

北京百花山森林群落的结构多样性研究

郑景明 赵秀海 张春雨

(北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室)

摘要: 该文采用点-四分法结合分层盖度估计方法测定了百花山几种森林群落的结构多样性, 构建了结构多样性的指标, 并分析比较了不同群落结构多样性差异。在以往工作的基础上, 提出林分尺度的结构多样性可以采用垂直结构复杂性指标和水平结构异质性指标来表示。结构多样性指标和常用群落指标的相关分析结果说明, 结构多样性指数与树高多样性和乔木层和灌木层物种多样性显著相关, 能很好地解释森林群落的结构特征。不同群落的结构多样性计算结果表明, 处于演替后期的辽东栎天然林比演替初期的白桦林有较高的结构多样性; 不同树种的人工林结构发育速度不同, 抚育往往能增大人工林水平结构异质性而减少垂直结构复杂性。

关键词: 结构多样性, 百花山, 森林, 抚育

中图分类号:S718.54⁺² 文献标识码:A 文章编号:1000-1522(2007)01-0007-05

ZHENG Jing-ming; ZHAO Xiu-hai; ZHANG Chun-yu. Structural diversity of forest community in Baihuashan Mountain, Beijing. *Journal of Beijing Forestry University* (2007) 29(1) 7-11 [Ch, 22 ref.]
Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

Structural diversity of forests in Baihuashan Mountain, Beijing, was surveyed through plotless method combined with branch and leaf coverage estimation in different layers, and new structural indices were constructed, calculated and compared among different communities. On the basis of previous work, structural diversity of forest community in stand scale was described by vertical complexity index and horizontal heterogeneity index. In correlation analysis among the new indices and other common-used biodiversity indices, the new indices were closely related to tree height inequality index and Shannon-Wiener index of tree and shrub layer, which indicated that the new indices were good at indicating structural diversity in different forests in Baihuashan Mountain. The results show that, in natural forests, structural diversity of pioneer community is much lower than that of late successive community; while in plantations, structural diversity is determined by the development stage and tree species, and tending would increase the horizontal heterogeneity and decrease the vertical complexity.

Key words structural diversity, Baihuashan Mountain, forests, tending

森林群落的结构和多样性是我们认识森林生态系统功能, 并对其进行可持续管理的基础。很多微观尺度的研究表明, 空间上异质的群落能够容纳更多的物种, 尤其是森林中的动物、植物的物种多样性常常与生境的多样性有关^[1-2], 森林群落结构与截留降水量、改善群落小环境、促进林木生长、增强群落的稳定性等群落功能特征关系密切^[3-4]。群落的空间结构与群落的物种丰富度往往难以明确区分, 两者往往同时对许多生态过程产生影响, 而根据现代森林生

态学的理论, 森林在发育过程中结构有明显的变化规律, 因此可以将群落结构特征作为发育阶段的判定标准, 同时也可以作为群落多样性的替代指标^[5-6], 并据此设计相应的生态系统管理方法, 以促进林分结构发育, 群落生物多样性的提高, 从而更好地实现其各类生态系统服务功能^[7-8]。因此对于森林群落结构多样性的研究有着重要的理论和现实意义。

本文采用点-四分法, 结合分层盖度对百花山的几种主要群落类型进行了结构多样性的调查, 在

收稿日期: 2005-12-23

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目: 北京市教委项目(GJSYS100220402)、北京市重点学科资助项目(XK100220555)。

第一作者: 郑景明, 博士。主要研究方向: 森林生态研究。电话: 010-62338100 Email: zhengjm@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京林业大学资源与环境学院。

以往工作的基础上^[9],对森林群落的结构多样性指标进行了改良和计算,并通过不同样地结构多样性指标的对比分析其变化规律,为该地区的森林经营管理提供理论依据.

1 研究地区自然概况与研究方法

1.1 研究地区自然概况

百花山位于北京西郊,东经 $115^{\circ}30' \sim 115^{\circ}38'$,北纬 $39^{\circ}49' \sim 39^{\circ}53'$,属于太行山脉北端,是北京西山的组成部分.该地区为典型的大陆性季风气候,冬季寒冷晴燥,夏季炎热,年降水量超过700 mm,主要集中在6—8月.土壤分为3类,海拔1 900 m以上为山地草甸土,1 200~1 900 m为山地棕壤,1 200 m以下为山地褐土^[10].

百花山地区的原始天然植被是典型暖温带落叶阔叶林,但由于长期的人为破坏,原始植被几乎不复

存在,现在看到的多为天然次生林和人工林.该地区的主要天然森林群落类型包括白桦(*Betula platyphylla*)林、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林、山杨(*Populus davidiana*)林、胡桃楸林(*Juglans mandshurica*)林等,人工林主要为华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)林、油松(*Pinus tabulaeformis*)林等^[11].

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查方法

在研究地区设立样地,每块样地面积为 $3\ 600\text{ m}^2$,采用点-四分法结合目测分层盖度的方法测定群落的结构多样性指标.同时在样地内设立1块 600 m^2 典型样方,对乔木进行每木检尺作为对照.本次研究调查的5块样地基本情况如表1(林分特征指标根据典型样方调查数据计算).

表1 调查样地的基本特征

TABLE 1 Basic characteristics of sampling plots

样地号	群落类型	坡向	坡度/(°)	密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均树高/m	经营历史
1	白桦天然林	西北坡	5	1100	20.6	16.8	
2	辽东栎天然林	西南坡	35	783	16.6	10.7	
3	华北落叶松人工林	东北坡	30	750	18.5	14.6	1975年造林,1991年抚育
4	油松人工林	东北坡	20	800	20.2	10.5	1975年造林,1991年抚育
5	华北落叶松人工林	北坡	15	1 033	19.2	12.8	1969年造林

具体调查方法如下.在选定样地中平行设立4条样线,样线间距离15 m,每条样线6个点,样点间距离为10 m.共计调查24个点,每个点分4个象限测定距离点中心最近的1株胸径大于4 cm的乔木,记录物种、胸径、树高、冠幅、枝下高.每个点同时沿样线设立1个 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的灌木样方和2个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的草本样方,分别测定灌木和草本的物种、数量、高度、盖度.同时每个点为中心设立1个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的临时小样方,目测分层盖度.具体方法为:在以临时小样方为底部的三维空间中,按照 $0 \sim 0.5\text{ m}$ 、 $0.5 \sim 1.5\text{ m}$ 、 $1.5 \sim 5.0\text{ m}$ 、 $5.0 \sim 12.0\text{ m}$ 、 $>12.0\text{ m}$ 分为5个高度层次,分别对应草本层、灌木层、更新层、演替层和主冠层,两人目测各个层次的枝叶投影总盖度.将测定的分层盖度百分比估计值按照如下标准整理为半定量值:盖度 $<5\%$,值为1;盖度 $5\% \sim 25\%$,值为2;盖度 $25\% \sim 50\%$,值为3;盖度 $50\% \sim 75\%$,值为4;盖度 $>75\%$,值为5,供进一步分析^[9].

1.2.2 数据处理方法

1)样地的结构多样性指数计算.将样地的结构多样性分为两个方面.

垂直方向的复杂性主要是指不同高度层次上的枝叶密度差异,采用24个样点的枝叶分层盖度加权和的平均值计算,计算公式^[9]为:

$$C_V = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} V_i \quad (1)$$

式中, C_V 为样地的垂直结构复杂性指数, V_i 为第*i*个样点的垂直盖度加权和,可用下式计算.

$$V_i = \sum_{j=1}^5 CS_j \cdot CW_j \quad (2)$$

式中, CS_j 为临时小样方中*j*层的盖度半定量值, CW_j 为该层次的盖度权重.

水平方向上的异质性主要表征在整个样地上不同样点间植被盖度的差异程度.整个样地的5个层次相当于有5个属性指标(类似于5个物种),每个指标有24个样本值,样地的整体结构异质性则为所有样点对($C_{24}^2 = 276$)间的相异系数的平均值.本文采用欧氏距离作为不同高度层次的盖度差异指标,计算公式^[12]为:

$$C_H = \frac{1}{C_{24}^2} \sum_{i=1}^{24} d_{jk} \quad (3)$$

式中, C_H 为样地的水平结构异质性指数, d_{jk} 为样点*j*和样点*k*间的欧氏距离.

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (x_{ij} - x_{ik})^2} \quad (4)$$

式中, x_{ij} 和 x_{ik} 为两个样点的不同层次高度半定量值.

2)样地的其他多样性指数的计算.采用Shannon-Wiener指数公式计算各样地的乔木层、灌木

层、草本层的物种多样性指数,计算公式^[13]为:

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (5)$$

式中, H 为 Shannon-Wiener 指数, P_i 为第 i 种物种个数占全部物种个数的比值.

采用 Gini 指数计算样地所有乔木的树高不均等性.Gini 指数是样地中所有个体间某一测定指标成对比较的差异绝对值的算术平均,其大小范围为 0~1. 它能很好地表征森林群落的树高多样性^[14~16]. Gini 指数的计算公式为:

$$G = \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i (n-1)} \sum_{i=1}^n (2i-n-1) X_i \quad (6)$$

式中, G 为样地树高的 Gini 指数, X_i 为树高值, i 为将树木按高度从小到大排序后的顺序, n 为树木个体总数.

Gini 指数是目前成功应用于树高不均等性测度的极少数指标之一,本文用以表示样地中测定的全部乔木的高度指标的不均匀性,也即树高多样性.

数据处理采用 Excel 和 SPSS 11.0 进行.

2 结果与分析

2.1 群落结构多样性指数的计算

以往的研究表明,采用点-四分法,结合各点的分层盖度估计,可以较好地说明天然林群落的结构多样性及人为干扰对结构多样性的影响^[9]. 分层盖度是一种对植被在水平面上覆盖程度的定性估计方

法,已经被改良用于森林垂直结构的评价乃至景观尺度的生境质量评价^[7,17]. 本文将其用于森林调查及经营管理时对群落结构的一种简便的测度方法,并在以往研究基础上,对表征群落的结构多样性的指数进行改良.

我们以样地 2 为例,说明本文提出的森林群落结构多样性指数的计算过程. 通过踏查百花山地区不同森林群落的基本高度及分层情况,发现多数群落的主冠层和灌木层、草本层高度范围基本一致,因此调查时可以统一规定各层高度,并使其基本对应于群落的基本层次,即主林冠层、演替层、更新层、灌木层、草本层. 随后按式(1)计算 C_V , 各高度层的权重值采用层次高度除以样地乔木平均高得到,最高层高度采用最高树高与层高下限之差,以体现不同群落的优势种的高度差异. 根据公式计算得到样地 2 的各样点的分层盖度加权和,再求算 24 个样点的平均值,得到样地 2 的垂直结构多样性指数 C_V 为 4.294. 水平异质性指数的计算,也是基于分层盖度的半定量值. 因为每个样点有 5 个层次的枝叶盖度数据,相当于每个点有 5 个属性值,按照公式计算每对样点间欧氏距离,共计算 276 对样点(因数据量巨大,在此不列出各点对欧氏距离的具体数值),求算平均值,得到 C_H 为 2.291.

根据以上方法计算 5 个群落样地的结构多样性指数(见表 2).

表 2 5 块样地的结构多样性指数及其他多样性指数值
TABLE 2 Structural diversity indices and other diversity indices of the five sample plots

多样性指标	白桦天然林	辽东栎天然林	落叶松人工林	油松人工林	落叶松人工林
垂直复杂性(C_V)	2.883	4.294	3.650	3.794	3.820
水平异质性(C_H)	1.668	2.291	2.360	2.549	1.970
树高多样性(G)	0.099	0.153	0.100	0.112	0.130
乔木层多样性(H_t)	0.546	0.801	0.613	0.563	0.683
灌木层多样性(H_s)	2.203	1.140	2.257	1.981	1.800
草本层多样性(H_q)	2.360	2.447	2.332	2.189	2.331

2.2 不同指数的相关性分析

由于目前国内对于乔木群落的结构多样性指数研究文献不多,为分析上述结构指标与其他常用群落多样性指标之间的关系,同时还计算了各样地的一些常用的群落多样性指标,主要包括乔木层、灌木层、草本层的物种多样性指数(Shannon-Wiener 指数),样地的树高 Gini 指数,即树高多样性指数(G),见表 2. 对上述指数进行秩相关分析(Spearman 相关系数),并进行 t 检验,结果见表 3.

从相关分析结果看,垂直结构复杂性与树高多样性显著相关($P<0.01$). 由于垂直结构复杂性指数 C_V 可以很好地表征群落的高度上的分层情况,

而 Gini 指数也是对群落高度上的分异特征的描述,因此两者的高度相关也很容易理解. 目前关于植株高度多样性的测度指标得到广泛应用的很少, Gini 指数受到很多人的肯定,在此可以认为是一个森林乔木层次多样性的重要参考标准,但因其只计算了乔木的高度不均等性,而没有采用盖度方面的信息,与 C_V 在含义上还有一些差异. C_V 和 G 指数都与乔木多样性指数正相关($P<0.05$),与灌木多样性指数负相关($P<0.05$),从另一个侧面表明了两者基本体现了相同的群落结构特征,即垂直方向上树木枝叶密度的差异. 因为在 C_V 计算公式中,权重与层次相对高度成正比,因此主要体现的是乔木层的复

杂性,而复杂的乔木层必然影响到下面灌木层的发育,乔木层多样性和灌木层的多样性之间相关系数也达到-0.7正说明了这个问题,而水平结构异质性指数与草本多样性指数相关系数为0.5,则说明草本多样性与林中空隙或小环境差异具有一定关系。而其他各指标之间基本不存在相关关系。

表3 不同多样性指标的相关系数

TABLE 3 Coefficients of correlation among six diversity indices

	C_V	C_H	G	H_t	H_s	H_q
垂直复杂性(C_V)	1.00					
水平异质性(C_H)	0.20	1.00				
树高不均等性(G)	1.00**	0.20	1.00			
乔木层多样性(H_t)	0.90*	0.1	0.90*	1.00		
灌木层多样性(H_s)	-0.90*	0.1	-0.90*	-0.70	1.00	
草本层多样性(H_q)	0.10	-0.50	0.10	0.30	-0.20	1.00

注:**为在0.01水平上极显著相关,*为在0.05水平上显著相关。

2.3 不同森林类型的结构多样性分析

根据5块样地的结构多样性指标数据(表2),分别对比不同的天然林和不同干扰程度的人工林的结构差异,分析百花山地区4类森林群落的结构多样性变化规律。我们首先比较样地1和样地2,两者同为天然林,但是作为演替后期的辽东栎林,其垂直结构的复杂性和水平结构的异质性都超过演替初期的白桦群落,尽管白桦林的乔木已经生长得相当大,其平均胸径和平均树高都超过辽东栎,乔木密度也高于后者(见表1)。总体上说,在本地区森林演替过程中,由早期阳性树种为优势种的先锋群落生长较快,密度也较大,但是群落结构相对简单;而演替后期群落以中性阔叶树为主,生长速度较慢,密度较小,群落结构相对复杂。从表2中可以看出辽东栎林的树高Gini指数为0.153,而白桦林仅为0.099,表明白桦林中多数乔木个体高度均匀,而辽东栎林乔木个体高度差别很大。乔木层的物种多样性指数对比说明了同样的趋势。相对乔木层而言,白桦林的灌木多样性要比辽东栎林高很多,但这可能与林下光、土壤等环境条件有关。

百花山地区是京西的绿色屏障,该地区种植的华北落叶松及油松人工林初植密度较大,幼树一般定植株行距离为1.5 m×1.5 m,建成之后就成为公益林,除了自然稀疏导致的林木死亡外,几乎没有采伐过,抚育的强度也不大,只是清除病腐木,生长不良木等。随着时间的流逝,少量阔叶树侵入人工林,导致群落的垂直复杂性升高。3个人工林样地的垂直结构复杂性比白桦林还要高,正是树木种植较密,阔叶树逐渐侵入的体现。

抚育对于群落的结构有一定影响。对比抚育过的样地3和未进行抚育的样地5的结构多样性指标和其他指标,虽然林龄稍有差异,但是从林木密度可

以看出,样地3由于进行了抚育,树木数量减少,垂直结构复杂性下降,而水平方向上的异质性却由于抚育而增大,表明人工林水平结构受自然侵入阔叶树种的数量影响明显。样地3同样地4相比,样地4的两项结构多样性指标都超过落叶松林,虽然存在抚育的影响,但是由于该区域不同林分抚育间伐方法差别不大,所以两者的结构差异更大程度上是物种的生活习性的体现。油松生长相对较慢,喜光性也不如落叶松,导致两者在大密度下树木分化方面出现一定的差异。相同时间内,不同人工林群落类型的结构发育程度不同,油松林似乎比落叶松林更易于形成多层次的复杂结构。综合考虑 C_V 、 C_H 、 G 指标,从整体上看,人工林群落随着时间的增长,加上抚育间伐等人工干扰,人工林的结构多样性可以达到或接近演替初期天然次生林的水平,但是还不能达到演替后期顶极群落的结构复杂性水平。通常认为演替后期群落稳定性高,空间异质性也比较大。从文中数据看出,人工抚育往往降低垂直结构的复杂性,而增大群落的水平方向的异质性,但对比人工林和白桦林及辽东栎林的结构多样性指标可以说明,仅仅水平上的结构异质性增加并不一定意味着结构的优化和稳定。

3 讨论

本文采用枝叶的分层盖度值作为森林结构多样性指标的计算基础,有其他常规指标不可比拟的优势和特点。枝叶高度多样性指标常用于估计鸟类生境的质量^[1],植物群落的枝叶高度层次结构对群落中的昆虫数量和种类的影响超过群落的物种组成的作用^[2];从森林涵养水源的功能方面考虑,垂直结构复杂的群落具有更高的保留降水,防止水土流失的功能^[4];因此,枝叶的分层盖度估计值可以用来表达森林群落的结构多样性,而物种多样性仅仅反应了群落结构多样性的某一方面特征。对长白山原始阔叶红松林和次生林的研究已经证明,采用点-四分法结合样点的分层盖度测定,通过盖度和层高的加权求和样点间盖度差异的相异性指标平均,构建的垂直结构复杂性指标和水平结构异质性指标,可以很好地表示原始天然林和次生林的结构多样性,较物种多样性指数能更准确地反应由于人为干扰引起的森林群落结构变化^[9, 18]。本文对在华北地区采用点-四分法(24点)和典型样地法(600 m²)进行不同群落的结构调查,从调查样地面积及点数方面满足以往的取样经验^[10-11],两种方法都达到了典型取样的要求,对两种取样方法的群落相似性系数计算结果也验证了这一结论(计算过程略)。

以往对森林群落结构的研究主要集中在垂直方向上的高度分级及盖度复杂性方面^[4,19-20],而对群落的水平异质性研究不多。然而,森林群落在小尺度上的结构特征标志之一就是存在林隙和局部小生境差异,忽略水平空间上的异质性必然难于全面描述群落的结构特征^[21]。同时,垂直高度的划分也通常采用等距离划分的方式,与自然群落的层次分布存在一定的差异,因此受到学术界的质疑。因为不同自然群落的高度分层不同,而且不同层次的物种数量受群落特征影响明显^[22]。本文采用接近群落自然分层的方式划分高度层次,并采用枝叶盖度而不是物种方面的信息来构建群落结构多样性指数,具有更强的可比性和通用性。当然,群落的高度分层还与森林发育阶段有关,在最新的森林发育理论中提出了森林不同发育阶段的层次划分标准^[5-6]。因此,最好的方式还应当尽量考虑群落类型和发育阶段而制定相应的高度划分标准,考虑到本研究的取样区域的植被特征和工作量限制,进一步研究有待以后进行。

参 考 文 献

- [1] MACARTHUR R H, MACARTHUR G W. On bird species diversity [J]. *Ecology*, 1961, 42(4): 594-598.
- [2] 高宝嘉,张执中,李镇宇.封山育林对昆虫群落结构及多样性稳定性影响的研究[J].生态学报,1992, 12(1): 1-7.
- GAO B J, ZHANG Z Z, LI Z Y. Study on the influence of the closed forest on the structure, diversity and stability of insect community [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, 12(1): 1-7.
- [3] O'HARA K L, LATHAM P A, HESSBURG P, et al. A structural classification for inland northwest forest vegetation [J]. *Western Journal of Applied Forestry*, 1996, 11(3): 97-102.
- [4] 陈晓德,李旭光,王金锡.绵阳官司河流域长江防护林的群落高度级结构分析[J].植物生态学报,1997, 21(4): 376-385.
- CHEM X D, LI X G, WANG J X. The plant community highness class construction of Yangzi River shelter forest in Guansi River Valley, Mianyang City [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21 (4): 376-385.
- [5] OLIVER D C, LARSON C L. *Forest stand dynamics* [M]. Oxford: John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [6] KOHM A K, FRANKLIN J F. *Creating a forestry for the 21 st Century—The science of ecosystem management* [M]. Washington, D C: Island Press, 1996.
- [7] LAHDE E, LAIHO O, NOROKORPI Y. Diversity-oriented silvicultures in boreal zone of Europe [J]. *Forest Ecology and Management*, 1999, 118(2): 223-243.
- [8] BORDELON M A, MCALLISTER D C, HOLLOWAY R. Sustainable forestry: Oregon style [J]. *Journal of Forestry*, 2000, 75(1): 49-54.
- [9] 郑景明,罗菊春.长白山阔叶红松林结构多样性的初步研究 [J].生物多样性,2003, 11(4): 295-302.
- ZHENG J M, LUO J C. Structural diversity of broadleaved-Korean pine forest in Changbai Mountain [J]. *Biodiversity Science*, 2003, 11(4): 295-302.
- [10] 潘家华.京西百花山地区森林环境梯度与植物群落[J].植物生态学与地植物学报,1988, 12(1): 22-30.
- PAN J H. Study on forest environmental gradients and plant communities in Baihuashan, Beijing [J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1988, 12(1): 22-30.
- [11] 刘明旺,任宪威.北京百花山植物种间相关性和植被数量分类[J].北京林业大学学报,1992, 14(4): 77-84.
- LIU M W, REN X W. Plant interspecific correlation and a vegetation numerical classification of Mount Baihua in Beijing [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1992, 14(4): 77-84.
- [12] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2005.
- ZHANG J T. *Quantitative ecology* [M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [13] 马克平.生物群落多样性的测度方法[M]/中国科学院生物多样性委员会主编·生物多样性研究的原理与方法.北京:中国科学技术出版社,1994: 141-165.
- MA K P. Measuring methods for community diversity [M]/ Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences. *Principles and methodologies of biodiversity studies*. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 141-165.
- [14] WEINER J, SOLBRIG O. The mean and measurement of size hierarchies in plant populations [J]. *Oecologia*, 1984, 61(2): 334-336.
- [15] DIXON P M, WEINER J. Bootstrapping the gini coefficient of inequality[J]. *Ecology*, 1987, 68(6): 1548-1551.
- [16] LATHAM P A, ZUURING H R, COBEL D W. A method for quantifying vertical forest structure [J]. *Forest Ecology and Management*, 1998, 104(1): 157-170.
- [17] DRAPEAU P, LADUC A, GIROUX J, et al. Landscape-scale disturbances and changes in bird communities of boreal mixed-wood forests[J]. *Ecological Monograph*, 2000, 70(3): 423-444.
- [18] 罗菊春,王庆锁,牟长城,等.不同干扰程度下长白山阔叶红松林的物种多样性[J].林业科学,1997, 33(4): 498-503.
- LUO J C, WANG Q S, MU C G, et al. Plant diversity of *Pinus koraiensis* forests under disturbance in Changbai Mountains of China [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, 33(4): 498-503.
- [19] 臧润国,杨彦承,蒋有绪.海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究[J].植物生态学报,2001, 25 (3): 270-275.
- ZANG R G, YANG Y C, JIANG Y X. Community structure and tree species diversity characteristics in a tropical montane rain forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 270-275.
- [20] 宋萍,洪伟,吴承祯,等.中亚热带丝栗栲次生林群落高度级分析[J].应用与环境生物学报,2003, 9(5): 460-465.
- SONG P, HONG W, WU C Z, et al. Highness class structure of *Castanopsis fargesii* secondary forest in the middle subtropics [J]. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 2003, 9(5): 460-465.
- [21] FRANKLIN J F. Ecological science: A conceptual basis for FEMAT [J]. *Journal of Forestry*, 1994, 92(4): 50-56.
- [22] 植声.关于《海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究》一文中几个问题的讨论[J].植物生态学报,2001, 25(3): 381-384.
- ZHI S. Discussion on some issues in “Community structure and tree species diversity characteristics in a tropical montane rain forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island” [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 381-384.

(责任编辑 赵 勃)