



贵州北盘江不同强度石漠化区木本植物多样性 及生态功能群研究

夏 威^{1,2}, 安明态^{2,3*}, 陈 龙², 叶 超²

(1 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 3 贵州大学 生物多样性与自然保护研究中心, 贵阳 550025)

摘 要: 该研究通过典型群落抽样和聚类分析方法, 分析贵州北盘江不同石漠化强度等级的木本植物多样性变化特征, 以明确不同石漠化强度等级上的适应性功能群树种组成。结果表明: (1) 随着石漠化强度的增大, 木本植物的科、属、种数皆呈下降趋势, 适生树种数减少; 落叶型植物种类相对增加, 常绿型植物种类相对减少; 矮、小高位芽植物的适应种类相对增加, 中、高位芽植物的适应种类相对减少。(2) 欧氏距离为 6.5 时, 将 46 种优势种划分为 8 个功能群, 其中, 轻度石漠化型有 3 个功能群共 21 个树种; 中度石漠化型有 3 个功能群共 14 个树种; 强度石漠化型有 2 个功能群共 10 个树种。

关键词: 木本植物; 多样性; 生态功能群; 贵州北盘江

中图分类号: Q948.11

文献标志码: A

Study on Woody Plant Diversity and Ecological Function Groups of Different Rocky Desertification Gradients in Beipan River Basin of Guizhou

XIA Wei^{1,2}, AN Mingtai^{2,3*}, CHEN Long², YE Chao²

(1 College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3 Guizhou University Research Center for Biodiversity and Nature Conservation, Guiyang 550025, China)

Abstract: The species richness of woody plant was investigated in an area desertified at different gradients in Beipan River Basin of Guizhou Province via the method of cluster analysis, and the adaptive capability of different tree groups was clarified according to the desertification of their habitat. The study results indicated that: (1) the biodiversity expressed in families, genera and species decreased with the desertification extent increasing. In specific, desertification increased the species number of the deciduous plants, the nanophanerophyte and the microphanerophyte, but decreased the evergreen plants, the mesophanerophyte and the megaphanerophyte. (2) Forty six dominant species were divided into 8 functional groups when the Euclid Distance equaled 6.5. There were 3 functional groups with 21 tree species in the area slightly desertified, 3 functional groups including 14 tree species in the medium desertified area, and 2 functional groups including 10 tree species in the heavily desertified area.

Key words: woody plant; diversity; ecological function group; Beipan River of Guizhou

收稿日期: 2019-09-18; 修改稿收到日期: 2020-01-27

基金项目: 贵州省林业科技计划(黔林科合[2016]05 号)

作者简介: 夏 威(1994—), 男, 硕士研究生, 主要从事植物多样性保护及森林生态研究。E-mail: bjfuxiawei@qq.com

* 通信作者: 安明态, 博士, 硕士生导师, 正高级实验师, 主要从事植物多样性保护及喀斯特森林生态研究。E-mail: gdanmingtai@126.com

喀斯特是可溶性盐岩和次生空隙组合的特殊构造,其生境具有高度异质性和严酷性的特点^[1]。在自然、人为双重因素影响下,基岩出露,土地生产力下降,形成喀斯特石漠化^[2]。不同的影响程度形成不同石漠强度类型,很多学者就土壤性质^[3]、洞穴滴水特征^[4]、SPAC 水势梯度^[5]以及不同等级石漠化综合治理生态工程技术^[6]等角度进行探究并取得一定成果。植被退化是石漠化发展的重要原因和标志,植被组成特征与石漠化等级有明显的联系,不同石漠化强度等级的群落组成差异显著^[7],且群落的多样性指数、均匀度指数、丰富度指数和优势度指数均与石漠化等级演替有明显耦合关系^[8]。随着石漠化强度等级增大,植被的生境向旱生化和岩生化发展^[9],生态系统灌木化加重^[10],植物群落结构越来越趋于简单,生态系统脆弱性加强,植被物种组成呈递减趋势^[11-12]。

植物功能群是功能性状相似或相同的植物群,体现环境特征的相似性^[13]。在石漠化地区,由于环境恶劣,植物具有一系列有利于减少蒸腾和储存养分的功能性状组合^[14],且随着演替的进展,植物适应策略由高速生长转向提高资源利用效率^[15]。学者们用种间联结的方法^[16-17]、构建树种经济功能综合评价指标体系^[18]、利用地理环境特征与植物适应功能关系等方法进行功能群划分^[19],随着石漠化地区生物多样丧失日益严重,该地区生态系统重建与植物恢复工作已引起国家和社会各界广泛关注,植物功能群的研究已成为生态研究者关注的热点问题之一。

石漠化区植被恢复,外来树种造林弊端重重,其中,在北盘江地区,以车桑子造林最为普遍。已有研究表明,车桑子林在盖度大于 60% 时,不利于群落向更高级的方向演替^[20]。大量乡土物种经过自然的筛选和改造遗留下来,演变出不同的适应特征和植物性状,并发展成灌草群落甚至森林群落,为石漠化区植被系统的建立提供了可能。本研究以石漠化区现存群落植被为调查对象,探究不同石漠化强度等级上木本植物多样性的变化特征,加深对石漠化区树种组成与其强度等级关系的认识;根据环境因子聚类进行功能群划分,明确不同石漠化强度等级的造林树种,为今后石漠化植被恢复提供可靠的树种选择及一定的理论指导。

1 研究区概况

北盘江流域地处云贵高原东南部,E103°50'~

106°20',N24°51'~26°45';流域内气温平均 16℃,西北部较低为 14℃,东南部较高为 20℃左右^[21];多年平均降水量 1 286.3 mm,以黔西南为多雨区,多雨中心在册亨、兴仁与普安之间,仅上游威宁、水城一带为少雨区,属亚热带湿润季风气候^[22];在上游分水岭地区残存缓和高原面,高差相对较小,其余地区则地形起伏大且破碎,河谷深切狭窄,山势陡峻,高差相对较大^[23];流域内石灰岩分布面广,岩溶发育,植被破坏严重,天然的针叶、阔叶及针阔混交林分布极少,森林植被多为残存的次生林和次生灌丛^[24]。

2 研究方法

2.1 石漠化等级划分与样地设置

按熊康宁等^[25]关于石漠化等级的划分标准,并参照容丽等^[26]对花江大峡谷的石漠化等级划分形式,将研究区划分为 4 种等级的石漠化强度类型(表 1):潜在石漠化(latent, L)、轻度石漠化(slight, SL)、中度石漠化(medium, M)和强度石漠化(strong, ST)。兼顾上、中、下游流域段和海拔高度,于不同石漠化等级上设置典型群落样地,共 84 个。按“种-面积曲线”结合实地情况,样地大小设置为:乔木林统一按 20 m×40 m,灌木灌丛林按 20 m×40 m 或 10 m×10 m(草灌阶段),记载样地所在的群落演替类型、基岩类型、坡向、坡度、海拔、林分郁闭度、土层厚度和 GPS 定位。把乔木样方和灌木样方均分为 10 m×10 m 和 5 m×5 m 的小样方作为调查单位,记录林地乔木树种种类、胸径、高度、冠幅及其生长状况。记录林地灌木种类、多度、小生境类型及高度。

2.2 功能群的确定

依据 Shao 等^[27]对功能群的划分方法,即根据植物特点与环境因子的相互关系来划分功能群。生境的相似性反映植物生长需求的相似性,本研究采取植物所处生境的石漠化强度等级、坡向、坡度和海拔等 4 个生态因子进行功能群的确定,具体做法是:根据每一种植物所出现的全部石漠化强度等级类型,坡向,海拔和坡度的最大值、最小值及中位数,运用 SPSS 软件对植物生态因子集进行聚类分析。根据《贵州植物志》查找每个功能群植物的生活型、生长型、叶子质地、常绿或落叶等 4 个生物学因子。

2.3 数据处理

运用计算机统计软件(Excel 2013、SPSS22.0、R 语言等软件)等进行数据的处理与分析。

表 1 研究区样地的基本信息
Table 1 Basic information of sample sites

石漠化强度 Rocky desertifi- cation intensity	土壤厚度 Soil thickness /cm	植被类型 Vegetation type	植被盖度 Vegetation coverage	样方数 Number of samples
L	>80	以 Pw,Pt,Cs,Ft,Mp,Ca,Ct,Ps,Cp 等为主的乔木林 The arbor with dominant species of Pw, Pt, Cs, Ft, Mp, Ca, Ct, Ps and Cp	≥80%	23
SL	50~80	以 Ps,Iy,Pw,Pf,Ad,Cpu,Sl,Mb,Cs 等为主的稀乔灌丛 The shrubs with sparse arbor which dominant species are Ps, Iy, Pw, Pf, Ad, Cpu, Sl, Mb and Cs	60%~80%	23
M	30~50	以 Pf,Pw,Ad,Rr,Vf,Hm,Pt,Rl,Cm 等为主的草灌丛 Herbaceous-scrub land with dominant species of Pf, Pw, Ad, Rr, Vf, Hm, Pt, Rl and Cm	30%~60%	23
ST	15~30	以 Pf,Sd,Rp,Ad,Vf,Mb,Hm 等为主的稀疏灌草丛 Open scrub-herbaceous land with dominant species of Pf, Sd, Rp, Ad, Vf, Mb and Hm	15%~30%	15

注:L. 潜在石漠化;SL. 轻度石漠化;M. 中度石漠化;ST. 强度石漠化;Pw. 清香木;Pt. 青檀;Cs. 朴树;Ft. 斜叶榕;Mp. 粗糠柴;Ca. 南酸枣;Ct. 巴豆;Ps. 化香树;Cp. 翅荚香槐;Iy. 滇鼠刺;Pf. 火棘;Ad. 山麻杆;Cpu. 云贵鹅耳枥;Sl. 亮叶雀梅藤;Mb. 毛桐;Rr. 悬钩子蔷薇;Vf. 珍珠荚蒾;Hm. 金丝桃;Rl. 薄叶鼠李;Cm. 杭子梢;Sd. 白刺花;Rp. 茅莓。下同

Note: L. Latent; SL. Slight; M. Medium; ST. Strong; Pw. *Pistacia weinmannii folia*; Pt. *Pteroceltis tatarinowii*; Cs. *Celtis sinensis*; Ft. *Ficus tinctoria*; Mp. *Mallotus philippinensis*; Ca. *Choerospondias axillaris*; Ct. *Croton tigilium*; Ps. *Platycarya strobilacea*; Cp. *Cladrastis platycarpa*; Iy. *Itea yunnanensis*; Pf. *Pyracantha fortuneana*; Ad. *Alchornea davidii*; Cpu. *Carpinus pubescens*; Sl. *Sageretia lucida*; Mb. *Mallotus barbatus*; Rr. *Rosa rubus*; Vf. *Viburnum foetidum*; Hm. *Hypericum monogynum*; Rl. *Rhamnus leptophylla*; Cm. *Campylotropis macrocarpa*; Sd. *Sophora davidii*; Rp. *Rubus parvifolius*. The same as below

2.3.1 重要值 重要值是综合衡量某个物种在群落中的地位 and 作用的数量指标。计算公式如下:

乔木层:重要值 $IV_1 = (\text{相对密度} + \text{相对优势度} + \text{相对频度}) / 3$

灌木层:重要值 $IV_2 = (\text{相对密度} + \text{相对频度}) / 2$
式中:

相对密度 = 某个种的密度 / 所有种的密度之和
相对优势度 = 某个种的胸径和 / 所有种的胸径之和
相对频度 = 某个种出现的样方数 / 所有种出现的样方数之和

2.3.2 聚类方法 本研究采取系统聚类^[27],方法采用沃德法,测量区间采用欧氏距离(Euclid Distance),即在 n 维空间中两个点之间的真实距离。 n 维欧氏空间是一个点集,它的每个点 X 可以表示为 $x_{[i]}(x_{[1]}, x_{[2]} \cdots x_{[n]})$,其中 $x(i=1 \cdots n)$ 是实数称为 X 的第 i 个坐标两个点 $A=(a_{[1]}, a_{[2]} \cdots a_{[n]})$ 和 $B=(b_{[1]}, b_{[2]} \cdots b_{[n]})$ 之间的距离 $d(AB)$:

$$d(AB) = \sqrt{\sum [(a - b)^2]} (i = 1, 2 \cdots n)$$

3 结果与分析

3.1 不同石漠化等级的木本植物多样性构成特征
3.1.1 数量组成特征 通过典型群落抽样调查,共记录到贵州北盘江石漠化区木本植物 297 种,隶属

69 科 171 属。

组成群落的植物种类的数量决定群落的复杂程度,反映群落的稳定性,植物种类越多,结构趋于越复杂且越稳定,抗逆性越强,反之,植物种类越少,结构越简单,稳定性越差,抗逆性越弱。由图 1 可知,本次调查的 297 种木本植物种中,潜在石漠化等级出现树种数 188 种,隶属 60 科 126 属,分别占调查总科、属、种数的 87.0%、73.7%、63.3%;轻度石漠化等级出现树种数为 136 种,隶属 45 科 98 属,分别占调查总科、属、种数的 65.2%、57.3%、45.8%;中

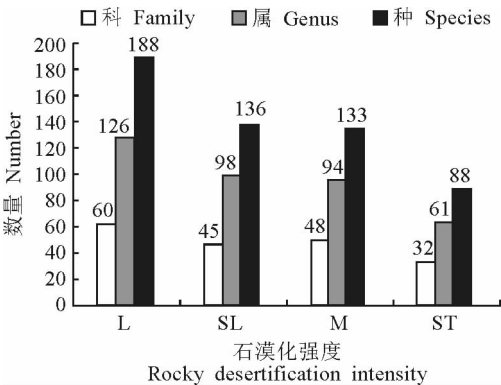


图 1 贵州北盘江石漠化区不同强度等级上木本植物科、属、种数量

Fig. 1 The number of families, genera and species of woody plants on different intensity grades in the rocky desertification area of Beipan River, Guizhou

度石漠化等级出现树种数为 133 种,隶属 48 科 94 属,分别占调查总科、属、种数的 69.6%、55.0%、44.8%;强度石漠化等级出现物种数 82 种,隶属 32 科 61 属,分别占调查总科、属、种数的 49.3%、35.7%、27.6%。可以看出,潜在石漠化等级所包含的树种数最多,强度石漠化等级所包含的树种数最少,而轻、中度两个石漠化强度等级上虽树种种类的变化幅度不是很大,但也呈现出减少的趋势。表明随着石漠化强度的增大,物种的科、属、种数皆呈下降趋势,适生树种数减少。

3.1.2 常绿、落叶型植物组成 木本植物以落叶的适应形式来减少蒸腾作用、涵养根部水分,是对干旱的适应表现。本次记录到北盘江石漠化区木本植物共 297 种,常绿型植物 108 种,所占比例 36.4%;落叶型及半常绿型植物 189 种,所占比例 63.6%。

根据图 2,在不同的石漠化强度等级上,潜在石漠化等级 188 种树种中,落叶树种 133 种,占比 70.7%,常绿树种 55 种,占比 29.3%;轻度石漠化等级 136 种树种中,落叶树种 101 种,占比 74.3%,常绿树种 35 种,占比 25.7%;中度石漠化等级 133 种树种中,落叶树种 103 种,占比 77.4%,常绿树种 30 种,占比 22.6%;强度石漠化 82 种树种中,落叶树种 66 种,占比 80.5%,常绿树种 16 种,占比 19.5%。可以看出,各个不同石漠化等级上,落叶树种所占比例皆大于常绿树种比例,且随着石漠化强度的增加,落叶树种所占比例增大,常绿树种所占比例减小。表明随着石漠化强度等级的增加落叶型植物种类相对增加,常绿型植物种类相对减少。

3.1.3 生活型组成特征 植物为适应外界环境而形

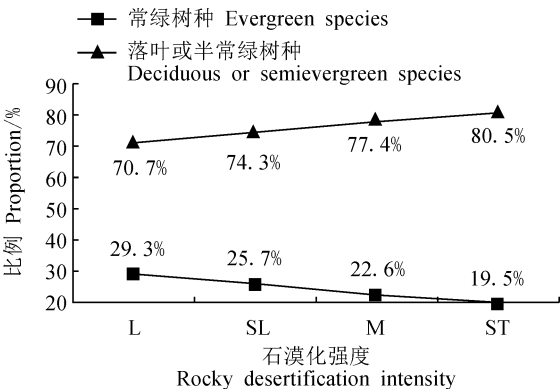


图2 贵州北盘江石漠化地区不同强度等级上常绿、落叶树种比例组成

Fig. 2 Proportion composition of evergreen and deciduous tree species on different intensity grades in rocky desertification areas of Beipan River, Guizhou

成的生活形态决定了群落的外貌,这种形态上的适应称为植物的生活型^[28]。生活型相同的物种,在形态和适应特点上也具有相似性^[29]。本次调查的 297 种高位芽植物中,大高位芽植物有 3 种,比重为 1.0%;中高位芽植物有 112 种,比重为 37.7%;小高位芽植物有 143 种,比重为 48.1%;矮高位芽植物有 39 种,比重为 13.1%。如图 3,可以看出,北盘江石漠化区高位芽植物中,小高位芽植物所占比例最大,其次是中高位芽植物,再次是矮高位芽植物,而大高位芽植物属偶见类型。表明石漠化地区高位芽植物以中高位芽植物和小高位芽植物为主。

根据图 4,随着石漠化强度等级的改变,4 个生活亚型的比例也随着改变,在潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化 4 个强度等级中,矮高位芽植物的比例依次为 9.1%、9.5%、13.1%、18.5%,小高位芽植物的比例依次为 45.8%、51.8%、57.2%、59.9%,中高位芽植物的比例依次为 43.3%、37.1%、29.1%、21.0%,大高位芽植物的比例依次为 1.8%、1.6%、0.7%、0.6%。可以看出,矮高位芽植物和小高位芽植物的比例随着石漠化强度的增加而增大,而中高位芽植物和大高位芽植物的比例随着石漠化强度的增加而减小。表明随着石漠化强度的增加,矮、小高位芽植物的适应种类相对增加,中、高位芽植物的适应种类相对减少。

3.2 木本植物生态功能群划分

3.2.1 优势种组成特征 根据重要值分析,在研究区分别选出乔木层、灌木层重要值前 10% 的树种作为优势种,共 27 科 42 属 46 种。其中,乔木层优势种共有 10 科 12 属 12 种,占优势种种数的 21.8%,

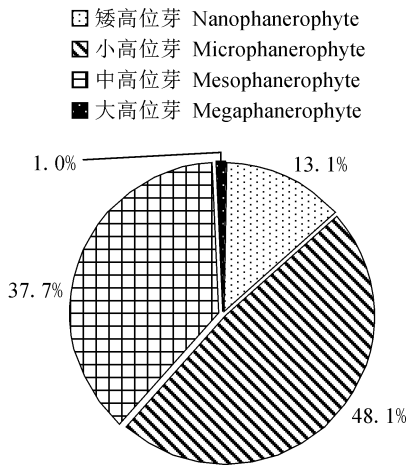


图3 贵州北盘江石漠化地区高位芽亚型植物比例组成

Fig. 3 Proportion composition of phanerophyte subtype plants in rocky desertification area of Beipan River, Guizhou

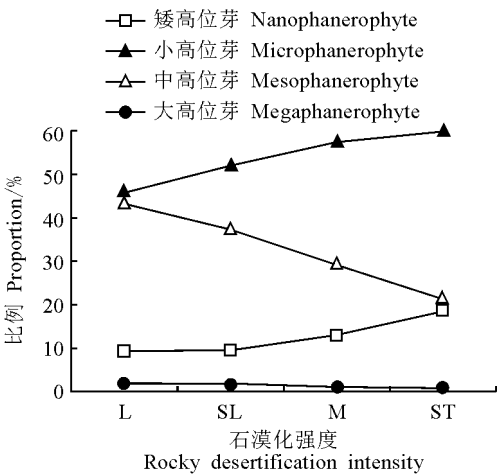


图 4 不同石漠化等级高位芽亚型植物组成比例
Fig. 4 Plant composition proportion of phanerophyte subtypes with different rocky desertification grades

以漆树科 (Anacardiaceae)、樟科 (Lauraceae) 较多, 有 2 属 2 种, 其余为 1 科 1 属 1 种。灌木层优势种 25 科 39 属 42 种, 占优势种种数的 78.2%, 其中大戟科 (Euphorbiaceae) 6 属 7 种、樟科 3 属 4 种、蔷薇科 3 属 3 种, 杨柳科 (Salicaceae)、蝶形花科、芸香科 (Rutaceae)、马鞭草科 (Verbenaceae)、紫金牛科 (Myrsinaceae) 皆为 2 属 2 种, 其余为 1 科 1 属 1 种或多种。

另外, 本次调查统计发现, 化香树 (*Platycarya strobilacea*)、青檀 (*Pteroceltis tatarinowii*)、圆叶乌桕 (*Triadica rotundifolia*)、清香木 (*Pistacia weinmannii*)、云贵鹅耳枥 (*Carpinus pubescens*)、滇鼠刺 (*Itea yunnanensis*)、安顺润楠 (*Machilus cavaleriei*) 和岩樟 (*Cinnamomum saxatile*), 共 8 个物种于乔木层、灌木层中皆为优势种, 表明这 8 个树种比研究区其他树种具有更强的适应能力。

3.2.2 功能群划分 对所挑选的 46 个优势种就其生境特征进行聚类分析, 如图 5 可看出, 在欧氏距离为 6.5 (纵切线位置), 可将其分为 8 个功能群。

功能群 I (轻度石漠化阴坡落叶为主型): 此功能群由圆叶乌桕、香叶树 (*Lindera communis*)、铁仔 (*Myrsine africana*)、南酸枣 (*Choerospondias axillaris*)、齿叶黄皮 (*Clausena dunniana*) 和异叶鼠李 (*Rhamnus heterophylla*) 构成, 共计 6 种。这些种常生长于轻度石漠化等级以下的坡地, 坡向以阴坡为主; 生活型以小高位芽为主, 以落叶型为主; 生长于 1 500 m 以上地带; 除异叶鼠李、铁仔为灌木, 其余为乔木, 是一个生长型以乔木为主的生态功能群。

功能群 II (轻度石漠化阳坡落叶为主型 I): 此

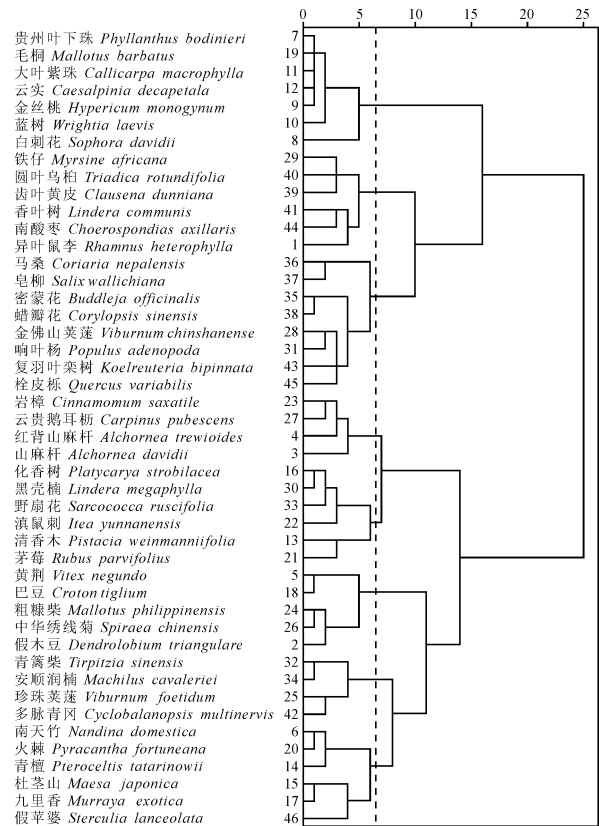


图 5 贵州北盘江石漠化地区优势树种生态功能群聚类结果
Fig. 5 Cluster results of ecological functions of dominant tree species in rocky desertification area of Beipan River, Guizhou

功能群由贵州叶下珠 (*Phyllanthus bodinieri*)、毛桐 (*Mallotus barbatus*)、大叶紫珠 (*Callicarpa macrophylla*)、云实 (*Caesalpinia decapetala*)、金丝桃 (*Hypericum monogynum*)、白刺花 (*Sophora davidii*) 和蓝树 (*Wrightia laevis*) 构成, 共计 7 种。这些种常生长于轻度石漠化以下的阳坡坡地, 坡向以阳坡为主; 生活型以矮高位芽为主, 以落叶型为主。生长的海拔大多在 1 500 m 以下; 该类群生长型除云实为藤本外, 其余全为灌木, 是一个生长型以灌木为主的生态功能群。

功能群 III (轻度石漠化阳坡落叶为主型 II): 此功能群由密蒙花 (*Buddleja officinalis*)、蜡瓣花 (*Corylopsis sinensis*)、金佛山荚蒾 (*Viburnum chinshanense*)、响叶杨 (*Populus adenopoda*)、复羽叶栎树 (*Koelreuteria bipinnata*)、栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、马桑 (*Coriaria nepalensis*) 和皂柳 (*Salix wallichiana*) 构成, 共计 8 种。这些种常生长于轻度石漠化以下的坡地, 坡向以阳坡为主; 生活型以中高位芽植物为主, 以落叶型为主; 生长的海拔大多可

超过 1 500 m;该类群生长型乔木、灌木各 4 种,是一个乔、灌混合的生态功能群。

功能群Ⅳ(中度石漠化阳坡落叶为主型):此功能群由粗糠柴(*Mallotus philippinensis*)、中华绣线菊(*Spiraea chinensis*)、假木豆(*Dendrolobium triangulare*)、黄荆(*Vitex negundo*)和巴豆(*Croton tiglium*)构成,共计 5 种。这些种常生长于中度石漠化等级以下的坡地,坡向以阳坡为主;生活型以小高位芽为主,以落叶型为主;生长的海拔皆在 1 500 米以下;该类群全为灌木,是一个生长型为灌木的生态功能群。

功能群Ⅴ(中度石漠化阴坡常绿为主型):此功能群由南天竹(*Nandina domestica*)、假苹婆(*Sterculia lanceolata*)、青檀、九里香(*Murraya exotica*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)和杜茎山(*Maesa japonica*)构成,共计 5 种。该类群常生长于中度石漠化以下的坡地,坡向以阴坡为主;生活型以小高位芽为主,以常绿型为主;海拔大多在 1 500 m 以下;生长型除假苹婆为乔木外,其余为灌木,是一个以灌木为主的生态功能群。

功能群Ⅵ(中度石漠化阴、阳坡常绿为主型):此功能群由安顺润楠、珍珠荚蒾(*Viburnum foetidum*)、青篱柴(*Tirpitzia sinensis*)和多脉青冈(*Cyclobalanopsis multinervis*)构成,共计 4 种。这些种常生长于中度石漠化以下的坡地;阴坡、阳坡皆适宜;生活型以小高位芽为主,以常绿型为主;生长于 1 500 m 以上地带;该类群除多脉青冈为乔木,其余皆为灌木,是一个生长型以灌木为主的生态功能群。

功能群Ⅶ(强度石漠化常绿为主型):此功能群由滇鼠刺(*Itea yunnanensis*)、黑壳楠(*Lindera megaphylla*)、清香木、野扇花(*Sarcococca ruscifolia*)、化香树和茅莓(*Rubus parvifolius*)构成,共计 6 种。这些种适应能力强,可生长于各个强度等级石漠化区;阴、阳坡皆适宜;生活型以小高位芽为主,以常绿型为主;可生长于 1 500 m 以上地带;该类群除黑壳楠为乔木,其余为灌木,是一个生长型以灌木为主的生态功能群。

功能群Ⅷ(强度石漠化落叶为主型):此功能群由红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、云贵鹅耳枥、山麻杆(*Alchornea davidii*)和岩樟构成,共计 4 种。这些种生长于强度石漠化坡地,坡向为阳坡;生活型以小高位芽为主,以落叶型为主;海拔皆在 1 500 m 以下;该类群生长型乔木、灌木各 2 种,是一个乔、灌混合的生态功能群。

4 讨 论

研究区是中国西南尤其贵州省喀斯特地貌最为典型的区域之一,在自然、人为双重因素影响下,水土流失严重、生态环境恶劣、植被稀少。随着石漠化强度等级的增大,环境容纳阈值减小,物种的科、属、种数皆呈下降趋势,适生树种数减少,群落趋于简单化,多样性及抗逆性降低。特殊的岩溶双层结构,虽雨水充沛,但土壤浅薄、持水能力差,水分进入地下暗河或沿坡下流,形成临时性干旱。当群落郁闭度大时,林分及其枯枝落叶增大土壤保持水分能力,使得水分利用率提高,形成良性循环,同理,在郁闭度小的强度石漠化区形成恶性循环。随石漠化强度的增大,木本植物矮高位芽、小高位芽植物增加,中高位芽、大高位芽植物减少,落叶型植物比例上升、常绿型下降,林木以低矮、落叶的特征去适应临时性干旱。笔者建议研究区植被恢复的造林树种选择时多以落叶型的矮、小高位芽植物为主,混交搭配小比例的常绿型植物。

“物竞天择”,经自然选择,在各石漠化强度类型上都存在不同演替阶段的植物群落,植物形成特殊的功能性状以适应恶劣的环境。大多功能群树种都表现出以落叶、灌木、小高位芽为主的特征,这些特征可能与其生长于石漠化区的维持机制有关,也反映出形状低矮是适应石漠化严酷环境的性状之一。各石漠化等级之间的水、肥条件差别很大,同一强度等级中的小生境差异也很显著,这些差异共同决定功能群植物的分布与组成。在轻度石漠化地区,土壤、水分等自然条件相对较好,以中高位芽植物为主,生长型多为乔木或小乔木的功能群植物去适应轻度石漠化的环境条件;而中度石漠化条件相对较差,多为小高位芽植物生长,但也因局部小生境异质性强,石沟、石缝腐殖质丰富,也会出现中高位芽植物;强度石漠化区环境条件最差,岩石裸露率高,海拔、坡度对水分在分配,水分成为限制性因子,功能群植物以落叶小灌木为主,但局部小生境较好时也会偶见常绿型植物,或孤立的小乔木,同时反映这些种对干旱的强适生能力。

石漠化区植被系统的建立,还存在造林树种单一及外来种引种带来的一系列问题。例如近年来,北盘江流域关岭县等地引种车桑子造林,因病虫害造成大面积死亡,水城县以柳杉大面积造林,群落结构单一,抗逆性差,常发生火灾。这些问题为生态修复及有关管理部门留下一些思考。本研究主要着眼

于不同石漠化强度等级上的木本植物多样性及生态功能群分析,找到适宜于各个石漠化强度类型的生态功能群,可以很好地解决群落植物物种单一性问题,植被恢复可选择多生活型、多物种造林,提高群落稳定性。但仅初步从生态适应性方面考虑,未考虑这些树种的苗木培育可行性、配植方法等问题,有待在此基础上深入研究。此外,按不同石漠化强度

等级进行调查的方法在实际运用中还是存在很多问题,如无法做到令每个等级划分完全精准,样方不能囊括所有环境类型等,但该方法本身可形成一种自我对照,能很好地反映植被多样性情况和筛选适生功能群树种,对相关部门今后开展喀斯特石漠化地区植被系统建立的树种选择、生态修复等决策仍有参考价值。

参考文献:

- [1] 福特 DC, 威廉姆斯 P, 宋林华. 喀斯特的定义及其发展[J]. 地理译报, 1990, **9**(4): 6-11.
FORD D C, WILLIAMS P, SONG L H. The definition of karst and its development[J]. *Geography Translation*, 1990, **9**(4): 6-11.
- [2] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, **21**(2): 101-105.
WANG S J. Concept deduction and its connotation of Karst rocky desertification[J]. *Carsologica Sinica*, 2002, **21**(2): 101-105.
- [3] 颜 萍, 熊康宁, 王恒松, 等. 喀斯特地区不同等级石漠化对土壤性质的响应[J]. 南方农业学报, 2016, **47**(4): 557-563.
YAN P, XIONG K N, WANG H S, *et al.* Response of soil properties to different grades of rocky desertification in Karst area[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2016, **47**(4): 557-563.
- [4] 吕小溪, 刘子琦. 不同等级石漠化地区洞穴滴水的物理化学特征对比研究[J]. 科学技术与工程, 2015, **15**(12): 21-27.
LÜ X X, LIU Z Q. Comparative study on the physical and chemical characteristics of dripping water in caves in different rocky desertification regions[J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, **15**(12): 21-27.
- [5] 邓 艳, 胡 阳, 马祖陆, 等. 广西不同石漠化等级下 SPAC 水势梯度及其环境效应[J]. 地球与环境, 2014, **42**(2): 213-220.
DENG Y, HU Y, MA Z L, *et al.* SPAC water potential gradient and its environmental effect in different rocky desertification grades in Guangxi[J]. *Earth and Environment*, 2014, **42**(2): 213-220.
- [6] 隋 喆, 熊康宁, 牟祥会, 等. 喀斯特小流域不同等级石漠化综合治理生态工程技术集成研究[J]. 中国水土保持, 2010, (4): 17-19.
SUI Z, XIONG K N, MOU X H, *et al.* Integrated treatment of rocky desertification at different levels with ecological engineering techniques of small watersheds in Karst[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2010, (4): 17-19.
- [7] 温培才, 盛茂银, 王霖娇, 等. 西南喀斯特高原盆地石漠化环境植物群落结构与物种多样性时空动态[J]. 广西植物, 2018, **38**(1): 11-23.
- [8] 李 瑞, 王霖娇, 盛茂银, 等. 喀斯特石漠化演替中植物多样性及其与土壤理化性质的关系[J]. 水土保持研究, 2016, **23**(5): 111-119.
LI R, WANG L J, SHENG M Y, *et al.* Plant species diversity and its relationship with soil properties in Karst rocky desertification succession[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, **23**(5): 111-119.
- [9] 罗红波, 魏兴晓, 李 森, 等. 粤北岩溶山区土地石漠化过程的植被特征与多样性初步研究[J]. 水土保持研究, 2007, **14**(6): 318-321, 324.
LUO H B, WEI X H, LI S, *et al.* Preliminary study on bio-productivity and vegetation features in process of rocky desertification, north of Guangdong Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, **14**(6): 318-321, 324.
- [10] 康秀琴, 魏小丛, 李颜斐, 等. 湘西南喀斯特石漠化地区植物多样性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, **39**(1): 100-107.
KANG X Q, WEI X C, LI Y F, *et al.* Study on species diversity of plant communities in Karst rocky desertification ecosystem of southwestern Hunan[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2019, **39**(1): 100-107.
- [11] 张承琴, 王普昶, 龙翠玲, 等. 贵州喀斯特峰丛洼地不同石漠化等级植物群落物种组成和多样性特征[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, **37**(6): 48-53.
ZHANG C Q, WANG P C, LONG C L, *et al.* Species composition and biodiversity characteristics in peak cluster-depressions differing in rock desertification of a Karst area in Guizhou[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2015, **37**(6): 48-53.
- [12] 盛茂银, 熊康宁, 崔高仰, 等. 贵州喀斯特石漠化地区植物多样性与土壤理化性质[J]. 生态学报, 2015, **35**(2): 434-448.
SHENG M Y, XIONG K N, CUI G Y, *et al.* Plant diversity and soil physical-chemical properties in Karst rocky desertification ecosystem of Guizhou, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(2): 434-448.

[13] 刘晓娟, 马克平. 植物功能性状研究进展[J]. 中国科学:生命科学, 2015, **45**(4): 325-339.
LIU X J, MA K P. Plant functional traits—concepts, applications and future directions [J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 2015, **45**(4): 325-339.

[14] 钟巧连, 刘立斌, 许 鑫, 等. 黔中喀斯特木本植物功能性状变异及其适应策略[J]. 植物生态学报, 2018, **42**(5): 562-572.
ZHONG Q L, LIU L B, XU X, *et al.* Variations of plant functional traits and adaptive strategy of woody species in a Karst forest of central Guizhou Province, southwestern China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2018, **42**(5): 562-572.

[15] 习新强, 赵玉杰, 刘玉国, 等. 黔中喀斯特山区植物功能性状的变异与关联[J]. 植物生态学报, 2011, **35**(10): 1 000-1 008.
XI X Q, ZHAO Y J, LIU Y G, *et al.* Variation and correlation of plant functional traits in Karst area of central Guizhou Province, China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2011, **35**(10): 1 000-1 008.

[16] 郑振宇, 龙翠玲. 茂兰自然保护区喀斯特森林乔木植物功能型分类[J]. 湖北农业科学, 2015, **54**(4): 843-847.
ZHENG Z Y, LONG C L. Plant functional types of *Arbor* in Karst forest in Maolan National Nature Reserve [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, **54**(4): 843-847.

[17] 郑振宇, 龙翠玲. 茂兰喀斯特森林优势灌木植物功能群划分[J]. 林业科技开发, 2014, **28**(5): 36-40.
ZHENG Z Y, LONG C L. Classification of plant functional types based on dominant shrub species in Maolan karst forests [J]. *Development of Forestry Science and Technology*, 2014, **28**(5): 36-40.

[18] 葛龙允, 喻理飞, 严令斌, 等. 黔中喀斯特石漠化区次生林树种的经济功能评价及功能群划分[J]. 西部林业科学, 2014, **43**(3): 62-69.
GE L Y, YU L F, YAN L B, *et al.* Evaluation of economic function and classification of functional groups of tree species at stone desertified secondary forest of Karst area in central Guizhou [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2014, **43**(3): 62-69.

[19] 李 应, 杨 成, 韦小平, 等. 岩溶山区石漠化生境灌木层植物功能群划分[J]. 中国农学通报, 2014, **30**(29): 149-154.
LI Y, YANG C, WEI X P, *et al.* The classification of plant functional types based on shrub species in the habitat of rocky desertification in Karst mountain region [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, **30**(29): 149-154.

[20] 叶 超, 安明态, 张 楠, 等. 贵州北盘江喀斯特地区车桑子造林对乡土植物物种多样性的影响[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(2): 310-318.
YE C, AN M T, ZHANG N, *et al.* Effect of afforestation of *Dodonaea viscosa* on native plant species diversity in Karst area of Beipan River of Guizhou [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, **39**(2): 310-318.

[21] 钱庆欢, 白晓永, 周德全, 等. 基于 RULSE 模型的北盘江流域土壤侵蚀研究[J]. 人民珠江, 2018, **39**(2): 19-25.
QIAN Q H, BAI X Y, ZHOU D Q, *et al.* Study on soil erosion in Beipanjiang river basin based on RULSE model [J]. *Pearl River*, 2018, **39**(2): 19-25.

[22] 周雪欣, 罗 昊. 基于 GIS 与 RS 技术的北盘江流域生态环境质量评价研究[J]. 环境科学与管理, 2018, **43**(7): 178-182.
ZHOU X X, LUO H. Ecological environment quality assessment of Beipanjiang basin based on GIS and remote sense [J]. *Environmental Science and Management*, 2018, **43**(7): 178-182.

[23] 樊云龙, 潘保田, 胡振波, 等. 云贵高原北盘江流域构造地貌特征分析[J]. 地球科学进展, 2018, **33**(7): 751-761.
FAN Y L, PAN B T, HU Z B, *et al.* An analysis of tectonic geomorphologic characteristics of the Beipanjiang basin in the Yunnan-Guizhou plateau [J]. *Advances in Earth Science*, 2018, **33**(7): 751-761.

[24] 杨成华, 安和平. 贵州南、北盘江流域植被类型的卫片解译与制图[J]. 贵州林业科技, 1996, **24**(1): 55-58.
YANG C H, AN H P. Interpretation and mapping of vegetation types in nanpan and beipan river basins in Guizhou Province [J]. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 1996, **24**(1): 55-58.

[25] 熊康宁, 黎 平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究——以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002.

[26] 容 丽, 熊康宁, 李俊良. 花江喀斯特峡谷区不同石漠化等级植物群落区系特征及其相似度[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2011, **29**(3): 9-13.
RONG L, XIONG K N, LI J L. Characteristics of flora and co-occurrence of all species among communities with different rocky desertification degrees in Karst Huajiang Gorge [J]. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2011, **29**(3): 9-13.

[27] SHAO G, HAYDEN S B P. Functional classifications of coastal barrier island vegetation [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1996, **7**(3): 391-396.

[28] 李景文. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981: 55-58.

[29] 杨 持. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 106-120.

(编辑: 潘新社)