

549-555

29633(16)

第17卷第5期
1997年9月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 17, No. 5
Sep., 1997

南亚热带森林土壤动物群落多样性研究*

廖崇惠 李健雄[✓] 黄海涛

(广东省昆虫研究所, 广州, 510260)

5718.6

A 摘要 以鼎湖山为代表, 研究南亚热带常绿阔叶林土壤动物群落的多样性。首先比较了几种多样性测度的效果, 由于 Gower 系数和作者1990年提出的 DG 指数都是基于各物种在群落中都有同等独立性, 宜在不同群落间进行同种类比较的假设, 因而对于复杂的土壤动物群落多样性测度可以获得比较贴切的结果。但 DG 指数可以为多个群落同时比较, 计算也简单。其次比较了中亚热带的资料, 表明南亚热带土壤动物具有的多样性和更多的热带成分, 两地区的群落组成有巨大的差异。最后比较了森林在受不同程度保护下土壤动物群落的组成, 表明保护越好, 群落的多样性越大, 但在顶极的森林群落中, 土壤动物群落的多样性也会变小。

关键词: 土壤动物、群落多样性、森林保护、南亚热带。

森林动物

SOIL ANIMAL COMMUNITY DIVERSITY IN THE FOREST OF THE SOUTHERN SUBTROPICAL REGION, CHINA

Liao Chonghui Li Jianxiong Huang Haitao

(Guangdong Institute of Entomology, Guangzhou 510260, China)

Abstract Soil animal community diversity in Dinghushan Nature Reserve, as an example of the southern subtropical region of China were studied. the diversity measuring methods Gower coefficient, H' index and DG index (which was suggested by LIAO in 1990) etc. were compared. The Gower coefficient and DG index were proposed on base of the hypothesis that every species has equal independence and importance in the community, and can be compared intercommunitily. So measurement of the complicated soil animal community diversity may be carried out. The calculation of DG index is easy and simple. There are bigger soil animal community diversity and more tropical characteristics in southern subtropical region of China, than in middle subtropical region of China. There is soil animal community composition variance between the two regions. The soil animal community composition in varied conservation degrees were compared. The results show: the better the forests were protected, the higher the community diversity was. But, soil animal community diversity in climax forest community may become lower.

* 国家科委“八五”重大项目 PD85-31-03课题和国家自然科学基金重点项目(39230070)资助。

收稿日期: 1995-12-18, 修改稿收到日期: 1997-02-08。

Key words: soil animal, community diversity, forest protection, southern subtropical region of China.

关于森林植被与土壤动物群落关系方面的研究已有很多,如土壤动物在不同类型森林植被下的分布及群落的组成^[1~3],土壤动物群落在森林受到各种人为干扰后的变化^[4~6],以及随着人工林发育而产生的次生演替^[7]等。关于群落多样性的研究亦有大量报道,但有关土壤动物群落的极少。常用的生物多样性测度的公式不少,却没有一个较为适合于土壤动物的,就是最常用的 Shannon-Wiener 指数 H' 也少见应用的例子。作者曾经在这方面进行一些探索^[2,7]。本文重点研究多样性测度方法,并讨论森林受到不同程度保护对土壤动物生物多样性的影响。

1 研究方法

1.1 样地调查 调查是在与植物群落和森林生产力调查同一样地上进行的。样地以鼎湖山为主,3个样地分别属于:保护区核心区的亚热带常绿阔叶林及其边上的针阔叶混交林,保护区外围的草坡,五华县双华镇附近的亚热带常绿阔叶林的次生林(风水林)及其边上的草坡。这两个地方均在广东省境内北回归线附近(23°08'和23°43'),同属低山丘陵。各调查样地的土壤类型均属赤红壤,植被及保护状况各异,分别列于表1。鼎湖山的调查在1994年7月和10月进行两次,五华县只进行了一次8月份的调查。每个样地均设10个取样点。每个点同时进行两种方法采集标本:1)用直径8cm取土器,取15cm深土样5个,即时进行手拣;2)用面积为0.1m²取样器收枯枝落叶并装入袋中,然后采用改良的 Tullgren 装置^[8]收集土壤动物标本,所得标本不包括小型湿生类群和原生动物类群。

1.2 与有关资料比较 为说明亚热带土壤动物群落多样性特点,特将已发表的鼎湖山自然保护区的调查资料^[2]与中亚热带的有关资料^[1,4]进行比较,数据按同一方法重新整理。

1.3 多样性量度公式

1.3.1 H' 多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^I P_i \ln P_i \quad (1)$$

1.3.2 密度-类群指数(DG)^[7]

$$DG = (g/G) \sum (D_i/D_{\max}) \quad (2)$$

式中 D_i 为第 i 类群生物量(或个体数), $D_{\max}$ 为各群落中第 i 类群的最大生物量, g 为群落中的类群数, G 为各群落所包含的总类群数。

因为常有一些类群数量很少,并仅见于少数群落中,显然这些类群在群落组成中的重要性是较低的。因此要进一步完善(2)式,将每个类群提供的信息乘以它在各群落中出现的相对次数 C_i/C ,即在 C 个群落中第 i 个类群出现的比率,于是(2)式为:

$$DG = (g/G) \sum_{i=1}^g \left(\frac{D_i C_i}{D_{\max} C} \right) \quad (3)$$

1.3.3 多群落比较的多样性指数(DIC)

将 Gower 系数^[9]

$$Sg = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[1 - \left(|X_{ij} - X_{ik}| \right) \frac{1}{R_i} \right] \quad (4)$$

演变成可以在多个群落间互相比较的指数。令

$$X_j - X_{ik} = X_{\max} - X_i$$

$$R_i = -X_{\max} + X_i$$

其中 $X_{\max}$ 为多个群落中第 i 类群的最大生物量(或个体数), X_i 为要测量的群落中第 i 类群的生物量(或个体数),并将 $1/n$ 改为 g/G ,这样原来最大值为1的 Gower 系数变成可随类群数的增长而无限增加的 DIC 指数:

$$DIC = \frac{g}{G} \sum_{i=1}^n \left[1 - \left(\frac{|X_{max} - X_i|}{X_{max} + X_i} \right) \right] \frac{C_i}{C} \quad (5)$$

式(3)和式(5)可以满足下列3个条件^[10]:

- ① 当一个群落中各个类群的生物量都达到最高(与其他群落同类群比较)时,这个群落的多样性最高。
- ② 当每个共有类群的生物量在各群落中的分布均匀时,非共有类群数目越多的群落,其多样性越大。
- ③ 各比较指数均具可加性。

2 结果与讨论

2.1 各种多样性测度结果的比较

将各共同样地调查及各群落多样性的测度结果列于表2,分别对各种测度结果进行比较和讨论。

表1 1994年各样地的环境、植被变迁及保护概况

Table 1 The survey of sample plots' environment, vegetation shift and protection

	鼎湖山 Dinghushan			五华 Wuhua	
	草坡 Grassland	混交林 Mixed forest	阔叶林 Broad- leaf forest	草坡 Grassland	次生林 Secon- dary forest
海拔 Elevation(m)	100~150	240~250	270~300	320	380
植被类型	松林-灌木- 草丛	针阔混交林	南亚热带常绿 阔叶林	灌木-草丛	南亚热带常绿 阔叶林
Vegetation type	Pine-shrub- grass	Pine-broad- leaf mixed forest	SSTEBF	Shrub-grass	SSFEBF
上木:密度(株/hm ²) 或郁闭度(%)					
Over story: tree/hm ² or cover density	50/hm ²	0.8%	0.85%~0.90%		
下木:盖度(%)					
Under brush cover degree	35	3.1	2.5	25~30	
草本层盖度(%)					
Cover degree of herb layer	75	3.5	0	65~90	
植被变迁 Vegetation shift	南亚热带常绿阔叶林 SSTEBF $\xrightarrow{1}$ 灌木- 草丛 shrub-grass $\xrightarrow{4}$ 马尾松-灌木 -草丛 <i>Pinus</i> - <i>massoniana</i>	南亚热带常绿阔叶 林 SSTEBF $\xrightarrow{2}$ 大 叶桉+马尾松 <i>Euca-</i> <i>lyptus robusta</i> + <i>P.</i> <i>massoniana</i> $\xrightarrow{2}$ 沙梨 <i>Purus pyramidalis</i> $\xrightarrow{5}$ 马尾松+木荷-黄果 厚壳桂 <i>P. massoniana</i> + <i>Schinus superba-</i> <i>cryptocarpa concinna</i>	南亚热带常绿阔 叶林 SSTEBF	南亚热带常绿阔叶 林 SSTEBF $\xrightarrow{2}$ 杉 木-油茶 <i>Cunning-</i> <i>hamia lanceo-</i> <i>lata Camellia</i> $\xrightarrow{5}$ 排 金娘-黑沙草+芒 萁 <i>Rhodomyrtus to-</i> <i>mentosa-Gahnia tris-</i> <i>tis + D. dichotoma</i>	南亚热带常绿阔叶 林 SSTEBF $\xrightarrow{3}$ 次 生林 Secondary forest
保护状况 Protected level	保护区外围,可割 草放牧 Periphery of reserve, Mow, Graze	自然保护区核心区, 全面保护 Nucleus area of Reserve, full-protected		割草 Mow, 放牧 Graze	风水林,全面保护 Continuous forest, full-protected

注: Note: 1 反复砍伐 felling repeatedly; 2 砍伐后改种 felling, plantation; 3 砍伐后自然变化 felling, natural succession;
4 人工栽种 plantation; 5 荒废 lie waste

2.1.1 群落组成的多样性简单的测度莫过是组成的类群数 在鼎湖山和五华两地共5个样地中,凡草坡的土壤动物群落组成,只有14~16个类群,而其他类型样地(自然的阔叶林及其次生林、针阔叶混交林)的

表2 鼎湖山和五华几个样地土壤动物群落几种多样性测度(1994)

Table 2 Comparison of soil animal community diversity in Dinghushan and Wuhua in 1994

	鼎湖山 Dinghushan						五华 Wuhua			
	草坡 Grassland		混交林 Mixed forest		阔叶林 Broad-leaf forest		草坡 Grassland		次生林 Secondary forest	
	个体数 Number (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	个体数 Number (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	个体数 Number (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	个体数 Number (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	个体数 Number (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)
蚯蚓 Opisthoptora	26	1.3920	26	41.3980	12.5	14.9620	1.0	0.0006	42.0	3.2457
拟蝎目 Pseudoscorpiones	1		8.5	0.0050	2.5	0.0015	1	0.0006	40	0.0240
蜘蛛目 Araneae	6	0.0244	25.5	0.1403	17	0.0918	2	0.0022	9	0.0385
蜱螨目 Acarina	327	0.0674	2664	0.5001	836	0.1932	211	0.0434	1098	2.2268
等足目 Isopoda			5	0.0469	0.5	0.0047			18	0.1156
倍足纲 Diplopoda			1	0.0051	0.5	0.0401			8	0.0455
唇足纲 Chilopoda	2	0.0086	14	1.0440	6.5	0.1602	1	0.0005	1	0.1399
结合纲 Syonphyal									7	0.0005
双尾目 Diplura					2.5	0.0009				
弹尾目 Collembola	244	0.0151	473	0.0244	732	0.0473	152	0.0094	505	0.0314
等翅目 Isoptera	8	0.0214	140	0.3905	122	0.3634			136	2.5880
蜚蠊目 Blattaria			16	0.5877	8	0.3540	2	0.0734	3	0.1132
直翅目 Orthoptera	2	0.0244					2	0.1056	1	0.0920
啮虫目 Corrodentia	0.5	0.0001	6	0.0008	7	0.0010				
缨翅目 Thysanoptera	4.5	0.0010	18	0.0042	13.5	0.0030	19	0.0043	31	0.0070
革翅目 Dermaptera			2	0.0092	2	0.0404			2	0.0030
同翅目 Homoptera	5	0.9662	5.5	0.2222	2	0.0122	3	0.0183	48	0.2928
半翅目 Hemiptera	1	0.0062	3	0.0474	3	0.0667				
鞘翅目 Coleoptera	15.5	0.0407	20.5	0.7914	8	0.0210	1	0.0026	19	0.3322
鞘翅目 Coleoptera	10	0.0139	13.5	0.1357	15	0.4003	2	0.0800	9	0.1399
鳞翅目 Lepidoptera	1.5	0.0072	16	0.0762	3.5	0.0168			11	0.0145
双翅目 Diptera	10	0.0026	47.5	0.0038	34.5	0.0027	4	0.0004	49	0.0145
膜翅目 Hymenoptera	166	0.1855	797	1.4900	994	1.1134	135	0.1239	520	0.6306
类群数 Numbers of group	16		20		21		14		20	
总生物量 Total biomass	2.7664		46.9781		17.8962		0.4666		7.0766	
H' 指数 H' index	1.229		0.615		0.773		1.831		1.758	
DG 指数 DG index	1.79		9.86		8.10		1.22		8.32	
DIC 指数 DIC index	2.81		11.06		8.78		1.57		9.74	

* 不包括小型湿生动物 not including micromesocole

群落,均有20~21个类群。这两大类群落间相差的距离大于同类间的,这种测度方法仅仅利用物种有或无的信息,而不管各物种在群落中或群落间的相对多度,尚可以大体地反映各土壤动物群落的多样性。

2.1.2 H' 指数获得的结果与上述比较,有近于相反的结果,人为干扰最严重的草坡的指数都在最高或较高之列,分别为1.76和1.23,而保护区核心区的阔叶林和针阔混林都是最低的,只有0.62和0.77。H' 指数增加群落内种类相对多度的信息反而不能正确地反映土壤动物群落的多样性。它首先假定群落内部各物种之间是相互竞争的,此多则彼少。在群落中只要各个物种的数量相等,不管其数量如何地少,这个群落就可以获得最大的多样性指数。因此,H' 指数只能用来测度分类范围不大,生态功能比较接近的种类所组成的群落,只宜于说明群落本身多样性可能达到什么程度(如公平度 H'/H'_{max}),而不能作群落间的比较。然而,象土壤动物这类包括分类范围十分广泛(几个门和十几个纲),生态功能各有差异的群落是不能与之相

提并论的。尽管其中许多分类差异较大的种类对食物资源的要求极为相似,但其种群只受环境和捕食者的控制^[1]。也就是说在这样复杂的群落中,种间的关系除了互相竞争的一面之外,更多的是互不干扰和互利的一面。正如鼎湖山混交林样地(表2),蚯蚓的生物量很大,同时其他类群的生物量也不比别的群落都少,甚至是最高。因此与其它群落相比,不仅生物量最高,类群数也最多。因此,它应该有最大的多样性。然而在 H' 指数中,它却因为蚯蚓巨大的生物量掩盖了其他重要信息,使指数变成最低的。

2.1.3 DG 指数和 DIC 指数所得结果基本一致,这两者都可以在多样群落间进行比较,其结果排列是:混交林(鼎湖山) > 阔叶林(鼎湖山) $\approx$ 次生林(五华) > 草坡(五华)。群落之间的多样性比较有很多公式,其中上述的 S_g ,即 Gower 系数(公式4)是利用较多的。它们要两个两个地比较,而不能多个群落同时比较。因此,作者曾提出用 DG 指数(即相对密度之和乘以类群系数)来同时定量描述多个群落的多样性^[7]。Gower 系数和 DG 指数同样是避开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,把在群落中各物种(类群)都视为有同等的独立性。这种假设对于复杂的土壤动物群落来说更为适合。所不同的是,前者是在两个群落中逐对进行比较,得出一个属于两个群落的相似性判断,后者是在群落间逐个种与同种的最大值进行比较,得出每一个群落相对其他群落的多样性判断。其次是前者的最大值为1,后者的最大值为 n (种数或类群数)。 DIC 指数也是在同样假设下成立的,只是将 DG 指数中多群落比较的概念套入 Gower 系数公式内。其结果比 DG 指数值稍大,而所表达的意义没有任何不同。但在计算上 DG 指数要简便得多。

2.2 南亚热带土壤动物群落的多样性

根据鼎湖山、南昆山和黑石顶3个同在北回归线附近的自然保护区在季风常绿阔叶林和常绿阔叶林中土壤动物群落具有很大的相似性^[3],表3仅以鼎湖山1984~1985年4个季度的调查资料为例,与中亚热带的衡山(湖南)、天目山(浙江)自然保护区4个季度调查资料^[2,14]比较,可以清楚地看出南亚热带森林土壤动

表3 南亚热带(S)与中亚热带(M)常绿阔叶林土壤动物群落多样性比较*

Talbe 3 The comparision of soil animal community diversity
in southern(S)and middle(M)subtropical region of China

	鼎湖山(S)** (ind/m ²)	天目山(M ₁)** (ind/m ²)	鼎湖山(S)*** (ind/total)	天目山(M ₁)*** (ind/total)	衡山(M ₂)*** (ind/total)
总个体数 Total individual No.	39521	34681	11046	63658	10568
类群数 Group numbers	24	20	22	18	16
DG 指数 DG index	12.38	10.87	—	—	—
公平度 Equitability(DG/DG_{max})	0.48	0.42	—	—	—
H' 指数 H' index	—	—	1.50	0.64	0.98
公平度 Equitability(H'/H'_{max})	—	—	0.49	0.22	0.34
Gower 系数(S_g)	0.27				

注 note, S 南亚热带,季风常绿阔叶林(鼎湖山) Monsoon, evergreen broadleaf forest in southern subtropical of China(Dinghushan); M₁ 中亚热带,夏绿-常绿阔叶林(天目山) Semi-deciduous broadleaf froest in middle subtropical region of China(Tianmushan); M₂ 中亚热带,常绿阔叶林(衡山) Evergreen broadleaf forest in middle subtropical region of China(Hengshan)。

* 根据4个季度调查资料比较 According to 4 seasons' data; ** 包括干湿漏斗和手拣等方法收集的资料 Including tullgren,bermann and hand gathering' data; *** 只计算干湿漏斗和手拣资料 Only calculating Tullgren and hand gathering's data

物群落多样性的特点。鼎湖山和天目山都有单位面积个体数资料,可以计算出它们的相似系数(S_g),仅为0.27,表明它们之间甚不相似。这两个群落各自的 DG 指数为12.38和10.87,又表明南亚热带的鼎湖山有较大的多样性。由于衡山的资料不含单位面积,只有捕获的百分比,故表3另按各类群个体数百分比计算鼎湖山和天目山、衡山的多样性指数 H' 。为除去数量巨大的线虫纲的影响,统计资料不包括湿漏斗收集部分。

结果亦表明南亚热带的类群数和 H' 值都最高,分别为22和1.5;中亚热带的天目山和衡山的类群数和 H' 值都低,分别为18,16和0.64与0.93。如果连同湿漏斗部分去测度,所得的 H' 值则分别为1.46(鼎湖山),1.37(衡山)和0.51(天目山),根本表现不出地带性的差异,其原因是衡山的线虫只占19.7%,远低于天目山的85.2%,因而使 H' 值提高到接近鼎湖山的水平,这再次证明 H' 应用的局限性。天目山和衡山两地群落中蜘蛛目和弹尾目的个体数量已占了97%和93%,故 H' 值很低;在鼎湖山这两个类群只占47%左右,故 H' 值较高。在鼎湖山,特别是等翅目(白蚁)、膜翅目(主要为蚂蚁)、蜚蠊目、缨翅目、啮虫目、鳞翅目等类群都较中亚热带两地的类群丰富而更显热带特色^[12]。这些类群在广东省的南昆山和黑石顶的土壤动物中都是重要的组成类群^[3]。

2.3 森林保护对土壤动物群落多样性的影响

将本次鼎湖山的调查资料与过去(1984)的资料及同其他课题调查的部分资料进行比较列于表4,以表明鼎湖山和广州近郊不同保护程度的林下土壤动物的基本状况。鼎湖山是由保护区到保护区外围,及两次相隔10a的调查,共列出6个保护等级。广州的是由村边受较好保护的天然次生林即风水林(1957年曾被破坏过)和50年代营造的马尾松林中保护较好已演变成针阔叶混交林,以及保护较差并保持原来种的纯松林等3个等级。从表中所列出的资料可以看出的基本趋向是:1)受保护越差,土壤动物的数量和生物量越低,获得的类群数也越少;2)这种趋向大体表现在昆虫类的数量和生物量变化上;3)反映群落多样性的综合指标 DG 指数亦基本上体现这一趋势。但象鼎湖山核心区中有时会出现混交林中的群落多样性高于阔叶林的。如1994年的调查,五棵松的混交林样地比1984年调查的早坑北坡混交林样地保护整整多了10a,其生物多样性也大为发展,比同年调查的阔叶林还高,这种情况与作者在海南岛尖峰岭的调查结果很相似。较高的土壤动物多样性也是出现在要向顶级森林群落——热带常绿季雨林发展的热带半落叶常绿季雨林中,而不在前者。地上生活的大型动物由于“边缘效应”,分布在森林群落中心地带外围的种类常多于中心地带,土壤动物是否如此尚待进一步研究。

表4 不同保护程度下的森林样地中土壤动物群落多样性比较

Table 4 The comparison of soil animal community composition in varied conservation degree

	鼎湖山 Dinghushan(ind./m ²)*						广州郊区 Guangzhou suburbs(g/m ²)		
	保护区核心区		缓冲区		非保护区		村边林	风景区	
	Nucleus zone of reserve		Buffer zone		Non reserve		Forest nearby village	Scenery zone	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	1994	1984	1994	1984	1984	1994	1994	1994	1994
非昆虫部分 Noninsect	957.5	1482.5	2744	859.5	404	262	13.49	17.86	7.48
昆虫部分 Insect	1965	2051	1558	1526.5	1164.5	558	8.76	1.07	0.51
合计 Total	2922.5	3533.5	4302	2386	1568.5	830	22.25	18.93	7.99
蚯蚓 Earthworm	12.5	32.5	26	49	—	26	12.25	17.55	7.28
类群数 Group No.	21	19	20	21	14	17	19	17	16
DG 指数 index	5.91	8.66	8.15	7.7	1.74	2.11	13.32	6.76	4.10
保护程度 Protective level	完全保护 Full-protected		允许割草 No-pro-mow		不保护 Full-protected		完全保护 Full-protected	人为干扰小 (林的深处) Less human impact(core of forest)	人为干扰大 (近耕地) More human impact(near-by plough)

注: I: 南亚热带常绿阔叶林 Southern subtropical evergreen broadleaf forests; II: 针阔叶混交林 Pine and broadleaf mixed forest; III: 马尾松林 *Pinus massoniana* forest; IV: 灌木-草丛 Shrub-grassland; V: 天然次生林(罗岗) Natural second growth forest (Luogang); VI: 人为干扰小 (林的深处) Less human impact(core of forest); VII: 人为干扰大 (近耕地) More human impact(near-by plough)

针阔叶混交林(白云山)Pine and broadleaf mixed forest(Baiyun hill);Ⅳ:马尾松林(白云山)*Pinus massoniana* forest(Baiyun hill);*:不包括小型湿生动物 Not including micromesocle. **:7月和10月2次调查平均 Average of data in July and October;***:1994年7月份的调查资料 Data in July,1994

参 考 文 献

- 1 王振中,张友梅.衡山自然保护区森林土壤中动物群落研究.地理学报,1989,44(2):205~213
- 2 陈茂乾,廖崇惠.鼎湖山森林土壤动物研究Ⅱ,不同生境的群落组成.热带亚热带森林生态系统研究,1990,第7集,90~90
- 3 廖崇惠,陈茂乾.鼎湖山森林土壤动物研究,Ⅳ,与邻近自然保护区区系的比较.热带亚热带森林生态系统研究,1990,第7集,100~106
- 4 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.杭州大学学报,1986,13(增):54~63
- 5 青木淳一等.土壤动物学.北隆馆,1973,539~579
- 6 Kong Guohui *et al.* The impacts of human activities on the forest and environment in Dinghushan Biosphere Reserve and our countermeasures. In: *Proceedings of The International Conference on Natural Resources Management and Conservation, in Chinese Tropical and Subtropical Regions*. Li Xiaofang, Chen Chuangou eds. Beijing, China Science and Technology Press, 1993. 55~67
- 7 廖崇惠,陈茂乾.热带人工林土壤动物群落次生演替和发展过程的探讨.应用生态学报,1990,1(1):56~61
- 8 廖崇惠,林少明,李耀泉等.土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系.生态学报,1995,15(增A):156~164
- 9 Sneath P H A. Classification of microorganisms. In: *Essays in Microbiology* (Norris J R. and Richmond M H eds. John Wiley & Sons, New York, 1978. 9/9~9/25
- 10 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法,Ⅰ,α多样性的测度方法(下).生物多样性,1994,2(4):231~239
- 11 Anderson J M. The enigma of soil animals species diversity. In: *Progress in Soil Zoology*. Edited by Jan Vanek, Academia, Prague, 1975. 51~58
- 12 廖崇惠,陈茂乾.鼎湖山森林土壤动物研究Ⅰ,区系组成及其特征.热带亚热带森林生态系统研究,1989,第5集:83~95