

大兴安岭火烧迹地土壤动物的群落多样性*

张淑花^{1,2} 张雪萍^{1**}

(¹哈尔滨师范大学地理科学学院 哈尔滨 150080)

(²绥化学院地理与旅游管理系 绥化 152061)

摘要 以大兴安岭地区不同年份火烧迹地土壤动物为研究对象,对火烧后不同恢复时间土壤动物群落多样性及相关指数的变化进行分析.结果表明,大型土壤动物的个体数、DIC指数、丰富度指数及优势度指数变化趋势均表现为火烧恢复初期迅速增加,然后缓慢增加并逐渐接近对比样地值;如果不考虑8 a迹地数据极大值的影响,中小型土壤动物的个体数、DIC指数、丰富度指数及优势度指数也大致呈现火烧恢复初期迅速增加,然后缓慢增长的趋势;在垂直方向上,大型土壤动物DIC指数、个体数及丰富度指数在0~5 cm最大,向上、向下减少,而中小型土壤动物的各项指数都是凋落物层最大,向下迅速减小;相关分析表明,大型和中小型土壤动物的个体数和丰富度指数与DIC指数都具有极高的相关性;群落相似性分析显示,各火烧迹地间土壤动物群落具有较高的相似性.图1 表3 参26

关键词 大兴安岭;森林火;火烧迹地;土壤动物;群落多样性

CLC S154.5 (23)

Soil Animal Community Diversity in the Burned Areas of the Great Xing'an Mountains, China*

ZHANG Shuhua^{1,2} & ZHANG Xueping^{1**}

(¹College of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin 150080, China)

(²Department of Geography and Tourist Management, Suihua College, Suihua 152061, Heilongjiang, China)

Abstract In order to discuss the change of soil animal communities in different burned areas and restore the forest ecosystem after fire, this study used soil animals in different burned forest areas as investigation objects, to analyzed the diversity of soil animal communities both horizontally and vertically by combining field investigation and indoor experiment. The diversity of soil animal communities in the Great Xing'an Mountains was studied through the analysis of five burned areas of different years together with an unburned area. The results showed that the diversity, individual number and richness index of macro-soil animals in different layers had the consistent changing tendency after forest fire, i.e., each increased rapidly soon after fire, then rose steadily and finally approached to the indexes of those in the unburned areas. The individual number, DIC index, richness index and dominance index of meso-micro soil animals all displayed a tendency of rapid increase at the early restoration stage, then a slow growth in the following if the influence of the maximum data in the 8 years burned area was excluded. Vertically speaking, the individual number, DIC and richness index of macro-soil animals maximized in the range of 0~5 cm, and decreased respectively in upward and downward directions, while those indexes of the meso-micro soil animals maximized in the litter layers and decreased sharply downward. The relative analyses indicated that the individual number and the richness index of the macro and meso-micro soil animals both had high correlation with the DIC diversity index. The community similarity analysis showed that the soil animal communities in different burned areas had high comparability based on Jaccard index. Fig 1, Tab 3, Ref 26

Keywords Great Xing'an Mountains; forest fire; burned area; soil animal; community diversity

CLC S154.5 (23)

生物多样性保护是20世纪末开展的新兴研究领域,也是国际关注的全球环境问题之一.关于植物群落多样性的研究已有大量报道^[1-4],对土壤动物群落多样性的研究报道也有一些^[5-8],但关于森林群落受到火烧影响后恢复过程中土壤动物多样性变化的研究几乎没有.大兴安岭位于寒温带地区,是我国森林火灾多发地区之一.火烧后森林生态系统恢复状况的研究一直是很多学者关注的问题^[9-13],通过对火烧后土壤动物多样性的调查研究,一方面揭示火烧后不同恢复年份土壤动物群落多样性的变化特征,另一方面探讨火烧后的不同时段森林生态系统的恢复情况,从而为森林恢复研究

提供基础数据.

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区(123°13'~125°48' E, 52°09'~53°23' N)位于黑龙江省北部塔河县境内,大兴安岭北缘伊勒呼里山北坡,属寒温带大陆性季风气候,冬季漫长寒冷,夏季短暂温热,年平均气温-5℃,年平均降水量428 mm,年无霜期80~100 d.地带性土壤为棕色针叶林土,森林覆盖率为76.69%,乔木主要有樟子松、落叶松、白桦、杨树等10余种.

样地选择:在研究区内选取5个不同年份原自然植被基本一致的火烧迹地,并选取与火烧迹地原始条件相似,没有受到火烧影响的样地作为对比样地,分别是:A为火烧1 a迹地(2002年),地点在塔峰16支线处;B为5 a迹地(1998年),地

收稿日期:2008-03-24 接受日期:2008-05-20

*国家自然科学基金项目(No. 40671004)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40671004)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: hellozxp@163.com)

点在绣峰林场; C为8 a迹地(1995年), 地点在马林林场, 是在1987年轻度火烧的基础上再次过火; D为13 a迹地(1990年), 地点在塔林和秀峰交界处; E为16 a迹地(1987年), 地点在马林林场; F为对比样地, 地点在塔河县微波站. 各样地主要生境情况见表1.

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 采样时间为2003年10月, 分别在不同年份的火烧迹地上选取有代表性的样地, 在每块样地中随机取样方4处, 大型土壤动物取样面积为50 cm×50 cm, 中小型土壤动物取样面积为10 cm×10 cm, 湿生动物取样面积为5 cm×5 cm. 对大型土壤动物分3层取样(凋落物层、0~5 cm和5~10 cm), 对中小型及湿生土壤动物分4层取样(凋落物层、0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm), 共计取样264个, 取样后立即带回室内进行动物分离. 同时在每个样地0~10 cm深度取土壤分析样品1 kg, 带回实验室进行理化性质分析.

1.2.2 土壤动物分离与鉴定 对大型、中小型及湿生土壤动

物分别采用手拣法、Tullgren法和Baerman法分离, 并立即用75%浓度的酒精杀死. 分类鉴定主要参考尹文英编著的《中国土壤动物检索图鉴》^[14], 并进行数量统计. 用分析天平测取大型土壤动物的生物量(湿重)及研究地点凋落物干重.

1.2.3 群落多样性研究方法 测定多样性指数的方法很多^[15~19], 而且研究者对多样性指数的应用又各有所侧重, 土壤动物多样性的测定也没有统一的方法^[5~8, 20~26]. 我们采用多群落比较的多样性指数, 即DIC指数^[5], 对不同生境群落的多样性进行分析. 物种的丰富度、均匀度、优势度与群落多样性密切相关, 本文丰富度采用土壤动物类群数表示, 均匀度采用Pielou指数, 优势度采用Simpson指数. 通过对几项指数的计算, 分析不同火烧迹地土壤动物的群落特征, 具体的计算公式为:

DIC指数: $DIC = \frac{g}{G} \sum_{i=1}^n [1 - (\frac{|X_{imax} - X_i|}{X_{imax} + X_i})] \frac{C_i}{C}$

式中, X_{imax} 为多个生境中第*i*类群的最大个体数, X_i 为要测生

表1 火烧迹地的主要生境条件
Table 1 Habitat characteristics of burned areas by forest fire in Tahe County, Heilongjiang, China

样地 Plot	A	B	C	D	E	F
地点 Site	塔峰16支线 16 lateral of Tafeng Forestry Centre	绣峰林场 Xiufeng Forestry Centre	马林林场 Malin Forestry Centre	塔林和秀峰交界处 Between Talin and Xiufeng	马林林场 Malin Forestry Centre	塔河县微波站 Microwave Station of Tahe County
火烧程度 Burned degree	中 Middle	轻 Light	中 Middle	中 Middle	重 Serious	无 Unburned
优势植物 Dominant plant	白桦, 兴安胡枝子, 刺 蔷薇, 小叶樟, 紫菀, 地榆, 苔草 <i>Betula platyphylla</i> , <i>Lespedeza davurica</i> , <i>Rosa</i> <i>acicularis</i> , <i>Deyeuxia</i> <i>angustifolia</i> , <i>Aster tataricus</i> , <i>Sanguisorba</i> <i>officinalis</i> , <i>Carex</i> sp.	兴安落叶松, 小叶 樟, 苔草 <i>Larix gmelini</i> , <i>D. angustifolia</i> , <i>Carex</i> sp.	水冬瓜, 白桦, 越 桔, 笃斯越桔, 杜 香, 苔草 <i>Alnus sibirica</i> , <i>B. platyphylla</i> , <i>Vaccinium vitis-</i> <i>idaea</i> , <i>Vaccinium</i> <i>uliginosum</i> , <i>Ledum</i> spp., <i>Carex</i> sp.	兴安落叶松, 白桦, 兴安胡枝子, 小叶 樟, 鹿蹄草, 委陵 菜, 槭叶蚊子草 <i>L. gmelini</i> , <i>B.</i> <i>platyphylla</i> , <i>L.</i> <i>davurica</i> , <i>D.</i> <i>angustifolia</i> , <i>Pyrola</i> sp., <i>Potentilla</i> sp., <i>Filipendula</i> <i>purpurea</i>	白桦, 杜香, 笃 斯越桔, 越桔, 刺蔷薇, 苔草 <i>B.</i> <i>platyphylla</i> , <i>L.</i> <i>Ledum</i> spp., <i>V. uliginosum</i> , <i>V. vitis-idaea</i> , <i>R. acicularis</i> , <i>Carex</i> sp.	白桦, 兴安落叶 松, 兴安杜鹃, 珍 珠梅, 兴安悬钩 子, 绣线菊, 小叶 樟, 莢菜, 地榆, 舞鹤草 <i>B. platyphylla</i> , <i>L. gmelini</i> , <i>Rhododendron</i> <i>dauricum</i> , <i>Sorbaria</i> <i>sorbifolia</i> , <i>Rubus</i> <i>chamaemorus</i> , <i>Spiraea</i> sp., <i>D.</i> <i>angustifolia</i> , <i>Viola</i> sp., <i>S.</i> <i>officinalis</i> , <i>Maianthemum</i> <i>bifolium</i>
植被盖度 Vegetation coverage (%)	20~35	80~85	100	75~80	95~100	95~100
凋落物厚度 Litter thickness (δ/cm)	0	2	1~2	3	1~2	3~4
凋落物干重 Litter weight (ρ/g m ⁻²)	0	768.60	643.08	700.64	724.72	105.3
土壤含水量 Soil water content (w/g kg ⁻¹)	45.79	74.82	59.10	56.51	58.38	61.22
土壤pH值 Soil pH 有机质	6.40	5.22	5.15	5.62	5.13	5.38
Organic matter content (w/g kg ⁻¹)	2.2586	38.7662	20.5209	17.8470	21.3396	38.63
全氮 Full N (w/g kg ⁻¹)	0.4452	1.4700	0.5936	0.8064	0.6716	1.1410

A: 1 a 迹地; B: 5 a 迹地; C: 8 a 迹地; D: 13 a 迹地; E: 16 a 迹地; F: 对比样地. 下同

A: 1 year burned area; B: 5 years burned area; C: 8 years burned area; D: 13 years burned area; E: 16 years burned area; F: Unburned area. The same below

境中第*i*类群的个体数, *g*为生境中的类群数, *G*为各生境所包含的总类群数, C_i/C 为在*C*个群落中第*i*类群出现的比率.

Pielou指数: $J = (-\sum_{i=1}^g P_i \ln P_i) / \ln S$

式中, *J*为均匀度指数, *S*为所有类群数, P_i 为第*i*类群的个体数比例.

Simpson指数: $C = \sum (N_i / N)^2$

式中, N_i 为每一类群的个体数, *N*为总个体数.

本文还采用Jaccard相似性指数来比较不同群落的相似性, 公式为: $q = \frac{c}{a+b-c}$. 式中, *q*为群落相似性指数, *c*为两个群落或生境共有类群数, *a*和*b*分别为生境*A*和*B*的类群数.

标具有大致相反的变化规律, 即开始迅速下降, 然后缓慢下降. 中小型土壤动物的DIC指数、丰富度指数具有基本一致的变化趋势, 即开始时迅速增加, 然后缓慢增长并逐渐接近对比样地值; 个体数和优势度指数变化曲线显示8 a迹地具有极高的数值, 这是由于8 a迹地中节跳虫科具有相当高的个体数量及比重(个体密度为47 225个/m², 所占比重为86.5%), 这可能与样地选取时的偶然性有关, 其它样地数值差别不大, 如果不考虑8 a迹地数据, 基本表现出随着火烧后恢复年份增加数值增大的趋势; 均匀度指数与个体数和优势度指数变化趋势相反.

相关分析显示, 大型土壤动物的个体数、DIC指数、丰富度指数及优势度指数之间具有较强的相关性, 相关系数均

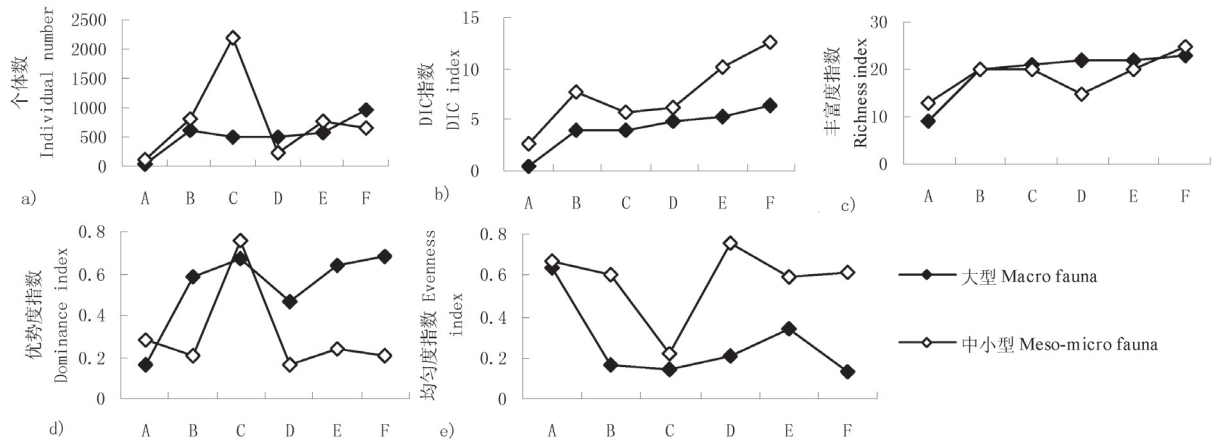


图1 各迹地土壤动物个体数、DIC指数、丰富度指数、优势度指数及均匀度指数
Fig. 1 Numbers, DIC index, richness, evenness and dominance of soil animals in different burned areas

2 结果与分析

2.1 火烧迹地土壤动物群落组成特征

调查共获得大型土壤动物3 089个、中小型土壤动物4 793个、湿生动物6 189个, 总计14 071个、54个类群, 隶属于线形动物门(Nemathelminthes)、环节动物门(Annelida)、软体动物门(Mollusca)、节肢动物门(Arthropoda)等4门7纲22目. 土壤动物的平均个体密度为121 301.3个/m², 其中个体密度最大是线虫类, 为105 628.6个/m², 密度较大的还有弹尾类和螨类. 大型及中小型土壤动物区系名录见文献[15], 其中大型土壤动物的优势类群为线蚓科(Enchytraeidae), 常见类群有石蜈蚣目(Lithobiomorpha)等7类, 稀有类群和极稀有类群有腹足纲(Gastropoda)等26类; 中小型土壤动物的优势类群为节跳虫科(Isotomidae)、中气门亚目(Mesostigmata)和前气门亚目(Prostigmata)3类, 常见类群有隐气门亚目(Oribatida)、棘跳虫科(Onychiuridae)、球角跳虫科(Hypogastruridae)和绶跳虫科(Entomobryidae)4类, 稀有类群和极稀有类群有姬马陆目(Juliformia)等29类.

2.2 不同火烧迹地土壤动物水平分布

采用上述方法, 对大型及中小型土壤动物各指数进行计算, 结果见图1. 从图1可以看出, 大型土壤动物的个体数、DIC指数、丰富度指数及优势度指数随着火烧迹地恢复时间增长具有基本一致的变化趋势, 即开始迅速增加, 然后缓慢增加并逐渐接近对比样地值, 均匀度的变化状况与前几项指

在0.85以上, 均匀度指数与其它指标之间呈现较强的负相关性, 相关系数都在-0.80以上; 中小型土壤动物的DIC指数和丰富度指数相关性较强, 相关系数为0.88, 个体数和优势度指数之间相关系数为0.90, 均匀度与个体数和优势度指数相关系数均在-0.95以上.

2.3 火烧迹地土壤动物群落的相似性分析

运用前述公式计算各样地间相似性指数, 结果见表2. 从表2可以看出, 除1 a迹地与其它样地的相似性指数较小外, 其它样地之间的相似性指数均在0.50以上. 这说明虽然各火烧迹地土壤动物的组成和数量及多样性指数有一定差别, 但由于各样地位于相近的地理位置, 总体上仍表现出很大程度的相似性.

2.4 火烧迹地土壤动物垂直方向多样性分析

对大型和中小型土壤动物DIC指数、个体数和丰富度指

表2 各迹地土壤动物群落相似性指数
Table 2 Similarity index of soil animal groups in different burned areas

	A	B	C	D	E	F
A	1					
B	0.46	1				
C	0.50	0.70	1			
D	0.58	0.65	0.61	1		
E	0.47	0.71	0.71	0.62	1	
F	0.43	0.57	0.54	0.64	0.58	1

表3 各迹地大型、中小型土壤动物的群落特征指数垂直分布
Table 3 Vertical distribution of group characters of macro and meso-micro faunas in different burned areas

群落特征指数 Group character			A	B	C	D	E	F
DIC指数 DIC index	大型 Macro fauna	凋落物层 Litter layer	0	2.175	0.640	2.855	1.410	3.979
		0~5 cm	0.615	2.709	3.922	2.851	4.257	5.380
		5~10 cm	0.164	0.969	0.445	1.475	1.679	1.983
	中小型 Meso-micro fauna	凋落物层 Litter layer	0	1.768	2.232	0.888	2.040	2.330
		0~5 cm	1.223	2.109	2.101	1.500	1.790	2.980
		5~10 cm	0.578	1.542	1.931	0.189	1.853	3.065
		10~15 cm	0.224	1.016	0.234	0.010	1.494	2.203
个体数 Individual number	大型 Macro fauna	凋落物层 Litter layer	0	116	68	109	63	175
		0~5 cm	17	277	370	310	435	724
		5~10 cm	5	153	66	76	61	64
	中小型 Meso-micro fauna	凋落物层 Litter layer	0	333	195	139	426	332
		0~5 cm	68	319	131	91	127	124
		5~10 cm	42	121	92	4	128	114
		10~15 cm	20	40	9	1	91	90
丰富度指数 Richness index	大型 Macro fauna	凋落物层 Litter layer	0	12	7	13	10	15
		0~5 cm	9	15	18	16	17	19
		5~10 cm	4	8	5	11	12	12
	中小型 Meso-micro fauna	凋落物层 Litter layer	0	13	15	12	14	17
		0~5 cm	12	10	12	11	12	14
		5~10 cm	8	8	11	4	10	13
		10~15 cm	4	10	5	1	9	11

数进行分层统计, 结果见表3. 从表3可以看出, 在各个火烧迹地中, 大型土壤动物的DIC指数、个体数量及丰富度指数均是0~5 cm层最大, 向上、向下逐渐减小; 各层多样性指数在不同年份火烧迹地不同, 0~5 cm DIC指数基本是随火烧时间增长而增大, 凋落物层和5~10 cm则是先增大后减小, 然后缓慢增加并接近对比样地. 中小型土壤动物的DIC指数大致为从凋落物层向下逐渐减小, 各层次在不同火烧年份迹地的变化趋势大体一致, 即随着火烧时间的增长先迅速增加, 然后增加缓慢并产生波动. 大型、中小型土壤动物的个体数和丰富度指数在各层的变化以及每层在各个样地的变化与DIC指数的变化趋势基本一致. 对大型、中小型土壤动物的DIC指数与个体数和丰富度指数在各层次的数据进行相关分析, 得出的相关系数几乎都在0.85以上, 说明群落的DIC指数能够反映出群落的个体数量及物种的丰富程度.

1 a迹地凋落物层土壤动物的各种指标均很小, 这是因为1 a迹地的凋落物层很薄, 有的甚至处于烧焦状态, 几乎没有土壤动物生存.

3 结论

3.1 调查共获得大型土壤动物3 089个、中小型土壤动物4 793个、湿生动物6 189个, 计14 071个、54个类群, 隶属于线形动物门、环节动物门、软体动物门、节肢动物门等4门7纲22目. 其中个体密度最大是线虫类.

3.2 对各指标的分析结果显示, 大型土壤动物的个体数、DIC指数、丰富度指数及优势度指数变化趋势均表现为火烧恢复初期迅速增加, 然后缓慢增加并逐渐接近对比样地值; 如果不考虑8 a迹地数据极大值的影响, 中小型土壤动物各指标数

据也大致呈现火烧恢复初期迅速增加, 然后缓慢增长的趋势; 均匀度的变化状况与前几项指标具有大致相反的变化规律.

3.3 虽然不同火烧迹地土壤动物群落特征指数差异很大, 但相似性分析结果显示各样地在群落组成上有很大的相似性, 这主要是由于各样地位于相似的地理位置所致.

3.4 大型土壤动物多样性指数、个体数及丰富度指数在垂直方向上表现出0~5 cm最大, 向上、向下逐渐减少; 而中小型土壤动物的各项指标具有凋落物层最高并向下减少的特征, 表现出明显的表聚性.

References

1 Xie JY (谢晋阳), Chen LZ (陈灵芝). Species diversity characteristics of deciduous forests in warm temperate zone of north China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 1994, **14** (4): 337~344

2 Wang DB (汪殿蓓), Ji SY (暨淑仪), Chen FP (陈飞鹏). A review on the species diversity of plant community. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2001, **20** (4): 55~60

3 Qiu Y (邱扬), Li ZD (李湛东), Zhang YJ (张玉钧), Xu HC (徐化成), Yu RY (于汝云). The effects of fire disturbance on the biodiversity of under story plant in virginal forest, northern region of Daxinganling Mountains, China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2006, **26** (9): 2863~2869

4 Mao ZH (毛志宏), Zhu JJ (朱教君). Effects of disturbances on species composition and diversity of plant communities, China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2006, **26** (8): 2695~2701

5 Liao CH (廖崇惠), Li JX (李健雄), Huang HT (黄海涛). Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region,

- China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 1997, **17** (5): 549~555
- 6 Su YC (苏永春), Gou YB (勾影波), Yu D (郁达), Wang JY (王继元). Diversity of soil invertebrate communities at Yushan Hill, Changshu, Jiangsu Province. *Biodiv Sci* (生物多样性), 2004, **12** (3): 333~338
 - 7 Yin XQ (殷秀琴), Wu DH (吴东辉), Han XM (韩晓梅). Diversity of soil animals community in Xiao Hinggan Mountains. *Sci Geogr Sin* (地理科学), 2003, **23** (3): 316~322
 - 8 Volkmar Wolters. Biodiversity of soil animals and its function. *Eur J Soil Biol*, 2001, **37**: 221~227
 - 9 Xie FJ (解伏菊), Xiao DN (肖笃宁), Li XZ (李秀珍), Wei JB (魏建兵), Wang XG (王绪高). Forest landscape restoration and its affecting factors in burned area of northern Great Xing'an Mountains—Taking forest coverage as an example. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2005, **16** (9): 1711~1718
 - 10 Zeng FP (曾馥平), Wang KL (王克林), Song TQ (宋同清). The natural recovery of the forest fire vestige, afforestation and its effect. *Chin J Eco-Agric* (中国生态农业学报), 2006, **14** (1): 202~205
 - 11 Wang XG (王绪高), Li XZ (李秀珍), He HS (贺红士), Xie FJ (解伏菊). Evaluation of landscape restoration in the northern slopes of Great Xing'an Mountains after the 1987 catastrophic fire. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2005, **25** (11): 3098~3106
 - 12 Kong FH (孔繁花), Li XZ (李秀珍), Wang XG (王绪高), Zhao SL (赵善伦), Shi BL (石秉路), Gao ZL (高振岭). Advance in study on the forest restoration in the burned blank. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2003, **22** (2): 60~64
 - 13 Chen PF (陈鹏飞), Lü LZ (吕林昭), Li JL (李继磊), Wang TZ (王铁柱), Zhao JH (赵建华), Ren YM (任云卯). Study of vegetation restoration in burnt areas of Beijing Xishan. *For Resour Manage* (林业资源管理), 2007 (1): 64~68
 - 14 Yin WY (尹文英). Pictorial Keys to Soil Animal of China. Beijing, China (北京): Science Press, 1998
 - 15 Zhang XP (张雪萍), Zhang SH (张淑花), Li JK (李景科). Ecogeography analysis in soil faunas in burned forest areas in Great Xing'an Mountains. *Geogr Res* (地理研究), 2006, **25** (2): 327~334
 - 16 Magurran AE. Ecological Diversity and its Measurement. New Jersey, USA: Princeton University Press, 1998
 - 17 Ma KP (马克平). Methods of measure the bio-communities biodiversity. *Chin Biodiv* (生物多样性), 1994, **2** (3): 162~168
 - 18 Tilman D. The ecological consequences of changes in Biodiversity: A search for general principles. *Ecology*, 1999, **80** (5): 1455~1474
 - 19 Walker B. Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conserv Biol*, 1995, **9**: 747~752
 - 20 Niklas L, Jan BE, Trygve P. Effects of experimental irrigation and drought on the composition and diversity of soil fauna in a coniferous stand. *J Appl Ecol*, 2002, **39**: 924~936
 - 21 尹文英主编. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000
 - 22 Tong FC (佟富春), Wang QL (王庆礼), Liu XS (刘兴双), Xiao YH (肖以华). Dynamics of soil fauna communities during succession process of secondary forests in Changbai Mountain. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2004, **15** (9): 1531~1535
 - 23 Zhang XP (张雪萍), Hou WL (候威岭), Chen P (陈鹏). Soil animal guilds and their ecological distribution in the northeast of China. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2001, **7** (4): 370~374
 - 24 Li JK (李景科), Chen P (陈鹏). Studies on Fauna and Ecogeography of Soil Animal. Changchun, China (长春): Northeast Normal University Press, 1993
 - 25 Tian JY (田家怡), Pan HJ (潘怀剑), Fu RS (傅荣恕). Study on soil animal diversity in the Yellow River Delta. *Biodiv Sci* (生物多样性), 2001, **9** (3): 228~236
 - 26 Hou BD (候本栋), Ma FY (马风云), Wu HY (吴海燕), Xing SJ (邢尚军). Characteristics of soil nematodes communities at different succession stages of wetland in the Yellow River Delta, China. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2008, **14** (2): 202~206