

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 2 期  
Vol.31 No.2  
**2011**



中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 2 期      2011 年 1 月      (半月刊)

## 目 次

长白山山杨种群的性比格局及其空间分布 .....	潘春芳,赵秀海,夏富才,等 (297)
冬季融冻过程中白三叶叶片抗氧化酶活力和渗透调节物含量变化与抗冻性的关系 .....	赵 梅,周瑞莲,刘建芳,等 (306)
黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析 .....	王乃江,刘增文,徐 钊,等 (316)
两种抗生素对龙须菜的光合生理效应 .....	简建波,邹定辉,刘文华,等 (326)
典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征 .....	潘复静,张 伟,王克林,等 (335)
塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响 .....	陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等 (344)
基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价 .....	宋富强,邢开雄,刘 阳,等 (354)
火因子对荒漠化草原草本层片植物群落组成的影响 .....	贺郝钰,苏洁琼,黄 磊,等 (364)
4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应 .....	冯慧芳,薛 立,任向荣,等 (371)
城市带状绿地宽度与温湿效益的关系 .....	朱春阳,李树华,纪 鹏,等 (383)
西藏斧钺水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化 .....	张国钢,刘冬平,钱法文,等 (395)
王朗自然保护区大熊猫生境选择 .....	康东伟,康 文,谭留夷,等 (401)
东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局 .....	陶双伦,杨锡福,邓凯东,等 (410)
台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响 .....	白 义,施时迪,齐 鑫,等 (421)
青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境 .....	杜永芬,徐奎栋,类彦立,等 (431)
叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理 .....	王培欣,白俊杰,胡隐昌,等 (441)
C <sub>3</sub> 和 C <sub>4</sub> 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响 .....	叶乐夫,付 雪,戈 峰 (449)
3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系 .....	毕守东,柯胜兵,徐劲峰,等 (455)
坝上地区农田和恢复生境地地表甲虫多样性 .....	刘云慧,宇振荣,王长柳,等 (465)
若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征 .....	牛 佳,周小奇,蒋 娜,等 (474)
红枣贮藏期果面微生物多样性 .....	沙月霞 (483)
CO <sub>2</sub> 和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响 .....	刘俊稚,葛亚明,Pugliese Massimo,等 (491)
丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响 .....	彭思利,申 鸿,袁俊吉,等 (498)
新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析 .....	吴江超,高小其,曾 军,等 (506)
石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响 .....	黄逸君,陈全震,曾江宁,等 (513)
不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应 .....	何俊瑜,任艳芳,王阳阳,等 (522)
基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析 .....	潘 影,刘云慧,王 静,等 (529)
基于生态足迹的生态地租分析 .....	龙开胜,陈利根,赵亚莉 (538)
深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系 .....	刘语凡,陈 雪,李贵才,等 (547)
<b>专论与综述</b>	
美国、加拿大环境和健康风险管理方法 .....	贺桂珍,吕永龙 (556)
植物蜡质及其与环境的关系 .....	李婧婧,黄俊华,谢树成 (565)
油田硫酸盐还原菌酸化腐蚀机制及防治研究进展 .....	庄 文,初立业,邵宏波 (575)
叶际微生物研究进展 .....	潘建刚,呼 庆,齐鸿雁,等 (583)

# 台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响

白 义, 施时迪\*, 齐 鑫, 马勇军, 潘志祥

(台州学院生命科学学院, 浙江台州 317000)

**摘要:**通过对台州市路桥区峰江再生园区及周围的 8 个样地采样调查,分析了重金属污染对土壤动物多样性的影响。对研究区域进行大量取样调查并测定土样中 Cu、Zn、Pb、Cd 的含量。计算出重金属综合污染指数,运用地理信息系统(GIS)技术中的插值法根据重金属综合污染指数制作重金属综合污染趋势图。结合重金属综合污染趋势图与实地勘察,共设置 8 个采样地。研究方法为大型土壤动物采用野外分层手捡计数,中小型土壤动物用取土器分层取土,带回室内分别用干湿漏斗分离并镜检。结果表明:(1)8 个样地共获得土壤动物 844 只,分属于 4 门 9 纲 20 个类群,其中优势类群为蛴螬目、弹尾目和线虫纲,其他为常见类群和稀有类群。(2)8 个样地中土壤动物的个体数量存在极显著性差异( $P < 0.01$ ),类群数存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。在严重污染区,土壤动物的数量和类群数稀少,而轻度污染区土壤动物的密度大、群落多样性高,稀有类群大量出现。表明重金属污染能对土壤动物多样性构成严重影响,土壤动物群落的类群和个体数量随污染程度的加重而减少(3)用群落多样性指标  $DG$  衡量重金属污染对土壤动物多样性的影响,结果为随着综合污染指数的减小, $DG$  指数逐渐增大。(4)用简单相关性分析表明土壤动物数量变化与综合污染指数具有极显著负相关性(相关系数  $-0.86$ ),与有机质含量有一定相关性(相关系数  $0.42$ )。在轻度污染的样地中,土壤动物的数量随有机质含量的升高而上升,表明在严重的污染区,重金属的毒性对土壤动物的影响是主要的,而在轻度污染区,有机质含量可能成为影响土壤动物多样性的主要因素。(5)从弹尾目的等节跳科和球角跳科在 8 个样地中的分布特点可知,本地区的等节跳科对重金属污染的耐受力最强。球角跳科数量大、密度高,对重金属污染较敏感,可作为重金属污染的指示生物。

**关键词:**重金属污染;土壤动物;群落结构;电子废物;浙江台州

## Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City

BAI Yi, SHI Shidi\*, QI Xin, MA Yongjun, PAN Zhixiang

(College of Life Sciences, Taizhou University, Taizhou, Zhejiang 317000, China)

**Abstract:** Fengjiang Recycling Metal Corporation of Luqiao district in Taizhou City is located in the southeast of Zhejiang Province, which is the biggest electronic waste disassembly base in China. It was established in the 1970s and an area of about  $10 \text{ km}^2$ . Due to the rough disassembly technology and manual labor of the individual workshop, heavy metal and chemical pollution could not be treated effectively. Residue and waste water produced by e-waste disassembling were discharged into the nearby farmland and water through air, dirty irrigation, and slagheaps, which resulted in heavy pollution. Heavy metal pollutants, especially Cu, Zn, Cd and Pb produced by e-waste disassembling were seriously beyond the limit of the soil's capacity to tolerate, which were harmful to the environment.

At present, the research into heavy metal pollution and soil animal diversity mainly focuses on the effects of soil biological and ecological toxicology caused by urban industry and drainage of metal mine pollutant. However, there is no report about the study of the relationship between heavy metal pollution from e-waste disassembling and soil animal

基金项目:浙江省教育厅项目(Y200700872)资助;台州学院培育基金资助项目(2010PY29)

收稿日期:2009-11-29; 修订日期:2010-09-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiii@tzc.edu.cn

diversity. This study chooses the biggest electronic waste disassembly base in China to discuss the influence of the heavy metal content, regional distribution and toxicological effects on the community structure and diversity of soil animals.

Through a large amount of sampling from the target district, this study determined the contents of Cu、Zn、Pb and Cd. Through figuring out the integrated index of the heavy metal pollution, the trend chart of heavy metal integrated pollution was made by the method of interpolation in Geographical Information System (GIS). Combining this trend chart with field surveys, 8 sample plots were set. The methods included layer handpicking in the field for soil macro-fauna and layering with a geotome; separation through Baermann and Tullgren methods, and examination through microscope indoor for meso-micro soil fauna.

The results showed that: (1) 844 specimens from 8 sample plots were collected, which respectively belonged to 4 phyla, 9 classes, and 20 orders. Among them, *Collembola*, *Acarina* and *Nematoda* were dominant groups, and the others were common groups and rare groups. (2) There was a great significant difference among the number of the soil animals in 8 different sample plots ( $P < 0.01$ ), and also a comparable difference among the amount of groups of soil animal in the 8 plots ( $P < 0.01$ ). In the severely polluted area, the amount of soil animal and the amount of groups of soil animal were rare, while there was a high density and diversity of soil animal in the slightly polluted area. This indicated that the heavy metal pollution had an effect on the diversity of soil animal. The worse the pollution is, the fewer the groups and individuals of soil animals amount is. (3) Moreover, the effect of heavy metal pollution on the diversity of soil animal was measured by the Shannon-Wiener index and DG (Density-groups) index. The lower the integrated index of pollution is, the higher the Shannon-Wiener index and the DG index is. (4) This showed a significant negative correlation between the amount of soil animals and integrated index of pollution (related coefficient  $-0.86$ ). It also showed a certain correlation between the amount of soil animals and the organic content values (related coefficient  $0.42$ ). In the slightly polluted area, the amount of soil animal rose with the increase of organic content. It showed that heavy metal toxicity had a main effect on the soil animal in the severely polluted area, and that organic content might be the key factor in the slightly polluted area. (5) The distribution of *Collembola* in the 8 sample plots showed that *Isotomidae* had the highest tolerance to the heavy metal pollution. *Hypogastruridae*, with a large number and high density, was sensitive to the heavy metal pollution. The latter can be the indicator organism for the heavy metal pollution in this district.

**Key Words:** heavy metal pollution; soil animal; community structure; E-waste; Taizhou

土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分,由于土壤动物的主要类群与土壤生态系统各方面的信息密切联系在一起,因此常被作为土壤质量评价的重要生物学指标<sup>[1-2]</sup>。已有研究表明重金属污染引起土壤结构恶化,功能衰减,土地生产力下降,同时对土壤动物多样性产生重要影响<sup>[3]</sup>。目前有关重金属污染与土壤动物多样性的研究主要集中于城市工业、金属矿业污染物排放引起的土壤生物生态毒性效应等方面<sup>[4-6]</sup>。有关电子废物拆解区重金属污染与土壤动物多样性的研究还未见相关报道。本研究选择我国最大的电子废物拆解基地台州市路桥区峰江再生金属拆解区开展研究工作,探讨重金属的含量、区域分布、毒性效应对土壤动物的群落结构和多样性影响。

电子废物,又称电子垃圾,是指各类报废的电子产品,包括各种废旧电脑、通信设备、电视机、电冰箱以及被淘汰的精密电子仪器仪表等<sup>[7]</sup>。拆解电子废物所产生的重金属污染物多达 18 种,尤其是 Cu、Zn、Cd 和 Pb 等几类重金属严重超过土壤背景值,对环境危害性巨大<sup>[8]</sup>。近年来,随着相关行业对重金属需求的增加,重金属拆解业的规模不断扩大,由此引发的环境问题和人们的生命安全问题备受关注。然而由于采样困难、重金属毒性的隐蔽性和复杂性特点,人们对重金属污染物的区域分布、迁移和重金属的毒性效应一直缺乏全面了解,对污染物造成的环境风险也缺乏有效评价。

## 1 污染区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

台州市路桥区位于温(岭)黄(岩)平原东南侧,本地区背山面海,丘陵平原相间,区内河道纵横,湖塘密布,大片农田主要种植水稻和蔬菜。气候属于亚热带季风气候,四季分明,光照适宜,雨水充足。年平均气温 $17^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水 $1500\text{mm}$ ;土壤类型为普通潮土和水稻土。台州市路桥区峰江再生金属园是我国最大的电子废物拆解基地,于20世纪70年代建厂,至今已有40多年的历史,园区总占地 $107\text{hm}^2$ ,包括园区周边小手工作坊,总占地面积达到 $10\text{km}^2$ 。由于一些粗放的拆解工艺和小作坊的手工操作,使得重金属污染物、化学污染物得不到有效处理,拆解电子垃圾产生的残渣、污水经过污灌、渣堆等途径进入周围大片的农田和水域,造成严重污染。

### 1.2 研究方法

本研究于2008年3月,对污染区进行取样调查。选择路桥峰江再生园区东南区进行取样,即以园区为起点,沿河流下游方向调查,所调查区域均属于污灌区。用采样器采集表层 $0-10\text{cm}$ 层土样(重金属污染物的集中层),共计54个样点,所有样品均用湿法消化( $\text{HNO}_3-\text{HClO}_4$ ),用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES仪,美国LEEMAN公司)测定土壤中Cu、Zn、Pb、Cd含量。根据所测得的重金属含量,计算重金属综合污染指数( $I$ ),并根据综合污染指数,用地理信息系统(GIS)技术中的插值法制作重金属综合污染趋势图。于2008年5月,根据重金属综合污染趋势图,结合实地勘察,共设置8个采样地(图1)。样地统一选择撂荒1a以上的菜地,地表植物主要为低矮的杂草,土壤环境稳定。

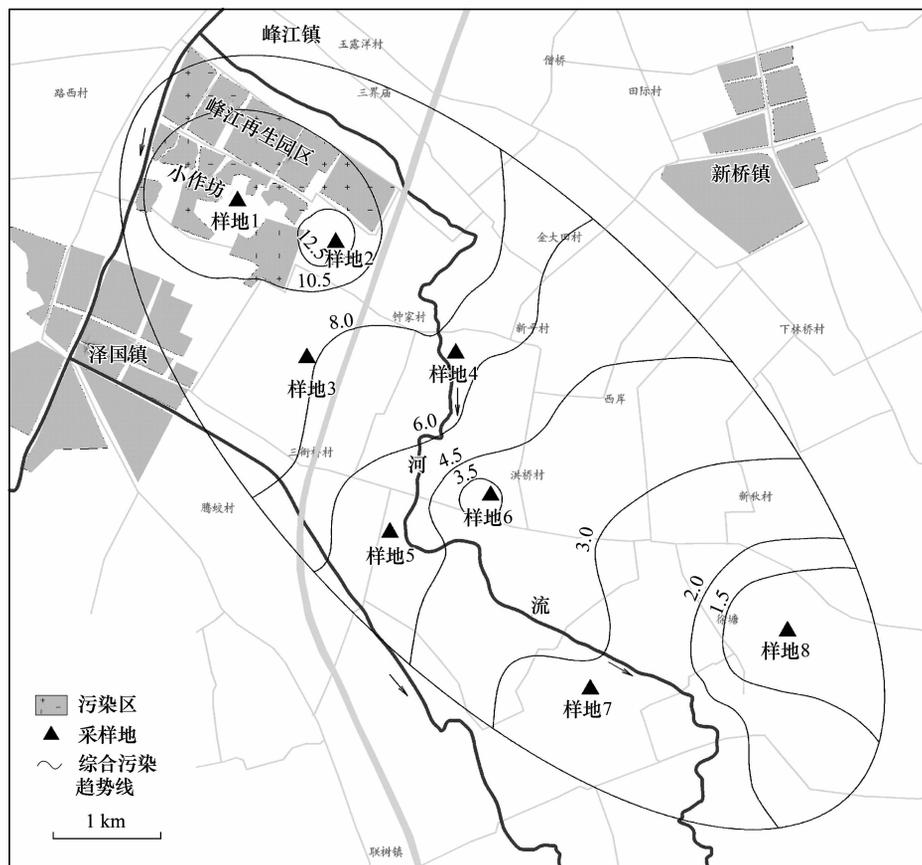


图1 研究区及样地分布示意图

Fig.1 Sampling sites in study area

采样方法为根据重金属的综合污染梯度设置8个采样地,每个样地内选择3个样点,样点之间的距离

50m以上。大型土壤动物采集方法为每个样点设置1个50cm×50cm(0.25m<sup>2</sup>)的小样方,分4层(0—5cm、5—10cm、10—15cm、15—20cm),用手捡法将所得大型土壤动物全部采集,并用75%的酒精保存,8个样地共计24个小样方。另外每个样点保存1份土样用于测定土壤理化性质。中小型土壤动物的采集方法为每个样点内再重复3次,即3个小样方,按“品”字型布点,分4层(0—5cm、5—10cm、10—15cm、15—20cm)用100mL取样器各取2份土样用于分离干生和湿生土壤动物。8个样地分别采集干生和湿生土样各72个。土壤动物的分离方法用干漏斗法和湿漏斗法分离提取。中小型干生和湿生土壤动物用盛装75%酒精的广口瓶收集,以上所有样品均在双筒解剖镜下镜检计数。土壤动物的分类鉴定主要参考尹文英等<sup>[9-10]</sup>编写的《中国土壤动物》和《中国土壤动物检索图鉴》。

### 1.3 土壤动物数据处理方法

将每样点内3个样方的数据进行平均作为该样点的数据,将每样地3个样点的数据作为该样地的3个重复,用F检验分析样地间的显著性差异和Duncan's多重比较。土壤动物群落多样性选用了Shannon-Wiener多样性指数H'、Pielou均匀性指数J、Simpson优势度指数C和密度-类群指数DG来描述土壤动物群落的特征<sup>[1-2,21]</sup>。各指数计算公式如下:

Shannon-Wiener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  $C = \sum_{i=1}^s (n_i/N)^2$ , 式中,  $n_i$  为该区内第  $i$  个类群的个体数,  $N$  为该样区内所有类群的个体数量,  $P_i = n_i/N$ ,  $s$  为样区内类群个数。

密度-类群指数:  $DG = (g/G) \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{i\max} C)$ , 其中,  $D_i$  为第  $i$  类群个体数,  $D_{i\max}$  为各群落中第  $i$  类群的最大个体数,  $g$  为群落中的类群数,  $G$  为各群落所包含的总类群数,  $C_i/C$  为相对次数, 即在  $C$  个群落中第  $i$  个类群出现的比率。

样地污染综合指数采用均质型多因子指数<sup>[1, 11]</sup>:

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i}$$

式中,  $n$  为参与评价的因子数,  $I_i$  为第  $i$  种污染物的污染指数,  $C_i$  为第  $i$  种污染物在环境中的浓度,  $S_i$  为第  $i$  种污染物在环境中的评价标准, 土壤中污染物土壤环境质量标准, 采用土壤环境质量二级标准 (GB15618—1995, 二级, pH < 6.5)。土壤理化性质按照常规方法测定, 测定结果见表1。

污染级别:  $I < 1.0$  时, 未污染;  $1.0—2.5$  轻度污染;  $> 2.5—5.0$  中污染;  $> 5.0—10.0$  重污染;  $I > 10.0$  严重污染。

## 2 结果与分析

### 2.1 路桥区重金属污染区土壤动物的种类和数量组成

对采样所得数据进行平均值处理, 获得土壤动物在不同重金属污染区中的多样性数据, 分属于4门9纲20个类群(表2), 共计844只, 从表2可知, 蝉蟊目、弹尾目、线虫纲分别占个体总数的24.17%、23.22%和16.71%, 为土壤中的优势类群(个体数量占总个体数的10%以上), 常见类群(个体数量占总个体数的1%—10%)较多, 有12个类群, 其中蜘蛛目、寡毛纲、膜翅目、线蚓类、直翅目、综合纲、鞘翅目所占比例均在2%以上。稀有类群仅在污染较小的几个样地中出现, 而且数量很少。

### 2.2 重金属污染对土壤动物群落结构的影响

用F检验分析8个样地之间土壤动物个体数量和类群数的差异性, 结果表明, 8个样地中土壤动物的个体数量存在极显著性差异 ( $F_{7,16} = 38.75$ ) ( $P < 0.01$ ), 类群数存在极显著性差异 ( $F_{7,16} = 27.09$ ) ( $P < 0.01$ )。Duncan's多重比较可知土壤动物的个体数量在8个样地中的差异性具有如下特点, 样地1、2与样地3、4; 与

表 1 各采样区土壤理化性质及重金属污染状况

**Table 1 Physiochemical properties and heavy metal pollution of the soils in the sampling area**

	样地 1Plot 1	样地 2Plot 2	样地 3Plot 3	样地 4Plot 4	样地 5Plot 5	样地 6Plot 6	样地 7Plot 7	样地 8Plot 8
pH 值	4.02—4.10	4.77—4.95	5.61—5.70	4.81—4.89	5.15—6.02	5.87—6.14	4.69—5.07	5.43—5.52
有机质含量	22.11—24.35	31.26—31.70	17.80—20.16	21.47—22.23	30.10—32.49	24.53—24.62	27.15—28.37	30.61—31.08
土壤含水量	27.10—28.46	17.33—18.87	17.72—18.15	28.15—29.43	30.40—32.89	18.64—20.21	21.39—21.70	23.11—24.50
Cu / (mg/kg)	1487.9	1580.1	825.62	658.14	332.11	269.35	95.22	66.16
Zn / (mg/kg)	457.81	425.19	372.91	331.68	262.34	178.58	200.09	91.30
Cd / (mg/kg)	4.68	5.64	4.05	2.91	2.96	2.35	1.97	0.65
Pb / (mg/kg)	242.25	248.95	147.30	138.46	130.50	95.13	126.35	94.70
综合污染指数	12.15	13.38	8.12	6.27	4.59	3.62	2.49	1.08
Integrated pollution index I								

表 2 路桥再生园区 8 样地土壤动物类群和数量组成 (平均值 ± 标准误)

**Table 2 Variation of groups and population of soil fauna in the eight plots in Regeneration corporation in Luqiao of (mean ± standard error)**

动物类群 Groups	样地 1 Plot1	样地 2 Plot2	样地 3 Plot3	样地 4 Plot4	样地 5 Plot5	样地 6 Plot6	样地 7 Plot7	样地 8 Plot8	总和 Total	百分比/% Percent
蜚蠊目 Acarina	3 ± 2	6 ± 5	17 ± 12	20 ± 3	26 ± 7	19 ± 6	58 ± 9	55 ± 8	204	24.17
弹尾目 Collembola	1 ± 1	3 ± 3	9 ± 5	10 ± 3	24 ± 9	20 ± 3	56 ± 6	73 ± 16	196	23.22
线虫纲 Paupoda	0 ± 0	7 ± 3	4 ± 2	8 ± 2	39 ± 7	13 ± 2	35 ± 12	36 ± 9	141	16.71
蜘蛛目 Araneae	6 ± 4	5 ± 2	4 ± 1	8 ± 4	6 ± 2	8 ± 3	11 ± 2	12 ± 3	60	7.11
后孔寡毛目 Oligochaeta opisthopora	2 ± 1	3 ± 1	2 ± 1	3 ± 2	10 ± 3	4 ± 2	6 ± 4	14 ± 5	42	4.98
膜翅目 Hymenoptera	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 1	2 ± 2	0 ± 0	9 ± 3	3 ± 1	17 ± 6	33	3.91
近孔寡毛目 Oligochaeta plesiopora	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	4 ± 3	7 ± 2	7 ± 4	13 ± 2	31	3.67
直翅目 Orthoptera	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 2	4 ± 2	1 ± 1	3 ± 1	5 ± 2	7 ± 4	22	2.61
综合纲 Symphyla	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 1	0 ± 0	4 ± 1	8 ± 3	7 ± 2	21	2.49
鞘翅目 Coleoptera	0 ± 0	0 ± 0	1 ± 1	2 ± 1	0 ± 0	3 ± 1	8 ± 4	6 ± 3	20	2.37
鞘翅目 (幼) Coleoptera (larva)	0 ± 0	2 ± 2	3 ± 2	1 ± 1	2 ± 1	1 ± 1	4 ± 1	3 ± 1	16	1.90
双翅目 (幼) Diptera (larva)	0 ± 0	1 ± 1	1 ± 1	2 ± 1	3 ± 1	2 ± 2	3 ± 2	0 ± 0	12	1.42
地蜈蚣目 Geophilomorpha	0 ± 0	2 ± 1	1 ± 1	2 ± 2	0 ± 0	3 ± 2	1 ± 1	2 ± 1	11	1.30
腹足纲 Wikipedia	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1 ± 1	0 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	5 ± 3	10	1.18
等足目 Isopoda	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	3 ± 1	2 ± 2	4 ± 1	9	1.07
半翅目 Hemiptera	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 1	3 ± 1	5	0.59
鳞翅目 (幼) Lepidoptera (larva)	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1 ± 1	4 ± 2	4	0.47
石蜈蚣目 Lithobionompha	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1 ± 1	0 ± 0	2 ± 1	3	0.36
倍足纲 Diplopoda	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 1	0 ± 0	2	0.24
伪蝎目 Pseudoscorpionida	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 1	2	0.24
合计/只 Total/ind	12 ± 8	29 ± 9	46 ± 13	63 ± 6	115 ± 10	100 ± 4	215 ± 25	264 ± 31	844	100.00
类群数 Groups	4	8	11	13	9	15	18	18	20	—
H'	1.20	1.93	1.95	1.84	1.72	2.36	2.14	2.26	—	—
J	0.86	0.93	0.81	0.72	0.78	0.87	0.74	0.78	—	—
C	0.35	0.16	0.20	0.17	0.22	0.12	0.17	0.15	—	—
DG	0.14	0.85	1.38	2.26	1.94	3.84	7.79	9.29	—	—

样地 5、6;与样地 7;与样地 8 相互之间存在显著差异( $P < 0.05$ )。类群数在 8 个样地中的差异性表现为样地 1 与样地 2、3、5;与样地 4、6;与样地 7、8 相互之间存在显著差异( $P < 0.05$ )。结合表 1 和表 2 可知,样地 1 和样地 2 的综合污染指数最高,属于严重污染区,土壤动物的个体数量和类群数非常少,地表土壤动物仅有蜘蛛比较多见,其他动物非常罕见,土壤中螨类和弹尾类密度很低。样地 3 和样地 4 属于重污染区(表 1),与严重污染区相比,重污染区土壤动物的数量和类群数显著增多( $P < 0.05$ ),地表出现直翅类的蝗虫和蟋蟀以及膜翅类的蚂蚁等昆虫,土壤中常见类群大量出现,土壤动物多样性上升(表 2)。样地 5 和样地 6 属于中污染区,在该区域内土壤动物的个体数量急剧上升,主要表现为优势类群弹尾类、螨类和线虫的个体数量迅速上升,一些常见类群的个体数量也逐渐增多(表 2)。样地 7 和样地 8 属于轻污染区,与其他样地相比,该区域内土壤动物密度大、群落多样性高(DG),稀有类群大量出现,生境条件适合大多数农田土壤动物生存。

### 2.3 重金属污染对土壤动物多样性的影响

群落的多样性、均匀性和优势度能够反映群落结构的复杂性及稳定性,其数值大小取决于类群数和类群的个体数量。高的多样性指数意味着在生态系统中,有更长的食物链和更多的共生现象。可能对负反馈有更大的控制能力,从而增加群落结构的稳定性。从图 2 可以看出,路桥再生园区从样地 1 至样地 8,随着综合污染指数  $I$  的减小,土壤动物群落的多样性指数  $H'$  呈现波动上升态势,综合污染指数较小的样地 6、7、8,多样性指数较高。均匀性指数  $J$  的波动态势与多样性指数  $H'$  相似,但是在污染指数较高的几个样地中,均匀性却较高。优势度指数  $C$  的变化态势与多样性指数  $H'$  相反,在综合污染指数较大的样地 1,优势度最大,在综合污染指数较小的样地 6、7、8,优势度也较小。

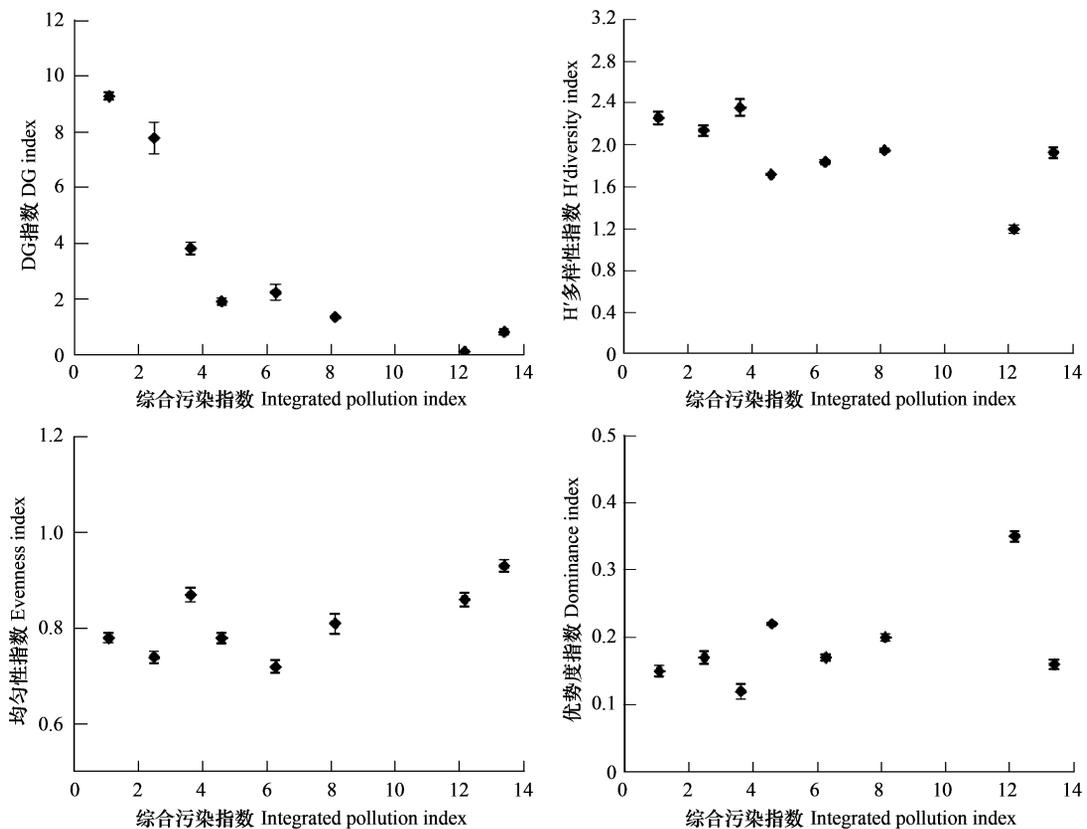


图 2 土壤动物群落指标随综合污染指数变化规律

Fig. 2 The change rule of soil animal community index with integrated pollution index

图中◆从左至右分别表示样地 8、7、6、5、4、3、1、2

用 DG 指数(即相对密度之和乘以类群系数)来同时定量描述多个群落的多样性。当不同类群的个体数

相差很大时,用绝对数量分析群落的优势度和多样性变化常会被某些类群的巨大数量所掩盖,该指数通过对群落间的相对数量作横向比较,可进一步说明土壤动物群落结构的差异性。由图2可知,路桥再生园区的8个样地中,样地1的DG指数最小,随着综合污染指数的减小,DG指数逐渐增大。从样地6到样地8,DG指数迅速增大,与土壤动物密度的迅速上升保持一致,样地8 DG指数达到最大,土壤动物的数量也达到最高。

#### 2.4 重金属污染与土壤理化性质变化对土壤动物个体数量的影响

用简单相关性系数计算土壤动物个体数量与综合污染指数、有机质含量、pH值、土壤含水量的相关性,结果表明路桥重金属污染区土壤动物数量变化与综合污染指数具有极显著负相关性(相关系数-0.86),与有机质含量有一定相关性(相关系数0.42),与pH值(相关系数0.30)和土壤含水量(相关系数0.01)相关性很小。从表1可知,在严重污染的样地2中,尽管土壤有机质含量较高,但是土壤动物数量较少。样地7和样地8同处于轻污染区,样地8的有机质含量较高,其土壤动物的数量也高于样地7。说明在严重污染的样地中,有机质含量不是影响土壤动物数量的主要因素,而轻度污染的样地中,有机质含量对土壤动物数量的影响较大。

#### 2.5 重金属污染对土壤动物个体数量和类群数垂直分布的影响

从图3可以看出,在重污染的样地中(样地1、2、3、4),土壤动物在土层中的分布呈现逆分布现象,即土壤动物个体数和类群数在表层(0—5cm)的分布少于5—10cm层。根据实地调查可知,在表层分布的动物主要有蜱螨目、蜘蛛目和蚯蚓等,在5—10cm层中,优势类群主要为蜱螨目、弹尾目和线虫纲,其中线虫纲的数量多于表层,弹尾目中主要是等节跳科的数量较多。在中度污染和轻度污染的样地中(样地5、6、7、8),土壤动物的个体数量和类群数在土层中的分布具有表聚性规律,随土层深度的增加,个体数量急剧下降。根据实地调查可知,优势类群蜱螨目、弹尾目、线虫纲和鞘翅目在表层土壤中分布最多。蚯蚓、综合纲和地蜈蚣目等常见类群主要分布在10—15cm层和15—20cm层中。稀有类群主要分布在0—5cm层和5—10cm层。一些昆虫和蜘蛛在地表较为常见。

#### 2.6 重金属污染对弹尾目生态分布的影响

对8个样地调查所得弹尾目标本共计196只,经分类鉴定共计7个科(表3)。F检验可知弹尾目的个体数量在8个样地中存在极显著性差异( $F_{7,16} = 62.92$ ) ( $P < 0.01$ ),Duncan's多重比较可知样地1、2、3、4与样地5、6;与样地7;与样地8相互之间存在显著差异( $P < 0.05$ )。结合表3可知,严重污染区(样地1、2)弹尾目只有1个科,个体数量较少。重污染区(样地3、4)和中污染区(样地5、6)共发现5个科,与样地1、2相比,每个科的个体数量均呈上升趋势,其中等节跳科的数量增长最为显著( $P < 0.05$ )。轻污染区(样地7、8)发现7个科,个体数量显著增多( $P < 0.05$ ),其中球角跳科的数量迅速上升。从弹尾目7个科在8个样地中的分布看,等节跳科对污染的耐受能力最强,球角跳科、疣跳科和长角跳科在污染较重的环境中能够生存,但数量不多。棘跳科、圆跳科和短角跳科仅在中污染区(样地6)和轻污染区(样地7、8)发现,表明严重的重金属污染对这类跳虫的生存构成极为不利的影响。

### 3 讨论

#### 3.1 重金属污染对土壤动物群落的生态毒性效应

重金属污染对土壤动物构成不同程度的影响,土壤动物群落的类群和个体数随污染程度的加重而减少。

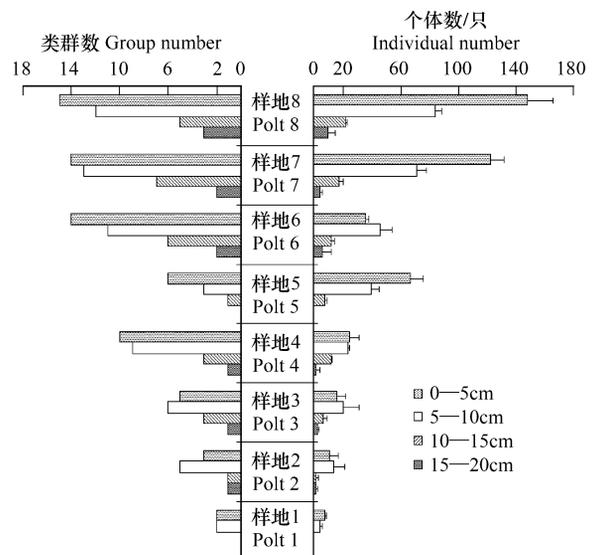


图3 重金属污染区8个样地土壤动物垂直分布图

Fig. 3 The vertical distribution of soil animal in 8 plots of heavy metal pollution area

表 3 土壤重金属污染对弹尾目生态分布的影响

Table 3 The influence of heavy metal pollution to distribution of Collembola

动物类群 Groups	样地 1 Plot1	样地 2 Plot2	样地 3 Plot3	样地 4 Plot4	样地 5 Plot5	样地 6 Plot6	样地 7 Plot7	样地 8 Plot8	总和 Total	百分比/% Percent
球角跳科 Hypogastruridae	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 1	2 ± 1	5 ± 3	8 ± 2	26 ± 4	37 ± 10	80	40.82
等节跳科 Isotomidae	1 ± 1	3 ± 2	5 ± 2	4 ± 2	15 ± 4	5 ± 3	8 ± 2	10 ± 2	51	26.02
长角跳科 Entomobryidae	0 ± 0	0 ± 0	1 ± 1	3 ± 1	4 ± 1	4 ± 2	10 ± 3	9 ± 2	31	15.82
疣跳科 Neanuridae	0 ± 0	0 ± 0	1 ± 1	1 ± 1	0 ± 0	2 ± 1	3 ± 1	6 ± 1	13	6.63
棘跳科 Onychiuridae	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	4 ± 2	5 ± 1	9	4.59
圆跳科 Sminthuridae	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1 ± 1	2 ± 1	3 ± 1	6	3.06
短角跳科 Neelidae	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2 ± 1	4 ± 2	6	3.06
总计 Total(只)	1 ± 1	3 ± 2	9 ± 4	10 ± 2	24 ± 6	20 ± 3	56 ± 7	73 ± 12	196	100
类群 Groups	1	1	4	4	3	5	7	7	7	

在严重污染区,土壤动物的个体数量和类群数都非常少。优势类群弹尾目的个体数量明显少于轻度污染区。弹尾目极易遭受污染可能与其运动能力有限有关,他们很少依靠自身的运动逃避不利环境。同时弹尾目的取食具有专一性,重金属可破坏其食物网系统,导致弹尾目的生存受到威胁<sup>[12-13]</sup>。尽管如此,在非常严重的污染区仍然有弹尾目生存下来,这可能是一些弹尾目对特定重金属元素有一定生理需求,进而形成对重金属污染的耐受性。重金属污染对优势类群弹尾目的影响较为显著,本研究结果表明,在严重污染区只有少数几种弹尾目昆虫能够生存,而且数量非常有限。究其原因,首先弹尾目的活动、取食、繁殖及其他全部的生命活动主要集中在土壤表层,该层也是重金属的主要污染层,使其成为土壤污染的直接受害者。同时弹尾目主要以土壤微生物为食,重金属污染可导致土壤微生物数量下降,对弹尾目的取食构成不利影响。另外重金属毒性对昆虫的消化、吸收、代谢和生殖等方面均构成不同程度的破坏,进而影响个体的成长与发育<sup>[14]</sup>。优势类群线虫的数量亦随污染程度的加重而减少。Korthals<sup>[15]</sup>在沙质土壤的耕地中用重金属 Cd、Cu、Ni 和 Zn 对土壤线虫的毒性研究表明,不断增加的重金属浓度引起土壤线虫的成熟指数和总的丰富度显著降低,特别是杂食类和捕食类线虫的个体数量与总的线虫数量相比下降更为明显。群落中优势类群个体数量的消长代表着该群落总个体数的起伏变化,常见类群和稀有类群则反映群落的物种多样性特征。本研究中,在污染较重的样地中,土壤动物的个体数量和类群数均显著减少,一些常见类群和稀有类群在重污染区甚至绝迹,而有些动物如蜘蛛、蚯蚓却能保持一定的数量并生存下来。Jung<sup>[16]</sup>对重金属污染区蜘蛛的数量和物种多样性分析表明,轻度污染样地和重度污染样地中地表蜘蛛的数量差异显著,而物种多样性并无显著差异,部分原因可能是蜘蛛对重金属污染具有耐受性。蚯蚓对重金属污染具有耐受性,但是严重的污染也会导致蚯蚓数量和物种多样性下降。Spurgeon<sup>[17]</sup>对英国西南地区受重金属污染的冶炼厂周围的土壤动物多样性研究发现,在污染严重的中心区,土壤动物的多样性下降,蚯蚓的数量和种类非常少,而远离污染源区,蚯蚓的数量和种类显著增多。

### 3.2 土壤理化性质与土壤动物的多样性

土壤中有机质含量与重金属生物毒性具有密切关系,土壤中的有机质含量越低,土壤重金属的生物毒性就越大<sup>[3]</sup>。土壤有机质含有大量不同的功能团、较高的阳离子交换量和较大的土壤比表面积,它们通过表面络合、离子交换和表面沉淀 3 种方式提高土壤对重金属的吸附能力,降低土壤重金属的生物毒性。pH 值对土壤重金属生物毒性影响较大,随着 pH 值的升高土壤有机质对重金属的吸附能力也逐渐升高,生物毒性也就随着 pH 值升高而降低。本研究中样地 2 的综合污染指数大于样地 1,但是样地 2 的土壤动物数量和类群数均高于样地 1,由表 1 可知,样地 1 的有机质含量和 pH 值低于样地 2,较高的有机质含量和 pH 值使得样地 2 的重金属生物毒性减弱。尽管土壤理化性质对土壤动物的多样性有显著影响,但是笔者认为在严重的污染区,重金属的生物毒性对土壤动物多样性的影响是主要的,而在轻度污染区,有机质含量可能成为影响土壤动物多样性的主要因素。

### 3.3 重金属污染对弹尾目的生态毒性效应

弹尾目作为土壤中的优势类群,不仅数量巨大、种类繁多,而且分布广泛,在各类土壤环境中都有其活动的踪迹<sup>[18]</sup>。因弹尾目在土壤中的特殊地位和功能,其群落结构常作为土壤质量评价的重要指标<sup>[19]</sup>。Steiner<sup>[20]</sup>的研究证实,弹尾目的物种丰富度随污染程度的加重而降低。与未受污染的土壤相比,大面积的污染可降低土壤动物的多样性,改变弹尾目群落的物种组成成分<sup>[21]</sup>。Filser<sup>[22]</sup>的研究发现土壤中的 Cu 离子能够改变弹尾目的群落结构,当土壤中加入大量 Cu 离子后,弹尾目的个体数量和物种丰富度下降。本研究中样地 2 的 Cu 离子含量超过土壤背景值 31 倍,弹尾目仅有一个科被发现,Filser<sup>[23]</sup>同时指出不同的弹尾目种类对重金属污染的反应有差异,如弹尾目中的棘跳科的棘跳属对铜污染敏感,而等节跳科的白符跳属则表现迟钝,该结论与本文研究结果相符。由表 3 可知,球角跳科在严重污染区几乎不分布,在中度污染区数量有限,而在轻度污染区数量迅速上升。这类跳虫具有数量多、分布广泛,对严重污染反应敏感的特点,可作为重金属污染的指示生物。

#### References:

- [ 1 ] Sun X B, Liu H Y, Li Y C, Zhang X P. Impact of heavy metals pollution on the community structure and spatial distribution of soil animals. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2080-2084.
- [ 2 ] Shi S D, Bai Y, Jin Z X. Structural characteristics and its dynamics of soil fauna community in *Heptacodium miconioides* woodland in Tiantai mountain of Zhejiang. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(2): 326-333.
- [ 3 ] Sun J W, Huang Y Z, Shi M C, Cui Y S, Li X F, Zhao L J, Du X, Gao W G. The review of heavy metals biotoxicity in soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2861-2869.
- [ 4 ] Nahmani J, Lavelle P. Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38: 297-300.
- [ 5 ] Wang Z Z, Zhang Y M, Deng J F, Li Z W. Enrichment and toxicity effect of heavy metals in soil ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1948-1952.
- [ 6 ] Song B, Ma J H, Li J, Wei L H, Yin X Q. Soil animals and their response to soil pollution in Kaifeng City. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(3): 529-535.
- [ 7 ] Luo Y, Yu X H, Yang Z Y, Yuan J G, Mai B X. Studies on heavy metal contamination by improper handling of E-waste and its environmental risk evaluation I. Heavy metal contamination in E-waste open burning sites. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2008, 3(1): 34-41.
- [ 8 ] Wang S J, Jian Z H, Luo J. Characteristics of and countermeasures controlling heavy metal pollution of soils in Luqiao, Taizhou, Zhejiang. *Earth and Environment*, 2006, 36(1): 35-43.
- [ 9 ] Yin W Y, Hu S H, Shen Y F. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [ 10 ] Yin W Y, Zhang R Z, Yin S G. *Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 2000.
- [ 11 ] Deng J F, Wang Z Z, Zhang Y M, Hu J L, Zheng Y Y, Xia W S. A research on the ecological effect of the soil animals community by the heavy metal pollution. *Environmental Science*, 1996, 17(2): 1-5.
- [ 12 ] Skorupski M, Butkiewicz G, Wierzbicka A. The first reaction of soil mite fauna (*Acari, Mesostigmata*) caused by conversion of Norway spruce stand in the Szklarska Poręba Forest District. *Journal of Forest Science*, 2009, 55(5): 234-243.
- [ 13 ] Lebrun P, van Straalen N M. Oribatid mites: prospects for their use in ecotoxicology. *Experimental and Applied Acarology*, 1995, 19: 361-379.
- [ 14 ] Sun H X, Liu Y, Zhang G R. Effects of heavy metal pollution on insects. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50(2): 178-185.
- [ 15 ] Korthals G W, de Goede R G M, Kammenga J E, Bongers T. The Maturity Index as an instrument for risk assessment of soil pollution// van Straalen N M, Krivolutsky D A, eds. *Bioindicator Systems for Soil Pollutions*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996: 85-94.
- [ 16 ] Jung M P, Kim S T, Kim H, Lee J H. Species diversity and community structure of ground-dwelling spiders in unpolluted and moderately heavy metal-polluted habitats. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2008, 195: 15-22.
- [ 17 ] Spurgeon D J, Hopkin S P. Tolerance to Zinc in populations of the Earthworm *Lumbricus rubellus* from uncontaminated and metal-contaminated ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1999, 37: 332-337.
- [ 18 ] Cole L J, McCracken D I, Foster G N, Aitken M N. Using Collembola to assess the risks of applying metal-rich sewage sludge to agricultural land in western Scotland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, 83: 177-189.

- [19] Xu J, Ke X, Song J, Luo Y M. Role of Collembola in assessment of ecological risk of heavy metal contamination of soils. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(3): 544-549.
- [20] Steiner W A. Influence of air pollution on moss dwelling animals III: Terrestrial fauna, with emphasis on Oribatida and Collembola. *Acarologia*, 1995, 36: 149-173.
- [21] Chernova N M, Kuznetsova N A. Collembolan community organisation and its tempoal predictability. *Pedobiologia*, 2000, 44: 451-466.
- [22] Filser J, Holscher G. Experimental studies on the reactions of Collembolan to Cu contamination. *Pedobiologia*, 1997, 41: 173-178.
- [23] Filser J, Wittman R, Lang A. Response types in Collembola towards copper in the environment. *Environmental Pollution*, 2000, 107: 71-78.

#### 参考文献:

- [1] 孙贤斌,刘红玉,李玉成,张小平. 重金属污染对土壤动物群落结构及空间分布的影响. *应用生态学报*,2007,18(9):2080-2084.
- [2] 施时迪,白义,金则新. 浙江天台山七子花林土壤动物群落结构特征与动态变化. *土壤学报*,2009,46(2):326-333.
- [3] 孙晋伟,黄益宗,石孟春,崔岩山,李小方,招礼军,杜心,高卫国. 土壤重金属生物毒性研究进展. *生态学报*,2008,28(6):2861-2869.
- [5] 王振中,张友梅,邓继福,李忠武. 重金属在土壤生态系统中的富集及毒性效应. *应用生态学报*,2006,17(10):1948-1952.
- [6] 宋博,马建华,李剑,魏林恒,殷秀琴. 开封市土壤动物及其对土壤污染的响应. *土壤学报*,2007,44(3):529-535.
- [7] 罗勇,余晓华,杨中艺,袁剑刚,麦碧娴. 电子废物不当处置的重金属污染及其环境风险评价 I. 电子废物焚烧迹地的重金属污染. *生态毒理学报*,2008,3(1):34-41.
- [8] 王世纪,简中华,罗杰. 浙江省台州市路桥区土壤重金属污染特征及防治对策. *地球与环境*,2006,36(1):35-43.
- [9] 尹文英,胡圣豪,沈韞芬. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京:科学出版社,1998.
- [10] 尹文英,张荣祖,殷绥公. *中国土壤动物*. 北京:科学出版社,2000.
- [11] 邓继福,王振中,张友梅,胡觉莲,郑云友,夏卫生. 重金属污染对土壤动物群落生态影响的研究. *环境科学*,1996,17(2):1-5.
- [14] 孙虹霞,刘颖,张古忍. 重金属污染对昆虫生长发育的影响. *昆虫学报*,2007,50(2):178-185.
- [19] 许杰,柯欣,宋静,骆永明. 弹尾目昆虫在土壤重金属污染生态风险评估中的应用. *土壤学报*,2007,44(3):544-549.

CONTENTS

Sex ratio and spatial pattern in *Populus davidiana* in Changbai Mountain ..... PAN Chunfang, ZHAO Xiuhai, XIA Fucui, et al (297)

The relationship between freeze-tolerance and changes in activities of antioxidant enzymes and osmolyte content in the leaves of white clover during early winter freeze-thaw cycles ..... ZHAO Mei, ZHOU Ruilian, LIU Jianfang, et al (306)

Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Losses Plateau ..... WANG Naijiang, LIU Zengwen, XU Zhao, et al (316)

Photosynthetic responses of *Gracilaria lemaneiformis* to two antibiotics ..... JIAN Jianbo, ZOU Dinghui, LIU Wenhua, et al (326)

Litter C:N:P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression ..... PAN Fujing, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (335)

Effects of groundwater depth on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Populus euphratica* in the lower reaches of Tarim River ..... CHEN Yapeng, CHEN Yaning, XU Changchun, et al (344)

Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI ..... SONG Fuqiang, XING Kaixiong, LIU Yang, et al (354)

Effects of fire on the structure of herbage synusia vegetation in desertified steppe, North China ..... HE Haoyu, SU Jieqiong, HUANG Lei, et al (364)

Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG ..... FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, et al (371)

Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity ..... ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng, et al (383)

Diversity of waterbirds and change in home range of bar-headed geese *Anser indicus* during breeding period at Hangcuo Lake of Tibet, China ..... ZHANG Guogang, LIU Dongping, QIAN Fawen, et al (395)

The habitat selection of Giant panda in Wanglang Nature Reserve, Sichuan Province, China ..... KANG Dongwei, KANG Wen, TAN Liuyi, et al (401)

Effects of vigilance on the patterns of functional responses of foraging in voles (*Microtus fortis*) ..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, DENG Kaidong, et al (410)

Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City ..... BAI Yi, SHI Shidi, QI Xin, et al (421)

Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay ..... DU Yongfen, XU Kuidong, LEI Yanli, et al (431)

Population genetic variations and phylogeography of *Macropodus opercularis* ..... WANG Peixin, BAI Junjie, HU Yinchang, et al (441)

Contribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> host plants for the overwintering and 1<sup>st</sup> generation of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern China ..... YE Lefu, FU Xue, GE Feng (449)

Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes ..... BI Shoudong, KE Shengbing, XU Jinfeng, et al (455)

The diversity of ground-dwelling beetles at cultivated land and restored habitats on the Bashang plateau ..... LIU Yunhui, YU Zhenrong, WANG Changliu, et al (465)

Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland ..... NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, et al (474)

Microbial diversity of the jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits surface during harvesting and storage stages ..... SHA Yuexia (483)

Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated CO<sub>2</sub> and temperature ..... LIU Junzhi, GE Yaming, Pugliese Massimo, et al (491)

Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil ..... PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, et al (498)

The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE ..... WU Jiangchao, GAO Xiaoqi, ZENG Jun, et al (506)

The impact of oil pollution on marine phytoplankton community growth change ..... HUANG Yijun, CHEN Quanzhen, ZENG Jiangning, et al (513)

Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress ..... HE Junyu, REN Yanfang, WANG Yangyang, et al (522)

Non-point pollution control for landscape conservation analysis based on CLUE-S simulations in Miyun County ..... PAN Ying, LIU Yunhui, WANG Jing, et al (529)

Analysis on ecological land rent based on ecological footprint ..... LONG Kaisheng, CHEN Ligen, ZHAO Yali (538)

Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen ..... LIU Yufan, CHEN Xue, LI Guicai, et al (547)

**Review and Monograph**

Risk management approaches for environmental and human health risks in the United States and Canada ..... HE Guizhen, LÜ Yonglong (556)

Plant wax and its response to environmental conditions: an overview ..... LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng (565)

Acid corrosion mechanism of the sulfate-reducing bacteria and protecting studies in oilfield ..... ZHUANG Wen, CHU Liye, SHAO Hongbo (575)

Advance in the research of phyllospheric microorganism ..... PAN Jiangang, HU Qing, QI Hongyan, et al (583)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 31 卷 第 2 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 2 2011

**编 辑** 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**主 编** 冯宗炜

**主 管** 中国科学技术协会

**主 办** 中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂

**发 行** 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号

**许 可 证**

**Edited** by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei

**Supervised** by China Association for Science and Technology

**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元