$ 、 $E$  分别为群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、最大多样性指数及均匀度指数;  $r$  为校正系数, 代表群落间相对丰度对群落复杂性的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 群落组成及数量

在 8 个样地共设 32 个样方, 采集土样 96 份, 土样体积  $1.2 \times 10^6 \text{ cm}^3$ , 获得各类大型土壤动物 1231 只, 隶属 3 门 8 纲 20 目。其中优势类群为近孔寡毛目 (37.69%)、膜翅目 (21.04%)、双尾目 (11.29%) 和蜘蛛目 (10.07%); 常见类群为正蚓目 (4.06%)、等足目 (2.68%)、柄眼目 (1.95%)、鞘翅目 (1.87%)、鳞翅目 (1.62%)、双翅目 (1.54%) 和同翅目 (1.22%); 其余类群占个体总数的 1.00% 以下 (表 1)。4 个优势类群个体数就达到了总个体数的 80.10%, 4 个优势类群和 7 个常见类群个体数占总个体数的 95.05%, 它们构成了调查得到的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。稀有类群虽然仅拥有很少的个体, 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, 在物质循环过程中发挥着重要作用。

不同生境条件下, 大型土壤动物的群落组成有所差异, 类群数依次为: 短期草坪 (11) < 新种植草坪 (12) < 无草本层的人工林 (14) < 郊区灌木林 (15) = 草坪 (15) < 荒草地 (17) = 草地 (17) =

有草本层的人工林 (17); 个体数排序为新种植草坪 (70) < 无草本层的人工林 (121) < 短期草坪 (127) < 草坪 (152) < 郊区灌木林 (161) < 荒草地 (173) < 草地 (191) < 有草本层的人工林 (236)。

### 2.2 群落多样性

8 种城市绿地生境中的大型土壤动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、均匀度指数 ( $E$ ) 和优势度指数 ( $c$ ) 相差不大 (图 1)。但是各群落的  $r$  值分别为新种植草坪 (0.45)、短期草坪 (0.65)、草坪 (0.96)、草地 (1.13)、有草本层的人工林 (1.74)、无草本层的人工林 (0.90)、荒草地 (1.09)、郊区灌木林 (1.08), 通过计算得到的  $C$  值按大小排序为: 有草本层的人工林 (3.26) > 草地 (2.28) > 荒草地 (2.05) > 草坪 (1.98) > 郊区灌木林 (1.92) > 无草本层的人工林 (1.56) > 短期草坪 (1.26) > 新种植草坪 (0.92)。

在表征群落多样性的指数中, Shannon-Wiener 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。然而, 由于土壤动物研究中分类阶元常常较大, 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, 组成简单、各类群数量均较低的群落可能比组成丰富各类群数量均较高的群落的  $H'$  值更高。傅必谦等 (2002) 提出的利用  $r$  计算  $C$  值的方法是校正上述问题的比较好的方法。

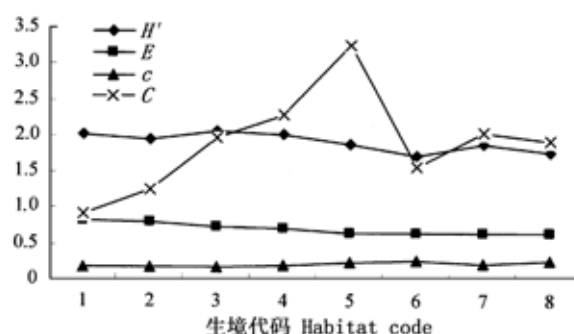


图1 不同生境大型土壤动物多样性(生境代码见表1)

Fig. 1 Diversity of soil macrofauna communities in different habitat

$H'$ : Shannon-Wiener's index;  $E$ : Pielou's index;  $c$ : Simpson's index;  $C$ : Complexity index of community  
Habitat codes correspond to those in Table 1

表1 不同生境类型中大型土壤动物群落组成  
Table1 Composition of soil macrofauna communities in different habitats

|                       | 生境类型 Habitat type* |     |     |     |     |     |     |     | 总计<br>Total | 频度(%)<br>Frequency | 多度<br>Abundance |
|-----------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|--------------------|-----------------|
|                       | 1                  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |             |                    |                 |
| 近孔寡毛目 Plesiopora      | 23                 | 40  | 46  | 68  | 103 | 56  | 56  | 72  | 464         | 37.69              | +++             |
| 膜翅目 Hymenoptera       | 14                 | 28  | 24  | 40  | 38  | 24  | 55  | 36  | 259         | 21.04              | +++             |
| 双尾目 Diplura           | 8                  | 14  | 23  | 24  | 28  | 12  | 12  | 18  | 139         | 11.29              | +++             |
| 蜘蛛目 Araneida          | 4                  | 15  | 22  | 18  | 24  | 12  | 22  | 7   | 124         | 10.07              | +++             |
| 正蚓目 Lumbricida        | 6                  | 10  | 12  | 8   | 6   | 2   | 2   | 4   | 50          | 4.06               | ++              |
| 等足目 Isopoda           | 3                  | 5   | 3   | 8   | 5   |     | 3   | 6   | 33          | 2.68               | ++              |
| 柄眼目 Stylommatophora   | 3                  | 4   | 6   | 4   | 2   |     | 3   | 2   | 24          | 1.95               | ++              |
| 鞘翅目 Coleoptera        |                    | 1   | 2   | 3   | 7   | 3   | 3   | 4   | 23          | 1.87               | ++              |
| 鳞翅目 Lepidoptera       | 2                  |     | 2   | 4   | 7   |     | 5   |     | 20          | 1.62               | ++              |
| 双翅目 Diptera           | 4                  | 4   | 4   | 4   |     |     | 1   | 2   | 19          | 1.54               | ++              |
| 同翅目 Homoptera         |                    | 4   | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   | 3   | 15          | 1.22               | ++              |
| 直翅目 Orthoptera        | 1                  | 2   | 2   | 1   | 4   | 1   | 1   |     | 12          | 0.98               | +               |
| 蜈蚣目 Scolopendromorpha | 1                  |     | 1   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 12          | 0.98               | +               |
| 半翅目 Hemiptera         |                    |     | 2   | 2   |     | 2   | 2   |     | 8           | 0.65               | +               |
| 虱目 Anoplura           | 1                  |     |     | 1   | 2   | 2   | 2   |     | 8           | 0.65               | +               |
| 圆马陆目 Sphaerotherida   |                    |     |     | 1   |     | 2   | 2   | 2   | 7           | 0.57               | +               |
| 综合目 Symphyla          |                    |     |     | 1   | 3   |     |     | 1   | 5           | 0.41               | +               |
| 地蜈蚣目 Geophilomorpha   |                    |     | 1   |     | 1   | 1   |     | 1   | 4           | 0.33               | +               |
| 蜚蠊目 Blattaria         |                    |     |     |     | 1   | 1   | 1   |     | 3           | 0.24               | +               |
| 石蜈蚣目 Lithobiomorpha   |                    |     |     |     | 1   |     |     | 1   | 2           | 0.16               | +               |
| 总计 Total              | 70                 | 127 | 152 | 191 | 236 | 121 | 173 | 161 | 1231        | 100                |                 |

+++：优势类群 Dominant order; ++：常见类群 Frequent order; +：稀有类群 Rare order  
\*1:半年新种植草坪 New turf planted within half a year; 2: 0.5–2 年短期草坪 0.5–2 year turf; 3: 2–5 年草坪 2–5 year turf; 4: 2–5 年草地 2–5 year grassland; 5:有草本层的人工林 Man-made hurst with herbage; 6:无草本层的人工林 Man-made hurst without herbage; 7:荒草地 Weed wold; 8:郊区灌木林 Suburb shrubbery

对比本研究中的 $H'$ 和 $C$ 可以看出,  $C$ 比 $H'$ 更加合理, 通过 $r$ 修正后的 $C$ 校正了类群个体数量给多样性分析带来的影响, 使群落多样性以及复杂性展现的更加合理。

2.3 垂直分布

对11个优势类群和常见类群的垂直分布分析结果可以看出(表2), 8种不同类型城市绿地中大型土壤动物类群数和个体数均为 I 层>II 层>III 层。用SPSS10.0对上述数据按类群数和个体数分别进行成对单尾 $t$ 检验, 结果表明不同类型城市绿地中大型土壤动物类群数、个体数在层间均存在极显著差异( $P<0.01$ ), 说明类群数和个体数均随土壤深度的增加而减少。11个优势及常见类群中, I 层个体数占总个体数的54.54%, II 层占34.89%, III层占10.57%。

通过以上分析可以看出, 大型土壤动物的表聚现象是明显的, 这与大多数优势类群和常见类

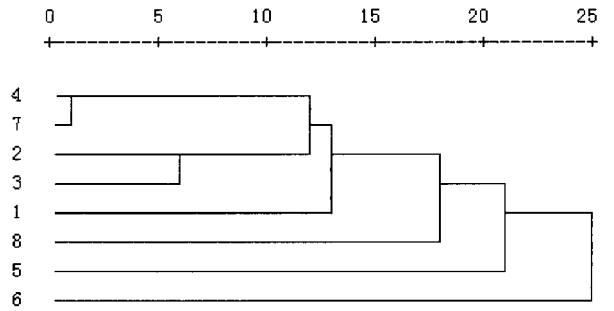


图2 不同生境中大型土壤动物群落系统聚类图(生境代码见表1)  
Fig. 2 The dendrogram of soil macrofauna communities in different habitat based on the data of biquadratic density. Habitat codes correspond to those in Table 1

群有明显的表聚性有关(杨效东和张建候, 1997; 刘红和袁兴中, 1999)。优势类群和常见类群在各生境中的垂直分布情况有所不同。膜翅目在 II 层个体数最多, 其他优势类群和常见类群个体主要都集中在 I 层, 近孔寡毛目、鞘翅目、蜘蛛目表聚现象最明显。

2.4 群落聚类和排序

聚类分析方法在群落生态学研究中被采用, 本文先将密度原始数据 4 次开方, 以减少个别优势类群对整个群落影响的权重, 然后利用欧氏距离来进行组间平均聚类的方法, 得到结果如图 2。

非度量多维标度的二维分析的结果如图 3, Stress 值为 0.11550, 此值 < 0.2 说明图形吻合一般。

通过聚类和排序结果可以看出, 8 种不同城市绿地生境中的大型土壤动物群落可以分为 6 大类型, 即草坪类、草地类、新植草坪类、无草本层的人工林类、有草本层的人工林类和灌木林类。且从排序图中可以推测排序的影响因素, 在横轴上, 左方大型土壤动物群落生境的植被高度均大于右方群落, 说明第一维影响因素可能是植被高度即土壤的受光状况等; 在纵轴上, 下方群落的大型土壤动物密度和群落复杂性指数大部分小于上方群落, 可以推测排序的第二维影响因素可能与植被结构的复杂化和草坪的种植年限有关。当然这只是排序图结合实际调查情况的推测, 有待于后续试验研究的证实。

在以往土壤动物群落的研究中, 国内大部分

表2 不同生境大型土壤动物优势类群和常见类群垂直分布  
Table 2 The vertical distribution of the dominant and frequent soil macrofauna orders in different habitats

| 土层<br>Soil layer | 生境代码 Habitat code |    |    |    |    |    |     |    |     |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|-------------------|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  | 1                 |    | 2  |    | 3  |    | 4   |    | 5   |    | 6  |    | 7  |    | 8  |    |
|                  | NI                | NO | NI | NO | NI | NO | NI  | NO | NI  | NO | NI | NO | NI | NO | NI | NO |
| I                | 42                | 9  | 70 | 9  | 85 | 10 | 107 | 10 | 126 | 9  | 58 | 6  | 77 | 10 | 90 | 9  |
| II               | 22                | 5  | 45 | 6  | 48 | 6  | 65  | 8  | 77  | 7  | 41 | 4  | 69 | 7  | 52 | 6  |
| III              | 3                 | 2  | 6  | 2  | 11 | 5  | 14  | 2  | 58  | 4  | 10 | 2  | 16 | 2  | 9  | 2  |

NI: 个体数 Number of individuals; NO: 类群数 Number of orders  
生境代码见表 1 Habitat codes correspond to those in Table 1

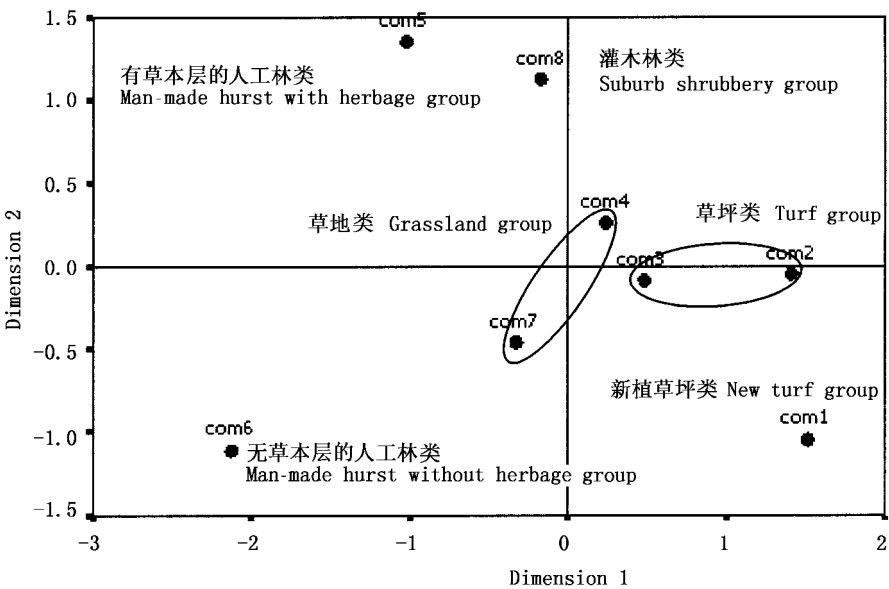


图3 大型土壤动物群落二维非度量标度排序图(Stress=0.11550)  
Fig.3 The 2-dimentional MDS ordinal configuration of the soil macrofauna communities  
生境代码见表 1 Habitat codes correspond to those in Table 1

的研究工作集中在群落结构以及多样性的分析上(钱复生和王宗英, 1995; 王振中等, 1998; 刘红和袁兴中, 1998, 1999; 汤君友等, 2002; 傅必谦等, 2002), 但是就土壤动物群落的聚类 and 排序研究来说, 研究工作并不是很多, 聚类和排序的研究主要集中在底栖动物群落研究工作中并取得了相当大的进展, 如袁兴中和陆健健(2001)利用群落排序方法研究了围垦对长江口南岸底栖动物群落结构和多样性的影响, 提出水文条件和植被情况在很大程度上影响了围垦后底栖动物群落的结构和多样性; 厉红梅等(2001)关于深圳湾潮间带底栖动物群落结构的等级聚类与非度量多维标度排序的研究中, 结合聚类和排序, 探讨了群落相似性和差异性的环境因素, 并指出潮水、盐度和污染等对潮间带底栖动物群落的结构和多样性有着确切的影响。因此, 在土壤动物群落的研究中开展群落聚类和排序的研究, 可以更好地揭示土壤动物群落与环境的关系。

### 3 结语

在本研究中, 不同城市绿地生境中大型土壤动物群落的结构以及多样性均有不同的表现, 这也反映了大型土壤动物对不同城市绿地生境类型的响应。可见, 将土壤动物研究与城市生态评价相结合, 作为合理规划城市绿地布局、绿地类型设计的一项参考指标, 是很有意义的。

通过本研究还可以看出, 以传统的群落生态学中的多样性指标为基础构建的适应土壤动物多样性分析的新指标——群落复杂性指数, 能使土壤动物群落的多样性和复杂性情况在土壤动物分类阶元较大的情况下依然可以得到很好的展示, 另外通过土壤动物群落的聚类和排序, 可以探讨群落差异产生的原因即影响土壤动物群落的环境因素, 可以为探讨土壤动物群落结构即多样性差异带来新的启发。

### 参考文献

- Fu BQ(傅必谦), Chen W(陈卫), Dong XH(董晓晖), Xing ZM(邢忠民), Gao W(高武) (2002) The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 215–223. (in Chinese with English abstract)
- Li HM(厉红梅), Cai LZ(蔡立哲), Lin LZ(林丽珠), Yao

- JB(姚建彬) (2001) Using hierarchical clustering and non-metric MDS to explore spatio-temporal variation of benthic community at intertidal in Shenzhen Bay. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报(自然科学版)), **40**, 735–740. (in Chinese with English abstract)
- Liao CH (廖崇惠), Li JX(李健雄), Yang YP(杨悦屏), Zhang ZC(张振才) (2003) The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfeng Mountain, Hainan Island, China: relationship between seasonal change of community structure and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**, 139–147. (in Chinese with English abstract)
- Liu H(刘红), Yuan XZ(袁兴中) (1998) A study on community structure of soil animal in Taishan Mountain. *Mountain Research* (山地研究), **16**, 114–119. (in Chinese with English abstract)
- Liu H(刘红), Yuan XZ(袁兴中) (1999) Ecological distribution of the soil animals in the Taishan Mountain. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **18**(2), 13–16. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP(马克平), Liu YM(刘玉明) (1994) Measurement of biotic community diversity I.  $\alpha$  diversity (Part II). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**, 231–239. (in Chinese)
- Ma KP(马克平) (1994) The measurement of community diversity. In: *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies* (生物多样性研究的原理与方法) (eds Qian YQ(钱迎倩), Ma KP(马克平)), pp.141–165. Chinese Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- McIntyre NE, Rango J, Fagan WF, Faeth SH (2001) Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment. *Landscape and Urban Planning*, **52**, 257–274.
- Pankhurst C, Doube BN, Gupta VVSR (1997) *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, London.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*, pp.16–51. John Wiley, New York.
- Qian FS(钱复生), Wang ZY(王宗英) (1995) Relationship between soil fauna and soil environment in jujube garden of Shuidong, Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), **6**, 44–50. (in Chinese with English abstract)
- Tang JY(汤君友), Zhao R(赵锐), Wang ZY(王宗英) (2002) A research of soil community and its diversity in mulberry tree orchard in Laibang Town Yuexi County. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **21**(2), 9–13. (in Chinese with English abstract)
- Torstensson L, Pell M, Stenberg B (1998) Need of a strategy for evaluation of arable soil quality. *Ambio*, **27**, 4–8.
- Wang ZZ(王振中), Li ZW(李忠武), Zhang YM(张友梅)

- (1998) Investigation of soil animal community of artificial conifer forest in Lushan. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Normalis Hunanensis* (湖南师范大学自然科学学报), **21**(4), 83–88. (in Chinese with English abstract)
- Yang DQ(杨冬青), Gao J(高峻) (2002) Research and application of soil animals in urban ecosystem. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **21**(5), 54–57. (in Chinese with English abstract)
- Yang XD(杨效东), Zhang JH(张建候) (1997) Community structure of soil animals in man-made plant communities in dry seasons in Xishuangbanna. *Zoological Research* (动物学研究), **18**, 403–409. (in Chinese with English abstract)
- Yin WY(尹文英) (2000) *Soil Animals of China* (中国土壤动物). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yuan XZ (袁兴中), Lu JJ (陆健健) (2001) Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), **21**, 1642–1647. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 周红章 责任编辑: 闫文杰)