

DOI: 10.5846/stxb201411232324

黄甫昭, 丁涛, 李先琨, 郭屹立, 王斌, 向悟生, 文淑均, 李冬兴, 何运林. 弄岗喀斯特季节性雨林不同群丛物种多样性随海拔的变化. 生态学报, 2016, 36(14): - .

Huang F Z, Ding T, Li X K, Gou Y L, Wang B, Xiang W S, Wen S J, Li D X, He Y L. Species diversity for various associations along an altitudinal gradient in the karst seasonal rainforest in Nonggang. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(14): - .

弄岗喀斯特季节性雨林不同群丛物种多样性随海拔的变化

黄甫昭^{1,2}, 丁涛^{1,2}, 李先琨^{1,2,*}, 郭屹立^{1,2}, 王斌^{1,2}, 向悟生^{1,2}, 文淑均^{1,2},
李冬兴^{1,2}, 何运林^{1,3}

1 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 桂林 541006

2 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站, 凭祥 532699

3 广西师范大学生命科学院, 桂林 541002

摘要: 为研究北热带喀斯特季节性雨林不同群丛物种多样性特征及其随相对海拔变化, 在对广西弄岗 15 ha 北热带喀斯特季节性雨林样地进行群丛划分的基础上, 运用丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数对处于不同相对海拔高度群丛的物种多样性以及不同群丛乔木层、亚乔木层和灌木层的物种多样性进行比较。结果表明弄岗喀斯特季节性雨林各群丛的多样性指数存在极显著差异 ($P < 0.01$), 各群丛类型的物种多样性指数的顺序为: 枝花流苏树-广西牡荊-蚬木群丛 > 齿叶黄皮-黄梨木-蚬木群丛 > 山石榴-广西牡荊-蚬木群丛 > 南方紫金牛-苹婆-中国无忧花群丛 > 垂茉莉-苹婆-广西棋子豆群丛 > 割舌树-闭花木-蚬木群丛 > 米仔兰-闭花木-蚬木群丛 > 对叶榕-苹婆-董棕群丛; Patrick 丰富度指数、Shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数在中坡以下 (弄岗样地相对海拔 76.3 m 以下) 随相对海拔变化规律符合“中间高度膨胀”理论, 即处于该地段中部群丛的多样性高, 相对海拔较低和较高的群丛的多样性低; 而中坡以上 (弄岗样地相对海拔 76.3 m 以上) 多样性随相对海拔增高而增大; 群丛各层次多样性与热带山地雨林一致, 与亚热带喀斯特常绿阔叶林截然相反, 呈现出乔木层 > 亚乔木层 > 灌木层。这些结果表明地形空间异质性导致的水热差异影响着北热带喀斯特季节性雨林物种多样性, 相对海拔低、水热条件较好的中、下坡乔木多样性高, 相对海拔较高、条件恶劣的中、上坡亚乔木、灌木多样性较高, 所以在对喀斯特地区水热条件恶劣的中、上坡地带进行植被恢复时, 应更多选择亚乔木、灌木。

关键词: 喀斯特季节性雨林; 物种多样性; 丰富度; 均匀度; 相对海拔

Species diversity for various associations along an altitudinal gradient in the karst seasonal rainforest in Nonggang

HUANG Fuzhao^{1,2}, DING Tao^{1,2}, LI Xiankun^{1,2,*}, GOU Yili^{1,2}, WANG Bin^{1,2}, XIANG Wusheng^{1,2}, WEN Shujun^{1,2}, LI Dongxing^{1,2}, HE Yunlin^{1,3}

1 Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China

2 Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang 532699, China

3 College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541002, China

基金项目: 国家自然科学基金 (31270469, 31300359, 31360151, 31500342); 国家科技支撑计划 (2011BAC09B02); 广西自然科学基金 (2014GXNSFBA118081, 2012GXNSFAA053068, 2013GXNSFBA019076)

收稿日期: 2014-11-23; **网络出版日期:** 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiankunli@163.com

Abstract: Based on the association classification of northern tropical karst seasonal rainforest in Nonggang plot, species diversity for all associations, trees, sub-trees, and shrub layers along an altitudinal gradient were evaluated using the indices of species richness, diversity, and evenness. The species diversity indices were significantly different among associations ($p < 0.01$). The species diversity of various associations decreased in the following order: the *Chionanthus ramiflorus*, *Vitex kwangsiensis*, and *Excentrodendron tonkinense* association > the *Clausena dunniana*-*Boniodendron minius*-*Excentrodendron tonkinense* association > the *Catunaregam spinosa*-*Vitex kwangsiensis*-*Excentrodendron tonkinense* association > the *Ardisia thyrsiflora*-*Sterculia monosperma*-*Saraca dives* association > the *Clerodendrum wallichii*-*Sterculia monosperma*-*Cychidendron guangxiensis* association > the *Walsura robusta*-*Cleistanthus sumatranus*-*Excentrodendron tonkinense* association > the *Aglaia odorata*-*Cleistanthus sumatranus*-*Excentrodendron tonkinense* association > the *Ficus hispida*-*Sterculia monosperma*-*Caryota obtusa* association. The Patrick, Shannon, and Pielou indices indicated a “mid-altitude bulge” phenomenon below the middle slope (relative altitude < 76.3 m in the Nonggang plot); the species diversity of the associations located at middle altitudes was higher than those of associations at lower and higher altitudes. However, these indices increased as the relative altitude above the middle slope increased (i.e., when the relative altitude was greater than 76.3 m in the Nonggang plot). Species diversity indices for various layers decreased as follows: tree layer > sub-tree layer > shrub layer. This is similar to the pattern observed in tropical montane rain forests but contrary to that of subtropical karst evergreen broad-leaved forests. Differences in water and temperature reflect spatial habitat heterogeneity at various altitudes and influence the species diversity in northern tropical karst seasonal rainforests. The species diversity of trees was higher in relatively lower altitudes, which are characterized by beneficial water and temperature conditions. However, the observed species diversity of sub-trees and shrubs was higher for relatively higher altitudes characterized by harsh habitat conditions. Hence, sub-trees and shrubs are suitable for vegetation restoration in habitats for karst hills at high altitudes.

Key Words: Karst seasonal rainforests, species diversity, richness index, evenness index, relative altitude

我国喀斯特分布面积约占国土面积的 1/3,是世界上喀斯特分布面积最广的国家,主要分布在以云贵高原为中心的贵州、云南、广西、重庆等地,该区是全球三大喀斯特集中分布区中面积最大、岩溶发育最强烈的地区,也是石漠化最严重和生态环境最脆弱的地区之一^[1]。喀斯特地区生态系统脆弱,环境容量小,抗干扰能力差,植被遭到破坏后地表土壤流失迅速,部分区域甚至出现石漠化^[2]。如何利用喀斯特地区原生植被治理喀斯特地区石漠化,成为近年来我国众多学者的关注焦点。

原生性喀斯特森林是喀斯特石漠化地区生态重建的重要参考系,深入研究原生性喀斯特森林的群落特征,对揭示其生态系统的运行规律,指导植被恢复具有重要意义。多年来,学者们对喀斯特原生性森林开展了各方面的研究,蒋国芳^[3]、宋同清^[4]、侯满福^[5]、张忠华^[6]等对我国亚热带喀斯特常绿落叶阔叶混交林群落物种组成、多样性特征等开展了研究,Polak、Brewer、Felfli 分别在印度尼西亚、伯利兹和巴西中部对热带喀斯特森林的植物多样性进行了研究^[7-9]。但不同气候带的喀斯特森林具有不同的区系成分、结构和外貌^[10],热带、亚热带喀斯特森林的研究结果在北热带喀斯特季节性雨林不一定适用。

北热带喀斯特季节性雨林(tropical karst seasonal rainforest)是我国北热带喀斯特山地具有地带性植被特征的地域性植被^[11],该植被分布区内广泛分布着峰丛、槽谷、洼地等地形地貌,小生境复杂多样^[2],群落结构也复杂多变、物种多样性从峰丛至洼地变化剧烈。截止目前,关于北热带喀斯特季节性雨林物种多样性特征及其从洼地至峰丛相对海拔变化规律还鲜有研究,仅有的报道也只是在物种组成特征或在植被分类研究中进行概述^[12-15]。本文以弄岗 15 ha 北热带喀斯特季节性雨林样地的调查数据为基础,在对样地进行群丛划分的基础上,采用丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数对不同群丛的物种多样性及其随海拔变化进行研究,揭示各群丛物种多样性特征及其随相对海拔变化规律,为弄岗北热带季节性雨林的生物多样性保护和喀斯特退化生态系统的植被恢复提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

弄岗国家级自然保护区位于我国广西壮族自治区龙州县东边、宁明县北边(106°42′28″—107°04′54″E, 22°13′56″—22°33′09″N),保护区呈西北-东南长条状分布,总面积 10,080 ha。该区为热带季风气候,每年有 7 个月平均气温达 22℃,最冷月平均气温 13℃,年最高气温 37—39℃,≥10℃的积温为 7,344—7,930℃,无霜期可达 351d 以上。年平均降水量为 1,150—1,550mm。土壤主要有黑色石灰土和棕色石灰土^[16]。

保护区内植物资源极为丰富,有蕨类植物和种子植物 172 科 709 属 1,454 种,其中有包括金花茶(*Camellia petelotii*)、蚬木(*Excentrodendron tonkinense*)、金丝李(*Garcinia paucinervis*)等国家珍稀濒危植物 33 种,广西重点保护野生植物 73 种,广西特有植物 101 种,喀斯特(岩溶)特有植物 278 种。被子植物以大戟科、茜草科、蝶形花科、禾本科、菊科等泛热带性质(或世界广布)科为优势^[14,17]。

该区属于喀斯特“峰丛-洼地”地貌,从洼地到山顶的绝对高度一般只有 200—300m,但水热条件差异很大,植被垂直变化很明显。从低海拔往高海拔,包含了 3 种主要生境类型:(1)洼地及其边缘,主要分布有喜湿耐阴性强的种类,如海南风吹楠(*Horsfieldia hainanensis*)、东京桐(*Deutzianthus tonkinensis*)、中国无忧花(*Saraca dives*)等;(2)坡地中部,主要分布有蚬木、肥牛树(*Cephalomappa sinensis*)、闭花木(*Cleistanthus sumatranus*)等旱生性较强的植物种类;(3)山顶及其周围,主要以细叶谷木(*Memecylon scutellatum*)、毛叶铁榄(*Sinosideroxylon pedunculatum*)、米念芭(*Tirpitzia ovoidea*)为主的山顶矮林^[18]。

1.2 样地设置与数据收集

弄岗样地位于弄岗保护区弄岗片核心区弄姆皇,地理位置 22°25′N、106°57′E,样地东西长 500 m,南北宽 300 m。样地包含一个小型山峰和一个较完整的洼地,相对海拔高差只有 190m,但生境异质性强,包括了从山顶到洼地完整的“峰丛-洼地”生境类型系列。样地山顶岩石裸露度高,气候干热,洼地伴有季节性水淹,气候阴湿,是桂西南地区“峰丛-洼地”地貌的典型代表。依照 CTFS 全球森林生物多样性监测规范^[19],整个样地用全站仪划分为 1,500 个 10 m×10 m 的样方(为使后续研究结果能和其他样地进行比较,在进行数据分析时采用 CTFS 统一的 20 m×20 m)。调查时,用铝牌标记并测量样方内所有胸径≥1cm 的木本植物,记录其种名、胸径、坐标及生长状况。样地于 2011 年底完成第一次调查工作,获得样地第一次植被及地形因子数据(图 1)。

样地包含了山峰和洼地,地形变异很大,海拔范围 180—370m,凹凸度从 -5.0m 到 12.7m,坡度从 5.6°—68.0°,坡向从 0.7°—358.1°。样地内胸径≥1cm 的木本植物有 223 种,隶属于 56 科 157 属,独立个体总数为 68,010 株,包括分枝、萌枝在内的活体个数为 95,471 株^[16]。

1.3 各群丛分布及其特征

黄甫昭等^[15]根据各样方物种重要值和地形因子,采用多元回归树方法将整个样地划分 8 个群丛,并对各群丛进行命名,各群丛名称、分布情况及主要特征分别见表 1、图 2、表 2。群丛划分具体方法和步骤详见黄甫昭等^[15]文献。

1.4 数据分析

1.4.1 物种多样性测度

根据样地各物种的平均胸径和最大胸径,结合样地调查过程中积累的经验,将所调查物种划归 3 个层次:

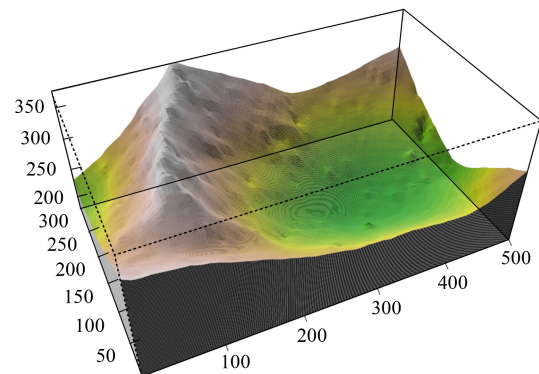


图 1 弄岗样地的三维地形图。

Fig.1 Topography of the Nonggang plot

样地东西长 500 m,南北宽 300 m,海拔 180—370 m^[15]

表 1 弄岗样地 8 类群丛的名称^[15]

Table 1 The name of eight associations in the Nonggang plot

代号 Codes	群丛名称 Association
A	对叶榕-苹婆-董棕群丛 Asso. <i>Ficus hispida</i> - <i>Sterculia monosperma</i> - <i>Caryota obtusa</i>
B	南方紫金牛-苹婆-中国无忧花群丛 Asso. <i>Ardisia thyrsoiflora</i> - <i>Sterculia monosperma</i> - <i>Saraca dives</i>
C	山石榴-广西牡荊-蚬木群丛 Asso. <i>Catunaregam spinosa</i> - <i>Vitex kwangsiensis</i> - <i>Excentrodendron tonkinense</i>
D	垂茉莉-苹婆-广西棋子豆群丛 Asso. <i>Clerodendrum wallichii</i> - <i>Sterculia monosperma</i> - <i>Cychidendron guangxiensis</i>
E	米仔兰-闭花木-蚬木群丛 Asso. <i>Aglaia odorata</i> - <i>Cleistanthus sumatranus</i> - <i>Excentrodendron tonkinense</i>
F	割舌树-闭花木-蚬木群丛 Asso. <i>Walsura robusta</i> - <i>Cleistanthus sumatranus</i> - <i>Excentrodendron tonkinense</i>
G	枝花流苏树-广西牡荊-蚬木群丛 Asso. <i>Chionanthus ramiflorus</i> - <i>Vitex kwangsiensis</i> - <i>Excentrodendron tonkinense</i>
H	齿叶黄皮-黄梨木-蚬木群丛 Asso. <i>Clausena dunniana</i> - <i>Boniodendron minius</i> - <i>Excentrodendron tonkinense</i>

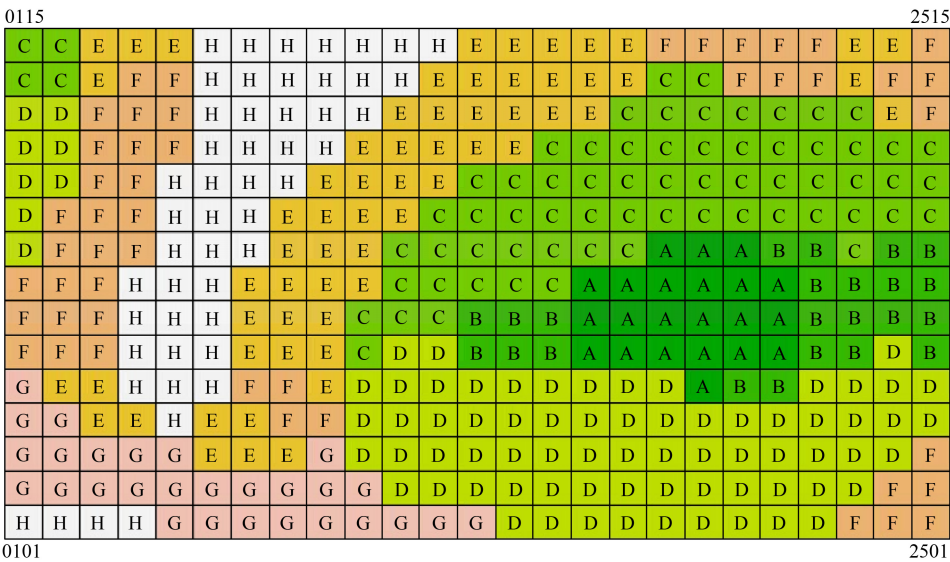


图 2 弄岗样地群丛分布图

Fig.2 Map of the association in the Nonggang plot

A—H 表示 8 类群丛^[15]，见表 1，以下图表相同

表 2 弄岗样地各群丛结构特征和环境特征

Table 2 Characteristics of structure and environment of eight associations in the Nonggang plot

群丛 Ass.	样方数 Number of plot	相对海拔/m Relative altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	物种数 Number of species			
					群丛整体 Association	乔木层 Tree layer	亚乔木层 Subtree layer	灌木层 Shrub layer
A	22	<12.9	<31.5	谷底	27	13	7	7
B	23	12.9—44.6	<31.5	半阳坡、阳坡	26	11	8	7
C	68	44.6—76.3	>31.5	阳坡	32	16	10	6
D	77	44.6—76.3	>31.5	阴坡	31	15	10	6
E	61	76.3—135.3	31.5—41.2	半阴坡	29	14	11	4
F	47	76.3—135.3	>41.2	半阳坡	30	14	12	4
G	28	76.3—135.3	<41.2	垭口	38	19	12	6
H	49	>135.3	>41.2	山顶	34	11	15	7

乔木层、亚乔木层和灌木层。基于群丛划分结果,分别计算群丛所包含样方整体及样方各层片多样性指数,并分别求算它们的平均值,得到各群丛整体及各层片的平均多样性指数和标准误。根据前人对各种多样性指数的应用和评价^[20-22],本文选用以下 4 个常用的指数。

Patrick 指数:

$$R = S$$

(1)

Shannon 指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

(2)

Simpson 指数:

$$D = - \sum_{i=1}^s \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

(3)

Pielou 指数:

$$J_{sw} = H' / \ln S$$

(4)

式中, S 为样方内的物种数; p_i 为物种 i 在样方内的相对多数; N 为样方内为所有物种的多度之和; N_i 为样方内第 i 个种的多度。

1.4.2 各群丛的差异性

比较不同群丛多样性指数差异时,首先检验不同群丛生物多样性指数的正态性及方差齐性,如果多样性指数具有正态性而方差又齐性,则使用单因素方差分析进行检验,并用 Duncan 的方法进行多重比较;反之则使用 Kruskal-Wallis 进行检验,并用 Wilcoxon Rank Sum Tests 进行多重比较。数据分析、统计使用 R3.0、OriginPro 8.6 和 Excel 完成。

2 结果与分析

2.1 群丛多样性及其与相对海拔的关系

由各群丛多样性指数变化图(图 3)可以看出,Patrick 丰富度指数、Shannon 指数和 Pielou 指数几乎呈一样的倒“W”型变化,处于中坡以下(弄岗样地相对海拔 76.3m 以下)群丛(群丛 A、B、C、D),这 3 个指数随海拔增高呈“中间高,两头低”即处于该地段中部的群丛的多样性高,相对海拔较低和较高的群丛的多样性低;中坡以上群丛(群丛 E、F、G、H)这 3 个指数随着相对海拔升高而增大。而 Simpson 指数呈相反的“W”型变化趋势,中坡以下群丛 Simpson 指数呈“两头高,中间低”;中坡以上群丛 Simpson 指数随着海拔升高而减小。其中,群度指数的变化丛 G、H、C 的 Patrick 指数较高(分别为 37.64、34.12、31.78),群丛 B 和 A 的最低(分别为 26.26、26.64),其余群丛处于中间位置。而图 3b、d 表明群丛 G、H 的 Shannon 指数、Pielou 指数最高,群丛 A、E 的最低,其余群丛居中。图 3c 则呈现出相反的规律,Shannon、Pielou 指数最低的群丛 A、E, Simpson 指数最高,Shannon、Pielou 指数最高的群丛 G、H, Simpson 指数最低。

表 3 弄岗样地各群丛物种多样性指数的 Kruskal-Wallis 检验
Table 3 Kruskal-Wallis test for the species diversity indices of eight associations in the Nonggang plot

多样性指数 Diversity indices	χ^2	p.value	多样性指数 Diversity indices	χ^2	p.value
Patrick 指数 Patrick index	59.761	1.68×10^{-10}	Shannon 指数 Shannon index	83.723	2.39×10^{-15}
Simpson 指数 Simpson index	89.636	1.47×10^{-16}	Pielou 指数 Pielou index	77.755	3.95×10^{-14}

表 4 不同群丛物种多样性指数差异
Table 4 The different of species diversity of eight types of associations

群丛类型 Associations	Patrick 指数 Patrick index	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 指数 Pielou index
A	26.6363 ABa	2.2412 Aa	0.7710 Aa	0.6818 Aa
B	26.2608 Aa	2.5555 ABa	0.8742 Bb	0.7863 ABcd
C	31.7794 BCDbc	2.6094 Bb	0.8711 Bb	0.7587 Abc
D	31.2987 ACbc	2.5523 ABa	0.8615 Bb	0.7450 Ab
E	29.2166 ABab	2.3296 Aa	0.7851 Aa	0.6934 Aa
F	29.9791 ABCab	2.4965 ABa	0.8476 ABab	0.7371 Aab
G	37.6428 Dd	2.9318 Cc	0.9099 Cc	0.8116 Bd
H	34.1224 CDcd	2.8363 Cc	0.9034 Cc	0.8057 Bd

同一列不同大小写字母分别表示差异经过 wilcoxon 检验达到极显著 ($P < 0.01$) 和显著水平 ($P < 0.05$)

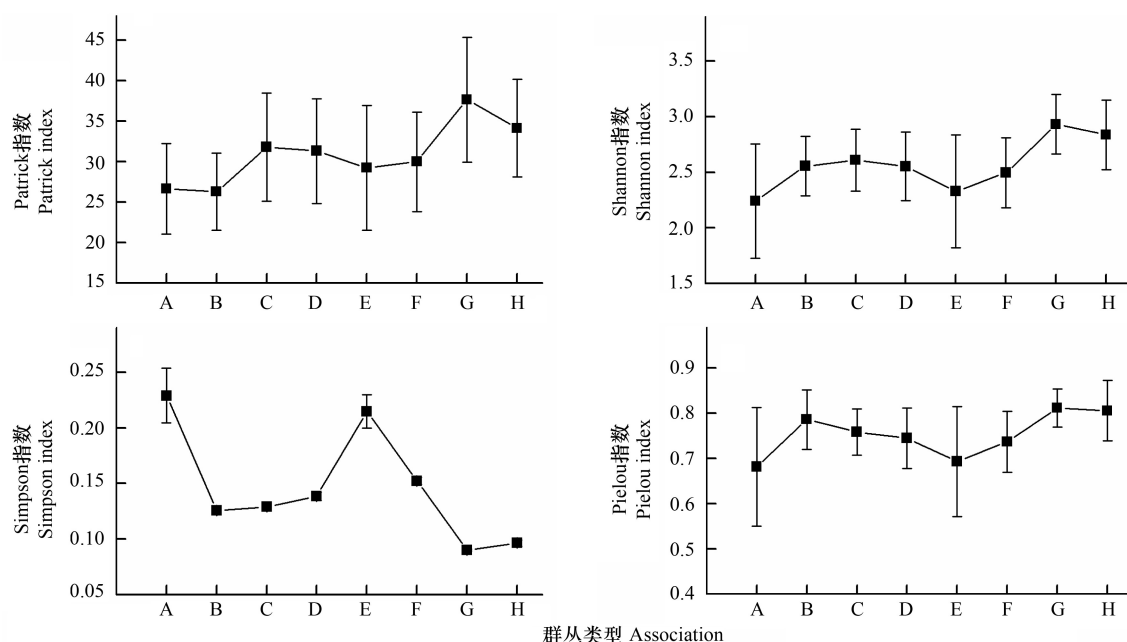


图3 弄岗样地各群丛物种丰富度指数、多样性指数和均匀

Fig.3 Variation of richness index, diversity index and evenness index of eight associations in the Nonggang plot

对各群丛多样性指数进行 Kruskal-Wallis 检验表明,各群丛的 Patrick 指数、Shannon 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数都呈极显著差异(表3),进一步的 Wilcoxon 多重比较(表4)表明,8个群丛的多样性排序为:G > H > C > B > D > F > E > A。呈现出处于喀斯特“峰丛-洼地”垭口的群丛(群丛G)的物种多样性最高,其次为处于山顶的群丛(群丛H),然后是处于坡面中下部的群丛(群丛C、B、D),次末的为坡面中上部的群丛(群丛F、E),最低的是处于谷底的群丛(群丛A)。

群丛间多样性差异呈现出空间相邻群丛的差异小于空间相离群丛。空间相离的群丛即使多样性差异不明显,但物种组成差异很大。如表1、表4所示,群丛A、E的各指数都没有显著差异,但各层的优势种却截然不同,群丛A乔木层、亚乔木层的优势种分别为董棕、苹婆,群丛E的分别为蚬木、闭花木;而空间相邻的A、B、D群丛虽然个别指数存在差异,但它们亚乔木层的优势种都为苹婆。

2.2 群丛各层次多样性及其与相对海拔的关系

由群丛各层次 Patrick 和 Shannon 指数变化(图4a、b)可以看出,大部分群丛乔木层的 Patrick 和 Shannon 指数大于亚乔木层,只有群丛H乔木层 Patrick 指数低于亚乔木层,群丛E、H的乔木层 Shannon 指数低于亚乔木层;同时,亚乔木层的 Patrick 丰富度指数和 Shannon 指数大于灌木层,只有群丛B的 Shannon 指数例外。此外,亚乔木层的 Patrick 和 Shannon 指数值呈现随相对海拔增高逐渐增高的变化趋势,其他层次的没有明显的变化规律。

由群丛各层次 Simpson 指数变化可以看出,乔木层的 Simpson 指数低于其他两个层次的,只有群丛E、H的高于亚乔木层。灌木层的 Simpson 指数普遍高于亚乔木层和乔木层,只有群丛B的低于亚乔木层。同时,亚乔木层的 Simpson 指数呈现出随相对海拔增高逐渐降低变化趋势。

群丛各层次 Pielou 指数变化表明,不同层次 Pielou 指数呈交叉性变化,没有哪个层次的指数明显高于其他层次。乔木层 Pielou 指数随相对海拔增高呈下降趋势;亚乔木层则相反,随相对海拔增高而增大;灌木层 Pielou 指数随相对海拔变化没有明显变化,表5的 Kruskal-Wallis 检验也表明灌木层 Pielou 指数在各群丛之间没有显著差异($\chi^2 = 4.54, p = 0.716$)。

3 讨论

相对海拔是影响喀斯特山地水热条件分布的主要因素,它通过影响光照、水分及土壤资源的再分配进而影响植物群丛的分布及结构^[1]。弄岗样地各类群丛占据样地不同的地形部位,随着相对海拔变化呈明显规律性分布,群丛分异主要源于相对海拔变化^[15]。群丛所处相对海拔不同,水分、热量、光照及土壤等条件都有所差别,从而使群丛的物种组成和多样性也有所不同。

不同群丛多样性指数分析表明,弄岗喀斯特季节性雨林各群丛的多样性指数存在极显著差异,Patrick、Shannon 和 Pielou 指数随着相对海拔升高呈两段式变指数变化化,中坡以下,多样性随相对海拔增高呈“中间高两头低”变化规律,中坡以上则随相对海拔增高而增大,Simpson 指数呈相反变化趋势。这是因为 Simpson 指数表征的是多样性的集中性,集中性越高,说明群丛中少数物种占据绝对优势,从而会排斥其他物种的生存空间,进而使整个群落的物种丰富度和多样性下降,所以 Simpson 指数和其他 3 个指数呈相反变化规律。

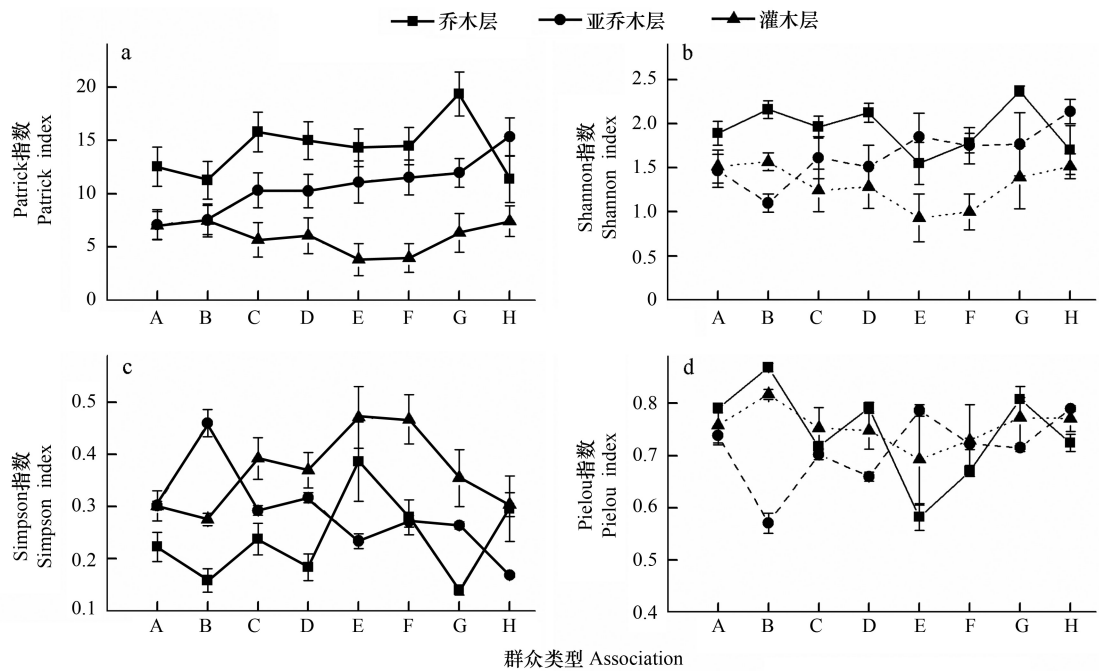


图 4 弄岗样地各群丛乔木层、亚乔木层和灌木层多样性

Fig.4 Species diversity indices of the tree, subtree and shrub layer of eight associations in the Nonggang plot

表 5 弄岗样地不同层次各群丛物种多样性指数的 Kruskal-Wallis 检验

Table 5 Kruskal-Wallis test for the species diversity indices of different layer in the Nonggang plot								
群丛层次 Layer of association	Patrick 指数		Shannon 指数		Simpson 指数		Pielou 指数	
	χ^2	p.value	χ^2	p.value	χ^2	p.value	χ^2	p.value
乔木层 Tree layer	82.26	4.77×10^{-15}	103.03	2.55×10^{-19}	82.26	4.77×10^{-15}	127.55	2.04×10^{-24}
亚乔木层 Subtree layer	130.59	4.72×10^{-25}	144.18	6.76×10^{-28}	130.59	4.72×10^{-25}	102.08	4.02×10^{-19}
灌木层 Shrub layer	94.69	1.34×10^{-17}	72.99	3.66×10^{-13}	94.69	1.34×10^{-17}	4.54	7.16×10^{-1}

先前的研究表明物种多样性随海拔变化有 5 种模式^[23],即 1) 物种多样性与海拔高度负相关,2) 物种多样性中海拔最高,3) 物种多样性中海拔较低,4) 物种多样性与海拔高度正相关,5) 物种多样性与海拔高度无关。弄岗喀斯特季节性雨林物种多样性随海拔变化规律与这几种模式都不一样,或者说不完全一样,呈现出两种模式的组合,中坡以下(弄岗样地相对海拔 76.3 m 以下)与第 2 种模式一致,中坡以上(弄岗样地相对海拔大于 76.3 m)与第 1 种模式一致。这是由于相对海拔较低的地带,水分充足甚至过量(谷底会有季节性水淹),但光照条件较差,随着相对海拔增高光照条件逐渐改善,物种丰富度和多样性指数也逐渐增加,但上升

到一定程度高度之后,水分条件变差(喀斯特地区土层稀少,加上特殊的双层结构,水分会迅速从下层流失,造成干旱),物种丰富度和多样性指数又逐渐下降。中坡以上地带,随着海拔升高坡度逐渐增大,气温剧烈变化的石崖也越来越多,产生了许多异质性的微生境,加上生境条件严酷,没有那个物种在相对海拔较高的群丛形成绝对优势,从而支持更多物种在该地带共存。

同时,样地多样性最高的也并非处于山顶的群丛 H 而是处于次高位置的群丛 G,这是因为群丛 G 处于“峰丛-洼地”垭口部位,土层相对连续,水分条件优越,同时垭口相对海拔较高,且呈东西走向,光照条件较好,水热组合最佳,资源可用性最高,因此,群丛 G 的物种丰富度和多样性指数是整个样地最高的。由此可以看出,弄岗喀斯特季节性雨林不同群丛物种多样性变化的主要是由于能量差异和空间异质性。

通过对群丛不同层次多样性进行研究发现,弄岗北热带喀斯特季节性林各层次多样性呈现出乔木层>亚乔木层>灌木层,这与张忠华^[24]研究木论亚热带喀斯特常绿阔叶林得到的灌木层>亚乔木层>乔木层结果截然相反,与李宗善^[25]对西双版纳热带山地雨林的研究结果一致。这是因为热带地区水热条件要比亚热带优越,可以支持乔木层有更多的物种共存^[26](黄建辉,1997),使北热喀斯特带季节性雨林乔木层的物种多样性大于其他层次。同时由于乔木层物种多样性较高,对亚乔木形成比较大的荫蔽作用,致使亚乔木层的物种多样性较小,而灌木层由于乔木层和亚乔木层的双重遮蔽,只有一些比较耐阴的种类才能生长,所以它的物种多样性最低。群丛 H 的结构特征也恰好验证了这种推论,群丛 H 乔木层 Patrick 和 Shannon 指数是所有群丛中最低的,且低于亚乔木层,这是因为群丛 H 处于山顶,是所有群丛中条件最恶劣的,这种恶劣条件难以支持乔木层大量物种共存,所以乔木层物种多样性较低;而没有被乔木层大量遮蔽的亚乔木层得到比较好的发展,物种多样性较高;灌木层由于受到乔木层和亚乔木层的双重遮蔽,多样性依然最低。因此,在喀斯特植被退化区,特别是那些环境条件特别恶劣的区域进行植被恢复时,要谨慎选择大乔木,应更多选择喜光、耐旱的灌木、小乔木。

致谢:感谢加拿大湖首大学生物系 Azim U. Mallik 教授和广西植物研究所姚月锋博士对论文修改提供宝贵意见和建议。

参考文献 (References):

- [1] 袁道先, 章程. 岩溶动力学的理论探索与实践. 地球学报, 2008, 29(3): 355-365.
- [2] 袁铁象, 张合平, 欧芷阳, 谭一波. 地形对桂西南喀斯特山地森林地表植物多样性及分布格局的影响. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2803-2810.
- [3] 蒋国芳. 木论喀斯特森林区生物多样性初报. 生物多样性, 1995, 3(2): 91-94.
- [4] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 王克林, 曹洪麟, 李先琨, 覃文更, 谭卫宁, 刘璐. 喀斯特峰丛洼地不同类型森林群落的组成与生物多样性特征. 生物多样性, 2010, 18(4): 355-364.
- [5] 侯满福, 沈庆庚, 覃海宁. 贵州茂兰喀斯特原生性森林群落物种多样性特征. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2011, 29(1): 60-65.
- [6] 张忠华, 胡刚, 祝介东, 倪健. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应. 生态学报, 2012, 32(18): 5663-5672.
- [7] Polak Marcel. The botanical diversity in the Ayawasi area, Irian Jaya, Indonesia. Biodiversity and Conservation, 2000, 9(10): 1345-1375.
- [8] Brewer Steven W, Rejmánek Marcel, Webb Molly AH, Fine Paul VA. Relationships of Phytogeography and diversity of tropical tree species with limestone topography in southern Belize. Journal of Biogeography, 2003, 30(11): 1669-1688.
- [9] Jeanine M Felfili, André R Terra Nascimento, Christopher William Fagg, Elisa Maria Meirelles. Floristic composition and community structure of a seasonally deciduous forest on limestone outcrops in Central Brazil. Revista Brasileira de Botânica, 2007, 30(4): 611-621.
- [10] 李先琨, 苏宗明, 吕仕洪, 欧祖兰, 向悟生, 区智, 陆树华. 广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义. 山地学报, 2003, 21(2): 129-139.
- [11] 苏宗明, 赵天林, 黄庆昌. 弄岗自然保护区植被调查报告. 广西植物, 1988, (增刊1): 185-214.
- [12] 王献溥, 孙世洲, 李信贤. 广西石灰岩季节性雨林分类的研究. 植物研究, 1998, 18(4): 428-447.
- [13] 胡春园, 汪正祥, 雷耘. 弄岗自然保护区石灰岩山地季雨林的群落分类及分布. 华中师范大学学报(自然科学版), 2012, 46(6):

725-732.

- [14] 黄俞淞, 吴望辉, 蒋日红, 刘晟源, 刘演, 李先琨. 广西弄岗国家级自然保护区植物物种多样性初步研究. 广西植物, 2013, 33(3): 346-355.
- [15] 黄甫昭, 王斌, 丁涛, 向悟生, 李先琨, 周爱萍. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林群丛数量分类及与环境的关系. 生物多样性, 2014, 22(2): 157-166.
- [16] 王斌, 黄俞淞, 李先琨, 向悟生, 丁涛, 黄甫昭, 陆树华, 韩文衡, 文淑均, 何兰军. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林 15ha 监测样地的树种组成与空间分布. 生物多样性, 2014, 22(2): 141-156.
- [17] 梁畴芬, 梁建英, 刘兰芳, 莫新礼. 弄岗自然保护区植物区系调查报告. 广西植物, 1988, (增刊1): 83-184.
- [18] 苏宗明. 广西弄岗石灰岩山森林类型的分类问题. 广西植物, 1981, 1(2): 7-10.
- [19] Condit R. Research in large, long-term tropical forest plots. Trends in Ecology and Evolution, 1995, 10(1): 18-23.
- [20] 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.
- [21] 邱扬, 李湛东, 张玉钧, 徐化成, 于汝元. 火干扰对大兴安岭北部原始林下层植物多样性的影响. 生态学报, 2006, 26(9): 2863-2869.
- [22] Bandeira Benjamin, Jamet Jean Louis, Jamet Dominique, Ginoux Jean Marc. Mathematical convergences of biodiversity indices. Ecological Indicators, 2013, 29(6): 522-528.
- [23] 贺金生, 陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征. 生态学报, 1997, 17(1): 91-99.
- [24] 张忠华. 喀斯特森林植被种群生态学与群落稳定性分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [25] 李宗善, 唐建维, 郑征, 李庆军, 罗成昆, 刘正安, 李自能, 段文勇, 郭贤明. 西双版纳热带山地雨林的植物多样性研究. 植物生态学报, 2004, 28(6): 833-843.
- [26] 黄建辉, 高贤明, 马克平, 陈灵芝. 地带性森林群落物种多样性的比较研究. 生态学报, 1997, 17(6): 611-618.