

文章编号: 1000-5641(2006)06-0091-07

常绿阔叶林退化群落的物种多样性 特征及影响因子分析

方晓峰, 王希华, 陈卫娟, 严 晓
(华东师范大学 环境科学系, 上海 200062)

摘要: 由于土地利用方式改变以及人为砍伐等多种原因的共同作用, 导致我国各地的常绿阔叶林均发生了不同程度的退化. 本研究从物种多样性角度出发, 首先对浙江天童常绿阔叶林及其退化群落的 α 多样性进行了对比, 进而利用逐步回归的方法, 从 9 种可能影响该地区物种多样性的因子: 海拔、坡度、坡向、用地类型、土层厚度、人类干扰强度、与自然植被的距离、同主要道路的距离以及距离村庄远近中, 筛选出主要因子, 并分析了它们对物种多样性的影响. 结果表明: (1) 常绿阔叶林的 α 多样性要显著高于退化群落; (2) 对退化群落物种丰富度影响较显著的因子主要是: 土层厚度、到自然植被的距离以及用地类型. 其中物种丰富度与土层厚度呈正相关, 与到自然植被的距离呈负相关, 而废弃的人工果园、用材林中植被的物种丰富度相对另两类用地类型要高. (3) 通过把前述 9 个因素划分为生境、景观、人类干扰三大类型后可以发现, 它们对退化群落物种丰富度的作用大小存在明显差异. 三大类因素对退化群落总体的物种多样性都有显著影响; 对于退化的针叶林来说, 主要的影响因子是生境和人类干扰; 而就退化的灌丛而言, 则主要是生境因素.

关键词: 退化群落; 物种多样性; 多元逐步回归; 环境和用地类型因子
中图分类号: Q94 **文献标识码:** A

Environmental and Land Use Factor Affecting Species Diversity within the Degraded Evergreen Broadleaved Forest Communities in East China

FANG Xiao-feng, WANG Xi-hua, CHEN Wei-juan, YAN Xiao

(Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The evergreen broadleaved forest communities in East China have been subject to extensive disturbances such as changing land-use, agricultural development and logging. To describe the character of species diversity of the degraded evergreen broadleaved forests around Tiantong National Forest Park, their α diversity indices were compared with those of nearby mature evergreen broadleaved forest communities. Multiple stepwise regression was used to deter-

收稿日期: 2006-01

基金项目: 国家自然科学基金重点研究资助项目(30130060)

第一作者: 方晓峰(1980-), 男, 硕士, 主要研究方向为恢复生态学.

通讯作者: 王希华(1964-), 男, 副教授; E-mail: xhwang@des.ecnu.edu.cn.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

mine which factors, such as elevation, aspect, slope, land use type, soil depth, human impact intensity and distance to natural vegetation, road and village, affected the species richness of degraded communities. Overall the α diversity of the evergreen broad-leaved forest communities was higher than that of the degraded communities. In the degraded communities, the depth of soil and land use type, together with distance to natural vegetation were the main factors influencing the species richness. We also found a positive correlation between the species diversity of degraded communities and soil depth, but distance to natural vegetation was negatively correlated with diversity, in abandoned orchard the species diversity was higher than that of other land use types. The nine influencing factors can be divided into three groups, which include habitat factors, landscape elements and human disturbance activities. All three groups are important in determining species richness in the degraded communities. However, habitat factors alone play an important role in contributing species richness in shrub communities, while both habitat factors and human disturbance activities are significant in the conifer forests.

Key words: degraded communities; species diversity; stepwise multiple regression; environmental and land use factors

1 引 言

常绿阔叶林作为中亚热带地区的地带性植被,对维持当地的物种多样性起着非常重要的作用。然而,由于人类活动的频繁干扰,导致其类型和数量急剧减少,取而代之的是大面积不同退化程度的次生林、灌丛和灌草丛等^[1]。这些退化群落的物种多样性特征及其影响因子如何,就成了人们所关心的问题。

Austrheim^[2]指出影响物种多样性的主要因子随着研究尺度不同,会发生变化。有关大尺度上物种多样性的分布格局及其成因存在着一系列假说,如:时间假说、空间异质性假说、竞争假说等^[3],而对于中小尺度上影响群落物种多样性的主要因素,不同学者得出的结论也不尽相同。Connell 根据其在热带雨林的工作,提出了“中度干扰假说”,认为热带雨林内的植物群落,当其处于大的干扰后的演替中期阶段,或是受到频繁或较少的轻度干扰的情况下,其物种多样性是最高的^[4]。沈泽昊等^[5]在对贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局的分析中指出,当地气候的垂直梯度和生境的局部异质性是导致物种多样性格局变异的主要因子,并认为影响物种多样性的主要因子随着研究尺度不同也会发生变化;而 Wohlgenuth^[6]在对瑞士的物种丰富度进行研究后认为,在区域尺度上环境异质性是影响物种丰富度的主要因子。另外,还有研究认为:在一些地区,多变的地形、复杂多样的生态环境为物种的生存和繁衍提供了良好的环境,这种较大的异质性,使得物种数也随之增加^[7]。

总体来看,以上结论都是基于自然群落而得出的结论,而对于退化群落来说,人类干扰则成为影响物种多样性的一个重要因素^[8]。“温和”的中等频率的干扰,由于能够给群落内物种的周转,以及外部种的侵入提供更好的机会,从而可以使群落保持较高的物种丰富度^[9, 10]。而那些高强度大面积的森林采伐和森林火灾则会破坏物种多样性^[11]。包维楷等^[12]通过调查岷江上游大沟流域的退化榛栎群落(*Corylus heterophylla-Quercus wutaishanica* comm.),认为干扰强度与群落木本层的物种多样性呈负相关,而和草本物种多样性正相关。也有研究认为:地势险峻、远离道路和人类居住地的环境,对于物种多样性的维持和保护较有益^[13],也就是小的人为干扰有利于物种多样性的维持。

对于常绿阔叶林退化群落而言, 究竟其物种多样性特征和人类干扰, 以及其他自然因子的关系如何, 还需要具体情况具体分析. 基于以上考虑, 本研究以浙江天童保存较好的常绿阔叶林及外围大面积分布的退化群落为研究对象, 在对这两类群落物种多样性对比的基础上, 重点筛选影响退化群落物种多样性的主要因子, 以期常绿阔叶林退化群落的生物多样性保护提供一些理论依据.

2 研究方法

2.1 研究地区概况

研究区域包括宁波市东钱湖镇到天童国家森林公园的所有区域, 约位于 $121^{\circ}39' \sim 121^{\circ}47' E$, $29^{\circ}48' \sim 29^{\circ}52' N$, 基本涵盖鄞州区的东吴乡、东钱湖镇等两个行政乡, 总面积 $1\ 877\ 000\ \text{hm}^2$, 有林地面积 $1\ 025\ 680\ \text{hm}^2$. 该区属于亚热带季风气候, 全年温暖湿润, 年平均气温 $16.2\ ^{\circ}\text{C}$, 最热月(7月)平均气温 $28.1\ ^{\circ}\text{C}$, 极端最高气温 $38.7\ ^{\circ}\text{C}$. 最冷月(1月)平均气温 $4.1\ ^{\circ}\text{C}$, 极端最低气温 $-8.5\ ^{\circ}\text{C}$. 全年无霜期 $237.8\ \text{d}$, $\geq 10\ ^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为 $5\ 166.2\ ^{\circ}\text{C}$, 年平均降雨量 $1\ 374.7\ \text{mm}$, 年蒸发量 $1\ 320.1\ \text{mm}^{[14]}$.

自天童国家森林公园至东钱湖镇, 地势由东南向西北逐渐降低, 区内山峰普遍不高, 海拔一般为 $200\ \text{m}$ 左右, 最高峰太白山海拔为 $653.3\ \text{m}$, 东钱湖镇西、北向毗邻平原, 地势平坦. 该地区的土壤为山地黄红壤, 成土母质为中生代的沉积岩和部分酸性火成岩以及石英砂岩和花岗岩的残积风化物. 土层厚薄不一, 一般在 $1\ \text{m}$ 以下. 其地带性植被是以栲树(*Castanopsis fargesii*)、米槠(*C. carlesii*)和木荷(*Schima superba*)为优势的常绿阔叶林.

2.2 样地调查

退化群落的调查采用典型样地调查法^[3]: 首先, 对该地区植物群落进行踏查, 然后选取具有典型特征的群落地段进行调查. 调查中亚热带常绿阔叶林物种多样性的最小面积一般定为 $400 \sim 800\ \text{m}^2$ ^[3]; 而对于亚热带次生灌丛, 其取样面积一般介于 $20 \sim 100\ \text{m}^2$ ^[15]. 本研究中所选退化植被以次生灌丛、马尾松林以及退化的常绿阔叶林为主, 同时考虑到这些退化的马尾松林及阔叶林种类比较单调, 所以调查选取的样地面积为 $10\ \text{m} \times 10\ \text{m}$. 调查时, 按 Braun-Blanquet 多盖度综合级分别记录样地中乔木层、灌木层和草本层植物种的数量, 进而对退化植被 189 个样地进行 TWIN SPAN 分类, 得出 19 个群落类型. 常绿阔叶林的样地资料, 是来自于我们历年调查所积累的资料, 当时所选择的样地面积为 $20\ \text{m} \times 20\ \text{m}$, 记录项目与退化群落相同, 为了方便与退化群落的物种丰富度进行对比、增加结论的可靠性, 我们将每个样地拆分为 $10\ \text{m} \times 10\ \text{m}$ 的小样方, 共计 106 个.

2.3 α 多样性测度

用物种丰富度来表达物种多样性较为直观、简单, 所以本次我们采用它作为测度 α 多样性的指标. 物种丰富度用单位面积的物种数表示(即物种密度), 单位为物种/ $100\ \text{m}^2$ ^[16], 公式如下:

$$E_s = \frac{S}{A},$$

其中 E_s 为物种密度, S 为物种数, A 为面积.

2.4 退化群落物种多样性主要影响因子的确定

本次研究中, 我们将可能影响群落物种多样性的要素归纳为 9 个方面, 依次为: 海拔、坡

度、坡向、土层厚度、用地类型、人类干扰强度、与自然植被的距离、与主要道路的距离以及距离村庄的远近. 其中, 坡向利用罗盘进行测定, 用度($^{\circ}$) 来表示, 以正北方作为 0° , 正东方为 90° , 即按照顺时针方向坡向数值逐渐增加, 并使用公式 $\cos(180^{\circ} - x) + 1.1$ 对坡向进行线性化, 其中 x 为前述测量的坡向数值. 我们所调查的样地都利用 GPS 确定了经纬度, 其与自然植被、村庄和主要道路的距离, 均是根据宁波地区的电子地图, 在地理信息系统软件 Arc-Gis 中进行度量的. 对人类干扰强度、用地类型以及土层厚度采用定性分级的方法. 根据调查群落现状, 将人类干扰强度划分为 4 个等级, 历史用地类型分为 3 种; 依照林业调查小班卡的记录, 将土层厚度分为 3 级, 具体分级情况见表 1.

表 1 影响物种多样性的部分因子的分级情况

Tab. 1 The gradation of some factors influence the species richness

	等级/类型	说明
人类干扰强度	1	偶有干扰
	2	轻微干扰
	3	干扰较重
	4	干扰重
用地类型	1	废弃的人工果园、用材林
	2	火烧迹地
	3	砍伐迹地
土层厚度	1	浅(< 30 cm)
	2	中(30~ 60 cm)
	3	深(> 60 cm)

对于人类干扰强度等级的划分主要以调查时群落内的现状为依据, 一级指群落内人类干扰的痕迹很少, 偶见科考、森林管理以及旅游等活动造成的影响; 二级指群落内稀疏分布伐桩, 有明显人类活动痕迹, 如采种痕迹、旅游垃圾等; 三级指林下林荫小道存在, 人类管理强度较大, 如根桩分布较多, 间或有人工栽培植物存在等; 四级指干扰强度大, 如砍伐痕迹遍布, 林下清理强度大, 凋落物稀薄等. 用地类型的分类是以群落物种组成和林内残留物为依据, 同时结合访问进行判定, 第一类指人工林、用材林和果园等废弃后形成的群落; 第二类指曾经历过火烧干扰, 但时间在 20 年以上, 植被基本恢复, 形成了较完整的群落结构; 第三类指未经历火烧, 但经历过较大强度的砍伐, 然后自然恢复的类型.

应用统计软件 SPSS 提供的多元逐步回归方法, 我们从上述要素^{*} 中筛选出对物种多样性影响较大的几个因子并建立回归方程^[17]. 其中, 由于用地类型属于多分类无序变量, 因此我们在进行逐步回归前, 先对其进行了数量化处理, 即引进只取 0 和 1 两个值的哑变量^[18]. 本文中共引入 2 个哑变量, 分别为 L_1 和 L_2 , 其中 L_1 在用地类型为 1 时取 1, 其余情况下取 0; L_2 在用地类型为 2 时取 1, 其他时候取 0. 这里我们将用地类型 3 作为对比水平, 而哑变量 L_1 和 L_2 分别代表了用地类型 1、2 和 3 相比的系数. 对于 L_1 和 L_2 , 由于其代表的是同一个变量的不同取值, 因此在分析时需要同时进入或移出方程, 即使只有部分哑变量具有统计学意义时也是如此^[19], 对于其他因子, 当其 F 统计量的相伴概率值 ≤ 0.05 时, 我们将其

* 其中, 对海拔、坡度、到自然植被、主要道路和村庄的距离分别取其常用对数(以 10 为底).

引入回归方程^[18].

本地的针叶林和灌丛群落同属于常绿阔叶林受到干扰后退化的群落类型, 但它们受到的干扰和恢复的条件却是有差异的: 针叶林中的杉木和部分马尾松主要是依靠人工种植, 所以在针叶林恢复过程中, 人类管理的痕迹比较重; 相比之下, 灌丛群落则基本是自然恢复的结果. 所以, 此次我们还特别以针叶林所包括的 7 个群落类型、80 个样地和灌丛所涵盖的 5 个群落类型、59 个样地为例, 筛选出对这两个群落物种多样性有显著影响的因子, 以研究它们在恢复过程中, 物种多样性维持机制上的差异.

3 研究结果

3.1 常绿阔叶林及其退化群落 α 多样性的对比

在本研究中, 常绿阔叶林原生群落与退化群落的取样面积都达到了最小面积的要求, 所得数据基本能反映这些群落的主要特征. 通过对两者物种丰富度进行均值-方差分析显示: 成熟常绿阔叶林群落的物种丰富度为 30.45 种/100 m², 要明显高于退化群落($F = 7.074, P < 0.001$) (表 2).

表 2 退化群落的物种丰富度

Tab. 2 Species richness of the degraded communities

种/100 m²

外貌类型	群落类型	物种丰富度	样地数
次生灌丛	欆木-白栎 <i>Loropetalum chinense-Quercus fabri</i>	15.89	9
	乌饭-四川山矾 <i>Vaccinium bracteatum-Symplocos setchuensis</i>	18.13	16
	青冈-木荷 <i>Cyclobalanopsis glauca-Schima superba</i>	19.68	19
	箬竹-化香 <i>Indocalamus tessellatus-Platyarya strobilacea</i>	23.57	7
	野桐-黄檀 <i>Mallotus tenuifolius-Dalbergia hupeana</i>	22.63	8
针阔混交林	构树-朴树-马尾松 <i>Broussonetia papyrifera-Celtis tetrandra ssp. sinensis-Pinus massoniana</i>	22.80	5
	枫香-香樟-马尾松 <i>Liquidambar formosana-Cinnamomum camphora-Pinus massoniana</i>	24.00	6
针叶林	木荷-马尾松 <i>Schima superba-Pinus massoniana</i>	18.20	10
	欆木-马尾松 <i>Loropetalum chinense-Pinus massoniana</i>	17.00	16
	钓樟-马尾松 <i>Lindera rubronervia-Pinus massoniana</i>	22.80	5
	石栎-木荷-马尾松 <i>Lithocarpus glaber-Schima superba-Pinus massoniana</i>	19.09	11
	枫香-马尾松 <i>Liquidambar formosana-Pinus massoniana</i>	23.00	17
	香樟-椴树-马尾松 <i>Cinnamomum camphora-Melia azedarach-Pinus massoniana</i>	22.70	20
	赤杨叶-杉木 <i>Alniphyllum fortunei-Cunninghamia lanceolata</i>	29.80	5
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	19.83	6
	朴树-榔榆 <i>Celtis tetrandra ssp. sinensis-Ulmus parvifolia</i>	16.60	5
	枫香-化香 <i>Liquidambar formosana-Platyarya strobilacea</i>	24.83	6
阔叶林	香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	24.75	4
	青冈-木荷 <i>Cyclobalanopsis glauca-Schima superba</i>	21.71	14

3.2 影响物种丰富度的主要因子

(1) 通过逐步回归分析发现: 土层厚度、到自然植被的距离以及 L1 对退化群落的物种丰富度有较显著影响($P < 0.01$), L2 对物种丰富度的影响不显著($P = 0.609$), 回归方程为

$$\text{物种丰富度} = 21.65 + 2.76 \times \text{土层厚度等级} + 3.72 \times L1 + 0.98 \times L2 - 2.47 \times \lg(\text{到自然植被距离}).$$

可以看出,就退化群落而言,其物种丰富度和土层厚度正相关,同到自然植被的距离负相关,而废弃的人工果园、用材林中植被的物种丰富度相对另两类用地类型要高。

(2) 对于针叶林的分析发现: $L1$ 和土层厚度成为对物种丰富度影响较明显的因子 ($P < 0.01$), $L2$ 对物种丰富度的影响不显著 ($P = 0.603$). 其中土层厚度与它成正相关关系, 3 类用地类型中, 废弃的人工果园、用材林内植被的物种丰富度相对较高. 回归方程为

$$\text{物种丰富度} = 12.15 + 2.72 \times \text{土层厚度等级} + 5.29 \times L1 + 1.58 \times L2.$$

(3) 对灌丛物种丰富度影响较显著的因子比较少, 只有土层厚度 ($P < 0.01$). 不难看出, 随着土层厚度的增加, 物种丰富度也呈增加趋势. 回归方程为

$$\text{物种丰富度} = 12.17 + 3.75 \times \text{土层厚度等级}.$$

4 讨 论

4.1 九个影响因子之间的关系

通过对本项研究中所选用的 9 个可能影响群落物种丰富度的因子之间的相关性进行分析(表 3), 我们发现海拔和坡度与其余大部分因子都显著相关 ($P < 0.01$), 可以看作是影响群落物种多样性的两个综合性因子, 代表性较差; 而土层厚度、坡向和用地类型、人类干扰强度这几个因子则可能具有相对较好的代表性, 因为它们与其余因子的相关性较低, 对由于这些因子变化所导致的物种多样性改变, 可以给出较为明确的解释。

表 3 九个影响群落物种多样性因子之间的相关性

Tab. 3 The correlation among the 9 factors influencing the species diversity of the communities

	海拔	坡度	坡向	人类干 扰强度	用地类型		到自然植 被的距离	到主要道 路的距离	到村庄 的距离	土层 厚度
					$L1$	$L2$				
海拔	1	0.487(**)	0.258(**)	-0.044	-0.105	-0.088	-0.369(**)	0.216(**)	0.263(**)	-0.153(*)
坡度		1	0.195(*)	-0.001	-0.139	-0.151(*)	-0.314(**)	-0.014	0.022	-0.239(**)
坡向			1	0.081	-0.080	0.029	-0.128	-0.015	0.051	-0.012
人类干扰强度				1	-0.102	0.237(**)	0.042	-0.133	0.104	-0.121
用地类型	$L1$				1	0.312(**)	-0.059	0.077	-0.007	
	$L2$					0.049	-0.159(*)	-0.094	0.031	
到自然植被的距离							1	-0.324(**)	-0.270(**)	-0.035
到主要道路的距离								1	0.468(**)	-0.051
到村庄的距离									1	0.000
土层厚度										1

* 皮尔森相关系数; ** 相关性显著度在 0.01 水平(双尾检验); * 相关性显著度在 0.05 水平(双尾检验)

* Pearson Correlation; ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

4.2 各因子对所研究群落物种多样性影响机制的分析

随着常绿阔叶林向灌丛、灌草丛的退化, 其 α 多样性总体呈现下降趋势^[20, 21]. 对于退化群落物种多样性而言, 土层厚度是一个重要的影响因子. 土层厚度的变化可以看作是人类干扰强度、方式、频度和持续时间综合作用的结果, 由于上述各因素的变化都会引起水土流失, 因此, 土层厚度变化是人类干扰所引起生态系统退化的综合体现. Lundholm 等^[22] 也指出,

土层越厚,物种丰富度也越高。另外,就退化群落整体而言,距离自然植被越远则其物种丰富度越低,这主要是由于植物有性繁殖成功的可能性在很大程度上依赖于散落种子的质量和数量^[23],而相对于那些距离自然植被较远的群落,成熟群落当中的种子则更易扩散到离它较远的植物群落中,因此该类群落中的物种丰富度也就较高。

把影响退化群落物种多样性的因素划分为生境、景观、人类干扰三种类型进行分析后,可以发现,这三种类型对于退化群落物种丰富度的作用大小不同,存在明显差异。影响退化群落总体物种多样性的因素依次为生境因子中的土层厚度、景观因子中的到自然植被的距离和人类干扰因子中的用地类型;单就针叶林来说,主要是生境因子中的土层厚度和人类干扰因子中的用地类型影响着其群落内的物种多样性;而就灌丛而言,则只有生境因子中的土层厚度因素对其内的物种多样性产生影响。生境因素对各种退化群落的物种多样性都具有重要作用,对于针叶林,因为人们主要把它作为用材林来护养,所以它所受到的是一种中等强度的持续管理,所以景观因素所起作用不大,但由于管理者认真程度的差异,使得其物种多样性受人类干扰影响较大;而此次所研究的灌丛群落,由于它们基本都是在受到人类的高强度干扰后被废弃,经自然恢复形成的,因此这时生境因素就成了影响其物种多样性的主要因素,而用地类型的影响就不显著了。

致谢:对闫恩荣博士在论文修改过程中给予的帮助表示感谢。

[参 考 文 献]

- [1] 王希华,闫恩荣,严晓,等.中国东部常绿阔叶林退化群落分析及恢复重建研究的一些问题[J].生态学报,2005,25: 1796-1803.
- [2] AUSTRHEIM G,ERIKSSON O. Plant species diversity and grazing in the Scandinavian mountains-patterns and processes at different spatial scales[J]. Ecography, 2001, 24: 683-695.
- [3] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2001: 549-588.
- [4] SHEIL D, BURSLEM D. Disturbing hypotheses in tropical forests[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2003, 18: 18-26.
- [5] 沈泽昊,方精云,刘增力,等.贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析[J].植物生态学报,2001,25: 724-732.
- [6] WOHLGEMUTH T. Modelling floristic species richness on a regional scale: a case study in Switzerland[J]. Biodiversity and Conservation, 1998(7): 159-177
- [7] 温远光. 大明山不同环境梯度植被的物种多样性研究[J]. 广西农业大学学报, 1998, 17: 134-137.
- [8] CADOTTE MW, FRANCK R, REZA L, et al. Tree and shrub diversity and abundance in fragmented littoral forest of southeastern Madagascar[J]. Biodiversity and Conservation, 2002(11): 1417-1436.
- [9] SCHWILK DW, KEELEY JE, BOND WJ. The intermediate disturbance hypothesis does not explain fire and diversity pattern in fynbos[J]. Plant Ecology, 1997, 132: 77-84.
- [10] BROWN KA, GUREVITCH J. Long-term impacts of logging on forest diversity in Madagascar[J]. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 2004, 101: 6045-6049.
- [11] 温远光,赖家业,和太平,等.人类活动对大明山区生物多样性的影响[J]. 广西农业大学学报, 1998, 17: 189-194.
- [12] 包维楷,陈庆恒,刘照光.退化植物群落结构及其物种组成在人为干扰梯度上的响应[J]. 云南植物研究, 2000, 22: 307-316.
- [13] VEACH R, LEE D, PHILLIPPI T. Human disturbance and forest diversity in the Tansa Valley, India[J]. Biodiversity and Conservation, 2003(12): 1051-1072.

(下转第116页)

- [3] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [4] 尹文英. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [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研究[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 549-555.
- [6] 殷秀琴. 东北森林土壤动物研究[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [7] 杨效东, 刘宏茂, 沙丽清, 等. 西双版纳 2 种热带雨林类型土壤节肢动物群落结构及分布特征[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 343-348.
- [8] 徐国良, 周国逸, 莫江明. 南亚热带退化植被重建中土壤动物群落变化[J]. 动物学研究, 2006, 27(1): 23-28.
- [9] 易兰, 由文辉, 宋永昌. 天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中的土壤动物群落[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 466-473.
- [10] 佟富春, 王庆礼, 刘兴双, 等. 长白山次生林演替过程中土壤动物群落的变化[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1531-1535.
- [11] ANDERSON J M. Inter- and intra-habitat relationships between woodland Cryptostigamata species diversity and diversity of soil and litter microhabitats[J]. Oecologia, 1978, 32: 34-348.
- [12] 王振中, 张友梅, 邢协加. 土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(6): 892-897.
- [13] 宋永昌, 王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995.
- [14] 丁圣彦. 浙江天童常绿阔叶林演替系列栲树和木荷成为优势种的原因[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2001, 31(1): 79-83.
- [15] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [16] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类(上、下)[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [18] 刘光崧, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [19] SWIFT M J, HEAL O W, ANDERSON J M O. Decomposition in Terrestrial Ecosystems[M]. London: Blackwell Scientific Publications Press, 1979.
- [20] TIAN G, BRUSSAARD L, KANG B T. Biological effects of plant residues with contrasting chemical composition under humid tropical conditions: effect on soil fauna[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1993, 25(6): 731-737.
- [21] GHOLZ H L, WEDIN D A, SMITHERMAN S M, et al. Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition[J]. Global Change Biology, 2000(6): 754-765.
- [22] MATTHEW W W, ZOU X M. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantation on a disturbed site in Puerto Rico[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 170: 161-171.
- [23] 潘开文, 何静, 吴宁. 森林凋落物对林地微生境的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 153-158.

(上接第 97 页)

- [14] 宋永昌, 王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995: 1-2.
- [15] 金小华. 安徽黟县次生灌丛的聚类 and 排序[J]. 同济大学学报, 1990, 18: 85-94.
- [16] 马克平. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994(2): 162-168.
- [17] HOLL K D, CRONE E E. Applicability of landscape and island biogeography theory to restoration of riparian understorey plants[J]. Journal of Applied Ecology, 2004, 41: 922-933.
- [18] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 232-233.
- [19] 张文彤. SPSS11 统计分析教程(高级篇)[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002: 79-84.
- [20] 温远光. 常绿阔叶林退化生态系统恢复过程物种多样性的发展趋势与速率[J]. 广西农业大学学报, 1998, 17: 93-106.
- [21] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13: 529-532.
- [22] LUNDHOLM J T, LARSON D W. Relationships between spatial environmental heterogeneity and plant species diversity on a limestone pavement[J]. Ecography, 2003, 26: 715-722.
- [23] KNOGGE C, ECKHARD W H, EMERITA R, et al. Seed dispersal of *Asplundia peruviana* (Cyclanthaceae) by the primate *Saguinus fuscicollis* [J]. Journal of Tropical Ecology, 1998, 14: 99-102.