

## 粤北岩溶峰林不同地貌部位植被特征研究

魏兴琥<sup>1</sup>,徐喜珍<sup>2</sup>,雷俐<sup>3</sup>,周红艳<sup>4</sup>

(1. 佛山科学技术学院,广东 佛山 528000;2. 中山市第二中学,广东 中山 528429;  
3. 华南师范大学地理科学学院,广东 广州 510631;4. 佛山张槎中学,广东 佛山 528000)

**摘 要:**文章选择粤北英德九龙镇典型峰林平原为研究区,在不同地貌部位调查了生态环境的岩石裸露率和土壤厚度,以及植物物种、生物量、盖度等指标,运用物种  $\alpha$  多样性指数和 Jaccard 相似性系数分析了植物多样性与相似性,结果表明:(1)不同地貌部位的岩石裸露率、土层厚度差异较大,峰壁岩石裸露率显著大于峰顶、坡麓和洼地,而洼地的土层厚度显著大于峰顶、峰壁和坡麓;(2)峰顶、峰壁、坡麓和峰间洼地的群丛依次为乔栳榕—竹叶椒+榿木—纤毛鸭嘴草、乔栳榕—红背山麻杆+榿木—五节芒、黄连木—灰白毛莓—纤毛鸭嘴草和长毛八角枫—藤金合欢+粉单竹—纤毛鸭嘴草,优势种与层片结构有一定差异;(3)岩溶植物具有对环境的高度适应性,使不同地貌部位植被能够保持较高的覆盖度,但地势平缓、土层相对较厚的峰顶与峰间洼地的生物量要显著大于坡麓及峰壁;(4)岩石裸露率与土层厚度、土层厚度与生物量间都呈极显著的负相关关系;(5)峰顶与峰间洼地的物种数显著少于峰壁与坡麓,峰顶的 Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数都显著低于其他部位,而峰壁的几项多样性指数均显著高于其他部位植被,岩溶环境地貌部位的多样性有助于提高生物多样性;(6) Jaccard 相似性系数分析表明峰林空间异质性造成物种分布的差异,空间位置远近和地貌部位差异大小对物种分布影响至关重要。

**关键词:**粤北;峰林平原;地貌;植被

**中图分类号:**Q948;P642.25 **文献标识码:**A

### 0 引 言

植被对于广布于南方热带、亚热带区域脆弱的岩溶生态环境至关重要,植被类型、结构、分布特征、物种多样性等直接关系到岩溶生态系统的健康与否。在影响植被的诸多因素中,地形因素非常重要,地形通过改变局部水、热、光强及土壤理化性质等直接或间接对群落中物种的分布格局产生影响<sup>[1]</sup>,也可以通过影响植物生长所需的热量、水分和光照条件而改变植物分布<sup>[2-5]</sup>。我国南方具有独特的岩溶峰丛洼地、峰丛台地、峰林丘陵、峰林平原等多种岩溶地貌,在岩溶环境中,土—石二元结构组合的不连续性决定了岩

溶地表的复杂性和非均质性,同时也造就了独特的岩溶植被类型。国际上对不同环境的岩溶植被研究报道较少,主要集中在岩溶植被的物种组成、结构与多样性特征方面,如 Proctor 等在马来西亚和 Murphy 与 Luge 在波多黎各亚热带岩溶区调查发现石灰岩森林物种丰富度和群落生物量低于非岩溶区<sup>[6-7]</sup>。Trejo-Torres 和 Ackerman 研究表明岩溶生境中水分是影响植物区系组成的限制因素<sup>[8]</sup>。Brewer 在伯利兹岩溶区的研究结果也表明岩溶森林的组成、多样性和结构在地形梯度上较大的变化可能与由谷底至山顶水分逐渐降低有关<sup>[5]</sup>。国内对岩溶森林的研究,最早始于上世纪 40 年代<sup>[9]</sup>,80 年代后,对岩溶植被

的研究主要集中在贵州茂兰、广西木论、弄岗等几个典型的岩溶森林区,如周政贤,杨汉奎等,朱守谦等分别对茂兰岩溶森林物种和区系组成、生长特点和生物量进行了系统研究<sup>[10-12]</sup>;杜道林等<sup>[13]</sup>对茂兰岩溶森林中广东松的种群结构和动态进行了初步研究;侯满福和蒋忠诚对茂兰岩溶原生林不同地球化学环境植物物种多样性的研究表明,特殊地形条件与元素地球化学特征引起了局部小生境的分异,从而影响植物群落特征<sup>[14]</sup>。蓝芙宁等<sup>[15]</sup>对广西弄拉、弄岗和阳朔岩溶植被的比较发现,岩溶区生境具有很强的地形异质性,岩溶区森林群落物种与岩溶区特殊的地质背景有关。区智等<sup>[16]</sup>对广西弄岗的岩溶植被演替进行了研究。欧祖兰等,李先琨等,苏宗明等,张忠华对岩溶区植被类型、区系、自然分布规律和植被种群生态学与群落稳定性进行了研究<sup>[17-20]</sup>。在粤北地区也有一些相关研究,如王兮之等<sup>[21]</sup>对连江流域的植被盖度变化,廖义善等<sup>[22]</sup>对粤北石漠化土地优化配置,张素红等<sup>[23]</sup>对粤北土壤侵蚀,魏兴琥等<sup>[24-25]</sup>对粤北土地利用、碳储存等方面的研究,上述研究对于我们认识岩溶区植被特征很有帮助,但这些研究基本都集中在岩溶山地,对于广布于流域中下部的岩溶峰林平原而言,无论是孤峰、还是连座峰林,峰尖、坡陡、麓缓的特定地形特征与峰丛山地地貌地形不同,独特的地形造成岩石裸露率、土层厚度、坡度等有很大差异,从而影响到植被分布。了解峰林平原的植被特征首先需要调查峰林不同地貌部位的植物分布,这对于保护和合

理利用岩溶峰林植物和土壤资源尤为重要。

### 1 研究区概况

研究区位于广东省英德市九龙镇石角村,峰林大多陡峭难攀,本次研究选择了两座能够到达峰顶的典型独座型岩溶石峰(坐标分别是: N24°08. 113', E112°51. 855', N24°08. 01', E112°54. 63',图 1)作为调查点,坡麓海拔分别为 121 m 和 108 m,山体相对高 50~80 m,呈东西走向,第一座石峰东西宽约 120 m,南北长约 50 m,峰顶平台东西宽约 50 m,南北长约 45 m。第二座石峰东西宽约 80 m,南北长约 60 m,峰顶西高东低,东边为缓平台,东西宽约 55 m,南北长约 25 m。九龙镇地貌分区属于粤北山地丘陵区的连江岩溶高原及盆地亚区,受连江干流及支流影响,形成九龙一明迳盆地<sup>[26]</sup>。区内石灰岩与砂页岩相间分布,有峰有丘,“石山”与“土山”交错分布,石山呈不连续孤立状或部分连续状分布。气候为南亚热带季风气候区,年均气温 20.7 °C,年均降雨量 1 879 mm,主要集中在 4—9 月,占全年降雨量的 70% 多。表层土壤和裂隙土为黑色石灰土,但下层土壤为红色石灰土。植被为石灰岩灌丛<sup>[27]</sup>,低洼处或土层较厚处有少量乔木,如黄连木(*Pistacia chinensis*)、八角枫(*Alangium chinense*)、野桐(*Mallotus tenuifolius*)等,其余多为灌木,尤其以攀缘灌木和藤本居多<sup>[28]</sup>。

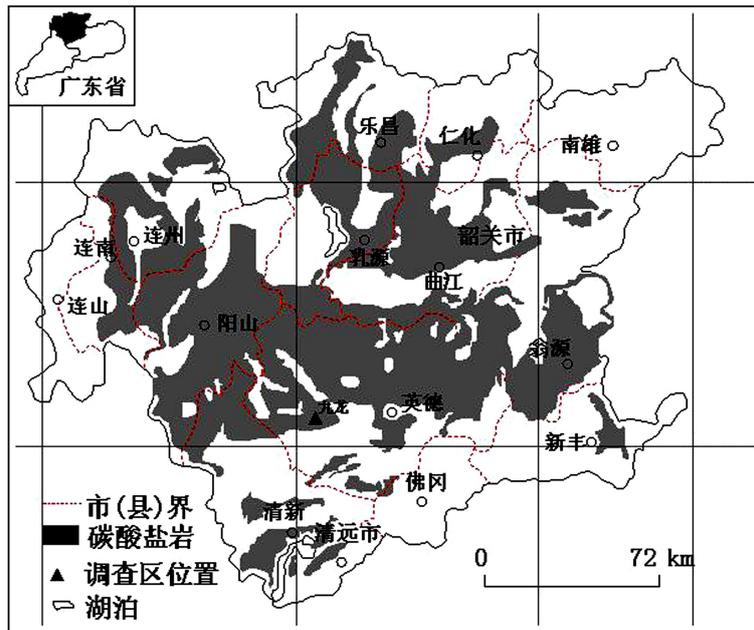


图 1 样地位置和粤北岩溶分布图

Fig. 1 Location of sample plots and distribution of karst region in the north Guangdong

## 2 样地设置与调查方法

研究选择峰顶、峰壁、坡麓、峰间洼地四种不同地貌部位,采用系统采样法,峰顶沿最长距离每隔 5 m 一个样方,各 5 个样方,两座石峰峰顶平台均按东西向设置样带,峰壁和坡麓沿山体走向布置样带,每隔 10 m 一个样方,各 5 个样方,峰间洼地选择最低处平地设置样带,每隔 10 m 一个样方,样方大小均为 3 m × 4 m,共调查 40 个样方。每个样方内调查岩石裸露率、土层厚度、物种、盖度、高度,草本植物刈割、木本植物采集典型枝测定生物量。土层厚度用铁钎法,对角线与十字线点插钎,每个样方 15 个点平均,峰间洼地由于土层太厚,采用土钻测深。岩石裸露率通过量测样方内裸露岩石面积测算。

## 3 数据处理与分析

利用物种  $\alpha$  多样性指数计算,公式如下:

Simpson 指数( $\lambda$ ):

$$\lambda = \sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}, i = 1, 2, 3, \dots, S \quad (1)$$

丰富度指数(R):

$$R = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

Shannon—Wiener 指数( $H'$ ):

$$H' = - \sum_{i=1}^s (P_i) \ln(P_i) \quad (3)$$

式中: $n_i$ 为第个  $i$  种的个体数, $S$  为每一样方内的总种数, $N$  为每一样方内所有种的总个体数, $P_i$  = 样方内各物种的个体数/总个体数 × 100%, $H'$  为多样性指数。

物种重要值(IV)计算:

$$IV = (C_i + P_i + B_i + H_i) / 4 \quad (4)$$

式中: $C_i$ (相对盖度) = 样方内个体盖度/每一样方内的总盖度 × 100%; $B_i$ (相对生物量) = 样方内某植物的个体生物量/每一样方内的总生物量 × 100%; $H_i$ (相对高度) = 样方内某植物的高度/每一样方内所有物种的高度总和 × 100%。

$\beta$  多样性指数采用 Jaccard 相似性系数( $IS_j$ )<sup>[29]</sup>

$$IS_j = [A / (A + B + C)] \times 100\% \quad (5)$$

式中: $A$  为两个样地中共有种数, $B$  为只在样地一中出现的种数, $C$  为只在样地二中出现的种数。不同部位样地的每一个样方之间计算 Jaccard 相似性系数,并对各样地间的 Jaccard 相似性系数进行显著性差异分析。

数据采集利用 SPSS10.0 统计分析。

## 4 结果与分析

### 4.1 峰林不同地貌部位地表岩石裸露率与土层厚度

两座峰林不同地貌部位平均的土层厚度与岩石裸露率差异很大(表 1),峰顶、峰壁和坡麓土层平均厚度不足 10 cm,峰壁土层最浅,平均只有 0.12 cm,而峰间洼地土层厚度超过 146 cm,极显著大于峰顶、峰壁和坡麓的土层厚度,峰壁岩石裸露率高达 97.66%,显著大于峰顶、坡麓和洼地,洼地岩石裸露率不足 1%,显著小于峰顶和坡麓。峰顶、坡麓地形相对平缓,洼地基本为平地,峰壁陡峭,坡度超过 82.4°。从地形及地表特征看,峰林具有较大的空间异质性。

表 1 峰林不同地貌部位土层厚度与岩石裸露率  
差异分析(LSD, Mean ± SD)

Table 1 LSD analysis of soil thickness and rock coverage in different landforms of peak forest plain

位置	土层厚度/cm	岩石裸露率/%	坡度 /°
峰顶	5.77 ± 4.31a	46.18 ± 31.27a	15
峰壁	0.12 ± 0.15a	97.66 ± 1.48b	82.4
坡麓	7.96 ± 1.43a	30.96 ± 26.05ac	18
峰间洼地	146 ± 26.07b	0.76 ± 0.98c	3

注:不同 a、b、c 字母之间代表显著性差异(0.05 水平)。

### 4.2 峰林不同地貌部位群落物种分布特征

根据两座峰林的峰顶、峰壁、坡麓、峰间洼地不同样地植物种调查结果(表 2),粤北峰林平原植物种超过 46 个,共有 31 科、43 属,最多为大戟科和禾本科,各有 4 个属,5 个种;次为蔷薇科和蝶形花科,各有 3 个属,3 个种。除峰间洼地出现 15 个物种外,峰顶、峰壁和坡麓物种数量差异不大,峰顶、峰壁出现 25 个物种,坡麓 26 个物种,但群落结构、物种类型和优势种变化较大。在峰顶,群丛为乔栳榕—竹叶椒+欆木—纤毛鸭嘴草,并且,草坡占优势;峰壁,群丛为乔栳榕—红背山麻杆+欆木—五节芒,灌木占优势;乔栳榕虽为乔木但在峰顶和峰壁长势低矮,未形成明显的层片;坡麓,群丛为黄连木—灰白毛莓—纤毛鸭嘴草,乔灌木占优势,尤其是藤灌丛植物如厚果鸡血藤、龙须藤、单叶铁线莲等优势地位增加;峰间洼地,群丛为长毛八角枫—藤金合欢+粉单竹—纤毛鸭嘴草,长毛八角枫作为小乔木,层片优势不明显,粉单竹虽为灌木,但层片优势明显。显然地形对植被分布影响明显,攀缘灌木种类在峰顶、峰壁、坡麓和洼地分别有 6、3、8 和 4 种,在峰顶和坡麓分别还有攀缘草本植物种 1 和 4 种,草本层优势种纤毛鸭嘴草通常出现在土

表2 峰林不同地貌部位植物种的特征与重要值

Table 2 Feature and important value of plants in different landforms of peak forest plain

种	科	属	生态特征	物种重要值			
				峰顶	峰壁	坡麓	峰间洼地
纤毛鸭嘴草 <i>Ischaemum indicum</i>	禾本科	鸭嘴草属	多年生草本	0.393	0.042	0.337	0.073
竹叶椒 <i>Zanthoxylum armatum</i>	芸香科	花椒属	落叶灌木	0.117	0.026	0.000	0.004
欏木 <i>Loropetalum chinese</i>	金缕梅科	欏木属	常绿灌木	0.092	0.086	0.011	0.015
红背山麻杆 <i>Alchornea trewioides</i>	大戟科	山麻杆属	落叶灌木	0.077	0.182	0.023	0.000
龙须藤 <i>Bauhinia championii</i>	苏木科	羊蹄甲属	常绿攀缘藤本	0.059	0.072	0.035	0.000
华南毛蕨 <i>Pteridium revolutum</i>	金星蕨科	毛蕨属	多年生草本	0.055	0.058	0.007	0.016
黄荆 <i>Vitex negundo</i>	马鞭草科	牡荆属	落叶灌木	0.034	0.016	0.037	0.000
美丽胡枝子 <i>Lespedeza formosa</i>	蝶形花科	胡枝子属	常绿小灌木	0.032	0.000	0.000	0.000
小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	蔷薇科	蔷薇属	常绿攀缘灌木	0.022	0.000	0.022	0.000
菝葜 <i>Smilax china</i>	菝葜科	菝葜属	常绿攀缘藤本	0.021	0.010	0.000	0.005
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	禾本科	芒属	多年生草本	0.018	0.082	0.000	0.000
乔栎榕 <i>Ficus microcarpa</i>	桑科	榕属	常绿乔木	0.016	0.050	0.000	0.000
野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i>	菊科	菊属	多年生草本	0.013	0.032	0.052	0.000
石山棕榈 <i>Guihaia argyrata</i>	棕榈科	棕榈属	常绿小灌木	0.011	0.036	0.000	0.000
圆叶乌柏 <i>Sapium rotundifolium</i>	大戟科	乌柏属	常绿小乔木	0.006	0.000	0.000	0.000
樟树 <i>Cinnamomum appelianum</i>	樟科	樟属	常绿乔木	0.005	0.000	0.000	0.000
苕麻 <i>Boehmeria nivea</i>	荨麻科	苕麻属	半灌木	0.004	0.030	0.027	0.060
灰白毛莓 <i>Rubus tephrodes</i>	蔷薇科	悬钩子属	落叶攀缘灌木	0.003	0.032	0.114	0.060
金丝桃 <i>Hypericum chinense</i>	金丝桃科	金丝桃属	半常绿小灌木	0.003	0.009	0.000	0.000
藤金合欢 <i>Acacia sinuata</i>	含羞草科	金合欢属	常绿攀缘藤本	0.003	0.000	0.013	0.310
千里光 <i>Senecio scandens</i>	菊科	千里光属	多年生草本	0.002	0.000	0.000	0.000
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	蔷薇科	火棘属	常绿灌木	0.002	0.023	0.000	0.000
沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	百合科	沿阶草属	多年生草本	0.002	0.023	0.002	0.000
单叶铁线莲 <i>Clematis henryi</i>	毛茛科	铁线莲属	常绿攀缘藤本	0.002	0.000	0.035	0.000
戟叶鹅绒藤 <i>Cynanchum siblicum</i>	萝藦科	鹅绒藤属	多年生攀缘草本	0.002	0.000	0.002	0.000
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	漆树科	黄连木属	落叶乔木	0.000	0.044	0.103	0.000
粗糠柴 <i>Mallotus philippinensis</i>	大戟科	野桐属	常绿小乔木	0.000	0.044	0.000	0.008
黄棉木 <i>Adina polycephala</i>	茜草科	黄棉木属	常绿乔木	0.000	0.044	0.000	0.012
榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i>	榆科	榆属	落叶小乔木	0.000	0.044	0.000	0.000
毛果巴豆 <i>Croton lachnocarpus</i>	大戟科	巴豆属	常绿灌木	0.000	0.044	0.000	0.000
小叶海金沙 <i>Lygodium microphyllum</i>	海金沙科	海金沙属	常绿攀缘藤本	0.000	0.044	0.000	0.019
箬叶竹 <i>Indocalamus longiauritus</i>	禾本科	箬竹属	多年生草本	0.000	0.044	0.000	0.000
石岩枫 <i>Mallotus repandus</i>	大戟科	野桐属	常绿半攀缘灌木	0.000	0.044	0.005	0.000
长毛八角枫 <i>Alangium kurzii</i>	八角枫科	八角枫属	落叶小乔木	0.000	0.000	0.021	0.068
厚果鸡血藤 <i>Millettia pachycarpa</i>	豆科	崖豆藤属	大型攀缘灌木	0.000	0.000	0.038	0.000
中南鱼藤 <i>Derris fordii</i>	蝶形花科	鱼藤属	常绿攀缘藤本	0.000	0.000	0.005	0.000
细叶卷柏 <i>Selaginella labordei</i>	卷柏科	卷柏属	多年生草本	0.000	0.000	0.010	0.000
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	茜草科	茜草属	草质攀缘藤本	0.000	0.000	0.004	0.000
雀梅藤 <i>Sageretia theezans</i>	鼠李科	雀梅藤属	攀缘灌木	0.000	0.000	0.005	0.010
小叶青冈栎 <i>Quercus glauca</i>	壳斗科	青冈属	常绿乔木	0.000	0.000	0.036	0.000
三裂叶野葛 <i>Pueraria phaseoloides</i>	蝶形花科	葛属	草质攀缘藤本	0.000	0.000	0.021	0.000
乌莓 <i>Cayratia japonica</i>	葡萄科	乌莓属	草质攀缘藤本	0.000	0.000	0.029	0.000
铁榄 <i>Mastichodendron wightianum</i>	山榄科	铁榄属	常绿小乔木	0.000	0.000	0.003	0.000
粉单竹 <i>Lingnania chungii</i>	禾本科	单竹属	多年生草本	0.000	0.000	0.000	0.196
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	桑科	构属	落叶乔木	0.000	0.000	0.000	0.061
吊丝球竹 <i>Dendrocalamus beecheyanus</i>	禾本科	单竹属	多年生草本	0.000	0.000	0.000	0.083

层较厚的峰顶、坡麓和洼地;几种乔木种都呈幼树状,比较低矮。无论在峰林的任何部位,土层较厚而且连续分布的区域以草坡为主要群丛,而在岩石裸露、土层间断的区域以石灰岩灌丛为主要群丛。

乔木可以生长在峰林的不同部位,但其根系生长区域的土壤资源,尤其是养分资源是限制其生长的主要因素。竹灌丛是峰林平原特殊的一类群丛,和纤毛鸭嘴草一样,分布在地势相对平缓、土层厚的区域,基本都是合轴丛生竹类。草本植物在峰顶和坡麓分别有 7 种和 6 种,但坡麓植被灌丛层片厚,草本植物种中耐荫种增加。显然,峰林不同部位的地表土层、岩石裸露率、坡度差异使不同部位的物种、群落结构、层片、优势种等发生了适应性变化,地势较平缓、土层相对厚、岩石裸露率较低的峰顶与坡麓更有助于岩溶植被的发育和生长,群落结构更复杂。而峰间洼地对于竹灌丛生长有利,丛生竹类限制了大多数岩溶乔灌木的生长。

#### 4.3 不同地貌部位的植被盖度与生物量差异

峰林不同地貌部位的植被盖度有差异,但不显著

(表 3),峰壁由于岩石裸露率很高,植物只是一些缝隙和少量堆积土壤上生长,限制了其发展的空间,植被盖度为 47.56%,虽然低于其他区域,但并无显著性下降。在坡麓位置,土层厚度增加,岩石裸露率下降,乔灌木和草本植物都有生长的环境,特别是灌木层中多种攀缘灌木和藤本植物交织生长,使盖度增加到 63.5%。在峰间洼地,尽管土壤厚度深、岩石裸露率很低,但优势种粉单竹合轴丛生、生长旺盛,限制了其他乔灌木生长,盖度并没有显著增加。尽管峰林不同部位岩石裸露率差异很大,但岩溶植物高度的适应性弥补了这种差异,特别是藤本植物、攀缘植物很好的利用了裸露岩石的空间,提高了植被覆盖度。峰间洼地与峰顶的生物量干重显著高于峰壁与坡麓,峰壁植被的生物量最低,只有 286.2 g/m<sup>2</sup>,虽然坡麓植被盖度最高,但在乔灌木优势种中,藤灌丛植物占主导地位,乔木种数量稀少,藤灌丛植物延伸性强,但生物量不如竹叶椒、黄荆等灌丛。峰林洼地竹灌丛长势茂密,高度超过 10 m,其生物量达到 1 200.48 g/m<sup>2</sup>,显著高于坡麓及峰壁植被。

表 3 峰林不同地貌部位植被盖度与生物量分析(LSD, Mean±SD)

Table 3 LSD analysis of coverage and biomass of vegetation in different landforms of peak forest plain

	峰顶	峰壁	坡麓	峰间洼地
植被盖度/%	59.96±19.45a	47.56±18.66a	63.5±20.82a	61.92±17.80a
地上生物量/g/m <sup>2</sup>	1 200.48±593.52a**	286.2±105.96b**	381.03±168.09b**	1 361.78±494.31a**

注:\*\*表示 0.01 水平显著性差异,不同字母 a、b 之间代表 0.05 水平显著性差异。

#### 4.4 峰林不同地貌部位地表岩石裸露率、土层厚度与植被盖度及生物量相关性

峰林的不同地貌部位决定了地表岩石裸露率与土层厚度差异,从而影响了物种的分布、植被盖度和生物量(表 4),相关性分析结果表明,岩石裸露率与土层厚度间呈极显著的负相关关系,但与植被盖度和生物量间未达到显著相关,土层厚度与生物量有极显著的负相关关系,植被盖度与生物量之间关系不显著。这一结果验证了石灰岩植物对岩石环境的高度适应性,即使在岩石裸露率很高的环境,藤本植物、攀缘植物仍能很好的生长并占据地上空间,保持较高的植被盖度,但岩石裸露率会影响土层厚度,最终会影响地表生物量。

#### 4.5 物种多样性差异分析

##### 4.5.1 峰林不同部位的 α 多样性

峰林不同部位植物种数量明显分为两类(表 5):峰顶与峰间洼地地势平坦,物种显著少于峰壁与坡麓,峰顶的 Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数都显著低于其他部位,峰间洼地建群种粉单竹长势快速,既占据了空间,其地下合轴丛生的特点又能抑制其他物种生长,而峰顶出现两种地形,一种是位于地形平缓处的裸露岩石,另一种是土层较厚的缓坡地形,前者由于在长期地表侵蚀与垂直侵蚀作用下土壤仅留存于岩石缝隙,限制了乔灌木和草本植物生长,多以耐旱和藤灌丛植物为主,后者以鸭嘴草为优势种,制约了其他乔灌木植物生长,造成 Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数均较低。峰壁尽管植被稀疏,但地势复杂,适于不同环境的物种也相对较多,其 Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数均显著高于其他部位植

被;同样,坡麓地带地势也复杂,而且堆积的土层较厚,相对优越的水、土资源为不同植物的生长提供了条件,物种数、Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数均显著高于峰顶,但除物种数外,多样性指数均低于峰壁,Pielou 指数显著低于峰间洼地。显然,地貌部位多样性有助于提高生物多样性,均一

的裸露岩石结构和一元土壤结构都不利于生物多样性发展,长期处于地表侵蚀和垂直侵蚀共同作用下的峰顶,随着土壤迁移减少,其植被多样性同样有降低的风险,同样,堆积土壤厚、地势平坦的峰间洼地物种多样性也会降低,只有土、石结合的岩溶二元结构才适合更多岩溶植物生长。

表 4 峰林不同地貌部位岩石裸露率、土层厚度与植被盖度及生物量相关性分析

Table 4 Analysis of correlations among the soil thickness, rock coverage, coverage and biomass of vegetation in different landforms of peak forest plain

位置		岩石裸露率/%	土层厚度/cm	植被盖度/%	生物量/g/m <sup>2</sup>
岩石裸露率/%	皮尔逊相关系数	1.000	-0.541**	0.028	0.282
	显著性系数(2尾)	—	0.002	0.881	0.124
	样本数	40	40	40	40
土层厚度/cm	皮尔逊相关系数	-0.541**	1.000	-0.195	-0.526**
	显著性系数(2尾)	0.002	—	0.293	0.002
	样本数	40	40	40	40
植被盖度/%	皮尔逊相关系数	0.028	-0.195	1.000	0.058
	显著性系数(2尾)	0.881	0.293	—	0.758
	样本数	40	40	40	40
生物量/g/m <sup>2</sup>	皮尔逊相关系数	0.282	-0.526**	0.058	1.000
	显著性系数(2尾)	0.124	0.002	0.758	—
	样本数	40	40	40	40

注:\*\*表示 0.01 水平显著性差异。

表 5 峰林不同地貌部位植物多样性(LSD, Mean±SD)

Table 5 LSD analysis of plant diversity in different landforms of peak forest plain

位置	物种数	Shannon—Wiener 指数	Simpson 指数	Pielou 指数
峰顶	9.0±1.88A	0.687±0.404A	0.301±0.206A	0.723±0.416A
峰壁	12.4±2.3B	2.211±0.282B	0.876±0.060B	2.027±0.143B
坡麓	13.2±4.549B	1.564±0.460C	0.637±0.171C	1.427±0.347C
峰间洼地	6.6±1.673A	1.572±0.195C	0.778±0.041BC	1.950±0.104B

注:不同大写字母 A、B、C 之间代表 0.01 水平显著性差异。

4.5.2 不同地貌部位环境梯度的 β 多样性

采用 Jaccard 相似性系数指标反映峰林平原不同环境梯度的 β 多样性差异,对峰顶、峰壁、坡麓、峰间洼地四种地貌部位每一个样地相互间计算 Jaccard 相似性系数(表 6),峰顶—峰壁、峰顶—坡麓、峰顶—洼地、峰壁—坡麓、峰壁—洼地、坡麓—洼地的 Jaccard 相似性系数平均为 0.28、0.17、0.14、0.17、0.09、0.16,峰顶与峰壁间相似性系数最高,而峰壁与洼地间相似性系数最低。峰顶—坡麓、峰壁—坡麓和坡麓—洼地间相似性系数基本相似。对不同部位间

Jaccard 相似性系数分析结果表明,峰顶—洼地与峰壁—坡麓和峰壁—洼地间有显著性差异,峰壁—坡麓和峰壁—洼地间有显著性差异,其余都无显著性差异。很明显,部位对植物种分布的影响比较明显,空间位置远近、地形差异大小对物种分布的作用较大,如峰顶—峰壁、峰顶—坡麓、峰顶—洼地间随着空间距离拉大,Jaccard 相似性系数从 0.28 依次降低为 0.17 和 0.14,峰壁—洼地由于部位差异大,和峰顶—洼地比较,Jaccard 相似性系数要小很多。

表 6 峰林不同地貌部位植被 Jaccard 相似性系数相关性分析(皮尔逊相关)

Table 6 Correlation analysis of Jaccard similarity coefficient of vegetation in different landforms of peak forest plain(Pearson correlation coefficient)

位置	峰顶—峰壁	峰顶—坡麓	峰顶—洼地	峰壁—坡麓	峰壁—洼地	坡麓—洼地
峰顶—峰壁	1.000	0.186	0.132	0.329	0.154	0.256
峰顶—坡麓	0.186	1.000	0.357	0.007	0.150	-0.032
峰顶—洼地	0.132	0.357	1.000	0.448*	0.494*	0.018
峰壁—坡麓	0.329	0.007	0.448*	1.000	0.423*	0.071
峰壁—洼地	0.154	0.150	0.494*	0.423*	1.000	0.361
坡麓—洼地	0.256	-0.032	0.018	0.071	0.361	1.000

注: \* 表示 0.05 水平显著性差异。

## 5 结 论

(1) 峰林平原的峰顶、峰壁、坡麓和峰间洼地之间岩石裸露率、土层厚度差异较大,峰壁具有 97.66% 显著高的岩石裸露率,而洼地的土层厚度达到 146 cm,显著大于峰顶、峰壁和坡麓。

(2) 峰林不同地貌部位的植被结构不同,峰顶、峰壁、坡麓和峰间洼地的群丛依次为乔栎榕—竹叶椒+欆木—纤毛鸭嘴草、乔栎榕—红背山麻杆+欆木—五节芒、黄连木—灰白毛莓—纤毛鸭嘴草和长毛八角枫—藤金合欢+粉单竹—纤毛鸭嘴草。这种差异主要体现在土层厚度厚的部位乔木种类增加,岩石裸露率高的部位藤灌丛与攀缘灌木种类增多。

(3) 尽管土层厚度有助于植被生物量提高,如洼地生物量最高,但岩溶植物对岩溶环境的高度适应性,如位于岩石缝隙之间藤灌丛和攀缘植物等优势种能充分利用地表空间并保持较高的覆盖度和地上生物量,减弱了岩石裸露率对植被盖度和生物量的影响,所以,尽管石峰不同地貌部位差异较大,但植被盖度却未表现出显著差异。

(4) 岩石裸露和覆土都会使植被沿一定趋势发育演替,而岩溶环境的非均质性和地貌部位的多样性有助于提高生物多样性,如有一定坡度的峰壁,既有裸露岩石,也有在岩石间堆积的土壤,其 Shannon—Wiener 指数达到 2.21,显著高于其他部位。对于岩溶峰林而言,土、石结合的岩溶二元结构可能适合更多岩溶植物生长。

(5) 通过 Jaccard 相似性系数及峰林空间异质性分析可以发现,地貌部位和空间距离是约束植被群落结构差异的主要因素,相邻部位之间群落并未发生显著改变,空间距离越远,地貌部位差异越大,如峰顶与洼地,才能导致群落结构发生较大的变化。

## 参考文献

- [1] Swanson F J, Kratz T K, Caine N, et al. Landform effects on ecosystem patterns and processes[J]. *Bioscience*, 1988, 38(2): 92—98.
- [2] 沈泽昊, 张新时. 基于植被分布地形格局的植物功能型划分研究[J]. *植物学报*, 2000, 42(11): 1190—1196.
- [3] 王国宏, 杨利民. 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 733—740.
- [4] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 等. 木论喀斯特峰丛洼地森林群落地形格局及环境解释[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(3): 298—308.
- [5] Brewer S W, Rejmanek M, Webb M A H, et al. Relationships of phytogeography and diversity of tropical tree species with limestone topography in southern Belize[J]. *Journal of Biogeography*, 2003, 30(11): 1669—1688.
- [6] Proeter J, Anderson J M, Chai P, et al. Ecological studies four contrasting lowland rainforests in Gunung Mulu National Park, Sarawak[J]. *Journal of Ecology*, 1983, 71(3): 237—260.
- [7] Murphy P G, Luge A E. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico[J]. *Biotropica*, 1986, 18(2): 89—96.
- [8] Trejo-Torres J C, Ackerman J D. Composition Patterns of Caribbean Limestone Forests: Are Parsimony, Classification, and Ordination Analyses Congruent? [J]. *Biotropica*, 2002, 34(4): 502—515.
- [9] 侯学煜. 贵州省南部植物群落[J]. *植物学报*, 1952, 1(2): 65—106.
- [10] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987: 1—22.
- [11] 杨汉奎, 程仕泽. 贵州茂兰喀斯特森林群落生物量研究[J]. *生态学报*, 1991, 11(4): 307—312.
- [12] 朱守谦, 魏鲁明, 陈正仁, 等. 茂兰喀斯特森林生物量构成初步研究[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(4): 358—367.
- [13] 杜道林, 刘玉成, 苏杰. 茂兰喀斯特山地广东松种群结构和动态初步研究[J]. *植物生态学报*, 1996, 20(2): 159—166.
- [14] 侯满福, 蒋忠诚. 茂兰喀斯特原生林不同地球化学环境的植物物种多样性[J]. *生态环境*, 2006, 15(3): 572—576.
- [15] 蓝芙宁, 蒋忠诚, 邓艳. 广西岩溶地区森林群落及其生态因子的比较研究[J]. *中国岩溶*, 2004, 23(1): 30—36.
- [16] 区智, 李先琨, 吕仕洪. 桂西南岩溶植被演替过程中的植物多样性[J]. *广西科学*, 2003, 10(1): 63—67.

- [17] 欧祖兰, 苏宗明, 李先琨. 广西岩溶植被植物区系[J]. 广西植物, 2004, 24(4): 302-310.
- [18] 李先琨, 苏宗明, 吕仕洪, 等. 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[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 129-139.
- [19] 苏宗明, 李先琨. 广西岩溶植被类型及其分类系统[J]. 广西植物, 2003, 23(4): 289-293.
- [20] 张忠华. 喀斯特森林植被种群生态学与群落稳定性分析[D]. 华东师范大学博士论文, 2010.
- [21] 王兮之, 甘春英, 梁钊雄, 等. 粤北岩溶山区连江流域植被覆盖度动态变化研究[J]. 中国岩溶, 2010, 29(4): 425-433.
- [22] 廖义善, 卓慕宁, 李定强, 等. 粤北石漠化地区土地利用优化配置及资源利用研究[J]. 中国岩溶, 2010, 29(1): 12-19.
- [23] 张素红, 李森, 李红兵, 等. 粤北石漠化地区土壤侵蚀初步研究[J]. 中国岩溶, 2006, 25(4): 280-284.
- [24] 魏兴琥, 雷俐, 徐喜珍. 广东岩溶丘陵的分布及土地利用模式探讨[J]. 中国岩溶, 2011, 30(3): 302-307.
- [25] 魏兴琥, 徐喜珍, 雷俐. 石漠化对峰丛洼地土壤有机碳储量的影响: 以广东英德市岩背镇为例[J]. 中国岩溶, 2013, 32(4): 371-376.
- [26] 广东省科学院丘陵山区综合科学考察队. 广东山区地貌[M]. 广州: 广东科技出版社, 1991.
- [27] 广东省科学院丘陵山区综合科学考察队. 广东山区植被[M]. 广州: 广东科技出版社, 1991.
- [28] 陈同庆, 魏兴琥, 关共凑, 等. 粤北岩溶区不同土地利用方式对土壤钙离子的影响[J]. 热带地理, 2014, 34(30): 337-343.
- [29] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.

## Study on the features of vegetation in different landforms of peak forest plain in the north Guangdong

WEI Xing-hu<sup>1</sup>, XU Xi-zhen<sup>2</sup>, LEI Li<sup>3</sup>, ZHOU Hong-yan<sup>4</sup>

(1. Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China; 2. Zhongshan Second Middle School, Zhongshan, Guangdong 528429, China; 3. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China; 4. Foshan Zhangcha Middle School, Foshan, Guangdong 528000, China)

**Abstract:** Aims to find out the relationship between vegetation community feature, species diversity and different landforms in karst peak forest. Two peak which are typical karst peak forest plain system in Jiulong town, Yingde City of northern Guangdong Province were selected as the research area. Plants variety, soil thickness, coverage of vegetation, biomass were investigated respectively by quadrat method at summit, cliff, slope foot, and peak forest depression in two peak. The biodiversity, such as Shannon-Wiener index, Simpson index and Pielou index were analyze with SPSS 10.0 and compared with different landforms. The Jaccard correlation coefficient were adopted to discuss similarity among the different landforms.

The results showed, (1) The coverage of rock and soil thickness are more different among the summit, cliff, slope foot, and peak forest depression, and the coverage of rock in cliff plots is bigger significantly than others plots, and the soil thickness in peak forest depression is bigger significantly than others plots; (2) The association of summit, cliff, slope foot, and peak forest depression is *Ficus microcarpa* - *Zanthoxylum armatum* + *Loropetalum chinese* - *Ischaemum indicum*, *Ficus microcarpa* - *Alchornea trewioides* + *Loropetalum chinese* - *Miscanthus floridulus*, *Pistacia chinensis* - *Rubus tephrodes* - *Ischaemum indicum*, *Alangium kurzii* - *Acacia sinuata* + *Lingnania chungii* - *Loropetalum chinese*, dominant species and synusia structure are more different among the different landforms; (3) There are higher coverage of vegetation in karst peak forest due to adaptations of most plants for karst environment, but the standing biomass in summit and peak forest depression which have gently slopes and more thicker soil is bigger significantly than that of cliff and slope foot; (4) There are significantly negative correlation between coverage of rock and soil thickness, soil thickness and standing biomass; (5) The species in summit and peak forest depression are fewer significantly than that of cliff and slope foot. Shannon-Wiener index, Simpson index and Pielou index in summit are fewer than others, but those index in cliff are higher significantly than others. The diversity of karst landform is contribute to biodiversity; (6) Analysis of Jaccard similarity coefficient demonstrate that spatial heterogeneity is a deciding factor for species distribution, especially the separation distance of the space and differences of landform. In brief, different landform of karst peak forest is an important factor which lead to the differentiation of vegetation community and biodiversity, but the adaptability of plant in karst area can weaken the effect of landform in a certain extent.

**Key words:** north of Guangdong; peak forest plain; landform; vegetation