

北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构

傅必谦, 陈 卫, 董晓晖, 邢忠民, 高 武

(首都师范大学生物系, 北京 100037)

摘要:对北京松山 4 种生态系统中大型土壤动物群落的组成、垂直结构、多样性及相似性进行了比较研究。全部调查共获大型土壤动物 4 门 8 纲 23 目 65 科,其中以蚊科、隐翅甲科、地蜈蚣科、长头地蜈蚣科、石蜈蚣科和正蚓科最为重要。4 个土壤动物群落中,类群数和个体数的变化趋势均为:山顶草甸群落(D)> 落叶阔叶林群落(C)> 人工油松林群落(A)> 天然油松林群落(B),这一数量差异突出表现在群落 D 中各个土层的高丰富性以及群落 B 表层的贫乏和Ⅱ层土壤动物的急剧减少。不同群落中狭布类群的多寡也存在明显差异,群落 B 远较其他群落为少。4 个群落的 Shannon-Weiner 多样性指数(H')的相对大小为:群落 C > 群落 D > 群落 B > 群落 A,与群落均匀度的变化显著相关($p < 0.05$)而与丰富度关系不密切。Jaccard 系数、Gower 系数和 Pianka α 指数的分析结果表明,4 个群落的组成具有很高的异质性;其中群落 A 与群落 B 的相似性最高,群落 A 与群落 D 的相似性最低。进一步比较了包括松山在内的国内不同温度带 11 个山地林区大型土壤动物群落的组成特征,对大型土壤动物群落组成的纬向变化趋势进行了初步分析。最后,在对土壤动物群落的特征以及 H' 指数和廖崇惠等的 DG 指数进行分析讨论的基础上,提出了一个新的群落复杂性指数 (C_j): $C_j = H'_j \times r_j = H'_j \times E_j \times r_j$ 。 C_j 指数能同时体现类群数、各类群在群落内的相对多度以及在群落间的相对丰度 3 个特征对于群落多样性的影响,对于土壤动物群落之间多样性的比较分析可能更为适用。

关键词:大型土壤动物群落;群落结构;群落复杂性指数;北京松山

The Composition and Structure of the Four Soil Macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing

FU Bi-Qian, CHEN Wei, DONG Xiao-Hui, XING Zhong-Min, GAO Wu (Department of Biology, Capital Normal University, Beijing 100037, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 215~223.

Abstract: Based upon the investigation of the four ecosystems of Songshan Mountain in Beijing, a comparative study was conducted on the composition, vertical structure, and community diversity of the soil macrofaunas. A new analytical method was proposed in comparing the community diversity of different soil faunas.

The explored four ecosystems were the artificial Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) forest, the natural Chinese pine forest, the deciduous broad-leaved forest and the mountain-top meadow. Two sampling sites of which each was with three soil layers (I: 0~5cm; II: 5~10cm; III: 10~15cm) were established in each ecosystem. Soil animals were collected from these sites, and the content of organic matter, total nitrogen and pH values of the soil were also measured.

Abundant taxa of macro soil animals were found in these sites, which belong to 65 families, 23 orders, 8 classes and 4 phyla. Among these, Formicidae, Staphylinidae, Geophilidae, Mecistocephalidae, Lithobiidae and Lumbricidae were the dominant groups. They were not only abundant accounting for 20.62%, 11.56%, 7.13%, 6.74%, 6.74% and 5.20% of the total collected individual numbers respec-

基金项目:北京市科学技术委员会资助项目

收稿日期:2000-10-14;修订日期:2001-12-15

* 本项工作承蒙杨集昆先生、宋大祥先生、张崇洲先生等帮助鉴定部分标本,谨致谢意

作者简介:傅必谦,女,四川省南充市人,硕士,副教授。主要从事生态学教学以及脊椎动物生态学和土壤动物生态学的研究工作。

tively, but also were widespread existing in all the four ecosystems except the Lumbricidae, which was only found in three ecosystems.

Both group numbers and individual numbers in the four macrofaunas varied in the amount in the order of mountain-top meadow fauna (D), deciduous forest fauna (C), artificial Chinese pine forest fauna (A) and natural Chinese pine forest fauna (B). In every fauna, groups and individuals in layer I were much richer than those in layer II and layer III. However, the numbers of groups and individuals in different soil layers and the tendency of declination with the soil depth were obviously different. Of the faunas, fauna D was the richest of all three soil layers; while fauna B was the poorest in both layer I and layer II. And a remarkable decrease from layer I to layer II for fauna B was noted. Apart from that, the numbers of groups found only in one fauna were greatly different among the faunas. Two groups were found in fauna B, which was much less than those in the other faunas.

The community diversity of the faunas was analyzed with Shannon-Weiner diversity index (H'). As a result, H'_j for fauna A, B, C, D was 0.9282, 1.1335, 1.3139 and 1.2193. H'_{jmax} was 1.4472, 1.3802, 1.4914 and 1.5185. E_j was 0.6414, 0.8213, 0.8810 and 0.8030 respectively. The significant correlation was found between the values of H' and the evenness of groups ($p < 0.05$), but not between H' and the richness of groups in each fauna.

The composition similarities of the four faunas were measured with Jaccard coefficient, Gower coefficient and Pianka's α index. It was shown that the four faunas were obviously heterogeneous in composition and the values of their similarity coefficients were generally low. Furthermore, fauna A and fauna B were the most similar of the four faunas by whichever the coefficient or index.

Furthermore, the community compositions of forest macrofaunas at eleven areas (including Songshan Mountain) of different climatic zones in China were compared. All the five climatic zones in China were divided into two parts. One includes the mid-tropics and southern subtropics, and another includes the wide region from the mid-temperate zone to the mid-subtropics. In the former, Isoptera and Hymenoptera were the dominant groups, while Myriapoda and Hymenoptera were often the dominant or subdominant groups in the latter.

Apart from that, an analytical approach for comparing the diversity of different soil faunas was also discussed in this paper. As is well known, one of the significant characteristics of soil faunas is that soil faunas are usually composed of many different taxa, whose individual numbers are generally greatly different either within a fauna or among faunas. It usually makes the diversity of soil faunas significantly correlational to the evenness but not to the richness of groups. As a result, the H' value for a soil fauna with a simpler composition and lower individual numbers is often higher than that with a more complex composition and higher individual numbers. For these reasons, Liao and Chen (1997) proposed the DG index ($DG = (g/G) \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{imax} C)$) to compare the diversity of soil faunas. It was suggested in this paper that the H' index might be improved in order to present the influence of the group number, the relative abundance of groups within a fauna (intra-community relative abundance) and among faunas (inter-community relative abundance) upon the diversity of soil faunas.

The formula $C_j = H'_j \times r_j = H'_{jmax} \times E_j \times r_j$ was proposed for the community j , where C_j was defined as the complexity index; H'_j was the value of the Shannon-Weiner diversity index, H'_{jmax} was the maximum of H'_j , E_j was the value of the Pielou's evenness coefficient, and r_j was a correction coefficient. Furthermore, $r_j = A_j / \bar{A}$, with $A_j = (1/S_j) \sum_{i=1}^S (N_{ij} / N_i)$ and $\bar{A} = (1/n) \sum_{j=1}^n A_j$, where N_{ij} was the individual

number of group i in the community j , N_i was the total individual number of the group i in all communities investigated (i. e. $N_i = \sum_{j=1}^n N_{ij}$); S_j was the group number in community j , and S was the total group number in all communities. Thus A_j was the mean value of the inter-community relative abundance of all groups in community j , which could be called the individual abundance of community j ; \bar{A} was the mean individual abundance of all communities investigated. The correction coefficient r_j was presented as a ratio of the individual abundance of community j to the mean individual abundance of all communities ($r_j=A_j/\bar{A}$). It not only revealed the effect of inter-community relative abundance of groups on the complexity of community directly, but also made the value range of r_j close to those of H'_{jmax} and E_j .

Based on the formula proposed above, r_j for fauna A, B, C and D in Songshan Mountain was 1.0364, 0.7231, 1.0624 and 1.1780, correspondingly, C_j was 0.9620, 0.8196, 1.3959 and 1.4363. We believe that C_j index might be more suitable than H' index for comparing the complexity of community composition of soil faunas.

Key words: soil macrofauna; community structure; the complexity index of community (C_j); Songshan Mountain in Beijing

文章编号:1000-0933(2002)02-0215-09 中图分类号:Q958 文献标识码:A

凋落物的分解转化是陆地生态系统物质循环的重要环节,受多种因素的综合影响。其中,土壤动物占居重要地位。

20a 来,国内在南亚热带、中亚热带以及中温带进行了一系列土壤动物的研究^[1~4],但暖温带地区仅见有关北京小龙门和百花山的报道^[5,6],而且缺少不同生态系统土壤动物群落的比较研究。为此,于 1992 年 7 月对北京松山 4 种生态系统中的土壤动物群落进行了调查。现将大型土壤动物的分析结果报道如下。

1 研究地区与工作方法

1.1 自然概况

松山国家级自然保护区位于北京市西北部燕山山脉的军都山中,东经 115°38'30"~115°39'30",北纬 40°32'30"~40°33'00",海拔高度 627.6~2199.6m。气候属暖温带大陆性气候。本次工作集中在保护区管理处所在的塘子沟及其以上高海拔地区,对该区 4 种代表性生态系统进行了调查。

1.1.1 油松人工针叶林生态系统(A) 为松山落叶阔叶林遭砍伐后人工营造的主要森林类型,主要集中于海拔 1000m 以下、保护区管理处周围地区。主要建群种为油松(*Pinus tabulaeformis*),树龄多为 20~30 年;灌木层和草本层分别以绣线菊(*Spiraea* spp.)、榛(*Corylus* spp.)、胡枝子(*Lespedeza* spp.)和苔草(*Carex* spp.)等为主。样地设在海拔 800m 附近,属低温温暖气候带,土壤类型为山地褐土。

1.1.2 油松次生针叶林生态系统(B) 为松山最具特色的生态系统类型,多分布于海拔 1000~1500m,在塘子沟上部最为集中。乔木层几乎全为油松,平均胸径 30cm;林下植被稀疏,组成简单。样地设在海拔 1200m 附近,属中山下部温湿气候带,土壤类型为山地褐土。

1.1.3 蒙古栎次生阔叶林生态系统(C) 为松山典型且最占优势的生态系统类型,多分布于海拔 850~1650m。植被复杂茂密。建群种为蒙古栎(*Quercus mongolica*),主要伴生种如山杨(*Populus davidiana*)、白蜡(*Fraxinus* spp.)、五角枫(*Acer mono*)等。样地设在海拔 1500m 附近,属中山上部冷湿气候带,土壤类型为褐色森林土。

1.1.4 山顶草甸生态系统(D) 分布于海拔 1750m 以上的山顶地带。植被以苔草、菊科(Compositae)、毛茛科(Ranunculaceae)及禾本科(Gramineae)等草本植物为主。样地设在海拔 1800m 附近,属山顶高寒半湿润气候带,土壤类型为山地草甸土。

1.2 样品采集方法

在每个生态系统类型中分别设两个样地,分 3 个土壤层(I:0~5cm;II:5~10cm;III:10~15cm)进行

土壤动物调查。每样地每层取 50cm×50cm 土样一个(手拣法),5cm×4cm 土样两个(Tullgren 法)及 2.5cm×2cm 土样两个(Baermann 法)。共采土样 120 个。同时采集土壤样品测定有机质和全氮含量以及 pH 值。

1.3 数据分析

各类群数量等级的划分 个体数量大于全捕量 10.0%以上者为优势类群,占 5.0%~10.0%者为常见类群,占 1.0%~4.9%者为较常见类群,不足 1.0%者为稀有类群。

各类群的空间分布特征 同时见于 3~4 个群落者为广布类群,见于两个群落者为中布类群,仅见于 1 个群落者为狭布类群。

群落多样性 $H' = - \sum_{i=1}^S p_i \lg p_i, H'_{\max} = \lg S, E = H' / H'_{\max}$ 。其中, p_i 为类群 i 占群落总个体数的比例, S 为类群数。

群落相似性 Jaccard 系数 $q = c / (a + b - c)$, 其中 a, b 分别为群落 A 和群落 B 的类群数, c 为两群落的共有类群数;Gower 系数 $S_G = (1/n) \sum_{i=1}^n [1 - (|x_{ij} - x_{ik}| / R_i)]$, 其中 x_{ij}, x_{ik} 分别为群落 j 和群落 k 中类群 i 的个体数, R_i 为所有群落中类群 i 的最大个体数与最小个体数的差, n 为所有群落的总类群数;Pianka α

指数 $\alpha_{1,2} = (\sum_{i=1}^S p_{1i} p_{2i}) / \sqrt{\sum_{i=1}^S p_{1i}^2 \sum_{i=1}^S p_{2i}^2}$, 其中 p_{1i} 和 p_{2i} 分别为类群 i 在群落 1 和群落 2 总个体数中的比例, S 为两群落的总类群数。

2 结果与分析

2.1 松山大型土壤动物的组成及分布

全部调查共获大型土壤动物 519 只,分隶于 4 门 8 纲 23 目 65 科(极个别残缺标本仅鉴定到目),结果见表 1。

在全部大型土壤动物中,蚁科和隐翅甲科为优势类群,其个体数占全捕量的 32.18%;地蜈蚣科、长头地蜈蚣科、石蜈蚣科和正蚓科为常见类群,个体数占全捕量的 25.71%;较常见类群包括跳蛛科、蕈蚊科等 12 类,个体数占全捕量的 23.12%;其余 47 类为稀有类群,其类群数多达总类群数的 72.31%,但个体数仅占全捕量的 18.88%。

就空间分布特征看,优势类群和常见类群分布广泛,除正蚓科见于 3 种生态系统外,其余均见于 4 种生态系统。较常见类群的分布差异较大,但其中 50%分布于 3 种生态系统中。稀有类群不仅个体数量少,而且分布狭窄,几乎均仅限于 1~2 种生态系统。各类群空间分布的广狭与个体数量的多寡呈现出比较明显的一致性。

综合多度与分布两个方面的特征,可以认为 6 个优势和常见类群是松山大型土壤动物中最为重要的类群,在生态系统物质循环中发挥着重要作用。

2.2 不同土壤动物群落的特征

2.2.1 群落的组成和垂直结构 由表 1 可知,4 个土壤动物群落的类群数与个体数的变化趋势一致,均以群落 D 最为丰富,群落 C 次之,针叶林群落、尤其群落 B 最为贫乏。

类群和个体数的差异明显体现在各群落的垂直结构特征上。由表 2 可知,4 个群落均具明显的表聚性,但不同群落中各层土壤动物的丰富度及其随土层加深而递减的程度则有明显不同。其中,群落 D 在不同土层中均最丰富,垂直变化比较和缓;较深土层中大量土壤动物的存在,是造成该群落丰富的类群数和个体数的重要原因。相反,群落 B 中 I 层的个体数明显少于其他群落,且 II 层的类群数和个体数均急剧减少而

与 III 层相近。群落 A 和群落 C 的垂直变化相似,均介于群落 D 和群落 B 之间。

土壤动物群落的结构特征受生态系统植被类型和土壤特性等的深刻影响。群落 D 虽然位于海拔 1800 m 左右,气温较低,但生态系统中植被覆盖率高,凋落物厚,土层比较深厚肥沃,III 层的有机质和全氮含量均显著高于其他生态系统(表 3)。许多学者的研究结果均已表明,土壤动物的数量常常与土壤有机质的含量呈比较明显的正相关。相反,群落 B 所在生态系统植被简单,凋落物种类少,针叶分解缓慢,食物的多样

表 1 松山大型土壤动物的组成
Table 1 Composition of soil macrofaunas in Songshan Mountain

类群 Taxa	群落 A Fauna A		群落 B Fauna B		群落 C Fauna C		群落 D Fauna D		总计 Total	
	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)
茅线科 Dorylaimidae							6	3.39	6	1.16
耳螺科 Ellobiidae	1	0.81	1	1.09					2	0.39
巴蜗牛科 Bradybaenidae					1	0.79	1	0.56	2	0.39
线蚓科 Enchytraeidae	1	0.81							1	0.19
正蚓科 Lumbricidae			7	7.61	10	7.94	10	5.65	27	5.20
链胃蚓科 Moniligastridae					10	7.94			10	1.93
巨蚓科 Megascolecidae			3	3.26	1	0.79			4	0.77
大赤螨科 Anystidae					2	1.59			2	0.39
绒螨科 Trombididae							4	2.26	4	0.77
镰螯螨科 Tydeidae							2	1.13	2	0.39
隐颚螨科 Cryptognathidae			1	1.09			1	0.56	2	0.39
管巢蛛科 Clubionidae	1	0.81			2	1.59	3	1.13	6	1.16
跳蛛科 Salticidae	3	2.42	4	4.35	7	5.56	11	6.21	25	4.82
平腹蛛科 Gnaphosidae							4	2.26	4	0.77
科 Ctenizidae					2	1.59			2	0.39
逍遥蛛科 Philodromidae							1	0.56	1	0.19
蟹蛛科 Thomisidae							10	5.65	10	1.93
球蛛科 Theridiidae	1	0.81	1	1.09					2	0.39
漏斗蛛科 Agelenidae	4	3.23							4	0.77
姬马陆目 Julida			1	1.09			3	1.69	4	0.77
蛭带马陆科			2	2.17			1	0.56	3	0.58
Hirudisomatidae										
地蜈蚣科 Geophilidae	8	6.45	19	20.65	8	6.35	2	1.13	37	7.13
长头地蜈蚣科	4	3.23	7	7.61	12	9.52	12	6.78	35	6.74
Mecistocephalidae										
石蜈蚣科 Lithobiidae	6	4.84	7	7.61	7	5.56	15	8.47	35	6.74
地么蚣科 Geophillellidae	3	2.42	2	2.17					5	0.96
鳞跳科 Tomoceridae	2	1.61	1	1.09	7	5.56			10	1.93
菱蝗科 Tettigidae					1	0.79			1	0.19
蠼螋科 Labiduridae					1	0.79			1	0.19
蝽科 Pentatomidae			1	1.09					1	0.19
长蝽科 Lygaeidae	1	0.81	1	1.09			1	0.56	3	0.58
红蝽科 Pyrrhocoridae					8	6.35			8	1.54
网蝽科 Tingidae							1	0.56	1	0.19
花蝽科 Anthocoridae					1	0.79			1	0.19
蝉科 Cicadidae	1	0.81							1	0.19
叶蝉科 Cicadellidae					1	0.79	1	0.56	2	0.39
蚜科 Aphididae	1	0.81					1	0.56	2	0.39
绵蚜科 Pemphigidae							2	1.13	2	0.39
绵蚧科 Margarodidae			1	1.09					1	0.19
蛇蛉目 Raphidioidea	1	0.81							1	0.19
褐蛉科 Hemerobiidae	1	0.81							1	0.19
蜈蚣科 Pyralidae	1	0.81							1	0.19
枯叶蛾科 Lasiocampidae	1	0.81							1	0.19
灯蛾科 Arctiidae	1	0.81	1	1.09					2	0.39
步甲科 Carabidae					4	3.17	6	3.39	10	1.93
虎甲科 Cicindelidae					1	0.79			1	0.19
隐翅甲科 Staphylinidae	3	2.42	6	6.52	3	2.38	48	27.12	60	11.56
叩甲科 Elateridae	2	1.61			1	0.79			3	0.58
金龟甲科 Scarabaeidae					2	1.59			2	0.39
丽金龟科 Rutelidae							1	0.56	1	0.19
芫菁科 Meloidae			3	3.26	1	0.79			4	0.77
拟步甲科 Tenebrionidae	2	1.61			2	1.59			4	0.77
瓢甲科 Coccinellidae	4	3.23	1	1.09			2	1.13	7	1.35
朽木甲科 Alleculidae					1	0.79			1	0.19
象甲科 Curculionidae	1	0.81			1	0.79	5	2.82	7	1.35
叶蜂科 Tenthredinidae					1	0.79			1	0.19
隧蜂科 Halictidae							3	1.69	3	0.58
蚊科 Formicidae	65	52.42	18	19.57	12	9.52	12	6.78	107	20.62
大蚊科 Tipulidae	3	2.42	1	1.09	2	1.59			6	1.16
蕈蚊科 Mycetophilidae			2	2.17	12	9.52	1	0.56	15	2.89
虻科 Tabanidae	1	0.81							1	0.19

续表 1

类群 Taxa	群落 A Fauna A		群落 B Fauna B		群落 C Fauna C		群落 D Fauna D		总计 Total	
	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)	个体数 Individual	占总数 (%)
臭虻科 Coenonyidae							1	0.56	1	0.19
剑虻科 Therevidae					2	1.59	2	1.13	4	0.77
蚜蝇科 Syrphidae	1	0.81							1	0.19
花蝇科 Anthomyiidae			1	1.09			3	1.69	4	0.77
蝇科 Muscidae							1	0.56	1	0.19
总个体数 Total individual number	124		92		126		177		519	
总类群数 Total group number	28	24	31		33		65			

表 2 松山 4 个大型土壤动物群落的垂直结构						
Table 2 Vertical distribution in different soil layers of four macrofaunas in Songshan Mountain						
土壤动物群落 Soil fauna	类群数			个体数(只)		
	Number of groups			Number of individuals		
	I	Ⅱ	Ⅲ	I	Ⅱ	Ⅲ
A	23	10	5	85	26	13
B	23	7	6	67	13	12
C	25	11	7	90	23	13
D	28	17	11	96	51	30

时间较短、仍保留有较多的灌木和草本植物以及以前的土壤特性有关;群落 C 的高丰富度则与生态系统中植被复杂、凋落物丰富、土层较厚、土壤有机质和全氮含量高等有密切关系。

表 3 松山 4 个生态系统的土壤特性									
Table 3 Soil properties of four ecosystems in Songshan Mountain									
生态系统 Ecosystem	有机质含量(%)			全氮含量(%)			pH 值		
	Organic matter content (%)			Total N concentration (%)			pH value		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
A	13.92	7.00	3.98	0.46	0.21	0.12	7.10	6.80	6.90
B	7.73	6.66	4.72	0.25	0.20	0.17	6.80	5.85	5.60
C	13.20	10.58	4.44	0.45	0.36	0.14	6.72	6.90	6.52
D	10.72	8.02	8.31	0.44	0.33	0.27	6.72	6.60	6.55

2.2.2 群落组分的空间分布特征 4 个土壤动物群落中,广布类群的数目相同,均为 12 个;中布类群的数目比较接近,分别为 7~10 个;但狭布类群的多寡存在明显差异,群落 B 仅有 2 类,远较其他群落为少。一些研究工作^[3,7,8]已经表明,生境的异质性愈明显,土壤动物群落中狭布类群愈多。群落 B 组成的简单性集中体现在狭布类群的减少,这从一个侧面反映了演替后期油松林生态系统内部环境和结构的简单化趋势。针叶林群落中狭布类群少,也与上述学者的研究结果一致。

2.2.3 群落的多样性和均匀度 4 个群落中,群落 C 不仅组成丰富,而且各类群的数量最为均匀,因此多样性最高(表 4)。群落 D 虽然类群数和个体数最多,但因均匀度较低而使 H' 指数低于群落 C。两个油松林群落中,群落 B 组成简单,但均匀度较高,

性和可利用性的限制可能是造成该群落低丰富度的一个重要原因。此外,该生态系统主要分布于山脊和坡度较大的地区,易受降水冲刷,土层较薄,表土贫瘠,I 层的有机质和全氮含量明显低于其他 3 个生态系统;而且,针叶树长期影响的结果使 II 层的 pH 值明显降低,不利于许多土壤动物的生存。对于其他两个土壤动物群落,群落 A 的类群数及个体数均较群落 B 丰富,显然与人工油松林生态系统建立、发展

表 4 松山 4 个土壤动物群落的多样性和相似性 Table 4 Diversity and similarity of four macrofaunas in Songshan Mountain				
群落 Fauna	A	B	C	D
H'	0.9282	1.1335	1.3139	1.2193
H'_{max}	1.4472	1.3802	1.4914	1.5185
E	0.6414	0.8213	0.8810	0.8030
q				
A		0.3684	0.2553	0.2200
B			0.2791	0.3256
C				0.2800
S_G				
A		0.6281	0.4181	0.3202
B			0.5061	0.4762
C				0.4160
α				
A		0.7110	0.4782	0.2935
B			0.6915	0.4888
C				0.4349

H' 指数明显高于群落 A。不同群落多样性的变化与类群数关系不密切,而与均匀度的变化显著相关,相关系数 0.9545($p < 0.05$)。

2.3 不同土壤动物群落的相似性

分别依 Jaccard 系数、Gower 系数和 Pianka 的 α 指数计算了 4 个土壤动物群落彼此之间类群组成、各类群个体数量组成、以及各类群相对数量组成的相似性(表 4)。结果表明,4 个土壤动物群落的组成具有很高的异质性,相似性系数一般低或较低。不同土壤动物群落之间,两个油松林群落的相似性明显比其他群落高,反映了油松作为植物群落的建群种对于整个生态系统内部环境、进而对于土壤动物群落的深刻影响。就不同分析指标来看,群落 B 与群落 C 共有类群较少,许多共有类群的相应个体数相差较大,因此 Jaccard 系数和 Gower 系数很低;但其共有类群包括两个群落的全部优势和常见类群,且 3 个主要共有类群即地蜈蚣科、蚁科和长头地蜈蚣科在两个群落中均具很高的相对多度,因此 α 指数明显较高,仅稍次于两个油松林群落,达到 0.6915。相比之下,群落 B 与群落 D 由于优势类群不同,尤其地蜈蚣科和隐翅甲科在两个群落中的相对多度差异较大,使 α 指数(0.4888)明显低于群落 B 与群落 C。可以看出, α 指数的大小似乎一般更能反映相应生态系统的差异程度。

3 讨论

3.1 我国不同温度带山地林区大型土壤动物组成的比较

将松山森林土壤动物群落的数据(包括群落 A、群落 B 和群落 C)与我国各温度带山地林区大型土壤动物的一些调查结果^[3,5,6,9~12]列于表 5。其中,由于一些地区缺乏专门针对大型土壤动物的资料,表 5 中的部分数据暂为手拣法、干漏斗法和湿漏斗法所获资料中有关类群的数量组成。

由表 5 可以看出,大型土壤动物的组成受外界环境条件的影响很大,即使在相同温度带的不同地区也

表 5 我国不同温度带山地林区主要大型土壤动物的数量组成*(%)

Table 5 Composition of main groups of forest soil macrofaunas in different climatic zones in China*								
地区 Area	双翅目 Diptera	鞘翅目 Coleoptera	多足类 Myriapoda	腹足纲 Gastropoda	蛛形纲 Arachnida	寡毛纲 Oligochaeta	膜翅目 Hymenoptera	等翅目 Isoptera
黑龙江老爷岭 Laoye mountain, Heilongjiang	0.92	1.83	6.03	1.87	0.79	3.58	5.11	
长白山北坡 Northern slope of Changbai Mountain	2.79	0.52	0.47	0.10	0.11	0.01	0.02	
北京小龙门 Xiaolongmen, Beijing	5	4	17	25	18	6	15	
北京百花山 Baihua Mountain, Beijing	0.31	0.04	0.16	0.03	0.22	0.03	0.43	
北京松山 Songshan Mountain, Beijing	7	11	25	1	8	9	28	
安徽九华山 Jiuhua Mountain, Anhui	1.85	2.76	2.67		0.85	1.49	6.23	1.61
浙江天目山 Tianmu Mountain, Zhejiang	7	9	24		10	12	20	
湖南衡山 Hengshan Mountain, Hunan	22	7	18		8	15	13	
湖南岳麓山 Yuelu Mountain, Hunan	1	8	14		17	7	23	
广东鼎湖山 Dinghushan, Guangdong	0.04	3.65	0.74		0.72	0.40	3.83	7.05
海南尖峰岭 Jianfeng Mountain, Hainan	1.27	4.10	3.14	0.004	1.01	0.60	5.19	4.81

* 老爷岭、长白山北坡、百花山和九华山的数据为有关类群在手拣法、干漏斗法和湿漏斗法所获土壤动物总数中所占的比例;鼎湖山和尖峰岭的数据为在手拣法和干漏斗法所获土壤动物总数中所占的比例;其他地区的数据为在手拣法所获土壤动物总数中所占的比例。

Data from Laoye Mountain, Northern slope of Changbai Mountain, Baihua Mountain and Jiuhua Mountain were percentages of total soil animal collected by hand, Tullgren and Baermann apparatus. Data from Dinghushan and Jianfeng Mountain were percentage of that collected by hand and Tullgren apparatus. Data from the other areas were percentages of that collected by hand only

可能存在较大差异,各个群落之间显示出丰富的多样性。依据大型土壤动物组成及其地带性分布的特征,大致可以将我国分为两个大的区域。一个区域包括南亚热带和中热带地区,其大型土壤动物群落以等翅目和膜翅目为优势类群;另一个区域则包括从中温带中亚热带的广大地区,其大型土壤动物群落常常以多足类和膜翅目为优势或次优势类群。在后一区域中,也有一些群落(如长白山和湖南衡山)以双翅目数量最多,但其分布地点比较分散,规律性不强。

而且,虽然北京小龙门林区的调查结果显示以腹足纲为优势类群,但松山以及百花山仍以膜翅目数量最多,多足类或双翅目次之,反映出暖温带地区大型土壤动物的组成与相邻的中温带和中亚热带之间并不存在明显的地带性差异。

3.2 不同土壤动物群落多样性的比较分析

在多种表征群落多样性的指数中,Shannon-Weiner 多样性指数(H')应用最广。一些学者也将其用于不同土壤动物群落多样性的比较分析。然而,由于土壤动物群落常常包括许多大的分类单位,不同类群生态功能各异,彼此之间的关系复杂多样,因此不同类群的个体数量往往存在巨大差异,使群落多样性常与群落均匀度显著相关而与丰富度关系不密切,组成简单、各类群数量较低的群落反而常常可能比组成丰富、各类群数量较高的群落具有更高的 H' 值。

为此,廖崇惠等^[13,14]提出用密度-类群指数(DG)代替 H' 指数:

$$DG = (g/G) \sum_{i=1}^g [(D_i C_i) / (D_{\max} C)]$$

式中, g 为某群落的类群数, G 为各群落的总类群数; D_i 为某群落中类群 i 的个体数(或生物量), D_{\max} 为各群落中类群 i 的最大个体数(或生物量); C_i 为类群 i 出现的群落数, C 为群落总数。廖崇惠等认为: DG 指数避开了群落内各物种丰度的比较,而采用对同一物种在不同群落中的比较,把群落中各物种都视为同等的独立性,这种假设对于复杂的土壤动物群落来说更为适合;同时,因为常有一些类群数量很少,并仅见于少数群落中,这些类群在群落组成中的重要性是较低的,因此 DG 指数的表达式中包括了各类群在群落总数中出现的比率 C_i/C 。

DG 指数对于各类群在不同群落间相对数量的比较的思想是很重要的,但引入 C_i/C 的理由并不充分。 C_i/C 的大小从空间分布特征上反映了不同类群对于由这些群落所组成的整个群落组的重要性的作用,类似于植物群落生态学重要值(IV)公式中频度这一参数的作用。但是,对于整个群落组相对重要性较低的类群,并非在特定群落中的重要性也一定较低。各类群在群落间分布的特征与特定群落本身组成的多样性之间似乎并不存在必然的联系。更为重要的是,群落多样性的概念本身包括丰富度和均匀度两方面的含义,这是群落的两个独立的性质。即使对于复杂的土壤动物群落,尽管各类群在不同群落之间的相对数量(可称为群落间相对丰度, inter-community relative abundance)常常也从一个侧面体现着群落组成的复杂程度,但其并不排斥各类群在群落内的相对多度对于群落多样性的影响。 DG 指数未考虑群落的均匀度,似有不妥。

当进行复杂的土壤动物群落的多样性的比较时,可在 H' 指数的基础上进行一定改进,使其能同时体现群落的类群数、各类群在群落中的相对多度以及在群落间的相对丰度 3 个特征作用,可能的形式为:

$$C_j = H'_j \times r_j = H'_{j\max} \times E_j \times r_j$$

其中,将 C_j 定义为群落 j 的复杂性指数(the complexity index of community j); H'_j 、 $H'_{j\max}$ 和 E_j 分别为群落 j 的 Shannon-Weiner 多样性指数、最大多样性及均匀度; r_j 为校正系数,代表群落间相对丰度对群落 j 复杂性的影响。进一步, r_k 可由下式求出:

$$r_j = A_j/\bar{A} \quad A_j = (1/S_j) \sum_{i=1}^S (N_{ij}/N_i)$$

其中, N_{ij} 为群落 j 中类群 i 的个体数, N_i 为所有群落中类群 i 的总个体数 ($N_i = \sum_{j=1}^n N_{ij}$), S_j 为群落 j 的类群数, S 为各群落的总类群数, A_j 为群落 j 中各类群群落间相对丰度(N_{ij}/N_i)的平均值(可称为群落 j 的个

体丰盛度), \bar{A} 为各群落的平均个体丰盛度 ($\bar{A} = (1/n) \sum_{j=1}^n A_j$)。因此, r_j 也可称为群落 j 的相对个体丰盛度 (relative individual abundance of community j)。以群落中各类群群落间相对丰度的平均值作为最基本的校正因子 A_j , 目的在于消除类群数的影响, 使最终的校正系数 r_j 具有独立于 H' 指数的特征; 以群落的个体丰盛度与其均值的比值作为最终校正系数 r_j , 一方面有利于直接反映不同群落之间的相对数量关系, 另一方面也使 r_j 的取值范围大致与 $H'_{j\max}$ 和 E_j 相似, 使 3 个独立特征对于群落多样性的作用大致相当。经过校正, 组成丰富、各类群数量比较接近且相对丰盛的群落将具有较高的 C_j 值。

例如, 对于廖崇惠等^[14]所分析的鼎湖山的土壤动物群落, 地处保护区核心区的针阔混交林群落与保护区外围、人为干扰严重的草坡群落比较, 不仅类群丰富, 而且各类群的个体数量除直翅目外均大于或远大于后一群落, 然而由于蛴螬目个体数量巨大, 群落均匀度低, H' 指数 (0.5404) 明显小于后一群落 (0.6593)。若用 DG 指数测度, 两个群落的多样性分别为 15.3555 和 3.9064。而用 C_j 指数测度, 则两个群落分别为 0.7976 和 0.3605, 且两个群落的 r_j 、 $H'_{j\max}$ 和 E_j 依次分别为 1.4760、1.2788、0.4226 和 0.5468、1.2041、0.5476, 既反映出混交林群落丰富的个体数量对于群落多样性的影响, 与直观实感比较相符, 又使相对个体丰盛度的重要性与类群丰富度和均匀度大致相当。

对于松山 4 个土壤动物群落的比较, r_j 依次为 1.0364、0.7231、1.0624 和 1.1780, 从而使 C_j 指数依次为 0.9620、0.8196、1.3959 和 1.4363, 反映出群落 A 较群落 B 更为复杂多样。

因此, 作者认为, C_j 指数比 H' 指数更适用于复杂的土壤动物群落之间多样性的比较研究。

参考文献

- [1] Yin W Y (尹文英). *Soil animals of China* (in Chinese). Beijing: Science Press. 2000.
- [2] Yin W Y (尹文英), et al. *Subtropical soil animals of China* (in Chinese). Beijing: Science Press. 1992.
- [3] Lu Y Ch (路有成), Wang Z Y (王宗英). Vertical distribution of soil animal on the Jiuhua Mountain. *Geographical Research* (in Chinese) (地理研究), 1994, 13(2): 74~81.
- [4] Zhao X L (赵小鲁), Xie B G (谢丙庚). *Studies on ecological zoo geography* (in Chinese). Chengdu: Chengdu Cartographic Publishing House. 1996.
- [5] Chen G X (陈国孝), Song D X (宋大祥). Soil animals in Xiaolongmen forest area of warm temperate zone, Beijing. In: Yin W Y (尹文英) ed. *Soil animals of China* (in Chinese). Beijing: Science Press. 2000. 63~70.
- [6] Fu B Q (傅必谦), Chen W (陈卫), Gao W (高武), et al. The soil invertebrate community and its seasonal dynamics in *Populus davidiana* + *Betula platyphylla* forest in Baihu Mountain. *Journal of Zoology* (in Chinese) (动物学杂志), 1997, 32(2): 10~15.
- [7] Wang Z Y (王宗英), Lu Y Ch (路有成), Li J K (李景科). The ecological distribution of soil beetle in Jiuhua Mountains. *Zoological Research* (in Chinese) (动物学研究), 1994, 15(2): 23~31.
- [8] Wang Z Y (王宗英), Chen F Y (陈发扬), Lu Y Ch (路有成), et al. Preliminary research on soil spider community in the forests of Jiuhua Mountains, Anhui Province. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1997, 17(1): 71~77.
- [9] Yu Ch F (于长福), Zhao K Z (赵克尊). Study on the soil animal in Laoye Mountains. *Journal of North-east Forestry University* (in Chinese) (东北林业大学学报), 1985, 13(3): 128~134.
- [10] Chen P (陈鹏), Fu D Y (富德义). A preliminary approach to the effect of soil animals on the cycling of materials in the Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1984, 4(2): 172~179.
- [11] Yin W Y (尹文英), Yang F Ch (杨逢春) and Wang Zh Zh (王振中). Soil fauna in relation to subtropical natural environment. In: Yin W Y (尹文英) et al ed. *Subtropical soil animals of China* (in Chinese). Beijing: Science Press. 1992. 7~20.
- [12] Liao CH H (廖崇惠), Li J X (李建雄). The community structure of soil animal in the tropics and southern subtropics of China. In: Yin W Y (尹文英) ed. *Soil animals of China* (in Chinese). Beijing: Science Press. 2000. 77~100.
- [13] Liao Ch H (廖崇惠), Chen M Q (陈茂乾). Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest. *Journal of Applied Ecology* (in Chinese) (应用生态学报), 1990, 1(1): 53~59.
- [14] Liao Ch H (廖崇惠), Li J X (李建雄), Huang H T (黄海涛). Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1997, 17(5): 549~555.