

# 内蒙古东部过渡带大型土壤节肢动物多样性调查

朱新玉<sup>1,2</sup>, 高宝嘉<sup>2\*</sup>, 胡云川<sup>1</sup>

(1. 商丘师范学院 环境与规划学院, 河南 商丘 476000; 2. 河北农业大学, 河北 保定 071000)

**摘要:**利用样带法对河北北部, 内蒙古东部林牧过渡带不同生境中大型土壤节肢动物群落进行调查, 研究过渡带大型土壤节肢动物群落结构及多样性变化。共获得大型土壤节肢动物 2 134 只, 隶属 6 纲 18 目, 其中优势类群为膜翅目和蜘蛛目, 常见类群为同翅目、鳞翅目、鞘翅目成虫、鞘翅目幼虫、双翅目幼虫、石蜈蚣目和地蜈蚣目, 其余类群为稀有类群。大型土壤节肢动物在 3 个地带中的森林带的种类最高(17 类), 且对土壤环境响应敏感的稀有类群数最多的出现在植被丰富、土壤疏松和枯枝落叶层厚度最高的森林带(8 类), 初步认为这些稀有类群对指示土壤肥力质量变化具有巨大潜力。在土壤动物群落多样性研究中, *DG* 指数比 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )更能体现土壤动物群落多样性。群落聚类及排序结果显示, 9 种不同生境的大型土壤节肢动物群落可以分为 3 大类: 森林类、森林-草甸类和草甸-草原类, 同时土壤 pH 值对土壤节肢动物的类群数影响较大, 而土壤温度对土壤节肢动物的个体数影响较大。

**关键词:**大型土壤节肢动物; 森林; 多样性; 林牧过渡带

**中图分类号:**Q958.1      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)05-0129-06

## Community Structure and Diversity of Soil Macro-arthropod in the Forest-steppe Ecotone

ZHU Xin-yu<sup>1,2</sup>, GAO Bao-jia<sup>2\*</sup>, HU Yun-chuan<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Planning, Shangqiu Normal University, Shangqiu, Henan 476000, China;  
2. Agriculture University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** To understand the composition and structure of soil macro-arthropod community and diversity of soil macro-arthropod community, soil macro-arthropods were investigated in the forest-steppe ecotone in northern Hebei Province. A total of 2 134 individuals of soil macro-arthropods were collected, which belonged to 6 classes, 18 orders. The dominant orders were Hymenoptera and Araneae, Homoptera, Lepidoptera, Coleoptera, Coleoptera larva, Diptera larva, Lithobiomorpha and Geophilomorpha were common orders, and others were rare orders. The highest groups of soil arthropod were in the forest zone, and the increased abundance of rare groups in the forest zone with the richer vegetation, higher arthropod abundance and more substantial litter depth, could be interpreted as a reaction to the suitable soil environment. And these rare groups were sensitive to soil environmental changes, which could be regarded as biotic indicators for evaluating soil ecological environment. The *DG* index was better than the Shannon-Wiener index ( $H'$ ) in indicating the diversity of soil fauna community. Using the hierarchical cluster and the non-matric multi-dimensional scaling, the nine plots were classified into three groups: forest group, forest-steppe group and meadow-steppe group. The interconnect degree between soil pH and the groups was maximum, while the interconnect degree between ground temperature and the individuals was maximum.

**Key words:** soil arthropod; hierarchical cluster; diversity; ecotone

收稿日期: 2011-10-17    修回日期: 2011-12-21

基金项目: 国家自然科学基金(30070626); 商丘师范学院 2011 年度青年科学基金(2011QN21)。

作者简介: 朱新玉, 女, 博士, 讲师, 主要研究方向: 环境土壤学和农业生态学。

\* 通讯作者: 高宝嘉, 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 生态学及森林有害生物治理。E-mail: tia20021201@163.com

生态过渡带是 2 个不同生态系统之间的过渡地区,是陆地生态系统对全球气候变化响应的关键地段,具有宏观性、动态性和过渡性基本特征<sup>[1]</sup>,是生态系统功能和结构在时间和空间尺度变化较快的地区,同时也是生物多样性较高的区域<sup>[2-5]</sup>、全球环境变化的敏感区<sup>[3-4,6]</sup>。近年来,对土壤动物群落结构、多样性、稳定性及其功能性的研究多集中在森林<sup>[7-8]</sup>、草地<sup>[9-10]</sup>和农田<sup>[11-12]</sup>等单一的生态系统,揭示了各地区土壤动物的区系组成、消长动态和分布特点及影响因素等。林牧过渡带是地处森林带和草原带之间的过渡区,以森林和草原 2 种植被共存为特色,具有高的生物多样性、生态脆弱性或复杂性。近年来,不少研究者对森林—草原过渡带的植被种类、类型、分布规律和植被生产力进行了较详细的研究<sup>[13-15]</sup>,而对于土壤动物的研究则鲜见报道<sup>[16]</sup>。开展林牧过渡带土壤节肢动物群落结构特征及多样性研究,可从理论上丰富过渡带的研究内容,进而研究群落形成机制与演替,为早期生态预警和过渡带生态系统管理提供丰富的基础资料。因此,本研究旨在研究林牧过渡带大型土壤节肢动物群落结构组成和多样性变化,探讨过渡带地区的土壤动物群落结构变化及其影响因素,为本地区生物多样性保护提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

研究地区位于河北北部坝上高原、内蒙古浑善达克沙地东部,地理坐标为 42°00′~42°31′N、116°41′~117°30′E。就植物区系而言,该地区位于中国、日本森林植物亚区与欧亚草原植物亚区的交错截面上,系暖温带落叶阔叶林向温带草原过渡区域,属于典型的过渡类型。区域海拔高度 1 100~1 800 m,属于寒温带大陆性季风气候,年降水量 350~450 mm,年均温 -1.6~1.6℃,7—8 月平均温度为 17.5~24.1℃,无霜期 60 d 左右;具有气温低、无霜期短、降水量少、四季不分明、雨热同期和旱寒同季的特点。主要木本植物有华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、樟子松(*Pinus sylvestris*)、桦木(*Betula*)、山杨(*Populus davidiana*)及其混交林等,林龄近 50 a;林下灌木稀少,主要是绣线菊(*Spiraea*)、山荆子(*Malus baccata*)等;草本植物主要有羊草(*Leymus chinensis*)、针茅(*Stipa*)、细叶苔草(*Cares rigescens*)和蒿(*Artemisia*)等。坝上土壤以风沙土为主,间有草原土和沼泽土,结坝山区多为灰色森林土及棕壤。

1.2 样地设置

于 2006—2007 年在野外植物调查的基础上,依

据研究区主要植物群落空间分布特征,利用 1:20 000 植被类型图和地形林相图,结合其他学者对该地区过渡带景观研究的结果将该地区划分为森林带、森林-草甸带、草甸-草原带 3 种类型。设置 1 条横穿 3 种类型的样带,根据样带法并依据植被类型在样带上或样带附近来选取有代表性的样地。样带的设置使其尽可能地穿越 3 种类型中的各种生态类型。本次调查共选取了 3 个作业地点(D 坝下森林带、E 坝上森林-草甸带和 F 草甸-草原带)和以下几种林型:D1 华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)林、D2 樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)林、D3 天然次生林;E1 华北落叶松林、E2 樟子松林、E3 天然次生林;F1 华北落叶松林、F2 樟子松林、F3 天然次生林,每种林型设 3 块样地。森林群落样地面积 30 m×30 m,草原样地面积 20 m×20 m。

1.3 研究方法

于 2008 年的 5、7、9 月进行了 3 次采样,共取土样 972 个。每个样地设 4 个 50 cm×50 cm 样方,先去除地上植株,自上而下分 3 层,即 0~5 cm(I)、5~10 cm(II)、10~15 cm(III),采用手捡法采集大型土壤节肢动物,用 75%酒精杀死后带回室内鉴定。大型土壤节肢动物的分类鉴定采用尹文英的大类别(纲、目和科)<sup>[17-18]</sup>。另外,沿土壤剖面自上而下,分别采集 0~5、5~10 cm 和 10~15 cm 的土样,用于室内土壤测定。用 100 cm 3 环刀采集土壤样品,装入铝盒,用于测定土壤含水量。用 Hi93531 型热电偶便捷式温度计测量 0~10、10~20 cm 的土壤温度,按照文献<sup>[19]</sup>中的方法分析土壤理化性质。

1.4 数据分析

Shannon- Wiener 信息多样性指数( $H'$ ):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log P_i \tag{1}$$

式中: $S$  为所有的物种数; $P_i$  为第  $i$  个物种的多度比例。

Pielou 均匀度指数( $J$ ):

$$J = H' / \ln S \tag{2}$$

式中: $H'$  为 Shannon-Wiener 多样性指数; $S$  为所有物种数。

Simpson 优势度指数( $C$ ):

$$C = \sum_{i=1}^s P_i^2 \tag{3}$$

式中: $s$  为所有的物种数; $P_i$  为第  $i$  个类群在群落中的个体比例。

群落欧氏距离(ED):

$$ED = \sqrt{\sum_{i=1}^s (X_{ij} - X_{ik})^2} \tag{4}$$

式中: $s$  为样区内类群的数目,  $X_{ij}$  和  $X_{ik}$  分别为  $i$  类群

在群落  $j$ 、 $k$  中的密度  $Y_{ij}$ 、 $Y_{ik}$  的 4 次方根<sup>[20]</sup>。运用 SPSS16.0 进行非度量多维标度(Non-matric Multi-Dimensional Scaling, MDS)的二维分析进行排序。

密度-类群指数(DG):

$$DG=\sum(D_i/D_{\max})\cdot(D/GT)$$
 (5)

式中: $D_i$  为第  $i$  类群的密度;  $D_{\max}$  为各群落中第  $i$  类群的最大密度; $G$  为群落中类群数;  $GT$  为各群落所包含的总类群数,每个类群在各群落中的最大相对密度为 1<sup>[22]</sup>。

运用灰色系统理论一灰关联度分析影响大型土壤节肢动物群落的部分土壤因子。

文中所有数据的统计分析均在 Excel2003 中进行,群落多样性及灰色关联度分析在 SPSS16.0 数据分析系统中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 大型土壤节肢动物群落组成

共获得大型土壤节肢动物 2 134 头,分属于 6 纲 18 目(表 1)。由表 1 可知,膜翅目(32.24%)和蜘蛛目(23.57%)占捕获总量的比率较大,为该地区的优势类群。常见类群为同翅目(5.86%)、鳞翅目

(2.48%)、鞘翅目成虫(9.84%)鞘翅目幼虫(6.65%)、双翅目幼虫(8.39%)、石蜈蚣目(4.97%)和地蜈蚣目(3.09%),其余类群占个体总数的 1.00%以下,为稀有类群。2 个优势类群和 4 个常见类群个体总数占总个体数的 97.09%,构成了大型土壤节肢动物群落主体,对大型土壤节肢动物群落特征起着决定性作用。稀有类群虽然仅拥有很少的个体,但其中个体较大的类群,如马陆目、蛭蟥目等却是碎裂植物残体的主力,在物质循环过程中发挥着重要的作用。

过渡带 3 个地带大型土壤节肢动物群落组成具有明显的差异,如同翅目的数量在草甸-草原带为 10.29%,属于优势类群,而在其他 2 带中则降为常见类群,说明草甸-草原带的土壤生态环境较适于其生存;鞘翅目成虫在森林带为优势类群,而在其他 2 带则降为常见类群。土壤动物对土壤生态环境要求不同,导致其分布的不同,蜚蠊目和革翅目仅在森林带出现,直翅目仅在草甸-草原带发现,而等翅目仅在森林-草甸带出现,这些物种是不是其所在地带的特有种,是否可以作为敏感的指示物种,还需进一步研究。

表 1 林牧过渡带不同生境类型大型土壤节肢动物群落组成

Table 1 Composition of soil macro-arthropod communities in different habitats in the ecotone of forest-steppe

类群	森林带		森林-草甸带		草甸-草原带		总数	相对多度	多度
	NI	%	NI	%	NI	%			
膜翅目 Hymenoptera	281	36.35	134	19.68	273	40.15	688	32.24	+++
半翅目 Hemiptera	10	1.29	3	0.44	8	1.18	21	0.98	+
同翅目 Homoptera	10	1.29	45	6.61	70	10.29	125	5.86	++
鳞翅目 Lepidoptera	5	0.65	11	1.62	37	5.44	53	2.48	++
双尾目 Diplura	3	0.39	0.00	0.00	5	0.74	8	0.37	+
蜚蠊目 Blattoptera	5	0.65	0	0.00	0	0.00	5	0.23	+
革翅目 Dermaptera	1	0.13	0	0.00	0	0.00	1	0.05	+
直翅目 Orthoptera	0	0.00	0	0.00	1	0.15	1	0.05	+
等足目 Isopoda	1	0.13	4	0.59	4	0.59	9	0.42	+
等翅目 Isoptera	0	0.00	1	0.15	0	0.00	1	0.05	+
鞘翅目成虫 Coleoptera	83	10.74	60	8.81	67	9.85	210	9.84	++
鞘翅目幼虫 Coleoptera larva	35	4.53	64	9.40	43	6.32	142	6.65	++
双翅目幼虫 Diptera larva	77	9.96	66	9.69	36	5.29	179	8.39	++
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	35	4.53	62	9.10	9	1.33	106	4.97	++
地蜈蚣目 Geophilomorpha	44	5.69	20	2.94	2	0.29	66	3.09	++
蛭蟥目 Scutigermorpha	2	0.26	0	0.00	1	0.15	3	0.14	+
马陆目 Sphaerotheriida	6	0.78	1	0.15	0	0.00	7	0.33	+
结合目 Symphyia	3	0.39	3	0.44	0	0.00	6	0.28	+
蜘蛛目 Araneae	172	22.25	207	30.40	124	18.24	503	23.57	+++
类群数 Groups	17		14		14		19		
Σ	773		681		680		2134		

注:NI:个体数;+++ : 优势类群(>10%);++ : 常见类群(1%~10%);+ : 稀有类群(0.05%~1%)。

2.2 大型土壤节肢动物群落多样性

大型土壤节肢动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、均匀度指数( $E$ )和优势度指数( $C$ )相差较小(图 1)。但 3 个地带的大型土壤节肢动物群落  $DG$  指数差别较大,森林带(D)(9.23)>森林-草甸带(E)(6.84)>草甸-草原带(F)(6.64)。各地带不同生境中大型土壤节肢动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )和优势度指数( $C$ )相差不大,其  $DG$  指数大小为:D3(5.14)>E3(4.04)>D1(3.90)>F2(3.65)>F1(3.22)>E1(2.29)>D2(2.08)>E2(1.69)>F3(1.49)。

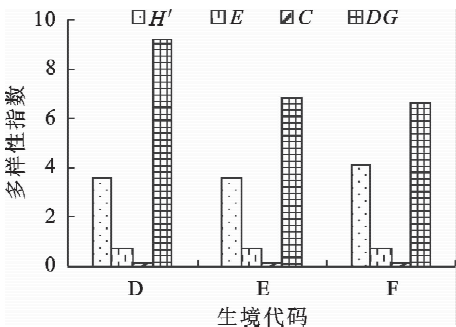


图 1 过渡带不同地带大型土壤节肢动物多样性  
Fig. 1 Diversity of soil macro-arthropod communities

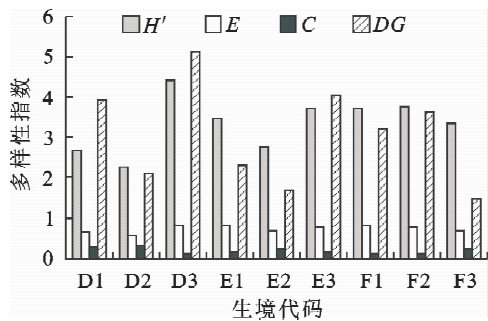


图 2 不同生境大型土壤节肢动物多样性  
Fig. 2 Diversity of soil macro-arthropod in different habitats

2.3 群落的聚类分析

利用欧氏距离进行组间平均聚类的方法,结果见图 3。F1、F2 和 F3 群落同处于草甸草原带,生态环境较为相似,故首先聚合在一起;D2 和 E2 是不同地带的樟子松群落,二者有很大的共性,D3 和 E3 也是不同地带的天然次生林群落,二者同样具有相似性。9 种不同生境类型中的大型土壤节肢动物群落可以分为 3 大类型,即森林类、森林-草原类和草甸-草原类。

非度量多维度的二维分析结果见图 4,Stress 值为 0.306 9,此值>0.2,说明图形吻合较好。从排序图上可以推测排序的影响因素,在横轴上从左至右,是按照森林带—森林-草甸带—草甸-草原带这样一个变化梯度,可以推测影响排序的第一维因素

可能与植被的结构有关;在纵轴上,上部的大型土壤节肢动物群落多样性指数  $DG>$  下部土壤节肢动物群落,排序的第二影响因素可能和土壤动物群落所在生境的生态环境因子有关。

2.4 大型土壤节肢动物群落与土壤因子的关系

选取了土壤含水量、土壤温度和 pH 值 3 个土壤环境要素指标,运用灰色关联度对大型土壤节肢动物群落与环境因子的关系进行分析,以各月份总的大型土壤节肢动物类群数和个体数作为母因子,以土壤的 3 个环境要素作为子因子进行灰色关联度分析(表 2)。可以看出,大型土壤节肢动物类群数与土壤因子的关联度为土壤有机质>土壤 pH>土壤温度>土壤含水量,经显著性检验,土壤有机质、土壤 pH 和土壤含水量之间有显著的差异( $p<0.05$ )。个体数与土壤因子的关联度为土壤有机质>土壤温度>土壤含水量>土壤 pH,且土壤有机质与其他因子之间有显著差异( $p<0.05$ )。总体看来,土壤有机质含量对大型土壤节肢动物群落类群数和个体数均有显著影响;土壤 pH 值对大型土壤节肢动物的类群数影响较大;土壤温度和含水量对其个体数影响较大。

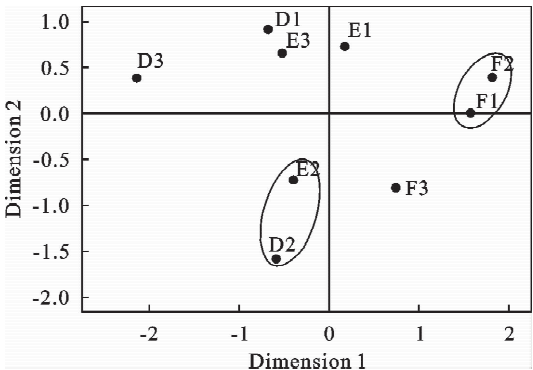


图 3 不同生境大型土壤节肢动物群落系统聚类分析  
Fig. 3 Cluster analysis chart of soil macro-arthropod communities in different habitats

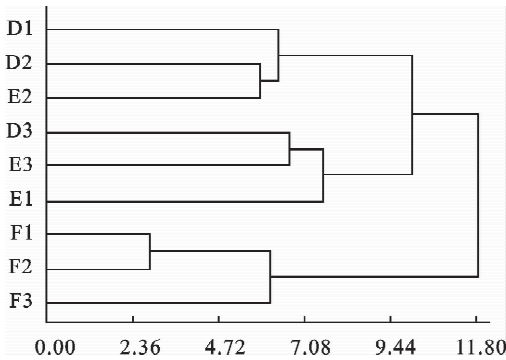


图 4 群落二维非度量标度排序 (Stress=0.306 9)  
Fig. 4 Two dimensional MDS ordinal configuration

表 2 大型土壤节肢动物类群数和个体数与土壤因子的灰色关联度

土壤因子	大型土壤节肢动物	
	类群	个体
土壤有机质	0.56bc	0.62b
土壤温度/℃	0.33ab	0.48a
土壤含水量/%	0.29a	0.42a
土壤 pH	0.48b	0.39a

注:同列小写字母不同表示差异显著( $p<0.05$ )。

### 3 结论与讨论

该研究区系温带大陆性季风气候,由于大型土壤动物的类群和个体数量受外界环境条件影响较大,地区差异较为显著。20 世纪 80 年代后期,国内学者对森林生态系统土壤动物群落进行了较为系统的调查研究,获得大型土壤节肢动物类群数介于 11~16 种(浙江金华北山 15 种、湖南衡山 11 种、岳麓山 16 种、吉林长白上 16 种)<sup>[18]</sup>;研究区大型土壤节肢动物为 19 类,均比上述生态系统丰富。可能与研究区地处森林和草原的过渡地带,由于边缘效应作用使过渡带某些生态因子(可能是物质、能量、地域等)或系统属性的差异和协作用及多种生态系统联合作用引起土壤动物物种类群、物种丰富度有较大变化,使其大型土壤节肢动物的类群数较以上地区丰富。

在 3 地带中,大型土壤节肢动物优势类群和常见类群基本相同,对土壤生态环境较为敏感的稀有类群有一定差异,往往只生活在特定的土壤生境中。调查中发现森林带的稀有类群是 3 个地带中最多的,而其植被的丰富度、土壤疏松度和枯枝落叶层厚度都是这 3 个地带中最高的。这在一定程度上反映了常见类群与大气候条件密切,稀有类群与小生境有关,对于指示土壤生态环境的变化潜力巨大<sup>[21]</sup>。

在进行大型土壤节肢动物群落多样性比较时,密度-类群  $DG$  指数比 Shannon-Wiener 指数  $H'$  能更好的反应土壤动物群落多样性。Shannon-Wiener 指数  $H'$  在进行多群落比较时有其局限性,它首先假定群落内部各物种之间是竞争的,此多彼少,在群落中只要各个物种的数量相等,不管数量如何地少,这个群落都可以获得最大的多样性值。因此它只宜于说明群落本身多样性可能达到什么程度,而不能做群落间的比较。像土壤动物这类分类范围广泛,生态功能各有差异的群落是不能与之相提并论的。在本次大型土壤节肢动物群落多样性分析中,运用了廖崇惠<sup>[22]</sup>等提出的利用  $DG$  指数的方法来

进行多群落的比较,该指数将各类群视为同等独立,可进行多群落间的比较,综合考虑了多方面的因素,使群落多样性及复杂性展现地更加合理,因此  $DG$  指数值得高度重视。此外,通过土壤动物群落的聚类和排序,探讨了土壤动物群落差异性产生的原因,即影响土壤动物群落的外部环境因素,可为研究土壤动物群落多样性差异带来新的启发。

通常认为,土壤动物群落多样性与丰富度是土壤质量、土壤肥力的重要标志,而土壤动物群落多样性及丰富度与土壤有机质的关系密切<sup>[16]</sup>。丰富的土壤有机质为土壤动物提供了重要的可利用资源<sup>[23-24]</sup>;显著改善土壤结构等土壤物理化学特性,提高土壤的保肥能力和缓冲性能,从而为土壤动物提供更为合适的生存微环境<sup>[23,25]</sup>;因此,土壤有机质含量较高则具有较为丰富的土壤节肢动物。土壤 pH 值是影响大型土壤节肢动物群落组成的主要因素,而土壤温度和含水量则是影响大型土壤节肢动物群落数量的主要因素。本文对大型土壤节肢动物只进行了大的类群划分,由于不同种类对同一环境因子变化的响应不同,在今后的研究中,可以尝试对其进行更详细的划分。

### 参考文献:

[1] NASSIMA S L, PONGE J F. Soil animal communities in Holm oak forests: influence of horizon, altitude and year[J]. European Journal of Soil Biology, 2003, 39(4): 197-207.

[2] WALT H. World vegetation-ecosystem of land biosphere [M]. Beijing: Science Press,1984;5, 75,100,147.

[3] 朱芬萌,安树青,关保华,等. 生态交错带及其研究进展[J]. 生态学报,2007,27(7):3032-3042.

ZHU F M, AN S Q, GUAN B H, *et al.* A review of ecotone: oncepts, attributes, theries and research advances[J]. Acta Ecologica Snica, 2007,27(7):3032-3042. (in Chinese)

[4] GATES J E, GYSEL L W. Avian nest dispersion and fledging success in field-forest ecotones[J]. Ecology, 1978, 59(5): 871-881.

[5] LAURANCE W F, DIDHAM R K, POWER M F. Ecological boundaries: a search for synthesis[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2001,16(2):70-71.

[6] LUBCHENCO J, OLSON A M, BRUBAKER L B, *et al.* The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda- a report from the ecological society of American[J]. Ecology, 1991, 72(2):371-412.

[7] 廖崇惠,李健雄,杨悦屏,等. 海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落的组成及其特征[J]. 生态学报,2002,22(11): 1866-1872.

LIAO C H, LI J X, YANG Y P, *et al.* The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfengling Moubtain, Hainan Island, China. —— composition and characteristics of community[J]. Acta Ecologica Snica, 2002,22(11):1866-

1872. (in Chinese)
- [8] ALVES M V, SANTOS J C P, DE GOIS T, *et al.* Soil macrofauna as influenced by chemical fertilizers and swine manure use in western Santa Catarina State [J]. Brazil. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 2008, 32(2): 589-598.
- [9] 殷秀琴, 李建东. 羊草草原土壤动物群落多样性的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(2): 186-188.
- YIN X Q, LI J D. Diverstiy of soil animals community in *Leymus chinensis* grassland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(2): 186-188. (in Chinese)
- [10] COLE L, BUCKLAND S M, BARDGEETT R D. Relating Microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipilations in temperate grassland [J]. Soil Biology and Biochemisry, 2005, 37(9): 1707-1717.
- [11] 朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 等. 长期施肥对黄淮平原农田中小型土壤节肢动物的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 69-74.
- ZHU Q G, ZHU A N, ZHANG J B, *et al.* Effects of long-term fertilization on cropland soil meso-micro arthropods in Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(1): 69-74. (in Chinese)
- [12] ZHAO Y C, WANG P, LI J L, *et al.* The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat-maize cropping system [J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(1): 36-42.
- [13] 王庆锁, 冯宗伟, 罗菊春. 河北北部、内蒙古东部森林-草原交错带生物多样性研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 141-146.
- WANG Q S, FENG Z W, LUO J C. Biodiversity of forest-steppe ecotone in Northern Hebei Province and Eastern Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000, 24(2): 141-146. (in Chinese)
- [14] 王庆锁, 刘涛, 冯宗伟, 等. 森林-草原交错带白桦林和山杨林植物多样性研究[J]. 林业科学, 2000, 36(1): 110-115.
- WANG Q S, LIU T, FENG Z W, *et al.* Study on plant diversity of *Betula platyphylla* and *Populus davidiana* forest - stteppe ecotone[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(1): 110-115. (in Chinese)
- [15] 王庆锁. 河北北部、内蒙古东部森林-草原交错带森林景观格局初步研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(3): 11-15.
- WANG Q S. Forest landscape spatial patterns of forest-steppe ecotone in northern Hebei Province and eastern Inner Mongolia in China[J]. Chines Journal of Ecology, 2004, 23(3): 11-15. (in Chinese)
- [16] ZHU X Y, GAO B J, YUAN S L. Community structure and seasonal variation of soil arthropods in the forest-steppe ecotone of mountainous region in Northern Hebei, China [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 7(2): 187-196.
- [17] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [18] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [19] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 30-67.
- [20] 葛宝明, 程宏毅, 郑祥, 等. 浙江金华不同城市绿地大型土壤动物群落结构与多样性[J]. 生物多样性, 2005, 13(3): 197-203.
- GE B M, CHENG H Y, ZHENG X, *et al.* Community structure and diversity of soil macrofauna from different urban greenbelts in Jinhua City, Zhejiang Province[J]. Biodiversity Science, 2005, 13(3): 197-203. (in Chinese)
- [21] 朱新玉, 朱波, 吴鹏飞. 土壤动物对紫色土施肥方式的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(6): 784-788.
- ZHU X Y, ZHU B, WU P F. Response of soil fauna to fertilization in purple soil[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental biology, 2010, 16(6): 784-788. (in Chinese)
- [22] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 549-555.
- LIAO C H, LI J X, HUANG H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(5): 549-555. (in Chinese)
- [23] KAUTZ T, LPEZ-FANDO C, ELLMER F. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in central Spain [J]. Applied Soil Ecology, 2006, 33(3): 278-285.
- [24] 刘卓玛姐, 刘增文, 冯顺煜, 等. 陕北半湿润黄土丘陵区不同人工林土壤生物学特征研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(2): 26-31.
- LIU ZHUO M J, LIU Z W, FENG S Y, *et al.* Soil biological characteristics in different kinds of artificial forests in the semi-humid zones of Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(2): 26-31. (in Chinese)
- [25] 刘瑞英, 谭胡燕, 杨改河, 等. 辛家山不同森林类型土壤基本化学性质研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 18-23.
- LIU R Y, TAN H Y, YANG G H, *et al.* Soil chemical properties of different forest types in Xinjiashan Mountain [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(5): 18-23. (in Chinese)