

森林-草原交错带土壤节肢动物群落多样性*

朱新玉¹ 高宝嘉^{1,2,*} 毕华铭³ 王文勋³ 袁胜亮¹ 胡云川¹

(¹ 河北农业大学, 河北保定 071000; ² 河北北方学院, 河北张家口 075051; ³ 塞罕坝机械林场, 河北围场 068466)

摘要 在河北北部的塞罕坝森林草原交错区进行了土壤节肢动物群落组成与多样性调查, 共获得土壤节肢动物 25 类, 10 420 头, 分属于 6 纲 24 目. 交错区地带土壤节肢动物群落优势类群为弹尾目和蜱螨目, 常见类群有 8 类, 稀有类群 15 类. 群落的多样性分析表明, 森林带的多样性指数 (H')、密度-类群指数 (DG) 和均匀度指数较大, 而草甸草原带各种指数较小. pH 值与土壤节肢动物的类群数关联度较大, 而温度和含水量与土壤节肢动物的个体数关联度较大.

关键词 森林-草原交错带 土壤节肢动物 关联度 多样性

文章编号 1001-9332(2007)11-2567-06 中图分类号 Q958.1;S718.7 文献标识码 A

Community diversity of soil arthropods in forest-steppe ecotone. ZHU Xin-yu¹, GAO Bao-jia^{1,2}, BI Hua-ming³, WANG Wen-xun³, YUAN Sheng-liang³, HU Yun-chuan¹ (¹ Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China; ² Hebei North University, Zhangjiakou 075051, Hebei, China; ³ Saihanba Mechanical Forest Farm, Weichang 068466, Hebei, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2007, 18(11): 2567-2572.

Abstract: An investigation on the community diversity of soil arthropods in the forest-steppe ecotone of north Hebei Province was conducted. A total of 10 420 individuals of soil arthropods were collected, which belonged to 25 groups, 6 classes and 24 orders. Acarina and Collembola were the dominant orders, and there were 8 groups of frequent orders and 15 groups of rare orders. The diversity index (H'), DG index, and evenness of soil arthropod community were relatively higher in forest zone, but lower in meadow-steppe zone. Soil pH had a higher degree of interconnection with the numbers of soil arthropod groups, while soil temperature and moisture content had a higher degree of interconnection with the numbers of soil arthropod individuals.

Key words: forest-steppe ecotone; soil arthropod; interconnection degree; diversity.

1 引言

土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分, 对土壤形成、物质循环和能量流动具有重大影响^[4]. 有关农田、森林、草原等单一生态系统土壤动物群落的研究揭示了其组成、群落结构和多样性变化^[6-10, 14-15, 18]. 森林-草原交错区是地处森林带和草原带之间的过渡区, 以森林和草原两种植被共存为特色, 具有高的生物多样性、生态脆弱性和复杂性. 近年来, 不少研究者对森林-草原交错带的植被种类、类型、分布规律和植被生产力进行了较详细的研究^[11-13], 而对于土壤动物的研究则少见报道. 本文

对河北北部的森林草原交错区的土壤节肢动物群落的组成与多样性进行研究, 旨在揭示大尺度生态交错带土壤节肢动物群落多样性变化规律及其影响因素, 进而探讨森林-草原交错区的生物群落结构、演替规律和生态过程, 为生物多样性保护提供依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

塞罕坝位于河北省最北部(42°02'—42°36'N, 116°51'—117°39'E), 地跨两个单元, 即坝上与接坝地区. 坝上属内蒙古高原东南缘, 海拔在 1 500 m 以上, 至高点大光顶子为 1 936 m. 接坝山系阴山山脉与大兴安岭余脉的交汇地带, 海拔在 1 300 ~ 1 700 m 之间. 属于半干旱半湿润气候区, 年均气温 -1.4 °C, 无霜期短, 常年多在 60 d 左右, 极端最低气温 -42.8 °C, 极端最高气温 30.9 °C; 年均日照

* 国家自然科学基金项目(30070626)和河北省自然科学基金资助项目(C2004000319).

* * 通讯作者. E-mail: baojiagao@163.com

2006-10-23 收稿, 2007-07-22 接受.

2 367.8 h; 年均降水量 437.8 mm; 年均 6 级以上大风 76 d; 积雪长达 7 个月. 坝上以风沙土为主, 间有草原土和沼泽土. 接坝地区多为灰色森林土及棕壤, 少部分为褐土.

2.2 样地设置

研究点设在河北省北部的坝上、坝下地区. 在森林、森林-草甸、草甸-草原 3 种类型中设置 1 条横穿 3 种类型的样带, 根据样带法来选取有代表性的样地. 沿着样带, 在样带上或样带附近选取有代表性的样地. 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 草原-草甸带) 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 混交林、D₄ 天然次生林; E₁ 华北落叶松林、E₂ 樟子松林、E₃ 混交林、E₄ 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. 选择地势平缓、石头较少、不在生境边缘并远离居民点和道路的样区. 森林群落样地面积 30 m × 30 m, 草原样地面积 20 m × 20 m.

2.3 研究方法

于 2006 年 5—9 月进行采样, 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、5~10 和 10~15 cm, 采用手捡法采集大型土壤节肢动物. 同时每层用体积为 100 cm³ 的土壤环刀采集土样, 装入塑料袋中, 带回实验室. 采用干漏斗 (tullgren) 法分离提取土样中的中、小型土壤节肢动物, 并对其进行分类鉴定, 分别统计成虫和幼虫个体数量^[16]. 按体型大小, 土壤动物一般分为 3 类^[17]: 1) 大型土壤动物 (macrofaunas), 体长 2~20 mm, 主要包括蚯蚓、马陆、蚁等, 主要通过取食和挖掘等活动扰动土层, 改变土壤结构; 2) 中小型土壤动物 (mesofaunas), 体长 0.2~2 mm, 弹尾目和螨类是多数土壤中最主要的中小型土壤动物, 数量巨大, 种类复杂, 本文统一将分离器分离出来的动物全部归为中小型土壤动物; 3) 微型土壤动物 (microfaunas), 体长 < 0.2 mm, 包括所有土壤原生动植物及某些线虫, 它们主要生存于水膜及充满水的小孔隙中, 对形成有机质颗粒及土壤的物理结构影响很小, 因此本文不予考虑.

2.4 分析方法

1) Shannon-Wiener 信息多样性指数 (H')^[9]

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

式中 S 为所有的物种数, P_i 为第 i 个物种的多度比例.

2) Pielou 均匀度指数 (J)^[9]

$$J = H' / \ln S$$

式中 H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为所有物种数.

3) Jaccard 相似性指数 (q)^[2]

$$q = c / (a + b + c)$$

式中 a 和 b 分别为群落 A、B 的类群数, c 为群落 A、B 的共有类群数.

4) 密度-类群指数 (DG)^[5]

$$DG = \sum (D_i / D_{i \max}) \cdot (G / GT)$$

式中 D_i 为第 i 类群的密度; $D_{i \max}$ 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.

5) 运用灰色系统理论——灰关联度分析影响群落的各种因素.

3 结果与分析

3.1 土壤节肢动物群落类群和数量组成

在森林带、森林-草甸带和草甸-草原带共获得土壤节肢动物 25 类, 10 420 头, 分属于 6 纲 24 目 (表 1). 由表 1 可以看出, 弹尾目昆虫 (C) 和蜱螨目 (A) 占捕获总量的比率较大, 为该地区的优势类群. A/C 值 (蜱螨目和弹尾目的比值) 为 1.15, 符合温带森林的分布规律^[3]. 膜翅目、同翅目、啮虫目、鞘翅目成虫和幼虫、双翅目幼虫、石蜈蚣目和蜘蛛目所占的数量也较大, 占总捕获量的 31.70%, 是该地区的常见类群; 半翅目、鳞翅目、缨翅目、双尾目、蜚蠊目、革翅目、等足目、等翅目、直翅目、原尾目、蛭蜒目、马陆目、地蜈蚣目、结合目和拟蝎目为该地区的稀有类群, 占总捕获量的 3.29%. 另外, 同翅目的数量在森林带中仅占 0.78%, 属于稀有类群, 而在其它两带中的占有率均大于 1%, 属于常见类群, 说明森林带的环境较适于其生存; 啮虫目仅在森林带中为常见类群, 在其它两带所占的比例均小于 1%, 属于稀有类群; 石蜈蚣目在草甸草原带只占捕获总量的 0.26%, 属于稀有类群, 而在其它两带则为常见类群; 马陆目在森林草甸带所占的比例为零. 说明土壤动物对环境要求的不同, 导致其分布的不同. 稀有类群在草甸草原带最少, 仅占 1.15%; 森林带最高, 达 2.73%. 优势类群和常见类群占本次总捕获量的 96.70%, 是该地区土壤节肢动物的主要组成部分. 稀有类群的个体数少, 种类多, 生态适应性较弱, 只在特定的环境下生存, 对小环境有指示作用.

表 1 森林-草原交错带土壤节肢动物数量组成

Tab. 1 Composition and amount of soil arthropods in the ecotone of forest-steppe

类群 Group	森林带 Forest zone		森林-草甸带 Forest-meadow zone		草甸-草原带 Meadow-steppe zone		总数 Total Individuals	频度 Frequency %	多度 Abundance
	No.	%	No.	%	No.	%			
弹尾目 Collembola	1151	30.43	1404	43.73	589	17.29	3144	30.22	+++
蜱螨目 Acarina	728	19.24	763	23.76	2128	62.48	3619	34.79	+++
膜翅目 Hymenoptera	424	11.21	312	9.72	273	8.01	1009	9.70	++
半翅目 Hemiptera	12	0.32	4	0.12	8	0.23	24	0.23	+
同翅目 Homoptera	29	0.77	49	1.53	70	2.06	148	1.42	++
鳞翅目 Lepidoptera	11	0.29	11	0.34	37	1.08	59	0.57	+
缨翅目 Thysanoptera	3	0.08	2	0.06	3	0.09	8	0.08	+
双尾目 Diplura	13	0.34	3	0.09	5	0.15	21	0.20	+
啮虫目 Psocoptera	494	13.06	21	0.65	6	0.18	521	5.01	++
等翅目 Isoptera	0	0	2	0.06	0	0	2	0.02	+
直翅目 Orthoptera	0	0	0	0	1	0.03	1	0.01	+
蜚蠊目 Blattoptera	6	0.16	0	0	0	0	6	0.06	+
革翅目 Dermaptera	1	0.03	0	0	0	0	1	0.01	+
等足目 Isopoda	1	0.03	4	0.12	4	0.12	9	0.09	+
原尾目 Protura	1	0.03	0	0	0	0	1	0.01	+
鞘翅目成虫 Coleoptera imago	133	3.52	80	2.49	67	1.97	280	2.69	++
鞘翅目幼虫 Coleoptera larva	68	1.80	96	2.99	43	1.26	207	1.99	++
双翅目幼虫 Diptera larva	150	3.97	82	2.55	36	1.06	268	2.58	++
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	130	3.44	83	2.59	9	0.26	222	2.13	++
地蜈蚣目 Geophilomorpha	72	1.90	25	0.78	2	0.06	99	0.95	+
蛐蜒目 Scutigermorpha	17	0.45	0	0	1	0.03	18	0.17	+
马陆目 Sphaerotheriida	77	2.03	1	0.03	0	0	78	0.75	+
结合目 Symphyia	8	0.21	6	0.19	0	0	14	0.13	+
蜘蛛目 Araneae	253	6.69	265	8.25	124	3.64	642	6.17	++
拟蝎目 Pseudoscorpiones	1	0.03	0	0	0	0	1	0.01	+
类群数 Groups	23		19		18		25		
合计 Total	3783		3213		3406		10420		

+++ : 优势类群 Dominant groups (>10%) ; ++ : 常见类群 Common groups (1% ~ 10%) ; + : 稀有类群 Rare groups (0.05% ~ 1%)

3.2 土壤节肢动物群落的多样性与相似性

3.2.1 多样性 由表 2 可以看出,多样性指数(H')、 DG 指数和均匀度指数的变化趋势均呈森林带 > 森林草甸带 > 草甸草原带. 在森林带,大型土壤节肢动物的物种数和个体数均为混交林中最多;多样性和均

匀性指数的顺序均为 $D_4 > D_3 > D_1 > D_2$; DG 指数则为 $D_3 > D_4 > D_1 > D_2$. 中小型土壤节肢动物的类群数以 D_4 中最多, D_2 中最少;个体数则是以 D_2 中最多, D_3 中最少;多样性和均匀度指数和大型土壤节肢动物的顺序一致; DG 指数则为 $D_3 > D_1 > D_2 > D_4$.

表 2 不同生境土壤节肢动物群落的多样性指数

Tab. 2 Biodiversity indices of soil arthropod in different habits

生境 Habits	样地 Plot	物种 Species		个体 Individual		多样性 Diversity (H')		均匀度 Evenness (J)		DG 指数 DG index	
		大型 Large	中小型 Small	大型 Large	中小型 Small	大型 Large	中小型 Small	大型 Large	中小型 Small	大型 Large	中小型 Small
森林带 Forest zone	D_1	26	27	299	417	2.85	2.10	0.62	0.44	4.44	1.88
	D_2	16	21	297	860	2.45	1.83	0.62	0.42	3.08	1.63
	D_3	38	27	607	661	3.53	2.40	0.67	0.50	9.76	2.313
	D_4	38	28	368	527	4.05	2.76	0.77	0.57	5.48	1.62
森林-草甸带 Forest-meadow zone	E_1	26	15	164	283	3.46	1.54	0.81	0.39	4.57	2.25
	E_2	16	10	190	639	2.69	0.95	0.70	0.29	3.74	1.86
	E_3	20	11	329	547	2.43	1.22	0.61	0.35	4.77	2.66
	E_4	28	14	296	765	3.38	1.19	0.73	0.31	7.50	3.53
草甸-草原带 Meadow-steppe zone	F_1	31	8	253	298	3.68	1.43	0.74	0.48	8.57	3.51
	F_2	29	16	241	814	3.66	1.17	0.75	0.30	6.26	4.53
	F_3	26	7	180	1824	3.02	0.45	0.64	0.16	2.88	2.96

在草甸-草原带,大型土壤节肢动物的类群数在 E_4 最为丰富, E_2 中最少;个体数则是 E_3 中最多, E_1 中最少;多样性和均匀度指数的变化顺序均为 $E_1 > E_4 > E_2 > E_3$; DG 指数为 $E_4 > E_3 > E_1 > E_2$. 中小型土壤节肢动物的类群数为 $E_1 > E_4 > E_3 > E_2$;个体数在 E_4 中最多, E_1 中最少;多样性和均匀性指数的变化顺序一致,均为 $E_1 > E_3 > E_4 > E_2$; DG 指数则为 $E_4 > E_3 > E_1 > E_2$.

在草甸-草原带,大型土壤节肢动物的类群数和个体数均为 F_1 中最高;多样性和均匀度指数变化分别为 $F_1 > F_2 > F_3$ 和 $F_2 > F_1 > F_3$; DG 指数和多样性指数的变化趋势一致,为 $F_1 > F_2 > F_3$. 中小型土壤节肢动物的类群数在 F_2 中最多, F_3 中最少;个体数在 F_3 中最多, F_1 中最少;多样性和均匀度指数变化均为 $F_1 > F_2 > F_3$; DG 指数则为 $F_2 > F_1 > F_3$.

表3 土壤节肢动物群落相似性指数

Tab. 3 Similarity index of soil arthropods (q)

	森林带 Forest zone	森林-草甸带 Forest-meadow zone	草甸-草原带 Meadow-steppe zone
森林带 Forest zone	1	0.44	0.39
森林-草甸带 Forest-meadow zone	0.44	1	0.46
草甸-草原带 Meadow-steppe zone	0.39	0.46	1

表4 大型(A)和中小型(B)土壤节肢动物相似性指数

Tab. 4 Similarity indices of macrofaunas (q)

群落类型 Type of community	D_1	D_2	D_3	D_4	E_1	E_2	E_3	E_4	F_1	F_2	F_3
A											
D_1	1	0.29	0.51	0.29	-	-	-	-	-	-	-
D_2	0.29	1	0.30	0.24	-	-	-	-	-	-	-
D_3	0.51	0.30	1	0.42	-	-	-	-	-	-	-
D_4	0.29	0.24	0.42	1	-	-	-	-	-	-	-
E_1	-	-	-	-	1	0.40	0.39	0.35	-	-	-
E_2	-	-	-	-	0.40	1	0.38	0.42	-	-	-
E_3	-	-	-	-	0.39	0.38	1	0.55	-	-	-
E_4	-	-	-	-	0.35	0.42	0.55	1	-	-	-
F_1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.43	0.46
F_2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.43	1	0.57
F_3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46	0.57	1
B											
D_1	1	0.45	0.54	0.45	-	-	-	-	-	-	-
D_2	0.45	1	0.66	0.53	-	-	-	-	-	-	-
D_3	0.54	0.66	1	0.77	-	-	-	-	-	-	-
D_4	0.45	0.53	0.77	1	-	-	-	-	-	-	-
E_1	-	-	-	-	1	0.25	0.37	0.45	-	-	-
E_2	-	-	-	-	0.25	1	0.24	0.33	-	-	-
E_3	-	-	-	-	0.37	0.24	1	0.32	-	-	-
E_4	-	-	-	-	0.45	0.33	0.32	1	-	-	-
F_1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.35	0.36
F_2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	1	0.47
F_3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	0.47	1

3.2.2 相似性 土壤节肢动物群落内类群组成在不同的生境存在差异,但又表现出一定的相似性(表3). 总体上看,3种生境类型土壤节肢动物群落的相似性指数差异不大,均处于中等相似水平,表明3种生境类型土壤节肢动物的组成具有较大的共通性.

从表4可以看出,森林带大型土壤节肢动物群落的相似性指数在 D_1 和 D_3 之间最大,在 D_2 和 D_4 之间最小. 在森林草甸带, E_3 和 E_4 最为相似, E_1 和 E_4 之间相似性最小. 在草甸草原带, F_2 和 F_3 之间相似性最大, F_1 和 F_2 之间最小. 总体上看差异不大,均处于中等相似水平.

森林带中小型土壤节肢动物群落的相似性指数在 D_3 和 D_4 之间最大, D_1 和 D_2 之间最小. 在森林草甸带, E_1 和 E_4 之间最为相似, E_2 和 E_3 之间相似性最差. 在草甸草原带, F_2 和 F_3 之间相似性最大, F_1 和 F_2 之间最小,与大型土壤节肢动物的情形类似.

3.3 土壤节肢动物群落与土壤环境要素的关系

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,运用灰色关联度对土壤节肢动物群落与土壤因子的关系进行分析,以各月总的土壤节肢动物、大型土壤节肢动物和中小型土壤节肢动物的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的分析(表5).

表 5 土壤节肢动物的类群数和个体数与土壤因子的灰色关联度

Tab.5 Interconnect degrees between soil factors with group and individual of soil arthropods (r)

土壤因子 Soil factor	总的土壤节肢动物 Total soil arthropod		大型土壤节肢动物 Macrofaunas		中小型土壤节肢动物 Mesofaunas	
	类群 Group	个体 Individual	类群 Group	个体 Individual	类群 Group	个体 Individual
温度 Temperature(°C)	0.34	0.52	0.40	0.48	0.30	0.49
含水量 Water content(%)	0.44	0.55	0.27	0.38	0.47	0.48
pH	0.50	0.50	0.49	0.37	0.48	0.47

从表 5 可以看出,总的土壤节肢动物的类群数与土壤因子的关联度为 pH > 含水量 > 温度,个体数与土壤因子的关联度为含水量 > 温度 > pH;大型土壤节肢动物的类群数与土壤因子的关联度为 pH > 温度 > 含水量,个体数与土壤因子的关联度为温度 > 含水量 > pH 值;中小型土壤节肢动物的类群数与土壤因子的关联度为 pH > 含水量 > 温度,个体数与土壤因子的关联度为温度 > 含水量 > pH。

总体看来,pH 值与土壤节肢动物的类群数关联度最大,温度和含水量与土壤节肢动物的个体数关联度较大。

4 讨 论

交错带不同生境类型土壤节肢动物群落多样性指数(H')、 DG 指数和均匀度指数呈现明显的规律性变化,并且群落结构的复杂程度表现为森林带最高,草甸草原带最低。其原因可能是:由于森林带是一种稳定的生态类型,群落处于一种动态的平衡,森林-草原交错带属于一种激烈的动荡类型,由许多的小生境组成,每一部分都不能代替整个群落的特征,各生境之间是一种渐变的类型;由于林下植被单一且贫乏,周围环境和土壤因素的综合作用而导致草甸-草原带各指数较低。本文仅探讨了交错带土壤节肢动物群落多样性的问题,却没有在机制上提出根本的原因,相关问题还需要进一步研究与探讨。

土壤动物群落的组成和分布:一方面与森林的立地和土壤条件有关;另一方面主要受森林植被组成和结构差异的影响。研究表明,植被结构通过改变微气候条件和土壤养分影响土壤动物的种群密度,植被的生境多样性也深刻影响着土壤动物群落的多样性^[1]。在本研究区,不同的地域环境及植被类型对土壤节肢动物群落的复杂程度有明显影响;随着植被类型复杂程度的增加,土壤节肢动物群落复杂程度增加。

土壤 pH 值是影响土壤节肢动物群落组成的主要因素,而土壤含水量和温度是影响其数量的主要因素。本文对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,可以尝试对土壤节肢动物进行更详细的划分。

参考文献

- [1] Connell JH, Slatyer RO. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, **111**: 1119-1144
- [2] Ding Y-Q (丁岩钦) 1994. *Mathematics Ecology of Insect*. Beijing: Science Press (in Chinese)
- [3] Fu B-Q (傅必谦), Chen W (陈卫), Gao W (高武), et al. 1997. The soil invertebrate community and its seasonal dynamics in *Populus davidiana* + *Betula platyphylla* forest in Baihua Mountain. *Journal of Zoology* (动物学杂志), **32**(2): 10-15 (in Chinese)
- [4] Lavelle P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, **33**: 3-16
- [5] Liao C-H (廖崇惠), Li J-X (李健雄), Huang H-T (黄海涛). 1997. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**(5): 549-555 (in Chinese)
- [6] Liu X-M (刘新民), Chen H-Y (陈海燕), Wu N (乌宁), et al. 1999. Study on insect community niche under different desertification controlling approaches in Tengger Desert ecosystem. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **19**(suppl.): 185-190 (in Chinese)
- [7] Liu Y-C (刘玉成), Du D-L (杜道林), Yue Q (岳泉). 1994. Analysis of the relatedness of dominant populations and ecological factors in the secondary succession forest communities of Jinyun Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **18**(3): 283-289 (in Chinese)
- [8] Pielou EC. 1975. *Ecology Diversity*. New York: John Wiley & Sons
- [9] Su Y-C (苏永春), Zhang C-B (张崇邦), Gou Y-B (勾影波). 1995. Relationship between seasonal quantitative variation of soil animals in wheat field and environmental factors in northeast heavy frigid region of China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **14**(3): 10-14 (in Chinese)

- [10] Wang H-X (王海霞), Yin X-Q (殷秀琴), Zhou D-W (周道玮). 2003. Ecological study on small-middle size soil animals in a compound ecosystem of farmland, grassland and woodland in the grassland region of Songnen Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**(10):1715-1718 (in Chinese)
- [11] Wang Q-S (王庆锁). 2004. Forest landscape spatial patterns of forest-steppe ecotone in northern Hebei Province and eastern Inner Mongolia. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), **23**(3):11-15 (in Chinese)
- [12] Wang Q-S (王庆锁), Feng Z-W (冯宗伟), Luo J-C (罗菊春), et al. 2000. Biodiversity of a forest-steppe ecotone in northern Hebei Province and eastern Inner Mongolia. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **24**(2):141-146 (in Chinese)
- [13] Wang Q-S (王庆锁), Liu T (刘涛), Feng Z-W (冯宗伟), et al. 2000. Study on plant diversity of *Betula platyphylla* and *Populus davidian* forest in forest-steppe ecotone. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **24**(2):141-146 (in Chinese)
- [14] Yang X-D (杨效东), Sha L-Q (沙丽清). 2001. Species composition and diversity of soil mesofaunas in the 'Holy Hills' fragmentary tropical rain forest of Xishuangbanna. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12**(2):261-265 (in Chinese)
- [15] Yin X-Q (殷秀琴), Wang H-X (王海霞), Zhou D-W (周道玮). 2003. Characteristics of soil animals' communities in different agricultural ecosystems in the Songnen Grassland of China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**(6):1071-1078 (in Chinese)
- [16] Yin W-Y (尹文英), Hu S-H (胡圣豪), Shen Y-F (沈韞芬), et al. 1998. Illustrated Handbook of Soil Animals in China. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- [17] Yin W-Y (尹文英), Yang F-C (杨逢春), Wang Z-Z (王振中), et al. 1992. Sub-tropical Soil Animal in China. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- [18] Yin X-Q (殷秀琴), Li J-D (李建东). 1998. Diversity of soil animals' community in *Leymus chinensis* grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **9**(2):186-188 (in Chinese)

作者简介 朱新玉,女,1981年生,硕士研究生.主要从事昆虫群落生态学研究,发表论文4篇. E-mail: tia20021201@163.com

责任编辑 肖红
