

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

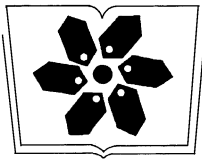
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **2012**

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 32 卷 第 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

## 目 次

- 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例..... 孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
- 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征..... 张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
- 青岛市湿地生态网络评价与构建..... 傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
- 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例..... 叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
- 绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态..... 王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
- 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响..... 何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
- 枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系..... 姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
- 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价..... 邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
- 温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应 ..... 朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
- 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险..... 赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
- 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 ..... 张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
- DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响 ..... 邱临静,郑粉莉,Yin Runsheng (3754)
- 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响..... 郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
- 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例 ..... 陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
- 城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例..... 林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
- 高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例..... 王录仓,高 静 (3795)
- 太湖湖滨带生态系统健康评价..... 李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
- 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量..... 党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
- 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响..... 尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
- 海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择..... 刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
- 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应..... 王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
- 基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究 ..... 金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
- 不同径级油松径向生长对气候的响应..... 姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
- 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布..... 袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
- 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较..... 胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
- 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响..... 黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
- 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究..... 孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
- 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性..... 张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
- 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
- 钝叶枥不同性别花的花部形态与传粉特征比较..... 王 茜,邓洪平,丁 博,等 (3921)
- 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性..... 何奇瑾,周广胜 (3931)
- 烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响..... 樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)

### 专论与综述

- 中国产业共生发展模式的国际比较及对策 ..... 石 磊,刘果果,郭思平 (3950)

### 研究简报

- 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化 ..... 张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
- 杨树人工林生态系统通量贡献区分析..... 金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 330 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 35 \* 2012-06



**封面图说:** 鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com



DOI: 10.5846/stxb201112081879

何先进, 吴鹏飞, 崔丽巍, 张洪芝. 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响. 生态学报, 2012, 32(12): 3701-3713.

He X J, Wu P F, Cui L W, Zhang H Z. Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3701-3713.

## 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响

何先进, 吴鹏飞\*, 崔丽巍, 张洪芝

(西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041)

**摘要:** 为了研究坡度对土壤动物群落的影响, 于 2010 年 3 月和 9 月分别对川中丘陵区坡度为 5°、15°、25° 的 3 种农田土壤动物进行了调查。共采集土壤动物 11657 只, 隶属 4 门 11 纲 21 目, 弹尾目、蜱螨目、颤蚓目和线虫为优势类群。土壤动物群落的类群数在 3 月随坡度增加无显著变化 ( $P>0.05$ ), 9 月则呈波动性上升 ( $P<0.01$ )。群落密度在 3 月随坡度增加而显著下降 ( $P<0.01$ ), 9 月的变化趋势则相反 ( $P<0.05$ )。群落多样性指数在 3、9 两月均随坡度增加呈显著波动性变化 ( $P<0.05$ )。坡度对弹尾目、蜱螨目和线虫等主要类群的密度影响显著 ( $P<0.05$ ), 并具季节差异。主成分分析 (PCA) 结果表明坡度对农田土壤动物的群落结构有明显影响, Sorenson 和 Morisita-Horn 相似性系数进一步表明坡度在 3 月份主要影响土壤动物群落的类群组成, 在 9 月主要影响优势类群的密度。研究结果表明坡度对土壤动物的群落结构、多样性及主要类群的密度有显著影响, 并存在季节差异。

**关键词:** 坡度; 土壤动物; 群落结构; 多样性; 川中丘陵区; 主成分分析

## Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna

HE Xianjin, WU Pengfei\*, CUI Liwei, ZHANG Hongzhi

College of Life Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China

**Abstract:** Three croplands, which all are 5 meters long, at 5°, 15° and 25° slope gradients respectively, were selected in the hilly areas of Central Sichuan Basin in March and September 2010. The investigations were conducted to study the effects of slope gradient on soil fauna. The methods of Tullgren and Baermann were used to extract soil fauna from soil samples (0—15cm). A total of 11 657 individuals, belonging to 3 Phylum, 11 Classes, and 21 Orders, were extracted from the soil. The orders of Springtails, Mites, Tubificida and Nematode were the dominant groups of the soil fauna community in Hilly areas of Central Sichuan Basin. As slope increased, the taxonomic richness of soil fauna was not significantly changed in March ( $P>0.05$ ), but increased significantly in September ( $P<0.01$ ). The community density decreased significantly with the increasing of slope gradient in March ( $P<0.01$ ), but increased in September ( $P<0.05$ ). Diversity indexes fluctuated with slope gradient in March, as well as in September. The abundance of the major taxonomic groups varied in their response to slope increasing. The result of a principal component analysis (PCA) indicated that the community structures of soil fauna differed obviously among three slope gradients. Furthermore, the coefficients of Sorenson and Morisita-Horn suggested that effects of the slope on the taxonomic composition of soil fauna communities were stronger than on the abundance of the dominant groups in March, while the opposite was found in September. The results of ANOVA and *t*-test indicated that both slope and season had a significant effect on the diversities of soil fauna community and the abundance of the major taxa. However, the effects of slope on the diversity also varied with seasons. The results of our

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目 (40801092); 四川省青年基金项目 (2012JQ0030); 科技支撑项目 (2010SZ0126); 教育部科学技术研究重点项目 (209154); 中央高校基本科研业务费专项 (11NZYTH01); 西南民族大学硕士学位点建设项目 (2011XWD-S071012)

**收稿日期:** 2011-12-08; **修订日期:** 2012-04-28

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wupf@swun.cn

research suggested that the slope has a significant effect on the structure and diversity of soil fauna community and the abundance of major groups, which were also changed with the seasons. Further analysis showed that the soil water was the main reason for the differences among the community abundance and the soil erosion for the diversities of soil fauna.

**Key Words:** slope gradient; soil fauna; community structures; diversities; the hilly areas of the Central Sichuan Basin; principal component analysis (PCA)

生物多样性的空间分布格局及其影响因素是生态学研究的一个重要方面<sup>[1-2]</sup>。土壤动物作为陆地生态系统重要组成部分,在物质循环和能量流动方面具有重要作用<sup>[3-4]</sup>。目前,关于环境对土壤动物多样性分布影响的研究已成为生态研究的热点和前沿<sup>[5-6]</sup>。土壤动物对环境变化敏感,其群落组成的差异能够反映环境的细微变化<sup>[7-8]</sup>。影响土壤动物多样性的因素可以分为地下土壤环境因素和地上环境因素,而地上环境因素又包括地形条件、植被和气候等要素<sup>[9]</sup>。地形可通过影响土壤水热组合条件形成小生境,从而影响土壤动物多样性的空间分布格局<sup>[10-11]</sup>。影响小生境的地形因素包括坡度、坡位和坡向<sup>[9]</sup>。坡度作为地形因素中的重要方面,不仅可影响土壤水分含量,还对土壤侵蚀过程有显著影响,从而影响到土壤的养分流失过程<sup>[12]</sup>。已有研究表明,土壤动物与土壤含水量及土壤养分之间关系密切<sup>[13-14]</sup>。因而坡度变化应该会对土壤动物群落产生影响,但目前还未见相关报道,关于坡度与土壤动物群落间的关系还不十分清楚。

川中丘陵区位于四川盆地腹心的丘陵低山区,为四川盆地传统农业区,是国家重要的商品粮基地。区内农田多为坡耕地,广泛分布的紫色泥页岩和砂石岩极易风化崩解、抗蚀力弱,水土流失十分严重。本研究拟通过对川中丘陵区不同坡度农田土壤动物的调查,研究坡度变化对土壤动物群落结构和多样性的影响,揭示影响农田生态系统物质循环和能量流动的有关因素,为促进农田生态系统的管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

观测样地位于四川省盐亭县林山乡的中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站内,东经 105°27',北纬 31°16',地处嘉陵江一级支流——涪江支流弥江、湍江的分水岭上,海拔高度 400—600m。该区属中亚热带湿润季风气候,年均气温 17.3℃,≥10℃年积温 5000—6000℃,年无霜期 297d。年均降雨量 826mm,其中 80%以上集中在 4—9 月;而从 10 月到翌年 3 月,则干旱少雨,降雨量仅占年降雨量的 14.81%,且强度极小。

土壤为钙质紫色土,质地为中壤,土壤 CaCO<sub>3</sub>、有机质、全 N 含量分别为(131.6±4.8)g/kg、(7.8±0.7)g/kg、(0.59±0.3)g/kg,速效氮、速效磷、速效钾分别为(44.72±4.44)mg/kg、(6.94±1.02)mg/kg 和(102.64±5.91)mg/kg,pH 8.83<sup>[15]</sup>。自然植被类型为属于常绿阔叶林亚区中的中亚热带常绿阔叶林。目前以桉木(*Alder cremastogyne*)和柏木(*Cypresses fineries*)混交林为主的人工林广泛分布于丘陵地区。区内主要农作物有水稻、玉米、小麦、甘薯、油菜等。

### 1.2 样地设置

调查样地是位于中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站内的径流实验区。在实验区内选取坡长为 5m,宽度均为 1.5m 的 5°、15°、25°三种坡度径流小区;。每个径流小区四周用水泥砌成边框,边框高出小区地表 10cm。径流小区建在山脚,坡向均为阳面朝向。每个径流小区内的土壤均来自当地的紫色土。2006 年建成起,不同坡度的径流小区上种植的农作物相同,耕作方式依照当地传统农业习惯。这样确保土壤动物群落间的差异是由坡度变化引起的。3 月采样时,小区内是上一年收获后未砍伐的玉米秸秆;9 月采样时,小区内种植着即将成熟的花生。

### 1.3 土壤动物调查

2010 年 3 月和 9 月分别在 3 个不同坡度径流小区的下部对土壤动物进行调查。

采样方法参照《土壤动物研究方法手册》<sup>[16]</sup>,具体方法如下:大型土壤动物的调查采用面积为 50cm×

50cm 的样方,分 0—5,5—10 和 10—15cm 三层取样,用镊子选取大型土壤动物,保存在装有 75% 酒精的收集瓶内。中小型土壤动物的调查采用 300cm<sup>3</sup> 环刀(Φ88mm×h50mm);分 0—5,5—10 和 10—15cm 层采集土样,装入塑料自封袋中带回实验室用 Tullgren 法分离中小型干生土壤动物,Baermann 法分离中小型湿生土壤动物。大型和中小型土壤动物的调查每次均为 5 个重复。

根据《中国土壤动物检索图鉴》<sup>[17]</sup>在 Olympus SZX16 双目体视镜和 Leica DM4000B 光学显微下对土壤动物进行鉴定,对于弹尾目和蜱螨目个体一般鉴定到属,其它类群一般鉴定到科。

#### 1.4 数据分析

将采集到的大型和中小型土壤动物个体数换算成密度。各类群数量优势度的划分:类群密度占总密度 10% 以上者为优势类群,1%—10% 为常见类群,1% 以下为稀有类群<sup>[18]</sup>。

计算以下几个群落多样性指数:

$$\text{Shannon 指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad E = H' / \ln S$$

$$\text{Simpson 优势度指数} \quad C = \sum_{i=1}^s (P_i)^2$$

$$\text{Margalef 丰富度指数} \quad D = (S - 1) / \ln N$$

式中, $S$  为类群数, $P_i$  为第  $i$  种类群个体数在群落总个体数中所占比例。

群落相似性<sup>[19]</sup> 选用 Sorensen 相似性系数对群落相似性进行定性分析,计算公式为:

$$C_s = 2j / (a + b)$$

式中, $j$  为两个群落共有的类群数; $a$  和  $b$  分别为群落  $A$  和群落  $B$  的类群数。Morisita-Horn 相似性系数对群落的物种组成及其个体数进行定量分析,计算公式为:

$$C_{MH} = 2 \sum (a_i b_i) / (d_a + d_b) N_a N_b$$

式中, $N_a$  为群落  $A$  的物种数目, $N_b$  为群落  $B$  的物种数目, $a_i$  和  $b_i$  为  $A$  和  $B$  群落中第  $i$  种的个体数目, $d_a = \sum a_i^2 / N_a^2$ ,  $d_b = \sum b_i^2 / N_b^2$ 。

采用主成分分析(Principal component analysis, PCA)对不同坡度径流小区内土壤动物群落进行排序,排序数据为土壤动物各类群(以目为单位,线虫除外)的个体密度,同一目的成虫和幼虫分作两个类群。为了降低稀有类群对排序结果的影响,去除只出现在一个样方里,且密度低于 10 只/m<sup>2</sup> 的类群。分析作图采用 CANOCO 4.5 软件。

利用双因素方差分析(Two-way ANOVA)检验坡度和季节两个因子对径流小区内土壤动物群落多样性及各类群密度的总体性影响。用单因素方差分析(One-way ANOVA)分别对 3 月和 9 月的不同坡度间土壤动物群落多样性差异进行检验,如果差异显著则用 LSD(方差齐性)法或 Tamhane 法(方差不齐)进行多重比较。不服从正态分布的数据,利用  $\log(X+1)$  转换,如果仍不服从正态分布,则进行 Kruskal Wallis Test(H)非参数检验。

数据处理和分析采用 Excel 2007 和 SPSS 13 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤动物群落组成

两次调查共收集到土壤动物 11 657 只,分属 4 门 11 纲 21 目(附表 1)。在目分类阶元上,弹尾目(Collembola)占总个体数的 33.97%,蜱螨目(Acarina)占 30.50%,颤蚓目(Tubificida)占 16.15%,线虫纲(Nematode)占 13.39%,为优势类群;双翅目幼虫(Dipteralarvas)占 2.58%,为常见类群;其它类群为稀有类群,共占 3.41%。群落平均密度为 14390.87 个/m<sup>2</sup>。

在目以下的分类阶元中,裔符蛭属(*Folsomides*)和线蚓科(Enchytraeidae)分别占 19.56% 和 15.19%,为优势类群;常见类群包括奥斯甲螨属(*Ocesobates*)、盖头甲螨属(*Tectocepheus*)、符蛭属(*Folsomia*)、盾螨科

(Scutacaridae)、隐颚螨科 (Cryptognathidae)、奥甲螨属 (*Oppia*)、拟上罗甲螨属 (*Epilohmannoides*) 等 14 类,共占总体的 21.32%。

2.2 土壤动物群落多样性

土壤动物群落多样性在不同坡度间存在一定的变化,并有季节差异(图 1)。3 月,类群数和丰富度指数随坡度增加而增加,其它多样性指数则呈波动性变化;9 月,密度呈逐渐增加趋势,均匀度无明显变化趋势,其他指数呈波动性变化。双因素方差分析结果(表 1)表明坡度和季节均对土壤动物多样性有显著影响,单因素方差分析结果表明在不同季节内坡度对土壤动物群落多样性的影响存在一定的差异,进一步的 *t*-检验表明土壤动物群落多样性的季节动态在不同坡度间也存在差异(图 1)。

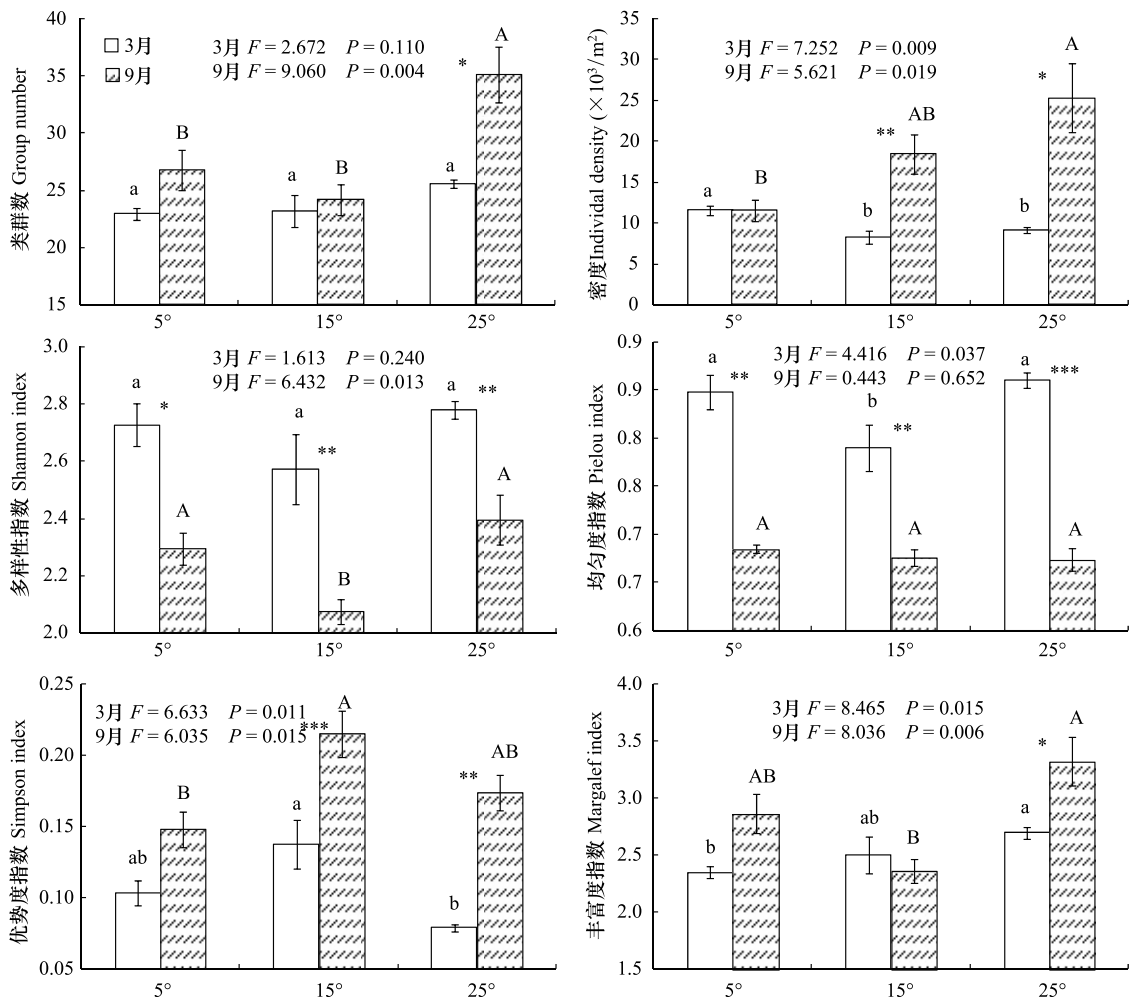


图 1 不同坡度农田土壤动物群落多样性(平均值±标准误)

Fig. 1 Diversities of soil fauna communities in different slope croplands (mean ±SE)

不同字母表示同一月份不同坡度间差异显著( $P<0.05$ ),\*\*\*、\*\*和\*表示同一坡度不同季节间差异显著水平分别为 $P<0.001$ 、 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ ;3 月的 Marglef 丰富度指数使用 Kruskal Wallis Test(H)非参数检验,类群数、Marglef 丰富度指数和其它类群密度数据使用 Tamhane 法进行多重比较

表 1 土壤动物多样性指数随坡度、季节变化双因素方差分析(*F* 值)

Table 1 Two-way ANOVA for the effects of season and slope on soil fauna communities (*F*-value)

项目 Item	类群数 Group number	密度 Density	多样性指数 Shannon index	均匀度指数 Pielou index	优势度指数 Simpson index	丰富度指数 Marglef index
月份 Month	14.121 ***	40.249 ***	48.041 ***	205.031 ***	55.309 ***	6.888 *
坡度 Slope	10.481 ***	4.224 *	7.417 **	5.024 *	9.143 ***	8.987 ***
月份×坡度 Month×Slope	3.133	8.827 ***	0.004	4.156 *	1.345	3.180

\*\*\*  $P<0.001$ ; \*\*  $P<0.05$ ; \*  $P<0.01$

### 2.3 主要类群的变化

为了分析坡度对土壤动物群落各主要类群影响,把土壤动物群落组成为弹尾纲、蛛形纲(主要是蜱螨目)、线虫纲、昆虫纲、寡毛纲(主要是线蚓科)和其他类群 6 大类。不同坡度和月份间各类群的密度变化情况如图 2。3 月,15°小区内寡毛纲密度最高,其他 5 个类群的密度较低;9 月,弹尾纲、蛛形纲和其他类群的密度随坡度增加呈增加趋势,另外 3 个类群的密度呈波动性变化。双因素方差分析结果(表 2)表明坡度和季节对各类群的密度均有显著影响;单因素方差分析和  $t$ -检验的结果表明坡度对各类群密度的影响存在季节差异,而季节对各类群密度的影响在不同坡度间也存在差异(图 2)。由此可知,坡度对土壤动物各类群的影响不同,并受季节影响。

表 2 土壤动物主要类群密度季节、坡度变化双因素方差分析( $F$ )

Table 2 Two-way ANOVA for the effects of season and slope on the densities of the major groups

来源 Source	弹尾纲 Collembola	蛛形纲 Arachnida	线虫纲 Nematoda	昆虫纲 Insecta	寡毛纲 Oligochaeta	其他 Others
月份 Month	21.699 ***	8.696 **	10.880 **	12.453 **	10.162 **	91.590 ***
坡度 Slope	6.855 **	7.753 **	4.336 *	10.479 ***	9.253 ***	9.551 ***
月份×坡度 Month×Slope	36.263 ***	1.961	15.985 ***	0.520	10.836 ***	2.170

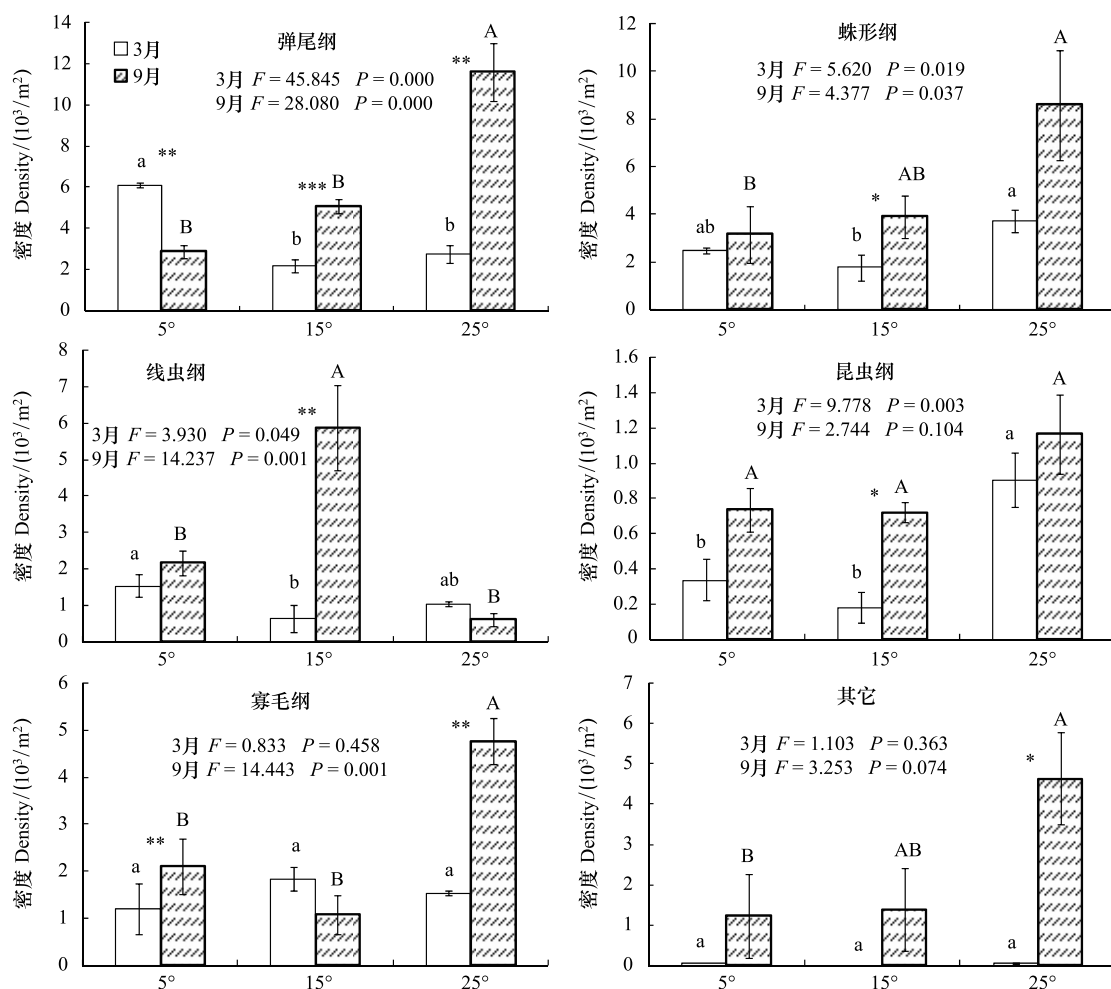


图 2 不同坡度农田土壤动物主要类群密度(平均值±标准误)

Fig. 2 Densities of the major groups of soil fauna in different slope croplands (Mean ± SE)



2.4 群落结构差异

主成分分析对 3 个坡度径流小区土壤动物群落的样方和物种排序结果如图 3。排序图中样方间的距离反映群落结构相似程度的大小;箭头的方向代表数量增加,原点代表物种分布的平均值,箭头的负方向代表物种数量低于平均值;从样方向箭头的线段作垂线,垂点到原点的距离代表样方内这个种的相对数量。箭头之间,或箭头与排序轴之间的夹角大小表示相关性的高低;如果夹角接近直角,表示相关性很小。

3 月,排序轴 PC1 把 5° 的土壤动物样方与 15°、25° 明显分开,排序轴 PC2 则把 5°、15° 和 25° 三者的土壤动物均分开。弹尾目和线虫与排序轴 PC1 夹角小,表明排序轴 PC1 主要反映这两个类群数量的变化。5° 的样方分布在弹尾目和线虫的箭头所指方向,而其他样方都在这两个箭头的负方向,表明这两个类群在 5° 小区内密度最高。同理,在 25° 小区内蜉蝣目密度最大。

9 月,排序轴 PC1 和 PC2 将三个坡度的样方明显分开。从箭头与样方的关系可知,25° 小区内弹尾目、蜉蝣目、颤蚓目的密度较大,在 15° 小区内线虫密度最大。

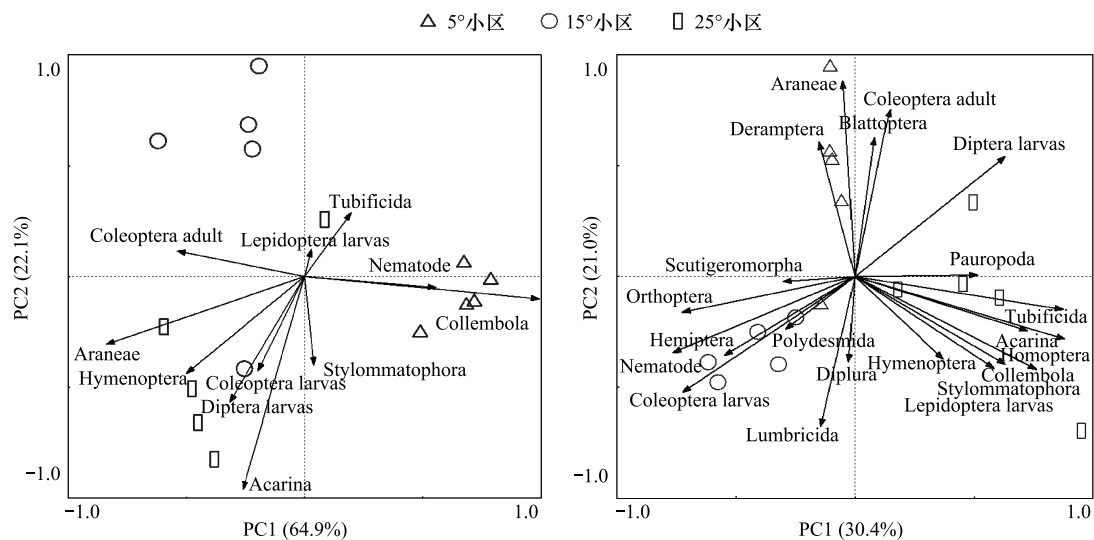


图3 径流小区内土壤动物群落主成分分析排序图

Fig. 3 PCA ordination performed on soil fauna communities in 15 samples respectively in Mar. and Sep.

2.5 群落相似性

3 月,3 种坡度间的 Morisita-Horn 相似性系数均高于 Sorenson 系数(表 3),表明不同坡度间土壤动物群落类群组成差异较大,而优势类群密度的差异较小。9 月,坡度间的相似性情况则与 3 月相反,表明不同坡度间土壤动物优势类群的密度差异较大,尤其是 25° 小区差异最大。

3 种坡度间土壤动物群落 Sorenson 季节相似性随坡度增加呈波动性增加;Morisita-Horn 季节相似性随坡度增加呈下降趋势(表 4)。表明季节对土壤动物群落组成类群的影响随坡度增加而减弱,对优势类群密度的影响则随坡度的增加而增强。

表 3 不同坡度径流小区间土壤动物群落相似性

		Table 3 Similarities between soil fauna communities in different slope croplands					
坡度 Slope	3 月 March			9 月 September			
	5°	15°	25°	5°	15°	25°	
5°	*	0.63	0.68	*	0.64	0.25	
15°	0.53	*	0.83	0.50	*	0.46	
25°	0.43	0.50	*	0.61	0.65	*	

对角线之上为 Morisita-Horn 相似性系数,之下为 Sorenson 相似性系数



表 4 不同径流小区土壤动物群落季节相似性

Table 4 Similarities between soil fauna communities in different seasons					
Sorenson 相似指数			Morisita-Horn 相似指数		
5°	15°	25°	5°	15°	25°
0.274	0.235	0.376	0.536	0.173	0.052

3 讨论

3.1 坡度对土壤动物群落类群组成的影响

在 3 月坡度对土壤动物群落类群数没有显著影响,但是 Sorenson 相似性系数偏低(表 3),说明在降雨少的季节 3 个坡度间的土壤动物群落总类群数差异较小,但组成类群差异较大。在 9 月土壤动物类群数随坡度增加而增加,25°的类群数显著高于另外两个坡度,且 3 个坡度均高于 3 月。这表明,9 月的湿热气候使土壤动物类群数增加<sup>[20]</sup>;且在降雨多的季节坡度较大的农田适宜更多类群的土壤动物生存。25°小区中土壤动物类群多的原因和其密度较大的原因相似,分析见 3.2 节。

3.2 坡度对土壤动物群落密度的影响

3 月,5°小区土壤动物密度显著高于 15°和 25°,其原因是弹尾目、蛴螬目和线虫在 5°小区内密度较高(图 2)。弹尾目和蛴螬目虽然是干生类群,但是由于气管系统不发达仍然需要在高湿的条件下才能呼吸,在土壤水分较少的情况下弹尾目和蛴螬目密度随湿度增加而增大<sup>[16,21]</sup>。线虫属于湿生类群,生活于土壤孔隙水中<sup>[22]</sup>。有研究表明,川中丘陵区紫色土降雨入渗率随坡度增加而降低<sup>[23]</sup>。在降雨量较小的旱季,雨水很难使土壤达到饱和吸水,坡度小则有利于土壤吸收水分。因此,在 3 月 5°小区的土壤动物群落密度高于 15°和 25°两个小区。

9 月,25°小区土壤动物密度显著高于 5°小区主要是因弹尾目、蛴螬目和寡毛纲的线蚓科密度较大。弹尾目、蛴螬目和线蚓科的很多类群受水分限制是双向的,土壤水分缺乏时随湿度增加而增大,在土壤水分充沛时则随湿度增加而降低<sup>[16,21,24]</sup>。川中丘陵区的 9 月雨水相对丰富,坡度较大的农田地表径流大、入渗较小,土壤含水量相对较低,因而 25°小区更有利于土壤动物生存,因此土壤动物密度和类群数也相对较多。

与其他类群不同的是,15°小区的线虫密度显著高于其他两个坡度。从坡度对土壤含水量的影响来分析,15°小区的土壤含水量应介于 5°和 25°之间。研究表明线虫数量与土壤含水量关系密切,不同类群的线虫对土壤含水量的需求不尽相同<sup>[24-25]</sup>,而线虫群落密度的变化主要受优势类群密度变化决定。本研究结果显示该区域的线虫群落优势类群为矛线目的垫咽科(Tylencholaimidae)和长针科(Longidoridae)(主要为植食性)和小杆目(食细菌性),这与气候、土壤及地形条件都相近的湖南紫色土区的调查结果<sup>[27-28]</sup>基本一致。Schmitt 研究显示,土壤过湿会降低植食性线虫密度<sup>[25]</sup>;其他研究也表明排水能力好的土壤中,食细菌线虫的密度高于淹水状态下的密度<sup>[29-30]</sup>。其原因可能是处于淹水状态下的土壤会产生一些对线虫不利的丁酸、丙酸、硫化氢等化学物质<sup>[31]</sup>。9 月份线虫的最大密度出现在 15°小区,表明了其具有湿生性的特征,同时也反映出土壤过湿可对其产生不利影响。

需要指出的是,坡度还可影响土壤侵蚀强度<sup>[32]</sup>和养分流失速度<sup>[33]</sup>等,这也可对土壤动物产生间接影响。但是土壤侵蚀和养分流失造成的影响不可逆,那不同坡度间的差异不会随季节而变化;而坡度通过影响土壤含水量,对土壤动物群落产生的影响则可能随降雨得季节变化而产生季节差异。本研究中,不同坡度间土壤动物群落的差异受季节变化影响(图 1、图 2),说明坡度主要是通过影响土壤含水量对土壤动物产生影响的。

3.3 坡度对土壤动物群落多样性指数的影响

坡度变化对土壤动物群落多样性指数影响显著(图 1),与密度变化趋势不同的是土壤动物群落多样性指数随坡度的变化趋势在两个季节是一致的。3 月 15°小区的 Pielou 均匀度指数最低,而 Simpson 优势度指数最高;9 月 15°小区 Shannon 多样性指数最低,Simpson 优势度指数最高。表明 15°小区内土壤动物群落优势类群密度较大,而常见类群和稀有类群的密度偏低。土壤动物多样性能反映受干扰的程度,强干扰会减少稀有

类群及其密度,而对优势类群密度影响不大<sup>[34]</sup>。因此可以认为,15°径流小区内的土壤动物受到的干扰强度大于其他两个小区。研究表明,坡面土壤受雨水侵蚀的强度与坡度大小关系紧密<sup>[32]</sup>,且坡度的影响并不是随坡度增加而持续增大,当达到临界坡度后,侵蚀强度随坡度增加而降低<sup>[32]</sup>。相关研究显示,川中丘陵区降雨侵蚀的临界坡度在10°—25°之间<sup>[32,35]</sup>。因此,土壤动物多样性指数随坡度增加的波动变化可能与不同坡度的侵蚀强度有关。

## References:

- [1] Hooper D U, Bignell D E, Brown V K. Interactions between Aboveground and Belowground Biodiversity in Terrestrial Ecosystems: Patterns, Mechanisms, and Feedbacks. *Biology science*, 2000,50(12):1049-1061.
- [2] Green J, Bohannan B J M. Spatial scaling of microbial biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 2006,21(9):501-507.
- [3] Tian G, Adejuyigbe C O, Adeoye G O, Kang B T. Role of soil microarthropods in leaf decomposition and N release under various land-use practices in the humid tropics. *Pedobiologia*,1998,24(1):33-42.
- [4] Anderson J M. Succession diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. *Animal Ecology*,1975,44(2):475-495.
- [5] Kardol P, Reynolds W N, Norby R J, Classen A T. Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. *Applied Soil Ecology*, 2011,47(1):37-44
- [6] Minor M A, Cianciolo J M. Diversity of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) along a gradient of land use types in New York. *Applied Soil Ecology*, 2007,35(1):140-153
- [7] Knoepp J D, Coleman D C, Crossley D A Jr., Clark J S. Biological indices of soil quality: An ecosystem case study of their use. *Forest Ecology and Management*, 2000,138(1/3):357-368.
- [8] Cortet J, Vauflery A G, Poinso-Balaguer N, Gomot L, Texier C, Cluzeau D. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology*, 1999,35(3):115-134.
- [9] Wang Y, Wei W, Yang X Z, Chen L D, Yang L. Interrelationships between soil fauna and soil environmental factors in China: Research advance. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010,21(9):2441-2448.
- [10] Tews J, Brose U, Grimm V, Tielbörger K, Wichmann M C, Schwager M, Jeltsch F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 2004,31(1):79-92.
- [11] Liu J L, Li F R. Slope Direction and Topographic Position Interact to Shape Spatial Distribution of Soil Macrofauna in a Temperate Secondary Forest, China. *Journal of Desert Research*, 2008,28(6):1104-1112.
- [12] Zingg A W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering*, 1940,21(2):59-64.
- [13] Wu Y H, Cai Q N, Lin C W, Huang J J, Cheng X. Effects of terrace hedgerows on soil macrofauna diversity. *Acta Ecologica Sinica*,2009,29(10):5320-5329.
- [14] Lin Y H, Yang X Y, Zhang F D, Gu Q Z, Sun B H, Ma L J. Effect of Long-Term Fertilization on Cropland Soil Fauna Community in Loess Soil, Shanxi, China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005,38(6):1213-1218.
- [15] Xu T P, Zhu B, Wang T, Kuang F H. Effects of Returned Straw on Nutrient Loss from Slope Cropland of Purple Soil. *Journal of Soil and Water Conservation*,2006,20(1):30-32.
- [16] Committee of Handbook of Soil Fauna Research Methods. *Handbook of Soil Fauna Research Methods*. Beijing: Chinese Forestry Press,1998:24-34.
- [17] Yin W Y. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [18] Lin Y H, Liu H, Zhang S Q, Zhang F D. Abundance and Diversity of Crop Soil Insect Community at Different Fertilizer in Xinjiang. *Scientia Agricultura Sinica*,2007,40(7):1432-1438.
- [19] Zapack L, Engwald S, Sonke B, Achoundong G, Madong B A. The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. *Biodiversity and Conservation*, 2002,11(11):2047-2061.
- [20] Yin X Q. *Study on Forest Soil Animals in Northeast China*. Changchun: Northeast Normal University Press, 2001.
- [21] Lin Y H, Zhang F D, Yang X Y, Bao D J, Shi X J, Wang S J, Wang B R. Study on the relationship between agricultural soil fauna and soil physicochemical properties. *Scientia Agricultural Sinica*, 2004,37(6):871-877.
- [22] Wasilewska L. Soil invertebrates as bioindicators: with special reference to soil-inhabiting nematodes. *Russian Journal of Nematology*, 1997,5(2):113-126.

- [23] Fu B, Wang Y K, Zhu B, Wang D J, Wang X T, Wang X Q, Ren Y. Experimental study on rainfall infiltration in sloping farmland of purple soil. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(7): 39-43.
- [24] Sinka M, Jones T H, Hartley S E. The indirect effect of above-ground herbivory on Collembola populations is not mediated by changes in soil water content. *Applied soil ecology*, 2007, 36 (2/3): 92-99.
- [25] Schmitt D P, Norton D C. Relationships of plant parasitic nematodes to sites in native Iowa prairies. *Journal of Nematology*, 1972, 4(3): 200-205.
- [26] Todd T C, Blair J M, Milliken G A. Effects of altered soil-water availability on a tallgrass prairie nematode community. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13(1): 45-55.
- [27] Yuan J R, Zhu Y A, Lin Z G, Zhu X. Community Structure of Soil Animals in Leanness Soil in Hunan Hengyang. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2005, 28(2): 70-75.
- [28] Yuan J R, Zhu X, Zhu Y A, Lin Z G. A Study on Community Diversity of Soil Animals in Purple Soil of Changning City, *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2006, 32(2): 164-168.
- [29] Li XX, Wu H Y, Shi L B. Effects of irrigation on nematode communities in wheat field. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2007, 33(4): 413-418.
- [30] Ou W, Li Q, Liang W J, Jiang Y, Wen D Z. Effects of water managements on soil nematode communities in a paddy field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1921-1925.
- [31] Zhu H J. *Paddy soil*. Beijing, Agriculture press, 1985: 35-132.
- [32] Fu B, Wang Y K, Xu P, Wang D J. Changes in overland flow and sediment during simulated rainfall events on cropland in hilly areas of the Sichuan Basin, China. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(11): 1613-1618.
- [33] Fu T, Ni J P, WEI C F, Xie D T. Research on the nutrient loss from purple soil under different rainfall intensities and slopes. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2003, 9(1): 71-74.
- [34] Yin X Q, Song B, Dong W H, Xin W D. A Review on the Eco-geography of Soil Fauna in China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 91-102.
- [35] Geng X D, Zheng F L, Liu L. Effect of rainfall intensity and slope gradient on soil erosion process on purple soil hill slopes. *Journal of Sediment Research*, 2010, 12(6): 48-53.

#### 参考文献:

- [9] 王移, 卫伟, 杨兴中, 陈利顶, 杨磊. 我国土壤动物与土壤环境要素相互关系研究进展. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 2441-2448.
- [11] 刘继亮, 李锋瑞. 坡向和微地形对大型土壤动物空间分布格局的影响. *中国沙漠*, 2008, 28(6): 1104-1112.
- [13] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 黄晶晶, 程序. 地埂植物篱对大型土壤动物多样性的影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5320-5329.
- [14] 林英华, 杨学云, 张夫道, 古巧珍, 孙本华, 马路军. 长期施肥对黄土区农田土壤动物群落的影响. *中国农业科学*, 2005, 38(6): 1213-1218.
- [15] 徐泰平, 朱波, 汪涛, 况福虹. 秸秆还田对紫色土坡耕地养分流失的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 30-32.
- [16] 《土壤动物研究方法手册》编写组. *土壤动物研究方法手册*. 北京: 中国林业出版社, 1998: 24-34.
- [17] 尹文英. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京: 科学出版社, 1998.
- [18] 林英华, 刘骅, 张树清, 张夫道. 新疆农田不同施肥区土壤昆虫群落丰富性与多样性. *中国农业科学*, 2007, 40(7): 1432-1438.
- [20] 殷秀琴. *东北森林土壤动物研究*. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [21] 林英华, 张夫道, 杨学云, 宝德俊, 石孝均, 王胜佳, 王伯仁. 农田土壤动物与土壤理化性质关系的研究. *中国农业科学*, 2004, 37(6): 871-877.
- [23] 傅斌, 王玉宽, 朱波, 王道杰, 王先拓, 王勇强, 任熠. 紫色土坡耕地降雨入渗试验研究. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 39-43.
- [27] 袁金荣, 朱雅安, 林仲桂, 朱巽. 湖南衡阳地区紫色页岩土土壤动物群落多样性研究. *湖南师范大学自然科学学报*, 2005, 28(2): 70-75.
- [28] 袁金荣, 朱巽, 朱雅安, 林中桂. 湖南常宁市紫色土土壤动物群落多样性研究. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2006, 32(2): 164-168.
- [29] 李秀侠, 吴海燕, 时立波. 灌溉对麦田土壤线虫区系的影响. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2007, 33(4): 413-418.
- [30] 欧伟, 李琪, 梁文举, 姜勇, 闻大中. 稻田不同水分管理方式对土壤线虫群落的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1921-1925.
- [31] 朱鹤健. *水稻土*. 北京: 农业出版社, 1985: 35-132.
- [33] 傅涛, 倪九派, 魏朝富, 谢德体. 不同雨强和坡度条件下紫色土养分流失规律研究. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1): 71-74.
- [34] 殷秀琴, 宋博, 董炜华, 辛未冬. 我国土壤动物生态地理研究进展. *地理学报*, 2010, 65(1): 91-102.
- [35] 耿晓东, 郑粉莉, 刘力. 降雨强度和坡度双因子对紫色土坡面侵蚀产沙的影响. *泥沙研究*, 2010, 12(6): 48-53.



附表 1 川中丘陵区不同坡度农田土壤动物类群和数量组成

Appendix table 1 Group composition and quantitative distribution of soil fauna in indifferent slope croplands in hilly areas of the Central Sichuan Basin

类群 Taxon	坡度 Slope 25°		坡度 Slope 15°		坡度 Slope 5°		合计 Total	
	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%
弹尾纲 Collembola 33.97%								
弹尾目 Collembola								
裔符蟧属 <i>Folsomides</i>	4861.11	25.908	2194.44	17.779	1388.89	11.510	2814.81	19.560
符蟧属 <i>Folsomia</i>	472.22	2.517	83.33	0.675	555.56	4.604	370.37	2.574
长蟧属 <i>Entomobrya</i>	111.11	0.592	583.33	4.726			231.48	1.609
库蟧属 <i>Coloburella</i>			111.11	0.900	500.00	4.144	203.70	1.416
小等蟧属 <i>Isotomiella</i>	55.56	0.296			527.78	4.374	194.44	1.351
圆蟧科 Sminthuridae	277.78	1.480	83.33	0.675	55.56	0.460	138.89	0.965
镰蟧属 <i>Drepanura</i>	222.22	1.184			83.33	0.691	101.85	0.708
类符蟧属 <i>Folsomia</i>			55.56	0.450	250.00	2.072	101.85	0.708
球角蟧属 <i>Hypogastrura</i>	55.56	0.296	111.11	0.900	111.11	0.921	92.59	0.643
刺蟧属 <i>Acanthocyrtus</i>					222.22	1.842	74.07	0.515
棘蟧属 <i>Onychiurus</i>			111.11	0.900	111.11	0.921	74.07	0.515
土蟧属 <i>Tullbergia</i>	138.89	0.740	83.33	0.675			74.07	0.515
副蟧属 <i>Paranura</i>					166.67	1.381	55.56	0.386
近缺蟧属 <i>Paranurophorus</i>			111.11	0.900	55.56	0.460	55.56	0.386
等节蟧属 <i>Isotoma</i>	27.78	0.148	27.78	0.225	83.33	0.691	46.30	0.322
原等蟧属 <i>Proisotoma</i>	55.56	0.296	27.78	0.225	55.56	0.460	46.30	0.322
长角长蟧属 <i>Orchesellides</i>	27.78	0.148			111.11	0.921	46.30	0.322
跳虫属 <i>Podura</i>	55.56	0.296			55.56	0.460	37.04	0.257
驼蟧属 <i>Cyphoderus</i>	111.11	0.592					37.04	0.257
隐蟧属 <i>Cryptopygus</i>	111.11	0.592					37.04	0.257
鳞蟧属 <i>Tomocerus</i>			55.56	0.450			18.52	0.129
奇蟧属 <i>Xenylla</i>					55.56	0.460	18.52	0.129
二刺蟧属 <i>Uzelia</i>					27.78	0.230	9.26	0.064
拟缺蟧属 <i>Pseudanurophorus</i>	27.78	0.148					9.26	0.064
蛛形纲 Arachnida								
蜱螨目 Acarina 30.50%								
奥斯甲螨属 <i>Ocesobates</i>	722.22	3.849	527.78	4.276	388.89	3.223	546.30	3.796
盖头甲螨属 <i>Tectocepheus</i>	555.56	2.961	27.78	0.225	694.44	5.755	425.93	2.960
盾螨科 Scutacaridae	750.00	3.997	27.78	0.225	138.89	1.151	305.56	2.123
隐颚螨科 Cryptognathidae	388.89	2.073	305.56	2.476	83.33	0.691	259.26	1.802
奥甲螨属 <i>Oppia</i>	277.78	1.480	361.11	2.926	138.89	1.151	259.26	1.802
拟上罗甲螨属 <i>Epilohmannoides</i>	500.00	2.665	111.11	0.900	138.89	1.151	250.00	1.737
寄螨科 Parasitidae	305.56	1.628	194.44	1.575	222.22	1.842	240.74	1.673
上罗甲螨属 <i>Epilohmannia</i>	138.89	0.740	361.11	2.926	55.56	0.460	185.19	1.287
厚厉螨科 Pachylaelapidae	388.89	2.073	27.78	0.225	55.56	0.460	157.41	1.094
长须螨科 Stigmaeidae	333.33	1.777	83.33	0.675	55.56	0.460	157.41	1.094
美绥螨科 Ameroseiidae	166.67	0.888	166.67	1.350	55.56	0.460	129.63	0.901
足肋甲螨属 <i>Podoribates</i>	194.44	1.036	138.89	1.125			111.11	0.772
异藤岛螨属 <i>Heteroteneriffia</i>	83.33	0.444	55.56	0.450	138.89	1.151	92.59	0.643
厉螨科 Laeclapidae	138.89	0.740	55.56	0.450	55.56	0.460	83.33	0.579
囊螨科 Ascidae	55.56	0.296			166.67	1.381	74.07	0.515

续表

类群 Taxon	坡度 Slope 25°		坡度 Slope 15°		坡度 Slope 5°		合计 Total	
	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%
绥螨科 Sejidae	27.78	0.148	27.78	0.225	166.67	1.381	74.07	0.515
小赫甲螨属 <i>Hermanniella</i>	111.11	0.592			83.33	0.691	64.81	0.450
直卷甲螨属 <i>Archoplophora</i>	55.56	0.296	83.33	0.675	55.56	0.460	64.81	0.450
弓奥甲螨属 <i>Arcoppia</i>			166.67	1.350			55.56	0.386
跗线螨科 Tarsonemidae	111.11	0.592	27.78	0.225	27.78	0.230	55.56	0.386
吸螨科 Bdellidae	138.89	0.740					46.30	0.322
矮蒲螨科 Pygmephoridae	111.11	0.592	27.78	0.225			46.30	0.322
表刻螨科 Epicriidae	55.56	0.296	83.33	0.675			46.30	0.322
奇矮螨属 <i>Allopygmephorus</i>	27.78	0.148	27.78	0.225	83.33	0.691	46.30	0.322
小大翼甲螨属 <i>Galumnella</i>	83.33	0.444	27.78	0.225	27.78	0.230	46.30	0.322
真罗甲螨属 <i>Eulohmannia</i>	55.56	0.296			83.33	0.691	46.30	0.322
植绥螨科 Phytoseiidae	27.78	0.148	27.78	0.225	83.33	0.691	46.30	0.322
步甲螨属 <i>Carabodes</i>	111.11	0.592					37.04	0.257
刀肋甲螨属 <i>Cultroribula</i>	55.56	0.296	55.56	0.450			37.04	0.257
厚颚螨科 Pachygnathidae	83.33	0.444			27.78	0.230	37.04	0.257
派盾螨科 Parholaspidae	111.11	0.592					37.04	0.257
巨须螨科 Cunaxidae			83.33	0.675			27.78	0.193
丽甲螨属 <i>Liacarus</i>	83.33	0.444					27.78	0.193
盲甲螨属 <i>Malaconothrus</i>	27.78	0.148	55.56	0.450			27.78	0.193
原大翼甲螨属 <i>Protokalumna</i>	83.33	0.444					27.78	0.193
副镰螯螨科 Paratydeoidea	55.56	0.296					18.52	0.129
裂甲螨属 <i>Meristacarus</i>					55.56	0.460	18.52	0.129
四奥甲螨属 <i>Quadroppia</i>	27.78	0.148			27.78	0.230	18.52	0.129
尾足螨科 Uropodidae	55.56	0.296					18.52	0.129
纹奥甲螨属 <i>Striatoppia</i>	27.78	0.148			27.78	0.230	18.52	0.129
半懒甲螨属 <i>Heminothrus</i>			27.78	0.225			9.26	0.064
大赤螨科 Angstidae			27.78	0.225			9.26	0.064
缝甲螨属 <i>Hypochthonius</i>	27.78	0.148					9.26	0.064
古甲螨属 <i>Palaeacarus</i>	27.78	0.148					9.26	0.064
滑缝甲螨属 <i>Liochthonius</i>	27.78	0.148					9.26	0.064
全大翼甲螨属 <i>Pergalumna</i>			27.78	0.225			9.26	0.064
全罗甲螨属 <i>Perlohmannia</i>	27.78	0.148					9.26	0.064
三皱甲螨属 <i>Rhysotritia</i>	27.78	0.148					9.26	0.064
携卵螨科 Labidostommatoidea					27.78	0.230	9.26	0.064
新肋甲螨属 <i>Neoribates</i>			27.78	0.225			9.26	0.064
真前翼甲螨属 <i>Eupelops</i>	27.78	0.148					9.26	0.064
真伊螨科 Eriphididae			27.78	0.225			9.26	0.064
真足螨科 Eupodidae	27.78	0.148					9.26	0.064
蜘蛛目 Araneae 0.02%								
弱蛛科 Category	1.33	0.007	0.67	0.005	1.33	0.011	1.11	0.008
狼蛛科 Lycosidae	0.67	0.004			1.33	0.011	0.67	0.005
逍遥蛛科 Philodromidae	0.67	0.004					0.22	0.002
蟹蛛科 Thomisidae					0.67	0.006	0.22	0.002
地蛛科 Atypidae			0.50	0.004			0.17	0.001

续表

类群 Taxon	坡度 Slope 25°		坡度 Slope 15°		坡度 Slope 5°		合计 Total	
	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%
寡毛纲 Oligochaeta 16.16%								
颤蚓目 Tubificida 16.15%								
线蚓科 Enchytraeidae	3222.22	17.173	1667.33	13.508	1666.67	13.812	2185.41	15.186
仙女虫科 Naididae	55.56	0.296			361.11	2.993	138.89	0.965
正蚓目 Lumbricida 0.01%								
正蚓科 Lumbricidae	0.67	0.004	1.33	0.011			0.67	0.005
链胃蚓科 Moniligastridae			0.67	0.005	0.67	0.006	0.44	0.003
巨蚓科 Megascolecidae					0.67	0.006	0.22	0.002
线虫纲 Nematode 13.39%	861.78	4.593	3055.56	24.755	1861.11	15.424	1926.15	13.385
昆虫纲 Insecta 4.56%								
双翅目幼虫 Diptera larvae 2.58%								
尖眼蕈蚊科 Sciaridae	222.22	1.184			166.67	1.381	129.63	0.901
剑虻科 Therevidae			333.33	2.701			111.11	0.772
摇蚊科 Chironomidae	139.56	0.744					46.52	0.323
蝇科 Muscidae	0.67	0.004			55.56	0.460	18.74	0.130
鹬虻科 Rhagionidae					55.56	0.460	18.52	0.129
蚤蝇科 Phoridae	27.78	0.148	27.78	0.225			18.52	0.129
虻科 Tabanidae			27.78	0.225			9.26	0.064
舞虻科 Empididae	27.78	0.148					9.26	0.064
蚜蝇科 Syrphidae	27.78	0.148					9.26	0.064
膜翅目 Hymenoptera 0.72%								
路舍蚁属 Tetramorium	194.44	1.036	1.17	0.009	56.22	0.466	83.94	0.583
双节行军蚁属 Aenictus	55.56	0.296					18.52	0.129
拟猛切叶蚁属 Tetraponera			0.67	0.005	0.67	0.006	0.44	0.003
鞘翅目 Coleoptera 0.77%								
隐翅虫科幼虫 Staphylinidae larvae	27.78	0.148	55.56	0.450	27.78	0.230	37.04	0.257
隐翅甲科成虫 Staphylinidae adult	55.56	0.296			27.78	0.230	27.78	0.193
步甲科幼虫 Carabidae larvae	56.89	0.303					18.96	0.132
金龟甲科幼虫 Scarabaeidae larvae	6.67	0.036	27.78	0.225			11.48	0.080
粪金龟科成虫 Geotrupidae adult					27.78	0.230	9.26	0.064
步甲科成虫 Carabidae adult	1.33	0.007	3.33	0.027	3.33	0.028	2.67	0.019
金龟甲科成虫 Scarabaeidae adult		3.33	0.027	4.67	0.039	2.67	0.019	
象甲科幼虫 Curculionidae larvae		0.50	0.004	0.67	0.006	0.39	0.003	
叶甲科幼虫 Chrysomelidae larvae				0.67	0.006	0.22	0.002	
葬甲科成虫 Silphidae adult	0.67	0.004					0.22	0.002
半翅目 Hemiptera 0.28%								
土蝽科 Cydnidae	0.67	0.004	28.44	0.230	0.67	0.006	9.93	0.069
宽蝽科 Veliidae	1.33	0.007	0.67	0.005	2.67	0.022	1.56	0.011
奇蝽科 Enicocephalidae			0.67	0.005			0.22	0.002
网蝽科 Tingidae					0.67	0.006	0.22	0.002
同翅目 Homoptera 0.19%	83.33	0.444					27.78	0.193
鳞翅目 Lepidoptera 0.14%								
夜蛾科幼虫 Noctuidae larvae	28.44	0.152			0.67	0.006	9.70	0.067
掌舟蛾属幼虫 Phaleralarvae	27.78	0.148	0.67	0.005			9.48	0.066
尺蠖属 Culcula					0.67	0.006	0.22	0.002



续表

类群 Taxon	坡度 Slope 25°		坡度 Slope 15°		坡度 Slope 5°		合计 Total	
	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%	密度 Density /(只/m <sup>2</sup> )	百分比 Percent /%
直翅目 Orthoptera								
蟋蟀科 Gryllidae	2.00	0.011	4.00	0.032	2.00	0.017	2.67	0.019
等翅目 Isoptera			27.78	0.225			9.26	0.064
蜚蠊科 Blattidae	1.33	0.007			1.33	0.011	0.89	0.006
革翅目 Deramptera								
肥螋科 Anisolabidinae					0.67	0.006	0.22	0.002
丝尾螋科 Diplatyidae					0.67	0.006	0.22	0.002
其他 Others 1.40%								
综合纲 Symphyla								
蛭蟊科 Scolopendrellidae	83.33	0.444					27.78	0.193
蛭蟊科 Scutigerellidae	55.56	0.296					18.52	0.129
唇足纲 Chilopoda								
地蜈蚣目 Geophilomorpha	0.67	0.004	0.67	0.005	0.67	0.006	0.67	0.005
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	1.33	0.007					0.44	0.003
蛭蟊目 Scutigeromorpha			0.67	0.005	0.67	0.006	0.44	0.003
腹足纲 Gastropoda								
柄眼目 Stylommatophora								
内齿螺科 Endodontidae	44.00	0.235	16.67	0.135	12.00	0.099	24.22	0.168
槲果螺科 Cochlicopidae	0.67	0.004	27.78	0.225			9.48	0.066
巴蜗牛属 Bradybaena	0.67	0.004					0.22	0.002
倍足纲 Diplopoda								
带马陆目 Polydesmida								
矛带马陆科 Doratodesmidae	27.78	0.148	55.56	0.450	55.56	0.460	46.30	0.322
双尾纲 Diplura								
双尾目 Diplura	27.78	0.148	55.56	0.450	27.78	0.230	37.04	0.257
蠍(蜥)纲 Pauropoda								
蠍(蜥)科 Pauropodidae	55.56	0.296			55.56	0.460	37.04	0.257
总密度 Total density	18763.11		12343.06		12066.44		14390.87	
总类群数 Total group	97		72		80		134	

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China .....	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland .....	ZHANG Qianjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City .....	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu .....	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs .....	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna .....	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship .....	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model .....	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker) .....	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system .....	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river .....	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed .....	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis .....	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration: a case study of Gongyi City .....	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China .....	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China .....	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu .....	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains .....	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill .....	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China .....	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes .....	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles .....	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter .....	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathartii</i> .....	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province .....	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter .....	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique .....	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification .....	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community .....	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i> .....	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China .....	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat .....	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
<b>Review and Monograph</b>	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China .....	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
<b>Scientific Note</b>	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years .....	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China .....	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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