

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

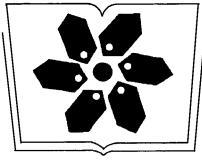
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **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 13 期 2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栢群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	 羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	 邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

吴鹏飞, 杨大星. 若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响. 生态学报, 2011, 31(13): 3745-3757.

Wu P F, Yang D X. Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3745-3757.

若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响

吴鹏飞*, 杨大星

(西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041)

摘要: 土壤动物是陆地生态系统物质循环和能量流动的中心环节, 也是生态系统演化的重要驱动因子。为了查明青藏东缘若尔盖高寒草甸生态系统退化过程对中小型土壤动物群落的影响, 2008 年 7 月和 10 月分别对若尔盖高寒草甸沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸 3 个不同退化阶段的中小型土壤动物群落进行了调查。共分离到中小型土壤动物 9450 个, 隶属于 4 门 5 纲 12 目 70 科 104 类(科、属等小类群); 优势大类群中, 线虫(Nematode)个体数占 85.79%; 蛭螨目(Arachnida)、弹尾目(Collembola)、寡毛纲(Oligochaeta)和昆虫纲(Insect)依次占 8.73%、3.24%、1.32% 和 0.88%。群落密度、类群数、Margalef 丰富度指数和密度-类群指数均在 7、10 两月份均随高寒草甸的退化而显著降低($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 10 月份的差异更明显。Shannon 多样性指数、Pielou 均匀性指数和 Simpson 优势度指数无显著变化($P > 0.05$)。各主要类群个体数在群落中所占的比例呈波动性变化, 但沙化可使蛭螨目与弹尾目的数量比值(A/C)相对提高。随退化程度的加重, 3 个退化阶段的 Sorenson 群落相似性逐渐降低, 而 Morisita-Horn 相似性的变化则不同, 说明高寒草甸的退化对中小型土壤动物群落物种组成的影响较大, 对群落优势类群数量的影响较小。10 月份的群落密度、多样性和群落相似性均高于 7 月份, 表明群落结构组成受季节的影响; 但是各退化阶段的 Sorenson 和 Morisita-Horn 季节相似性比较说明, 季节变化对沙化草甸土壤动物种类组成的影响大于草原草甸, 对草原草甸土壤动物群落优势类群数量的影响大于沙化草甸。个体密度和类群数的表聚性程度也随退化加重而降低。以上研究结果表明, 高寒草甸的退化能够降低土壤动物群落的组成种类和结构复杂性, 将会影响其生态服务功能。

关键词: 若尔盖高寒草甸; 退化; 中型土壤动物; 小型土壤动物

Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau

WU Pengfei*, YANG Daxing

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

Abstract: Soil fauna plays an important role in nutrient cycling and energy flow, and is also an important driver of ecosystem succession. The Qinghai-Tibetan Plateau, with an area of 2.5 million square kilometers, and elevation of over 4,500 meters, has been called "the third polar area of the earth". The wetlands of the Qinghai-Tibetan Plateau are an important biodiversity area. The Zoigê Wetland, located on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, is a typical example of an alpine meadow. Since the 1950s, the Zoigê Wetland has degraded as a result of global change and human activity, and parts have become desert-like with little plant coverage. The effect of this degradation on the structure and diversity of the below-ground soil biota is unknown. To investigate the effects of degradation on the soil meso- and microfauna in Zoigê Alpine Meadow, three degradation stages (marsh meadow, grassland meadow and sand meadow) were selected, and examined in July and October, 2008. A total of 9,450 individuals were captured from the soil meso- and microfauna, and classified into 4 phyla, 5 classes, 12 orders, 70 families and 104 taxa. The community was found to be dominated by

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(40801092); 四川省应用基础研究项目(07JY029-130); 教育部科学技术研究重点项目(209154); 四川省科技支撑项目(2010SZ0126)资助

收稿日期: 2011-01-16; **修订日期:** 2011-04-11

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

nematodes, accounting for 85.79% of the individuals. Other common taxonomic groups were Arachnida (8.73%), Collembola (3.24%), Oligochaeta (1.32%), and insects (0.88%). In both July and October, abundance, richness and diversity in soil meso- and microfaunal communities were observed to be significantly less ($P < 0.01$ and $P < 0.05$) for each degradation stage. Differences among the three degradation stages were more significant in October. No significant changes were recorded in the Shannon diversity index, Pielou's index, and Simpson's diversity index ($P > 0.05$). Percentages in each taxonomic group varied, without an obvious trend. The sand meadow had a greater relative abundance of Arachnida to Collembola than did the marsh meadow or the grassland meadow. The Sorensen similarity index showed a decline as degradation progressed, but this was not observed with the Morisita-Horn similarity index. Degradation thus had a greater influence on composition of the soil meso- and microfaunal community than on individuals belonging to dominant taxonomic groups. Diversity was higher in October than in July, as indicated by the higher values obtained for the taxonomic groups, diversity index, Sorensen similarity index and Morisita-Horn similarity index. This suggested that seasonal change can influence the structure and composition of the soil community. Furthermore, seasonal similarities between the three meadow stages, as shown by the Sorensen and Morisita-Horn indices, indicated that seasonal changes have a greater effect on taxonomic composition in the sand meadow than in the grassland meadow. The opposite pattern was observed for the abundance of dominant taxonomic groups. A greater number of individuals and taxonomic groups were found in the surface layer of the soil as degradation increased. Serious degradation of alpine meadows can significantly reduce taxonomic diversity and structural complexity within these meso- and microfaunal soil communities. Clearly this influences the ecological functions of alpine meadows.

Key Words: Zoigê Alpine Meadow; degradation; soil mesofauna; soil microfauna

近年来,随着生态学的发展,地上地下的关系成为生态学领域的研究前沿^[1-2]。土壤动物是生态系统中的重要消费者和分解者,对生态系统物质循环与能量流动,以及维护生态系统的结构和功能的稳定都具有重要作用^[1, 3-6]。植物群落组成^[7-8]和土壤理化性质^[9-10]变化能对土壤动物群落产生影响。然而土壤动物群落也可明显影响植被的组成^[11-12]。因此,土壤动物是陆地生态系统物质循环和能量流动的中心环节,也是生态系统演化的重要驱动因子。

青藏高原素有“地球第三极”之称,是地球上海拔最高、面积最大、形成最晚的高原。高原上的湿地不仅是中华民族的“水塔”,也是高原生物多样性维持基地和世界山地生物物种一个重要的起源和分化中心,而位于青藏东缘的若尔盖湿地是世界上典型的高原湿地,素有“中国西部高原之肾”的美誉。从 20 世纪 50 年代左右开始,由于受气候变化及人类活动的影响,若尔盖沼泽湿地开始向自然疏干方向发展,湿地面积呈萎缩状态^[13-14]。特别是近些年来,荒漠化及沙化的草地面积逐渐扩大^[15-16]。沼泽草甸退化后,植物群落^[17]、土壤养分^[18]及其呼吸^[12, 19-20]都发生明显变化,但是目前对若尔盖高寒草甸生态系统的地下结构及功能变化趋势并不清楚。因此,对高寒草甸生态系统退化过程中土壤动物群落进行调查研究具有重要的生态学意义。

本研究以青藏东缘若尔盖地区不同退化阶段高寒草甸生态系统中小型土壤动物群落为研究对象,旨在查明青藏东缘高寒草甸生态系统中小型土壤动物的多样性及其对退化的响应。研究结果不仅可提供青藏高原高寒草甸土壤动物群落特征方面的基础资料,还能揭示全球变化背景下高寒草甸生态系统地下生态过程的变化趋势,为高寒草甸生态系统健康评价和退化草甸的生态恢复提供科学依据。

1 研究区概况

若尔盖湿地位于青藏高原东部边缘地带,属于黄河上游地区,在四川省阿坝藏族羌族自治州北部,位于若尔盖县和红原县境内。其地理坐标介于东经 102°08'—103°39',北纬 32°56'—34°19'之间。海拔 3400—3800 m,平均海拔 3500 m。区内气候属高原寒带湿润季风气候。最冷月(1 月)多年平均气温 -10.6 °C,绝对最低气温 -33.7 °C,最大冻土深 72 cm;最热月(7 月)平均气温 10.8 °C,绝对最高气温 24.6 °C,年平均气温 0.7

℃,4—7 月基本为无霜期,无绝对无霜期。年降雨量 600—800 mm,多年平均降雨量 656.8 mm,其中 86% 多集中降于 4 月下旬至 10 月中旬。年均日照 2389 h,平均日照 12 h。年均蒸发量 1232 mm。植被以沼泽植被和草甸植被为主;沼泽植物的优势种有木里苔草(*Carex muliensis*)、毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)、乌拉苔草(*Carex meyeriana*)、藏嵩草(*Kobresia tibetica*)等,盖度可达 40%—90%;草甸植被以嵩草属(*Kobresia* spp.)、蓼属(*Polygonum* spp.)植物为主,禾本科草及毒害草占有一定数量。土壤以寒毡土、潮土、潜育土和泥炭土为主,呈中性或微碱性反应,成土母质多为质地均匀的粉沙和亚粘土。近几十年来,在全球气候变化及放牧等因素的影响下,若尔盖湿地不断退化,出现了旱化沼泽、草甸和沙化草甸多种生境类型并存的景观格局。

2 研究方法

2.1 样地设置

于 2008 年 7 月中旬和 10 月中旬,在若尔盖阿西牧场和唐克牧场根据湿地不同退化阶段选取沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸 3 个典型生境。沼泽草甸的主要植物种类有:垂穗披碱草 *Elymus nutans*、高原毛茛 *Ranunculus tanguticus*、火绒草 *Leontopodium nanum*、珠芽蓼 *Polygonum viviparum*、蒲公英 *Taraxacum maurocarpum*、紫菀 *Aster tataricus*、毛茛状金莲花 *Trollius ranunculoides*、老鹳草 *Geranium pylzovianum* 等。草原草甸的主要种类为:四川嵩草 *Kobresia setchwanensis*、高原毛茛、葛缕子 *Carum carvi*、狼毒 *Stellera chamaejasme*、乳白香青 *Anaphalis lactea*、条叶银莲花 *Anemone trullifolia*、矮金莲花 *Trollius farreri*、垂穗披碱草、草地早熟禾 *Poa pratensis*、棘豆 *Oxytropis Kansuensis* 等。沙化草甸的主要植物有:垂穗披碱草、葛缕子。3 个退化阶段的植被、土壤情况如表 1。

表 1 不同退化阶段的基本情况*

Table 1 The general conditions at different degradation stages ($n=3$)

退化阶段 Degradation stages	植被 Vegetation			土壤 Soil						
	高度 Plant high /cm	盖度 Coverage /%	生物量 Biomass /(g/m ²)	类型 Soil types	容重 Bulk density /(g/cm ³)	SOM /(g/kg)	TN /(g/kg)	TP /(g/kg)	TK /(g/kg)	pH
沼泽草甸 Marsh meadow	10—30	>90	2039.57± 677.52 ab	沼泽土	0.32± 0.20 a	145.16± 9.28 a	6.43± 0.48 a	1.09± 0.11 a	14.40± 0.18 a	6.13± 0.22 a
草原草甸 Grassland meadow	20—40	>90	4005.87± 1780.18 a	草甸土	1.13± 0.21 b	69.54± 7.50 b	3.56± 0.29 b	1.18± 0.07 a	18.68± 0.06 b	5.94± 0.24 a
沙化草甸 Sand meadow	0—20	<10	266.87± 134.00 b	风沙土	1.37± 0.20 c	4.39± 1.44 c	0.26± 0.07 c	0.40± 0.01 b	11.82± 0.65 a	8.45± 0.02 b

* 同一列中,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2 土壤动物调查及鉴定

每个样地随机选取 6 个采样点,每个采样点间隔 10 m 以上,用容积为 300 cm³ 环刀(Φ88 mm×h50 mm)按 0—5 cm、5—10 cm 和 10—15 cm 自上而下分 3 层取土,每层取土样 2 份,装入自封袋内,并做相应的标记,以备室内分离。

实验室内,用干漏斗法(Tullgren 法)和湿漏斗法(Baermann 法)分离中小型土壤动物,温度控制在 35 ℃ 左右,分离时间为 24 h^[21]。收集到的土壤动物在实验室内根据《中国土壤动物检索图鉴》^[22] 在体式镜(Olympus SZX16)和光学显微镜(Leica DM4000 B)下对土壤动物进行鉴定,除线虫类外,其余绝大部分均鉴定到科或属,并统计个体数量。

2.2 数据分析处理

(1) 土壤动物群落多样性

$$\text{Shannon 多样性指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

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

$$\text{Simpson 优势度指数} \quad C = \sum (P_i)^2$$

Margalef 丰富度指数

$$D = (S - 1) / \ln N$$

n_i 为第 i 个物种的个体数量, S 为类群数, N 为土壤动物总个体数, P_i 为第 i 类群的百分比;

密度-类群指数 (Density-group index, DG 指数) $DG = (g/G) \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{imax} C)$

式中, D_i 为第 i 个类群的个体数; D_{imax} 为第 i 个类群在 C 个群落中的最大个体数; C 为所调查的群落数; C_i 为第 i 个类群在 C 个群落中出现的次数; G 为 C 个群落中出现的总类群数; g 为某个群落中的类群数。

(2) 群落相似性分析

Sorensen 指数

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

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。用 Sorensen 指数主要是对群落物种组成进行定性分析。

Morisita-Horn 指数

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

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, $d_a = \sum a_i^2 / N_a^2$, $d_b = \sum b_i^2 / N_b^2$ 。

用 Morisita-Horn 指数主要是对群落的物种组成及其个体数进行定量分析。

所有数据的处理在 EXCEL 2003 和 SPSS 15.0 上进行。

3 结果与分析

3.1 高寒草甸中小型土壤动物群落物种组成

2008 年在若尔盖高寒草甸区共分离到中小型土壤动物 9450 个, 隶属于 4 门 5 纲 12 目 70 科 104 类 (附表)。线虫 (Nematode) 为优势类群, 占总捕获量的 85.79%。其次, 蛛形纲 (Arachnida) 占总捕获量的 8.74% (蜱螨目占 8.73%); 弹尾目 (Collembola) 占 3.24%; 寡毛纲 (Oligochaeta) 占 1.32%; 昆虫纲 (Insecta) 占 0.88%, 其中双翅目和鞘翅目分别占 0.52% 和 0.28%。其它类群仅占 0.02%。

3.2 高寒草甸不同退化阶段中小型土壤动物群落间差异

3.2.1 群落结构

高寒草甸不同生境的中小型土壤动物群落的结构组成存在较大差异 (附表)。

沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸的土壤动物分别有 78、59 和 15 类, 类群数呈快速下降趋势。不同演替阶段, 各类群的个体数在群落中所占比例也存在变化。在沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸 3 个阶段, 线虫所占个体百分比分别为 80.11%、91.23% 和 82.87%; 蜱螨目分别占 12.68%、4.67% 和 12.49%; 弹尾目为 4.87%、1.87% 和 2.14%; 昆虫纲为 8.66%、1.08% 和 1.28%。线虫个体百分比在高寒草甸退化过程中呈先增加后下降的变化趋势, 而蜱螨目、弹尾目和昆虫纲的变化趋势相反。

此外, 群落的 A/C 值 (蜱螨目与弹尾目的个体比) 在沼泽草甸和草原草甸两个阶段间比较接近, 分别为 2.61 和 2.51, 但两者均低于沙化草甸 6.30。表明高寒草甸的沙化可以显著提高蜱螨目的相对数量, 降低弹尾目的相对数量。

3.2.2 群落密度

中小型土壤动物的群落密度在 3 个退化阶段间存在一定的差异 (图 1)。在 7 月和 10 月份, 均以草原草甸的密度最高, 分别为 44666.67 个/m² 和 93583.33 个/

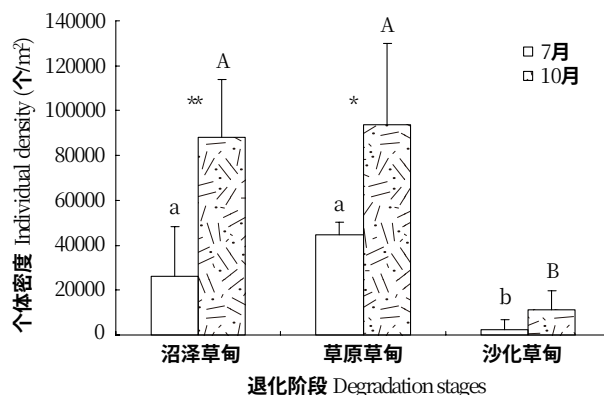


图 1 中小型土壤动物群落密度动态

Fig. 1 Community densities of soil meso- and microfauna at different degradation stages

相同条柱, 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$); * * 表示季节差异极显著 ($P < 0.01$), * 表示差异显著 ($P < 0.05$)

m^2 , 沙化草甸最低, 分别为 2416.67 个/ m^2 和 11361.11 个/ m^2 。沼泽草甸和草原草甸的密度无显著差异 ($P > 0.05$), 但二者均显著高于沙化草甸 ($P < 0.01$)。这表明高寒草甸的沙化可显著降低中小型土壤动物的群落密度。

3 个退化阶段 10 月份的群落密度均高于 7 月份, 其中沼泽草甸 ($t = 4.70, P < 0.01$) 和草原草甸 ($t = 3.27, P < 0.05$) 的 10 月份的群落密度显著高于 7 月份, 而沙化草甸的季节差异不显著 ($P > 0.05$)。说明高寒草甸退化为沙化草甸后, 中小型土壤动物的群落密度对季节变化不敏感。

3.2.3 群落多样性

各退化阶段中小型土壤动物群落多样性情况如图 2。类群数、Shannon 多样性指数、Margalef 丰富度指数和密度-类群指数变化趋势基本一致, 总体上是随高寒草甸的退化而降低; Pielou 均匀性指数和 Simpson 优势度指数则呈波动性增加趋势。统计分析结果表明, 仅 10 月份的平均类群数 ($F = 12.80, P < 0.01$)、Margalef 丰富度指数 ($F = 10.88, P < 0.01$) 和密度-类群指数 ($F = 4.80, P < 0.05$) 存在显著的空间差异性; 各退化阶段间的

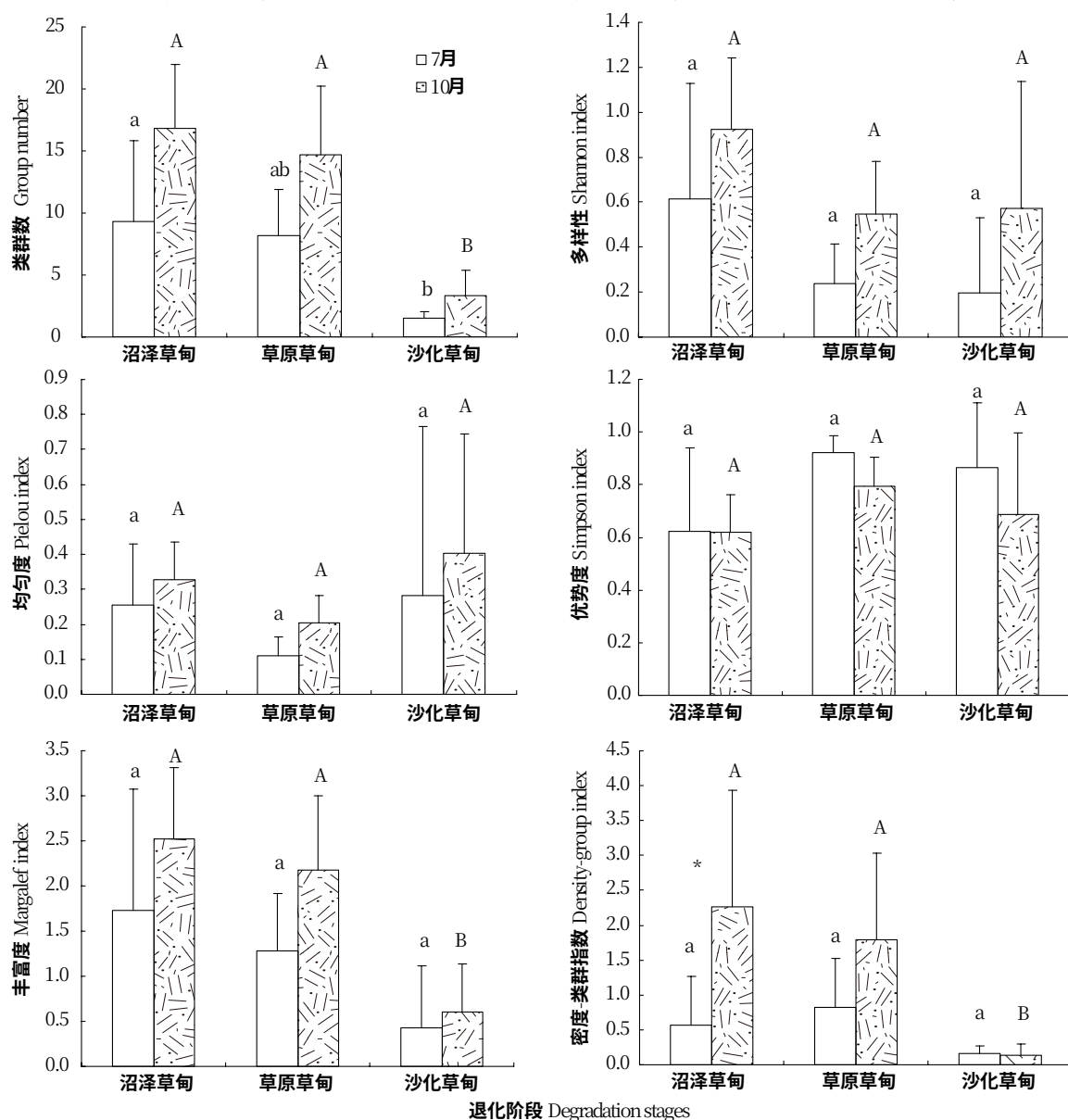


图 2 不同退化阶段中小型土壤动物群落多样性

Fig. 2 Diversities of soil meso- and microfaunal community at different degradation stages

多重比较如图 2 所示。

从 7 月到 10 月,类群数、Shannon 多样性指数、Pielou 均匀性指数、Margalef 丰富度指数及密度-类群指数均呈增加趋势,而 Simpson 优势度指数则呈下降趋势,仅沼泽草甸 10 月份的密度-类群指数显著高于 7 月份($t=2.46, P<0.05$)。表明季节变化对中小型土壤动物群落多样性的影响较弱,但对不同退化阶段的影响程度有所不同。

3.3 高寒草甸不同退化阶段中小型土壤动物群落相似性

3.3.1 空间相似性

不同退化阶段高寒草甸中小型土壤动物相似性如表 2。7 月和 10 月的 Sorenson 相似性计算结果具有一致性,均反映出群落的物种组成的相似性随着高寒草甸退化而降低。而 7 月和 10 月的 Morisita-Horn 相似性也具有 consistency,均显示为沼泽草甸和草原草甸间的土壤动物群落相似性最高,但沙化草甸与沼泽草原间的土壤动物群落相似性高于草原草甸间的相似性,这一结果与 Sorenson 相似性不同。群落空间相似性说明高寒草甸的退化对中小型土壤动物群落物种组成及其丰富度均有明显的影响,但是对群落优势类群数量的影响较小。

另外,从 7 月和 10 月的相似性系数大小可知,10 月份的群落相似性高于 7 月,这表明群落空间相似性程度也受季节的影响。

表 2 中小型土壤动物群落的空间相似性*
Table 2 Similarities among soil meso- and microfaunal communities at different degradation stages

	7 月			10 月		
	沼泽草甸 Marsh meadow	草原草甸 Grassland meadow	沙化草甸 Sand meadow	沼泽草甸 Marsh meadow	草原草甸 Grassland meadow	沙化草甸 Sand meadow
沼泽草甸 Marsh meadow	1	0.39	0.08	1	0.49	0.27
草原草甸 Grassland meadow	0.82	1	0.17	0.97	1	0.29
沙化草甸 Sand meadow	0.79	0.36	1	0.73	0.62	1

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

3.3.2 季节相似性

中小型土壤动物群落季节相似性在这三类高寒草甸中亦有差异(表 3)。Sorenson 相似性以草原草甸最高,沙化草甸的最低;Morisita-Horn 相似性则相反,沙化草甸的最高,草原草甸的最低。这表明季节变化对高寒草甸不同退化阶段中小型土壤动物群落影响不同:对沙化草甸种类组成影响最大,对草原草甸种类组成影响最小;但季节变化对草原草甸群落优势类群数量的影响最大,对沙化草甸优势类群个体数量的影响最小。

表 3 不同退化阶段中小型土壤动物群落季节相似性
Table 3 Similarities between two seasons of soil meso- and microfaunal at different degradation stages

Sorenson 相似性			Morisita-Horn 相似性		
沼泽草甸 Marsh meadow	草原草甸 Grassland meadow	沙化草甸 Sand meadow	沼泽草甸 Marsh meadow	草原草甸 Grassland meadow	沙化草甸 Sand meadow
0.27	0.42	0.22	0.68	0.38	0.75

3.4 垂直分布

中小型土壤动物的垂直分布情况如图 3。个体密度和类群数在 7 月和 10 月的垂直分布情况有一定的差异。从两个月份的平均情况来看,沼泽草甸 0—5 cm 层个体密度显著高于 5—10 cm 和 10—15 cm 层($F=5.55, P<0.01$),草原草甸($F=0.77, P>0.05$)和沙化草甸($F=0.04, P>0.05$)各层间的个体密度无显著差异,沙化草甸甚至出现逆分布趋势。沼泽草甸 0—5 cm 层的类群数显著高于 10—15 cm 层($F=2.67, P<0.05$),草原草甸 0—5 cm 层的类群数则显著高于 5—10 cm 层($F=4.05, P<0.05$),沙化草甸各层无显著差异($F=0.18, P>0.05$)。随着退化阶段的推进,个体密度和类群数的垂直分布差异渐弱的趋势表明,高寒草甸的退化

能降低中小型土壤动物垂直分布的表聚性。

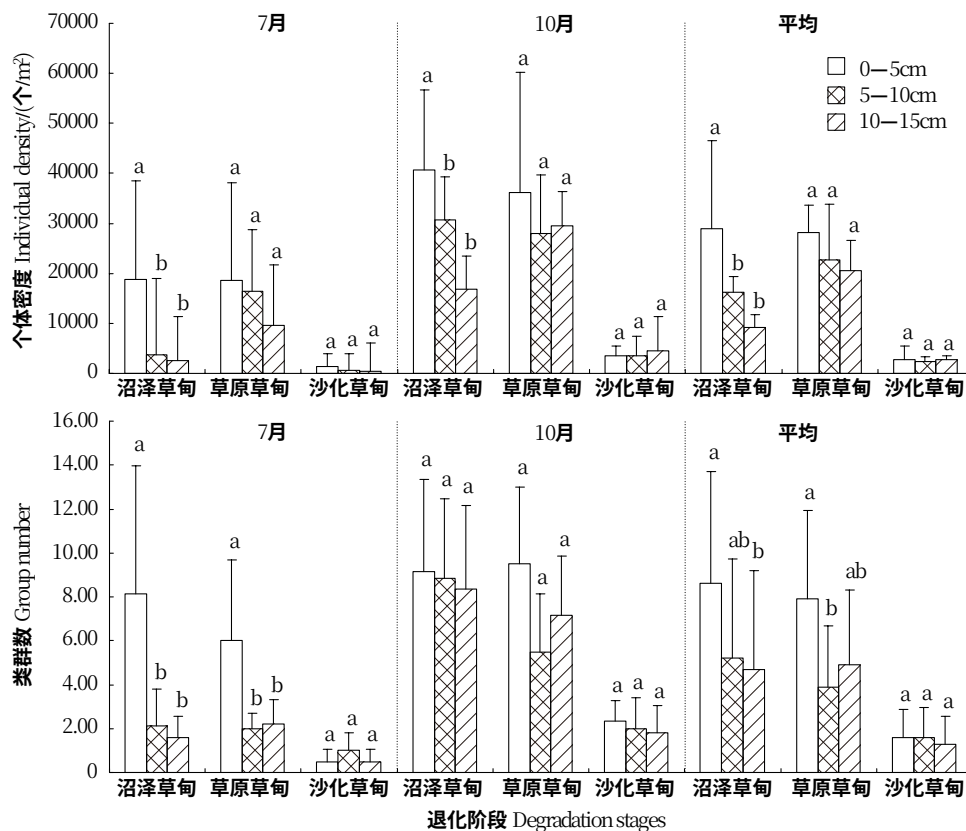


图3 不同退化阶段中小型土壤动物的垂直分布

Fig.3 Vertical distributions of the individual density and group number of soil meso- and microfaunal at different degradation stages

4 讨论

4.1 退化对中小型土壤动物群落组成和多样性的影响

研究结果表明,随着若尔盖高寒草甸的退化,中小型土壤动物群落组成也发生变化,尤其是沙化草甸阶段的类群数、丰富度指数和密度-类群指数均显著低于沼泽草甸和草原草甸($P < 0.001$)。有研究表明,植物群落是影响土壤动物多样性重要因素^[7-8, 23],植被类型越复杂土壤动物多样性程度越高^[24]。植物群落多样性的提高可增加初级生产力,这不仅可为土壤动物提供充足的食物来源,满足其生长发育需要,还能为土壤动物提供适宜的栖息环境,由此形成对土壤动物至上而下的控制机制^[25]。而丰富度指数和密度-类群指数均是物种丰富度的不同表示方法,因此其变化具有较高的一致性。

在3个退化阶段间,除线虫、螨类和弹尾目三类分布广、适应性强的类群外,其它常见类群和稀有类群的种类组成变化较大。沼泽草甸、草原草甸和沙化草甸3个退化阶段的共有类群为10个,而特有类群数分别为40、22、3个,显示出群落物种组成差异较大。许多研究表明,草地植物群落物种组成^[26-27],尤其是优势植物种类^[28],能够影响土壤动物群落组成和结构。草地植物种类的减少甚至可以降低土壤动物的种群数量^[29]。本文2.1节内容表明若尔盖高寒草甸不同退化阶段植物群落的物种丰富度存在显著差异,其它研究也表明若尔盖沼泽的植物群落结构组成^[17, 30]和景观格局^[13]均随沼泽退化而改变。虽然沼泽草甸和草原草甸植物群落组成不同,但二者的盖度、多样性以及初级生产力相对接近,且均显著高于沙化草甸(表1),所以沼泽草甸和草原草甸间的土壤动物多样性无显著差异,而它们与沙化草甸的多样性(种类数、丰度、密度-类群指数)就有显著差异。虽然各退化阶段土壤动物群落的常见类群和稀有类群组成变化较大,但由于个体数在群落中所占比例均在20%以下,因此3个退化阶段间的Sorensen相似性较低,而Morisita-Horn相似性较高。

土壤动物不仅受植物群落的影响,也受土壤理化性质的影响。已有研究表明土壤动物的个体密度与土壤容重和 pH 值呈负相关^[9],与有机质、氮、磷和钾含量呈正相关^[9-10]。而若尔盖高寒草甸不同退化阶段土壤养分和水分呈明显的变化^[18]。另外,本文的调查数据(表 1)也显示不同退化阶段间高寒草甸的土壤理化性质呈显著波动性变化,而且全氮和全磷的变化趋势与土壤动物群落密度动态具有一致性。但土壤养分,尤其是氮素,只有在一定范围内的氮素增加才会对土壤动物有利,过高则会对土壤动物个体数量造成负面影响^[31]。土壤动物群落类群数及个体密度的下降揭示出沙化能够使高寒草甸生态系统的地下结构趋于简单,生态服务功能降低。

不同演替阶段,线虫、蛴螬目和弹尾目等类群的个体数在群落中所占的百分比也不同,这是因为环境因子的变化对不同土壤动物的影响不同。研究表明,线虫的密度和丰富度受温度变化较敏感,但对土壤湿度、有机氮和无机氮的变化不敏感^[32];但是土壤氮含量的变化却能影响中气门亚目蛴螬类的种类和弹尾目的密度^[33]。此外,沙化草甸阶段土壤动物群落的 A/C 值高于沼泽草甸和草原草甸,这从侧面表明蛴螬目对环境的适应能力强于弹尾目。

本研究中,不同退化阶段间的土壤动物群落密度差异显著,而多样性指数 H、均匀度指数 E 和优势度指数 C 的变化不显著。Cole 等^[25]对温带草原生态系统土壤动物的研究也发现这一现象,并认为多样性没有发生显著变化是因为在食物等资源充足的情况下土壤动物群落不会发生竞争排斥。而这是土壤动物群落和植物群落对土壤肥力反映^[34]的不同之处。

4.2 退化对中小型土壤动物垂直分布的影响

本文研究结果表明,高寒草甸的退化能降低中小型土壤动物个体密度和类群数在土壤剖面的垂直分布。已有研究表明,凋落物和土壤理化性质等是影响土壤动物表聚性的重要因素^[35-36]。由表 2.1 节可知,沼泽草甸和草原草甸的植物种类丰富、生物量相对较高,说明其地表凋落物的质量和数量都优于沙化草甸,可为更多的植食性和腐食性中小型土壤动物提供食物和栖息地。另外,由于植被盖度降低和土壤沙化,沙化草甸的土壤表层温湿度波动范围将会扩大,也会对土壤动物垂直分布产生影响。有研究表明,温度升高可以使线蚓向土壤更深层次迁移^[37]。因此,高寒草甸退化,特别是沙化所造成的一系列环境改变能够使土壤动物垂直分布的表聚性下降。

4.3 退化对中小型土壤动物季节动态的影响

季节性是许多生态系统的共同特征^[38]。在若尔盖高寒草甸的 3 个退化阶段中,沙化草甸群落多样性的季节差异性相对于沼泽草甸和草原草甸有一定程度的下降,而且 3 个退化阶段土壤动物群落群落的 Sorenson 和 Morisita-Horn 季节相似性也存在一定的差异。这表明季节变化对不同退化阶段土壤动物群落的影响不同。这可能是因为沙化草甸植物群落盖度低、种类少,植物群落的季节变化小,对土壤动物群落的影响力下降。

另外,若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落 10 月份的群落密度和多样性指数(优势度指数除外)均高于 7 月份。已有研究表明温度和湿度是影响土壤动物群落的主要气候因子^[39],而且温度^[40-41]和降水^[42-43]的季节性增加可以导致部分土壤动物的种类数和个体数下降。在若尔盖地区 7 月份的平均气温为 10.8℃,绝对最高气温达 24.6℃,属于最热月;年降水量 650—750 mm,其中 90% 的集中于 4—9 月间^[20],因此 7 月份的密度和多样性较低。

致谢: 野外调查工作得到西南民族大学的于晓飞、徐金根,若尔盖县林业局熊远清等的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [2] Sugden A, Stone R, Ash C. Ecology in the Underworld. *Science*, 2004, 304(5677): 1613.
- [3] Petersen H, Luxton M. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos*, 1982, 39(3): 287-388.
- [4] Lavelle P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advance of Ecology Research*, 1997, 27: 93-

132.

- [5] Jones T H, Thompson L J, Lawton J H, Bezemer T M, Bardgett R D, Blackburn T M, Bruce K D, Cannon P F, Hall G S, Hartley S E, Howson G, Jones C G, Kampichler C, Kandeler E, Ritchie D A. Impacts of rising atmospheric carbon dioxide on model terrestrial ecosystems. *Science*, 1998, 280(5362): 441-443.
- [6] Wolters V, Silver W L, Bignell D E, Coleman D C, Lavelle P, van der Putten W H, de Ruiter P, Rusek J, Wall D H, Wardle D A, Brussaard L, Dangerfield J M, Brown V K, Giller K, Hooper D U, Sala O, Tiedje J, van Veen J A. Effects of global changes on above- and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: implications for ecosystem functioning. *BioScience*, 2000, 50(12): 1089-1098.
- [7] Hemerik L, Brussaard L. Diversity of soil macro-invertebrates in grasslands under restoration succession. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38(2): 145-150.
- [8] Chen H L, Li B, Fang C M, Chen J K, Wu J H. Exotic plant influences soil nematode communities through litter input. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(7): 1782-1793.
- [9] 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.
- [10] 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, Shaanxi, China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(6): 1213-1218.
- [11] Bradford M A, Jones T H, Bardgett R D, Black H I J, Boag B, Bonkowski M, Cook R, Eggers T, Gange A C, Grayston S J, Kandeler E, McCaig A E, Newington J E, Prosser J I, Setälä H, Staddon P L, Tordoff G M, Tscherko D, Lawton J H. Impacts of soil faunal community composition on model grassland ecosystems. *Science*, 2002, 298(5593): 615-618.
- [12] De Deyn G B, Raaijmakers C E, Zoomer H R. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*, 2003, 422: 711-713.
- [13] Bai J H, Ouyang H, Cui B S, Wang Q G, Chen H. Changes in landscape pattern of alpine wetlands on the Zoigê Plateau in the past four decades. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2245-2252.
- [14] Deng M L, Tian K, Duan Z L, Wang J Q. The Changes of Landscape at Zoigê Plateau Wetland Reserve in Sichuan, China. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(2): 240-246.
- [15] Hu G Y, Dong Z B, Wei Z H, Lu J F, Yan C Z. Spatial and temporal change of desertification land of Zoige basin in recent 30 years and its cause analysis. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(8): 908-916.
- [16] Shi C C, Tu J. Remote sensing monitory study on land desertification in Ruorgai plateau of Sichuan province during 40 years. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 22(6): 1662-1664.
- [17] Wang Q, Bao W K, Yan Z L, Timo K, Alfred C, Angela M. Basic types and characters of the western Zoige meadows and their changes in recent decades. *Chinese Journal of Applied Environment and biology*, 2002, 8(2): 133-141.
- [18] Tian Y B, Xiong M B, Song G Y. Restoration succession of wetland soils and their changes of water and nutrient in Ruorgai Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(1): 21-25.
- [19] Chen H, Gao Y H, Yao S P, Wu N, Wang Y F, Luo P, Tian J Q. Spatiotemporal variation of methane emissions from alpine wetlands in Zoigê Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3425-3437.
- [20] Wang D X, Song C C, Wang Y Y, Zhao Z C. CO₂ fluxes in mire and grassland on Ruorgai plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(2): 285-289.
- [21] Committee of Handbook of Soil Fauna Research Methods. *Handbook of Soil Fauna Research Methods*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1998.
- [22] Yin W Y. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [23] Warren M W, Zou X M. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 2002, 170(1/3): 161-171.
- [24] Huang X, Wen W Q, Zhang J, Yang W Q, Liu Y, Yan B G, Huang Y M. Soil faunal diversity under typical alpine vegetations in West Sichuan. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2010, 21(1): 181-190.
- [25] Cole L, Buckland S M, Bardgett R D. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37(9): 1707-1717.
- [26] Viketoft M, Palmborg C, Sohlenius B, Huss-Danell K, Bengtsson J. Plant species effects on soil nematode communities in experimental grasslands. *Applied Soil Ecology*, 2005, 30(2): 90-103.
- [27] Viketoft M. Effects of six grassland plant species on soil nematodes: A glasshouse experiment. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(4): 906-915.
- [28] Bardgett R D, Mawdsley J L, Edwards S, Hobbs J, Rodwell J S, Davies W J. Plant species and nitrogen effects on soil biological properties of temperate upland grasslands. *Functional Ecology*, 1999, 13(5): 650-660.

- [29] Zaller J G, Arnone III J A. Earthworm responses to plant species' loss and elevated CO₂ in calcareous grassland. *Plant and Soil*, 1999, 208(1): 1-8.
- [30] Yang F M. The evolutionary way of moory vegetation of Ruogai plateau. *Journal of southwest teachers university*, 1988, 3: 77-86.
- [31] Xu G L, Mo J M, Sandra B, Li D J. Effects of simulated N deposition on soil fauna. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2245-2251.
- [32] Stamou G P, Papatheodorou E M, Hovardas A, Argyropoulou M D. Some structural and functional characteristics of a soil nematode community from a Mediterranean grassland. *Belgian Journal of Zoology*, 2005, 135(2): 253-259.
- [33] Cole L, Buckland S M, Bardgett R D. Influence of disturbance and nitrogen addition on plant and soil animal diversity in grassland. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(2): 505-514.
- [34] Xiao D R, Tian K, Zhang L Q. Relationship between plant diversity and soil fertility in Napahai wetland of Northwestern Yunnan plateau. *Acta ecologica sinica*, 2008, 28(7): 3116-3124.
- [35] Yin X Q. Soil animals in natural grassland and artificial grassland on Songnen sandy land. *Journal of desert research*, 1998, 18(3): 249-254.
- [36] Hai T, Peng D L, Zeng Z H, Wu B X, Jin F Z, Hu Y G. Effect of cropping systems on nematode community structure in Sweet Potato field. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(6): 1851-1857.
- [37] Briones M J I, Ostle N J, McNamara N P, Poskitt J. Functional shifts of grassland soil communities in response to soil warming. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41(2): 315-322.
- [38] Wolda H. Insect seasonality: why? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1988, 19: 1-18.
- [39] Setälä H, Marshall V G, Trofymow J A. Influence of micro- and macro-habitat factors on collembolan communities in Douglas-fir stumps during forest succession. *Applied Soil Ecology*, 1995, 2(4): 227-242.
- [40] Bokhorst S, Huiskes A, Convey P, van Bodegom P M, Aerts R. Climate change effects on soil arthropod communities from the Falkland Islands and the Maritime Antarctic. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(7): 1547-1556.
- [41] Sulkava P, Huhta V. Effects of hard frost and freeze-thaw cycles on decomposer communities and N mineralisation in boreal forest soil. *Applied Soil Ecology*, 2003, 22(3): 225-239.
- [42] Yang X D, Liu H M, Zhang Z, Sha L Q. Effect of planting *Amomum* on soil arthropod communities in tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 10-15.
- [43] Liao C H, Li J X, Yang Y P, Zhang Z C. 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*, 2003, 23(1): 139-147.

参考文献:

- [9] 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.
- [10] 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.
- [13] 白军红, 欧阳华, 崔保山, 王庆改, 陈辉. 近40年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化. *生态学报*, 2008, 28(5): 2245-2252.
- [14] 邓茂林, 田昆, 段宗亮, 王进琼. 高原湿地若尔盖国家级自然保护区景观变化. *山地学报*, 2010, 28(2): 240-246.
- [15] 胡光印, 董治宝, 魏振海, 逯军峰, 颜长珍. 近30a来若尔盖盆地沙漠化时空演变过程及成因分析. *地球科学进展*, 2009, 24(8): 908-916.
- [16] 石承苍, 涂军. 近40年四川省若尔盖高原土地荒漠化遥感监测研究. *西南农业学报*, 2009, 22(6): 1662-1664.
- [17] 王乾, 包维楷, 晏兆莉, KUMPULA Timo, COLPAERT Alfred, MANDERSCHIED Angela. 若尔盖西部草甸的基本类型、特点及近几十年来的变化. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(2): 133-141.
- [18] 田应兵, 熊明标, 宋光煜. 若尔盖高原湿地土壤的恢复演替及其水分与养分变化. *生态学杂志*, 2005, 24(1): 21-25.
- [19] 陈槐, 高永恒, 姚守平, 吴宁, 王艳芬, 罗鹏, 田建卿. 若尔盖高原湿地甲烷排放的时空异质性. *生态学报*, 2008, 28(7): 3425-3437.
- [20] 王德宣, 宋长春, 王毅勇, 赵志春. 若尔盖高原沼泽湿地与草地二氧化碳通量的比较. *应用生态学报*, 2008, 19(2): 285-289.
- [21] 《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.
- [22] 尹文英. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京: 科学出版社, 1998.
- [24] 黄旭, 文维全, 张健, 杨万勤, 刘洋, 闫帮国, 黄玉梅. 川西高山典型自然植被土壤动物多样性. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 181-190.
- [30] 杨福明. 若尔盖高原沼泽植被的演替方式与途径. *西南师范大学学报*, 1988, 3: 77-86.
- [31] 徐国良, 莫江明, Brown Sandra, 李德军. 土壤动物对模拟N沉降的响应. *生态学报*, 2004, 24(10): 2245-2251.
- [34] 肖德荣, 田昆, 张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系. *生态学报*, 2008, 28(7): 3116-3124.
- [35] 殷秀琴. 松嫩沙地天然草地与人工草地土壤动物的对比研究. *中国沙漠*, 1998, 18(3): 249-254.
- [36] 海棠, 彭德良, 曾昭海, 武保悦, 金凤柱, 胡跃高. 耕作制度对甘薯地土壤线虫群落结构的影响. *中国科学*, 2008, 41(6): 1851-1857.

- [39] 王金凤, 由文辉, 易兰. 上海宝钢工业区凋落物中土壤动物群落结构及季节变化. 生物多样性, 2007, 15(5): 463-469.
- [42] 杨效东, 刘宏茂, 郑征, 沙丽清. 砂仁种植对季节雨林土壤节肢动物群落结构影响的初步研究. 生态学杂志, 2003, 22(4): 10-15.
- [43] 廖崇惠, 李健雄, 杨悦屏, 张振才. 海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落结构的季节变化及其气候因素. 生态学报, 2003, 23(1): 139-147.

附表 不同退化阶段中小型土壤动物群落类群与数量组成*

Appendix table The richness and abundance of soil meso- and microfaunal at different degradation stages

	沼泽草甸(<i>n</i> =13)		草原草甸(<i>n</i> =12)		沙化草甸(<i>n</i> =12)		合计	
	Marsh meadow		Grassland meadow		Sand meadow		Total	
	个体数 Individual	百分比/% Percent	个体数 Individual	百分比/% Percent	个体数 Individual	百分比/% Percent	个体数 Individual	百分比/% Percent
线虫类 Nematode (85.79%)	3424	80.11	4296	91.23	387	82.87	8107	85.79
蛛形纲 Arachnida (8.74%)								
蜱螨目 Acarina (8.73%)								
微离螨科 Microdispidae	98	2.29	43	0.91	31	6.64	172	1.82
矮蒲螨科 Pygmephoridae	116	2.71	31	0.66	17	3.64	164	1.74
盾螨科 Scutacaridae	129	3.02	7	0.15			136	1.44
跗线螨科 Tarsonemidae	2	0.05	55	1.17			57	0.60
麦氏螨属 <i>Mahunkania</i>	29	0.68					29	0.31
绥螨科 Sejidae	12	0.28	1	0.02	14	3.00	27	0.29
厉螨科 Laelapidae	10	0.23	13	0.28			23	0.24
前气门亚目 Prostigmata	15	0.35	3	0.06			18	0.19
顶翼甲螨属 <i>Acrogalumna</i>	9	0.21	8	0.17			17	0.18
表刻螨科 Epieriidae	9	0.21	7	0.15			16	0.17
盲甲螨属 <i>Malaconothrus</i>	16	0.37					16	0.17
腾岛螨科 Teneriffidae	11	0.26	4	0.08			15	0.16
古甲螨属 <i>Palaeacarus</i>	7	0.16	3	0.06			10	0.11
小跳甲螨属 <i>Microzetorchestes</i>			10	0.21			10	0.11
珠足甲螨属 <i>Belba</i>	9	0.21	1	0.02			10	0.11
上厉螨属 <i>Ololaelaps</i>	5	0.12	4	0.08			9	0.10
新领甲螨属 <i>Caenosamerus</i>	9	0.21					9	0.10
大翼甲螨属 <i>Galumna</i>			7	0.15			7	0.07
奥斯甲螨属 <i>Ocesobates</i>	3	0.07	2	0.04			5	0.05
无气门亚目 Atigmata			5	0.11			5	0.05
半懒甲螨属 <i>Heminothrus</i>	4	0.09					4	0.04
拉奥甲螨属 <i>Lauropia</i>	3	0.07	1	0.02			4	0.04
拟上罗甲螨属 <i>Epilohmannoides</i>	2	0.05	2	0.04			4	0.04
奥甲螨科 Oppiidae	3	0.07					3	0.03
高壳甲螨属 <i>Liodes</i>	2	0.05	1	0.02			3	0.03
革厉螨属 <i>Gamasolaelaps</i>	2	0.05	1	0.02			3	0.03
甲螨亚目 Oribatida	3	0.07					3	0.03
全大翼甲螨属 <i>Pergalumna</i>	1	0.02	2	0.04			3	0.03
隐奥甲螨属 <i>Cryptoppia</i>	3	0.07					3	0.03
真螨目 Acariformes	3	0.07					3	0.03
混居甲螨科 Mixacaridae	2	0.05					2	0.02
双革螨科 Digamasellidae	2	0.05					2	0.02
尾足螨科 Uropodidae	2	0.05					2	0.02
中气门亚目 Mesostigmata	1	0.02	1	0.02			2	0.02
珠甲螨科 Damaeidae	2	0.05					2	0.02
矮蒲螨属 <i>Pygmephorus</i>	1	0.02					1	0.01
奥甲螨属 <i>Oppia</i>			1	0.02			1	0.01

续表

	沼泽草甸 ($n=13$) Marsh meadow		草原草甸 ($n=12$) Grassland meadow		沙化草甸 ($n=12$) Sand meadow		合计 Total	
	个体数 Individual	百分比/% Percent	个体数 Individual	百分比/% Percent	个体数 Individual	百分比/% Percent	个体数 Individual	百分比/% Percent
邦甲螨属 <i>Banksinoma</i>	1	0.02					1	0.01
齿步甲螨属 <i>Odontocephus</i>					1	0.21	1	0.01
赤螨科 <i>Erythradaea</i>			1	0.02			1	0.01
厚绥螨属 <i>Pachyseius</i>			1	0.02			1	0.01
滑逢甲螨属 <i>Liochthonius</i>	1	0.02					1	0.01
寄螨目 <i>Parasiformes</i>	1	0.02					1	0.01
巨螯螨科 <i>Macrochelidae</i>	1	0.02					1	0.01
礼服甲螨属 <i>Trhypochthonius</i>	1	0.02					1	0.01
毛绥螨属 <i>Lasioseius</i>	1	0.02					1	0.01
美绥螨科 <i>Ameroseiidae</i>			1	0.02			1	0.01
平壳甲螨属 <i>Platylodes</i>	1	0.02					1	0.01
普劳螨属 <i>Pulaeus</i>	1	0.02					1	0.01
前翼甲螨属 <i>Peloptulus</i>	1	0.02					1	0.01
跳甲螨属 <i>Zetorchestes</i>	1	0.02					1	0.01
吸螨科 <i>Bdellidae</i>	1	0.02					1	0.01
小奥甲螨属 <i>Oppiella</i>			1	0.02			1	0.01
小甲螨属 <i>Oribatella</i>	1	0.02					1	0.01
叶抓螨科 <i>Penthaleidae</i>	1	0.02					1	0.01
隐颚螨科 <i>Cryptognathidae</i>	1	0.02					1	0.01
硬瘤螨属 <i>Scirula</i>	1	0.02					1	0.01
真翅背甲螨属 <i>Eupterotegeus</i>		1	0.02			1	0.01	
真罗甲螨属 <i>Eulohmannia</i>	1	0.02					1	0.01
真前翼甲螨属 <i>Eupelops</i>			1	0.02			1	0.01
植绥螨科 <i>Phytoseiidae</i>	1	0.02					1	0.01
鳞顶甲螨属 <i>Lepidozetes</i>			1	0.02			1	0.01
蜘蛛目 <i>Araneae</i>								
卷叶蛛科 <i>Dictynidae</i>			1	0.02			1	0.01
弹尾纲 <i>Collembola</i>								
弹尾目 <i>Collembola</i> (3.24%)								
球角蜱科 <i>Hypogastruridae</i>	89	2.08	48	1.02	5	1.07	142	1.50
棘蜱科 <i>Onychiuridae</i>	30	0.70	17	0.36	1	0.21	48	0.51
等节蜱科 <i>Isotomidae</i>	36	0.84	7	0.15	2	0.43	45	0.48
疣蜱科 <i>Neanridae</i>	27	0.63	3	0.06	1	0.21	31	0.33
跳虫属 <i>Podura</i>	10	0.23	9	0.19			19	0.20
节腹亚目 <i>Arthropleona</i>	9	0.21					9	0.10
土蜱属 <i>Tullbergia</i>	5	0.12	1	0.02			6	0.06
圆蜱科 <i>Sminthuridae</i>	2	0.05	3	0.06			5	0.05
鳞蜱属 <i>Tomocerus</i>					1	0.21	1	0.01
寡毛纲 <i>Oligochaeta</i> (1.32%)								
线蚓科 <i>Enchytraeidae</i>	72	1.68	51	1.08	1	0.21	124	1.31
带丝蚓属 <i>Lumbriculus</i>			1	0.02			1	0.01
昆虫纲 <i>Insecta</i> (0.88%)								
双翅目 <i>Diptera</i> (0.52%)								
尖眼覃蚊科 <i>Sciaridae</i> larvae	3	0.07	19	0.40			22	0.23
蚊科 <i>Culicidae</i> adult	3	0.07	5	0.11			8	0.08

续表

	沼泽草甸(<i>n</i> =13)		草原草甸(<i>n</i> =12)		沙化草甸(<i>n</i> =12)		合计	
	Marsh meadow		Grassland meadow		Sand meadow		Total	
	个体数	百分比/%	个体数	百分比/%	个体数	百分比/%	个体数	百分比/%
	Individual	Percent	Individual	Percent	Individual	Percent	Individual	Percent
摇蚊科 Chironomidae larvae			6	0.13	1	0.21	7	0.07
鹈虻科 Rhagionidae larvae	3	0.07	1	0.02			4	0.04
长足虻科 Dolichopodidae larvae			2	0.04			2	0.02
双翅目幼虫 Sciaridae larvae			1	0.02			1	0.01
大蚊科 Tipulidae larvae			1	0.02			1	0.01
伪大蚊科 Anisopodidae larvae			1	0.02			1	0.01
舞虻科 Empididae larvae					1	0.21	1	0.01
蚊科 Formicidae	1	0.02					1	0.01
蝇科 Muscidae adult			1	0.02			1	0.01
鞘翅目 Coleoptera (0.28%)								
象甲科幼虫 Curculionidae larvae	1	0.02	6	0.13	3	0.64	10	0.11
隐翅甲科成虫 Staphylinidae adult	3	0.07	3	0.06			6	0.06
鞘翅目幼虫 Coleoptera larvae	1	0.02	1	0.02			2	0.02
金龟甲科幼虫 Scarabaeidae larvae	1	0.02			1	0.21	2	0.02
金龟甲科成虫 Scarabaeidae adult	2	0.05					2	0.02
古瘦隐甲科 Archeocrypticidae larvae	1	0.02					1	0.01
隐翅虫科 Staphylinidae larvae			1	0.02			1	0.01
缨甲科 Ptiliidae larvae	1	0.02					1	0.01
萤科 Lampyridae larvae	1	0.02					1	0.01
同翅目 Homoptera (0.04%)	2	0.05	2	0.04			4	0.04
膜翅目 Hymenoptera (0.04%)								
路舍蚁属 Tetramorium	1	0.02					1	0.01
蜜蜂总科 Apoidae	1	0.02					1	0.01
等翅目 Isoptera			1	0.02			1	0.01
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae	1	0.02					1	0.01
未定种 Unidentified	1	0.02					1	0.01
其它类群 Others (0.02%)								
蠕线纲 Pauropoda			1	0.02			1	0.01
原生动物门 Protozoa	1	0.02					1	0.01
总个体数 Total individual	4274	100.00	4709	100.00	467	100.00	9450	100.00
总类群数 Total group		78		59		15		104
A/C 值 Ratio of A/C		2.61		2.51		6.30		2.70

* 括号内的数字为各类群的百分比

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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	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:100717	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