

松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征

殷秀琴¹, 王海霞¹, 周道玮²

(1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024; 2. 东北师范大学国家草地生态工程实验室, 长春 130024)

摘要:对温带松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征进行了研究。结果表明,不同农业生态系统中,类群数为草地>杨树林>玉米田,个体数为草地>玉米田>杨树林。土壤动物的垂直分布存在一定差异性。玉米田土壤动物向下层聚集,草地具明显的表聚性,杨树林随着土层深度的变化较均匀。土壤动物群落的变化不同,玉米田秋季作物收割后,土壤动物类群明显减少,而杨树林秋季有增多趋势。草地土壤动物的季节变化代表了松嫩草原区土壤动物群落分布的特征。土壤动物群落的多样性为草地>杨树林>玉米田。分析了土壤动物与地温、土壤自然含水量、pH 及土壤养分的相关性。

关键词:土壤动物; 空间分布; 多样性; 农业生态系统; 松嫩草原

Characteristics of soil animals' communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China

YIN Xiu-Qin¹, WANG Hai-Xia¹, ZHOU Dao-Wei² (1. College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; 2. National Laboratory of Grassland Ecological Engineering, Northeast Normal University, Changchun 130024, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1071~1078.

Abstract: Characteristics of soil animals' communities in different agricultural ecosystems were studied in temperate Songnen Grassland Region with the purpose to provide scientific gist for the restoration and recreation of grasslands and other ecosystems in the agro-husbandry eco-tone, and establishing the optical ecological-productive pattern.

The results show that groups and individuals of soil animals from cornfield, grassland and poplar woods are great different according to notability test. The differences of the groups and individuals of rare groups among the three agricultural ecosystems are great. These rare groups, therefore can indicate special environment, and then they can be called indication groups.

The group number of soil animals in grassland > that in poplar woods > that in cornfield, and individual number in grassland > in cornfield > in poplar woods. Because of the best habitat, Grassland has the most group number and individual number. 18 mutual groups, as majority of the soil animals,

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018602);国家自然科学基金资助项目(40171053)

收稿日期:2002-08-13; **修订日期:**2003-02-18

作者简介:殷秀琴(1951~),女,吉林省长春市人,教授,主要从事生物地理学和土壤动物生态学研究。E-mail: yinxuqin@163.net

* **通信作者** Author for correspondence, E-mail: wcma@fudan.edu.cn.

Foundation item: National Basic Priorities Programme (No. G2000018602) and National Natural Science Foundation of China (No. 40171053)

Received date: 2002-08-13; **Accepted date:** 2003-02-18

Biography: YIN Xiu-Qin, Professor, main research interests are biogeography and ecology of soil animals. E-mail: yinxuqin@163.net

were commonly found from the three agricultural ecosystems. There are some special groups from particular habitat who can indicate the influence of land utilization on the composition of soil animals.

Generally, there are similar vertical distribution of the group and individual number of soil animals in the three habitats. The number of group and individual of soil animals decrease with the increasing of the depth of soil layer. But it is not the entirely same. In cornfield, soil animals concentrate on lower soil layer. In grassland, they obviously gather on surface. In poplar woods they distribute more evenly. These differences indicate that the vertical distribution of soil animals in soil layers is different because of different forms of land utilization and different degree of artificial and natural disturbance.

In different agricultural ecosystem, there are some differences in the seasonal changes in soil animals' communities. Because of lack of food after the crop harvest, the group number of soil animals decreases obviously in autumn in cornfield. While the number of soil animals in poplar woods tends to increase in autumn because increasing litters result in abundant food. The seasonal changes of soil animals in grassland have the typical distribution characteristics of soil fauna in Songnen Grassland. The community diversity of soil animals in grassland > that in poplar woods > that in cornfield. The correlation between ground temperature and the group number of soil animals, while the correlation between soil environment factors including water content, pH value, nutrient content and the individual number of soil animals is obvious.

Key words: soil animals; spatial distribution; diversity; agricultural ecosystem; Songnen Grassland
文章编号:1000-0933(2003)06-1071-08 中图分类号:Q958.1 文献标识码:A

松嫩草原位于我国草原区的东北部,欧亚草原区的最东端。松嫩草原区的农牧交错带原来是土壤肥沃,生物生产力较高的重要牧业发展基地^[1],长期以来,由于粗放式经营,破坏了生态系统的平衡,这里已成为我国典型的生态脆弱带。近年来,退化草原生态系统的恢复治理已引起了广泛的关注,有许多学者进行研究,但主要集中在植被和土壤方面^[2~8],对土壤动物的研究很少。土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分,在生态系统物质循环和能量流动以及土壤形成与熟化过程中起着重要的作用^[9~13]。为此,于2001年对松嫩草原区不同农业生态系统的土壤动物进行了研究,旨在为松嫩草原区的农牧交错带生态系统的恢复与重建、建立最优化的生态-生产范式提供科学依据。

1 样地选择与研究方法

研究区设在吉林省西部长岭县境内(123°44'~123°47'E,44°40'~44°44'N)。该地属温带亚湿润季风性气候,年均温4.9℃,年降水量400mm左右,地带性土壤为黑钙土。样地选择在松嫩草原区主要土地利用方式的农田、草地和林地。松嫩草原区的农田主要种植玉米,因此样地设在玉米田,草地设在羊草自然保护区,林地设在农田周围的杨树林。

于2001年8月和10月在玉米田、草地和杨树林内选择代表性样地,每个样地按大型和中型土壤动物分别取样方4个,大型土壤动物取样面积为50cm×50cm,中型为10cm×10cm,每个样方按0~5cm、5~10cm、10~15cm和15~20cm等4层取样,共取土样192个。采用手捡法和Tullgren法分离提取土壤动物^[14~17],根据青木淳一^[14]的大类群分类,一般鉴定到科的水平,因成虫和幼虫的生态位不同,因此将成虫和幼虫分开统计数量。同时测量地温(0~20cm)、气温、降水量和相对湿度等气候环境要素指标,测定土壤自然含水量(0~10cm和10~20cm)、pH值和土壤有机质、全N、全P、全K等养分含量。

土壤动物群落的多样性,本文采用如下公式计算^[11,16]:

(1) Shannon - Wiener 多样性指数(H') $H' = - \sum |n_i/N \ln(n_i/N)|$ 式中, n_i 为第 i 个类群的个体数; N 为群落中所有类群的个体总数。(2) Pielou 均匀度(J') $J' = H'/\ln S$ 式中, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数; S 为类群数。(3) Simpson 优势度(D') $D' = 1 - \sum p_i^2$, $p_i = n_i/N$ 式中, p_i 为与 Shannon-Wiener 指数中的 p_i 相同^[17]。(4) Margalef 丰富度(E') $E' = (S-1)/\ln N$ 式中, S 为类群数; N 为全部类群的个体数。

数。(5) 多群落间比较的多样性指数 (DIC) $DIC = \frac{g}{G} \sum_{i=1}^n \left[1 - \left(\frac{|X_{i\max} - X_i|}{X_{i\max} + X_i} \right) \right] \frac{C_i}{C}$ 式中, $X_{i\max}$ 为多个群落中第 i 类群的最大个体数; X_i 为要测量的群落中第 i 类群的个体数; g 为群落中的类群数; G 为各群落所包含的总类群数; C_i/C 为在 C 个群落中第 i 类群出现的比率。

2 结果与分析

2.1 土壤动物的组成

两次调查共获得土壤动物 69 类, 5118 只, 隶属于 2 门 6 纲 25 目(亚目) 50 科。玉米田共获得 36 类、1223 只。优势类群是辐螨和革螨 2 类, 共占玉米田总个体数的 68.11%; 常见类群 6 类, 分别是甲螨、蚊科、节跳虫科、鞘翅目成虫、步甲科和鞘翅目幼虫, 共占 25.43%; 稀有类群 28 类, 共占 6.46%。

草地共获得 51 类, 3095 只。优势类群是球角跳虫科、辐螨、革螨和甲螨 4 类, 共占草地总个体数的 75.18%; 常见类群 6 类, 分别是蚊科、节跳虫科、蜘蛛目、隐翅虫科、叶蝉科和金龟子科, 共占 17.34%; 稀有类群 41 类, 共占 7.38%。

杨树林共获得土壤动物 37 类、800 只。优势类群是蚊科和金龟子科幼虫 2 类, 共占杨树林土壤动物总个体数的 48.13%; 常见类群 13 类, 分别是辐螨、革螨、甲螨、蜘蛛目、隐翅虫科、叶蝉科、步甲科、鞘翅目幼虫、双翅目幼虫、蝉总科、步甲科幼虫、啮虫科和石蜈蚣科, 共占 46.26%; 稀有类群 22 类, 共占 5.61%。

2.2 土壤动物的空间分布

2.2.1 水平分布 通过对玉米田、草地和杨树林各 4 个样方所获土壤动物的类群数和个体数进行方差分析^[18], 经显著性检验, 类群数, $F=32.96$; 个体数, $F=5.53$, F 都大于 $4.26(F_{0.05}=4.26)$, 表明玉米田、草地和杨树林类群数和个体数之间存在明显的差异, 又通过对两个生态系统平均数的显著性检验, 其个体数, 玉米田与草地 $t=5.41$; 草地与杨树林 $t=8.78$; 玉米田与杨树林 $t=8.40$, 三者 t 都大于 $2.48(t_{0.05}=2.48)$, 可以看出草地与杨树林个体数差别最大, 检验结果与实际调查结果一致。从表 1 也可以看出, 类群数为草地>杨树林>玉米田, 个体数为草地>玉米田>杨树林。无论是类群数还是个体数, 草地都最多, 草地是这里的景观植被, 生境条件最优越, 最适合土壤动物的生存, 其次是杨树林、玉米田。由此可说明, 生境条件愈优越, 土壤动物种类就越丰富。不同农业生态系统土壤动物的差异主要决定类群的种类和数量(表 1)。

表 1 不同农业生态系统土壤动物的统计

Table 1 Statistic of soil animals in different agricultural ecosystems							
序号 No.	土壤动物名称 Name of soil animals	玉米田 Cornfield		草地 Grassland		杨树林 Poplar woods	
		个体数	数量等级	个体数	数量等级	个体数	数量等级
		Individual number	Number grade	Individual number	Number grade	Individual number	Number grade
1	球角跳虫科 Hypogastruridae			1050	+++		
2	辐螨亚目 Actinedida	508	+++	396	+++	58	++
3	革螨亚目 Gamasida	325	+++	408	+++	62	++
4	甲螨亚目 Oribatida	102	++	473	+++	59	++
5	蚊科 Formicidae	97	++	266	++	148	+++
6	金龟子科幼虫 Scarabaeidae	1	+	12	+	237	+++
7	节跳虫科 Isotomidae	36	++	110	++	5	+
8	蜘蛛目 Araneida	5	+	48	++	42	++
9	鞘翅目 Coleoptera	38	++	14	+		
10	隐翅虫科 Staphylinidae	1	+	36	++	12	++
11	叶蝉科 Jassidae	2	+	37	++	9	++
12	步甲科 Carabidae	17	++	10	+	20	++
13	金龟子科 Scarabaeidae	3	+	40	++		
14	鞘翅目幼虫 Coleoptera	21	++	8	+	9	++
15	双翅目幼虫 Diptera	4	+	8	+	23	++
16	蝉总科 Cicadidea			1	+	28	++
17	步甲科幼虫 Carabidae	8	+	6	+	14	++
18	山蛩科 Chilodactylidae	9	+	13	+		

续表 1

序号 No.	土壤动物名称 Name of soil animlas	玉米田 Cornfield		草地 Grassland		杨树林 Poplar woods	
		个体数 Individual number	数量等级 Number grade	个体数 Individual number	数量等级 Number grade	个体数 Individual number	数量等级 Number grade
19	啮虫科 Psocidae			5	+	16	++
20	天牛科幼虫 Cerambycidae			19	+		
21	石蜈蚣科 Lithobiidae					18	++
22	线纲 Pauropoda			16	+		
23	蓟马科 Thripidae			16	+		
24	沫蝉科 Cercopidae			14	+	1	+
25	地蜈蚣科 Geophilidae			12	+	1	+
26	潮虫科 Oniscidae			12	+		
27	鳞跳虫科 Tomoceridae	7	+	3	+	1	+
28	赤螨科 Erythraeidae	2	+	7	+		
29	绫跳虫科 Entomobryidae	1	+	4	+	4	+
30	棘跳虫科 Onychiuridae			5	+	3	+
31	隐翅虫科幼虫 Staphylinidae	3	+	4	+		
32	沼石蛾科 Limnophilidae	1	+	4	+	2	+
33	拟步甲科 Tenebrionidae	4	+	2	+		
34	叩甲科幼虫 Elateridae			6	+		
35	膜翅目 Hymenoptera	2	+	1	+	3	+
36	盲蝽科 Miridae	2	+	3	+	1	+
37	瓦娄蜗牛科 Valloniidae	3	+			2	+
38	琥珀螺科 Succineidae					5	+
39	飞虱科 Delphacidae					5	+
40	鳞翅目幼虫 Lepidoptera			4	+	1	+
41	双翅目 Diptera	4	+			1	+
42	露尾甲科 Nitidulidae			5	+		
43	蚜科 Aphididae	1	+	3	+		
44	土蝽科 Cydnidae	4	+				
45	圆跳虫科 Sminthuridae			1	+	3	+
46	猎蝽科 Reduviidae			2	+	1	+
47	拟步甲科幼虫 Tenebrionidae	3	+				
48	蠼螋科 Labidura	2	+	1	+		
49	瓢虫科 Coccinellidae			1	+	1	+
50	蜈蚣科 Scolopendridae	2	+				
51	摇蚊幼虫 Chironomidae					1	+
52	头蝇科 Pipunculidae					1	+
53	蚊甲科 Pselaphidae			1	+		
54	螻蛄科 Gryllotalpidae	1	+				
55	柄腹细腰蜂科 Heloridae	1	+				
56	苔甲科 Scydmaenidae	1	+				
57	花蝽科 Anthcoridae					1	+
58	瓢虫科幼虫 Coccinellidae	1	+				
59	角蝉科 Membracidae			1	+		
60	跳蝽科 Saldidae					1	+
61	正蚓科(红色爱胜蚓 <i>Eisenia rosea</i>)			1	+		
62	花蝇科 Anthomyiidae			1	+		
63	蚋科 Simuliidae			1	+		
64	地跳虫科 Onopoduridae			1	+		
65	划蝽科 Corixidae	1	+				
66	盲蛛目 Phalangida					1	+
67	槲果螺科 Cochlicopidae			1	+		
68	弹尾目一科 Collembola			1	+		
69	短角跳虫科 Neelidae			1	+		
个体数 Individual number		1223		3095		800	
类群数 Group number		36		51		37	

* +++ 代表优势类群, 占总个体数 10% 以上; ++ 常见类群, 占总个体数 1%~10%; + 稀有类群, 占总个体数 1% 以下
+++ Dominant group, account for more than 10 percent; ++ Common group, 1~10 percent; + Rare group, less than 1 percent

在类群组成上,玉米田、草地和杨树林共有类群 18 类,它们是这 3 个农业生态系统土壤动物的主体。其中,一些类群是温带地区的广布类群,如螨类和蚁科等,并且它们在 3 个农业生态系统中的个体数都很丰富,还有一些类群在 3 个农业生态系统中都是稀有类群,如鳞跳虫科、绫跳虫科和沼石蛾科等(表 1),反映了大的环境条件对土壤动物分布的影响;有些类群只在其中一个或两个农业生态系统中个体数特别丰富,如金龟子科幼虫、节跳虫科、蜘蛛目和隐翅虫科等。本次调查只存在玉米田的类群有 8 类,只存在草地的类群有 16 类,只存在杨树林的类群有 8 类,其中有些类群,如石蜈蚣科等是森林土壤所特有的类群,是温带森林生态系统的优势类群和常见类群^[19,20]。还有一些类群,如飞虱科,是本研究区所特有的类群,反映了土地利用方式的变化对土壤动物的影响。

2.2.2 垂直分布 玉米田土壤动物类群数随土层深度的增加而递减,变化较均匀,表聚性不明显;个体数随土层深度的增加而减少(除第 3 层外),土壤动物在第 3 层聚集,个体数占了总数量的一半以上。草地表层土壤动物类群(41 类)与其它层次差别都较大;表层个体数(1924 只)占总个体数的 62.2%,大约是其它 3 层个体数之和的 2 倍,各层之间个体数变化非常明显,草地类群数和个体数都表现出了明显的表聚性。杨树林土壤动物类群数和个体数基本上随土层深度的增加而呈现递减的趋势,表层的个体数(342 只)占总数的 43%左右,表现出一定的表聚性(图 1)。

以上结果表明,不同农业生态系统中土壤动物类群数和个体数的垂直分布基本上随土层深度的增加而减少,但又不完全相同,杨树林类群数和个体数随土层深度变化较均匀,草地表现出明显的表聚性,农田土壤动物有向下迁移及在相对较稳定的层次聚集的特点。体现了土地使用方式的不同,受人为和自然因素干扰程度的不同,土壤动物在土壤不同深度分布也存在一定的差异性^[21]。

2.3 土壤动物的季节变化

温带地区四季分明,季节不同各种环境条件变化明显,生境条件差异很大,因此土壤动物的种类和数量也会随之发生变化^[19]。从表 2 可以看出,3 个农业生态系统中土壤动物的季节变化不同。玉米田夏季土壤动物的个体数少于秋季,类群数明显多于秋季。草地夏季土壤动物的个体数略多于秋季,类群数明显多于秋季。杨树林夏季土壤动物的个体数明显多于秋季,而类群数却少于秋季。

上述结果表明,玉米田秋季作物收割后,土壤动物的食物缺乏,因此土壤动物类群明显减少。草地土壤动物的季节变化,代表了这一地区土壤动物群落分布的特征^[22]。而杨树林秋季凋落物增多,土壤动物的食物来源丰富,因此土壤动物的种类有增多趋势。

2.4 土壤动物的多样性

根据多样性指数(H')、均匀度(J')、优势度(D')、丰富度(E')和多群落间比较的多样性指数(DIC)公式,计算结果见表 3。

从表 3 可以看出, H' 指数:杨树林>草地>玉米田; J' 指数:杨树林>草地>玉米田; D' 指数:杨树林>草地>玉米田; E' 指数:草地>杨树林>玉米田; DIC 指数:草地>杨树林>玉米田。

另外数据表明,在 3 个农业生态系统中,杨树林中土壤动物的 H' 指数和 J' 指数都最大,

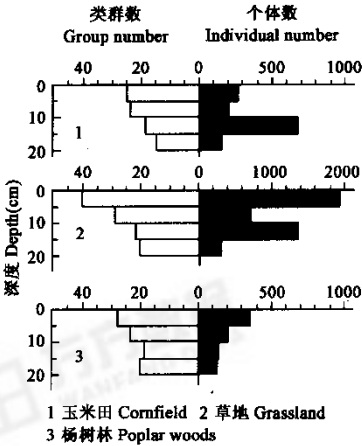


图 1 土壤动物的垂直分布
Fig. 1 Vertical distribution of soil animals

表 2 玉米田、草地和杨树林不同季节土壤动物的个体数和类群数

Table 2 Individual and group number of soil animals in cornfield, grassland and poplar woods in different seasons

样地 Habitat	玉米田 Cornfield		草地 Grassland		杨树林 Poplar woods	
季节③	夏季④	秋季⑤	夏季	秋季	夏季	秋季
个体数①	454	769	1585	1510	586	214
类群数②	34	14	42	29	23	27

①Individual number ②Group number ③Season
④Summer ⑤Autumn

草地其次,玉米田最小。一般来说,这种变化规律符合客观实际,即林地>草地>耕地,但这里不同于一般的生态系统,而是处于农牧交错带,林地仅是树种单一的人工农田防护林,因此这里林地的土壤动物多样性不是3个农业生态系统中最高。从*E*指数和*DIC*指数来看,都是草地>杨树林>玉米田。这种变化规律与实际调查结果一致(表1)。丰富度指数越高,多样性指数就越大^[11],土壤动物群落的多样性越高。因此草地多样性最高,其次是杨树林、玉米田。

2.5 土壤动物与环境要素的相关关系

土壤动物在一定的环境条件下生存,环境要素与土壤动物的关系极为密切。主要讨论气候环境要素和土壤环境要素对土壤动物的影响。表4和表5是土壤动物与气候环境要素和土壤环境要素的相关系数(*r*)。*r_α*是相关程度检验的临界值。*r_α*(0.10)=0.4973,(*n*=12);*r_α*(0.10)=0.7293,(*n*=6);*r_α*(0.05)=0.8114,(*n*=6);信度α为0.10和0.05水平,都表示比较相关(相关程度较好)。*r_α*(0.02)=0.4921,(*n*=22);信度α为0.02水平,表示密切相关。

表4 土壤动物与气候环境要素的相关系数(*r*)

Table 4 Correlation coefficient between soil animals and climate environmental factors					
气候指标 Climate factors	地温(℃)Ground temperature	最高气温(℃) Highest temperature	最低气温(℃) Lowest temperature	降水量 mm Precipitation	相对湿度% Relative humidity
个体数 Individual number	0.07543	0.09399	0.02808	0.08014	-0.48078
类群数 Group number	0.51527	0.62517	0.54713	0.63750	0.34244

* 地温的样本数为24个,其它样本数为6个 The sample number of ground temperature is 24, other number are 6

从表4可以看出,土壤动物的个体数与各气候环境要素的相关系数都较小,都没有达到明显相关程度。土壤动物的类群数只与地温达到了密切相关的程度, $|r|=0.52157$,信度达到0.02。因此,地温对土壤动物影响明显,其它气候环境要素对土壤动物的影响程度非常低,它们不直接作用于土壤动物,而是通过影响其它环境要素来影响土壤动物。从表5可以看出,土壤动物个体数基本上都与土壤环境要素的相关程度较好,与自然含水量、有机质、pH值、全P和全N呈正相关关系,信度达到0.10;与全K呈负相关关系,信度达到0.05,说明土壤动物个体数明显受到土壤环境要素的影响。土壤动物类群数只与pH值的相关程度较好,信度达到0.05,呈正相关关系,与其它土壤环境要素相关都不明显。说明土壤环境要素对土壤动物的类群数的影响较小。pH值对土壤动物的类群数和个体数的影响最明显,其它土壤环境要素对个体数的影响较大,对类群数的影响相对较小。

表5 土壤动物与土壤环境要素的相关系数(*r*)

Table 5 Correlation coefficient between soil animals and soil environmental factors						
土壤指标 Soil factors	自然含水量(%) Water content	有机质(%) Organic matters	pH值 pH	全P(%) Total P	全N(%) Total N	全K(%) Total K
个体数 ^①	0.56723	0.73144	0.80815	0.78113	0.72691	-0.82821
类群数 ^②	0.34732	0.65375	0.85988	0.69736	0.68159	-0.29516

* 自然含水量的样本数为12,其它样本数量为6 he sample number of water content is 12, the other are 6;

①Individual number ②Group number

3 结论

(1)同一地区不同农业生态系统土壤动物的类群和数量组成不同。草地是松嫩草原区的景观植被,生境条件最优,其土壤动物的类群数和个体数量最丰富。

(2)玉米田、草地和杨树林土壤动物的垂直分布基本上是随土层深度的增加而递减,但又不完全相同,

杨树林土壤动物随着土层深度变化均匀,草地具明显的表聚性,玉米田个体数向下层聚集,体现了土地使用方式的不同,受人为和自然因素干扰程度不同,土壤动物在垂直分布也存在一定差异性。

(3)不同农业生态系统土壤动物群落的变化存在一定的差异性。玉米田秋季土壤动物类群明显减少。而杨树林秋季类群有增多趋势。草地土壤动物的季节变化,代表了松嫩草原区土壤动物群落分布的特征。

(4)不同农业生态系统土壤动物群落的多样性,草地>杨树林>玉米田。土壤动物类群数与地温相关明显,个体数与土壤自然含水量、pH 值、土壤养分含量相关明显。

References:

- [1] Zheng H Y, Li J D. *The vegetation and the utilization and protection of it in the grassland of Songnen Plain*. Beijing: Science Press, 1993. 179~184.
- [2] Zheng H Y, Li J D. *Halophyte and the Restoration of alkalized-salinized grassland in Song-nen Plain*. Beijing: Science Press, 1999. 1~233.
- [3] Yeates G W, King K L. Soil numatodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tablelands (NSW): comparison of native and improved grasslands. *Pedobiologia*, 1997, **41**: 526~536.
- [4] Yang Y F, Li J D. Ecological plasticity of the quantitative characters per ear heads of *Leymus chinensis* population in natural meadow in Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(5): 752~758.
- [5] Yang Y F, Zheng H Y. Comparison analysis on the experimental communities during progressive succession on alkaline patches in the Songnen Plain of China. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1998, **22**(3): 210~221.
- [6] Zhou D W, Zhang B T, Guo P, *et al.* Variation of some characters of Songnen grassland after firing in different seasons. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(5): 549~552.
- [7] Guo J X, Jiang S C, Ren B Z. A study on the decomposition of *Aneurolepidium chinense* standing dead litter in Songnen grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(5): 784~787.
- [8] Sheng L X, Ma X F, Wang Z P. Study on the recovery and control of the alkali-saline lands in Songnen Plain. *Journal of Northeast Normal University*, 2002, **34**(1): 30~35.
- [9] Tian G. *et al.* Role of soil microarthropods in leaf decomposition and N release under various land-use practices in the humid tropics. *Pedobiologia*, 1998, **24**(1): 33~42.
- [10] Anderson J. M.. Succession diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. *Anim. Ecol.*, 1975, **44**(2): 475~495.
- [11] Yin W Y. *Soil animals of China*. Beijing: Science Press, 2000. 108~115.
- [12] Fu B Q, Chen W, Dong X H, *et al.* The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(2): 215~223.
- [13] Liu M Q, Hu F, Li H X, *et al.* Soil arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(1): 54~61.
- [14] Jun-ich Aoki. *Soil Zoology*, Tokyo: Beilonwan, 1973. 1~240.
- [15] Wang Z Z, Zhang Y M. Research on forest soil fauna in Heng Mount Nature Reserve. *Acta Geographica Sinica*, 1989, **44**(2): 205~213.
- [16] Lavelle P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol. Int.*, 1996, **33**: 3~4.
- [17] Deng X B. Seasonal variation of soil animals in man-made rubber-tea community in tropics. *Chinese Journal of Ecology*, 1994, **13**(5): 31~34.
- [18] Zhang C, Yang B G. *The Fundamental of Quantitive Geography*. Beijing: High Education Press, 1994. 75~83.
- [19] Yin X Q. *Study on forest soil animals in the northeast of China*. Changchun: Northeast Normal University Press, 2001. 45~192.
- [20] Chen P, Sun F, Bu Z Y. The investigation on the soil animals in northeastern China. *Journal of Northeast Normal University*, 1990, **22**(1): 1~12.
- [21] Li C D, Xiao N N, Yang D R, *et al.* Comparison of the community component of soil animals on the fragments of

tropical rain forest in Xishuangbanna. *Zoological Research*, 1997, **18**(1):45~49.

[22] Yin X Q, Li J D. Diversity of soil animals community in *Leymus chinensis* grassland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, **9**(2): 186~188.

参考文献:

[1] 郑慧莹, 李建东. 松嫩草原的草地植被及其利用保护. 北京: 科学出版社, 1993. 179~184.

[2] 郑慧莹, 李建东. 松嫩草原盐生植物与盐碱化草地的恢复. 北京: 科学出版社, 1999. 1~233.

[4] 杨允菲, 李建东. 东北草原羊草种群单穗数量性状的生态可塑性. 生态学报, 2001, **21**(5):752~758.

[5] 杨允菲, 郑慧莹. 松嫩平原碱斑进展演替实验群落的比较分析. 植物生态学报, 1998, **22**(3):210~221.

[6] 周道玮, 张宝田, 郭平等. 不同时间火烧后草原一些特征的变化. 应用生态学报. 1999, **10**(5):549~552.

[7] 郭继勋, 姜世成, 任炳忠. 松嫩草原优势植物羊草立枯体分解的研究. 生态学报, 2000, **20**(5): 784~787.

[8] 盛连喜, 马逊风, 王志平. 松嫩平原盐碱化土地的修复与调控研究. 东北师大学报, 2002, **34**(1): 30~35.

[11] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000. 108~115.

[12] 傅必谦, 陈卫, 董晓晖, 等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报, 2002, **22**(2): 215~223.

[13] 刘满强, 胡锋, 李辉信, 等. 退化红壤不同人工林恢复下土壤节肢动物群落特征. 生态学报, 2002, **22**(1): 54~61.

[15] 王振中, 张友梅. 衡山自然保护区森林土壤中动物群研究. 地理学报, 1989, **44**(2): 205~213.

[17] 邓晓保. 热带胶茶人工群落中土壤动物季节变化的研究. 生态学杂志, 1994, **13**(5): 31~34.

[18] 张超, 杨秉赓. 计量地理学. 北京: 高等教育出版社, 1994. 75~ 83.

[19] 殷秀琴. 东北森林土壤动物研究. 长春: 东北师范大学出版社, 2001. 45~192.

[20] 陈鹏, 孙帆, 卜照义. 东北地区土壤动物的调查研究. 东北师大学报, 1990, **22** (1): 1~12.

[21] 李朝达, 肖宁年, 杨大荣, 等. 西双版纳热带雨林土壤动物组成的比较. 动物学研究, 1997, **18**(1):45~49.

[22] 殷秀琴, 李建东. 羊草草原土壤动物群落多样性研究. 应用生态学报, 1998, **9**(2): 186~188.