

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

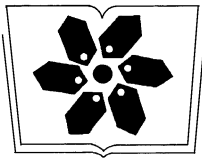
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 15 期 Vol.31 No.15 **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 15 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目 次

地面节肢动物营养类群对土地覆被变化和管理扰动的响应·····	李锋瑞,刘继亮,化伟,等 (4169)
两种书虱微卫星富集文库的构建及比较·····	魏丹丹,袁明龙,王保军,等 (4182)
菲律宾蛤仔 EST-SSRs 标记开发及不同地理群体遗传多样性·····	闫喜武,虞志飞,秦艳杰,等 (4190)
菲律宾蛤仔大连群体不同世代的遗传多样性·····	虞志飞,闫喜武,杨霏,等 (4199)
玻璃温室与田间栽培小麦幼穗分化的比较·····	姜丽娜,赵艳岭,邵云,等 (4207)
施用有机肥环境下盐胁迫小麦幼苗长势和内源激素的变化·····	刘海英,崔长海,赵倩,等 (4215)
黄土高原半干旱区气候变化对春小麦生长发育的影响——以甘肃定西为例·····	姚玉璧,王润元,杨金虎,等 (4225)
不同耕作模式下稻田水中氮磷动态特征及减排潜力·····	冯国禄,杨仁斌 (4235)
大田环境下转 Bt 基因玉米对土壤酶活性的影响·····	颜世磊,赵蕾,孙红炜,等 (4244)
短期淹水培养对水稻土中地杆菌和厌氧粘细菌丰度的影响·····	朱超,Stefan Ratering,曲东,等 (4251)
气候变化背景下广东晚稻播期的适应性调整·····	王华,陈新光,胡飞,等 (4261)
长期封育对不同类型草地碳贮量及其固持速率的影响·····	何念鹏,韩兴国,于贵瑞 (4270)
黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力·····	刘迎春,王秋凤,于贵瑞,等 (4277)
植物叶表面的润湿性及其生态学意义·····	石辉,王会霞,李秧秧 (4287)
长白山北坡主要森林群落凋落物现存量月动态·····	郑金萍,郭忠玲,徐程扬,等 (4299)
古尔班通古特沙漠及周缘 52 种植物种子的萌发特性与生态意义·····	刘会良,宋明方,段士民,等 (4308)
吉首蒲儿根的繁殖生态学特性及其濒危成因·····	邓涛,陈功锡,张代贵,等 (4318)
栖息地永久性破坏的比例对物种多度稳定值影响的迭代算法·····	时培建,戈峰,杨清培 (4327)
喷施多效唑提高麻疯树幼苗耐盐性的生理机制·····	毛轶清,郑青松,陈健妙,等 (4334)
阿尔山落叶松主要蛀干害虫的种群空间生态位·····	袁菲,骆有庆,石娟,等 (4342)
2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制·····	沈慧梅,吕建平,周金玉,等 (4350)
中华稻蝗长沙种群的生活史及其卵滞育的进化意义·····	朱道弘,张超,谭荣鹤 (4365)
“518”油桃主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	施晓丽,毕守东,耿继光,等 (4372)
青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化·····	张洪芝,吴鹏飞,杨大星,等 (4385)
青海可鲁克湖水鸟季节动态及渔鸥活动区分析·····	张国钢,刘冬平,侯韵秋,等 (4398)
排放与森林碳汇作用下云南省碳净排放量估计·····	刘慧雅,王铮,马晓哲 (4405)
北京城市生态占水研究·····	柏樱岚,王如松,姚亮 (4415)
专论与综述	
植物水分传输过程中的调控机制研究进展·····	杨启良,张富仓,刘小刚,等 (4427)
环境介质中的抗生素及其微生物生态效应·····	俞慎,王敏,洪有为 (4437)
自然生态系统中的厌氧氨氧化·····	沈李东,郑平,胡宝兰 (4447)
研究简报	
山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系·····	张莹,吕振波,徐宗法,等 (4455)
新疆乌伦古湖浮游甲壳动物的季节演替及与环境因子的关系·····	杨丽丽,周小玉,刘其根,等 (4468)
不同施肥与灌水量对槟榔土壤氮挥发的影响·····	卢丽兰,甘炳春,许明会,等 (4477)
学术信息与动态	
水土资源保持的科学政策:全球视野及其应用——第 66 届美国水土保持学会国际学术年会述评·····	卫伟 (4485)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-08



封面图说: 塞罕坝地处内蒙古高原南缘向华北平原的过渡带,地势分为坝上、坝下两部分。解放初期,这里是“飞鸟无栖树,黄沙遮天日”的荒原沙丘,自 1962 年建立了机械化林场之后,塞罕坝人建起了 110 多万亩人工林,造就了中国最大的人工林林场。这是让人叹为观止的落叶松人工林海。

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

张洪芝, 吴鹏飞, 杨大星, 崔丽巍, 何先进, 熊远清. 青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化. 生态学报, 2011, 31(15): 4385-4397.

Zhang H Z, Wu P F, Yang D X, Cui L W, He X J, Xiong Y Q. Dynamics of soil meso- and microfauna communities in Zoigê alpine meadows on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4385-4397.

青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物 群落特征及季节变化

张洪芝¹, 吴鹏飞^{1,*}, 杨大星¹, 崔丽巍¹, 何先进¹, 熊远清²

(1. 西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041; 2. 四川省阿坝州若尔盖县林业局, 若尔盖 624500)

摘要: 中小型土壤动物是生态系统的重要组成部分。为了查明高寒草甸生态系统的中小型土壤动物群落特征及其变化动态, 2008 至 2009 年间, 利用定位观测方法对青藏东缘若尔盖高寒草甸的中小型土壤动物进行了 5 次调查。结果为: (1) 捕获中小型土壤动物 9318 只, 隶属于 3 门 7 纲 88 类; 平均密度为 3994.67 个/m²; 大类群中, 线虫纲(Nematoda)的个体数占总个体数的 91.50%, 蛛形纲(Arachnida)(主要为蜱螨目)、弹尾纲(Collembola)、寡毛纲(Oligochaeta)和昆虫纲(Insecta)分别占 3.73%、2.55%、1.12% 和 1.07%; (2) 土壤动物的群落密度、类群数、密度-类群指数、Shannon 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数均有显著的季节差异($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 表明高寒草甸生态系统的中小型土壤动物群落多样性对季节变化具有高度敏感性; (3) 线虫纲、蛛形纲、弹尾纲、寡毛纲和昆虫纲的密度变化趋势基本一致, 并均有显著的季节差异($P < 0.05$); (4) 各季节间的 Sorensen 群落相似性系数低于 Morisita-Horn 相似性系数, 表明季节变化对群落物种组成的影响相对较强, 对优势类群个体密度的影响相对较弱; (5) 中小型土壤动物群落的类群数和密度, 以及弹尾纲、寡毛纲和昆虫纲的密度均与温度有显著的负相关($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 线虫和蛛形纲的密度与温度和降水均有不显著的负相关($P > 0.05$)。研究结果表明若尔盖高寒草甸的中小型土壤动物群落组成和多样性具有明显的季节特征, 而温度是影响其季节变化的最主要气候因素; 另外, 从温度、降水及其年间变化对中小型土壤动物的影响可知全球气候变暖在短期内将会对高寒草甸土壤动物群落产生不利的影响。

关键词: 若尔盖高寒草甸; 土壤动物; 多样性; 季节动态

Dynamics of soil meso- and microfauna communities in Zoigê alpine meadows on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China

ZHANG Hongzhi¹, WU Pengfei^{1,*}, YANG Daxing¹, CUI Liwei¹, HE Xianjin¹, XIONG Yuanqing²

¹ Life Sciences and Technologies of Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China

² Ruergai Forestry Bureaus in Aba Autonomous Prefecture in Sichuan Province, Ruergai 624500, China

Abstract: Soil fauna play an important role in terrestrial ecosystems, directly or indirectly modulating the availability of resources for other species by changing biotic or abiotic materials. Knowledge of temporal variability of soil fauna is crucial to understanding soil community dynamics and food webs, especially in variable systems such as an alpine meadow ecosystem. A typical alpine meadow in Zoigê County grassland located on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China, was studied to document the composition, diversity, and seasonal variations of soil meso- and microfauna communities in alpine grasslands. Six 50 m × 50 m plots were established using permanent markers. Five observations were conducted from July 2008 to October 2009 and six samples in size of 50 cm × 50 cm were investigated in each plot every time. Tullgren and Baermann's methods were used to extract 9318 soil meso- and microfauna individuals and these were classified into three

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; 西南民族大学研究生学位点建设项目(2011XWD-S071012)

收稿日期: 2011-01-24; 修订日期: 2011-05-09

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

phyla, seven classes, and 88 taxonomic groups. The mean density of the soil meso- and microfauna community was 39941.67 ind./m². Nematoda dominated, accounting for 91.50% of the individuals in the soil meso- and microfauna community; Arachnida (mainly Acarina), Collembola, Oligochaeta (mainly Enchytraeidae) and Insecta (mainly Diptera larvae and Coleoptera larvae) made up 3.73%, 2.55%, 1.12%, and 1.07%, respectively. The community individual density, taxonomic group, and diversity indexes of soil meso- and microfauna varied by season both intra- and inter-years, with minimum numbers of both individuals and taxonomic groups recorded in July and the maximum in October. Significant seasonal changes were recorded in community taxonomic groups, individual density, density-group indices, the Shannon and Pielou indices ($P < 0.01$), and the significant change was also found with Simpson Index ($P < 0.05$). The seasonal density change trends within the five major classes, Nematoda, Arachnida, Collembola, Oligochaeta and Insecta, were similar to each other, and had significant differences ($P < 0.05$). The values of the Sorensen Index among the seasons were lower than the Morisita-Horn Index, implying the seasonal change has a relatively stronger influence on the taxonomic composition of the meso- and microfauna community than on the abundance of the dominant taxonomic groups. Pearson correlation analysis shows the taxonomic group ($P < 0.01$) and individual density ($P < 0.05$) of the community have a significantly inverse relationship to air and soil temperatures (depth 0–15 cm) but are not significantly related to monthly precipitation; the same results were found with the individual densities of Collembola, Oligochaeta and Insecta, but not to those of Nematoda and Arachnida. All results suggest the taxonomic composition and diversity of soil meso- and microfauna communities in an alpine meadow ecosystem on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau have obvious seasonal characteristics; seasonal changes in temperature are the main factor influencing those changes. In addition, the effects of temperature and precipitation on the soil meso- and microfauna community also implies increased global temperatures will have adverse short-term effects on soil fauna in the alpine meadow ecosystem.

Key Words: Zoigê alpine meadow; soil fauna; biodiversity; seasonal dynamics

土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分,在物质循环和能量流动过程中起到重要的促进作用。研究表明,土壤动物的活动也可促进养分循环、有机质归还和维持土壤结构^[1-2],从而提高植物对土壤营养物质的有效利用^[3];还可影响土壤水的有效性,进而提高植物对水的利用效率,丰富植物的多样性^[4]。虽然土壤动物对生态系统的地下过程具有重要的促进作用,但易受环境条件影响。许多研究表明,土壤动物群落受气候^[5]、植被^[6]、土壤^[7]等生态因子的影响。随着温度、降水等生态因子的变化,不同气候带土壤动物的群落组成与结构具有明显的地带性特征^[8]。中小型土壤动物则通过复杂的交互作用方式直接或间接影响凋落物分解和营养物质循环过程^[9],其群落组成和功能类群的变化是生态系统功能的重要驱动因子^[10]。

高寒草甸作为青藏高原分布最为广泛的植被类型,面积 1.2×10^6 km²,约占全国草地面积的 1/3^[11]。另外,高寒草甸是青藏高原的重要草地资源,支撑着青藏高原地区的畜牧业发展,也是我国主要水系黄河、长江、澜沧江等河流的水源涵养区。目前,关于青藏高原高寒草甸生态系统的研究主要集中在植被^[12]及土壤理化性质^[13]等方面,对高寒草甸地下土壤动物群落区系组成的研究极少^[14-16]。这严重影响到对高寒草甸地下食物网及重要生态过程的认识,甚至在一定程度上影响到对高寒草地生态系统的可持续利用及对退化草地的生态恢复。

青藏东缘若尔盖草地是全国五大牧区之一,该区同时受高原季风、太平洋和印度洋三大气流的影响,气候复杂多变,孕育了独特的生物区系。本研究以若尔盖典型高寒草甸生态系统为对象,通过对土壤动物群落的观测,旨在查明青藏东缘高寒草甸生态系统的土壤动物区系组成及季节变化特征。研究结果不仅可以提供青藏高原高寒草地生态系统土壤动物多样性方面的基础资料,还能为高寒草甸生态系统的健康评价及科学管理提供科学依据。

1 研究区自然概况

川西北若尔盖草地位于青藏高原东北部, 地理位置 $101^{\circ}36'—103^{\circ}30' E$, $32^{\circ}20'—34^{\circ}00' N$, 海拔 3400—3800 m, 总面积 70800 km², 是我国的五大牧区之一。年均气温 1.1 ℃, 最热月 7 月平均温度 9—11.4 ℃, 极端最高温度 24.6 ℃; 最冷月 1 月为 -8—-11 ℃, 极端最低温度 -33.7 ℃; 年均降水量 650 mm, 其中 5—9 月降水占全年降水量的 80%^[17], 年平均相对湿度 60%—70%; 绝对无霜期仅 16—25d, $\geq 10^{\circ}C$ 积温为 400—900 ℃; 年日照时数达 2364—2511 h。2008 和 2009 两年各月的降水、月均气温和土温(15 cm)的变化情况如图 1。由图可知 2009 年的降水量与 2008 年相比有增加趋势, 而两年间的月均气温和土温无明显变化。区内以高寒草甸和沼泽生态系统为主, 是长江和黄河的重要水源涵养区。土壤类型以高原草甸土、潮土、潜育土为主。植物以草甸植被和沼泽植被为主, 其中草甸植被群落外貌相对单一, 以嵩草属(*Kobresia*)、蓼属(*Polygonum*) 植物为主, 有羊茅(*Festuca nivina*)、四川嵩草(*Kobresia setchuanensis*)、圆穗蓼(*Polygonum sphaerostachyum*) 等; 发草(*Deschampsia caespitosa*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*) 等禾本科草, 地表丛生的鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*) 及毒害草占有一定数量, 夹杂多年生杂类草, 常形成色彩斑斓的“五花草甸”。

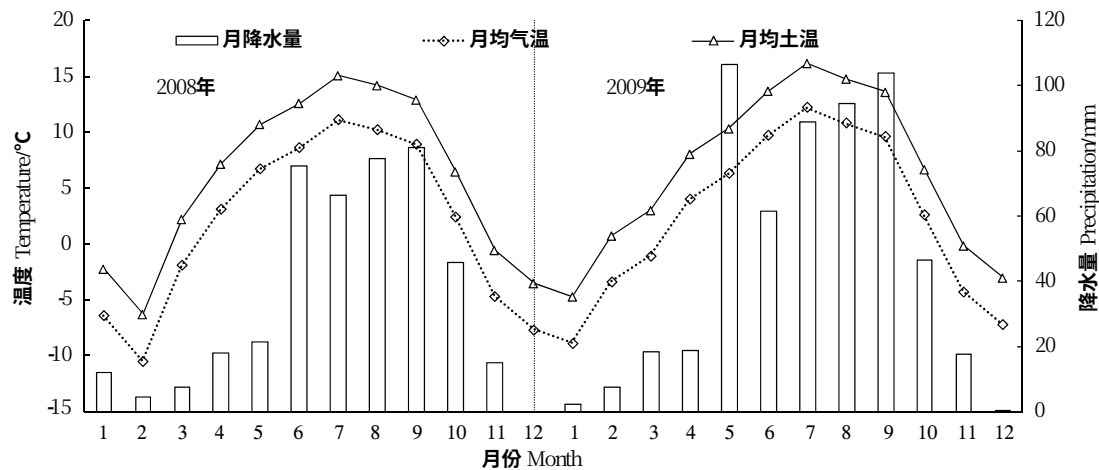


图 1 若尔盖高寒草甸的各月降水量、月均气温和土温

Fig. 1 Air temperature, soil temperature and precipitation of Zoigê alpine meadow

土壤温度为本研究在 2008—2009 年的各月实测数据, 气温和降水量数据来自四川省气象局

2 研究方法

2.1 样地调查

在若尔盖县唐克乡的白河牧场内设置一个面积为 50 m×50 m 正方形样方 ($102^{\circ}27' E$, $33^{\circ}21' N$, 3441.40 m) 作为定位观测样地。在 2008 年 7 月至 2009 年 10 月间共对样地进行了 5 次调查。每次在样方内随机选取 6 个未被扰动过的点, 用特制的 300 cm³ 环刀 ($\Phi 88 \text{ mm} \times h 50 \text{ mm}$) 分 0—5 cm、5—10 cm 和 10—15 cm 层采集土样, 分别置于编号的塑料袋带内, 带回室内分析。实验室内分别用 Tullgren 法(干漏斗法)和 Baermann 法(湿漏斗法)分离中小型土壤动物 24 h, 烘箱温度控制在 37 ℃ 左右。Tullgren 法分离土壤动物时, 如果土壤干燥, 则喷洒适量的水分, 防止升温过快而导致土壤动物死亡。根据《中国土壤动物检索图鉴》^[18] 在显微镜 (OLYMPUS CX31) 和体式显微镜 (OLYMPUS SZX16) 等观察仪器下对土壤动物进行分类鉴定。一般鉴定到科或属, 少数到目, 并统计个体数量。

2.2 数据分析

群落多样性计算: 以土壤动物类群数表示物种丰富度 (Richness), 群落密度表示个体丰富度 (Abundance),

以 Shannon 指数 $H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ 、Simpson 指数 $C = \sum_{i=1}^s (n_i/N)^2$ 和 Pielou 指数 $E = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i / \ln S$ 表示群落相对多样性^[19], 式中 P_i 为第 i 类群的百分比, S 为类群数, n_i 为第 i 个物种的个体数量, N 为土壤动物总个

体数。

另外计算土壤动物群落各季节的群落密度-类群指数^[20] $DG = (\frac{g}{G}) \sum_{i=1}^g (\frac{D_i C_i}{D_{imax} C})$, 式中 C 为所研究的群落数; C_i 为第 i 个类群在 C 个群落中出现的次数; D_i 为第 i 个类群的密度; D_{imax} 为第 i 类群在 C 个群落中出现的密度最大值; g 为群落中的类群数; G 为各群落所包含的总类群数。

群落相似性^[21]: 选用 Sorensen 相似性系数 C_s (定性分析群落相似性, 考虑物种组成的差异性) 和 Morisita-Horn 系数 (定量分析群落相似性, 考虑到每个物种的丰度), 计算公式分别为: Sorensen 相似性系数 $C_s = 2c/(a+b)$, 式中 a 为 A 月份全部类群数, b 为 B 月份全部类群数, c 为 A、B 两月份共有的类群数。计算值在 0.75—1.00 为极相似, 在 0.50—0.74 为中等相似, 在 0.25—0.49 为中等不相似, 在 0—0.24 为极不相

似; Morisita-Horn 系数 $C_{mh} = \frac{2(aN)(bN) \sum_{i=1}^s [(an_i)(bn_i)]}{bN^2 \sum_{i=1}^s an_i^2 + aN^2 \sum_{i=1}^s bn_i^2}$, 式中 S 为 A、B 两月份所有的类群数; aN 和 bN 分别为 A、B 月份中所有类群的总个体数; an_i 和 bn_i 分别 A、B 月份中第 i 个类群的个体数。

对于服从正态分布的数据, 各季节间中小型土壤动物群落的差异采用单因素方差分析 (One-way ANOVA), 如果差异显著则用 LSD 法 (方差齐性) 和 Tamhane 法 (方差不齐) 进行多重比较。对于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 Kruskal Wallis Test (H) 进行非参数检验。土壤动物群落多样性、主要类群密度与气候因子间的关系采用 Pearson 相关分析 (双尾检验)。数据的分析处理采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 15 软件。

3 结果与分析

3.1 中小型土壤动物的种类、数量组成

5 次调查共分离到中小型土壤动物 9318 只, 隶属 3 门 7 纲 88 类 (附表 1)。大类群中, 线虫纲 (Nematode) 为优势类群, 占总个体数的 91.50%; 蛛形纲 (Arachnida) 个体占 3.73%; 弹尾纲 (Collembola) 占 2.55%; 寡毛纲 (Oligochaeta) 占 1.12%; 昆虫纲 (Insecta) 占 1.07%; 其余 2 纲仅占 0.28%。群落平均密度为 39941.67 个/m²。

在以上各类中, 不同类群所占比例差异较大。寡毛纲中的线蚓科占其总个体数的 99.11%; 弹尾纲中的球角蛸科 (Hypogastruridae) 和疣蛸科 (Neanridae) 分别占该纲个体数的 49.71% 和 17.01%; 蛛形纲中的跗线螨科 (Tarsonemidae) 和微离螨科 (Microdispidae) 分别占 16.16% 和 15.57%; 昆虫纲中的尖眼罩蚊科 (Sciaridae) 占 26.52%、摇蚊科 (Chironomidae) 占 21.84%。

3.2 多样性动态

高寒草甸中小型土壤动物群落各多样性指数的季节变化动态不同 (图 2)。

在 2008 年的 7 至 10 月间, 中小型土壤动物群落的类群数、个体数、Shannon 指数 (H) 和 Pielou 指数均呈增加趋势; 2009 年的 4—10 月间, 类群数、密度-类群指数 (DG)、Shannon 指数 (H) 和 Pielou 指数均呈增加趋势, 而个体数和 Simpson 指数 (C) 则呈下降趋势。统计分析结果 (图 2) 表明中小型土壤动物群落的类群数 ($F=6.99, P<0.01$)、个体数 ($F=6.52, P<0.01$)、密度-类群指数 ($F=4.77, P<0.01$)、Shannon 指数 ($F=4.99, P<0.01$)、Simpson 指数 ($H=9.67, P<0.05$) 和 Pielou 指数 ($H=14.42, P<0.01$) 均有显著的季节变化, 表明季节变化和年间变化对高寒草甸的中小型土壤动物群落多样性有显著的影响。

3.3 群落相似性

2008 和 2009 两年间中小型土壤动物群落各月份间的相似性如表 1。各月份间的 Sorensen 相似性系数均低于 0.50, 表明高寒草甸中小型土壤动物群落物种组成有较大的季节差异。与 Sorensen 相似性系数不同, 各月份间的 Morisita-Horn 相似性系数均在 0.97 以上, 部分月份间的相似性系数甚至接近于 1, 表明季节变化对中小型土壤动物群落各类群的相对数量影响较弱。

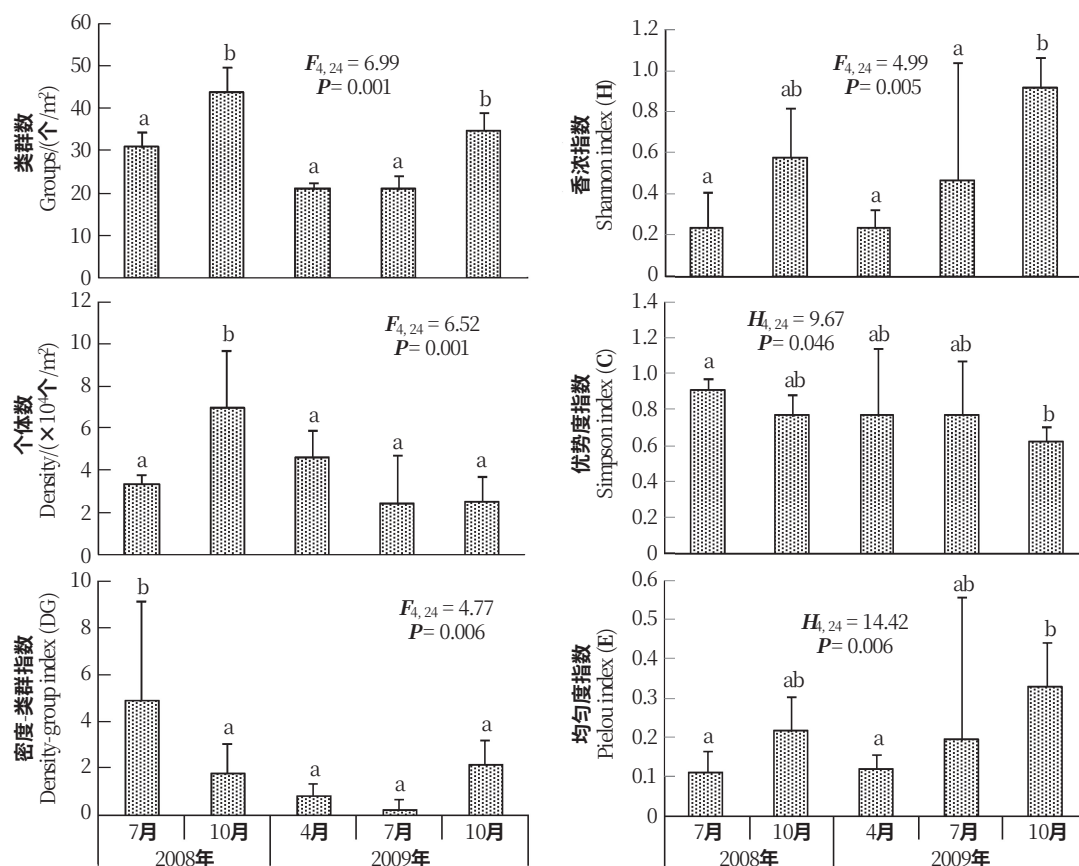


图2 中小型土壤动物群落多样性季节动态(平均值±标准差)

Fig. 2 Seasonal dynamics of the diversities of soil meso- and microfauna community (Mean±SD)

不同字母表示各季节间差异显著 ($P < 0.05$)

3.4 主要类群密度动态

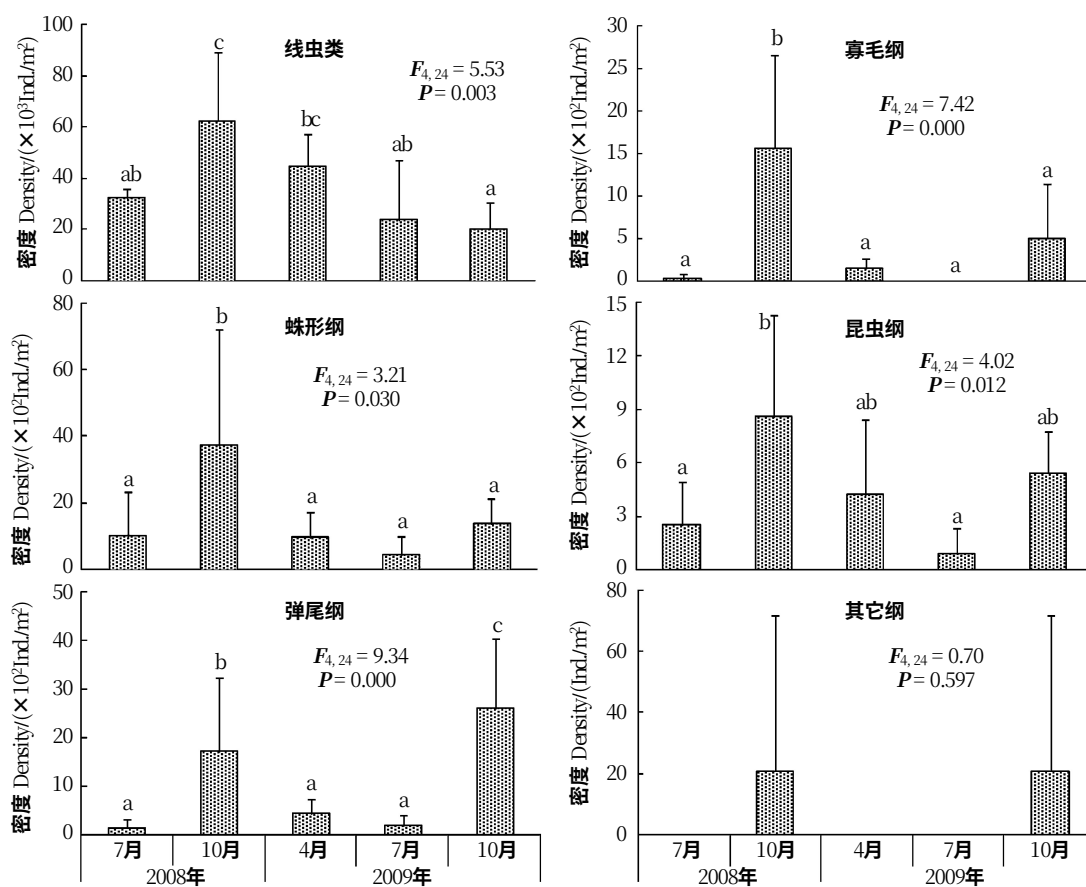
为了分析高寒草甸中小型土壤动物群落主要类群的变化动态,把群落组成为线虫纲、蛛形纲(主要是蜱螨目)、弹尾纲、昆虫纲、寡毛纲和其他纲6大类群,各类群的密度动态如图3。线虫密度从2008年7月份到10月份呈显著增加,2009年的4至10月间呈显著下降($F=5.53, P<0.01$)。2008年7月至2009年10月,蛛形纲、弹尾纲、昆虫纲和寡毛纲的密度变化动态基本一致,均以7月份最低,10月份最高,并均有显著的差异(图3)。而其他纲的个体仅出现在2008和2009年的10月份。方差分析和多重比较的结果如图3,可知大类群的密度在2008年的7、10月份间差异性高于2009年内各月份间的差异性。各类群的密度变化动态表明,季节变化和年间变化对中小型土壤动物各类群均有显著影响,但对不同类群的影响程度不同。

表1 若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落的季节相似性

Table 1 Similarities between different seasons during sampling periods on Zoigê alpine meadow

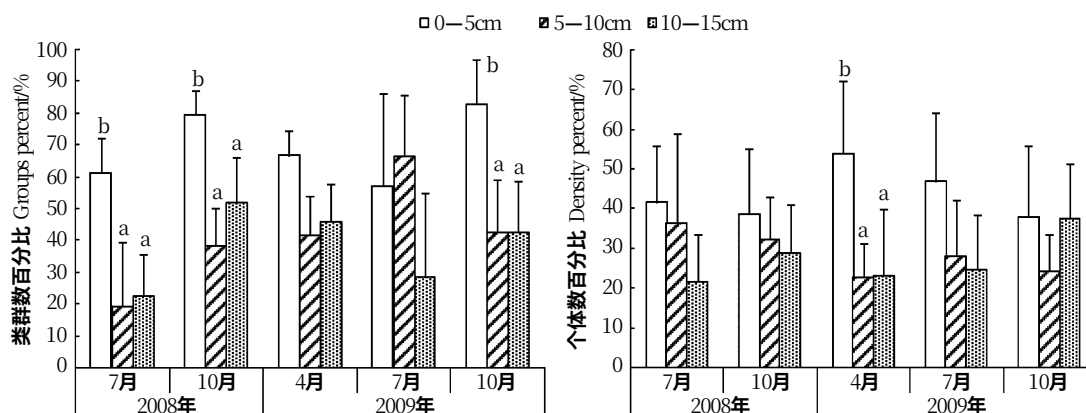
季节 Season	2008年7月 Jul-2008	2008年10月 Oct-2008	2009年4月 Feb-2009	2009年7月 Jul-2009	2009年10月 Oct-2009
2008年7月 Jul-2008	*	0.996	0.999	0.999	0.980
2008年10月 Oct-2008	0.480	*	0.996	0.995	0.992
2009年4月 Feb-2009	0.255	0.353	*	0.999	0.980
2009年7月 Jul-2009	0.231	0.215	0.267	*	0.978
2009年10月 Oct-2009	0.333	0.405	0.339	0.357	*

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

图3 中小型土壤动物主要类群的密度动态(平均值 $\pm$ 标准差)Fig. 3 Seasonal dynamics of the major groups' density of soil meso- and microfauna (Mean $\pm$ SD)

3.4 垂直分布动态

中小型土壤动物的类群数和个体数总体上随土壤深度的增加而降低,不同季节的垂直分布情况有一定差异(图4)。0—5 cm、5—10 cm 和 10—15 cm 间的类群数在 2008 年的 7 月 ($F=11.54, P<0.01$) 和 10 月份 ($F=9.13, P<0.01$) 均有显著差异,而个体数间无显著差异 ($P>0.05$)。在 2009 年,仅 10 月份的类群数 ($F=5.58, P<0.05$) 和 4 月份的个体数 ($F=5.09, P<0.05$) 有显著的垂直分布差异。不同季节间,0—5 cm 层的类

图4 中小型土壤动物垂直分布的季节变化(平均值 $\pm$ 标准差)Fig. 4 Vertical distributions of soil meso- and microfauna in different seasons (Mean $\pm$ SD)

同一月份中不同字母表示土层间差异显著 ($P<0.05$)

群百分比以 10 月份最高,个体数百分比则以 10 月份最低。方差分析结果表明,同一层次的类群数和个体数所占百分比在不同季节间均无显著差异($P>0.05$),进一步的相关分析也表明各层的类群百分比和个体百分比均与气温、土温和降雨量无显著相关($P>0.05$)。但从总体情况来看,中小型土壤动物类群数的垂直分布比个体数更易受季节变化的影响。

3.5 气候变化对土壤动物的影响

若尔盖高寒草甸中小土壤动物群落季节动态与温度和降水的相关分析结果如表 2。土壤动物群落的类群数和密度均与气温和土温有显著的负相关($P<0.01$ 或 $P<0.05$),与降水量无显著相关($P>0.05$);其他多样性指数与温度和降水均无显著相关关系($P>0.05$)。主要类群中的弹尾纲、寡毛纲和昆虫纲与气温和土温有显著的负相关($P<0.01$),与降水有不显著的负相关($P>0.05$);线虫类、蛛形纲和其他纲与温度和降水均无显著的负相关($P>0.05$)。相关分析结果说明在温度和降水量两个气候因子中,温度对高寒草甸中小型土壤动物的影响大于降水量,并且温度对不同类群的土壤动物影响也不同。

表 2 气候因子与中小型土壤动物群落间的相关性分析
Table 2 Results of the correlation analysis between the climatic factors and the soil meso- and microfauna community

项目 Item	群落多样性 Community diversities					
	类群数 Groups	密度 Density	Shannon 指数 Shannon index	DG 指数 DG index	优势度 Simpson index	均匀度 Pielou index
气温 Air temperature	-0.586 **	-0.397 *	-0.322	0.089	0.247	-0.204
土温 Soil temperature	-0.576 **	-0.405 *	-0.267	0.088	0.240	-0.191
降水量 Precipitation	-0.293	-0.358	0.037	0.037	0.110	0.025

项目 Item	主要类群密度 Density of major groups					
	线虫类 Nematoda	弹尾纲 Collembola	寡毛纲 Oligochaeta	蛛形纲 Arachnida	昆虫纲 Insecta	其他纲 Others
气温 Air temperature	-0.328	-0.581 **	-0.499 **	-0.334	-0.545 **	-0.242
土温 Soil temperature	-0.339	-0.563 **	-0.492 *	-0.332	-0.543 **	-0.219
降水量 Precipitation	-0.338	-0.232	-0.208	-0.164	-0.364	-0.077

* * 差异极显著 ($P<0.01$), * 差异显著 ($P<0.05$)

4 结论与讨论

4.1 季节变化对中小型土壤动物群落的影响

若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落的类群数、密度及多样性指数均具有显著的季节变化。该区域的中小型土壤动物群落密度季节与青海高寒草甸^[14]、三江平原典型湿地^[22]的中小型土壤动物密度季节动态比较一致,但类群数和多样性指数的季节动态与三江平原和鼎湖山地区^[6]均有差异,说明不同气候带上土壤动物多样性的季节动态不同。已有研究表明温度和湿度的变化对群落组成及其季节动态有很大影响^[23-24],廖崇惠等也发现亚热带夏季高温不利于小型湿生动物繁衍生息^[25]。在若尔盖高寒草甸生态系统,中小型土壤动物的类群数($P<0.01$)和密度($P<0.05$)均与气温和土温呈显著的负相关(表 2),表明即使在青藏高原这一气温常年相对较低的区域,温度升高依然对土壤动物具有显著的抑制作用。这可能是由于该区域的土壤动物长期生活在低温环境中,形成了与高寒环境相适应的生理机制和较低的温度忍耐限度。此外,若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落的类群数、密度及多样性指数与降雨量呈不显著的负相关(表 2),表明降雨量对高寒草甸中小型土壤动物数量的抑制作用比温度弱。廖崇惠等在热带亚热带地区的研究还发现土壤含水量与土壤动物群落的类群数、总个体数及 DG 指数在湿季呈显著的负相关^[25]。这一结果与本文的研究结果存在一定的差异,反映了高寒草甸生态系统中土壤动物与气候关系的独特性,并由此可以认为在若尔盖高寒草甸生态系统中,温度是影响中小型土壤动物群落季节动态的最主要气候因子。

若尔盖高寒草甸中小型土壤动物 2008 年 7、10 两月份的多样性指数(Shannon 指数和 Pielou 指数除外)高于 2009 年相同两月份。由图 1 可知 2009 年的气温、土温和降雨量均比 2008 年有所增加,尤其是 2009 年

5—10 月份的月均气温(8.5 °C)、土温(12.5 °C)和总降水量(501.8 mm)均高于 2008 年同期的气温(8.0 °C)、土温(12.0 °C)和降水量(367.1 mm),但无显著差异($P>0.05$)。有研究发现降雨量是影响土壤动物群落密度和多样性的重要因素^[26-27],杨效东等^[28]也发现季雨林土壤节肢动物的类群数、个体数和多样性在雨季最低。但是在若尔盖高寒草甸生态系统中,降水量仅与群落的类群数和密度有不显著的负相关关系(表 2),因此可以认为在 2009 年 5—10 月份的温度增加是导致中小型土壤动物类群数和密度下降的主要因素,而降水量增加是次要因素。从温度、降水及其年间变化对中小型土壤动物的影响来看,目前正在进行的全球气候变暖将会在短期内对高寒草甸生态系统的中小型土壤动物群落产生不利的影响,并会进一步影响到生态系统的多个地下过程。

各季节间的 Sorensen 群落相似性系数低于 Morisita-Horn 相似性系数,说明群落稀有类群和常见类群的种类组成季节变化较大,而优势类群的种类组成及个体数量的变化相对较小。由调查结果(附表 1)可知,在草原草甸的 88 个类群中,5 次调查均出现的类群有 3 个(线虫、球角蛸科和象甲科幼虫);出现 3—5 次的类群有 16 个;而出现 1—2 次的类群有 72 个,占全部的 81.82%。表明若尔盖高寒草甸土壤动物群落物种组成具有明显的季节特征,同时也反应出稀有类群和常见类群对季节变化具有较高的敏感性。

此外,温度变化还可影响植物的生理和群落结构^[29-30],从而影响土壤动物的资源可得性和微生境。而其他研究结果表明温度通过影响其他环境因子对土壤动物的间接作用远大于温度的直接作用^[31-32]。

4.2 季节变化对主要类群的影响

若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落 5 个大类群的密度均有显著的季节变化,且线虫、弹尾纲和寡毛纲的季节变化显著性高于蛛形纲(主要为蜱螨目)和昆虫纲(图 3)。如 2009 年的 7 月未发现寡毛纲;其他纲(双尾纲和蠕线纲)的个体仅出 2 次;10 月份的线虫密度比 7 月低,而弹尾目等类群的密度变化则相反。已有研究表明,线虫、蜱螨目和弹尾目等不同土壤动物对非生物环境因子有不同的响应^[33]。而进一步的相关性分析表明弹尾纲、寡毛纲和昆虫纲的密度分别与气温和土温呈显著的负相关($P<0.01$ 或 $P<0.05$),而线虫和蛛形纲(主要为蜱螨目)密度与温度和降水量均无显著负相关(表 2)。由本文 3.1 节及附表 1 可知,线虫和蛛形纲是高寒草甸中小型土壤动物群落中个体数量最多的两个大类群,尤其是线虫所占百分比高达 91.50%,是群落的优势类群;其他 5 个大类群所占百分比比较低,为常见类群和稀有类群。由此可知,温度变化对中小型土壤动物群落的优势类群(线虫)无显著的影响,对常见类群和稀有类群有显著影响。其他研究也发现温度增加对不同类群的土壤动物的影响不同^[34-35]。这种差异可能是源于不同土壤动物对温度变化的响应机制和能力不同。如线虫与线蚓类能通过调节血糖浓度适应环境温度的变化^[36],弹尾目的某些类群则可以通过提高或降低抗冻蛋白的活性来应对温度变化^[37]。在若尔盖高寒草甸生态系统中,线虫纲和昆虫纲的密度从 2008 年 10 月至 2009 年 4 月间无显著变化,而蜱螨目、弹尾目和线蚓科的密度显著下降,说明不同土壤动物对低温的适应能力也存在差异。

有研究表明土壤湿度也是影响弹尾目和蜱螨目数量与分布的重要因素^[26,38],土壤含水量过高也能抑制线虫^[24]、双翅目^[39]的个体数量。本文研究结果表明若尔盖地区的降雨量对土壤动物各类群的密度无显著影响。说明在青藏东缘高寒草甸生态系统中,湿度不是影响中小型土壤动物密度的主要环境因子。

除了温度和湿度的季节变化对土壤动物产生影响外,其他环境因子也可对土壤动物产生影响。如紫外线辐射可对线虫、螨类和弹尾目的数量产生抑制作用^[40-41]。若尔盖地区海拔高,在 3400—3800 m 之间,夏季太阳紫外线辐射强,也可能是影响中小型土壤动物季节变化的原因之一。

4.3 垂直分布季节动态

高寒草甸生态系统的中小型土壤动物类群数和个体数的垂直分布均有一定的表聚性,但不同季节表聚性程度不同。已有研究表明土壤动物的垂直分布受土壤理化性质和营养状况的影响^[19]。吴东辉等^[42]研究发现草原生态系统的 0—10 cm 土层是植物根系的主要分布区,土壤相对疏松,通气性好,营养丰富,因而土壤动物相对增多。Connell 和 Slatyer 则认为植被结构和土壤理化性质是决定土壤动物垂直分布的相对稳定性因

子,而土壤温湿度的季节变化是影响垂直分布季节动态的主要因子^[43]。也有研究表明草原生态系统地表温度变化可对中小型土壤动物的垂直分布产生影响^[44],若尔盖地区的月均气温、土温以及月降水量与土壤动物类群数和个体数的垂直分布间均无显著的相关关系($P>0.05$)。说明在高寒草甸生态系统中,温度和湿度都不是影响中小型土壤动物垂直分布的有效环境因子。因此,关于影响高寒草甸生态系统中小型土壤动物垂直分布的环境因子及其作用机制还有待进一步研究。

References:

- [1] Zhang Y B, Yang H J, Wang D L, Xiao Z J, Han J Y. Soil biological evaluation on ecological remedy of damaged riparian. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1374-1380.
- [2] Li Q X, Sheng L X, Zhou D W, Zhang Q. Effect of *Lasius flavus* (Fabricius) on soil physicochemical properties of the Songnen Grassland. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2006, 12(4): 528-532.
- [3] Fan Y L, Chen H, Su X L, Zhang F T. Review of the research on soil animals in degraded ecosystem. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3): 668-673.
- [4] Sarr M, Agbogba C, Russell-Smith A, Masse D. Effects of soil faunal activity and woody shrubs on water infiltration rates in a semi-arid fallow of Senegal. *Applied Soil Ecology*, 2001, 16(3): 283-290.
- [5] Stebaeva S. Collembolan communities of the Ubsu-Nur Basin and adjacent mountains (Russia, Tuva). *Pedobiologia*, 2003, 47(4): 341-356.
- [6] Lin Y H, Zhang F D, Zhang J Q, Ouyang X U, Mo D S, Zhou G Y. Preliminary investigation on temporal and spatial variation of structure of soil fauna community in different natural vegetations of Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2616-2622.
- [7] Tong F C, Wang Q L, Liu X S, Xiao Y H. Dynamics of soil fauna communities during succession process of secondary forests in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1531-1535.
- [8] Yin W Y. *Subtropical Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1992: 19-20.
- [9] Sackett T E, Classen A T, Sanders N J. Linking soil food web structure to above- and belowground ecosystem processes: a meta-analysis. *Oikos*, 2010, 119(12): 1984-1992.
- [10] Heemsbergen D A, Berg M P, Loreau M, van Hal J R, Faber J H, Verhoef H A. Biodiversity effects on soil processes explained by interspecific functional dissimilarity. *Science*, 2004, 306(5698): 1019-1020.
- [11] Department of Animal Husbandry and Veterinary and General Station of Animal Husbandry and Veterinary of Ministry of Agriculture of China. *Rangeland Resources of China*. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1996: 491-492.
- [12] Wang M, Li Y, Huang R Q, Li Y L. The effects of climate warming on the alpine vegetation of the Qinghai-Tibetan Plateau hinterland. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1275-1281.
- [13] Li D, Huang Y, Wu Q, Ming Z, Jin D Y. Modeling dynamics of soil organic carbon in an alpine meadow ecosystem on Qinghai-Tibetan Plateau using the Century model. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(2): 160-168.
- [14] Yin W Y. *Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 2000: 57-63.
- [15] Yin X Q, An J C, Tao Y, Xin W D, Jiang Y F, Wang F B. Community changes of soil macrofauna in native and degenerative wetlands of the Lhasa River. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1643-1649.
- [16] Yang D X. *Spatial-temporal dynamic of soil fauna community during the process of degradation in Zoigê Wetlands*. Chengdu: Life Sciences and Technologies of Southwest University for Nationalities. 2009.
- [17] Cai Y, Wang Y, Jiang F C, Li C Z. Relationship between the surface pollen and modern vegetation in Zoigê Plateau, northern Sichuan, China. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(5): 707-712.
- [18] Yin W Y. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [19] Xiao N W, Liu X H, Ge F, Ouyang Z Y. Research on soil faunal community composition and structure in the Gaoligong Mountains National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3576-3584.
- [20] Liao C H, Li J X. Re-evaluating the character and application of density-group index (DG). *Biodiversity Science*, 2009, 17(2): 127-134.
- [21] Doblas-Miranda E, Sánchez-Piñero F, González-Megías A. Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: composition and temporal changes in the assemblage. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(8): 1916-1925.
- [22] Wu H T, Lu X G, Jiang M, Zhu B G. The characteristics of soil fauna community structure and its seasonal variations of typical wetlands in the Sanjiang Plain, China. *Wetland Science*, 2008, 6(4): 459-465.
- [23] 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.
- [24] Wang S J, Ruan H H, Wang J S, Xu Z K, Wu Y Y. Composition structure of soil fauna community under the typical vegetations in the WuyiMountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5174-5184.
- [25] Liao C H, Li J X. *Forest Soil Animal Community Ecology in South China Tropical and Subtropical Zones*. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2009: 99-103.
- [26] Wiwatwitaya D, Takeda H. Seasonal changes in soil arthropod abundance in the dry evergreen forest of north-east Thailand, with special reference to collembolan communities. *Ecological Research*, 2005, 20(1): 59-70.
- [27] Yin X Q, Gu W, Dong W H, Qiu L L, Liu Y B, Tao Y. The community change and diversity of soil fauna after artificial vegetation restoration in highway slope. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4295-4305.
- [28] Yang X D, Liu H M, Zheng 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.
- [29] Kardol P, Cregger M A, Campy C E, Classen A T. Soil ecosystem functioning under climate change: plant species and community effects.

- Ecology, 2010, 91(3): 767-781.
- [30] Cotrufo M F, Ineson P. Effects of enhanced atmospheric CO₂ and nutrient supply on the quality and subsequent decomposition of fine roots of *Betula pendula* Roth. and *Picea sitchensis* (Bong.) Carr.. Plant and Soil, 1995, 170(2): 267-277.
- [31] Sjursen H, Michelsen A, Jonasson S. Effects of long-term soil warming and fertilisation on microarthropod abundances in three sub-arctic ecosystems. Applied Soil Ecology, 2005, 30(3): 148-161.
- [32] 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.
- [33] Franklin E, Magnusson W E, Luizão F J. Relative effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrate communities in an Amazonian savanna. Applied Soil Ecology, 2005, 29(3): 259-273.
- [34] Haimi J, Laamanen J, Penttinen R, Rätty M, Koponen S, Kellomäki S, Niemelä P. Impacts of elevated CO₂ and temperature on the soil fauna of boreal forests. Applied Soil Ecology, 2005, 30(2): 104-112.
- [35] Hågvar S, Klanderud K. Effect of simulated environmental change on alpine soil arthropods. Global Change Biology, 2009, 15(12): 2972-2980.
- [36] Slotsbo S, Maraldo K, Malmendal A, Nielsen N C, Holmstrup M. Freeze tolerance and accumulation of cryoprotectants in the enchytraeid *Enchytraeus albidus* (Oligochaeta) from Greenland and Europe. Cryobiology, 2008, 57(3): 286-291.
- [37] Sinclair B J, Terblanche J S, Scott M B, Blatch G L, Klok C J, Chown S L. Environmental physiology of three species of Collembola at Cape Hallett, North Victoria Land, Antarctica. Journal of Insect Physiology, 2006, 52(1): 29-50.
- [38] Irmeler U. Climatic and litter fall effects on collembolan and oribatid mite species and communities in a beech wood based on a 7 years investigation. European Journal of Soil Biology, 2006, 42(1): 51-62.
- [39] Woodcock B A, Watt A D, Leather S R. Influence of management type on Diptera communities of coniferous plantations and deciduous woodlands. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 95(2/3): 443-452.
- [40] Robson T M, Pancotto V A, Scopel A L, Flint S D, Caldwell M M. Solar UV-B influences microfaunal community composition in a Tierra del Fuego peatland. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(12): 2205-2215.
- [41] Convey P, Pugh P J A, Jackson C, Murray A W, Ruhland C T, Xiong F S, Day T A. Response of Antarctic terrestrial microarthropods to long-term climate manipulations. Ecology, 2002, 83(1): 3130-3140.
- [42] Wu D H, Yin W Y, Bu Z Y. Changes among soil nematode community characteristics in relation to different vegetation restoration practices in the moderate degraded grasslands of Songnen. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 1-12.
- [43] Connell J H, Slatyer R O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. The American Naturalist, 1977, 111(982): 1119-1114.
- [44] 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 and Biochemistry, 2009, 41(2): 315-322.

参考文献:

- [1] 张宇博, 杨海军, 王德利, 肖志坚, 韩吉玥. 受损河岸生态修复工程的土壤生物学评价. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1374-1380.
- [2] 李庆新, 盛连喜, 周道玮, 张青. 松嫩草原黄墩蚁 [*Lasius flavus* (Fabricius)] 对土壤理化性质的影响. 应用与环境生物学报, 2006, 12(4): 528-532.
- [3] 樊云龙, 陈许, 苏孝良, 张芳挺. 退化生态系统土壤动物研究概况. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 668-673.
- [6] 林英华, 张夫道, 张俊清, 欧阳学军, 莫定生, 周国逸. 鼎湖山不同自然植被土壤动物群落结构时空变化. 生态学报, 2005, 25(10): 2616-2622.
- [7] 佟富春, 王庆礼, 刘兴双, 肖以华. 长白山次生林演替过程中土壤动物群落的变化. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1531-1535.
- [8] 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992: 19-20.
- [11] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司, 全国畜牧兽医总站. 中国草地资源. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 491-492.
- [12] 王谋, 李勇, 黄润秋, 李亚林. 气候变暖对青藏高原腹地高寒植被的影响. 生态学报, 2005, 25(6): 1275-1281.
- [13] 李东, 黄耀, 吴琴, 明珠, 靳代樱. 青藏高原高寒草甸生态系统土壤有机碳动态模拟研究. 草业学报, 2010, 19(2): 160-168.
- [14] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000: 57-63.
- [15] 殷秀琴, 安静超, 陶岩, 辛未冬, 蒋云峰, 王富斌. 拉萨河流域健康湿地与退化湿地大型土壤动物群落比较研究. 资源科学, 2010, 32(9): 1643-1649.
- [16] 杨大星. 若尔盖湿地退化过程中土壤动物群落的时空动态. 成都: 西南民族大学, 2009.
- [17] 蔡遥, 王燕, 蒋复初, 李朝柱. 川北若尔盖高原表土孢粉的特征及其与现代植被的关系. 地质通报, 2010, 29(5): 707-712.
- [18] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [19] 肖能文, 刘向辉, 戈峰, 欧阳志云. 高黎贡山自然保护区大型土壤动物群落特征. 生态学报, 2009, 29(7): 3576-3584.
- [20] 廖崇惠, 李健雄. 再论 DG 指数的性质与应用. 生物多样性, 2009, 17(2): 127-134.
- [22] 武海涛, 吕宪国, 姜明, 朱宝光. 三江平原典型湿地土壤动物群落结构及季节变化. 湿地科学, 2008, 6(4): 459-465.
- [23] 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.
- [24] 王邵军, 阮宏华, 汪家社, 徐自坤, 吴焰玉. 武夷山典型植被类型土壤动物群落的结构特征. 生态学报, 2010, 30(19): 5174-5184.
- [25] 廖崇惠, 李健雄. 华南热带和亚热带地区森林土壤动物群落动态. 广州: 广东科技出版社, 2009: 99-103.
- [27] 殷秀琴, 顾卫, 董炜华, 邱丽丽, 刘永兵, 陶岩. 公路边坡人工恢复植被后土壤动物群落变化及多样性. 生态学报, 2008, 28(9): 4295-4305.
- [28] 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.
- [42] 吴东辉, 尹文英, 卜照义. 松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤线虫的群落特征. 生态学报, 2008, 28(1): 1-12.

附表 1 若尔盖高寒草甸中小型土壤动物类群和数量组成 ($n=29$)
Appendix table 1 Group composition and quantitative distribution of soil meso-microfauna in Zoigé alpine meadow ($n=29$)

序号 No.	类群 Group	2008-07		2008-10		2009-04		2009-07		2009-10		合计 Total	
		密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%
1	线虫纲 Nematoda	32075.00	95.75	62270.83	88.80	44604.17	95.84	23583.33	97.08	20208.33	80.03	182741.67	91.50
	寡毛纲 Oligochaeta												
2	线蚓科 Enchytraeidae	25.00	0.07	1541.67	2.20	145.83	0.31			500.00	1.98	2212.50	1.11
3	带丝蚓属 <i>Lumbriculus</i>			20.83	0.03							20.83	0.01
	弹尾纲 Collembola												
	弹尾目 Collembola												
4	球角蛱科 Hypogastruridae	25.00	0.07	950.98	1.36	187.50	0.40	62.50	0.26	1479.17	5.86	2705.15	1.36
5	疣蛱科 Neanuridae	25.00	0.07	46.283	0.07					854.17	3.38	925.45	0.46
6	棘蛱科 Onychiuridae	25.00	0.07	356.90	0.51	166.67	0.36					548.57	0.27
7	裔衍蛱属 <i>Folsomides</i>									354.17	1.40	354.17	0.18
8	跳虫属 <i>Podura</i>	25.00	0.07	166.67	0.24							191.67	0.10
9	小等蛱属 <i>Isotomiella</i>									187.50	0.74	187.50	0.09
10	等节蛱科 Isotomidae			145.83	0.21							145.83	0.07
11	圆蛱科 Sminthuridae	25.00	0.07	41.67	0.06			20.83	0.09	41.67	0.17	129.17	0.06
12	类符蛱属 <i>Folsomia</i>							83.33	0.34			83.33	0.04
13	疣跳虫科 Achoridae					41.67	0.09					41.67	0.02
14	长角蛱科 Entomobryidae			20.83	0.04					41.67	0.17	62.50	0.03
15	土蛱属 <i>Tullbergia</i>	25.00	0.07			20.83						25.00	0.01
16	地跳虫科 Oncopoduridae					20.83	0.04					20.83	0.01
17	长蛱属 <i>Entomobrya</i>							20.83	0.09			20.83	0.01
	蛛形纲 Arachnida												
	蜱螨目 Acarina												
18	跗线螨科 Tarsonmidae			1145.83	1.63							1145.83	0.57
19	微离螨科 Microdispidae			895.83	1.28	20.83	0.04			187.50	0.74	1104.17	0.55
20	矮蒲螨科 Pygmephoridae			645.83	0.92							645.83	0.32
21	厉螨科 Laelapidae			270.83	0.39	104.17	0.22	41.67	0.17			416.67	0.21
22	上厉螨属 <i>Ololaelaps</i>			41.67	0.06	270.83	0.58					312.50	0.16
23	毛绥螨属 <i>Lasioseius</i>					83.33	0.18			208.33	0.83	291.67	0.15
24	小跳甲螨属 <i>Microzetorchestes</i>	250.00	0.75									250.00	0.13
25	植绥螨科 Phytoseiidae					229.17	0.49					229.17	0.11
26	长须螨科 Stigmaeidae	50.00	0.15	20.83	0.03	125.00	0.27					195.83	0.10
27	盾螨科 Scutacaridae			145.83	0.21					41.67	0.17	187.50	0.09
28	表刻螨科 Eptidae	150.00	0.45	20.83	0.03							170.83	0.09

续表

序号 No.	类群 Group	2008-07		2008-10		2009-04		2009-07		2009-10		合计 Total	
		密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%
29	大翼甲螨属 <i>Galumna</i>	175.00	0.52							125.00	0.50	175.00	0.09
30	拟上罗甲螨属 <i>Epilohmannioides</i>			41.67	0.06							166.67	0.08
31	顶翼甲螨属 <i>Acrogalumna</i>	100.00	0.30	41.67	0.06							141.67	0.07
32	奥斯甲螨属 <i>Oesobates</i>	50.00	0.15					62.50	0.26	20.83	0.08	133.33	0.07
33	隐颚螨科 Cryptognathidae							41.67	0.17	83.33	0.33	125.00	0.06
34	大小翼甲螨属 <i>Galumnella</i>							20.83	0.09	104.17	0.41	125.00	0.06
35	无气门亚目 Astigmata			104.17	0.15							104.17	0.05
36	腾岛螨科 Teneriffidae	25.00	0.07	62.50	0.09							87.50	0.04
37	囊螨科 Ascidae					41.67	0.09	41.67	0.17			83.33	0.04
38	顶头甲螨属 <i>Acrotocepheus</i>							62.50	0.26	20.83	0.08	83.33	0.04
39	寄螨科 Parasitidae	25.00	0.07	20.83	0.03			20.83	0.09	20.83	0.08	87.50	0.04
40	奥甲螨属 <i>Oppia</i>	25.00	0.07							41.67	0.17	66.67	0.03
41	古甲螨属 <i>Palaeacarus</i>			62.50	0.09							62.50	0.03
42	美绥螨属 <i>Ameroseius</i>			20.83	0.03	20.83	0.04			20.83	0.08	62.50	0.03
43	绒螨科 Trombididae			20.83	0.03			20.83	0.09			41.67	0.02
44	全大翼甲螨属 <i>Pergalumna</i>	25.00	0.07	20.83	0.03							45.83	0.02
45	镰螯螨科 Tydeidae							41.67	0.17			41.67	0.02
46	刀肋甲螨属 <i>Cultroribula</i>							20.83	0.09	20.83	0.08	41.67	0.02
47	足肋甲螨属 <i>Podoribates</i>									41.67	0.17	41.67	0.02
48	珠足甲螨属 <i>Belba</i>			20.83	0.03							20.83	0.01
49	小奥甲螨属 <i>Oppiella</i>			20.83	0.03							20.83	0.01
50	鳞顶甲螨属 <i>Lepidozetes</i>			20.83	0.03							20.83	0.01
51	拉奥甲螨属 <i>Lauropipia</i>			20.83	0.03							20.83	0.01
52	厚螨属 <i>Pachyseius</i>			20.83	0.03							20.83	0.01
53	高壳甲螨属 <i>Liodes</i>			20.83	0.03							20.83	0.01
54	真前翼甲螨属 <i>Eupelops</i>	25.00	0.07									25.00	0.01
55	真翅背甲螨属 <i>Eupterotegeus</i>	25.00	0.07									25.00	0.01
56	革厉螨属 <i>Gamasolaelaps</i>	25.00	0.07									25.00	0.01
57	赤螨科 Erythraeidae	25.00	0.07									25.00	0.01
58	厚厉螨科 Pachylaelapidae							20.83	0.09			20.83	0.01
59	小古真螨科 <i>Eupalopsellidae</i>							20.83	0.09			20.83	0.01
60	手绥螨属 <i>Cheiroseius</i>					20.83	0.04					20.83	0.01
61	(虫穴)螨科 Zerconidae			20.83	0.04							20.83	0.01
62	庭甲螨属 <i>Dometorina</i>					20.83	0.09					20.83	0.01

续表

序号 No.	类群 Group	2008-07		2008-10		2009-04		2009-07		2009-10		合计 Total	
		密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%	密度 Density /(个/m ²)	%
63	叶螨科 Tetranychidae									20.83	0.08	20.83	0.01
64	异珠足甲螨属 <i>Heterobelba</i>									20.83	0.08	20.83	0.01
65	真伊螨科 Euphidae									20.83	0.08	20.83	0.01
66	囊螨属 <i>Asca</i>									20.83	0.08	20.83	0.01
67	卷叶蛛科 Dictynidae	25.00	0.07							20.83	0.08	25.00	0.01
	昆虫纲 Insecta												
	双翅目幼虫 Diptera larvae												
68	尖眼覃蚊科幼虫 Sciadidae larvae	25.00	0.07	375.00	0.53	125.00	0.27			41.67	0.17	566.67	0.28
69	摇蚊科幼虫 Chironomidae larvae	50.00	0.15	166.67	0.24	104.17	0.22			145.83	0.58	466.67	0.23
70	长足虹科幼虫 Dolichopodidae larvae			41.67	0.06	20.83	0.04			145.83	0.58	208.33	0.10
71	蚜蝇科幼虫 Syrphidae larvae					83.33	0.18	41.67	0.17			125.00	0.06
72	舞虻科幼虫 Empididae larvae					62.50	0.13					62.50	0.03
73	虹科幼虫 Tabanidae larvae			41.67	0.06					20.83	0.08	62.50	0.03
74	伪大蚊科幼虫 Anisopodidae larvae			20.83	0.03							20.83	0.01
75	鹬虻科幼虫 Rhagionidae larvae	25.00	0.07									25.00	0.01
76	大蚊科幼虫 Tipulidae larvae	25.00	0.07									25.00	0.01
77	蚤蝇科幼虫 Phoridae larvae									20.83	0.08	20.83	0.01
78	蝇科幼虫 Muscidae larvae			20.83	0.03							20.83	0.01
	鞘翅目 Coleoptera												
79	象甲科幼虫 Curculionidae larvae	25.00	0.07	104.17	0.15	20.83	0.04	20.83	0.09	41.67	0.17	212.50	0.11
80	隐翅甲科成虫 Staphylinidae adult	50.00	0.15	20.83	0.03							70.83	0.04
81	出尾蓟甲科幼虫 Scaphidiidae larvae									62.50	0.25	62.50	0.03
82	隐翅虫科幼虫 Staphylinidae larvae	25.00	0.07	20.83	0.03							45.83	0.02
83	步甲科幼虫 Carabidae larvae							20.83	0.09			20.83	0.01
84	叩甲科幼虫 Elateridae larvae									20.83	0.08	20.83	0.01
85	同翅目 Homoptera			41.67	0.06					41.67	0.17	83.33	0.04
86	等翅目 Isoptera	25.00	0.07									25.00	0.01
	双尾纲 Diplura												
87	钳亚目 Dicellurata			20.83	0.03					20.83	0.08	20.83	0.01
88	蠼螋线纲 Paupropoda											20.83	0.01
	密度 Density(个/m ²)	33500.00	100.00	70125.00	100.00	46541.67	100.00	24291.67	100.00	25250.00	100.00	199708.33	100.00
	类群数 Groups	31		43		21		21		35		88	

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.15 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance	LI Fengrui, LIU Jiliang, HUA Wei, et al (4169)
Construction and comparative analysis of enriched microsatellite library from <i>Liposcelis bostrychophila</i> and <i>L. entomophila</i> genome	WEI Dandan, YUAN Minglong, WANG Baojun, et al (4182)
Development of EST-SSRs markers and analysis of genetic diversities among different geographical populations of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i>	YAN Xiwu, YU Zhifei, QIN Yanjie, et al (4190)
Genetic diversity of different generations of the Dalian population of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> through selective breeding	YU Zhifei, YAN Xiwu, YANG Fei, et al (4199)
Comparative study of spike differentiation in wheat in the glasshouse and field	JIANG Lina, ZHAO Yanling, SHAO Yun, et al (4207)
Effects of organic fertilizer on growth and endogenous hormone contents of wheat seedlings under salt stress	LIU Haiying, CUI Changhai, ZHAO Qian, et al (4215)
Impacts of climatic change on spring wheat growth in a semi-arid region of the Loess Plateau: a case study in Dingxi, Gansu Province	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (4225)
Dynamic changes in nitrogen and phosphorus concentrations and emission-reduction potentials in paddy field water under different tillage models	FENG Guolu, YANG Renbin (4235)
Effects of planting and straw returning of transgenic Bt maize on soil enzyme activities under field condition	YAN Shilei, ZHAO Lei, SUN Hongwei, et al (4244)
Effects of short-term flooding on <i>Geobacteraceae</i> spp. and <i>Anaeromyxobacter</i> spp. abundance in paddy soil	ZHU Chao, Stefan Ratering, QU Dong, et al (4251)
Adaptive adjustments of the sowing date of late season rice under climate change in Guangdong Province	WANG Hua, CHEN Xinguang, HU Fei, et al (4261)
Carbon and nitrogen sequestration rate in long-term fenced grasslands in Inner Mongolia, China	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (4270)
Ecosystems carbon storage and carbon sequestration potential of two main tree species for the Grain for Green Project on China's hilly Loess Plateau	LIU Yingchun, WANG Qiufeng, YU Guirui, et al (4277)
Wettability on plant leaf surfaces and its ecological significance	SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang (4287)
Seasonal dynamics of litter accumulation in major forest communities on the northern slope of Changbai Mountain, Northeast China	ZHENG Jinping, GUO Zhongling, XU Chengyang, et al (4299)
A comparative study of seed germination traits of 52 species from Gurbantunggut Desert and its peripheral zone	LIU Huiliang, SONG Mingfang, DUAN Shimin, et al (4308)
The reproductive ecological characteristics of <i>Sinosenecio jishouensis</i> (Compositae) and its endangerment mechanisms	DENG Tao, CHEN Gongxi, ZHANG Daigui, et al (4318)
Iterative algorithm for analyzing the influence of the proportion of permanently destroyed sites on the equilibrium abundances of species	SHI Peijian, GE Feng, YANG Qingpei (4327)
Physiological mechanism of foliage spraying paclobutrazol on increasing salt tolerance of <i>Jatropha curcas</i> seedlings	MAO Yiqing, ZHENG Qingsong, CHEN Jianmiao, et al (4334)
Spatial ecological niche of main insect borers in larch of Aershan	YUAN Fei, LUO Youqing, SHI Juan, et al (4342)
Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers <i>Sogatella furcifera</i> (Horváth) in Yunnan, 2009	SHEN Huimei, LÜ Jianping, ZHOU Jinyu, et al (4350)
Life history and the evolutionary significance of egg diapause in Changsha population of the rice grasshopper, <i>Oxya chinensis</i> (Orthoptera: Catantopidae)	ZHU Daohong, ZHANG Chao, TAN Ronghe (4365)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in "518" nectarine orchard	SHI Xiaoli, BI Shoudong, GENG Jiguang, et al (4372)
Dynamics of soil meso- and microfauna communities in Zoigê alpine meadows on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China	ZHANG Hongzhi, WU Pengfei, YANG Daxing, et al (4385)
Seasonal changes in waterbirds population and movements of Great Black-headed Gull <i>Larus ichthyaetus</i> at Keluke Lake of Qinghai, China	ZHANG Guogang, LIU Dongping, HOU Yunqiu, et al (4398)
Predictions of net carbon emissions based on the emissions and forest carbon sinks in Yunnan Province	LIU Huiya, WANG Zheng, MA Xiaozhe (4405)
Ecological water depletion by human use in Beijing City	BAI Yinglan, WANG Rusong, YAO Liang (4415)
Review and Monograph	
Research progress on regulation mechanism for the process of water transport in plants	YANG Qiliang, ZHANG Fucang, LIU Xiaogang, et al (4427)
Antibiotics in environmental matrices and their effects on microbial ecosystems	YU Shen, WANG Min, HONG Youwei (4437)
Anaerobic ammonium oxidation in natural ecosystems	SHEN Lidong, ZHENG Ping, HU Baolan (4447)
Scientific Note	
Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula	ZHANG Ying, LÜ Zhenbo, XU Zongfa, et al (4455)
Seasonal succession of crustacean zooplankton in relation to the major environmental factors in Lake Ulungur, Xinjiang	YANG Lili, ZHOU Xiaoyu, LIU Qigen, et al (4468)
Effect of different fertilization and irrigation practices on soil ammonia volatilization of Arecanut (<i>Areca catechu</i> L.)	LU Lilan, GAN Bingchun, XU Minghui, et al (4477)

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 15 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 15 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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