

不同石漠化治理模式下群落的植物组成及多样性* Species Composition and Diversity in Communities of Different Combating Rock Desertification Models

温远光^{1,2,3}, 夏承博¹, 周晓果^{1**}, 朱宏光^{1,2,3}, 李晓琼^{1,2,3}, 王磊^{1,2,3}

WEN Yuanguang^{1,2,3}, XIA Chengbo¹, ZHOU Xiaoguo¹, ZHU Hongguang^{1,2,3},
LI Xiaoqiong^{1,2,3}, WANG Lei^{1,2,3}

(1. 广西大学林学院, 广西森林生态与保育重点实验室培育基地, 广西南宁 530004; 2. 广西大学林学院, 广西高校林业科学与工程重点实验室, 广西南宁 530004; 3. 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站, 广西凭祥 532600)

(1. Breeding Base of Guangxi Key Laboratory of Forest Ecology and Conservation, College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Forestry Science and Engineering, College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

摘要:【目的】了解不同石漠化治理模式下, 群落物种组成及多样性的恢复格局和过程。【方法】通过 2 种树种(顶果木、降香黄檀)、3 种治理模式(顶果木纯林、降香黄檀纯林、顶果木×降香黄檀混交林)的造林试验和群落生态调查, 研究不同石漠化治理模式下群落的物种组成、重要值及多样性演变规律。【结果】经过 4 年的恢复, 3 种不同治理模式下灌木层和草本层的物种组成发生显著变化, 特别是优势种和共优势种。一些入侵植物如鬼针草、小飞蓬、酢浆草、飞机草、土牛膝、胜红蓟等的数量有所增加, 特别是鬼针草, 其重要值(10.35~36.32)分别是灌丛(4.44)的 2.33~8.18 倍。与灌丛(对照)比较, 3 种不同治理模式群落的植物物种丰富度没有显著差异, 但植物多样性指数和均匀度指数存在显著差异。【结论】2 种豆科植物和 3 种治理模式具有相近的治理效果, 但混交林治理模式对植物多样性指数和均匀度指数的作用相对较优。在岩溶退耕地和灌丛地实施人工造林可以加速植被的恢复和重建, 短期内显著改变群落的物种组成和结构, 但在一定程度上存在着外来植物入侵风险。

关键词: 石漠化 造林 顶果木 降香黄檀 纯林 混交林 物种多样性

中图分类号: S718.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)02-0168-07

Abstract:【Objective】The objective of this study was to understand the restoration pattern and process of species composition and diversity in communities of different combating rock desertification models. 【Methods】An afforestation experiment with two tree species (*Acrocarpus fraxinifolius* and *Dalbergia odorifera*) and three combating rock desertification models (pure *A. fraxinifolius* plantations, pure *D. odorifera* plantations and mixed *A. fraxinifolius* × *D. odorifera* plantations) was conducted and the plant communities in these combating models were investigated to reveal the dynamics of species composition, importance value and diversity in different control models. 【Results】After 4 years restoration, significant changes existed in plant species composition, especially the dominant and co-

收稿日期: 2016-12-10

作者简介: 温远光(1957—), 男, 博士生导师, 教授, 主要从事森林生态和森林培育学研究, E-mail: lxywenyg@163.com。

* 国家自然科学基金项目(31460121), 国家科技支撑计划项目(2011BAC09B02, 2012BAD22B01)和广西重大专项计划项目(1222005)资助。

** 通信作者: 周晓果(1980—), 女, 博士, 副教授, 主要从事森林生态学研究, E-mail: xgzhou2014@126.com。

dominant species, of shrub and herbaceous layers in different combating models. The numbers of several invasive plants, such as *Biden spilosa*, *Conyza canadensis*, *Oxalis corniculata*, *Eupatorium odoratum*, *Achyranthes aspera*, *Ageratum conyzoides*, increased. The importance value of *Biden spilosa* (10.35~36.32) was 2.33~8.18 times of that in the shrub (4.44). Compared with the shrub, there was no significant difference in species richness in the three combating models. While significant difference existed in plant species diversity and evenness index. **【Conclusion】**The control effects of the two legume tree species and three models were similar. The mixed planting model had superior effects on plant species diversity and evenness index than the other models. Afforestation at abandoned farmland and shrub in karst area could accelerate vegetation restoration and reconstruction, significantly change the species composition and community structure in short term, but also emerge plant invasion risk to some extent.

Key words: rock desertification, afforestation, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Dalbergia odorifera*, pure plantations, mixed plantations, species diversity

0 引言

【研究意义】岩溶森林是岩溶区最重要的生命支持系统,在维护区域可持续发展中有着特殊的地位,发挥着不可替代的作用,但是受过度垦殖、樵采、放牧等因素的影响,岩溶地区森林植被退化、生物多样性丧失和水土流失加剧,使得我国西南地区形成大量的石漠化生态系统^[1]。恢复和重建石漠化区域的森林生态系统是改善生态环境问题的根本,也是生态文明建设的重要内容,维系着子孙后代的生存与发展空间,因此成为国家战略目标之一^[1-2]。自2008年国家实施石漠化综合治理工程以来,已累计完成治理面积 $2.02 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占石漠化土地面积的15.6%,石漠化防治初建成效^[3-4],但石漠化问题仍然十分严重。植物群落的物种组成和多样性是衡量石漠化生态系统恢复的重要指标,因此,研究石漠化治理后群落植物组成及多样性的恢复动态,对科学评估石漠化综合治理工程的成效、增进生物多样性的保护和生态系统功能的重建具有重要意义。**【前人研究进展】**学者们对石漠化森林植被恢复过程中的植物多样性及动态已有较多的研究,如刘玉国等^[5]研究贵州省普定县喀斯特地区不同植被演替阶段群落的物种组成及结构特征;温远光等^[6]对马山县岩溶植被年龄序列(石漠、草丛、灌丛、小乔林和成熟林)5个演替阶段15个样地(20 m×50 m)进行系统取样调查,研究停止人为干扰后岩溶植被的更新、演替及群落特征的变化;穆彪等^[7]采用空间代替时间的方式对黔中喀斯特地区植被进行样方调查,认为随着演替进程及群落高度增加,实生树木比例增加,喀斯特地区植被物种多样性增加,演替阶段不同物种重要值不同;司彬等^[8]以空间代替时间选取典型样地,分析桂西喀斯特植被恢复演替过程中各阶段群落的物种组成,等等。但以上研

广西科学 2017年4月 第24卷第2期

究主要集中在石漠化的自然恢复过程^[5-9],缺乏对不同石漠化治理模式下植物多样性的恢复研究^[10-11]。

【本研究切入点】已有的石漠化治理实践表明,人工造林是治理石漠化的有效措施^[2,12],然而树种选择和模式构建是石漠化治理成败的关键^[12-13]。本研究通过不同树种、不同石漠化治理模式下的植物多样性恢复研究,揭示出不同树种和不同治理模式下植物多样性的恢复速率、格局和过程。**【拟解决的关键问题】**阐明2种豆科植物和3种治理模式下植物多样性的恢复规律,为石漠化生态系统的恢复和重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 区域环境概况

研究区域是我国首批石漠化综合治理重点县之一的马山县(107°41'~108°29'E,23°24'~24°2'N),属亚热带季风型气候。年均气温21.3℃,最高温度38.9℃,最低温度-0.7℃;年均降雨量1667 mm,夏季多雨,春秋干旱。研究区的土壤主要为石灰土,土层浅薄,约30~40 cm。原生植被属于亚热带季风常绿阔叶林^[14],由于过度垦殖、樵采、放牧等因素的影响,原生性森林早已荡然无存,出现大面积石漠化景观。据《广西岩溶地区第二次石漠化监测报告》(2012),马山县岩溶土地面积162935.3 hm²,其中石漠化土地35658.0 hm²,潜在石漠化土地73604.4 hm²,分别占21.9%和45.2%。石漠化土地中,轻度、中度、重度和极重度石漠化土地分别占2.3%、15.7%、80.8%和1.3%^[15]。

1.2 方法

1.2.1 群落调查

2010年8月,在马山县白山镇民族村,选择约50 hm²石漠化区域作为森林植被恢复试验区。2011年

2月,选择顶果木(*Acrocarpus fraxinifolius*)、降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)2种豆科植物进行造林试验,分别建立顶果木纯林、降香黄檀纯林和顶果木×降香黄檀混交林。同时,保留约5 hm²石山灌丛作为植物多样性恢复的本底(对照)。

林分建立后,于2013年8月和2015年7月,选择顶果木纯林、降香黄檀纯林、顶果木×降香黄檀混交林和灌丛(对照)的代表性地段,分别随机设立3个20 m×20 m的样地,每个植被类型3个重复。将每个20 m×20 m的样地进一步细分为4个10 m×10 m的中样方,并在每个中样方的左上角各设立1个5 m×5 m和1个2 m×2 m的小样方,分别用于灌木层和草本层植物群落调查,记录每个物种种名、株数、高度、盖度等。

1.2.2 数据处理与统计分析

(1)重要值计算

本研究采用下列公式计算各群落的重要值及有关指标。

相对密度(%)=某个种的株数/所有种的总株数×100%;

相对频度(%)=某个种在统计样方内出现的次数/所有种出现的总次数×100%;

相对盖度(%)=某个种的盖度/所有种的盖度和×100%;

林下植被重要值(IV)=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3。

(2)群落多样性计算

多度为样方中物种的个体数。多样性分析采用物种丰富度、Shannon-Wiener指数、均匀度指数(Pielou's evenness index, J)进行分析,公式如下。

物种丰富度指数(S):即样方内出现的物种数;

Shannon-Wiener指数(H'):

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

均匀度指数: $J = H' / \ln S$ 。

式中, S 为物种数目, $P_i = N_i / N_T$, N_i 为第 i 种的个体数, N_T 为种 i 所在调查样方中所有种的个体数之和。

(3)数据统计分析

用单因素方差分析(one-way ANOVA)和LSD检验分析不同群落类型的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数等的差异性,显著性水平设为 $P < 0.05$ 。统计分析在统计软件SPSS 21.0上完成,数据绘图由SigmaPlot 11.0软件完成。

2 结果与分析

2.1 群落灌木层的物种组成及重要值

根据2015年的调查结果,对不同治理模式下群落灌木层的物种组成及重要值进行分析,结果列入表1。由表1可以看出,不同治理模式下群落灌木层的物种组成有所不同。与对照(灌丛)比较,顶果木纯林、降香黄檀纯林和顶果木×降香黄檀混交林的共有种分别为10种、7种和5种;顶果木纯林与降香黄檀纯林的共有种为12种,与顶果木×降香黄檀混交林的共有种为13种;降香黄檀纯林与顶果木×降香黄檀混交林的共有种也为13种(表1)。表明不同治理模式群落间灌木层的物种组成的相似性较高,而与灌丛间的相似性较低。从优势种的重要值来比较,顶果木纯林中重要值排前5的物种为地桃花(34.06)、黄荆条(14.53)、苎麻(7.09)、苎麻属1种(6.71)和菜豆树(6.26);降香黄檀纯林排前5的物种为苎麻属1种(21.06)、地桃花(15.40)、黄荆条(11.36)、臭牡丹(9.76)和薜荔(8.86),而混交林的相应为苎麻(15.48)、火炭母(10.36)、地桃花(10.02)、黄荆条(9.51)和薜荔(9.36)。灌丛中重要值排前5的物种分别是黄荆条、苎麻属1种、红背山麻杆、地桃花和黄花稔,重要值分别为59.83,14.49,5.08,4.92和2.40(表1)。

2.2 群落草本层的物种组成及重要值

由表2可以看出,不同治理模式下群落草本层的物种组成也不同。与对照(灌丛)比较,顶果木纯林、降香黄檀纯林和顶果木×降香黄檀混交林与灌丛中草本植物的共有种分别为9种、8种和10种;顶果木纯林与降香黄檀纯林的共有种为11种,与顶果木×降香黄檀混交林的共有种为9种;降香黄檀纯林与混交林的共有种为10种(表2)。虽然它们的共有种数很接近,但优势种还是存在较大的差别。顶果木纯林中重要值排前5的草本植物为鬼针草(36.32)、荩草(17.95)、小飞蓬(11.10)、金丝草(4.42)和五节芒(4.21);降香黄檀纯林相应为荩草(40.97)、鬼针草(10.35)、五节芒(9.77)、扇叶铁线蕨(8.95)和凤尾蕨(6.84);混交林的相应为鬼针草(33.27)、小飞蓬(14.09)、荩草(11.61)、飞机草(8.99)和胜红蓟(5.97);而灌丛中则分别是小花露籽草(27.44)、蔓生莠竹(22.20)、卷柏(14.61)、肾蕨(11.33)和扇叶铁线蕨(7.41)。

表 1 不同治理模式下群落灌木层的物种组成及重要值

Table 1 Species composition and important value in shrub layers in different combating models

物种名 Species	顶果木纯林 Pure <i>A. fraxinifolius</i> plantations	降香黄檀纯林 Pure <i>D. odorifera</i> plantations	顶果木×降香黄檀混交林 Mixed <i>A. fraxinifolius</i> × <i>D. odorifera</i> plantations	灌丛 Shrub
地桃花 <i>Urena lobata</i>	34.06	15.40	10.02	4.92
黄荆条 <i>Vitex negundo</i>	14.53	11.36	9.51	59.83
苎麻 <i>Boehmeria nivea</i>	7.09	2.54	15.48	
苎麻属 1 种 <i>Boehmeria</i> sp.	6.71	21.06	5.45	14.49
菜豆树 <i>Radermachera sinica</i>	6.26	2.96	6.39	
悬钩子属 1 种 <i>Rubus</i> sp.	4.57		3.90	
臭牡丹 <i>Clerodendrum bungei</i>	4.13	9.76	4.32	
悬钩子 <i>Rubus palmatus</i>	3.26	0.84	1.65	1.03
山蚂蝗属 1 种 <i>Desmodium</i> sp.	1.74		1.82	
白背桐 <i>Mallotus apeltus</i>	1.65	1.24		
野桐 <i>Mallotus tenuifolius</i>	1.59			1.46
苏木 <i>Caesalpinia sappan</i>	1.51	2.43	6.29	
拔契 <i>Smilax china</i>	1.43	0.93	4.70	
乌莓莓 <i>Cayratia japonica</i>	1.33	1.58	0.84	
穿破石 <i>Ventilago leiocarpa</i>	1.32			1.42
枇杷叶紫珠 <i>Callicarpa kochiana</i>	1.24			1.46
黄花捻 <i>Sida acuta</i>	1.23	3.92		2.40
斜叶榕 <i>Ficus gibbosa</i>	1.22			
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	0.92			0.76
火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	0.88		10.36	
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	0.87			
苦楝 <i>Melia azedarach</i>	0.75			
牛白藤 <i>Hedyotis hedytidea</i>	0.57			
山麻杆 <i>Alchornea davidii</i>	0.57			2.34
拓树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	0.57			
薛荔 <i>Ficus pumila</i>		8.86	9.36	
香椿 <i>Toona sinensis</i>		4.83		
八角枫 <i>Alangium chinense</i>		4.38	6.64	
决明 <i>Cassia tora</i>		2.68	3.27	1.28
旋花科 1 种 <i>Erycibe</i> sp.		1.90		
苘麻 <i>Abutilon avicennae</i>		1.59		
红背山麻杆 <i>Alchornea trewioides</i>		1.22		5.08
茅莓 <i>Rubus parvifolius</i>		0.66		
细圆藤 <i>Pericampylus glaucus</i>		0.59		
蔓草虫豆 <i>Cajanus scarabaeoides</i>				1.04
排钱草 <i>Desmodium pulchellum</i>				1.02
剑叶山芝麻 <i>Helicteres lanceolata</i>				0.75
雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>				0.73

表 2 不同治理模式下群落草本层的物种组成及重要值

Table 2 Species composition and important value in herbaceous layers in different combating models

物种名 Species	顶果木纯林 Pure <i>A. fraxinifolius</i> plantations	降香黄檀纯林 Pure <i>D. odorifera</i> plantations	顶果木×降香黄檀混交林 Mixed <i>A. fraxinifolius</i> × <i>D. odorifera</i> plantations	灌丛 Shrub
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	36.32	10.35	33.27	4.44
萹草 <i>Arthraxon hispidus</i>	17.95	40.97	11.61	2.51
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i>	11.10	1.02	14.09	2.94
金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i>	4.42			
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	4.21	9.77	3.83	1.17
半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	4.06		3.30	
肾蕨 <i>Nephrolepis auriculata</i>	3.00	5.45	1.53	11.33
干旱毛蕨 <i>Cyclosorus aridus</i>	2.96		2.52	
落地生根 <i>Bryophyllum pinnatum</i>	2.63			
井栏边草 <i>Pteris multifida</i>	2.49	4.36	1.08	

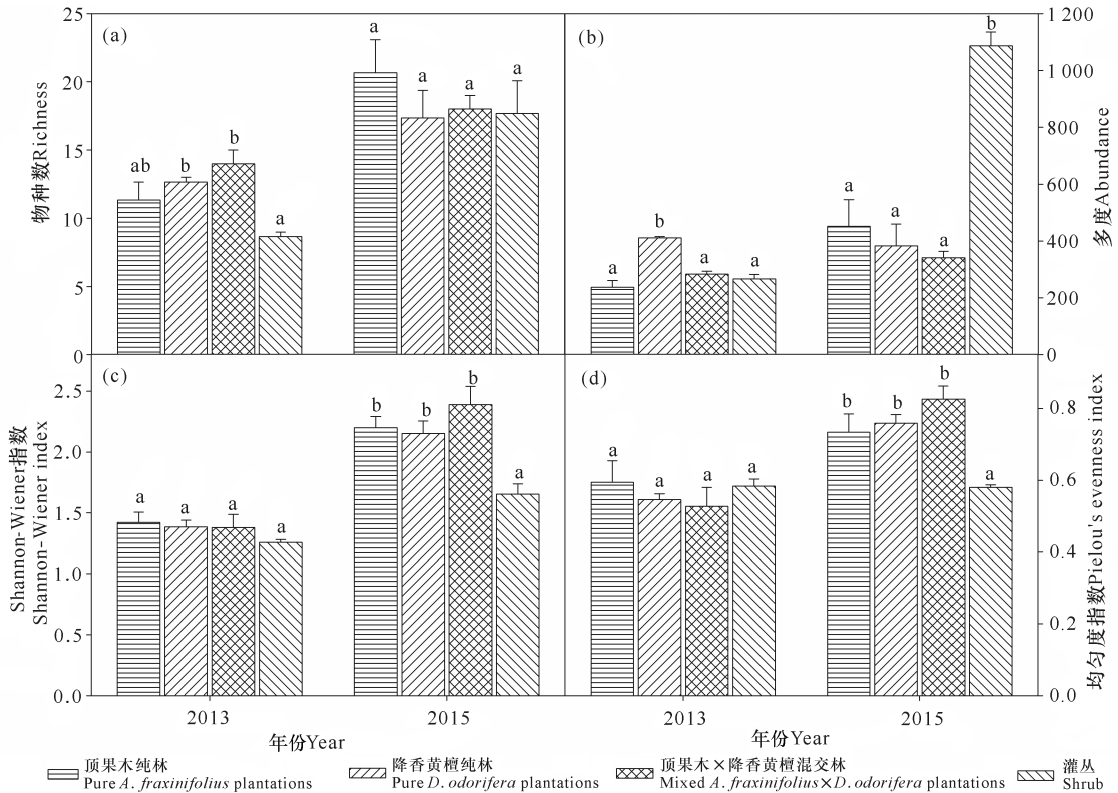
Continue on table 2

物种名 Species	顶果木纯林 Pure <i>A. fraxinifolius</i> plantations	降香黄檀纯林 Pure <i>D. odorifera</i> plantations	顶果木×降香黄檀混交林 Mixed <i>A. fraxinifolius</i> × <i>D. odorifera</i> plantations	灌丛 Shrub
蜈蚣蕨 <i>Pteris vittata</i>	2.29	2.33		
贯众 <i>Cyrtomium fortunei</i>	1.78			0.89
卷柏 <i>Selaginella tamariscina</i>	1.69	1.04	1.61	14.61
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	1.16	8.95	4.14	7.41
野芋 <i>Colocasia esculentum</i> var. <i>antiquorum</i>	1.04	0.80		
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	1.04		1.36	
飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i>	1.03		8.99	
土牛膝 <i>Achyranthes aspera</i>	0.84	3.71	1.37	0.69
土人參 <i>Talinum paniculatum</i>		3.29		
凤尾蕨 <i>Pteris cretica</i> var. <i>nervosa</i>		6.84		
金毛狗 <i>Cibotium barometra</i>		1.12	2.02	
一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>			1.20	
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>			1.21	1.99
胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>			5.97	
青蒿 <i>Artemisia caruifolia</i>			0.92	2.38
蔓生莠竹 <i>Microstegium vagans</i>				22.20
小花露籽草 <i>Otochloa nodosa</i>				27.44

2.3 群落的物种多样性

不同治理模式群落的个体数和 Shannon-Wiener 指数存在显著差异 ($P=0.000$ 和 $P=0.002$), 物种丰富度和均匀度指数差异不显著 ($P=0.265$ 和 $P=0.099$) (图 1 和表 3)。2013 年群落的 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数无显著差异 ($P>0.05$), 2015 年 3 种治理模式的 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数均显著高于灌丛 ($P<0.05$), 相反, 灌丛的个体数

显著高于 3 种治理模式, 3 种治理模式间差异不显著 (图 1c, d)。年份对植物物种多样性有显著影响, 即 4 种多样性指数均随着治理和恢复年度的增加而增大 ($P<0.000$)。除物种丰富度外, 个体数、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数的类型×年份的交互作用显著 ($P<0.001$, $P=0.036$ 和 $P=0.008$) (图 1、表 3)。



不同小写字母表示同一年度不同石漠化治理模式间差异显著

Different lowercase letters indicate statistically significant differences between different combating models ($P < 0.05$)

图 1 2013 年和 2015 年不同治理模式群落的植物多样性比较

Fig. 1 Plant species diversity of different combating models in 2013 and 2015

表 3 不同治理模式和年度对植物多样性的影响

Table 3 Effects of different combating models and years on plant species diversity

因子 Factors	多样性指标 Diversity index	df	F	P
模式 Model	物种丰富度 Richness	3	1.452	0.265
	多度 Abundance	3	23.899	0.000
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	3	8.053	0.002
	均匀度指数 Pielou's evenness index	3	2.473	0.099
年 Year	物种丰富度 Richness	1	37.068	0.000
	多度 Abundance	1	61.371	0.000
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1	122.615	0.000
	均匀度指数 Pielou's evenness index	1	36.271	0.000
模式×年 Model× Year	物种丰富度 Richness	3	1.603	0.228
	多度 Abundance	3	31.747	0.000
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	3	3.622	0.036
	均匀度指数 Pielou's evenness index	3	5.686	0.008

注: *df* 为自由度; *F* 为方差分析 *F* 检验值; *P* 为统计检验的 *P* 值,

$P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著

Note: *df* means degree of freedom; *F* means the *F* value of ANOVA; *P* means *P* value, where $P < 0.05$ indicate significant differences and $P < 0.01$ indicate extremely significant differences

3 讨论

3.1 治理模式对群落植物组成的影响

植物的组成和结构是植物群落的重要特征,在植被的演替过程中有众多因素(如气候、土壤、人为干扰、演替阶段等)影响着群落的组成和结构^[16-17]。温远光等^[6]的研究表明,在岩溶区不同的植被演替阶段,植物群落的物种组成和结构存在显著差异,石漠阶段群落的入侵种显著多于演替的后期阶段。本研究发现,经过 4 年的恢复,3 种不同治理模式下灌木层和草本层的物种组成发生显著变化,特别是优势种和共优势种。在灌木层中,变化最明显的是黄荆条和地桃花,前者在灌丛(对照)中的重要值为 59.83,而在顶果木纯林、降香黄檀纯林和顶果木×降香黄檀混交林中分别降至 14.53,11.36,9.51;相反,后者在灌丛中的重要值只是 4.92,而在 3 种不同治理模式中分别增至 34.06,15.40,10.02。在草本层中,物种的变化更为明显,灌丛(对照)中的草本植物优势种为蔓

生莠竹和小花露籽草,其重要值分别是 22.20 和 27.44,而在 3 种不同治理模式中这些乡土种类却消失了;相反,一些入侵植物如鬼针草、小飞蓬、酢浆草、飞机草、土牛膝、胜红蓟等的数量有所增加,特别是鬼针草,其重要值(10.35~36.32)分别是灌丛(4.44)的 2.33~8.18 倍。说明在石漠化地区实施人工造林在一定程度上存在着外来植物入侵风险。这与黄小荣等^[17]的研究结论不一致,他们认为在避免有害生物危害方面人工林优于封山育林。产生这一结果的原因,与人工造林形成的干扰更易接纳更多的入侵植物以及林分的年龄较小(仅 4 年)、群落尚处于演替初期有关。

3.2 治理模式对群落植物物种多样性的影响

许多研究表明,随着植被的顺向演替发展,群落的物种多样性增加^[5-9,18-20],刘玉国、喻理飞等^[7,18]认为,随着岩溶植被的自然恢复,群落的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数升高。在石漠化治理和退化生态系统植被恢复过程中,人工造林在生物多样性保育方面是否优于封山育林,一直备受关注。李品荣等^[21]在对滇东南喀斯特山地 3 种人工林群落的比较研究中,得出川滇桉木林下植物种类成分复杂,生境优越,物种多样性最高。林丽平等^[22]认为,人工林的 Shannon-Wiener 多样性指数高于灌木林。王永健等^[23]的研究也发现,人工恢复群落在多样性维持和更新进程上优于自然更新群落,可以加速演替进程。本研究表明,与灌丛(对照)比较,3 种不同治理模式群落的植物物种丰富度没有显著差异,但植物多样性指数和均匀度指数存在显著差异,3 种治理模式间差异不显著。这是实施人工造林过程中,人为活动对造林立地产生干扰,加之引入豆科植物,导致生态位分化,原来灌丛优势种的势度大幅减少,物种分布趋于均匀,因此,群落的多样性指数和均匀度指数增加。

4 结论

2 种豆科植物和 3 种治理模式具有相近的治理效果,但混交林治理模式对植物多样性指数和均匀度指数的作用相对较优。

在岩溶退耕地和灌丛地实施人工造林可以调节植物个体的数量和分布,提高物种的均匀度,提高群落的多样性,加速植被的恢复和重建,短期内显著改变群落的物种组成和结构,但一定程度上存在着外来植物入侵风险,对此应加以重视。

参考文献:

[1] JIANG Z C, LIAN Y Q, QIN X Q. Rocky desertification

- in Southwest China: Impacts, causes, and restoration[J]. *Earth-Science Reviews*, 2014, 132: 1-12.
- [2] 温远光, 张健, 严理, 等. 豆科植物对石漠化土地生物碳固持能力的影响[J]. *广西科学*, 2015, 22(6): 573-577.
WEN Y G, ZHANG J, YAN L, et al. Restoring ecosystem carbon sequestration through legume species afforestation: A case study for karst desertification restoration[J]. *Guangxi Sciences*, 2015, 22(6): 573-577.
- [3] 朱斌, 刘丹一. 岩溶地区石漠化综合治理经验, 问题及策略[J]. *林业经济*, 2015, 5: 76-81.
ZHU B, LIU D Y. Comprehensive taming of karst rock desertification in karst region: Experience, problems and strategy[J]. *Forestry Economics*, 2015, 5: 76-81.
- [4] 周光辉, 但新球, 白建华. 新形势下石漠化问题的新认识——基于习近平同志的生态文明理论[J]. *中南林业调查规划*, 2015, 34(1): 59-64.
ZHOU G H, DAN X Q, BAI J H. A new understanding of the desertification problem under the new situation-based on the theory of ecological civilization of the XI Jinping[J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2015, 34(1): 59-64.
- [5] 刘玉国, 刘长成, 魏雅芬, 等. 贵州省普定县不同植被演替阶段的物种组成与群落结构特征[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(10): 1009-1018.
LIU Y G, LIU C C, WEI Y F, et al. Species composition and community structure at different vegetation successional stages in Puding, Guizhou Province, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(10): 1009-1018.
- [6] 温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等. 广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(18): 5723-5730.
WEN Y G, LEI L Q, ZHU H G, et al. Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan County, Guangxi[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(18): 5723-5730.
- [7] 穆彪, 杨立美, 张莉. 喀斯特植被恢复过程的群落演替特征[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2008, 30(6): 91-95.
MU B, YANG L M, ZHANG L. Characteristics of community succession in karst vegetation - restoration process[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2008, 30(6): 91-95.
- [8] 司彬, 姚小华, 任华东, 等. 桂西喀斯特植被恢复演替过程中物种多样性变化[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2008, 30(3): 113-118.
SI B, YAO X H, REN H D, et al. Species diversity in the process of vegetation succession in karst area in Western Guangxi[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2008, 30(3): 113-118.
- [9] 司彬, 姚小华, 任华东, 等. 滇东喀斯特植被恢复演替过程中物种多样性研究[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2009, 31(1): 132-139.
SI B, YAO X H, REN H D, et al. Species diversity in the process of vegetation succession in the karst area in Eastern Yunnan[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2009, 31(1): 132-139.
- [10] 吕仕洪, 李先琨, 何成新, 等. 广西岩溶地区茶条木群落特征与人工造林研究初报[J]. *植物资源与环境学报*, 2009, 18(3): 20-24.
LV S H, LI X K, HE C X, et al. Preliminary report on community characteristics and artificial afforestation of *Delavaya toxocarpa* in karst area of Guangxi[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2009, 18(3): 20-24.
- [11] 司彬, 姚晓华, 任华东, 等. 富源喀斯特地区两种华山松人工林的群落结构特征研究[J]. *西部林业科学*, 2009, 38(3): 67-71.
SI B, YAO X H, REN H D, et al. Community characteristics of two types of man-made *Pinus armandi* forests in karst areas of Fuyuan County[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2009, 38(3): 67-71.
- [12] 白建华, 但新球, 吴协保, 等. 继续推进石漠化综合治理工程的必要性和可行性分析[J]. *中南林业调查规划*, 2015, 34(2): 62-66.
BAI J H, DAN X Q, WU X B, et al. The necessity and feasibility analysis of carrying on the comprehensive treatment project of rocky desertification[J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2015, 34(2): 62-66.
- [13] 秦飞, 关庆伟, 陈平. 石灰岩山地工程造林技术设计及效果调查[J]. *林业科技*, 2009, 34(4): 27-31.
QIN F, GUAN Q W, CHEN P. Study on the technique of afforestation and effect at the stone quality hill[J]. *Forestry Science & Technology*, 2009, 34(4): 27-31.
- [14] 李治基. 广西森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
LI Z J. *Guangxi forests*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001.
- [15] 国家林业局. 岩溶地区第二次石漠化监测报告[R]. 北京: 国家林业局, 2012.
State Forestry Administration. The second report of rocky desertification monitor in karst region[R]. Beijing: State Forestry Administration, 2012.
- [16] 彭少麟. 热带亚热带恢复生态学研究与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
PENG S L. *Research and practice of restoration ecology in tropics and subtropics*[M]. Beijing: Science Press, 2003.

(下转第 181 页 Continue on page 181)

- [15] 王代懿,容丽,梅再美,等.喀斯特石漠化生态治理区结构与物种多样性研究[J].水土保持通报,2005,25(2):28-35.
WANG D Y,RONG L,MEI Z M,et al. Structure and species diversity of artificial vegetation in rocky desertification areas[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2005,25(2):28-35.
- [16] 秦飞,关庆伟,陈平.石灰岩山地工程造林技术设计及效果调查[J].林业科技,2009,34(4):27-31.
QIN F,GUAN Q W,CHEN P. Study on the technique of afforestation and effect at the stone quality hill[J]. Forestry Science & Technology,2009,34(4):27-31.
- [17] 蒋忠诚,李先琨,胡宝清,等.广西岩溶山区石漠化及其综合治理研究[M].北京:科学出版社,2011.
JIANG Z C,LI X K,HU B Q,et al. Study on rocky desertification and its comprehensive treatment in karst mountainous area in Guangxi [M]. Beijing: Science Press,2011.
- [18] 李治基.广西森林[M].北京:中国林业出版社,2001.
LI Z J. Guangxi forests [M]. Beijing: China Forestry Publishing House,2001.
- [19] 温远光,雷丽群,朱宏光,等.广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征[J].生态学报,2013,33(18):5723-5730.
WEN Y G,LEI L Q,ZHU H G,et al. Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county,Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(18):5723-5730.
- [20] 沈国舫.森林培育学[M].北京:中国林业出版社,2001.
SHEN G F. Silviculture [M]. Beijing: China Forestry Publishing House,2001.
- [21] 卢立华,黎明,黄永标.广西马山县石灰岩溶区生态重建技术研究[J].广西林业科学,2003,32(2):88-90.
LU L H,LI M,HUANG Y B. Study on ecological reconstruction technology in limestone karst area in Mashan County of Guangxi[J]. Guangxi Forestry Science,2003,32(2):88-90.

(责任编辑:陆雁)

(上接第174页 Continue from page 174)

- [17] 黄小荣,何峰,庞世龙,等.广西石山人工林灌草多样性与环境因子的关系[J].生态学杂志,2015,34(11):3024-3033.
HUANG X R,HE F,PANG S L,et al. Understory biodiversity of plantations on karst mountains in Guangxi and its relation to environmental factors[J]. Chinese Journal of Ecology,2015,34(11):3024-3033.
- [18] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等.退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究[J].林业科学,2002,38(1):1-7.
YU L F,ZHU S Q,YE J Z,et al. Dynamics of a degraded karst forest in the process of natural restoration [J]. Scientia Silvae Sinicae,2002,38(1):1-7.
- [19] 刘京涛,温远光,周峰.桂西南退化喀斯特植被自然恢复研究[J].水土保持研究,2009,16(3):65-69.
LIU J T,WEN Y G,ZHOU F. Study on natural restoration of degraded karst vegetation in Southwest Guangxi[J]. Research of Soil and Water Conservation,2009,16(3):65-69.
- [20] 宋同清,彭晚霞,曾馥平,等.喀斯特峰丛洼地不同类型森林群落的组成与生物多样性特征[J].生物多样性,2010,18(4):355-364.
SONG T Q,PENG W X,ZENG F P,et al. Community composition and biodiversity characteristics of forests in karst cluster-peak-depression region [J]. Biodiversity Science,2010,18(4):355-364.
- [21] 李品荣,曾觉民,毕波,等.滇东南岩溶山地3种人工林群落林下植物群落学特征比较[J].热带亚热带植物学报,2006,14(4):287-293.
LI P R,ZENG J M,BI B,et al. Ecological characteristics of understory plants of three artificial forests in karst mountain area of Southeast Yunnan[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany,2006,14(4):287-293.
- [22] 林丽平,田大伦,闫文德,等.喀斯特城市3种森林类型物种多样性研究[J].中南林业科技大学学报,2011,31(5):127-134.
LIN L P,TIAN D L,YAN W D,et al. Study on species diversity of three different forest types of karst vegetation in Guiyang[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2011,31(5):127-134.
- [23] 王永健,陶建平,张炜银,等.茂县土地岭植被恢复过程中物种多样性动态特征[J].生态学报,2006,26(4):1029-1036.
WANG Y J,TAO J P,ZHANG W Y,et al. Dynamics of species diversity in vegetation restoration on Tudiling of Mao County, Southwest China [J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(4):1029-1036.

(责任编辑:米慧芝)