

## 格氏栲天然林群落结构特征及多样性分析

李宸钟, 李淑静, 王新杰\*

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

**摘要:** 为了解不同立地条件下格氏栲天然林群落结构与物种多样性之间的耦合关系, 对福建三明格氏栲自然保护区内不同坡位、坡向下格氏栲群落进行研究。结果表明, 试验区共记录到植被 94 种, 隶属于 47 科 75 属。乔木层个体生长状况在下坡位阳坡较好, 灌草层的盖度随坡位的升高而降低, 坡向对更新层植被生长影响较大。下坡位林下物种多样性指数更高, 且乔木层植被生长特征值越大, 林下植被物种多样性指数越大。冗余分析(RDA)表明, 群落物种多样性的高低同时受到地形因子和群落结构的影响。与单因素方差分析结果一致, 相比于坡向, 坡位对群落结构和多样性的影响更大。

**关键词:** 坡位; 坡向; 群落结构; 物种多样性; 格氏栲天然林

**中图分类号:** S718.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-7461(2023)04-0044-07

### Community Structure and Diversity Analysis of *Castanopsis kawakamii* Natural Forest

LI Chen-zhong, LI Shu-jing, WANG Xin-jie\*

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To understand the coupling relationship between community structure and species diversity of *Castanopsis kawakamii* natural forest under different site conditions, we studied the *C. kawakamii* communities at different slope positions and aspects in Sanming Nature Reserve, Fujian Province. The results showed that a total of 94 vegetation species belonging to 47 families, 75 genera were recorded in the study area. The individual growth index of tree layer reached the maximum in the lower slope and sunny slope direction, the coverage of shrub and herb layer decreased with the increase of slope position, and the slope direction had great influence on the vegetation growth of regeneration layer. The species diversity index in downslope position was higher. The better of tree layer vegetation, the greater the species diversity index of understory vegetation. Redundancy analysis (RDA) showed that species diversity was related to topographic factors and community structure, which was consistent with the results of one-way ANOVA; the effect of slope position on community structure and diversity was greater than that of slope aspect.

**Key words:** slope position; aspect; community structure; species diversity; *Castanopsis kawakamii* natural forest

原始天然林是我国所有森林类型中最为理想的林分, 在维持生物多样性、涵养水源、固碳释氮以及维持森林的可持续发展等方面有着巨大的现实意义。丰富的生物多样性和复杂稳定的群落结构对天然林发挥其生态功能起着关键作用。物种多样性是衡量生物多样性最基本的单位从物种组成及其分布

状况对某生态区的群落物种丰富度和群落结构稳定性做出评价。Tilman 等<sup>[1]</sup>研究证明, 生态系统的时间稳定性随着物种多样性的增加而增加。马文静等<sup>[2]</sup>也证明物种多样性与生态系统之间存在正向效应。地形因子的变化在很大程度上决定着植物群落的结构与多样性。坡位、坡向作为重要的立地因子,

收稿日期: 2022-06-01 修回日期: 2022-12-15

基金项目: 中央高校基金本科业务费专项(BLJD200907)。

第一作者: 李宸钟。研究方向: 森林结构与生长模型模拟。E-mail: 15364648866@163.com

\* 通信作者: 王新杰, 硕士生导师。研究方向: 森林结构与生长模型模拟。E-mail: xinjie@bjfu.edu.cn

从不同程度上调节林内光照、水分、土壤养分<sup>[3-6]</sup>等因素来影响地上植被的生长发育, 从而影响植物群落类型及物种分布<sup>[7]</sup>, 达到调整森林群落结构与物种多样性的目的。因此, 探究群落结构、物种多样性与地形因子之间的耦合关系, 通过适当的经营手段对森林群落各指标进行调整, 对提高天然林的物种多样性, 促进林分天然更新具有重要意义。

格氏栲(*Castanopsis kawakamii*), 又名吊皮锥, 壳斗科栲属的常绿阔叶乔木, 在 1984 年就被列入珍稀濒危保护植物Ⅱ级。我国除福建三明格氏栲自然保护区内有一片近纯林状态的格氏栲天然林外, 即使在森林保存较好的山区该树种也很罕见。目前, 对该区格氏栲的研究多集中于林窗更新<sup>[8-9]</sup>、凋落物养分<sup>[10]</sup>、种苗关系<sup>[11-12]</sup>方面, 而有关多样性、群落结构以及立地因子间的耦合关系未见报道。因此, 为了明确格氏栲天然林群落结构与植物多样性随立地变化的规律, 本研究通过调查该区不同坡位、坡向下各层次植被个体生长特征、林分特征与群落内物种丰富度、均匀度等多个方面, 分析不同层次间植被生长与分布状况, 以此来揭示格氏栲天然林群落结构、物种多样性对立地因子的响应机制, 从而更有效地保护和利用我国这一特有种质资源。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

格氏栲天然林位于福建三明市西南方 20 余 km 处, 坐标为 117°28'E, 26°10'N, 海拔 180~620 m。该地区年平均温度 19.5℃, 气温跨度从 -5.5℃~40℃, 年平均降雨量约 1 700 mm, 属于典型的中亚热带季风型气候。土层营养元素丰富, 凋落物腐殖质较厚, 土系多为红壤与暗红壤, 水肥条件良好<sup>[17]</sup>。林分整体为高度郁闭, 树体通直, 林下植被丰富, 群落类型多样。该区域内格氏栲天然林形成于 140 a 前, 自然资源丰富, 主要伴生树种有木荷(*Schima superba*)、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、闽楠(*Phoebe bournei*)、润楠(*Machilus nanmu*)、米槠(*Castanopsis carlesii*)等; 林下植被主要有山血丹(*Ardisia punctata*)、菝葜(*Smilax china*)、棕竹(*Rhapis excelsa*)、毛鳞省藤(*Calamus thysanolepis*)、华山姜(*Alpinia chinensis*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)及酸藤子(*Embelia laeta*)等。

1.2 样地设置与调查

本研究于 2021 年 8 月在福建三明格氏栲自然保护区进行踏查, 在进行全面踏查的基础上, 选择具有代表性且避开人为干扰较大的区域, 采用典型取

样法在下、中、上坡位的阳坡与阴坡各设置方形样地 4 块, 每块面积为 20 m×20 m。所有样地以西南角为原点, 东西、南北方向分别设为 X、Y 轴进行每木检尺。其中, 胸径≥5 cm 乔木定树牌并记入乔木层, 胸径<5 cm 的乔木挂树签后记入更新层, 调查内容包括树种名称、胸径(更新层为地径)、树高、冠幅、生长状况、相对坐标等。每块样地四角及中心设置面积为 5 m×5 m 的灌木样方, 记录样方内灌木物种名称、株(丛)数、盖度等因子。每个灌木样方四角及中心再设置 1 m×1 m 草本样方, 调查因子与灌木层相同(图 1)。其他基本情况因子调查包括经纬度、海拔、坡位、坡向、郁闭度等基本信息(表 1)。

表 1 样地概况

Table 1 General status of the plots

样地号	郁闭度	海拔/m	坡位	坡向
1—4	0.85	220	L	SH
5—8	0.85	220	L	SU
9—12	0.75	340	M	SH
13—16	0.78	350	M	SU
17—20	0.85	510	H	SH
21—24	0.80	520	H	SU

注: L 为下坡位; M 为中坡位; H 为上坡位, SH 为阴坡; SU 为阳坡。下同。

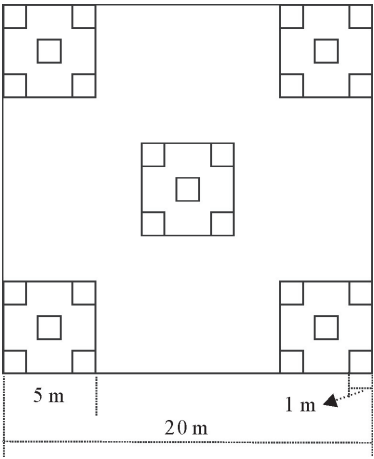


图 1 样方布设位置示意

Fig. 1 The diagram of the positions of quadrats in a sample plot

1.3 计算公式

1.3.1 重要值 重要值=(相对多度+相对显著度/相对盖度+相对频度)/3<sup>[13]</sup>

1.3.2 物种多样性 选择 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Simpson 优势度指数( $D_s$ )、物种丰富度指数( $R$ )、Pielou 均匀度指数( $J$ )对群落内所有调查物种分层(乔木层、灌木层、草本层、更新层)计算

Shannon-Wiener 指数  $H' = -\sum p_i \ln p_i$  (1)

Simpson 指数  $D_s = 1 - \sum p_i^2$  (2)

物种丰富度指数  $R = S$  (3)

Pielou 均匀度指数  $J = -\sum p_i \ln p_i / \ln S$  (4)

式中:  $P_i$  为第  $i$  个物种的数量与所有物种总数量之比;  $S$  为样方中物种总数。

1.3.3 群落结构 群落结构包括植被个体生长特征与林分特征两方面。个体生长特征指标包括乔木树高、胸径(地径)、冠幅;林分特征指标包括各层次植被密度以及灌草层盖度。

1.3.4 冗余分析(RDA) 将坡位、坡向,以及群落结构各指标定义为环境变量,坡位和坡向用数字表示。下、中、上位坡分别为 1、2、3,阳坡、阴坡分别为 4、5。

#### 1.4 数据分析

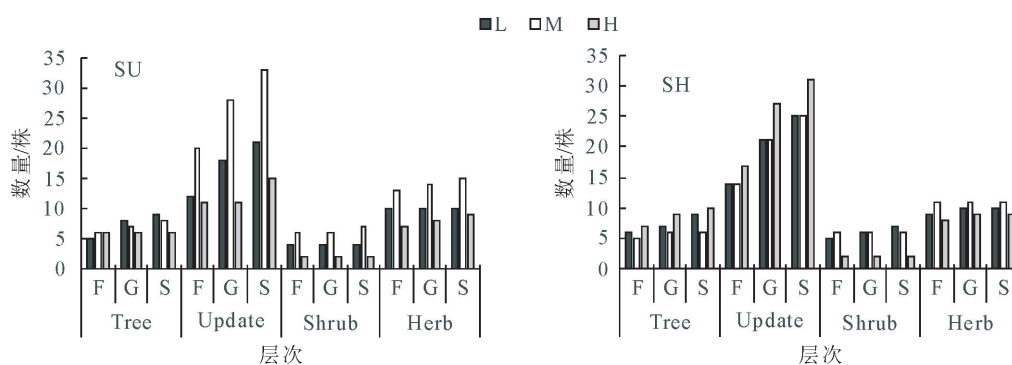
用 Excel2016 和 SPSS26 对数据进行统计分析。采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)对不同地形因子间各层次植

被进行差异性检验( $\alpha=0.05$ ),植物多样性、群落结构及立地因子间的耦合关系采用 R3.6.3 中冗余分析(RDA),选择贡献较大的解释变量进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 坡位和坡向对格氏栲群落物种组成及重要值的影响

2.1.1 物种组成 研究区域内共记录到植物 94 种,隶属于 47 科 75 属,壳斗科、山茶科、樟科、杜英科、紫金牛科占比较大。其中,更新层物种组成最为丰富,其次为草本层。乔木层物种在上坡位阴坡分类最丰富,灌草以及更新层在中坡位阳坡最多。整体上讲,除更新层外,其余各层次物种在同一坡位不同坡向间物种丰度差别不大(图 2)。



F 为科;G 为属;S 为种;Tree 为乔木层;Update 为更新层;Shrub 为灌木层;Herb 为草本层。下同。

图 2 不同坡位、坡向各层次物种科属种分类

Fig. 2 Classification of species families, genera and species at different slope positions and aspects

2.1.2 重要值 不同坡位、坡向下各层次物种重要值排名前 5 的物种见表 2,优势种的重要值随立地因子的改变均发生改变。随坡位的上升,格氏栲的相对多度逐渐减小,在下坡位重要值最大。同坡向随坡位的升高格氏栲的重要值均减小,除下坡位外,同一坡位上阳坡格氏栲重要值更大。对于更新层来讲,中坡位格氏栲重要值最大。更新层物种组成丰富,竞争机制更为复杂。优势树种虽然变化不明显,但在不同坡位之间重要值均有所变化。对于坡向来说,同坡位格氏栲重要值基本没有变化。润楠、杜英、木荷在群落更新层中占比较大,重要值较高。草本层各物种重要值随坡位变化比较大,华山姜作为优势树种地位突出,说明其生境适应性较强。立地的改变对灌木层影响较小,优势种差别不明显,山血丹和菝葜排于前 2 位,且在上坡位仅调查到这两种灌丛植被,物种组成较单一。重要值靠后的部分物种在群落中作为从属植物,对林分稳定性有着重要作用。

### 2.2 坡位和坡向对格氏栲群落结构的影响

经调查发现,福建三明格氏栲自然保护区乔木层和更新层个体生长特征在不同坡位和坡向上存在

差异。就坡位来讲,乔木层的胸径(DBH)、高度( $H$ )、冠幅( $C$ )均在下坡位最大,且与中、上坡位存在显著性差异,不同坡向之间没有显著性差异。林分密度下坡位最小,这与样地内乔木层胸径有关。更新层对坡向的响应大于乔木层,阳坡植被的更新树高与冠幅优于阴坡,中坡位阴坡的更新情况较差。这是因为格氏栲是一种慢生树种<sup>[14]</sup>,在幼苗期又具有喜光特性,对光照较敏感,阳坡的生长状况会稍好。灌木层的盖度与密度以及草本层的盖度均随坡位的上升逐渐减小,上坡位显著低于下、中坡位。单因素方差结果表明(表 3),坡向的改变仅在更新层表现出影响,其余各层次群落结构指标在下坡位的表现优于上坡位。因此,坡位对群落结构的影响大于坡向,坡位与坡向的交互作用对乔木植被的影响大于灌草。

### 2.3 坡位和坡向对林下物种多样性的影响

单因素方差结果表明(表 4),不同坡位间灌草植被的  $H'$  和  $D$  存在显著性差异, $J$  只在草本层有显著性差异, $R$  没有表现出显著性差异。不同坡向间灌草植被各多样性指数均没有显著性差异,坡位

与坡向的交互作用对草本层的影响大于灌木层。整 在坡向上没有明显的规律性。因此,坡位对格氏栲  
体上看,下坡位林下物种多样性明显高于上坡位,但 天然林物种多样性指数的影响大于坡向。

表 2 各层次重要值排序前 5 名的物种  
Table 2 Top 5 species of importance values at each layer

层次	坡位	坡向	物种
乔木层	L	SU	格氏栲(0.54)、木荷(0.14)、润楠(0.05)、山矾 <i>Symplocos sumuntia</i> (0.05)、桉树 <i>Eucalyptus robusta</i> (0.05)
		SH	格氏栲(0.54)、木荷(0.14)、香叶树 <i>Lindera communis</i> (0.05)、杜英(0.05)、栲树 <i>Castanopsis fargesii</i> (0.05)
	M	SU	格氏栲(0.48)、木荷(0.13)、闽楠(0.11)、马尾松(0.07)、杜英(0.06)
		SH	格氏栲(0.33)、木荷(0.29)、马尾松(0.18)、闽楠(0.07)、樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> (0.06)
	H	SU	格氏栲(0.51)、杜英(0.15)、木荷(0.15)、闽楠(0.07)、冬青 <i>Ilex chinensis</i> (0.06)
		SH	格氏栲(0.35)、木荷(0.16)、润楠(0.10)、赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i> (0.09)、闽楠(0.06)
更新层	L	SU	木荷(0.17)、杜英(0.14)、格氏栲(0.11)、润楠(0.10)、山矾(0.08)
		SH	杜英(0.15)、木荷(0.13)、润楠(0.11)、格氏栲(0.09)、狗骨柴 <i>Diplospora dubia</i> (0.08)
	M	SU	润楠(0.14)、格氏栲(0.13)、闽楠(0.09)、木荷(0.09)、杜英(0.08)
		SH	格氏栲(0.13)、润楠(0.10)、山矾(0.09)、狗骨柴(0.06)、木荷(0.05)
	H	SU	润楠(0.16)、蚊母树 <i>Distylium racemosum</i> (0.15)、木荷(0.14)、杜英(0.11)、格氏栲(0.08)
		SH	杜英(0.17)、润楠(0.15)、木荷(0.12)、格氏栲(0.09)、鼠刺 <i>Itea chinensis</i> (0.08)
灌木层	L	SU	山血丹(0.36)、棕竹(0.21)、菝葜(0.19)、朱砂根 <i>Ardisia crenata</i> (0.10)、杜茎山 <i>Maesa japonica</i> (0.05)
		SH	山血丹(0.50)、菝葜(0.22)、瓜馥木 <i>Fissistigma oldhamii</i> (0.14)、棕竹(0.14)
	M	SU	山血丹(0.54)、土茯苓 <i>Smilax glabra</i> (0.10)、欆木 <i>Loropetalum chinense</i> (0.10)、菝葜(0.09)、细轴茺花 <i>Wikstroemia nutans</i> (0.08)
		SH	山血丹(0.46)、刚竹 <i>Phyllostachys sulphurea</i> (0.21)、菝葜(0.18)、山香圆 <i>Turpinia montana</i> (0.05)、含笑 <i>Michelia figo</i> (0.05)
	H	SU	山血丹(0.69)、菝葜(0.31)
		SH	山血丹(0.73)、菝葜(0.27)
草本层	L	SU	华山姜(0.27)、酸藤子(0.16)、铁线蕨 <i>Adiantum capillus-veneris</i> (0.15)、芒萁(0.12)、凤尾蕨 <i>Pteris cretica</i> (0.08)
		SH	华山姜(0.28)、凤尾蕨(0.14)、铁线蕨(0.13)、莎草 <i>Cyperus rotundus</i> (0.11)、酸藤子(0.10)
	M	SU	华山姜(0.33)、双盖蕨 <i>Diplazium donianum</i> (0.10)、毛鳞省藤(0.09)、草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i> (0.08)、莎草(0.06)
		SH	华山姜(0.52)、草珊瑚(0.09)、毛鳞省藤(0.09)、芒萁(0.07)、酸藤子(0.06)
	H	SU	华山姜(0.43)、酸藤子(0.19)、凤尾蕨(0.11)、毛鳞省藤(0.10)、山蚂蝗 <i>Hylodesmum podocarpum</i> (0.05)
		SH	华山姜(0.29)、酸藤子(0.22)、凤尾蕨(0.13)、山蚂蝗(0.10)、铁线蕨(0.06)

表 3 坡位和坡向对群落结构影响的方差分析  
Table 3 Variance analysis of the influence of slope position and aspect on community structure

层次	项目	样地						F		
		LSH	LSU	MSH	MSU	HSU	HSU	P	A	P×A
乔木层	$D/(\text{tree} \cdot \text{hm}^{-2})$	350.25±129.10b	375.25±129.10b	681.25±108.73a	500.25±120.76ab	550.25±211.15ab	512.50±163.94ab	5.241 *	1.717	1.046
	DBH/cm	28.84±5.05abc	31.83±6.92a	23.19±1.48bcd	21.46±3.53cd	20.52±3.00d	30.34±4.20ab	6.823 * *	4.280	3.530
	H/m	15.79±3.06ab	16.8±2.54a	15.55±2.06abc	11.72±2.274c	12.66±1.70bc	15.05±0.67abc	3.667 *	0.025	4.490 *
	C/m	4.17±0.68a	3.79±0.74a	2.45±0.78bc	2.10±0.53c	2.60±0.57bc	3.30±0.67ab	13.225 * * *	0.002	1.701
更新层	$D/(\text{tree} \cdot \text{hm}^{-2})$	2681.25±1869.65a	3006.25±1082.70a	1693.75±187.50a	3068.75±720.93a	2200.25±777.01a	2012.50±426.47a	1.110	1.532	1.267
	DBH/cm	2.14±0.30a	2.11±0.42a	2.05±0.27a	2.45±0.20a	2.11±0.15a	2.07±0.17a	0.732	0.936	1.808
	H/m	2.49±0.61ab	2.32±0.25b	1.99±0.25b	3.01±0.21a	2.37±0.27b	2.46±0.14ab	0.175	5.546 *	7.534 * *
	C/m	0.54±0.09ab	0.56±0.10ab	0.42±0.07b	0.62±0.11a	0.49±0.08ab	0.58±0.03a	0.310	8.727 * *	2.151
灌木层	$D/(\text{tree} \cdot \text{hm}^{-2})$	5700±3523.26ab	7400±3658.78a	6300±1148.91a	4000±1632.99ab	3500±1739.73ab	1900±824.62b	9.268 * *	0.578	1.635
	Coverage	0.70±0.11ab	0.74±0.07ab	0.64±0.14a	0.77±0.10abc	0.51±0.16bc	0.42±0.19bc	5.442 *	0.198	1.336
草本层	$D/(\text{tree} \cdot \text{hm}^{-2})$	43500±9983.32b	54000±9092.12ab	56500±8850.61ab	74000±12110.60a	70500±23230.73a	42000±17587.87b	2.608	0.001	5.868 *
	Coverage	0.52±0.07ab	0.66±0.19a	0.49±0.08ab	0.56±0.06ab	0.37±0.16b	0.38±0.21b	4.614 *	1.690	0.463

注: P 为坡位, A 为坡向, D 为密度, DBH 为胸径, H 为高度, C 为冠幅, C<sub>o</sub> 为盖度。不同字母表示差异显著(P<0.05)。\* 代表差异显著(P<0.05); \* \* 代表差异极显著(P<0.01); \* \* \* 代表差异极显著(P<0.001)。下同。

2.4 坡位、坡向和群落结构与物种多样性的 RDA 分析

排序结果显示,14 个环境变量对灌木层多样性的解释达到了 84.11%,前 2 轴特征值累计贡献率达到 84.03%,能包含大部分信息。其中,第 1 轴贡献率在 81.05%,起到主要决定作用;对草本层多样

性的解释达到了 64.05%,前 2 轴特征值累计贡献率达到 64.01%,第 1 轴贡献率在 61.97%,将第 1、第 2 作为主分量轴。

灌木层中(图 3),RDA1 轴主要反映了坡位、灌木层密度和盖度的变化,RDA2 轴主要反映更新层密度、坡向以及草本层密度的变化。随着坡位的升



高,灌木层物种多样性减小,灌木层的密度和盖度减小。阴坡灌木层物种多样性大于阳坡,且阴坡草本层的密度与盖度更大,但阴坡的更新层密度小于阳坡。

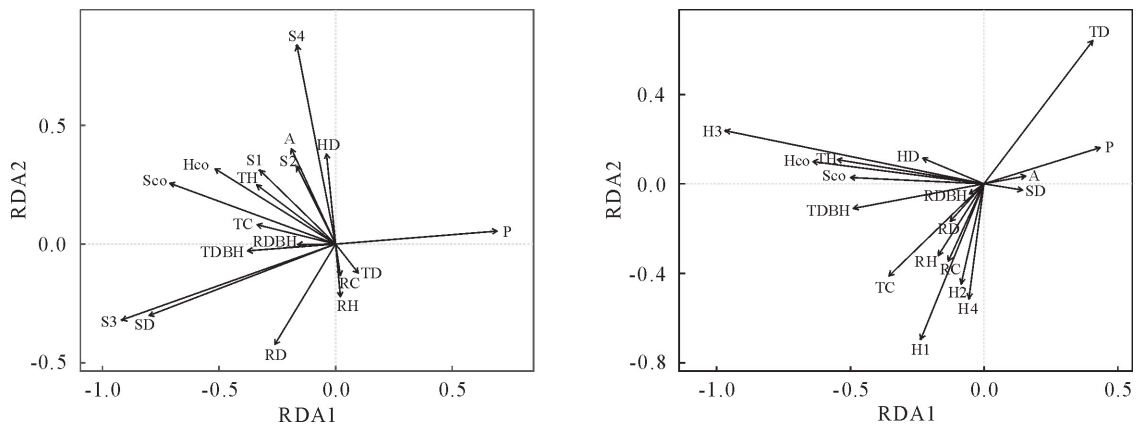
草本层中(图 3),RDA1 轴主要反映了灌草层盖度、乔木层个体生长特征指标、坡位的变化,

RDA2 轴主要反映乔木层密度、冠幅以及更新层树高和冠幅的变化。与灌木层相同,坡位与草本层的物种多样性指数也表现出负相关关系。随着乔木层个体生长指标的增加,草本层物种多样性增大,灌草层密度增大。相比于其他层次,乔木层各特征值对草本层物种多样性指数较大。

表 4 坡位和坡向对林下物种多样性影响的方差分析

Table 4 Variance analysis of the influence of slope position and aspect on species diversity

层次	物种多样性	样地						F		
		LSH	LSU	MSH	MSU	HSU	HSU	P	A	P×A
灌木层	H'	1.06±0.31a	0.87±0.35abc	1.02±0.06ab	0.74±0.54abc	0.43±0.31bc	0.29±0.35c	7.120**	2.025	0.075
	D <sub>s</sub>	0.61±0.10a	0.48±0.18ab	0.6±0.02a	0.42±0.30ab	0.29±0.22ab	0.2±0.24b	5.496**	2.772	0.099
	R	3.5±1.29a	3.25±0.96ab	3.25±0.50ab	2.75±1.26abc	1.75±0.50bc	1.5±0.58c	8.150	0.800	0.050
	J	0.9±0.07a	0.74±0.13a	0.87±0.06a	0.82±0.10a	0.83±0.18a	0.85±0.18a	0.076	1.616	0.966
草本层	H'	1.55±0.25a	1.6±0.15a	0.83±0.45b	1.22±0.31ab	1.31±0.43ab	1.13±0.12ab	6.463**	0.464	1.653
	D <sub>s</sub>	0.75±0.07a	0.77±0.03a	0.4±0.22b	0.63±0.12a	0.68±0.12a	0.58±0.09ab	8.043**	0.981	3.643*
	R	5.75±0.96a	6±0.82a	4.25±1.71a	5±1.41a	4.75±2.22a	4.75±0.50a	1.950	0.344	0.150
	J	0.89±0.07a	0.9±0.02a	0.56±0.21b	0.76±0.07a	0.87±0.07a	0.74±0.12ab	9.219**	0.293	4.956*



TD、TDBH、TH、TC 分别为乔木层密度、平均胸径、平均树高、平均冠幅, RD、RDBH、RH、RC 分别为更新层密度、平均胸径、平均树高、平均冠幅, SCo、SD 分别为灌木层盖度和密度, HCo、HD 分别为草本层盖度和密度, S1、S2、S3、S4、H1、H2、H3、H4 分别为灌木层和草本层的 Shannon、simpson、物种丰富度、Pielou 均匀度指数。

图 3 冗余分析排序

Fig. 3 Sorting diagram of redundancy analysis

冗余分析(RDA)表明,坡向更接近原点,故坡位对林下植被多样性的影响大于坡向,这与上文中方差分析结果一致。乔木生长特征值与林下物种多样性表现出一致的趋势,且对林下物种多样性的影响较显著。在所调查的 14 个环境变量和 8 个物种多样性指标中,下坡位灌草密度和盖度较大,物种多样性指数也较大。乔木层的群落结构与群落物种多样性表现出较强的相关性。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

本研究证明,地形因子与群落结构均会对群落物种多样性产生影响。在地形因子中,坡位对群落结构以及物种多样性的影响大于坡向。整体上讲,

下坡位阳坡的乔木树种个体生长状况相对来说较大,林分整体郁闭度较高。随坡位的升高,灌草植被的盖度逐渐降低,且林下植被物种多样性在下坡位更高。乔木层的群落结构对物种多样性的影响大于其他层次。

#### 3.2 讨论

3.2.1 坡位、坡向对群落结构的影响 天然林群落一直是处于不断变化过程中的,在不受到自然破坏或人为干扰的情况下会趋近于顶级演替阶段级。福建三明格氏栲自然保护区是天然形成的林分,在较长的生长发育阶段里,地形因子都起到了重要的作用。坡位、坡向通过调节林内水热光照、土壤养分<sup>[15]</sup>等因子,从而影响群落内植被个体生长与物种组成及生态位,形成某区域内独特的植被分布格局

与群落结构。天然林群落结构与环境变量之间的关系也一直是生态学研究热点<sup>[15-17]</sup>。陈国平等<sup>[18]</sup>对八仙山不同立地条件落叶阔叶林群落结构研究发现,多数物种倾向于低坡位、地势较缓的阳坡地段;杨京彪等<sup>[19]</sup>对黑龙江丰林国家级自然保护区红松研究发现,坡位会显著影响灌草层植被盖度,这与本研究结果一致。乔木层个体生长特征均在下坡位最大,且下坡位灌草层的盖度明显高于上坡位。福建夏季多雨水,上坡位土壤中养分经冲刷沉积在下坡位,使得下坡位土壤条件更加优越,土壤养分含量更适宜植被生长发育所需要的营养物质,丰富的资源可以吸引大多数物种。相比于坡位,坡向对该研究区的影响较小。整体来看,乔木层群落结构特征指标表现为阳坡>阴坡。在有限的空间内,乔木胸径的增大必然会导致对生长空间竞争的加剧,由此导致乔木层林分密度在阳坡最低。灌木层密度在阴坡更高,这与张荣等<sup>[20]</sup>对夹金山灌丛群落结构结果一致,可能是因为上层木的生长发育在阴坡较差,使林内种间竞争较少,灌木可利用资源增多,且该区灌木植被更适宜潮湿环境。植物群落生长过程中不仅与自身的生态学特征有关,生境上的差异和物种之间的竞争关系对植物的生长和群落发展都起到一定的作用。

3.2.2 坡位、坡向对多样性的影响 生境异质性对亚热带常绿阔叶林中木本植物的生物多样性的维持起着重要作用<sup>[21]</sup>。本研究中,Pielou 均匀度指数在各层次植被较为稳定,只在草本层存在显著性差异。有研究证明<sup>[7]</sup>,草本层对立地因子的敏感程度大于乔灌木层。除此之外,我们的调查区域是一片近纯林状态的格氏栲天然林,乔木与灌木在各坡位下优势物种差别并不大,物种分配相对较均匀。因此,除草本层外,Pielou 均匀度指数(J)差别不大。物种丰富度表现为更新层>草本层>乔木层>灌木层,更新层的植物物种丰富,竞争更为激烈。灌草层的 Shannon 多样性指数与 Simpson 多样性指数在不同坡位表现出显著性差异,但坡向对灌草层物种多样性影响不明显。阳坡虽然光照充足,但同时水分蒸发较快,影响了植被生长。施翔等<sup>[22]</sup>对不同生境中准噶尔无叶豆群落进行研究发现种、3种典型生境条件下的植物组成和优势种类型存在明显差异,可能是与沙丘不同坡位自然环境因子等变化有关。本研究也证明坡位对格氏栲群落内物种多样性有较大的影响。

3.2.3 坡位、坡向及群落结构对物种多样性的影响 方差分析结果表明,坡位对格氏栲天然林群落结构及物种多样性的影响明显大于坡向,可能是因为坡位对光热、降水的再分配以及土壤养分含量的调

节有重要作用,而坡向只能通过调节林内光照对植被生长发育产生影响。福建三明地区常年太阳辐射量充足,整体温度高,坡向的改变使光照条件变化不是很大,但梅雨季充沛的雨水使土壤中养分经冲刷沉积在下坡位,使得下坡位土壤条件更优越,而且上坡位受到风力影响大,也不利于乔木生长。另外已有研究证明,下坡位土壤种子库储存量<sup>[23]</sup>和密度<sup>[24]</sup>都较大。优越的土壤条件促进种子的萌发与土壤有机质的分解,为物种的扩散提供了更多机会,给林下植被提供了更多的生长空间,有利于植被更新,增加了物种多样性。冗余分析(RDA)结果与方差分析结果一致,坡向对多样性指数的影响小于坡位。同时,乔木层植被生长状况对物种多样性影响较大。对于某个群落来说,各层次之间物种存在竞争作用,相互影响。上层木在林分内的结构与分布直接对下层植被的生长与多样性起到了决定性作用。乔木群落结构直接影响林下植被的光照、林内空间,乔木对土壤养分的吸收和利用远远大于灌草,长势较好的乔木汲取大量营养,竞争力更强,抑制了灌草层的生长,进而影响植物多样性。吴海平等<sup>[25]</sup>研究证明,合理的林分密度可以改善林木生长状况以及林内物种多样性。崔佳佳等<sup>[26]</sup>研究也表明森林群落结构与植物多样性存在一定的关系,并在一定程度上决定了森林稳定性。总的来讲,群落植物多样性的高低不仅受到地形因子的影响,群落内部结构与竞争也有着重要作用。

## 参考文献:

- [1] TILMAN D, REICH, *et al.* Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment[J]. *Nature*, 2006, 441 (7093): 629-632.
- [2] 马文静, 张庆, 牛建明, 等. 物种多样性和功能群多样性与生态系统生产力的关系——以内蒙古短花针茅草原为例[J]. *植物生态学报*, 2013, 37(7): 620-630.  
MA W J, ZHANG Q, NIU J M, *et al.* Relationship of ecosystem primary productivity to species diversity and functional group diversity: evidence from *Stipa breviflora* grassland in Neimongol[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(7): 620-630. (in Chinese)
- [3] 石春茂, 罗娅, 杨胜天, 等. 干热河谷区不同坡位土壤水分对降雨的响应特征[J]. *应用生态学报*, 2022, 33(5): 1352-1362.  
SHI C M, LUO Y, YANG S T, *et al.* Responses of soil moisture at different slope positions to rainfall in dry-hot valley[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33(5): 1352-1362. (in Chinese)
- [4] KHARKWAL G, RAWAT Y S. Structure and composition of vegetation in subtropical forest of Kumaun Himalay[J]. *African Journal of Plant Science*, 2010, 4: 116-121.
- [5] AUSLANDER M, NEVO E, INBAR M. The effects of slope or-

- rientation on plant growth,developmental in stability and susceptibility to herbivores[J]. Journal of Arid Environments, 2003,55:405-416.
- [6] 肖瑞哈,满秀玲,丁令智. 坡位对寒温带天然樟子松林土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. 北京林业大学学报, 2020,42(2): 31-39.
- XIAO R H,MAN X L,DING L Z. Effects of slope position on soil microbial biomass carbon and nitrogen in natural *Pinus sylvestris* var. *mongolia* forest in the cold temperature zone [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020,42(2): 31-39. (in Chinese)
- [7] 盘远方,李娇凤,黄昶吟,等. 桂林岩溶石山不同坡向灌丛植物多样性与土壤环境因子的关系[J]. 广西植物, 2019,39(8): 1115-1125.
- [8] 陈博,江蓝,谢子扬,等. 格氏栲天然林林窗植物物种多样性与系统发育多样性[J]. 生物多样性, 2021,29(4):439-448.
- CHEN B,JIANG L,XIE Z Y,*et al.* Taxonomic and phylogenetic diversity of plants in a *Castanopsis kawakamii* natural forest[J]. Biodiversity Science, 2021,29(4):439-448. (in Chinese)
- [9] 江蓝,魏晨思,何中声,等. 格氏栲天然林林窗植物群落功能性状变异[J]. 植物生态学报, 2022,46(3):267-279.
- JIANG L,WEI C S,HE Z S,*et al.* Functional trait variation of plant communities in canopy gaps of *Castanopsis kawakamii* natural forest[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2022,46(3):267-279. (in Chinese)
- [10] 贾梅花,王哲,刘金福,等. 格氏栲天然林凋落物对马尾松种子萌发的影响[J]. 林业科学研究, 2021,34(1):128-136.
- [11] 朱静,金星,何中声,等. 格氏栲幼苗叶绿素荧光和非结构性碳水化合物积累对种子散布位置的响应[J]. 应用生态学报, 2022,33(8):2129-2138.
- ZHU J,JIN X,HE Z S,*et al.* Responses of chlorophyll fluorescence and non-structural carbohydrate accumulation of *Castanopsis kawakamii* seedlings to seed dispersal positions [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022,33(8):2129-2138. (in Chinese)
- [12] 朱静,刘金福,邢聪,等. 种子散布位置对格氏栲幼苗根系形态及生长特征的影响[J]. 生态学报, 2022,42(10):4065-4075.
- ZHU J,LIU J F,XING C,*et al.* Effect of seeds dispersal position on the root morphology and growth characteristics of *Castanopsis kawakamii* seedlings[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022,42(10):4065-4075. (in Chinese)
- [13] 方精云,朱江玲,郭兆迪,等. 植物群落清查的主要内容和、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009(6):16.
- FANG J Y,ZHU J L,GUO Z D,*et al.* Methods and protocols for plant community inventory[J]. Biodiversity Science, 2009(6):16. (in Chinese)
- [14] 何中声. 格氏栲天然林林窗微环境特征及幼苗更新动态研究[D]. 福州:福建农林大学, 2012.
- [15] MEDJIBE V,HALL J S,ASHTON M S,*et al.* Distribution of selected timber species of a central african rain forest in relation to topography and soil heterogeneity: implications for forest management[J]. Journal of Sustainable Forestry, 2011,30(5):343-359.
- [16] 刘海丰,李亮,桑卫国. 东灵山暖温带落叶阔叶次生林动态监测样地:物种组成与群落结构[J]. 生物多样性, 2011,19(2): 232-242.
- LIU H F,LI L,SANG W G. Species composition and community structure of the Donglingshan forest dynamic plot in a warm temperate deciduous broad-leaved secondary forest, China[J]. Biodiversity Science, 2011,19(2):232-242. (in Chinese)
- [17] 贺文. 栓皮栎人工林灌草层植物群落结构特征及其与光环境的关系[D]. 郑州:河南农业大学, 2021.
- [18] 陈国平,俎丽红,赵铁建,等. 八仙山不同立地条件落叶阔叶林群落结构和特征分析[J]. 南开大学学报:自然科学版, 2018,51(5):8-17.
- [19] 杨京彪,郭涿,周莹,等. 坡位对红松阔叶林物种多样性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2015,43(1):28-31.
- YANG J B,GUO L,ZHOU Y,*et al.* Effects of slope position on species diversity of broad-leaved Korea pine forest[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2015,43(1):28-31. (in Chinese)
- [20] 张荣,余飞燕,周润惠,等. 坡向和坡位对四川夹金山灌丛群落结构与物种多样性特征的影响[J]. 应用生态学报, 2020,31(8):2507-2514.
- ZHANG R,YU F Y,ZHOU R H,*et al.* Effects of slope position and aspect on structure and species diversity of shrub community in the Jiajin Mountains, Sichuan Province, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020,31(8):2507-2514. (in Chinese)
- [21] 王伟,骆争荣,周荣飞,等. 百山祖常绿阔叶林木本植物的生境相关性分析[J]. 生物多样性, 2011,19(2):134-142.
- WANG W,LUO Z R,ZHOU R F,*et al.* Habitat associations of woody plant species in Baishanzu subtropical broad-leaved evergreen forest[J]. Biodiversity Science, 2011,19(2):134-142. (in Chinese)
- [22] 施翔,孟凡翔,杨姗姗. 不同生境准噶尔无叶豆群落特征及物种多样性研究[J]. 西北林学院学报, 2019,34(1):91-96.
- SHI X,MENG F X,YANG S L,*et al.* Community characteristics and species diversity of *Eremosparton songoricum* under different habitats[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019,34(1):91-96. (in Chinese)
- [23] 韩润燕,陈彦彦,李旺霞. 不同微地形固定沙丘地上植被、土壤种子库和土壤含水量的分布特征[J]. 草业科学, 2014,31(10):1825-1832.
- [24] 谭向前,陈芳清,王稷,等. 川西山区自然边坡土壤种子库随海拔梯度的变化[J]. 山地学报, 2019,37(4):508-517.
- [25] 吴海平,孙清琳,张彦君,等. 不同密度油松人工林群落特征与物种多样性耦合关系[J]. 西北林学院学报, 2022,37(5):1-8.
- WU H P,SUN Q L,ZHANG Y J,*et al.* Coupling relationship between community characteristics and species diversity of *Pinus tabulaeformis* plantations with different densities[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2022,37(5):1-8. (in Chinese)
- [26] 崔佳佳,铁牛. 大兴安岭北部森林群落结构及植物多样性特征研究[J]. 西北林学院学报, 2021,36(2):24-30.
- CUI J J,TIE N. Forest Community structure and plant diversity characteristics in Northern Greater Khingan Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021,36(2): 24-30. (in Chinese)