

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*

杨效东** 沙丽清 (中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

【摘要】 对西双版纳不同面积“龙山”片断干性季节雨林和保护区连续湿性季节雨林凋落物层土壤动物群落多样性研究表明,土壤动物群落物种丰盛度、多度和多样性的变化不存在随雨林片断化面积减小而降低的“种-面积效应”,而雨林片断化后因先锋植物(喜阳性)侵入产生的“干暖效应”,使片断化雨林凋落物增多,腐殖质、土壤有机质、N、P等元素含量增高,土壤生境条件更有利于土壤动物生存,其群落多样性指数高于连续湿性季节雨林,但2种生境土壤动物群落种-多度模型均表现为对数级模式。

关键词 “龙山” 热带雨林 土壤动物群落 多样性

文章编号 1001-9332(2001)02-0261-05 **中图分类号** S718.6 **文献标识码** A

Species composition and diversity of soil mesofauna in the 'Holy Hills' fragmentary tropical rain forest of Xishuangbanna, China. YANG Xiaodong and SHA Liqing (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223). -Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(2):261~265.

The species composition and diversity of soil mesofauna were examined in fragmented dry tropical seasonal rainforest of tow 'Holy Hills' of Dai nationality, compared with the continuous moist tropical seasonal rain forest of Nature Reserve in Xishuangbanna area. 5 sample quadrats were selected along the diagonal of 20m × 20m sampling plot, and the samples of litterfall and 0~3cm soil were collected from each 50cm × 10cm sample quadrat. Animals in soil sample were collected by using dry-funnel (Tullgren's), were identified to their groups according to the order. The H index, D-G index and the pattern of relative abundance of species were used to compare the diversity of soil mesofauna. The results showed that the disturbance of vegetation and soil resulted by tropical rainforest fragmentation was the major factor affecting the diversity of soil mesofauna. Because the fragmented forest was intruded by some pioneer tree species and the "dry and warm" effect operated, this forest had more litterfall on the floor and more humus in the soil than the continuous moist rain forest. The soil condition with more soil organic matter, total N and P, higher pH value and lower soil bulk density became more favorable to the soil mesofauna. Therefore, the species richness, abundance and diversity of soil mesofauna in fragmented forests were higher than those in continuous forest, but the similarity of species composition in fragmented forest to the continuous forest was minimal. Soil mesofauna diversity in fragmented forests did not change with decreasing fragmented area, indicating that there was no species-area effect operation in this forest. The pattern of relative abundance of species in these forest soils was logarithmic series distribution.

Key words 'Holy hills', Tropical rain forest, Soil mesofauna, Diversity.

1 引言

热带雨林是生物多样性最丰富的地区,也是受人干扰最为严重的地方。位于热带北缘的西双版纳热带雨林地区,人类社会活动使连续雨林自然生态系统片断化,残存的热带雨林片断犹如一个个“岛屿”被各种人工系统或退化生态系统所包围,形成相互隔离的格局,对生物多样性维持产生了较大的影响^[17,18]。作为傣族神山或风水林的“龙山”上残存的热带雨林成为该地区片断热带雨林的典型代表类型,在“岛屿生物学”研究中具有较高的研究价值^[8,18]。近年来,对西双版纳热带雨林“片断化效应”的研究已有不少^[3,6,8,18,19],但对种类丰富、数量极多并具有功能性作用的土壤动物群落的研究仅李朝达^[7]作过报道。本文仅对西双版纳“龙山”片断干性季节雨林的中小型土壤动物群落多样

性特征进行了比较研究,为保护、恢复和重建热带森林积累有关数据。

2 研究地区与方法

2.1 样地生境

研究样地选在西双版纳勐腊县勐仑镇的城子“龙山”和景洪县的曼养广“龙山”2个片断雨林,并将勐仑自然保护区视为连续雨林作为对照。样地位于 21°41'N, 101°25'E, 海拔 560~680m, 年均温 21.4~22.6℃, 年降雨量约 1556mm, 因受热带季风气候影响, 形成明显的干雨季之分, 雨季(5~10月)约占年降雨量的 83%, 干季(11~4月)仅占 17%左右, 样地地带性土壤为赤红壤和砖红壤, 生境情况见表 1。

* 中国科学院“九五”重大项目(KZ951-A1-04)、中国科学院特别支持项目(STZ97-1-04)。

** 通讯联系人。

1999-04-07 收稿, 1999-10-08 接受。

表1 西双版纳片断热带雨林的自然环境条件

Table 1 Natural conditions of fragmented tropical rain forest in Xishuangbanna

森林类型 Forest type	地点 Location	面积 Area (hm ²)	隔离状况 State of isolation	人为干扰 Disturbance	主要植物组成 Main plants
连续湿性 季节雨林 (对照) ¹⁾	勐仑自然 保护区	75000.0	属 1958 年建立的勐仑自然保护区的主体,面积较大,可视为“连续”热带雨林。	虽有人畜进入,但干扰很小。	番龙眼 (<i>Pometia pinnata</i>)、千果榄仁 (<i>Terminalia myricocarpa</i>)、毗黎勒 (<i>Terminalia bellirica</i>)、毛麻楝 (<i>Chukrasia tabularis</i>) 等,盖度约为 90%~95%。
片断干性 季节雨林 ²⁾	曼养广 “龙山”	20.0	已有数百年,70 年代以前为大勐龙自然保护区的一部分,以后周围全部开垦为农田和橡胶园。	人畜进入较多,干扰较大。	大叶百颜树 (<i>Gironiera subaequalis</i>)、窄叶翅子树 (<i>Pterospermum lanceaefolium</i>)、泰国芒果 (<i>Mangifera siamensis</i>)、滨木患 (<i>Arytera littoralis</i>)、箭毒木 (<i>Antiaris toxicaria</i>) 等,盖度 80%~85% 左右。
片断干性 季节雨林	城子 “龙山”	3.0	已有数百年,70 年代曾是勐仑自然保护区的一部分,现周围为次生林、铁刀木林和橡胶林。	离村寨较远,人畜进入少,干扰较小。	箭毒木 (<i>Antiaris toxicaria</i>)、粗枝崖摩 (<i>A moora dasyclada</i>)、小叶红光树 (<i>Knema globularis</i>)、滇谷木 (<i>Memecylon polyanthum</i>) 龙果 (<i>Pouteria grandiflora</i>) 等,盖度 90% 左右。

1) Continuous moistness tropical seasonal rain forest, 2) Fragmented dry tropical seasonal rain forest.

2.2 研究方法

1998 年干季 (3 月) 和雨季 (8 月), 在上述样地按 20m × 20m 各划出一取样地块, 每个取样地块按对角线法设置 5 个取样点, 每个样点按 50cm × 10cm 取凋落物及 3cm 厚度的表土, 取样面积为 2500cm², 所取凋落物及土样用干漏斗 (Tullgren 法) 分离提取中小型土壤动物 (限于条件, 湿生土壤动物未做)。标本取回后进行分类整理和数据统计, 鉴于土壤动物分类难度较大, 本文采用大类分类法^[20]进行群落组成分析, 另用 Oliver^[12]提出的对节肢动物多样性评价的快速分类法进行群落多样性分类。

2.3 数据处理

土壤动物群落多样性指标的测定, 统一采用 Shannon Wiener 多样性指数公式: $H = - \sum P_i \ln P_i$ ^[13]; Pielou 均匀性指数公式: $j = H / \ln s$ ^[13]; Simpson 优势度指数公式: $C = \sum (n_i / N)^2$ ^[13]; 密度-类群指数公式: $D \cdot G = \sum (D_i / D_{i \max}) \cdot (D_i / G_T)$ (其中, D_i 为第类群的密度; $D_{i \max}$ 为各群落中第类群的最大密度; G 为群落中类群数; G_T 为各群落所包含的总类群数, 每个类群在各群落中的最大相对密度为 1)^[9]; Jaccard 相似性指数公式: $D_s = J / (a + b - J)$ 和相异系数 = $1 - D_s$ ^[4] 进行计算, 为进一步分析土壤动物群落物种分布的结构与特征, 采用物种相对多度模型对各群落进行比较^[5]。

3 结果与分析

3.1 土壤动物群落类群与数量组成

3 块样地 2 次取样, 共获取中小型土壤动物 3106 头, 分属 11 纲 26 目 (表 2)。总体来看, 3 类林地中, 蝉蟪目均占有很高的数量比例 (40%~60%), 成为突出的优势类群, 并表现出干季多于雨季; 弹尾目在各林地数量比例为 10%~14%, 成为次优势类群, 鞘翅目、膜翅目在不同林地中组成的数量级不同, 使之仅在某一类型林地中成为优势类群 (如曼养广“龙山”林)。常见类群组成上, 3 类林地均以鞘翅目、膜翅目、拟蝎目、蜘蛛目和同翅目为主要常见类群, 而双翅目、结合目、原

尾目、蚯蚓目为次要常见类群, 其余为稀有类群, 这与李朝达 (1997) 所获结果基本一致^[7]。同时呈现出“龙山”片断干性季节雨林土壤动物群落在类群数和个体数量组成上均高于保护区连续湿性季节雨林的趋势。此外, 在优势类群组成上, 以曼养广“龙山”林占有的类群数 (4 类) 和个体数量比例 (83.84%) 为最高, 而城子“龙山”林和保护区湿性季节雨林的常见和稀有类群数量比例则相对较高 (25%~27% 左右)。

3.2 片断热带雨林土壤动物群落多样性

3.2.1 群落多样性 由于各林地小生境和人为干扰程度不同, 土壤动物类群、物种、个体数及多样性指数存在明显差异 (表 3)。就 3 类林地土壤理化性质分析, “龙山”片断干性季节林土壤有机质、水分含量、总 N、总 P 等营养成分含量均高于保护区湿性季节雨林, 而土壤动物多样性及丰盛度又与这些因子呈明显的正相关关系^[20, 21], 因而无论从多样性最为简单的测度指标——群落组成的类群数或物种数看, 还是由群落信息度量 H 指数、均匀性指数和 $D \cdot G$ 多样性指数分析, “龙山”林都高于保护区季节雨林, 而优势度指数有相反的结果, 这一结果与 Raphael^[14]对片断化森林凋落物层中甲虫和蚁类多样性研究所获结果有相似之处。对于不同季节, 不同林地土壤动物群落多样性有所变化, 其中干季以曼养广“龙山”林最高, 保护区季节雨林最低; 雨季以城子“龙山”林最高, 保护区季节雨林相应增加, 而曼养广“龙山”林则减少为最低。

3.2.2 群落结构相似性 各林地土壤动物群落结构相似性系数随季节不同而有所差异 (表 4)。干季, 3 种土壤动物群落处于中等相似水平, 而雨季处于较高相似水平。其中生境相近的 2 类“龙山”片断干性季节雨林土壤动物群落的相似性较好, 且在雨季达到极为相似水平。

表 2 西双版纳片断热带雨林土壤动物群落类群与数量组成

Table 2 Composition of groups and individuals of soil mesofauna on fragmented tropical rain forests in Xishuangbanna

类群 Groups	勐仑自然保护区 Meng L. Nature Reserve				曼仰广“龙山”林 Man Y. Holy hills forest				城子“龙山”林 Cheng Z. Holy hills forest			
	3月 March	8月 August	总数 Total	样本总数 % % of total	3月 March	8月 August	总数 Total	样本总数 % % of total	3月 March	8月 August	总数 Total	样本总数 % % of total
	蟬满目 Acarina	265	276	541	0.579	315	98	413	0.417	505	205	710
端足目 Amphipoda	0	0	0	0	4	0	4	0.004	0	0	0	0
等足目 Isopoda	0	2	2	0.002	3	0	3	0.003	1	18	19	0.016
拟蝎目 Pseudoscorpiones	2	7	9	0.01	6	11	17	0.017	20	7	27	0.023
蜘蛛目 Araneae	6	4	10	0.011	12	5	17	0.017	11	0	11	0.009
结合目 Symphyla	4	17	21	0.022	28	3	31	0.031	3	1	4	0.033
原尾目 Protura	3	0	3	0.003	15	12	27	0.027	14	9	23	0.019
弹尾目 Collembola	15	117	132	0.141	89	57	146	0.147	61	87	148	0.125
圆马陆 Sphaerotheriida	0	49	49	0.052	1	8	9	0.009	0	15	15	0.013
球马陆 Glomerida	0	16	16	0.017	0	1	1	0.001	0	20	20	0.017
双尾目 Diplura	1	0	1	0.001	1	0	1	0.001	2	2	4	0.003
等翅目 Isoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
直翅目 Orthoptera	2	0	2	0.002	2	0	2	0.002	1	0	1	0.001
缨翅目 Thysanoptera	7	1	8	0.009	14	0	14	0.014	4	0	4	0.003
鞘翅目 Coleoptera	43	48	91	0.097	17	98	115	0.116	37	51	88	0.074
膜翅目 Hymenoptera	3	26	29	0.031	36	120	156	0.158	43	30	73	0.062
鳞翅目 Lepidoptera	0	1	1	0.001	2	0	2	0.002	0	0	0	0
双翅目 Diptera	2	5	7	0.007	3	3	6	0.006	7	1	8	0.007
同翅目 Homoptera	1	9	10	0.011	2	14	16	0.016	3	3	6	0.005
革翅目 Dermaptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.001
啮虫目 Psocoptera	0	0	0	0	0	1	1	0.001	2	0	2	0.002
大蜈蚣 Lithobiomorpha	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
石蜈蚣 Lithobiomorpha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.001
地蜈蚣 Geophilomorpha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.002
蚯蚓目 Earthworm	0	0	0	0	0	3	3	0.003	0	6	6	0.005
线蚓 Nematoda	0	2	2	0.002	3	2	2	0.002	1	8	9	0.008

表 3 3 类林地土壤动物群落多样性指标与土壤生境

Table 3 Diversity index of soil mesofauna and soil factors in three plots

项目 Item	勐仑自然保护区 Meng L. Nature Reserve		曼仰广“龙山”林 Man Y. Holy hills forest		城子“龙山”林 Cheng Z. Holy hills forest	
	3月	8月	3月	8月	3月	8月
	类群总数 Groups(目)	13	14	19	15	16
个体总数 Individuals(个)	354	580	554	436	715	467
物种总数 Species(种)	72	61	78	62	83	62
H	3.467	3.500	3.769	3.375	3.578	3.527
C	0.577	0.284	0.358	0.195	0.512	0.247
J	0.392	0.623	0.539	0.692	0.427	0.644
D·G	2.822	4.801	9.687	3.899	7.427	5.495
土壤 pH Soil pH	4.08		4.35		4.6	
凋落物 Litterfall	++		+++		+++	
有机质 Organic matter(%)	1.324		2.665		2.295	
总 N Total N(%)	0.099		0.193		0.167	
总 P Total P(%)	1.024		0.044		0.065	
土壤容重 Soil bulk(g cm ⁻³)	1.89		1.11		1.23	

表 4 3 类林地土壤动物群落相似性指数比较

Table 4 Comparison of similarity indexes of soil mesofauna in three plots

样地 Plots	勐仑自然保护区 Meng L. Nature Reserve		曼仰广“龙山”林 Man Y. Holy hills forest		城子“龙山”林 Cheng Z. Holy hills forest	
	3月	8月	3月	8月	3月	8月
勐仑自然保护区			0.92		0.87	
Meng L. Nature Reserve			0.98*		0.98*	
曼仰广“龙山”林	0.08				0.94	
Man Y. Holy hills forest	0.02*				1*	
城子“龙山”林	0.13		0.06			
Cheng Z. Holy hills forest	0.02*		0.00*			

表中右上角为 D_s,左上角为 1-D_s, * 为雨季相似性指数。

3.2.3 种-多度分析 对 3 类林地土壤动物群落种-多度关系进行分析(图 1),并统计稀有种(个体数为 1 或

2 的种)和富集种(个体数大于 20 的种)在各类型森林中所占比例。结果表明,3 种土壤动物群落种-多度分布模式较为相似,群落中大多数种为少量个体数的稀有种,只有极少数种类为富集种。不同林地或不同季节,土壤动物物种个体数所占比例有差异,干季以城子“龙山”片断干性季节雨林富集种所占个体数量比为最高,雨季则以曼养广“龙山”片断干性季节雨林较高。以上结果同 Fisher^[5]提出的种-多度关系的对数级数模式要求相符,用对数级模式对 3 类林地土壤动物群落种-多度进行拟合:由 $S = -\ln(1-x)$, $N = x/(1-x)$ (S 为种数, N 为个体数) 中推出 x 。按 $nr = xr/r$ 求第 r 个个体所具有的种的期望频数,将观测频数与理论频数进行 χ^2 适合性检验(表 5)。

结果表明,3 种土壤动物群落在 2 个季节的种-多度分布用对数级数模式能够拟合。从种类数所占比例可得,各林地土壤动物群落稀有种种类所占比例为干季高于雨季、富集种所占比例则表现为雨季多于干季的趋势,多样性指数的变化与其相符,即均表现为干季高于雨季。另 平均值呈现出保护区湿性季节雨林(22.25)高于“龙山”片断干性季节雨林(21.74 左右),这与 H 指数、均匀性指数和 D·G 多样性指数结果有所差异。

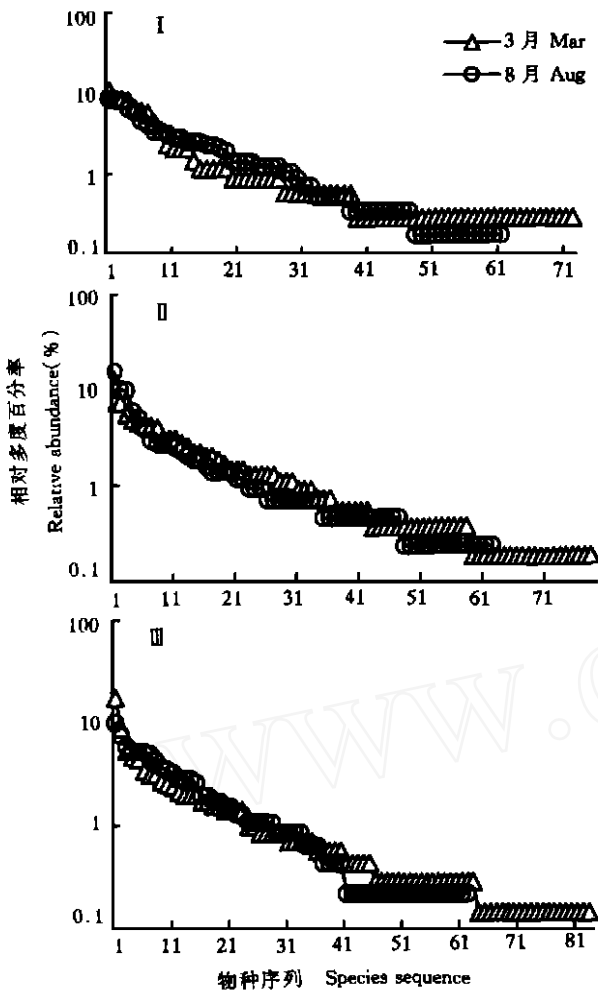


图1 3类林地土壤动物群落种-多度分布图
 Fig. 1 Species-abundance of soil mesofauna in three plots.
 . 勐仑自然保护区 Meng L. Nature Reserve, . 曼养广“龙山”林 Man Y. Holy hills forest, . 城子“龙山”林 Cheng Z. Holy hills forest.

4 讨论

西双版纳“龙山”片断干性季节雨林凋落物层中小型土壤动物群落组成以蜱螨目为主要优势类群,弹尾目为次要优势类群,这与我国亚热带森林土壤动物群落组成相近,但较我国北方温带地区长白山的中小型土壤动物组成有明显不同,长白山地区以弹尾目为主要优势类群(约占总数 55%),而螨类仅占 28%,为次要优势类群^[20].此外,该地区片断热带雨林土壤动物常

表5 3类林地土壤动物群落物种数所占比例及观测分布与理论分布拟合

Table 5 Percentages of species, and fitness between observed and expected distribution of soil mesofauna in three plots

样地 Plots	总种数 Total species		富集种数 Rich species		稀有种数 Rare species		χ^2		P			
	3月	8月	3月	8月	3月	8月	3月	8月	3月	8月	3月	8月
勐仑自然保护区 Meng L. Nature Reserve	72	61	7	7	45	24	10.99	1.36	>0.05	>0.90	27.31	17.19
曼养广“龙山”林 Man Y. Holy hills forest	78	62	8	5	36	28	3.24	2.69	>0.50	>0.80	24.75	19.75
城子“龙山”林 Cheng Z. Holy hills forest	83	62	8	8	38	36	1.14	1.45	>1.95	>0.90	24.29	19.18

() 为物种数在群落中所占%.

见类群中的膜翅目、鞘翅目在一定时期会因数量增加成为优势类群,而拟蝎目、蜘蛛目和同翅目也占有较高数量,成为主要常见类群.这一特点又与马来西亚等热带雨林的中小型土壤动物组成类似^[20].

片断化森林是一种复杂的“岛屿”生境,不同生活习性的动物对森林片断化的反应具有较大差异^[15].研究表明,鸟类、两爬、传粉性昆虫(蜜蜂、蝶类)及一些活动性较强节肢动物(蝗虫、白蚁等),需要较大的生态空间维持其物种的多样化,它们在片断化森林中存在一种明显的“种-面积”效应,即表现出随片断化森林面积的减小,其物种成分、丰度及多度减少,物种多样性降低,这主要与森林片断化导致它们的生存空间减少、食物资源短缺密切相关^[1,3,6,14~16,19].而对生活在凋落物和土壤层中、活动性较弱的土壤动物群体而言,许多类群对森林片断化的反应不存在“种-面积”效应,如甲虫、某些蚁类和中小型土壤动物,并且研究发现在面积较小的片断化森林中,甲虫、蚁类的物种丰富度、多度反而高于连续森林,但它们之间物种组成的相似性很低^[2,10,11,14,15].就本文结果看,土壤动物群落物种丰盛度、多度和多样性的变化不存在随片断化雨林面积减小的“种-面积效应”,而雨林片断化后其植被类型及小环境的改变是影响土壤动物群落多样性的主要因素.“龙山”片断化雨林由于隔离时间长(百年以上),面积小,森林植被在结构和外貌上虽保留热带季节雨林的种类组成特点,但其群落层次和结构已不完整,在植物种类组成上,有较多的非雨林种(阳性落叶树种)侵入,且个体数量较多,其生态系统内的小气候有“湿凉”向“干暖”转化的“内禀效应”存在,成为干性季节雨林^[8,18],导致凋落物增加,腐殖质和土壤层丰厚,质地松软,容重小,土壤有机质、pH、总N、总P等营养元素含量均高于保护区湿性季节雨林,形成更有利于中小型土壤动物生存繁殖的条件^[20,21],其群落多度及多样性增高.保护区连续季节雨林属沟谷湿性季节雨林,落叶树种较少,林内湿度较大,地表凋落物层不如“龙山”片断雨林丰富,加上样地坡度较大(沟谷地带),受雨水

的冲刷较强,其凋落物和腐殖质层较薄,土壤容重高,结构紧密,这对中小型土壤动物物种和个体数的分布与发展产生影响,但片断干性季节雨林土壤动物群落的稳定性是否优于保护区连续湿性季节雨林尚有待于进一步研究。

群落的相似性大小是以共有物种的多少决定的^[4],2类“龙山”林虽相距较远,但林地植被类型与小生境相似,其土壤动物群落的相似性好,群落共有的物种相对较多,相异性低,反映出生境的相似性是土壤动物群落结构相似性的基础。“龙山”片断干性季节雨林与保护区湿性季节雨林生境差异较大,土壤动物群落相似性指数则相应较低,并且这在雨量极少的干季因林内湿度差异大而显得尤为突出,而在雨季期,各林地降水量相当(饱和状态),林内湿度相差不大,又使得植被结构有所相似的3类林地土壤动物群落相似性均较高。

物种的相对多度模型是指物种对群落总多度的贡献大小,它反映了群落内种间的数量关系及其作用机制,其模型可对群落的多样性进行较好的描述^[4,5]。3种土壤动物群落种-多度分布模式较为相似,群落组成的结构趋势和物种共存于群落中的原则是:群落可容纳大量的稀有种,而只能容纳较少的富集种,符合对数级数模式。各林地 值均以干季高于雨季,与3类林地土壤动物群落稀有种和富集种种数所占比例变化相符。

参考文献

- 1 Aizen MA and Feinsinger P. 1994a. Habitat fragmentation, native insect pollinators, and feral honey bees in Argentine ' Chaco Serrano '. *Ecol Appl*, **4**: 378 ~ 392
- 2 As S. 1993. Are habitat islands islands? Woodliving beetles (Coleoptera) in deciduous forest fragments in boreal forest. *Ecography*, **16**: 219 ~ 228
- 3 Chen D-N (陈德牛), Yang L-L (杨龙龙), Zhang G-Q (张国庆). 1997. Species diversity of terrestrial mollusks in different habitats in Xishuangbanna tropical forest region. *Chin Biodiver (生物多样性)*, **5** (1): 5 ~ 13 (in Chinese)
- 4 Ding Y-Q (丁岩钦). 1994. *Mathematics Ecology of Insect*. Beijing: Science Press. 442 ~ 456 (in Chinese)
- 5 Fisher RA, Corbet AS and Williams CB. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in random sample of an animal population. *J Animal Ecol*, **12**: 1 ~ 2
- 6 Huang C-M (黄春梅), Yang L-L (杨龙龙). 1998. Influence of habitat change in the tropical rainforest on the fauna and species of Acridoidea in Xishuangbanna. *Chin Biodiver (生物多样性)*, **6** (2): 122 ~ 131 (in Chinese)
- 7 Li C-D (李朝达), Xiao N-N (肖宁年), Yang D-R (杨大荣). 1997. Comparison of the community component of soil animals on the fragments of tropical rain forest in Xishuangbanna. *Chin Zool Res (动物学研究)*, **18** (1): 45 ~ 49 (in Chinese)
- 8 Liu H-M (刘宏茂), Xu Z-F (许再富), Tao G-D (陶国达) et al. 1992. Ecological significance of Xishuangbanna Dai Nationality's Holy Hill. *Chin J Ecol (生态学杂志)*, **11** (2): 41 ~ 43 (in Chinese)
- 9 Liao C-H (廖崇惠), Li J-X (李健雄), Huang H-T (黄海涛). 1997. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region. *China Acta Ecol Sin (生态学报)*, **17** (5): 549 ~ 555 (in Chinese)
- 10 Margules CR, Milkovites GA, and Smith GT. 1994. Contrasting effects of habitat fragmentation on the scorpion *Cercophonius squama* and an amphipod. *Ecology*, **75**: 2033 ~ 2042
- 11 Martins MB. 1989. Invasao de fragmentos florestais por especies oportunistas de *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae). *Acta Amazonica*, **19**: 265 ~ 271
- 12 Oliver DI. 1996. Designing a coast-effect invertebrate survey: A test of methods for the rapid assessment of biodiversity. *Ecol Appl*, **6**: 594 ~ 607
- 13 Pielou EC. 1975. *Ecology Diversity*. New York: John Wiley & Sons Press. 1 ~ 18
- 14 Raphael KD. 1997. An overview of invertebrate responses to forest fragmentation. In: Watt AD ed. *Forests and Insect*. London: Chapman & Hall. 303 ~ 320
- 15 Robinson GR, Holt RD, Gaines MS et al. 1992. Diverse and conservation effects of habitat fragmentation. *Science*, **257**: 524 ~ 527
- 16 Souza OFF and Brown VK. 1994. Effect of habitat fragmentation on Amazonian termite communities. *J Trop Ecol*, **10**: 197 ~ 206
- 17 William FL and Richard OB. 1997. *Tropical forest remnants ecology, management, and conservation of fragmented communities*. Chicago & London: The University of Chicago Press. 485 ~ 515
- 18 Xu Z-F (许再富), Zhu H (朱 华), Liu H-M (刘宏茂) et al. 1994. The changing tendency of plant species diversity in the fragmental tropical rainforest in Southern Yunnan, China. *Chin J Plant Resour Environ (植物资源与环境)*, **3** (2): 9 ~ 15 (in Chinese)
- 19 Yang L-L (杨龙龙), Wu Y-R (吴燕如). 1998. Species diversity of bees in different habitats in Xishuangbanna tropical forest region. *Chin Biodiver (生物多样性)*, **6** (3): 197 ~ 204 (in Chinese)
- 20 Yin W-Y (尹文英), Yang F-C (杨逢春), Wang Z-Z (王振中) et al. 1992. *Subtropical soil animals of China*. Beijing: Science Press. 1 ~ 618 (in Chinese)
- 21 Yin X-Q (殷秀琴), Zhang G-R (张桂荣). 1993. Correlation between forest litter and soil macroanimals. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **4** (2): 167 ~ 173 (in Chinese)

作者简介 杨效东,男,1966年生,助理研究员,从事土壤动物生态学研究,发表论文7篇。