

# 秦岭土壤环境变化对土壤动物群落的影响

白登忠<sup>1</sup>, 谢寿安<sup>2\*</sup>, 史睿杰<sup>2</sup>, 成洪刚<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100;  
3. 秦岭太白山自然保护区管理局, 陕西 宝鸡 721000)

**摘要:**为探讨秦岭土壤环境变化对土壤动物群落结构的影响,采用取样调查法,调查了秦岭太白山自然保护区不同类型土壤环境中土壤动物群落,共捕获土壤动物 5 048 只,分别隶属于 23 个类群。土壤动物群落随土壤环境的改变而发生明显的变化。土壤理化特性测定表明:腐殖质和氮磷钾 3 种营养元素在 5 种土壤环境中的含量随着海拔增高向上逐渐增加,特别是在棕壤森林土、暗棕壤森林土和亚高山草甸土中的含量比较高;供试土壤酸度随海拔高度增加逐渐增加;土壤 pH 值由 7.08 降至 5.18;土壤容重总体上呈先减小后增加的趋势;而土壤孔隙度的变化规律刚好相反;土壤质地逐渐从壤质粘土变为沙质壤土;土壤微生物数量逐渐增加,其中土壤细菌和土壤放线菌数量在暗棕壤森林土中最高,土壤真菌数量在棕壤森林土为最高,而在亚高山草甸土和高山草甸土中,土壤微生物的数量陡然下降。多样性指数研究结果表明,土壤动物群落随土壤环境的改变而发生明显的变化:土壤动物多样性指数依次为棕壤森林土>褐色森林土>亚高山草甸土>暗棕壤森林土>高山草甸土。Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数能较好地反映不同土壤环境中土壤动物群落的多样性状况,并且和 Berger-Parker 生态优势度指数呈明显的负相关。

**关键词:**土壤动物; 群落结构; 土壤; 生物多样性指数

**中图分类号:**S714.3      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)06-0001-07

Effects of the Changes in Soil Environment on Community Structure  
of Soil Animal in Qinling Mountains

**BAI Deng-zhong<sup>1</sup>, XIE Shou-an<sup>2\*</sup>, SHI Rui-jie<sup>2</sup>, CHENG Hong-gang<sup>3</sup>**

(1. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;  
2. College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
3. Management Bureau of Tanibai Mountains Nature Reserve, Baoji, Shaanxi 721000, China)

**Abstract:** In order to understand the vertical distribution features of soil-animal community structure in different types of forest soil ecosystems in Qinling Mountains, we used the sampling survey method to investigate soil animal community in different types of forest soil ecosystem in National Nature Reserve of Taibai Mountain. Totally 5 048 of animals were captured, belonging to 23 groups. The soil physical and chemical test data showed that with the increase of altitude, the percentage of the humus and the nutrient elements, total N, total P, total K all increased gradually, especially in brown forest soil, dim brown forest soil, and sub-alpine meadow soil. Soil pH value decreased with the increase of altitude, from 7.08 to 5.18. With the increase altitude, the soil unit weight( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )decreased first and then increased, but the variation of soil porosity was just opposite. The soil texture changed gradually from the loamy clay to the sandy loam. The quantity of soil microorganism increased gradually, in which the quantities of soil bacteria

收稿日期:2012-01-04 修回日期:2012-04-25

作者简介:白登忠,男,博士,主要研究方向:生态学。E-mail: shiruijie1204@163.com

\* 通信作者:谢寿安,男,博士,副教授,主要研究方向:森林昆虫学。E-mail: shouanxie@163.com

and soil actinomycetes were the most in dim brown forest soil, and the quantity of soil fungi was the most in brown forest soil, but the quantity of soil microorganism declined sharply in sub-alpine meadow soil and alpine meadow soil. The results of the diversity of groups and individuals of soil animals by using of the diversity index to analyze showed that there was a significant change of the soil animal communities with different types of forest soil ecosystem; the Shannon-Wiener index ( $H$ ) of individuals of soil fauna was: brown forest soil > dark brown forest soil > sub-alpine meadow soil > dim brown forest soil > alpine meadow soil. The Shannon-Wiener index ( $H$ ) of individuals of soil fauna and the Pielou evenness index ( $J$ ) of individuals of soil fauna both could better reflect the condition of the composition and diversity of soil animal community in different types of forest soil ecosystem, and they had an opposite trend to the Berger-Parker dominant index ( $D$ ).

**Key words:** soil animal; community structure; soil; biodiversity index

土壤动物在生态系统中占有极其重要的地位,担负着消费者和分解者的任务,它们的组成数量及动态变化等都影响着生态系统的物质循环和能量转化。因此,土壤动物既是地下土壤生物群落中的重要成分,也是陆生生态系统的重要组成部分,与土壤环境之间有着密切的联系<sup>[1-4]</sup>。土壤动物能够改变土壤养分的矿化速率和养分在土壤中的空间分布、改变根际微生物群落结构以及森林植物的激素状况;同时土壤环境为土壤动物提供了丰富的栖息地和食物源。秦岭作为我国内陆地区重要的天然林区,其森林生态系统的稳定性在调节我国北方气候,维护长江、黄河中下游地区农林业生产稳定性方面发挥着重要的作用。以往对秦岭森林动物的研究,主要侧重于鸟类<sup>[5]</sup>、兽类<sup>[6]</sup>和森林昆虫等大型动物方面,关于不同土壤环境对土壤动物的影响至今未见研究报道。为此研究了5种不同类型土壤环境中土壤动物群落组成变化、生态分布和多样性变化规律,为深入探讨土壤动物对土壤质量变化的指示意义以及秦岭植被恢复和生物多样性保护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

太白山国家级自然保护区位于秦岭中段,总面积56 325 hm<sup>2</sup>。其主峰拔仙台海拔3 767.2 m,是秦岭的最高峰<sup>[7]</sup>。太白山自然保护区位于秦岭中段,自然环境条件复杂,动植物种类繁多,生物资源

丰富<sup>[8]</sup>。保护区土壤在全国土壤地理分区中,属黄河中下游、华北山地秦岭北侧伏牛山褐土、棕壤区,但因地处暖温带和北亚热带的过渡区域,更由于相对高差很大,因而成土因素的组合复杂多样,形成的土壤类型繁多,并且在山体上分布的垂直地带性分异十分明显。太白山自然保护区处在我国暖温带和北亚热带分界线上,北受西北干冷气流影响,南受东南潮湿气团影响,形成南坡同期同高气温较北坡约高3~5℃,年降雨量也较北坡多100~200 mm的差异,又因其山体之高居我国东南半壁之最,相对高差达3 000 m,气候垂直效应表现出类北纬34°~67°水平地带特征。山体的上下年均温约相差13℃,无霜期相差90~110 d,土壤冻结期相差7~8个月。年降水量以中山为最高,达800~1 000 mm。高山与低山的年降水量虽均在650~800 mm之间,但由于高山受强风、寒冻和较强光辐射的影响,却呈现出半湿润状态。水热状况自上而下这种有规律递变的结果,在垂直山体之间形成亚寒、寒温、中温、暖温4个热量带。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 研究区设在太白山,土壤自下而上有山地褐土(海拔1 200 m以下)、山地棕壤(1 200~2 200 m)、山地暗棕壤(2 200~3 100 m)、亚高山草甸土(3 100~3 400 m)和高山草甸土(3 300 m以上)5种类型<sup>[9]</sup>。结合成土因素和土壤发生分异的规律,按照海拔200~300 m的间隔选取土壤样地,进行野外观察,样品采集和室内测定(表1)。

表1 秦岭5种土壤环境条件比较

Table 1 Comparison of environmental conditions of 5 kinds of soil in Qinling Mountains

土壤类型	采样地点	海拔/m	年均温度/℃	年降雨量/mm	主要植被带
高山草甸土	太白梁	3 523	-4~-5	770~850	高山草甸灌丛植被
亚高山草甸土	将军台	3 268	-2~3	750~900	落叶松林带
暗棕壤森林土	娘娘祠	2 755	4~6	900~950	冷杉、桦木林带
棕壤森林土	蒿坪寺	1 797	7~10	1 100~1 200	辽东栎与锐齿栎林带
褐色森林土	营头镇	800	12~14	750~800	栓皮栎和侧柏林带

1.2.2 土壤动物的采样、分离和鉴定 于2009—2010年每年夏季6—8月,分别在5种不同类型的土壤环境中采用取样调查法,每个样地取样面积50 cm×50 cm,每个样地分凋落物层、0~15 cm层、15~30 cm层共3层对秦岭不同土壤环境中的土壤动物群落进行了分层调查研究。共取土样50个。大型土壤动物采用手检法,中小型土壤动物采用Tullgren法进行分离提取。在双筒解剖镜下镜检。同时统计土壤动物各类群的个体数量。

1.2.3 土壤理化指标的测定 测定项目和方法:土壤有机质(重铬酸钾氧化法),土壤pH值(酸度计法),土壤容重(环刀法),土壤机械组成(比重计法)<sup>[10]</sup>。

1.2.4 数据分析 应用群落物种多样性、生态优势度、群落均匀度及物种丰富度指数测度土壤动物群落物种多样性<sup>[11~16]</sup>。

群落物种多样性采用Shannon-Wiener多样性指数计算:

$$H = -\sum P_i \log_2 P_i, P_i = N_i / N \quad (1)$$

式中:N<sub>i</sub>为物种*i*在样方中的数量,N为样方中所有种的个体总数。

生态优势度采用Berger-Parker公式计算:

$$D = N_{\max} / N \quad (2)$$

式中:N<sub>max</sub>为优势种的种群数量,N<sub>i</sub>为全部物种的种群数量。

群落均匀度指数采用Pielou的均匀度指数计算:

$$J = (-\sum p_i \ln p_i) / \ln N \quad (3)$$

*p<sub>i</sub>*为物种*i*的相对重要值,N为样方中所有种的个体总数。

物种丰富度S即物种的数目,用生境中的物种数表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤环境中土壤动物群落构成

在3个季节期连续取样2 a,共取土样50个,大型土壤动物采用手检法,中小型土壤动物采用Tullgren法进行分离提取<sup>[9,17~18]</sup>。2 a共获得各类土壤无脊椎动物共计5 048头,分属23目。各种土壤环境中全年占绝对多数的土壤动物类群(个体数量占总个体数10%以上)为蜱螨目(50.61%)和弹尾目(30.21%);常见类群6类(个体数量占总个体数1%~10%以上),分别是双尾目(Diplura)、鳞翅目(Lepidoptera)、膜翅目(Hymenoptera)、鞘翅目(Coleoptera)、综合目(Symphyla)和缨翅目(Thysanoptera),共占总个体数的15%;棕壤森林土中的土壤动物个体数最多(2 614头),其他类型土壤环境中的土壤动物个体数由多到少依次为暗棕壤森林土(932头)、褐色森林土(870头)、亚高山草甸土(436头)和高山草甸土(196头)(表2)。

壤动物个体数最多(2 614头),其他类型土壤环境中的土壤动物个体数由多到少依次为暗棕壤森林土(932头)、褐色森林土(870头)、亚高山草甸土(436头)和高山草甸土(196头)(表2)。

### 2.2 不同土壤环境中土壤动物分布与化学因子的关系

在秦岭林区特别是森林植被比较完善且垂直分布明显的太白山一带,森林植被下的土壤积累了丰富的有机质,形成了明显的腐殖质层;土壤有机质含量由山麓向上逐渐增加,特别是在亚高山草甸土、棕壤森林土和暗棕壤森林土中的土壤有机质比较丰富,且土壤有机质含量在表层含量很高,向下陡然减少。从表3可以看出,供试土壤酸度随海拔高度增加逐渐增加:土壤pH值由7.08降至5.18。氮、磷、钾3种营养元素在土壤环境中的含量测定表明由山麓向上逐渐增加,特别是在棕壤森林土、暗棕壤森林土和亚高山草甸土中的含量比较高。可见林内生境条件良好,小气候稳定性好,土壤温湿度变化相对稳定的棕壤森林土中,土壤动物种群数量最高,其中类群数为22类,个体数为2 614头。

### 2.3 不同土壤环境物理特性与土壤动物分布的关系

对表层(0~15 cm)土壤物理特性测定表明:随着海拔高度增高,土壤容重总体上呈先减小后增加的趋势,特别是富含腐殖质的棕壤森林土(1 200~2 200 m)和暗棕壤森林土(2 200~3 100 m)的容重比较小;而土壤孔隙度的变化规律则相反。随着海拔增高,土壤质地逐渐从壤质粘土变为沙质壤土,其中高山区土壤的颗粒组成为砂粒>粉粒>粘粒;中山区土壤的颗粒组成为粉粒>砂粒>粘粒。土壤表层中土壤动物个体数量由多至少依次为:棕壤森林土>暗棕壤森林土>褐色森林土>亚高山草甸土>高山草甸土(表4)。

### 2.4 不同土壤环境中土壤动物分布与微生物及主要环境因素的关系

在野外取样调查过程中可以明显地看到,秦岭林区土壤动物在8月上旬类群数和个体数量显著增加。2009—2010连续2 a调查了8月上旬秦岭5种不同森林土壤中土壤动物与微生物及主要环境因素(表5)。3种土壤微生物在5种不同土壤环境中的分布趋势基本一致。随着海拔高度的增加,土壤微生物数量逐渐增加,土壤细菌和土壤放线菌数量在暗棕壤森林土(2 200~3 100 m)为最高;土壤真菌数量在棕壤森林土(1 200~2 200 m)为最高。而在3 100~3 400 m的亚高山草甸土和高山草甸土(3 300 m以上)中,土壤微生物的数量陡然下降。由

表5可以看出,5种不同土壤环境中的微生物区系与气候变化紧密相关。随着海拔高度的增加,土壤动物数量逐渐增加,土壤动物类群数(18类)和个体

数量(1 837头)在棕壤森林土(1 200~2 200 m)中分布最多。

表2 2009—2010年秦岭5类森林土壤样地中土壤动物群落组成和个体数统计

Table 2 Statistics of groups and individuals of soil animals in plots of five forest lands in 2009 to 2010

土壤动物类群	I				II				III				IV				V				个体总数 (土壤总 体积: 3.75 m <sup>3</sup> )		
	A	B	C	小计	A	B	C	小计	A	B	C	小计	A	B	C	小计	A	B	C	小计	%		
蜱螨目 Acarina	37	236	177	450	179	632	439	1 250	28	326	184	538	32	108	77	217	17	52	31	100	2 555	50.61	
弹尾目 Collembola	23	103	85	211	146	413	307	866	31	140	107	278	14	75	36	125	11	28	6	45	1 525	30.21	
双尾目 Diplura	6	2	2	10	63	71	12	146	11	8	3	22	7	4	6	17	3	5	9	17	212	4.20	
鳞翅目 Lepidoptera	3	17	1	21	39	50	9	98	16	4	4	24	3	5	0	8	7	3	3	13	164	3.25	
膜翅目 Hymenoptera	5	29	13	47	22	15	11	48	9	5	0	14	6	11	7	24	0	3	2	5	138	2.73	
鞘翅目 Coleoptera	2	22	0	24	16	31	7	54	5	8	2	15	6	1	2	9	2	8	0	10	112	2.22	
综合目 Symphyla	3	10	7	20	16	13	7	36	7	3	0	10	2	1	1	4	0	0	0	0	70	1.39	
缨翅目 Thysanoptera	0	13	2	15	11	17	5	33	0	4	4	8	3	0	0	3	2	0	0	2	61	1.21	
伪蝎目 Pseudoscorpionida	3	5	1	9	7	15	3	25	2	1	2	5	1	1	0	2	0	0	0	0	41	0.81	
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	0	8	3	11	6	6	0	12	3	0	0	3	2	0	0	2	1	0	0	1	29	0.58	
地蜈蚣目 Geophilomorpha	1	6	0	7	4	8	3	15	1	1	1	3	0	0	2	2	0	0	0	0	27	0.54	
蜘蛛目 Araneae	8	2	3	13	7	0	0	7	2	0	0	2	4	0	0	4	1	0	0	1	27	0.54	
等足目 Isopoda	0	6	3	9	5	0	0	5	3	2	0	5	2	3	2	7	0	0	0	0	26	0.52	
原尾目 Protura	0	0	3	3	2	0	0	2	0	3	0	3	0	3	0	3	1	1	0	2	13	0.26	
直翅目 Orthoptera	0	4	2	6	2	0	1	3	0	2	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	13	0.26	
同翅目 Homoptera	2	2	2	6	1	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.20	
半翅目 Hemiptera	1	0	2	3	1	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	7	0.14	
带马陆目 Polydesmida	0	0	1	1	1	2	1	4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	6	0.12	
革翅目 Dermaptera	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.06	
蚯蚓目 Earthworm	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0.06
石丙目 Microcoryphida	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.04	
蜚蠊目 Blattaria	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0.04	
园马陆目 Sphaerotheriida	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0.04	
总数	870				2 614				932				436				196				5 048	100	

注:I:褐色森林土<1 200 m;II:棕壤森林土(1 200~2 200 m);III:暗棕壤森林土(2 200~3 100 m);IV:亚高山草甸土(3 100~3 400 m);V:高山草甸土>3 300 m,(表3—6同)。A:凋落物层;B:0~15 cm层;C:15~30 cm层。

表3 5种不同森林土壤环境的化学性质与土壤动物分布关系

Table 3 Relationship between the distribution of soil animals and chemical factors in five different kinds of forest soils

土壤类型	有机质 /(g·kg <sup>-1</sup> )	pH(H <sub>2</sub> O)	全氮 /(g·kg <sup>-1</sup> )	全磷 /(g·kg <sup>-1</sup> )	全钾 /(g·kg <sup>-1</sup> )	土壤动物 类群数	个体数 (土壤总体积:3.75 m <sup>3</sup> )
I	27.05	7.08	1.66	0.31	2.58	21	870
II	106.80	6.49	2.95	0.68	6.34	22	2 614
III	89.98	5.01	2.27	0.62	9.04	15	932
IV	108.36	5.92	2.16	0.34	6.06	20	436
V	57.79	5.18	2.03	0.21	5.50	10	196

表4 5种不同森林土壤表层(0~15 cm)环境的物理性质与土壤动物分布关系

Table 4 Relationship between the distribution of soil animals and physical factors in five different kinds of forest soils

土壤类型	土壤容重 /(g·cm <sup>-3</sup> )	土壤孔隙度	颗粒组成/(g·kg <sup>-1</sup> )			土壤动物个体数 (土壤体积: 0.375/m <sup>3</sup> )
			>0.02/mm	0.02~0.002/mm	<0.002/mm	
I	1.05	49.58	245.8	537.6	238.9	97
II	1.03	63.17	266.7	489.3	241.4	530
III	1.03	61.62	234.2	502.6	224.5	118
IV	1.16	57.46	575.3	322.5	101.3	89
V	1.39	53.18	500.6	345.8	145.5	45

表5 2009和2010年8月5种不同森林土壤中土壤动物与微生物及主要环境因素

Table 5 Soil animals and microorganism and the main environmental factors in five different kinds of forest soils in August, 2009 and 2010

土壤类型	土壤细菌	土壤放线菌	土壤真菌	月均地温 /℃	月均降水 /mm	土壤动物类 群数	土壤动物个体数 (土壤体积:1.25/m <sup>3</sup> )
I	32.25	15.45	8.75	20.33	130.50	16	602
II	46.75	29.45	22.25	16.80	186.75	18	1 837
III	49.45	34.75	18.45	13.45	170.66	14	679
IV	38.25	25.25	12.75	10.30	150.38	16	302
V	25.75	12.45	7.45	7.70	95.08	7	133

## 2.5 不同土壤环境土壤动物群落的多样性比较

利用多样性指数比较不同土壤环境中土壤动物群落多样性的结果(表6)表明,随着海拔高度增加,土壤动物多样性指数呈现先增后减趋势。5种不同土壤环境中土壤动物多样性指数由高到低依次为:棕壤森林土>褐色森林土>亚高山草甸土>暗棕壤森林土>高山草甸土;均匀度指数由高到低依次为:棕壤森林土>褐色森林土>暗棕壤森林土>亚高山草甸土>高山草甸土;优势度指数的变化趋势刚好相反。

表6 5种不同土壤环境中土壤动物群落多样性变化

Table 6 Changes of diversity of soil animals in five different kinds of soils

土壤类型	S 物种 的数目	H 群落物种 多样性指数	J 群落 均匀度指数	D 生态 优势度
I	21	1.623 5	0.533 3	0.517 2
II	22	1.837 6	0.594 5	0.478 2
III	15	1.394 9	0.515 1	0.577 3
IV	20	1.413 4	0.471 8	0.497 7
V	10	1.027 2	0.446 1	0.510 2

## 3 结论与讨论

### 3.1 不同土壤环境对土壤动物分布及群落结构的影响

土壤动物是反映土壤环境变化的重要指示生物,在一定程度上土壤动物能够敏感反映土壤受破坏程度、时空变化和生物学效应。目前关于土壤环境保护研究问题已成为全球性的重大课题,土壤动物学研究已进入生物生产力和对人类与环境关系的研究阶段,土壤环境的生物净化,环境质量的生物监测与评价等将成为最具实践意义的前沿学科而受到重视。目前的研究主要集中在土壤动物在成长过程中的作用,理化性质的改良,土壤养分循环<sup>[19]</sup>以及区系分类等方面<sup>[20]</sup>,很少涉及土壤动物与环境关系的研究。本文为探讨秦岭不同类型土壤环境中土壤动物群落组成特征、分布差异、多样性及土壤环境对土壤动物群落结构的影响,研究了5种不同类型土壤环境<sup>[15]</sup>中土壤动物群落组成变化、生态分布和多样性变化规律,旨在揭示不同土壤环境中土壤动物群落的结构特征,为深入探讨土壤动物对土壤质量

变化的指示意义以及秦岭植被恢复和生物多样性保护提供科学基础资料。

### 3.2 秦岭北坡土壤发生特点对土壤动物分布的影响

本研究对秦岭北坡不同土壤环境的理化性质等的研究,说明了秦岭土壤形成过程和发生特点具有明显的垂直变化规律。随着海拔高度的升高,粘化作用逐渐减弱,粘粒含量明显减少,土壤质地由壤质粘土变为砂质壤土;土壤容重总体上呈先减小后增加的趋势,特别是富含腐殖质的棕壤森林土(1 200~2 200 m)和暗棕壤森林土(2 200~3 100 m)的容重比较小;而土壤孔隙度的变化规律呈相反趋势。由渭河谷地到太白山顶,pH值逐渐减小,盐基饱和度下降,土壤溶液从微碱性转变为酸性;通过测定氮、磷、钾3种营养元素在5种土壤环境中的含量,氮、磷、钾3种营养元素由山麓向上逐渐增加,特别是在棕壤森林土、暗棕壤森林土和亚高山草甸土中的含量比较高。随着海拔高度的增加,土壤微生物数量逐渐增加,土壤细菌和土壤放线菌数量在暗棕壤森林土为最高;土壤真菌数量在棕壤森林土为最高。而>3 000 m的亚高山草甸土和高山草甸土中,土壤微生物的数量陡然下降。由于不同生境中土壤动物赖以生存的生态条件不同,必然影响土壤动物群落组成和生态分布。土壤理化性质以及微生物数量分布等方面的差异使得不同类型土壤的松散性、多孔性、透气性和保水性等条件存在明显差异。影响土壤动物的环境因素复杂多样<sup>[21~25]</sup>,在森林生态系统中,凋落物中土壤动物与林型、凋落物厚度、凋落物分解程度等关系密切<sup>[26~27]</sup>,处于中山区的棕色森林土由于生境条件有利于土壤动物的生存和繁衍,土壤动物类群数和个体数最高,因而土壤动物群落多样性指数高,其均匀度也最高。反映了中山区的棕色森林土为土壤动物提供了相对稳定的食物源和栖息环境,经过长期的选择和适应,形成了相对稳定而多样性指数较高的土壤动物群落,从而维持着系统稳定正常的生态功能。土壤动物的分布受到人类活动影响较大的地区(土壤污染、火烧等),特别是表层污染(农药和重金属)严重的土壤,土壤动物甚至出现逆分布现象<sup>[24,29]</sup>,秦岭局部地区由于人类活动的干扰和破坏较大,生境条件相对恶化,植物群落和空间结构趋于简单化,不利于土壤动物的生存和繁衍,成为限制因素。因此保护好森林植被,尽量减少和控制人类活动对森林的破坏,这对保护生态环境和土壤动物资源是十分必要的。

### 参考文献:

- [1] WARDLE D A, WALKER L R, BARDGETT R D. Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences[J]. *Science*, 2004, 305(5683): 509-513.
- [2] 苏永春,勾影波,郁达,等. 江苏常熟虞山土壤动物群落多样性研究[J]. 生物多样性,2004,12(3):333-338.
- SU Y C, GOU Y B, YU D, et al. Diversity of soil invertebrate communities at Yushan Hill, Changshu, Jiangsu Province[J]. *Chinese Biodiversity*, 2004, 12 (3): 333-338. (in Chinese)
- [3] BARDGETT R D, WARDLE D A. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities[J]. *Ecology*, 2003, 84(9): 2258-2268.
- [4] BRADFORD M A, NEWINGTON J E. With the worms: soil biodiversity and ecosystem functioning[J]. *Biologist*, 2002, 49 (3): 127-130.
- [5] 郑作新. 秦岭鸟类志[M]. 北京:科学出版社,1973.
- [6] 郑永烈,姚建初,江廷安. 陕西省保护动物的种类及数量分布[J]. 野生动物,1982(3):26-28.
- [7] 杜俊平,廖超英,田联会,等. 太白山自然保护区土壤重金属含量及其分布特征研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(3):84-87.
- DU J P, LIAO CH Y, TIAN L H, et al. Distribution and contents of heavy metals in soils of Taibaishan Nature Reserve [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(3): 84-87. (in Chinese)
- [8] 刘淑明,徐青萍,刘海秀,等. 太白山自然保护区环境条件对真菌群落结构的影响[J]. 西北林学院学报,2006,21(6):66-69.
- LIU S M, XU Q P, LIU H X, et al. Effect of environment on fungi community structure in the natural reserve of Taibai Mountains[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21(6):66-69. (in Chinese)
- [9] 常庆瑞,雷梅,冯立孝,等. 秦岭北坡土壤发生特性与系统分类[J]. 土壤学报,2002,(2):227-235.
- CHANG Q R, LEI M, FENG L X, et al. Genetic characteristics and taxonomy of soils on the northern slope of the Qinling Mountain[J]. *Acta Pedologica Sinica*,2002,(2) :227-235. (in Chinese)
- [10] 王振中,张友梅,邢协加. 土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究[J]. 土壤学报, 2002,39(6):892-897.
- WANG Z Z, ZHANG Y M, XING X J. Effect of change in soil environment on community structure of soil animal[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002,39(6):892-897. (in Chinese)
- [11] 易兰,由文辉,宋永昌. 天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中的土壤动物群落[J]. 生态学报, 2005,25(3):466-473.
- YI L, YOU W H, SONG Y C. Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (3): 466-473. (in Chinese)
- [12] 吴东辉,张柏,陈鹏. 吉林省中西部平原区土壤螨类群落结构特征[J]. 动物学报,2005,51 (3):401-412.
- WU D H, ZHANG B, CHEN P. Characteristics of soil mite community structures in the mid-west plain, Jilin Province [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51 (3): 401-412. (in Chinese)
- [13] 廖崇惠,李健雄,杨悦屏. 海南尖风岭热带林土壤动物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. The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfengling Mountain, Hainan Island, China. composition and characteristics of community [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1866-1872. (in Chinese)
- [14] 杨效东,沙丽清. 西双版纳“龙山”片断热带雨林中小型土壤动物群落组成与多样性研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 261-265.
- YANG X D, SHA L Q. Species composition and diversity of soil mesofauna in the 'Holy Hills' fragmentary tropical rain forest of Xishuangbanna, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(2): 261-265. (in Chinese)
- [15] 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)
- [16] 杨效东,张建侯. 西双版纳人工群落林土壤动物的旱季群落结构[J]. 动物学研究 1997, 18(4): 403-409.
- YANG X D, ZHANG J H. Community structure of soil animals in man-made plant communities in dry seasons in Xishuangbanna [J]. *Zoological Research*, 1997, 18(4): 403-409. (in Chinese)
- [17] EDWARDS C A, BOHLEN P J. The effects of toxic chemicals on earthworms[J]. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 1992(125): 23-99.
- [18] 邓晓保,邹寿青,付先惠,等. 西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物个体数量的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 130-138.
- DENG X B, ZOU S Q, FU X H, et al. The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest, Yunnan, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 130-138. (in Chinese)
- [19] 马文明,陈智华,吴鹏飞. 我国土壤动物生态学研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(22): 9644-9645, 9698.
- MA W M, CHENG Z H, WU P F, et al. Research progress on soil animal ecology in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(22): 9644-9645, 9698. (in Chinese)
- [20] 吴奇,汪张懿. 土壤动物群落生态功能研究进展[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(13): 30-31.
- WU Q, WANG Z Y. Progress on research of ecological function of soil animal communities[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2009, 15(13): 30-31. (in Chinese)
- [21] HAYNES R J, DOMINY C S. Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2003, 95(2-3): 453-464.
- [22] HOU L P C, ZOU X M, HUANG Y, et al. Plant litter decomposition influenced by soil animals and disturbance in a subtropical rainforest of Taiwan[J]. *Pedobiologia*, 2007, 49(6): 539-547.
- [23] BARDGETT R D, COOK R. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands[J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10(3): 263-276.
- [24] BENGTSSON J. Disturbance and resilience in soil animal communities[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38: 119-125.
- [25] RYAN M. Is an enhanced soil biological community, relative to conventional neighbours, a consistent feature of alternative (organic and biodynamic) agricultural systems? [J]. *Biological Agriculture and Horticulture*, 1999, 17(2): 131-144.
- [26] SADAKA N, 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.
- [27] 章家恩,黄兆祥,唐国玲. 广州市几种林型土壤动物群落调查研究[J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(3): 47-51.
- ZHANG J E, HUANG Z X, TANG G L. Investigation of the composition of soil animal communities under forest vegetations in Guangzhou[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2005, 26(3): 47-51. (in Chinese)
- [28] HAIMI J, MÄTÄSNIEMI L. Soil decomposer animal community in heavy-metal contaminated coniferous forest with and without liming[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38(2): 131-136.