

地形因子对粤北山地森林不同生长型地表植物分布格局的影响*

区余端¹ 苏志尧^{1**} 李镇魁¹ 林义辉²

(¹ 华南农业大学林学院, 广州 510642; ² 广东省生态公益林管理中心, 广州 510173)

摘要 利用典范对应分析(CCA)方法研究了小地形变化对广东省车八岭国家级自然保护区山地常绿阔叶林不同生长型地表植物分布格局的影响. 结果表明:坡向、坡度和坡位3个地形因子的综合作用对4种生长型地表植物(蕨类、木质藤本、草本和灌木)的分布格局均有显著影响. 其中,坡向对4种生长型地表植物分布格局的影响均显著,坡度对灌木分布格局的影响显著,坡位对4种生长型地表植物分布格局的影响均不显著. 从阴坡到半阴坡再到半阳坡,4种生长型地表植物的总个体数均逐渐减小,表明阴性植物在亚热带山地常绿阔叶林地表植物中占优势. 大部分灌木属于阴性植物,其丰富度和多样性随坡向的变化趋势与总个体数一致. 灌木对坡度的变化较敏感,在缓坡上数量较多. 丘陵低山的坡位变化范围不大,对地表植物分布的影响不显著. 在林分尺度上,地形因子在水平方向(坡向)上对地表植物分布格局的影响比垂直方向(坡度和坡位)大,反映出坡向是亚热带山地森林中影响水热条件的主要因子.

关键词 分布格局 生长型 地形 山地森林 典范对应分析(CCA)

文章编号 1001-9332(2011)05-1107-07 中图分类号 Q948 文献标识码 A

Effects of topographic factors on the distribution patterns of ground plants with different growth forms in montane forests in North Guangdong, China. OU Yu-duan¹, SU Zhi-yao¹, LI Zhen-kui¹, LIN Yi-hui² (¹College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; ²Guangdong Administrative Center for Non-commercial Ecological Forests, Guangzhou 510173, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(5): 1107-1113.

Abstract: By using canonical correspondence analysis (CCA), this paper studied the effects of small-scale topographic changes on the distribution patterns of ground plants with different growth forms in the montane evergreen broad-leaved forest in Chebaling National Nature Reserve of North Guangdong, China. It was observed that slope aspect, slope grade, and slope position had significantly integrative effects on the distribution patterns of four growth form ground plants (fern, liana, herb, and shrub). Slope aspect had significant effects on the distribution patterns of all four ground plants but slope position didn't have, whereas slope grade only affected the distribution pattern of shrub significantly. From shady slope to semi-shady slope, and to semi-sunny slope, the abundance of the four growth form ground plants decreased gradually, indicating that shade plants were dominant in the ground vegetation of subtropical montane evergreen broad-leaved forest. Most shrubs were shade-tolerant species, and their change patterns of richness and diversity with slope aspect were the same as the change pattern of abundance. Shrubs were sensitive to the change of slope grade, and richer on gentle slopes. In hilly and low mountains, slope position changed little, and had less effects on the distribution patterns of ground plants. At stand-level, horizontal topographic factor (slope grade aspect) had much greater effects on the distribution patterns of ground plants, as compared with vertical topographic factors (slope grade and slope position), which suggested that slope aspect was the major factor affecting the water and heat conditions in subtropical montane forest.

Key words: distribution pattern; growth form; topography; montane forest; canonical correspondence analysis (CCA).

* 广东省科技计划项目(2008A020100013)和广东省财政专项“森林生态科技研究和推广”资助。

** 通讯作者. E-mail: zysu@scau.edu.cn

2010-10-18 收稿, 2011-03-09 接受。

地表植物指距地表高度小于1 m的维管植物(不包括乔木的幼苗)^[1-2],在生物多样性保护、水土保持、植被恢复等方面具有不可忽视的作用^[3-4]。地表植物对环境变化十分敏感,不同环境地表植物的分布具有很大变化^[5-6]。地表植物的组成非常复杂,将其按照生长型划分后再进行分析有助于减少复杂性^[7-10],这种基于植物功能型(对特定环境因子有相似反应的一类植物)的研究对简化生态系统有很大帮助,因此受到学术界广泛推崇^[8-13]。植物生长型是根据植物的可见结构分成不同类群,能反映植物生活的环境条件。植物在相同环境条件下具有相似的生长型,这是趋同适应的结果^[7]。

在小尺度的景观和群落中,非地带性环境因子主导着植物的分布格局。在山地森林群落中,地形因子是影响植物分布主要的非地带性环境因子^[6]。在山地和丘陵地区,地形控制了太阳辐射和降水的空间再分配,往往能营造局部小气候,改变土壤质地,影响土壤水分和养分的分布^[6,14]。目前,在群落尺度上,地形因子对植物分布的影响已引起广泛关注^[1,15-17]。例如,Olivero和Hix^[1]在对俄亥俄州东南部森林的研究中发现不同坡向地表植物的多样性不同;Tokuchi等^[16]发现西班牙东南部森林的地形因子(坡度和海拔)导致了土壤厚度和水分的空间异质性,并对植物分布起重要作用;Lewis等^[17]在阿拉斯加中南部森林的研究中发现坡位控制土壤湿度的有效性,对植物影响很大。但这些研究多为地表植物对不同地形因子的响应,目前关于地形因子对不同生长型地表植物分布的影响研究较少^[18]。不同生长型地表植物的分布格局随地形的变化可能不同,因而,依地表植物的总体变化分析其对环境因子的响应只能揭示出总体趋势,可能会掩盖某些类群与环境因子间特殊的关系。本文研究了粤北亚热带山地常绿阔叶林群落坡向、坡度、坡位等地形因子的变化对不同生长型地表植物分布格局的影响,有助于了解不同生长型地表植物的对地形因子的要求,为坡体维护的植物选种以及森林经营与管理提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

车八岭国家级自然保护区(114°09′04″—114°16′46″E,24°40′29″—24°46′21″N)地处广东省东北部始兴县境内,始建于1981年,全区面积7545 hm²,主要保护对象为中亚热带常绿阔叶林及

珍稀动植物^[19]。地势西北高东南低,海拔330~1256 m,地质构造属华南褶皱系^[19]。保护区的土壤形态和结构较为完整,随海拔由低到高垂直分布着各类岩石风化物的坡积物和冲积物发育而成的水稻土(低地和谷地)、山地红壤、山地暗红壤、山地黄红壤、山地黄壤、山地表潜黄壤和山地草甸土^[19]。本区属于亚热带季风气候区,年均温19.5℃,极端最高温38.4℃,极端最低温-5.5℃;年均降水量1468.0 mm,年均蒸发量1356.1 mm,年均相对湿度79.7%^[19]。气候顶极群落类型分为中亚热带丘陵低山常绿阔叶林和山地常绿阔叶林2个植被亚型^[20],优势科为壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、茶科(Theaceae)、木兰科(Magnoliaceae)、杜英科(Elaeocarpaceae)、安息香科(Styracaceae)和金缕梅科(Hamamelidaceae)等^[21]。

1.2 研究方法

2009年7月,在车八岭国家级自然保护区内,选择一条南北走向的山脊线,在其两侧的山地常绿阔叶林(海拔343~475 m)内设置20 m×20 m研究样地50个。研究样地以米槠(*Castanopsis carlesii*)、木荷(*Schima superba*)、鸭公树(*Neolitsea chunii*)、微毛山矾(*Symplocos wikstroemiifolia*)、栓叶安息香(*Styrax suberifolius*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、黑桫(*Eurya macartneyi*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)和华润楠(*Machilus chinensis*)为主要优势树种,林分类型相同,经过1958年的砍伐,林龄约为40年,属于次生山地林。记录每个样地的地形因子数据,即坡向、坡度和坡位。在样地的四角和中心设置5个2 m×2 m样方,调查样方中地表植物的种类、多度和盖度。根据《广东植物多样性编目》^[22],将地表植物划分为蕨类(fern)、木质藤本(liana)、草本(herb)和灌木(shrub)4种生长型。

以北为起点(0°)顺时针方向旋转,坡向可被划分为北坡(338°~22°)、东北坡(23°~67°)、东坡(68°~112°)、东南坡(113°~157°)、南坡(158°~202°)、西南坡(203°~247°)、西坡(248°~292°)和西北坡(293°~337°)^[23]。山脊线东、西2面样地坡向的变化幅度分别为59°~111°和252°~264°。在北半球,西南坡的太阳辐射最多,东北坡最少^[24-25],把接受太阳辐射相同的坡向划为同一等级,可以将样地坡向分为3级:1)阴坡(59°~67°),5个样方;2)半阴坡(68°~111°),45个样方;3)半阳坡(252°~264°),50个样方。样地坡度的变化幅度为5.8°~55.6°,从缓到陡分为4组:1)缓坡(5.8°~

25°), 5 个样方; 2) 陡坡 (25° ~ 35°), 24 个样方; 3) 急坡 (35° ~ 45°), 65 个样方; 4) 险坡 (45° ~ 55.6°), 6 个样方^[23,26-27]. 坡位从山脊到山谷分为: 1) 上坡位, 26 个样方; 2) 中坡位, 46 个样方; 3) 下坡位, 28 个样方^[23].

1.3 数据处理

采用 CANOCO 4.5 软件对 4 种生长型地表植物在各地形因子梯度中的分布做典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA). 建立 5 个数据表, 为蕨类、木质藤本、草本和灌木的多度主矩阵数据表以及地形因子分组变量次矩阵数据表. 用蒙特卡罗法 (Monte Carlo) 对地形因子的综合作用与物种数据之间的关系进行显著性检验^[28]. 用前向选择分析各种地形因子对 4 种生长型地表植物的影响力和显著性, 其中坡向数据转换为自然对数^[1,15,28].

利用多元统计分析软件 PC-ORD 5.0^[29] 计算样方中各生长型地表植物的总个体数 (N)、丰富度 (S)、Shannon 多样性指数 (H') 和均匀度指数 (E):

$$N = \sum N_i$$

式中, N_i 为各物种的多度.

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

式中, S 为物种数; P_i 是样方中第 i 个物种的个体数占所有个体的比例.

$$E = H' / \ln S$$

采用 Statistica 8.0 软件对 4 种生长型地表植物的多样性指标做 Kruskal-Wallis (非参数 ANOVA) 分析, 并检验它们在各种地形因子分组变量间是否存在差异.

2 结果与分析

2.1 地形因子对不同生长型地表植物分布的影响

对蕨类、木质藤本、草本和灌木植物的分布分别进行 CCA 分析 (表 1), 蒙特卡罗检验结果表明, 第 1 轴和第 2 轴的特征值均较大, 并且具有显著的统计学意义 ($P < 0.01$), 说明坡向、坡位和坡度 3 个地形因子的综合作用对 4 种生长型地表植物的分布格局具有显著影响. 4 种生长型地表植物的特征值不同, 但第 1 轴的特征值均远大于其他 2 轴, 说明与第 1 轴相关性较大的地形因子对地表植物分布的影响较大. 对于 4 种生长型地表植物的物种-环境相关性, 第 1 轴变化范围为 76.2% ~ 85.3%, 第 2 轴为 43.5% ~ 57.2%, 第 1 轴大于第 2 轴. 在 CCA 排序

表 1 4 种生长型地表植物 CCA 排序的特征值和物种-环境相关性

Table 1 Eigenvalue and species-environmental correlation among plants with the four growth forms

生长型 Growth form	参数 Parameter	第 1 轴 Axis 1	第 2 轴 Axis 2
蕨类 Fern	特征值 Eigenvalue	0.331	0.053
	物种-环境相关性 Species-environmental correlation	0.853	0.572
	坡度 Slope grade	-0.341	-0.680
	坡向 Slope aspect	-0.999	0.024
木质藤本 Liana	特征值 Eigenvalue	-0.007	-0.724
	物种-环境相关性 Species-environmental correlation	0.251	0.031
	坡度 Slope grade	0.824	0.435
	坡向 Slope aspect	-0.368	-0.320
草本 Herb	特征值 Eigenvalue	-0.995	-0.043
	物种-环境相关性 Species-environmental correlation	-0.062	0.904
	坡度 Slope grade	0.265	0.047
	坡向 Slope aspect	0.800	0.502
灌木 Shrub	特征值 Eigenvalue	-0.455	-0.794
	物种-环境相关性 Species-environmental correlation	-0.993	0.048
	坡度 Slope grade	0.010	0.410
	坡向 Slope aspect	0.287	0.062
	特征值 Eigenvalue	0.762	0.555
	物种-环境相关性 Species-environmental correlation	-0.555	-0.814
	坡度 Slope grade	-0.954	0.219
	坡向 Slope aspect	-0.300	-0.163

图中, 沿箭头方向, 坡向由阴坡至半阴坡、半阳坡, 坡位由上坡位至中坡位、下坡位, 坡度由缓到陡.

4 种生长型地表植物 CCA 排序图的第 1 环境轴从左到右主要表示坡向从半阳坡至半阴坡、阴坡的变化 (图 1). 在 3 个地形因子中, 坡向与第 1 环境轴的相关性最大 (表 1), 对 4 种生长型地表植物分布的影响均显著 ($P < 0.01$, 表 2), 这说明坡向对 4 种生长型地表植物分布的影响均最大.

分布在半阳坡的植物主要有: 属于蕨类的鳞始蕨 (*Lindsaea cultrata*)、乌蕨 (*Stenoloma chusanum*)、星毛蕨 (*Ampelopteris prolifera*)、海金沙 (*Lygodium japonicum*) 等, 属于木质藤本的角花胡颓子 (*Elaeagnus gonyanthes*)、葡蟠 (*Broussonetia kaempferi*)、豆腐柴 (*Premna microphylla*)、硬齿猕猴桃 (*Actinidia callosa*) 等, 属于草本植物的鸭跖草 (*Commelina communis*)、杏香兔儿风 (*Ainsliaea fragrans*)、白花地胆草 (*Elephantopus tomentosus*)、十字薹草 (*Carex cruciata*) 等, 属于灌木的珊瑚树 (*Viburnum odoratissimum*)、小果蔷薇 (*Rosa cymosa*)、华南皂荚 (*Gleditsia fera*)、肖梵天花 (*Urena lobata*) 等.

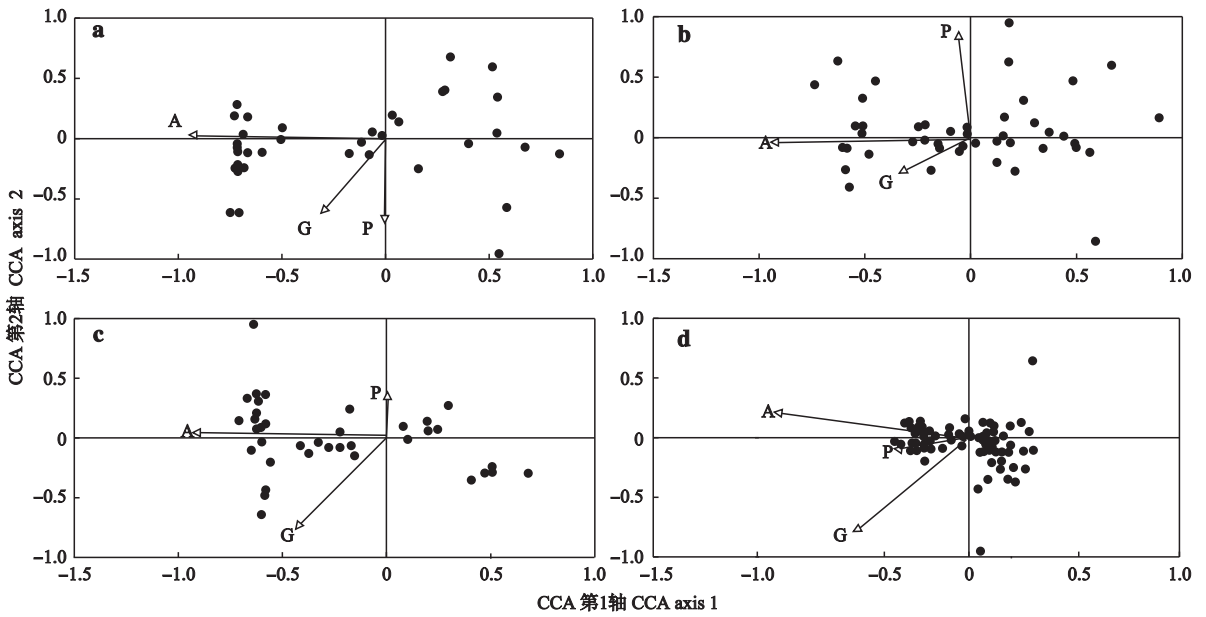


图1 蕨类(a)、木质藤本(b)、草本(c)、灌木(d)与地形因子的典范对应分析

Fig. 1 Canonical correspondence analyses between fern (a), liana (b), herb (c), shrub (d) and topographic factors.

A:坡向 Slope aspect; P:坡位 Slope position; G:坡度 Slope grade.

分布在阴坡的植物主要有:属于蕨类的蜈蚣草 (*Pteris vittata*)、中华里白 (*Diplazium chinensis*)、胎生狗脊蕨 (*Woodwardia prolifera*)、深绿卷柏 (*Selaginella doederleinii*)等,属于木质藤本的龙须藤 (*Bauhinia championii*)、金线吊乌龟 (*Stephania cepharantha*)、匙羹藤 (*Gymnema sylvestre*)、构棘 (*Cudrania cochinchinensis*)等,属于草本植物的蓼蓂 (*Vitis adstricta*)、尾花细辛 (*Asarum caudigerum*)、楼梯草 (*Elatostema henryanum*)、日本蛇根草 (*Ophiorrhiza japonica*)等,属于灌木的牛耳枫 (*Daphniphyllum calycinum*)、

龙吐珠 (*Clerodendrum thomsonae*)、山仓子 (*Litsea cubeba*)、小槐花 (*Desmodium caudatum*)等。

4种生长型地表植物的排序图从右上方到左下方表示坡度从缓到陡的变化(图1)。在灌木的CCA分析中,坡度与第2轴的相关性较大(表1),对灌木分布的影响显著(表2)。分布在缓坡的植物主要有长柄石笔木 (*Tutcheria greeniae*) ,分布在陡坡的植物主要有华紫珠 (*Callicarpa cathayana*)。

3种地形因子对4种生长型地表植物物种数据的解释力度顺序相同(表2),均为坡向>坡度>坡位,其中,坡向对蕨类、木质藤本和草本物种数据的解释力度远大于坡度和坡位。坡向对4种生长型地表植物分布格局的解释力度最高、影响均显著 ($P < 0.01$),坡度对灌木分布格局的影响显著 ($P < 0.05$),坡位对4种生长型地表植物分布格局的影响均不显著。

表2 CCA分析中地形因子的前向选择

Table 2 Forward selection of topographic factors in CCA analysis

生长型 Growth form	边际效应 Marginal effect		条件效应 Conditional effect	
	顺序 Order	解释力度 Explanatory power	顺序 Order	P 值 P value
蕨类 Fern	坡向 Slope aspect	0.33	坡向 Slope aspect	0.000
	坡度 Slope grade	0.07	坡位 Slope position	0.133
	坡位 Slope position	0.04	坡度 Slope grade	0.191
木质藤本 Liana	坡向 Slope aspect	0.25	坡向 Slope aspect	0.000
	坡度 Slope grade	0.05	坡位 Slope position	0.409
	坡位 Slope position	0.03	坡度 Slope grade	0.877
草本 Herb	坡向 Slope aspect	0.26	坡向 Slope aspect	0.000
	坡度 Slope grade	0.09	坡度 Slope grade	0.156
	坡位 Slope position	0.02	坡位 Slope position	0.539
灌木 Shrub	坡向 Slope aspect	0.27	坡向 Slope aspect	0.000
	坡度 Slope grade	0.13	坡度 Slope grade	0.024
	坡位 Slope position	0.05	坡位 Slope position	0.395

2.2 地形因子对不同生长型地表植物多样性的影响

由图2可以看出,坡向分组变量对蕨类的丰富度、多样性和均匀度的影响均显著 ($P < 0.05$)。从阴坡到半阴坡再到半阳坡,蕨类的总个体数呈逐渐减小趋势,丰富度和多样性均表现为半阴坡最低,且与阴坡和半阳坡差异显著 ($P < 0.05$),均匀度逐渐增加。坡向分组变量对木质藤本的总个体数和均匀度的影响显著 ($P < 0.05$)。从阴坡到半阴坡再到半阳坡,木质藤本的总个体数逐渐减小,均匀度逐渐增

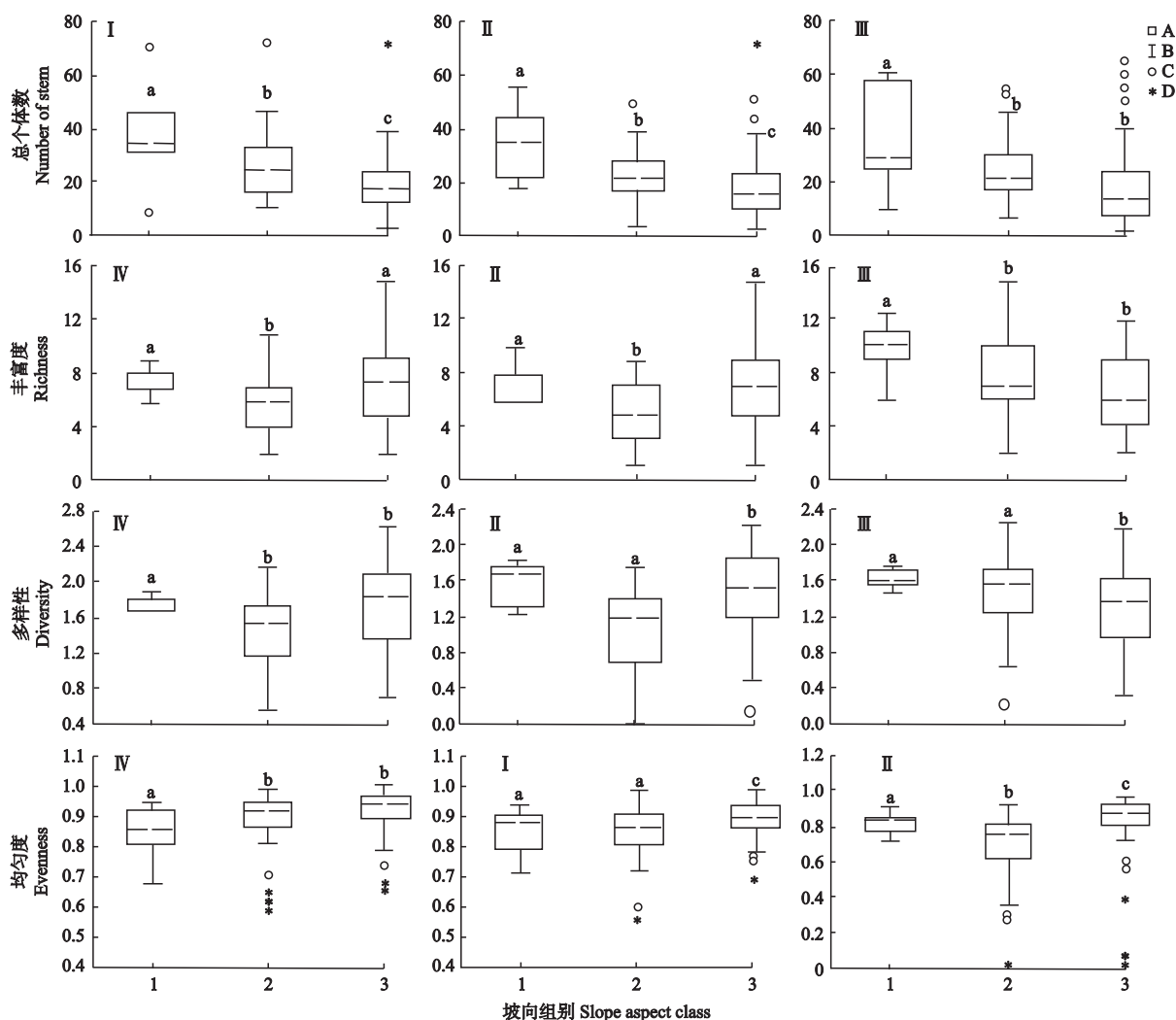


图 2 4 种生长型地表植物多样性对坡向分组变量的响应

Fig. 2 Response of diversity of ground plants with the four growth forms to slope aspect grouping variables.

I: 木质藤本 Liana; II: 草本 Herb; III: 灌木 Shrub; IV: 蕨类 Fern. 1) 阴坡 Shady slope (59° ~ 67°); 2) 半阴坡 Semi-shady slope (68° ~ 111°); 3) 半阳坡 Semi-sunny slope (252° ~ 264°). A: 25% ~ 75%; B: 非异常值 Non-outlier range; C: 异常值 Outlier; D: 极值 Extreme. 不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05). Different small letters meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

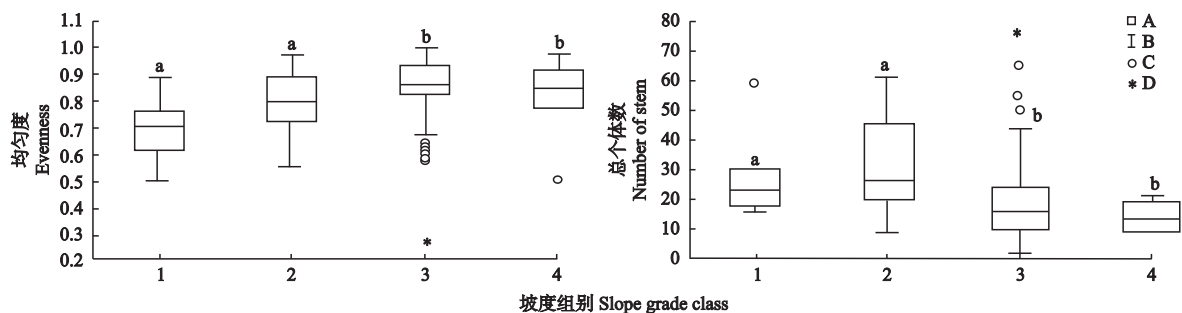


图 3 灌木植物的均匀度和总个体数对坡度分组变量的响应

Fig. 3 Response of evenness and stem number of shrubs to slope grade grouping variables.

1) 缓坡 Gentle slope (5.8° ~ 25°); 2) 陡坡 Steep slope (25° ~ 35°); 3) 急坡 Sharp slope (35° ~ 45°); 4) 险坡 Sudden slope (45° ~ 55.6°).

加. 坡向分组变量对草本植物的总个体数、丰富度、均匀度和多样性影响显著 (P < 0.05). 从阴坡到半阴坡再到半阳坡, 草本植物的总个体数逐渐减小, 丰富

度、均匀度和多样性均在半阴坡处最低. 坡向分组变量对灌木的总个体数、丰富度和多样性的影响显著 (P < 0.05). 从阴坡到半阴坡再到半阳坡, 灌木的总

个体数、丰富度和多样性均逐渐减小。

由图3可以看出,坡度分组变量对灌木的总个体数和均匀度影响显著($P < 0.05$)。灌木的总个体数在缓坡和陡坡较高,在急坡和险坡较低,差异达到显著水平($P < 0.05$)。坡度由缓到陡,灌木的均匀度逐渐增加,缓坡和陡坡与急坡和险坡之间的差异达到显著水平($P < 0.05$)。

3 讨论

群落尺度的小地形对不同生长型地表植物的分布格局均有显著影响。坡向影响植物接受太阳辐射的强度和时,因此对温度的影响较大^[24-25]。由于长期适应与进化,不同生长型地表植物对光照的要求不同,因此在不同坡向的分布情况也不同。从阴坡到半阴坡再到半阳坡,4种生长型地表植物的总个体数均逐渐减小,说明在亚热带山地常绿阔叶林中阴性植物的个体数占总地表植物的大部分^[30]。灌木的丰富度指数和多样性指数随坡向的变化趋势与总个体数一致,均由阴坡到阳坡逐渐减小,这反映出该群落的灌木大多属于阴性植物。而蕨类、木质藤本和草本植物中耐荫物种和喜阳物种所占比例相当,分布较均匀。

坡度对蕨类、木质藤本和草本植物的分布格局无显著影响,但对灌木的分布影响显著。坡度的缓急决定了土壤的厚度^[16],一般而言,缓坡土层较厚,陡坡土层较薄^[24]。本研究中,蕨类、木质藤本和草本植物对坡度的变化相对不敏感,能适应土层较薄的生境,可用于陡峭山坡的水土保持,而灌木对坡度的变化较敏感,在缓坡数量较多。结合灌木的CCA排序图,沿坡度逐渐增大的方向灌木物种数逐渐减小。其中,华紫珠等灌木能适应较浅的土层,可用于坡体维护。

坡位对4种不同生长型地表植物分布格局均无显著影响。温度沿高山垂直梯度变化明显,植被类型会表现出明显的垂直地带性^[31]。但是本研究中,样地属于丘陵低山,海拔范围只有343~475 m,因此在群落小尺度下坡位对地表植物分布的影响不显著。

坡向表示水平方向的地形因子,坡位和坡度表示垂直方向的地形因子。在丘陵低山的微地形变化中,地形因子在水平方向上对不同生长型地表植物的影响比在垂直方向大。但是随着研究尺度的变化,各地形因子对植被分布格局的影响也会随之改变。在山地森林中,一个植物群落同时会受到多个地形因子的影响,每个因子对光、温、水以及养分的控制

各有侧重,结合地形因子间的相互补偿机制,在某一尺度上某个地形因子可能起主导作用。

参考文献

- [1] Olivero AM, Hix DM. Influence of aspect and stand age on ground flora of southeastern Ohio forest ecosystems. *Plant Ecology*, 1998, **139**: 177-187
- [2] Goebel PC, Pregitzer KS, Palik BJ. Landscape hierarchies influence riparian ground-flora communities in Wisconsin, USA. *Forest Ecology and Management*, 2006, **230**: 43-54
- [3] Zenner EK, Berger AL. Influence of skidder traffic and canopy removal intensities on the ground flora in a clearcut-with-reserves northern hardwood stand in Minnesota, USA. *Forest Ecology and Management*, 2008, **256**: 1785-1794
- [4] Dodson EK, Peterson DW, Harrod RJ. Understory vegetation response to thinning and burning restoration treatments in dry conifer forests of the eastern Cascades, USA. *Forest Ecology and Management*, 2008, **255**: 3130-3140
- [5] McDonald DJ, Cowling RM, Boucher C. Vegetation-environment relationships on a species-rich coastal mountain range in the fynbos biome (South Africa). *Plant Ecology*, 1996, **123**: 165-182
- [6] Cantón Y, Del Barrio G, Solé-Benet A, et al. Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain. *Catena*, 2004, **55**: 341-365
- [7] Rowe N, Speck T. Plant growth forms: An ecological and evolutionary perspective. *New Phytologist*, 2005, **166**: 61-72
- [8] Sun G-J (孙国钧), Zhang R (张荣), Zhou L (周立). Trends and advances in researches on plant functional diversity and functional groups. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(7): 1430-1435 (in Chinese)
- [9] Weng E-S (翁恩生), Zhou G-S (周广胜). Defining plant functional types in China for global change studies. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2005, **29**(1): 81-97 (in Chinese)
- [10] Sun H-Z (孙慧珍), Guo Q-X (国庆喜), Zhou X-F (周晓峰). Classification attribute and approach of plant functional types. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2004, **32**(2): 81-83 (in Chinese)
- [11] Aguiar MR, Paruelo JM, Sala OE, et al. Ecosystem response to changes in plant functional types composition: An example from the Patagonian steppe. *Journal of Vegetation Science*, 1996, **7**: 381-390
- [12] Jobbagy EG, Paruelo JM, León RJC. Vegetation heterogeneity and diversity in flat and mountain landscapes of Patagonia (Argentina). *Journal of Vegetation Science*, 1996, **7**: 599-608
- [13] Williams JW, Summers RL, Webb III T. Applying plant functional types to construct biome maps from east-

- ern North American pollen data; Comparisons with model results. *Quaternary Science Reviews*, 1998, **17**: 607-627
- [14] Parker AJ, Branner JC. The topographic relative moisture index: An approach to soil-moisture assessment in mountain terrain. *Physical Geography*, 1982, **3**: 160-168
- [15] Brososke KD, Chen J, Crow TR. Understory vegetation and site factors: Implications for a managed Wisconsin landscape. *Forest Ecology and Management*, 2001, **146**: 75-87
- [16] Tokuchi N, Takeda H, Yoshida K, *et al.* Topographical variations in a plant-soil system along a slope on Mt Ryuoh, Japan. *Ecological Research*, 1999, **14**: 361-369
- [17] Lewis KJ, Trummer LM, Thompson RD. Incidence of tomentosus root disease relative to spruce density and slope position in south-central Alaska. *Forest Ecology and Management*, 2004, **194**: 159-167
- [18] Lyon J, Sagers CL. Correspondence analysis of functional groups in a riparian landscape. *Plant Ecology*, 2002, **164**: 171-183
- [19] Xu Y-Q (徐燕千). A comprehensive report of surveys in Chebaling National Nature Reserve// Xu Y-Q (徐燕千), ed. A Collection of Research Papers on the Investigation of Chebaling National Nature Reserve. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1993: 1-8 (in Chinese)
- [20] Chen B-G (陈北光), Zeng T-X (曾天勋), Xie Z-S (谢正生). The major forest vegetation types and their structural features in National Chebaling Nature Reserve// Xu Y-Q (徐燕千), ed. A Collection of Research Papers on the Investigation of Chebaling National Nature Reserve. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1993: 123-151 (in Chinese)
- [21] Chen X-M (陈锡沐), Zhang C-L (张常路), Li B-T (李秉滔). A study on the spermatophyte in the National Chebaling Nature Reserve of Guangdong. *Guihaia* (广西植物), 1994, **14**(4): 321-333 (in Chinese)
- [22] Ye H-G (叶华谷), Peng S-L (彭少麟). Plant Diversity Inventory of Guangdong. Guangzhou: Guangdong World Publishing Corporation, 2006 (in Chinese)
- [23] China Forestry Bureau (国家林业局). Technical Regulations of China National Forest Inventory in 2003 [EB/OL]. (2007-01-17) [2011-03-08]. <http://www.gsly.cn/catalog/policy/content/biaozhun/lybz/019.htm>
- [24] Shen Z-H (沈泽昊), Zhang X-S (张新时), Jin Y-X (金义兴). Gradient analysis of the influence of mountain topography on vegetation pattern. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2000, **24**(4): 430-435 (in Chinese)
- [25] Hutchinson TF, Boerner REJ, Iverson LR, *et al.* Landscape patterns of understory composition and richness across a moisture and nitrogen mineralization gradient in Ohio (U. S. A.) *Quercus* forests. *Plant Ecology*, 1999, **144**: 177-189
- [26] Tang G-A (汤国安), Song J (宋佳). Comparison of slope classification methods in slope mapping from DEMs. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2006, **20**(2): 157-160 (in Chinese)
- [27] Zhang C-P (张翠萍), Niu J-M (牛建明), Dong J-J (董建军), *et al.* Vegetation mapping and spatial pattern analysis using IKONOS data, a case study in the Wufendigou area. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(2): 449-456 (in Chinese)
- [28] Lepš J, Šmilauer P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. New York: Cambridge University Press, 2003
- [29] McCune B, Mefford MJ. *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Gleneden Beach, Oregon, USA: MjM Software, 2006
- [30] Peterken GF, Francis JL. Open spaces as habitats for vascular ground flora species in the woods of central Lincolnshire, UK. *Biological Conservation*, 1999, **91**: 55-72
- [31] Zhang L (张璐), Su Z-Y (苏志尧), Chen B-G (陈北光). Altitudinal patterns of species diversity in the montane forest communities: A review. *Journal of Mountain Science* (山地学报), 2005, **23**(6): 736-743 (in Chinese)

作者简介 区余端,女,1983年生,博士研究生.主要从事森林生态学和生物多样性保护研究. E-mail: ouyuduan@126.com

责任编辑 孙菊
