

坡向差异对广东古兜山自然保护区蕨类植物多样性的生态影响

严岳鸿¹ 何祖霞¹ 苑虎³ 邢福武^{2*}

¹ (湖南科技大学生命科学学院, 湖南湘潭 411201)

² (中国科学院华南植物园, 广州 510650)

³ (中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要: 为揭示坡向差异对蕨类植物多样性的生态影响, 作者在广东新会古兜山自然保护区海拔1,000 m以下的中低山植被东、南、西、北4个坡向, 分别选取10个5 m × 5 m的样方进行调查, 分析蕨类植物群落多样性和种类组成的差异。结果表明: (1)东坡(半阴坡)与北坡(阴坡)物种多样性最丰富, 而西坡(半阳坡)和南坡(阳坡)相对贫乏; (2)4个坡向的相似性系数均很低(不超过0.5), 其中南坡(阳坡)与北坡(阴坡)间种类组成差异最大; (3)反映热量差异的区系地理性质分析显示, 热带性质蕨类植物在阳坡占优势, 而非热带性蕨类在阴坡占优势, 南坡、西坡、东坡、北坡的热带成分比例依次下降; (4)反映光照条件的植物耐荫程度分析显示, 阴性种类占优势, 阳性和耐荫性种类较少, 其阴性蕨类植物的比例依南坡、西坡、东坡、北坡顺序增加; 阳性蕨类植物比例最高的坡面是西坡, 而最低的是东坡, 南坡的比例稍高于北坡。研究结果显示坡向差异对蕨类植物物种及其生态习性的多样性分布格局具有比较明显的影响, 蕨类植物多样性可以作为环境和气候变化的一个较好的指示物种。

关键词: 蕨类植物, 坡向, 生物多样性, 生态适应性, 指示作用

The ecological response of fern diversity to different slopes in Gudoushan Nature Reserve, Guangdong

Yuehong Yan¹, Zuxia He¹, Hu Yuan³, Fuwu Xing^{2*}

¹ School of Life Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201

² South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650

³ Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

Abstract: In order to examine the effect of slope differences on fern diversity, we chose 10 plots (5×5 m² for each plot) on east-, west-, south-, and north-facing slopes, with altitudes ranging from 20 to 986 m in Gudoushan Nature Reserve, Xinhui, Guangdong, China. We obtained the following results: (1) Species abundance on the east- and north-facing slopes were high, while that on the west- and south-facing slopes were low. (2) Similarity indices of ferns in different slope orientations were low (<0.5), which suggested that orientation significantly influenced fern diversity. The difference between the south- and north-facing slopes (similarity index, 0.2895) and the similarity between west- and south-facing slopes (similarity indices, up to 0.4643) were the most obvious. (3) Tropical ferns were dominant in sunny slopes, while non-tropical ferns were dominant in shady slopes. The percentage of tropical ferns on the south-, west-, east-, and north-facing slopes decreased, while that of non-tropical ferns increased. (4) Shade ferns were dominant in shady slopes, while sunny ferns were dominant in sunny slopes; the number of shade ferns regularly increased on the south-, west-, east-, and north-facing slopes. These results clearly indicated how light and heat on different slopes affected fern diversity and suggested that fern diversity could be a good indicator of environmental and climatic changes.

Key words: pteridophytes, slope, biodiversity, ecological adaptation, indication

收稿日期: 2010-04-30; 接受日期: 2011-01-09

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重大项目(2007BAC03A08-8)和香港嘉道理农场暨植物园生物多样性基金

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xinfw@scbg.ac.cn

坡向对光照条件的影响极为显著,它会导致水热因子的系列变化,从而对生物的形态、结构、分布、进化和生物多样性分布格局产生重要影响(Nevo *et al.*, 1999; Auslander *et al.*, 2003; Ferrer-Castán & Vetaas, 2005)。国内学者对黄土高原地区不同坡向条件下植物的生长习性(魏宇昆等, 2004; 单长卷等, 2005; 周萍等, 2009)及中国亚热带山地植物分布与坡向的关系(胡玉佳等, 2003; 郑成洋等, 2004)进行的研究,结果也显示出坡向的变化对植物的生长和分布具有显著影响。

蕨类植物在演化史上属于相对低等的维管植物类群,其外部形态和内部结构都表现出一系列的原始性,对环境条件特别是光、温、水等因子的依赖性相对较强,其物种多样性变化与环境条件变化密切相关(Lwanga *et al.*, 1998),对环境条件的改变表现出显著的指示作用(Watson & Cameron, 2002; Beukema & van Noordwijk, 2004; Karst *et al.*, 2005)。虽然在米级(meter-level)的小尺度上,蕨类植物的分布和扩散格局可能是难以预测的(Richard *et al.*, 2000),但随着尺度的增大,光照、温度、水分、土壤和伴生物种等生态因子也会发生变化,蕨类植物种类组成及其适应方式的差异随之发生改变(严岳鸿等, 2004; 黎昌汉等, 2004)。

目前,有关单一坡向的蕨类植物多样性及其影响因素已有少量报道(Greer *et al.*, 1997),但多个坡向蕨类植物多样性以及适应方式差异的比较研究尚未开展。本文拟通过广东古兜山自然保护区不同坡向蕨类植物的样方调查来探讨: (1)蕨类植物多样性是否因坡向的差异而不同? (2)由于坡向的差异直接影响光照和热量的变化,那么反映植物适应光照条件和热量因素的生物学或生态学特点是否会随之发生改变? 如果蕨类多样性以及生物学或生态学适应方式对环境条件具有较好的指示作用,则可以作为一个较好的功能性状用于当前的全球变化研究。

1 样地概况

广东古兜山自然保护区位于广东省中南部江门市新会,地处112°52'30"—113°03'25" E, 22°05'00"—22°21'15" N,总面积达11,567.5 ha,境内地貌类型属于中、低山丘陵,最高峰狮子头海拔986 m,地形复杂。属亚热带温暖湿润的海洋性气候,干湿季

节明显,4—9月为雨季,10月至翌年3月为旱季。雨量充沛,年平均降水量1,789—2,250 mm,年均温约22℃,1月平均温10.1—13.4℃;土壤类型为酸性地带性赤红壤,母岩基质为花岗岩(张金泉, 2000)。

保护区的东坡与南坡面临东海,由于地形因素影响,降水量大,而西坡和北坡降水量相对较少。地带性植被为亚热带季风常绿阔叶林,各坡向植被概况基本相似,自20世纪80年代以来,人为干扰活动相对较少。东坡主要植被类型有沟谷雨林、亚热带常绿阔叶林及少量的灌丛,常见优势植物有鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、降真香(*Dalbergia parviflora*)、红花荷(*Rhodoleia championi*)、木荷(*Schima superba*)、山杜英(*Elacocarpus sylvestris*)、岗松(*Baeckea frutescens*)等;南坡的主要植被类型有沟谷雨林、亚热带常绿阔叶林及山顶竹林,常见优势植物有水翁(*Cleistocalyx operculatus*)、短序润楠(*Machilus breviflora*)、大头茶(*Polyspora axillaris*)、岗松、箬竹(*Indocalamus tessellatus*)等;西坡的主要植被类型有亚热带常绿阔叶林、人工杉木林、山顶灌丛等,常见优势植物有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、黎蒴(*Castanopsis fissa*)、岭南山竹子(*Garcinia oblongifolia*)、野牡丹(*Melastoma malabathricum*)等;北坡的主要植被类型有沟谷雨林、亚热带常绿阔叶林及山顶灌丛,常见优势植物有假苹婆(*Sterculia lanceolata*)、山杜英、鸭脚木、木荷、红花荷、岗松、野牡丹等。

2 研究方法

2.1 样方设置

根据蕨类植物的生活习性特点和保护区的自然条件,作者于2001年12月至2002年1月,在保护区海拔20—800 m范围内的东、南、西、北4个坡向不同海拔段的主要代表植被类型中,采取典型取样法各设置10个5 m×5 m的样方。记录样方中每种蕨类植物的名称、数量和样方的主要环境条件,并进行标本采集、鉴定,标本保存在中国科学院华南植物园标本馆(IBSC)。

2.2 数据处理

多度是指物种个体数目的多少。对于根状茎短而直立或斜升的蕨类植物,如黑桫欏(*Alsophila podophylla*)等,每一植株记为1株,根状茎长而横走的蕨类,如石韦(*Pyrrosia lingua*)等,每一无性系生

长的分株记为1株(张笃见等, 1999)。

参考Takhtajan (1988)、吴征镒等(1998)有关东亚地区与热带亚洲地区分界线的意见, 设定我国东西贯向的南岭山地作为蕨类植物热带成分与非热带成分的分界线, 根据《中国植物志》中记载的物种的分布范围, 将分布区位于南岭以南、分布中心位于热带地区而少数种类的分布区边缘可达长江流域的种类设定为热带分布种类, 主要包括热带亚洲成分、泛热带成分、热带亚洲至热带大洋洲成分等; 将分布中心位于东亚分布区范围内, 少数种类的分布区南缘可达热带亚洲地区的种类设定为非热带分布蕨类, 主要包括东亚成分及其中国—日本分布成分等(Zhang & Corlett, 2003)。

参考陈功锡等(1994)、于顺利(1997)、曾献伯(1992)等有关蕨类植物耐荫性的划分方法, 并根据作者多年的野外观察实践, 将蕨类植物耐荫性划分为阳性蕨类、阴性蕨类及耐荫蕨类3种类型: 喜好生长在灌草丛、荒地及路边光线充足生境中的蕨类为阳性蕨类, 喜好生长在林下、山谷、石缝等光线暗弱生境中的蕨类为阴性蕨类, 介于二者之间、喜好阳性环境但能耐受一定荫蔽条件的蕨类称为耐荫蕨类。

采用Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson优势度指数, Pielou均匀度指数等来测度各坡向物种丰富度的差异, 各指数计算方法如下:

物种丰富度指数: $R_0 = S$

Simpson指数(D): $D = 1 - \sum P_i^2$ (马克平, 1994)

Shannon-Wiener指数(H'): $H' = -\sum P_i \ln P_i$ (Pielou, 1975)

Pielou均匀度指数: $J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S$ 和 $J_{gi} = (1 - \sum P_i^2) / (1 - 1/S)$ (马克平, 1994)

Jaccard 相似性系数: $(C_j) = j / (a + b - j)$ (Whittaker, 1972)

式中 S 为每个坡向中的蕨类种类总和, 即丰富度指数; P_i 为种 i 的个体数占有所有种的个体数的比率; a, b 为样地A, B的物种数, j 为样地A, B共有的物种数。

3 结果

40个小样方中共有蕨类植物49种。其中热带性种类30种, 非热带性种类19种, 分别占样方中蕨类植物种类总数的61.22%和38.78%; 阴性蕨类植物29种, 耐荫性蕨类植物9种, 阳性蕨类植物11种, 分别占蕨类总数的59.18%、18.37%和22.45%。每种蕨类植物的多度、区系地理性质、耐荫性质及其在不同坡向的分布状况见附录I。

3.1 不同坡向蕨类植物物种组成及差异

东坡和北坡的丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Simpson指数均高于南坡。南坡的均匀度指数(J_{sw})最高, 北坡的均匀度指数(J_{sw})最低, 没有明显的规律性变化(表1)。从统计学分析结果看, 不同坡向的差异并不如总体结果明显, 仅有东西坡向、东南坡向的多样性指数和优势度指数呈显著差异($P < 0.05$)。但需要指出的是, 在统计分析中每个坡向的多样性指数值来自单个样方, 与每个坡向的总体特征有一些差别。

4个坡向间蕨类植物的相似性系数均不超过0.5(表2), 显示了坡向的差异对蕨类植物物种多样性具有重要影响。西坡(半阳坡)和南坡(阳坡)的相似性程度最高, 其次是东坡(半阴坡)和南坡, 最低的是北坡(阴坡)和南坡(阳坡)。

3.2 不同坡向蕨类植物的区系性质

四个坡向中, 南坡的热带性分布种类占有最大的比例, 非热带性分布的种类所占比例最小, 其中高达75%的种类为热带性分布成分; 相反, 北坡的非热带成分占有最大的比例, 而热带成分占有最小的比例, 分别占种类总数的37.93%和62.07%。而东坡和西坡的差异则不明显, 西坡的热带成分比例稍

表1 不同坡向蕨类植物 α -多样性指数
Table 1 α -diversity indices of ferns in different slopes

坡向 Slope orientation	丰富度 Richness	多度 Abundance	多样性指数 Shannon-Wiener index (H')	优势度指数 Simpson index (D)	均匀度指数 Pielou evenness index (J_{sw})	均匀度指数 Evenness index (J_{gi})
东坡 E-slope	32	1,920	2.6776	0.9076	0.7726	0.9369
南坡 S-slope	20	941	2.4155	0.8843	0.8063	0.9309
西坡 W-slope	21	859	2.2818	0.8277	0.7495	0.8691
北坡 N-slope	29	1,671	2.5459	0.8949	0.7414	0.9248

表2 不同坡向蕨类植物的共有种数和Jaccard相似性
Table2 The share species and Jaccard similarity index of ferns in different slopes

	东坡 E-slope	南坡 S-slope	西坡 W-slope	北坡 N-slope
东坡 E-slope		16	15	16
南坡 S-slope	0.4444		13	11
西坡 W-slope	0.3947	0.4643		14
北坡 N-slope	0.3556	0.2895	0.3889	

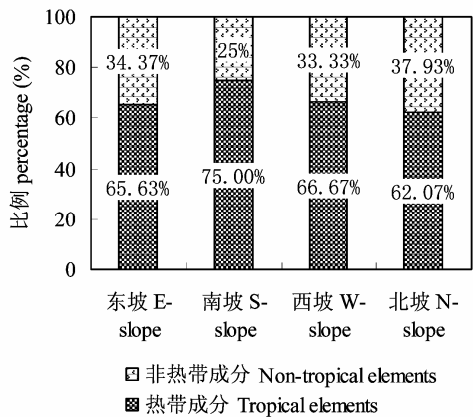


图1 热带成分与非热带成分在不同坡向的分布比例
Fig. 1 Percentage of tropical elements and non-tropical elements in different slopes

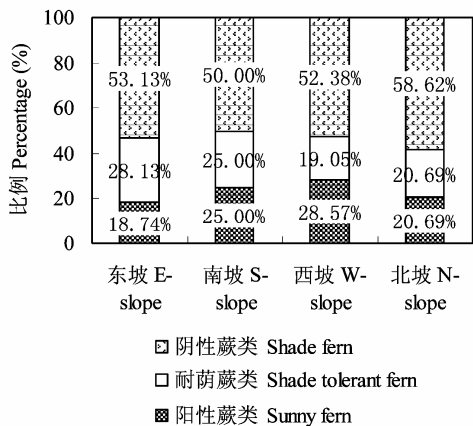


图2 不同坡向阴性蕨类、耐荫性蕨类和阳性蕨类的分布比例
Fig. 2 Percentage of shade fern, shade tolerant fern and sunny fern in different slopes

高于东坡, 西坡的非热带成分也稍低于东坡(图1)。因此, 阳坡的热带成分比例明显高于阴坡, 而阴坡的非热带成分比例则明显高于阳坡; 半阳坡的热带成份稍高于半阴坡的热带成份, 但并不明显。

3.3 不同坡向蕨类植物的耐荫性

图2显示, 耐荫性种类在古兜山自然保护区蕨

类植物群落中占有主体地位, 阳性和阴性种类数量相对较少。不同坡向蕨类植物对光照适应性的比较中, 西坡阳性蕨类比例最高, 东坡比例最低; 阴性蕨类比例最高的坡面是北坡, 比例最低的是南坡; 耐荫蕨类比例最高的坡面是东坡, 比例最低的是西坡。结果表明, 在古兜山自然保护区中, 南坡和西坡比北坡和东坡更适应阳性蕨类植物的生长, 北坡和东坡更适合阴性蕨类植物的生长。

4 讨论

由于不同坡向的光热供应的差别非常显著, 从而对光照、气温、降水等影响植物分布环境因子产生重要影响。一般的, 由于在北半球非热带地区太阳的位置偏南, 南坡所接受的光照要比平地多, 其辐射总量和温度均高于北坡, 湿度明显低于北坡, 因此我们常将南坡称之为“阳坡”; 反之, 北坡所接受的光照就比较少, 其辐射总量和温度均低于南坡, 湿度明显高于南坡, 我们常将北坡称之为“阴坡”。东坡和西坡的环境条件介于南坡和北坡之间, 西坡由于一天之内接收日照的时间稍长于东坡, 较接近南坡, 因此人们常称西坡为“半阳坡”; 反之东坡较接近北坡而被称为“半阴坡”(殷秀琴, 2004)。

4.1 坡向差异对蕨类植物物种组成具有重要的影响

古兜山自然保护区不同坡向的差异导致蕨类植物在不同坡向的相似性系数均很低(不超过0.5), 同样也显示了坡向的异质性对蕨类植物物种多样性具有重要影响。南坡与北坡物种相似性最低, 物种组成的差异最大, 共有种仅11种, 相似性系数仅0.2895; 热带性物种与非热带性物种、阳性物种与非阳性物种在南北坡均形成了明显的对比。物种相似性系数最大的是南坡和西坡, 共有种为13种, 相似性系数达0.4643; 这可能是由于南坡和西坡均属于阳坡性质且物种总数相对较少的原因, 这两个坡向广泛分布的南亚热带地区的常见蕨类如芒萁

(*Dicranopteris pedata*)、乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、垂穗石松(*Palhinhaea cernua*)、扇叶铁线蕨(*Adiantum flabellatum*)、柄叶鳞毛蕨(*Dryopteris podophylla*)、深绿卷柏(*Selaginella doederleinii*)等。东坡与南坡之间物种相似性系数也较高(0.4444), 其共有种类达16种, 可能是由于该地区山体的东坡和南坡濒临大海, 常年高温多雨、温暖湿润, 海风为东坡和南坡带来充足的降水, 相似的气候地理条件致使喜好相同的物种共同生存。

4.2 蕨类植物丰富度在不同坡向的分布格局

一个地区不同坡向的物种丰富度分布格局可能与所研究类群的特点和所处地理环境条件有关。如在智利中部具地中海气候条件的常绿灌木植被中, 干旱的赤道向坡面(南坡)的物种丰富度高于潮湿的北极向坡面(北坡)(Badano *et al.*, 2005)。蕨类植物作为一类原始类群, 对环境条件非常敏感, 其地形条件引起的丰富度分布格局的差异与当地的降水、气温等环境因子的变化密切相关(Ferrer-Castán & Vetaas, 2005)。广东古兜山自然保护区不同坡向蕨类植物物种多样性研究结果表明, 东坡(32种)和北坡(29)具有最丰富的蕨类植物种类, 而南坡(20)和西坡(21种)则因为某些限制因子致使蕨类植物的丰富度相对贫乏, 蕨类植物多度也表现出相似的趋势, 东坡(1,920)、北坡(1,671)蕨类物种个体数目分别相当于南坡(941)、西坡(859)的两倍, 其中东坡与北坡之间、西坡与南坡之间的物种丰富度差异和物种个体数目差异并不明显, Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数也表现出同样的格局。同时, 一些珍稀濒危蕨类植物如福建观音座莲(*Angiopteris fokiensis*)、燕尾蕨(*Cheiropluria bicusps*)、黑桫欏、小石松(*Lycopodiella caroliniana*)、毛轴线盖蕨(*Monomelangium puligeri*)、广西长筒蕨(*Selenodesmium siamense*)等也主要分布在东坡和北坡, 而西、南坡向的珍稀蕨类植物种类也相对比较少。这种分布格局的出现可能主要与蕨类植物本身的生长习性相关, 古兜山地区样地调查中高达77.55%的蕨类植物为喜阴或耐荫性植物, 北坡和东坡分别属于阴坡和半阴坡, 因此这两个坡向蕨类植物种类丰富主要是由于大量的喜阴或耐荫性蕨类植物的存在, 每种蕨类个体数量相对较少。

4.3 蕨类植物的耐荫程度及区系地理成分性质对不同坡向的光热条件具有明显的指示作用

坡向的差异首先改变的是不同坡向的光照和热量因素, 而植物的耐荫性和耐寒性是对光照和热量因素最直接的生态响应, 因此不同坡向蕨类植物耐荫性和耐寒性的差异是不同坡向蕨类植物多样性分布格局变化的一个重要的内在因素。本文的研究结果表明, 坡向差异对古兜山自然保护区蕨类植物的耐荫性特征及对热量因素具有表征作用的植物区系地理成分性质具有显著的影响。

影响一个地区蕨类植物物种耐荫性程度的因素主要有两个方面, 一是直接的光照条件, 二是植被状况。当各坡向植被覆盖条件相似时, 此时不同坡向的光照条件是影响蕨类植物耐荫性状况的主要因素。不同坡向中对比最明显的是南北坡向之间的差异, 由图2可知, 蕨类植物的耐荫性程度在各坡向呈明显的规律性变化。南坡与北坡比较, 南坡的阳性蕨类植物比例明显高于北坡, 阴性蕨类植物的比例则是北坡明显高于南坡; 同样, 东坡的阳性蕨类植物比例则略低于西坡, 而阴性蕨类植物比例则略高于西坡。北坡、东坡、西坡及南坡的阴性蕨类比例依次减少, 较好地反映了阴坡、半阴坡、半阳坡及阳坡之间光照强度的大小; 耐荫蕨类居于二者之间, 由于对光照及阴暗条件喜好程度的差异, 并不呈明显的规律性变化。各坡向蕨类植物耐荫性的差异除了各坡向直接的植被状况影响外, 还可能与蕨类植物特殊的演化历史以及植物体内的光感受器有关。Kawai 等(2003)认为, 蕨类植物的耐荫性可能与其光合作用机制有关, 蕨类植物叶片中的光感受器光敏色素-III是两个普遍存在的植物蛋白(红光受体Phytochrome和蓝光受体Phototropin)的一个嵌合体, 既对蓝光产生反应, 也对红光产生反应。这对蕨类植物适应阴暗的森林环境很有效, 因为在林冠下很少有蓝光能穿透。

热量因素是决定植物区系地理成分分布格局的重要因素。Алхин(1950)曾针对不同坡向植物地理成分分布提出“先期适应法则”, 即“平地植物或平地植物群落预先适应于南方或北方的相适应的生境条件”, 也就是说南坡的植物群具有南方植物区系喜旱喜热的特征, 而北坡的植物群具有北方植物区系耐寒冷的特征。本研究表明: 由于不同坡向

所接收的热量因素有所差异,阳坡(南坡)的热带成分明显较多而非热带成分较少,相反,阴坡(北坡)的热带成分较少而非热带成分则明显增加。而半阳坡和半阴坡由于热量因素差异并不明显,因此这两个坡向蕨类植物的区系地理成分的差异也较小。蕨类植物区系地理成分对热量变化具有指示作用这一特点不仅证实了Алхин的“先期适应法则”,而且还显示这种指示作用还可能对研究当前全球环境变化具有积极意义。

综上所述,广东新会古兜山自然保护区不同坡向蕨类植物多样性的分布具有明显的差异,导致这些差异产生的原因除了不同坡向光热因素有别外,还可能与不同坡向的植被组成和郁闭度、土壤性质和水分差异、地形地貌特征等众多因素相关。但就各坡向群落的总体生物多样性特征而言,阴坡、半阴坡的丰富度指数和多样性指数均表现为阴坡(半阴坡)大于阳坡(半阳坡),而均匀度指数表现为阳坡大于阴坡。这与王梅等(2009)在油松林下物种多样性研究结果及周萍等(2009)在黄土丘陵不同坡向草本群落多样性研究结果基本一致。王梅等(2009)认为阴坡光照条件虽不及阳坡,但水分条件比阳坡优越,植物种类较阳坡多,多样性增加。阳坡林分郁闭度小,林内光照条件优越,林下植物获得更多生长的空间,分布较均匀,因此均匀度指数高于阴坡。从我们的研究结果看,由于坡向的差异,光热因素的改变可能是导致耐荫性和耐寒性蕨类植物在不同坡向分布格局的变化的主要因素。

参考文献

- Auslander M, Nevo E, Inbar M (2003) The effects of slope orientation on plant growth, developmental instability and susceptibility to herbivores. *Journal of Arid Environments*, **55**, 405–416.
- Алхин ВВ (translated by Fu ZZ (傅子祯), Wang Y (王燕)) (1950) *География Растения* (植物地理学). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Badano EI, Cavieres LA, Molina-Montenegro MA, Quiroz CL (2005) Slope aspect influences plant association patterns in the Mediterranean matorral of central Chile. *Journal of Arid Environments*, **62**, 93–108.
- Beukema H, van Noordwijk M (2004) Terrestrial pteridophytes as indicators of a forest-like environment in rubber production systems in the lowlands of Jambi, Sumatra. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **104**, 63–73.
- Chen GX (陈功锡), Gu ZC (谷中村) (1994) The ecological types of ferns in Dehang Region. *Journal of Jishou University (Natural Science)* (吉首大学学报(自然科学)), **15**(5), 71–75. (in Chinese with English abstract)
- Ferrer-Castán D, Vetaas OR (2005) Pteridophyte richness, climate and topography in the Iberian Peninsula: comparing spatial and nonspatial models of richness patterns. *Global Ecology and Biogeography*, **14**, 155–165.
- Greer GK, Lloyd RM, McCarthy BC (1997) Factors influencing the distribution of pteridophytes in a southeastern Ohio hardwood forest. *Journal of the Torrey Botanical Society*, **124**, 11–21.
- Hu YJ (胡玉佳), Wang YH (汪永华), Ding XQ (丁小球), Huang X (黄向) (2003) A comparison of plant species diversity with different slope direction in Wuzhishan, Hainan Island. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报(自然科学版)), **42**, 86–89. (in Chinese with English abstract)
- Karst J, Gilbert B, Lechowicz MJ (2005) Fern community assembly: the roles of chance and the environment at local and intermediate scales. *Ecology*, **86**, 2473–2486.
- Kawai H, Kanegae T, Christensen S, Kiyosue T, Sato Y, Imai-zumi T, Kadota A, Wada M (2003) Responses of ferns to red light are mediated by an unconventional photoreceptor. *Nature*, **421**, 287–290.
- Li CH (黎昌汉), Yan YH (严岳鸿), Xing FW (邢福武) (2004) The study on altitudinal gradient pattern of fern diversity in Gudoushan Natural Reserve, Guangdong. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报(自然科学版)), **43**(Suppl.), 251–258. (in Chinese with English abstract)
- Lwanga JS, Balmford A, Badaza R (1998) Assessing fern diversity: relative species richness and its environmental correlates in Uganda. *Biodiversity and Conservation*, **7**, 1387–1398.
- Ma KP (马克平) (1994) The measurement of community diversity. In: *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies* (生物多样性研究的原理与方法) (eds Qian YQ (钱迎倩), Ma KP (马克平)), pp.141–163. Chinese Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Nevo E, Fragman O, Dafni A, Beiles A (1999) Biodiversity and interslope divergence of vascular plants caused by microclimatic differences at “Evolution Canyon” lower nahal Oren, Mount Carmel, Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, **47**, 49–59.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Richard M, Bernhardt T, Bell G (2000) Environmental heterogeneity and the spatial structure of fern species diversity in one hectare of old-growth forest. *Ecography*, **23**, 231–245.
- Shan CJ (单长卷), Liang ZS (梁宗锁), Han RL (韩蕊莲), Hao WF (郝文芳) (2005) Characteristics of *Robinia pseudoacacia* water physiological ecology under different habitats in North Shaanxi gully areas of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**, 1205–1212. (in Chinese with English abstract)

- Takhtajan AL (translated by Huang GC (黄观程)) (1988) *Floristic Regions of the World* (世界植物区系区划). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wang M (王梅), Zhang WH (张文辉) (2009) Growth and species diversity of *Pinus tabulaeformis* artificial forest on different slope aspects. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **29**, 1678–1683. (in Chinese with English abstract)
- Watson LH, Cameron MJ (2002) Forest tree and fern species as indicators of an unnatural fire event in a southern Cape mountain forest. *South African Journal of Botany*, **68**, 357–361.
- Wei YK (魏宇昆), Liang ZS (梁宗锁), Cui LJ (崔浪军), Han RL (韩蕊莲) (2004) Relationships between water and productivity of seabuckthorn (*Hippophae*) in different habitats of the Loess Plateau, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**, 195–200. (in Chinese with English abstract)
- Whittaker RH (1972) Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, **21**, 213–251.
- Wu ZY, Wu SG (1998) A proposal for a new floristic kingdom (Realm): the E. Asiatic Kingdom, its delineation and characteristics. In: *Floristic Characteristics and Diversity of East Asian Plants* (eds Zhang AL, Wu SG), pp. 3–42. China Higher Education Press, Beijing.
- Yan YH (严岳鸿), Yi QF (易绮斐), Huang ZL (黄忠良), Xing FW (邢福武) (2004) The ecological response of fern diversity to vegetation succession in Gudoushan Nature Reserve, Guangdong. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 339–347. (in Chinese with English abstract)
- Yin XQ (殷秀琴) (2004) *Biogeography* (生物地理学), pp. 26–28. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Yu SL (于顺利) (1997) Flora and ecological characteristics of ferns in Dongling Mountain Area. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **17**, 409–412. (in Chinese with English abstract)
- Zeng XB (曾献伯) (1992) Preliminary study of fern light properties. *Journal of Chongqing Teachers College (Natural Science Edition)* (重庆师范学院学报(自然科学版)), **9**(3), 31–33. (in Chinese with English abstract)
- Zhang DJ (张笃见), Ye XY (叶晓娅), You WH (由文辉) (1999) Evergreen broad-leaved forest floor in Tiantong, Zhejiang Province. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **23**, 544–556. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JQ (张金泉) (2000) Study of possible about the establishment of provincial nature reserve in Gudou Mountain, Guangdong. *Ecologic Science* (生态科学), **19**(4), 73–83. (in Chinese with English abstract)
- Zhang L, Corlett RT (2003) Phytogeography of Hong Kong bryophytes. *Journal of Biogeography*, **30**, 1329–1337.
- Zheng CY (郑成洋), Liu ZL (刘增力), Fang JY (方精云) (2004) Tree species diversity along altitudinal gradient on southeastern and northwestern slopes of Mt. Huanggang, Wuyi Mountains, Fujian, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 63–74. (in Chinese with English abstract)
- Zhou P (周萍), Liu GB (刘国彬), Hou XL (侯喜禄) (2009) Biomass and species diversity of herbosa at different position and aspects of slope in the Hilly-gully region of Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation* (中国水土保持科学), **7** (1), 67–73. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 闫文杰)

附录I 不同坡向蕨类植物物种多样性组成和数量特征

Appendix I Fern composition and quantitative characteristic on different slopes.

(<http://www.biodiversity-science.net/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=9492>)

附录I 不同坡向蕨类植物物种多样性组成和数量特征

Appendix I Fern composition and quantitive characteristic on different slopes

种名 Species	多度 Abundance				区系成分 Floristical elements	生境 Habitat	耐荫性 Shade tolerance
	东坡 E-slope	南坡 S-slope	西坡 W-slope	北坡 N-slope			
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellatum</i>	26	14	25	82	T	林下 Under forest	-
福建观音座莲 <i>Angiopteris fokiensis</i>	1	—	—	—	N	林下 Under forest	-
背囊复叶耳蕨 <i>Arachniodes cavalerii</i>	15	3	10	—	N	林下 Under forest	-
中华复叶耳蕨 <i>A. chinensis</i>	—	—	—	6	N	林下 Under forest	-
长叶铁角蕨 <i>Asplenium prolongatum</i>	—	—	—	20	N	林下 Under forest	-
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	15	9	28	7	T	灌草丛中 In shrubs	+
华南实蕨 <i>Bolbitis subcordata</i>	47	—	—	20	N	溪谷林下 Near stream under forest	-
燕尾蕨 <i>Cheiropleuria bicuspis</i>	8	—	—	—	T	林下石缝中 In rocks under forest	-
崇澍蕨 <i>Chenopteris harlandii</i>	230	115	312	290	T	林下 Under forest	-
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	11	—	10	15	T	林下或灌草丛中 Under forest or in shrubs	0
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	—	6	—	—	T	林下或路边荒地 Under forest or by the roadside	0
镰羽贯众 <i>Cytomium balansae</i>	—	—	—	2	N	林下 Under forest	-
大芒萁 <i>Dicranopteris ampla</i>	21	—	30	191	T	林下或灌草丛中 Under forest or in shrubs	0
铁芒萁 <i>D. linearis</i>	10	—	8	105	T	林下 Under forest	-
芒萁 <i>D. pedata</i>	61	112	38	10	N	路边灌草丛中 In shrubs by the roadside	+
厚叶双盖蕨 <i>Diplazium crassiusculum</i>	—	—	—	10	T	林下 Under forest	-
双盖蕨 <i>D. donianum</i>	80	—	—	—	T	林下 Under forest	-
粤里白 <i>Diplopterygium cantonense</i>	2	90	4	—	T	灌草丛中 In shrubs	+
里白 <i>D. glaucum</i>	5	—	—	—	N	林下或灌草丛中 Under forest or in shrubs	0
柄叶鳞毛蕨 <i>Dryopteris podophylla</i>	123	6	13	16	T	林下或灌草丛中 Under forest or in shrubs	0
黑桫欏 <i>Alsophila podophylla</i>	43	19	13	—	T	林下 Under forest	-
华南膜蕨 <i>Hymenophyllum austrosinicum</i>	—	—	80	—	T	溪谷林下 Near stream Under forest	-
骨牌蕨 <i>Lepidogrammitis rostrata</i>	—	—	—	20	N	林中石上或树上 On rocks or trunks in forest	-
双唇蕨 <i>Lindsaea ensifolia</i>	30	20	—	6	T	林下或灌草丛中 Under forest or in shrubs	0
异叶双唇蕨 <i>L. heterophylla</i>	10	—	—	12	T	林下 Under forest	-
爪哇鳞始蕨 <i>L. javanensis</i>	—	20	40	—	T	林下 Under forest	-
团叶鳞始蕨 <i>L. orbiculata</i>	61	15	—	10	T	林下或灌草丛中 Under forest or in shrubs	0

种名 Species	多度 Abundance				区系成分 Floristical elements	生境 Habitat	耐荫性 Shade tolerance
	东坡 E-slope	南坡 S-slope	西坡 W-slope	北坡 N-slope			
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellatum</i>	26	14	25	82	T	林下 Under forest	-
福建观音座莲 <i>Angiopteris fokiensis</i>	1	—	—	—	N	林下 Under forest	-
背囊复叶耳蕨 <i>Arachniodes cavalerii</i>	15	3	10	—	N	林下 Under forest	-
中华复叶耳蕨 <i>A. chinensis</i>	—	—	—	6	N	林下 Under forest	-
长叶铁角蕨 <i>Asplenium prolongatum</i>	—	—	—	20	N	林下 Under forest	-
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	15	9	28	7	T	灌草丛中 In shrubs	+
华南实蕨 <i>Bolbitis subcordata</i>	47	—	—	20	N	溪谷林下 Near stream under forest	-
藤石松 <i>Lycopodiastrum casuarinoides</i>	—	10	—	—	T	灌草丛中 In shrubs	+
小石松 <i>Lycopodiella caroliniana</i>	—	—	—	200	T	路边灌草丛湿地 In wetland by the roadside	+
小叶海金沙 <i>Lygodium microphyllum</i>	—	—	—	3	T	林中攀缘或灌草丛中 Climb in forest or shrubs	+
茀蕨 <i>Mecodium badium</i>	—	—	—	100	N	林下 Under forest	-
表面星蕨 <i>Microsorium superficiale</i>	—	—	—	20	N	林中树干或石上攀缘 Climb on trunks or rocks in forest	-
毛轴线盖蕨 <i>Monomelangium pulligeri</i>	3	—	—	—	T	林下 Under forest	-
狭叶紫萁 <i>Osmunda angustifolia</i>	12	—	—	15	T	开阔溪谷石缝中 In rocks in open stream	+
华南紫萁 <i>O. vachellii</i>	8	—	2	4	T	林下或溪谷石缝 Under forest or in rocks near stream	0
垂穗石松 <i>Palhinhaea cernua</i>	—	5	9	3	T	路边或灌草丛中 By the roadside or in shrubs	+
钝角金星蕨 <i>Parathelypteris anguriloba</i>	55	61	11	68	N	林下 Under forest	-
瘤足蕨 <i>Plagiogyria adnata</i>	—	—	4	1	N	林下 Under forest	-
灰绿耳蕨 <i>Polystichum anomalum</i>	1	—	—	—	N	林下 Under forest	-
单叶新月蕨 <i>Pronephrium simplex</i>	260	—	—	—	N	林下 Under forest	-
全缘凤尾蕨 <i>Pteris insignis</i>	—	—	—	5	T	林下 Under forest	-
半边旗 <i>P. semipinnata</i>	—	2	—	—	T	林下 Under forest	-
石韦 <i>Pyrrosia lingua</i>	—	—	50	—	N	裸露石壁上 On open rocks	+
深绿卷柏 <i>Selaginella doederleinii</i>	356	34	99	165	N	林下 Under forest	-
耳基卷柏 <i>S. limbata</i>	200	200	—	—	N	林窗或灌草丛中 In forest gap or shrubs	0
粗叶卷柏 <i>S. doederleinii</i> subsp. <i>trachyphylla</i>	160	70	70	265	T	林下 Under forest	-
广西长筒蕨 <i>Selenodesmium siamense</i>	172	130	—	—	T	溪边阴湿土壁 On shady stream bank	-
乌蕨 <i>Sphenomeris chinensis</i>	2	—	3	—	N	灌草丛中 In shrubs	+
假芒萁 <i>Sticherus laevigatus</i>	2	—	—	—	T	灌草丛中 In shrubs	+

种名 Species	多度 Abundance				区系成分 Floristical elements	生境 Habitat	耐荫性 Shade tolerance
	东坡 E-slope	南坡 S-slope	西坡 W-slope	北坡 N-slope			
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellatum</i>	26	14	25	82	T	林下 Under forest	-
福建观音座莲 <i>Angiopteris fokiensis</i>	1	—	—	—	N	林下 Under forest	-
背囊复叶耳蕨 <i>Arachniodes cavalerii</i>	15	3	10	—	N	林下 Under forest	-
中华复叶耳蕨 <i>A. chinensis</i>	—	—	—	6	N	林下 Under forest	-
长叶铁角蕨 <i>Asplenium prolongatum</i>	—	—	—	20	N	林下 Under forest	-
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	15	9	28	7	T	灌草丛中 In shrubs	+
华南实蕨 <i>Bolbitis subcordata</i>	47	—	—	20	N	溪谷林下 Near stream under forest	-
合计 Total	2,032	941	859	1,671	—	—	—

- 阴性蕨类; + 阳性蕨类; 0, 耐荫蕨类; T: 热带性蕨类; N: 非热带性蕨类
- Shady fern; + Sunny fern; 0 Shade-tolerant fern; T, Tropical fern; N, Non-tropical fern