

广东石门台自然保护区森林土壤 无脊椎动物群落多样性

李志伟¹, 童晓立¹, 张维球¹, 谢国忠², 戴克元²

(1. 华南农业大学 昆虫学系, 广东 广州 510642; 2. 广东省英德市林业局, 广东 英德 513000)

摘要:调查、研究了地处南亚热带和中亚热带之间过渡地带的石门台自然保护区森林土壤无脊椎动物的群落多样性。共采获土壤无脊椎动物 20 045 头, 分别隶属于 3 门 9 纲 25 目 89 科(包括小蚓类、螺类和蛭类等)。其中, 蛭目占捕获总量的 66.0%, 弹尾目(主要为等节跳科、长角跳科、棘跳科和疣跳科)占捕获总量的 13.7%, 为该保护区土壤无脊椎动物群落的优势类群; 缨翅目(管蓟马科)和膜翅目(主要为蚁科)为该地区的常见类群, 分别占捕获总量的 6.8% 和 5.8%。利用 Shannon-Wiener 多样性指数和密度-类群指数比较 2 种不同林分的土壤动物群落多样性的结果表明, 石门台自然保护区天然常绿阔叶林的土壤无脊椎动物群落多样性远高于受人类活动影响的人工林。

关键词:石门台自然保护区; 森林土壤; 土壤无脊椎动物; 生物多样性

中图分类号: Q145.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2004)01-0080-05

Diversity of soil invertebrate assemblages in the forest of Shimentai Nature Reserve, Guangdong Province

LI Zhi-wei¹, TONG Xiao-li¹, ZHANG Wei-qi¹, XIE Guo-zhong², DAI Ke-yuan²

(1 Department of Entomology, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Forestry Bureau of Yingde, Guangdong Province, Yingde 513000, China)

Abstract: Diversity of forest soil invertebrate assemblages was investigated in Shimentai Nature Reserve where lies a transition zone between the southern subtropical zone and the middle subtropical zone in September and October 2001. A total of 20 045 soil invertebrate individuals which belong to 89 families (including microdrile oligochaetes, mesogastropoda and acarina etc.) of 25 orders in 9 classes under 3 phyla was collected. Of the collected specimens, Acarina and Collembola (mainly Isotomidae, Entomobryidae, Onychiuridae and Neanuridae), accounting for 66.0% and 13.7% of the total collected individuals, respectively, were the dominant groups of forest soil invertebrate assemblages in Shimentai Nature Reserve, Thysanoptera (Phlaeothripidae) and Hymenoptera (mainly Formicidae) are the ordinary groups in this region and constitute 6.8% and 5.8% of the total collected individuals, respectively. Shannon-Wiener diversity index and Density-Group index were used to compare the diversity of soil invertebrate assemblages in two different habitats (natural evergreen broad-leaf forest and planted forest). The results showed that the diversity of soil invertebrate assemblages in natural evergreen broad-leaf forest was much higher than that of planted forest impacted by human activity ($P < 0.05$). Using Density-Group index to measure the diversity of soil invertebrate assemblages is more reasonable than Shannon-Wiener diversity index in this case because the Acarina individuals predominate in the samples which covers up the information of other soil invertebrate groups.

Key words: Shimentai Nature Reserve; forest soil; soil invertebrates; biodiversity

广东石门台自然保护区位于广东省中北部的英德市境内,地理位置为东经 $113^{\circ}01'11'' \sim 113^{\circ}46'22''$, 北纬 $24^{\circ}17'49'' \sim 24^{\circ}31'02''$, 是南岭山脉的最南端,属北回归线北缘。保护区面积为 $82\,260\text{ hm}^2$, 是广东省连片面积最大的自然保护区。保护区内地层古老,地貌复杂,形成南亚热带与中亚热带的过渡性气候和生态环境。关于南亚热带和亚热带森林土壤动物群落已有一些研究^[1-7],但是,有关南亚热带与中亚热带过渡地带常绿阔叶林的土壤动物群落结构方面的研究鲜见报道,笔者于2001年对石门台自然保护区的森林土壤动物进行了调查和研究,旨在通过对天然林与人工林土壤动物的类群组成、群落结构及多样性的比较研究,为保护区今后在生物多样性保护、利用及管理上提供依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

研究样地分别选在广东石门台自然保护区西北部的前进保护站附近(以下简称“前进”)和东南部的黄洞水库附近(以下简称“黄洞”)。每个研究样地设置2种样方进行采样:一种设在保护区核心区的天然林中,林内郁闭度高、凋落物丰富、土壤湿润疏松。另一种设在保护区外围的恢复区人工林内,人工林以马尾松 *Pinus massoniana*、湿地松 *P. elliotii* 等为主要植被,林内森林郁闭度低、凋落物极少、土壤板结坚硬,而且土壤湿度较低,人为干扰程度较大。

1.2 采样方法

2001年9月和10月,在样地内共取了20个样方,其中在“前进”和“黄洞”核心区天然林内各取5个样方,恢复区人工林内各取5个样方。每个样方的面积为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, 按对角线法5点取样,每个点按 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 取凋落物及 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 表层土样。将取得的凋落物及土样分别装入袋中,然后用干漏斗法(Tullgren法)分离收集大、中、小型土壤动物。限于条件,本研究未收集小型湿生类群及原生动物类群。所得标本用 $\varphi = 75\%$ 的酒精保存,然后进行分类鉴定和统计。除少数类群鉴定至目或类外,其他类群均依据《中国土壤动物检索图鉴》^[8] 和《昆虫分类》^[9] 鉴定到科。

1.3 数据处理

土壤动物群落结构指标的测定采用:Shannon-Wiener 多样性指数^[10] $= -\sum P_i \ln P_i$, 式中 P_i 为第 i 类群的个体数比例;Simpson 优势度指数^[11] $= 1 - \sum (N_i/N)$, N_i 为该地第 i 个物种的个体数量, N 为样区内所有物种的个体数量;密度-类群指数^[4] $= \sum (D_i/D_{i\max}) \times (G/G_T)$ 。 D_i 为第 i 类群的密度, $D_{i\max}$ 为各类

群中第 i 类群的最大密度, G 为群落中的类群数, G_T 为各群落所包含的总类群数。

根据原始捕获量占捕获总量的百分比来划分各类群数量等级,即个体数量大于捕获总量 10.0% 以上者为优势类群,占 $1.0\% \sim 10.0\%$ 者为常见类群,不足 1.0% 者为稀有类群^[12-15]。

2 结果与分析

2.1 石门台自然保护区森林土壤无脊椎动物群落类群与数量组成

本研究共获各类土壤无脊椎动物原始个数20 045头,分别隶属于3门9纲25目89科(表1)。其中,蜱螨目个体数占捕获总数的比例最大,占各类土壤无脊椎动物捕获总数的 66.0% , 弹尾目(主要为等节跳科、长角跳科、棘跳科和疣跳科)占总数的 13.7% , 这2个目为该地区土壤无脊椎动物群落的优势类群;缨翅目(管蓟马科)和膜翅目(主要为蚁科)分别占总数的 6.8% 和 5.8% , 为常见类群。优势类群和常见类群的个体数占捕获总数的 92.3% , 成为该地区森林土壤无脊椎动物群落的基本成分。其余各类群土壤无脊椎动物虽然数量不多,属稀有类群(各占总数的 1% 以下),仅占总捕获量的 7.7% , 但种类丰富,其类群数占总类群数的 87.6% , 可见土壤动物多样性与常见类群和稀有类群有关。在森林生态系统物质与能量转化过程中,这些稀有类群也发挥了重要的作用。

2.2 天然林和人工林中土壤无脊椎动物的优势类群和常见类群

群落组成及优势成分是土壤无脊椎动物群落的重要特征之一。表2显示了石门台自然保护区天然林和人工林中土壤无脊椎动物的优势类群和常见类群的情况。从表2可以看出,无论天然林还是人工林,蜱螨目和弹尾目的等节跳科均为优势类群。但在两类样地人工林的土壤无脊椎动物中蜱螨目所占比例比天然林明显减少。在“黄洞”和“前进”样地核心区天然林中收集到的土壤无脊椎动物分别为74和55个类群,由于受人类活动干扰少,其优势类群和常见类群的组成成分基本相同。但在这两类样地的人工林中,可能是由于人类活动的频繁干扰(如刈草和扒集松针等),在一定程度上改变了人工林土壤动物的群落结构,其优势类群和常见类群的组成成分差异很大,在“前进”样地人工林中,优势类群有4个,常见类群有4个,共采获土壤无脊椎动物44个类群;而在“黄洞”样地人工林中,刈草和扒集松针活动比“前进”样地人工林更频繁,仅采获土壤无脊椎动物35个类群,优势类群有2个,常见类群有8个。

表1 石门台自然保护区土壤无脊椎动物类群与数量组成¹⁾

Tab. 1 Composition of taxa and individuals of soil invertebrate in Shimentai Nature Reserve

动物类群 invertebrate taxa	黄洞 Huangdong		前进 Qianjin		动物类群 invertebrate taxa	黄洞 Huangdong		前进 Qianjin	
	A	B	A	B		A	B	A	B
环节动物门 Annelida					宽蝽科 Vellidae	2	0	0	0
寡毛纲 Oligochaeta					啮虫目 Psocoptera				
小蚓类 Microdrile oligochaetes	3	10	7	2	虱啮科 Liposcelididae	53	34	29	18
软体动物门 Mollusca					亚啮科 Asiopsocidae	8	29	103	1
腹足纲 Gastropoda					缨翅目 Thysanoptera				
中腹足目 Mesogastropoda	0	0	3	0	管蓟马科 Phlaeothripidae	626	117	546	72
节肢动物门 Arthropoda					同翅目 Homoptera				
蛛形纲 Arachnida					叶蝉科 Cicadellidae	17	4	1	13
蜘蛛目 Araneae					粉虱科 Aleyrodidae	1	0	0	0
转蛛科 Trochanteriidae	8	0	11	4	木虱科 Psyllidae	1	0	0	1
蟹蛛科 Thomisidae	1	0	0	0	蚜科 Aphididae	3	0	0	8
拟壁钱科 Oecobiidae	0	1	3	0	飞虱科 Delphacidae	0	1	0	0
跳蛛科 Salticidae	10	1	7	5	脉翅目 Neuroptera				
栅蛛科 Hahniidae	1	0	3	0	蚁蛉科 Myrmeleontidae	0	0	2	0
花皮蛛科 Scytosidae	11	0	0	0	鞘翅目 Coleoptera				
幽灵蛛科 Pholcidae	11	0	2	0	象甲科 Curculionidae	9	0	1	0
狼栉蛛科 Zoridae	0	0	0	1	蚊甲科 Pselaphidae	8	0	9	1
光螯蛛科 Liocranidae	3	0	0	0	薪甲科 Lathridiidae	1	0	2	1
球蛛科 Theridiidae	4	1	1	0	隐翅甲科 Staphylinidae	15	1	3	1
逸蛛科 Zoropsidae	1	0	0	0	小蠹科 Scolytidae	16	1	8	35
室挡蛛科 Ctenizidae	1	0	0	0	锯谷盗科 Silvanidae	15	0	10	3
弱蛛科 Leptonetidae	6	0	0	0	粪金龟科 Geotrupidae	0	0	2	0
逍遥蛛科 Philodromidae	5	0	0	0	盘甲科 Discolomidae	13	2	0	1
管网蛛科 Filistatidae	0	0	1	0	出尾罩甲科 Scaphidiidae	0	0	1	0
卵形蛛科 Oonopidae	0	0	0	0	拟步甲科 Tenebrionidae	17	0	0	0
平腹蛛科 Gnaphosidae	4	1	2	1	锹甲科 Lucanidae	1	0	0	0
木伪蝎科 Neobisiidae	78	0	15	7	伪瓢甲科 Endomychidae	1	0	0	0
蜚蠊目 Acarina	7 710	438	4 254	831	苔甲科 Scydmaenidae	2	0	0	0
等足目 Isopoda					缨甲科 Ptiliidae	0	0	0	1
喜湿虫科 Philosciidae	1	0	0	0	小覃甲科 Mycetophagidae	1	0	0	0
卷甲虫科 Armadillidiidae	1	0	0	0	葬甲科 Silphidae	2	0	0	0
卷壳虫科 Armadillidae	6	1	42	4	鳞翅目 Lepidoptera				
气肢虫科 Trachelipidae	3	1	0	1	卷叶蛾科 Tortricidae	85	8	37	11
倍足纲 Diplopoda					蓑蛾科 Psychidae	0	0	4	0
蠕形马陆亚纲 Helminthomorpha	0	0	3	0	螟蛾科 Pyralidae	63	0	10	0
带马陆目 Polydesmida	2	0	1	0	刺蛾科 Eucleidae	5	2	10	1
唇足纲 Chilopoda					枯叶蛾科 Lasiocampidae	0	0	2	0
地蜈蚣目 Geophilomorpha	6	0	1	0	尺蛾科 Geometridae	7	0	1	1
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	11	0	3	1	蝙蝠蛾科 Hepialidae	1	2	0	0
蚰蜒目 Scutigermomorpha	8	4	2	2	双翅目 Diptera				
蜈蚣目 Scolopendromomorpha	2	0	1	0	腐木蝇科 Clusiidae	1	2	0	2
昆虫纲 Insecta					摇蚊科 Chironomidae	10	8	11	3
弹尾目 Collembola					瘦足蝇科 Micropezidae	10	0	2	4
棘跳科 Onychiuridae	208	12	97	42	扁足蝇科 Platypezidae	2	0	2	1
疣跳科 Neanuridae	58	0	40	16	瘿蚊科 Cecidomyiidae	9	19	5	8
长角跳科 Entomobryidae	188	44	189	164	粪蚊科 Scatopsidae	2	0	0	0
等节跳科 Isotomidae	1 091	56	285	138	蛾蠹科 Psychodidae	78	3	0	4
圆跳科 Sminthuridae	27	1	18	62	螺科 Ceratopogonidae	1	0	0	0
双尾目 Diplura					潜蝇科 Agromyidae	3	1	0	1
康氏科 Campodeidae	18	4	5	6	虻科 Tabanidae	1	0	1	0
蜚蠊目 Blattodea					膜翅目 Hymenoptera				
姬蠊科 Blattellidae	13	0	0	0	姬蜂科 Ichneumonidae	0	0	4	1
蜚蠊科 Blattidae	5	1	13	3	细蜂科 Proctotrupidae	0	4	12	4
半翅目 Hemiptera					缨小蜂科 Cynipidae	1	3	5	5
盲蝽科 Miridae	2	7	5	158	蚁科 Formicidae	666	39	379	34
长蝽科 Lygaeidae	4	0	0	2	合 计 total	11 273	870	6 216	1 686
猎蝽科 Reduviidae	5	7	0	0					

1)表中数据为枯枝落叶层和0~5 cm 土层土壤无脊椎动物之和;A 指天然林,B 指人工林

表 2 石门台自然保护区天然林与人工林土壤无脊椎动物的优势类群和常见类群¹⁾

Tab. 2 The dominant and common groups of soil invertebrates in natural forest and planted forest of the Shimentai Nature Reserve

类群 taxa	天然林 I		人工林 I		天然林 II		人工林 II	
	natural forest I		planted forest II		natural forest I		planted forest II	
	占总数 percent/%	丰富度 richness	占总数 percent/%	丰富度 richness	占总数 percent/%	丰富度 richness	占总数 percent/%	丰富度 richness
小蚓类 Microdrile oligochaetes	0.07	+	2.02	++	0.25	+	0.14	+
蜱螨目 Acarina	67.95	+++	47.24	+++	64.48	+++	50.75	+++
卷壳虫科 Armadillidae	0.04	+	0.02	+	1.95	++	0.39	+
等节跳科 Isotomidae	15.28	+++	10.39	+++	11.69	+++	15.29	+++
长角跳科 Entomobryidae	2.48	++	4.60	++	5.40	++	13.29	+++
棘跳科 Onychiuridae	2.37	++	2.67	++	4.59	++	4.70	++
疣跳科 Neanuridae	0.59	+			0.90	+	1.20	++
管蓟马科 Phlaeothripidae	1.42	++	8.18	++	2.61	++	13.29	+++
虱啮科 Liposcelididae	0.46	+	4.04	++	0.68	+	0.71	+
亚啮科 Asiopsocidae	0.14	+	3.55	++	0.67	+	0.13	+
小蠹科 Scolytidae	0.18	+	0.02	+	0.43	+	1.54	++
摇蚊科 Chironomidae	0.08	+	1.78	++	0.40	+	0.26	+
蚁科 Formicidae	5.05	++	6.61	++	3.09	++	3.04	++

1) 天然林 I 为“黄洞”天然林, 人工林 I 为“黄洞”人工林, 天然林 II 为“前进”天然林, 人工林 II 为“前进”人工林。+++ 表示优势类群, 占总数 10% 以上; ++ 表示常见类群, 占总数 1%~10%; + 表示稀有类群, 占总数 1% 以下

2.3 天然林与人工林土壤无脊椎动物群落多样性比较

采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和密度-类群指数评价了石门台自然保护区天然林和人工林土壤无脊椎动物群落的多样性状况(表 3)。从表 3 可以看出, 天然林和人工林土壤无脊椎动物群落类群数方面存在着显著差异($P < 0.05$),

土壤无脊椎动物类群在天然林中比人工林更丰富。利用上述 3 种指数对天然林和人工林土壤无脊椎动物群落多样性作了比较, 结果表明, 表征群落多样性的指标 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数在天然林和人工林中差异不显著($P > 0.05$)。在有些样方中, 还出现与实际情况相反的结果, 如“黄洞”样地的人工林样方 IX 和 X 是被开辟为种植大

表 3 石门台自然保护区天然林和人工林土壤无脊椎动物多样性指数比较¹⁾

Tab. 3 The comparison of diversity indices of soil invertebrates in natural forest and planted forest of the Shimentai Nature Reserve

天然林 natural forest					人工林 planted forest				
样方号 plots	类群数 taxa	H'	D	G	样方号 plots	类群数 taxa	H'	D	G
黄洞 I	44	1.361	0.614	12.390	黄洞 VI	29	1.682	0.688	3.289
黄洞 II	40	1.270	0.702	10.979	黄洞 VII	14	1.300	0.708	1.090
黄洞 III	43	1.490	0.721	13.251	黄洞 VIII	14	1.214	0.658	0.905
黄洞 IV	45	1.548	0.683	13.927	黄洞 IX	12	1.818	0.645	0.848
黄洞 V	38	1.410	0.612	9.207	黄洞 X	8	1.691	0.676	0.301
前进 I	37	1.470	0.681	15.087	前进 VI	23	1.315	0.644	3.785
前进 II	37	1.661	0.780	14.576	前进 VII	20	0.909	0.598	2.883
前进 III	28	1.001	0.613	4.451	前进 VIII	22	2.259	0.757	2.923
前进 IV	31	1.767	0.625	8.671	前进 IX	23	1.548	0.572	3.671
前进 V	26	1.104	0.616	4.003	前进 X	25	1.586	0.733	3.962
平均 ²⁾ mean	36.8a	1.408a	0.665a	10.654a	平均 ²⁾ mean	19.1b	1.532a	0.668a	2.366b

1) H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, D 为 Simpson 优势度指数, G 为密度-类群指数; 2) 天然林与人工林的同一指标平均值后有相同字母者表示经 t 检验在 0.05 水平上差异不显著

豆、木薯等旱作的农田样方,其土壤动物类群数在所有样方中是最低的,分别为12和8,但Shannon-Wiener多样性指数在“黄洞”样地各样方中却是最高的。因此,Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数一般不适合用来评价土壤无脊椎动物的群落多样性,因为土壤动物群落中某些类群(在本研究中如蜉蝣目)数量巨大时往往会掩盖了群落中其他类群的信息,造成Shannon-Wiener多样性指数值偏低^[4,16]。而密度-类群指数是基于各类群在群落中都有同等的独立性,宜在不同群落间进行同类群比较的假设。故采用密度-类群指数进行评价,能较合理地反映土壤无脊椎动物群落多样性状况^[4,5,16,17]。表3显示,在石门台自然保护区的2个样地中,天然林土壤无脊椎动物群落的密度-类群指数与人工林相比,差异显著($P < 0.05$)。表明石门台天然林土壤无脊椎动物无论在类群数还是在个体数方面群落多样性均远远高于人工林。

3 讨论

广东石门台自然保护区地处中亚热带和南亚热带过渡地带,其土壤无脊椎动物结构组成与中亚热带和南亚热带存在差异。中亚热带以衡山自然保护区为例,其优势类群为蜉蝣目(41.56%)和弹尾目(25.06%),线蚓类、膜翅目和双翅目为常见类群,共占4.36%^[1];南亚热带以鼎湖山自然保护区为例,蜉蝣目(47.78%)和弹尾目(33.38%)为优势类群,膜翅目(3.83%)、鞘翅目(3.65%)等为常见类群^[3]。由此可见,石门台、衡山、鼎湖山自然保护区的优势类群均为蜉蝣目、弹尾目。但石门台自然保护区蜉蝣目、膜翅目、鞘翅目丰富度高于衡山和鼎湖山自然保护区,而弹尾目、鞘翅目的丰富度则比鼎湖山和衡山自然保护区小。

在本研究中,常绿阔叶林的土壤动物无论在类群数还是在类群的个体数上均远远大于人工林,这主要是因为常绿阔叶林凋落物种类多,所提供的营养和化学因素丰富,且林内小气候复杂,有利于形成各种不同土壤动物的生存环境;而针叶林树种单一,凋落物不易分解,提供的营养和化学因素均相同,且林内小气候单一,形成的生存环境不适宜各种土壤动物共同生存。因而,在人工林的种植过程中,适当的间植一些阔叶树种,改变人工林树种单一的情况,使其向针阔混交林发展,有利于提供给土壤动物不同的生存环境,从而增大土壤动物的多样性。

致谢:本研究得到华南农业大学昆虫学系植保98级的梁建荣、张岩、姚嘉以及植保99级吴昌明、陈庆荣、邢望、张朝正等同学的大力协助,许再福教授协助鉴定了部分膜翅目标本,特此表示感谢!

参考文献:

- [1] 王振中,张友梅. 衡山自然保护区森林土壤动物群落研究[J]. 地理学报, 1989, 44(2): 205-213.
- [2] 尹文英. 亚热带林区土壤动物的群落结构及其动态[A]. 尹文英,张荣祖,殷绥公,等. 中国土壤动物[C]. 北京:科学出版社,2002. 70-77.
- [3] 陈茂乾,廖崇惠. 鼎湖山森林土壤动物研究: II 区系组成极其特征[J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1989, (2): 214-224.
- [4] 廖崇惠,陈茂乾. 热带人工林土壤动物群落的次生演替和发展过程探讨[J]. 应用生态学报, 1990, 1(1): 53-59.
- [5] 廖崇惠,李健雄,黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 549-554.
- [6] 廖崇惠,李健雄. 华南热带和南亚热带森林土壤动物的群落结构[A]. 尹文英,张荣祖,殷绥公,等. 中国土壤动物[C]. 北京:科学出版社,2002. 77-100.
- [7] YIN W Y. Studies on soil animals in subtropical China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1997, 62: 119-126.
- [8] 尹文英,胡圣豪,沈韞芬,等. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京:科学出版社,1998. 1-756.
- [9] 郑乐怡,归 鸿. 昆虫分类[M]. 南京:南京师范大学出版社,1999. 1-1070.
- [10] 钱迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理和方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994. 141-165.
- [11] SIMPSON S H. Measurement of diversity[J]. Nature, 1949. 163: 688.
- [12] 刘 红,袁兴中. 曲阜孔林土壤动物多样性研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 609-611.
- [13] 汤君友,赵 锐,王宗英. 岳西县来榜镇桑园土壤动物群落及其多样性研究[J]. 生物学报, 2000, 21(2): 9-13.
- [14] 钱复生. 芜湖市森林凋落物与大型土壤动物的关系[J]. 生态学杂志, 1995, 14(4): 19-24.
- [15] 侯有明,庞雄飞,梁广文. 菜田土壤节肢动物类群结构与数量动态研究[J]. 华南农业大学学报, 2002, 23(1): 27-30.
- [16] 杨效东,刘宏茂,沙丽清,等. 两种类型热带雨林土壤节肢动物群落结构及分布特征[J]. 热带植物研究, 2000, 46: 32-41.
- [17] 傅必谦,陈 卫,董晓晖,等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 215-233.

【责任编辑 李晓卉】