

# 重庆五里坡自然保护区地表无脊椎动物群落多样性\*

林英华<sup>1</sup>, 聂必红<sup>2</sup>, 郑士凤<sup>2</sup>, 何亨晔<sup>2</sup>, 肖文发<sup>1</sup>

(1 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091;

2 重庆市巫山县林业局, 重庆 巫山 404700)

**摘要:** 2006年5月至6月间,在设立的固定样带内,采用手拣法和陷阱法对9种植被类型,即马尾松纯林、常绿阔叶林、针阔混交林、农田、竹林、阔叶混交林、冷杉纯林、亚高山草甸、落叶阔叶林地表无脊椎动物群落特征与多样性进行研究。在收集的267个陷阱和45个土样中,共采集土壤无脊椎动物12715只(其中未能进一步鉴定的标本234只),隶属3门11纲28目3亚目117科,优势类群为蚊科、长角跳科、疣跳科,分别占所采集的无脊椎动物数量的22.70%、11.87%和11.43%。地表无脊椎动物功能群中的菌食性、杂食性、植食性和捕食性在各种植被类型中所占的比例较大。多样性分析表明:植被类F类群数最多且多样性最丰富,植被类型E内地表无脊椎动物分布最均匀。Kruskal Wallis检验表明:不同植被类型、不同陷阱中采集地表无脊椎动物个体数、类群数、多样性及均匀性差异显著( $X^2_{\text{个体数}} = 107.66$ ,  $X^2_{\text{类群数}} = 63.79$ ,  $X^2_{\text{多样性指数}} = 84.51$ ,  $X^2_{\text{均匀性指数}} = 94.45$ ,  $P < 0.05$ )。

**关键词:** 亚热带森林群落; 地表; 无脊椎动物; 多样性

中图分类号: Q959.1 文献标识码: A

## Diversity of Ground-dwelling Invertebrate at Wulipo Nature Reserve Area in Chongqing

LIN Ying-hua<sup>1</sup>, NIE Bi-hong<sup>2</sup>, ZHENG Shi-feng<sup>2</sup>, HE Heng-ye<sup>2</sup>, XIAO Wen-fa<sup>1</sup>

(1 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2 Wushan County Bureau of Forestry, Chongqing Wushan 404700, Chongqing China)

**Abstract** Aiming at studying the ground dwelling invertebrate characteristics and its diversity, the authors investigated ground dwelling invertebrate in fixed transect by pitfall traps and hand sorting methods at 9 types of vegetation, i.e. masson pine pure forest, evergreen broadleaf forest, mixed conifer and broad forest, cropland, bamboo forest, mixed broadleaf forest, fir pure forest, submountain meadow, hardwood and broad forest at Wulipo Nature Reserve Area in Wushan, Chongqing from May to June 2006. 12715 individuals (234 being not further identified) was collected from 267 pitfalls and 45 soil samples (0-5 cm), belonged to 3 Phyla, 11 classes, 28 orders, 3 suborders and 117 families, 3 dominant groups (Formicidae, Entomobryidae and Neanuridae). Most guilds were Fungivorous, Omnivores, Phytophage and Predators. The diversity analysis indicated that there were the most group and most diversity at mixed broadleaf forest, the most evenness at vegetation mixed conifer and broad forest. The result by Non-parameter Kruskal Wallis test showed that the individual, group, index of diversity and evenness was significant ( $X^2_{\text{个体数}} = 107.66$ ,  $X^2_{\text{类群数}} = 63.79$ ,  $X^2_{\text{多样性指数}} = 84.51$ ,  $X^2_{\text{均匀性指数}} = 94.45$ ,  $P < 0.05$ ).

收稿日期: 2007-05-16

基金项目: 重庆五里坡自然保护区土壤动物群落研究 (2006BAD03A07)

作者简介: 林英华 (1966-), 女, 黑龙江绥化人, 博士, 副研究员, 主要从事动物生态学与土壤环境研究。

\* 野外工作得到了巫山林业局及五里坡自然保护区的大力支持, [杨秀元]、张培毅、李枢强、张峰等先生协助鉴定标本, 在此一并致谢!

$= 63.79, X_{diversity}^2 = 84.51, X_{evenness}^2 = 94.45, P < 0.05$ ) among different vegetations and different pitfall traps

**Key words** subtropical forest community; ground-dwelling invertebrate diversity

地表无脊椎动物群落多样性与环境生物因子和非生物因子有关,人为干扰和自然干扰影响地表无脊椎动物的分布格局<sup>[1]</sup>。作为自然生态系统捕食者(或初级消费者)和被捕食者的无脊椎动物在物质循环和能量流动过程中扮演十分重要的角色,其种群或群落的明显改变在很大程度上可以影响到食物网的组成,直接或间接地影响其他较低和较高生物类群的分布和丰度<sup>[2]</sup>。

位于长江三峡库区腹心地带的重庆五里坡自然保护区,其独特的地理位置和气候特征,形成了保护区内特有的生态环境和丰富的森林植被类型。研究表明,地表无脊椎动物在促进和保护植物群落的次生演替和当地植物物种多样性方面发挥着重要作用,并极大地影响植被的群落结构<sup>[3]</sup>,其在生态系统中的生态功能性作用已引起学者们的广泛关注<sup>[4-5]</sup>。近年来,学者们对该区域耕地保有量<sup>[6]</sup>、土地利用<sup>[7]</sup>、景观格局<sup>[8]</sup>以及土地利用/覆盖<sup>[9]</sup>进行研究,地表无脊椎动物相关研究未见报道。本文通

过对保护区内 9 种不同植被类型中地表无脊椎动物群落调查,目的在于了解保护区不同植被类型中地表无脊椎动物群落特征,探讨地表无脊椎动物群落多样性变化与生态环境因子间的关系。

## 1 自然概况

重庆五里坡自然保护区位于重庆巫山县东北部,渝、鄂两省市交界处,109°47′~110°10′E,31°15′~31°29′N。气候属亚热带湿润区,春秋相连,常年无夏,冬季漫长。年降水量 1 400 mm,年均相对湿度 85%,年均干燥度 1.0。土壤类型主要是山地黄壤、山地棕黄壤和山地棕壤。

植被类型属亚热带常绿阔叶林,垂直分布明显。按其垂直分布选取马尾松纯林(A)、常绿阔叶林(B)、针阔混交林(C)、农田(D)、竹林(E)、阔叶混交林(F)、冷杉纯林(G)、亚高山草甸(H)、落叶阔叶林(I)等 9 种植被类型进行调查,其自然状况见表 1。

表 1 研究地点基本情况

项目	植被类型									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
海拔 /m	670	770	980	1 800	1 830	1430	2 450	2 070	2 130	
地形	坡度 / (°)	28	36	30	18	27	28	15	5	25
	坡向	西北	东南	东南	正南	东南	西南	东北	全坡向	西北
土壤	土壤类型	黄壤	黄壤	黄壤	山地黄壤	山地黄壤	山地黄壤	黄棕壤	山地黄壤	山地黄壤
	土壤层 /cm	30	20	30	30	40	35	60	20	40
	土壤有机质 / (g·kg <sup>-1</sup> )	74.7	61.5	29.6	39.4	142.4	91.2	95.0	106.4	82.7
植被	优势种	马尾松	麻栎 青冈栎	栎类 马尾松	蔬菜	巫溪箬竹 鄂西箬竹	红桦 栎类	冷杉	囊吾草丛 凤仙花草丛	红桦 杨树
	凋落物厚度 /mm	17	10	21	0	26	16	25	12	24
调查	陷阱数 /个	30	30	30	32	24	27	31	24	39
方法	手拣法样方 /个	5	5	5	5	5	5	5	5	5

注:马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.),麻栎(*Quercus acutissima* Camuth.),青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst),巫溪箬竹(*Indocalamus wuxiensis* Yi),鄂西箬竹(*Indocalamus wilsoni* (Reubel) C. S. Chao et C. D. Chu.),红桦(*Betula albosinensis* Burk.),冷杉(*Abies* spp.),囊吾草丛(*Fragaria* spp.),凤仙花草丛(*Impatiens* spp.),杨树(*Populus* spp.)。

## 2 研究方法

因条件的限制,2006年 5月至 6月间,采用陷阱法和手拣法采集地表无脊椎动物<sup>[10]</sup>,即在 9种植被类型内各设定一固定样带,在固定样带内沿折线每隔 10 m 左右平行布设两列陷阱(内置 20% 左右的稀酒精液体)。陷阱数量依据样地面积而定,一般为 25~40 个。按照实际采集到陷阱数量统计地表无脊椎动

物数量,同时在每种生境中任选 5 个 20 cm × 20 cm 样方,采用手拣法分离 0~5 cm 土壤层的无脊椎动物。地表无脊椎动物除蛛螨类均鉴定到科水平<sup>[11]</sup>。

各类群数量等级划分:个体数量占全部捕获量的 10% 以上为优势类群,介于 1%~10% 之间的为常见类群,介于 0.1%~1% 为稀有类群,0.1% 以下的为极稀有类群。

群落多样性指数采用香农-威纳多样性指数

(Shannon-W einer index)、Pielou 均匀性指数, 即:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i), Js = H' \ln(S)$$

式中:  $P_i$  为类群  $i$  占类群总个体数的比例,  $S$  为类群数。

群落相似性采用 Gower 系数 ( $W_{(j,r)}$ ), 即:

$$W_{(j,r)} = \left[ \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (|x_{ij} - x_{ik}| \setminus R_i) \right]$$

式中:  $x_{ij}, x_{ik}$  分别为群落  $j, k$  类群中  $i$  的个体数,  $R_i$  为所有类群中类群  $i$  的最大个体与最小个体数的差,  $p$  为所有群落的总类群数。

非参数 Kruskal-Wallis 检验及其多重比较分析地表无脊椎动物个体数量、类群丰富度、类群多样性以及类群均匀性之间的差异。所有运算通过 SAS (11.0) 软件进行<sup>[12]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 地表无脊椎动物群落组成

调查共收集到 267 个陷阱、45 个土样, 采集土壤无脊椎动物 12 715 只 (其中未能进一步鉴定的标本 234 只), 隶属 3 门 11 纲 28 目 3 亚目 117 科, 优势类群及所占采集类群的比例分别为: 蚁科 22.70%, 长角跳科 11.87% 和疣跳科 11.43%。常见类群及所占采集类群的比例分别为: 隐翅虫科 9.98%, 棘跳科 5.54%, 狼蛛科 5.18%, 圆跳科 5.10%, 隐气亚目 3.94%, 长奇盲蛛科 3.82%, 等节跳科 2.15%, 鳞跳科 1.94%, 前气亚目 1.65%, 步甲科 1.52%, 中气亚目 1.43%, 缨甲科 1.15% (表 2)。

表 2 五里坡地表无脊椎动物群落结构

序号	名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	频度 %	多度	功能群
1	钜蚓科 Megascolecidae	6	1	3			4				0.11		S
2	巴蜗牛科 Bradybaenidae		1			4	3				0.06		Ph
3	瓦娄蜗牛科 Valloniidae		1								0.01		Ph
4	嗜粘蛞蝓科 Philomycidae	3			1	1	2			1	0.06		Ph
5	蛞蝓科 Limacidae						3				0.02		Ph
6	环口螺科 Cyclophoridae		1								0.01		Ph
7	暗蛛科 Amaurobiidae	1				1			2	3	0.06		Pr
8	螯蟯科 Centetidae	4		2							0.05		Pr
9	地蛛科 Atypidae		1								0.01		Pr
10	光盔蛛科 Lio cranidae	4		1			9			3	0.14		Pr
11	卷叶蛛科 Dictynidae			1						4	0.04		Pr
12	巨蟹蛛科 Heteropodae		3								0.02		Pr
13	狼蛛科 Lycosidae	64	1	88	10		31	329	120	3	5.18	*	Pr
14	卵形蛛科 Oonopidae	1									0.01		Pr
15	六纺蛛科 Hexathelidae	1			1						0.02		Pr
16	皿蛛科 Linyphiidae	10	3	10	2	4	2	14	39	16	0.80		Pr
17	拟平腹科 Zodariidae	12	2	1			3			5	0.18		Pr
18	平腹蛛科 Gnaphosidae	7		9		1	2	21		4	0.35		Pr
19	跳蛛科 Salticidae		2	3	1						0.05		Pr
20	肖蛸科 Tetragnathidae									3	0.02		Pr
21	蟹蛛科 Thomisidae	8	5	5	1	1	4		1	2	0.22		Pr
22	圆蛛科 Araneidae			1	2			2	7	2	0.11		Pr
23	栅蛛科 Hahniidae			3	1		2	1			0.06		Pr
24	球蛛科 Therididae			1		1					0.02		Pr
25	木伪蟹科 Neobisiidae						1				0.01		Pr
26	鼓肢盲蛛科 Sabaconidae									1	0.01		Pr
27	长奇盲蛛科 Phalangidae	7	22	11	10	36	30	8	32	321	3.82	*	S
28	前气亚目 Prostigmata	71	16	33	4	30	21	4	6	21	1.65	*	O
29	隐气亚目 Cryptostigmata	68	103	85	5	36	27	66	47	55	3.94	*	O
30	中气亚目 Mesostigmata	44	33	35	3	6	18	5	17	18	1.43	*	O
31	卷甲虫科 Armadillidae		1								0.01		O
32	鼠妇科 Procellionidae		2				1				0.02		O
33	海螵蛸科 Ligidae				2	38	3		3	5	0.41		O
34	带马陆科 Polydeanidea	1	3	1	1	1	2		1	1	0.09		Ph
35	山蛩科 Spirobolidae		7			2	4				0.10		S
36	地蜈蚣科 Geophilidae		2				1				0.02		Pr

续表 2

序号	名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	频度 %	多度	功能群
37	石蜈蚣科 Lithobiidae	1	1			1	2		2	4	0.09		Pr
38	蜈蚣科 Scolopendriidae	2		1						1	0.03		Pr
39	么蚰科 Scutigrellidae								1		0.01		?
40	鳞跳科 Tomoceridae	12	31	12		22	97	16	5	47	1.94	*	O
41	长角跳科 Entomobryidae	436	86	218	3	83	356	68	114	118	11.87	**	O
42	长角长跳科 Orchesellidae		1								0.01		O
43	等节跳科 Isotomidae		48	30	20	15	16	13	51	75	2.15	*	O
44	棘跳科 Onychiuridae	18	21	13	3	2	11	21	99	504	5.54	*	O
45	跳虫科 Poduridae	1	2	1			7			2	0.10		O
46	球角跳科 Hypogastridae	3		1			3	1		16	0.19		O
47	疣跳科 Neanuridae	2	195		88	30	76	10	218	807	11.43	**	O
48	圆跳科 Sminthuridae	20	97	77	104	86	50	93	38	71	5.10	*	O
49	铁叭科 Japygidae								1		0.01		O
50	蛭科 Perlidae(幼)	2		1						1	0.03		O
51	蜚蠊科 Blattidae		5	7							0.10		O
52	白蚁科 Termitidae(残)						1				0.01		O
53	班腿蝗科 Catantopidae	34		11	7		36				0.71		Ph
54	蚱科 Tetrigidae			20	7	3		7	3		0.32		Ph
55	蛉蟋科 Trigonidiidae				7						0.06		Ph
56	网翅蝗科 Acrypteridae			1							0.01		Ph
57	蟋蟀科 Gryllidae		2		7						0.07		Ph
58	驼螽科 Rhaphidophoridae		10	7	5	11	3		4	10	0.40		Ph
59	螞蟓科 Eumastacidae							7			0.06		Ph
60	锥头蝗科 Pygmocephalidae				1						0.01		Ph
61	螳螂科 Labiduridae	3		1	12	2	5	2			0.20		O
62	管蓟马科 Phlaeothripidae	14	3	22	1		7	8		6	0.49		Ph
63	叶蝉科 Cicadellidae(若虫)	20	2	21	3						0.37		Ph
64	蝉科 Cicadidae(若虫)	28	1	6	4	1	7	1	1	1	0.40		Ph
65	蚜科 Aphididae(若虫)						2				0.02		Ph
66	扁蝽科 Aradidae						2				0.02		F
67	长蝽科 Lygaeidae					2	5				0.06		Ph/Pr
68	蝽科 Pentatomidae(残)	4	1	5	1	1					0.10		Ph/Pr
69	红蝽科 Pymnecoridae		1			1	1				0.02		Ph
70	姬蝽科 Nabidae					1					0.01		Pr
71	膜蝽科 Hebridae						1				0.01		Ph
72	奇蝽科 Enicocephalidae			2			3	2			0.06		Pr
73	扁甲科 Cucujidae	1	1			4	7			3	0.13		Pr/S
74	步甲科 Carabidae	5	28	16	4	11	23	37	20	46	1.52	*	Pr
75	长角象甲科 Anthribidae							1			0.01		Ph
76	长朽木甲科 Melandryidae					2					0.02		S
77	齿小蠹科 Ipidae						5				0.04		Ph
78	出尾蠹甲科 Scaphidiidae	1		13	3	15	1	3	4	6	0.37		F
79	大花蚤科 Rhipiphoridae	1				1					0.02		Pr
80	大蕈甲科 Erotylidae						1	1			0.02		F
81	粪金龟科 Geotrupidae									1	0.01		Co
82	虎甲科 Cicindelidae			1	2	1	4	2			0.08		Pr
83	花萤科 Cantharidae						1				0.01		Pr
84	金龟甲科 Scarabaeidae					2	2	1	1	1	0.06		Ph
85	叩头甲科 Elateridae	1	2		10	2	1	4			0.16		Ph
86	露尾甲科 Nitidulidae				1	2	1		1		0.04		S
87	埋葬甲科 Silphidae		1		2	1	1	2	1	5	0.10		Ca
88	毛蕈甲科 Biphyllidae						3	1	2		0.05		F
89	拟步甲科 Tenebrionidae	5	2	3	5	3	2		7		0.22		Ph
90	盘甲科 Discolmidae					2					0.02		F
91	苔甲科 Seydmænidae								5	28	0.26		Pr
92	天牛科 Cerambycidae						1				0.01		Ph

续表 2

序号	名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	频度 /%	多度	功能群
93	跳甲科 Halticidae						5	4	1	10	0.16		Ph
94	锹甲科 Lucanidae		1								0.01		Ph
95	丸甲科 Byrrhidae						4	1	3		0.06		Ph
96	伪瓢甲科 Endomychidae			1	1					1	0.02		Pr
97	象甲科 Curculionidae	1	2	10		2	29			4	0.38		Ph
98	小蘗甲科 Mycetophagidae					2	3		1		0.05		F
99	蕲甲科 Lathridiidae	2				1				1	0.03		F
100	朽木甲科 Alleculidae									5	0.04		D
101	阎甲科 Histeridae			2			3				0.04		Pr
102	叶甲科 Chrysomelidae				12	5	4	4	1		0.21		Ph
103	蚁甲科 Pselaphidae	3	3		15	8	3	3	3	11	0.39		Ph
104	隐翅虫科 Staphylinidae	34	55		197	142	167	88	317	246	9.98	*	S
105	隐食甲科 Cryptophagidae					19	1		1	2	0.18		F
106	纓甲科 Ptiliidae	13	24	34	3	10	10		37	12	1.15	*	S
107	食虫虻科 Asilidae(幼)					6					0.05		Pr
108	蚊科 Culicidae(幼)						1				0.01		S
109	蝇科 Muscidae(幼)						3			1	0.03		O
110	瘦蚊科 Cecidomyiidae(幼)					1					0.01		O
111	蝙蝠蛾科 Hepialidae(幼)								1		0.01		Ph
112	刺蛾科 Eucleidae(幼)					1	1			1	0.02		Ph
113	袋蛾科 Psychidae(幼)									1	0.01		Ph
114	枯叶蛾科 Lasiocampidae(幼)									1	0.09		Ph
115	弄蝶科 Hesperidae(幼)	1									0.01		Ph
116	夜蛾科 Noctuidae(幼)		1								0.01		Ph
117	舟蛾科 Notodontidae(幼)	4					1			1	0.05		Ph
118	尺蛾科 Geometridae(幼)					1		2			0.02		Ph
119	叶蜂科 Tenthredinidae(幼)						7				0.06		Ph
120	蚁科 Formicidae	896	224	1233	87	89	200		18	86	22.70	**	O
(总计)	个体数	1880	1064	2063	659	758	1362	855	1236	2604			
	类群数	47	49	47	43	54	72	37	41	54			

注: Ph-Phytophage植食性, D-Debris-feeder 枯食性, Ca-Cadavericoles尸食性, Co-Coprophages粪食性, F-Fungivorous 菌食性, Pr-Predators捕食性, S-Saprophytic腐食性, O-Omnivores杂食性。\*: 常见类群, \*\*: 优势类群。

不同植被类型地表无脊椎动物功能群组成不同, 除虫蚰科功能群尚未确定外, 其功能群共有 8 种, 即尸食性、粪食性、枯食性、菌食性、杂食性、植食性、捕食性、腐食性, 分别占功能群的 0.80%、0.80%、0.80%、6.40%、18.40%、35.20%、28.80% 和 8.00%, 可见菌食性、杂食性、植食性和捕食性所占的比例较大。

### 3.2 地表无脊椎动物多样性与相似性

多样性分析表明: 植被类型 C 采集到个体最多、植被类型 F 类群数最多且多样性指数最高, 植被类型

E 均匀性指数最大, 说明植被类型 C 平均每个陷阱采集地表无脊椎动物个体数最多, 但植被类型 F 类群数最多且多样性最丰富, 植被类型 E 内地表无脊椎动物分布最均匀。Kruskal-Wallis 检验表明, 不同植被类型、不同陷阱中采集地表无脊椎动物个体数、类群数、多样性及均匀性差异显著 ( $X^2_{\text{个体数}} = 107.66$ ,  $X^2_{\text{类群数}} = 63.79$ ,  $X^2_{\text{多样性指数}} = 84.51$ ,  $X^2_{\text{均匀性指数}} = 94.45$ ,  $P < 0.05$ ), 其差异显著性如表 3。

表 3 不同植被类型土壤无脊椎动物个体数量、类群丰富度、类群多样性与均匀性

植被	类群	数量	多样性	均匀性
A	12.2 ± 3.0 fg	62.8 ± 27.7 cdeg	1.6445 ± 0.3491 cefhi	0.6655 ± 0.1223 cdeghi
B	11.6 ± 3.1 cdg	35.8 ± 29.7 cdegh	2.0697 ± 0.3867 cefhi	0.8584 ± 0.1257 cdeghi
C	13.4 ± 2.8 dfg	69.9 ± 28.9 dfhi	1.6199 ± 0.4573 dfg	0.6275 ± 0.1670 fhi
D	7.8 ± 3.0 ehi	21.1 ± 10.6 ehi	1.6914 ± 0.4287 ehi	0.8511 ± 0.1194 fghi
E	13.2 ± 3.5 fg	32.6 ± 11.4 fhli	2.2292 ± 0.3043 ghi	0.8771 ± 0.0597 fhi
F	17.1 ± 4.1 ghi	51.8 ± 19.9 g	2.3086 ± 0.2529 ghi	0.8241 ± 0.0663
G	9.5 ± 3.7 hi	28.5 ± 17.8 hi	1.7819 ± 0.3586 i	0.8212 ± 0.1267 i
H	12.5 ± 4.1	54.6 ± 31.3	1.8825 ± 0.4557	0.7692 ± 0.1708
I	13.1 ± 3.7	67.4 ± 43.6	1.9454 ± 0.3729	0.7701 ± 0.1189

注: 多重比较,  $\alpha = 0.05$  数据后字母不同表示差异性显著。

Gower系数分析表明: 植被类型 F 与植被类型 A、B、C、H 之间 Gower 系数最高, 而植被类型 H 与 G 之间 Gower 系数最低, 表明植被类型 H 与 G 之间地

表无脊椎动物群落组成相似性较高, 而植被类型 F 与 A、B、C、H 之间地表无脊椎动物群落组成相似性较低, 如表 4

表 4 地表无脊椎动物群落相似性

	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0.240 2	0.347 1	0.289 3	0.345 6	0.442 6	0.304 1	0.296 0	0.362 2
B		0.287 4	0.251 1	0.321 6	0.432 1	0.249 7	0.265 7	0.336 3
C			0.287 7	0.311 3	0.411 4	0.280 5	0.278 1	0.367 4
D				0.262 0	0.382 7	0.265 4	0.264 5	0.340 8
E					0.382 7	0.265 4	0.264 5	0.340 8
F						0.366 6	0.383 7	0.462 5
G							0.198 2	0.306 0
H								0.274 1

### 3.3 地表无脊椎动物垂直分布

地表无脊椎动物平均瓶个体数在海拔 980~1800 m 之间呈下降趋势, 海拔 1800~2130 m 之间呈上升趋势; 类群数则海拔 670~1430 m 之间呈上

升趋势 (图 1); 地表无脊椎动物多样性在海拔 1830~2450 m 之间呈下降趋势; 均匀性在海拔 980~1830 m 之间呈现上升趋势, 海拔 1830~2130 m 之间呈现下降趋势 (图 2)。

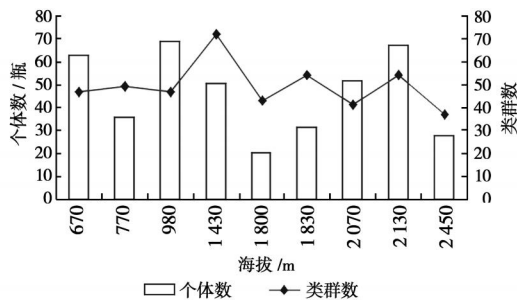


图 1 地表无脊椎动物随海拔高度变化

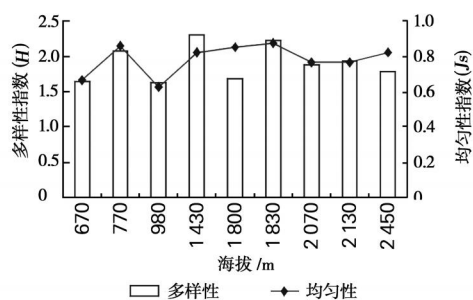


图 2 地表无脊椎动物多样性与均匀性随海拔高度变化

## 4 讨论

在一定的时空范围内, 地域景观的复杂性、人为干扰程度以及调查和采集方法等对地表无脊椎动物群落影响很大。

从本次调查来看, 地域景观的复杂性对地表无脊椎动物群落的影响较大。五里坡自然保护区为典型的中深切中山地形, 海拔高差较大, 植被和土壤等自然要素垂直分化较明显, 地表无脊椎动物群落高海拔地区垂直分布现象显著, 但在海拔 1800 m 及以下地区的农田及其外围的温、暖性针叶林, 由于受人为干扰或而形成的群落, 属于次生演替系列的过渡类型, 因而群落内部变化不同于分布于高海拔地区的落叶阔叶林以及常绿、落叶阔叶林, 同时由于凋落物层中针叶成分不易分解, 影响了土壤的温度和腐殖质的形成, 土壤养分含量低, 集中在地表无脊椎动物个体数相对丰富。位于最高海拔冷杉纯林属于寒温性针叶林, 呈零星岛屿状分布, 群落结构简

单, 昼夜温差较大, 其凋落物腐解速度慢, 虽地表有机质含量较高, 仍对土壤动物分布产生一定的影响。从坡向来看, 南坡采集到地表无脊椎动物类群数高于北坡, 个体数少于北坡, 这与属于变温动物的地表无脊椎动物对抗低温的能力要远远高于抗高温的能力是否有关, 还有待于进一步研究。

环境因子直接或间接影响土壤动物群落组成。9 块样地的海拔、坡度、坡向、土壤类型、土壤层、土壤有机质含量见表 1, 土壤类型包括黄壤、山地黄壤和黄棕壤 3 类, 除冷杉纯林土壤为黄棕壤外, 其他 8 种自然植被的土壤类型均为山地黄壤和黄壤。相关分析显示, 地表无脊椎动物个体数量与类群数与海拔、坡度、土壤层、土壤有机质含量均不存在显著的相关性, 反映出土壤中的无脊椎动物和地表无脊椎动物与所测定的环境因子之间的相互关系与以往研究存在着一定的差异<sup>[13]</sup>。

森林凋落物是土壤有机质的重要来源, 也是地表无脊椎动物营养的重要组成部分。地表凋落物的

厚度和土壤肥沃度的差异与植被及其发展过程有密切关系。本调查结果显示,凋落物的厚度与地表无脊椎动物个体数量关系存在一定的关系,但二者的相关性并不显著 ( $t^2 = 1.0613$ ,  $P > 0.05$ ),这与作者<sup>[13]</sup>对鼎湖山凋落层土壤动物的研究相一致,表明地表无脊椎动物固然通过消化和粉碎落叶并刺激微生物参与落叶的分解<sup>[14]</sup>,但环境因子,尤其是环境中的温、湿度影响对地表分解过程的影响以及环境中的温、湿度对地表无脊椎动物分布格局和生态功能的影响应进行综合分析,并确定彼此之间的相互关系,以便于能更进一步解释两者之间相互关系。

从地表无脊椎动物类群多样性方面而言,地表无脊椎动物的个体数、类群数、多样性指数以及均匀性指数与植被类型存在着一定的联系,植被类型 C 虽个体数最多,但多样性指数和均匀性最低,反映出某些优势个体数量较多而降低了其多样性与均匀性。Gower 系数是群落相似性分析中较常用的分析方法,是衡量两个实体(属性)间相异性的指标,反映群落之间差异程度,数值越小,表明两个群落之间的相似程度越大。采用该指标对不同植被类型中无脊椎动物群落的相似性进行分析,是为了便于更好地反映出群落之间的相互关系。从分析中可以看出,由于不同植被类型之间地表无脊椎动物共有类群较少,许多共有类群相应个体相差比较大,因此 Gower 系数均较低,其中冷杉纯林与亚高山草甸之间的 Gower 系数最低,地表无脊椎动物群落组成最相似,而阔叶混交林与马尾松纯林、常绿阔叶林、针阔混交林、亚高山草甸之间 Gower 系数较高,其地表无脊椎动物群落组成相似性较低,表明不同植被类型中,地表无脊椎动物群落的组成具有很高的异质性,反映出不同植被类型对土壤生态系统进而对地表无脊椎动物群落的影响。

受研究地点条件限制,研究采用了陷阱法和手拣法。陷阱法适于研究对比相似栖息生境的土壤动物一种方法<sup>[15]</sup>,但受土壤动物特别是中型地表无脊椎动物具有种类多、分布广、活动范围小、迁移能力弱、对环境变化敏感等特征的影响,所采集到的地表无脊椎动物与其丰度和活动范围以及活动密度相关。就本次调查来看,由于陷阱的数量与采集到地表无脊椎动物个体总数呈显著的正相关 ( $t^2 = 1.8250$ ,  $P <$

$0.05$ ),而竹林、亚高山草甸受外界因素的影响采集到陷阱的数量低于其他植被类型,所获得地表无脊椎动物个体总数可能偏低,这是否对本研究中地表无脊椎动物多样性产生影响,有待于今后进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Wemer S M, Raffa K E. Effects of forest management practices on the diversity of ground occurring beetles in mixed northern hardwood forests of the Great Lakes Region [J]. *Forest Ecology and Management* 2000 139: 135–155
- [2] 张贞华,沈海铭,邵玲珑. 西天目山南坡土壤动物及其对环境的影响 [J]. *杭州大学学报*, 1986 13(增): 54–63
- [3] Deyn G B de, Raaijmakers C E, Zoomer H R, et al. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity [J]. *Nature* 2003 422(17): 711–713
- [4] Jouquet P, Dauber J, Lagerlöf J, et al. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops [J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 32: 153–164
- [5] 童春富,陆健健. 草坪无脊椎动物群落物种多样性及功能群研究 [J]. *生物多样性*, 2001, 10(2): 149–155
- [6] 谭勇,廖和平,牛乐德,等. 耕地保有量研究——以重庆市巫山县为例 [J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(15): 3771–3773
- [7] 明泓,廖和平,彭征,等. 重庆市巫山县土地利用功能分区研究 [J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(20): 5342–5343, 5375
- [8] 邵怀勇,仙巍,周万村. 基于 3S 技术的三峡库区不同高程带景观格局研究——以巫山县为例 [J]. *水土保持通报*, 2005, 25(3): 54–57
- [9] 马泽忠,周爱霞,江晓波,等. 高程与坡度对巫山县土地利用覆盖动态变化的影响 [J]. *水土保持学报*, 2003, 17(2): 107–109, 183
- [10] 《土壤动物研究方法手册》编写组. *土壤动物研究方法手册* [M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 24–34
- [11] 尹文英. *中国土壤动物检索图检* [M]. 北京: 科学出版社, 1998
- [12] 张文彤. *SPSS 应用系列丛书 (2) 世界优秀统计工具 SPSS11 统计分析教程 (高级篇)* [M]. 北京: 希望出版社, 2002
- [13] 林英华,张夫道,张俊清,等. 鼎湖山不同自然植被土壤动物群落结构时空变化初探 [J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2616–2622
- [14] Marañón M, Scheu S. Changes in microbial biomass, respiration and nutrient status of beech (*Fagus sylvatica*) leaf litter processed by millipedes (*Glaris marginata*) [J]. *Oecologia*, 1996, 107: 131–140
- [15] Clough Y, Kneess A, Tschamke T. Organic versus conventional arable farming systems: Functional grouping helps understand staphylinid response [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2007, 118: 285–290