

◆岩溶森林生态保护修复◆

岩溶石漠化不同修复林分的早期生长动态分析*

周晓果¹, 孙冬婧¹, 温远光^{1,2**}, 王磊², 明安刚³, 贾宏炎³, 朱宏光², 赵岩岩¹, 黄勇杰¹, 梁佳¹

(1. 广西科学院生态环境研究所, 广西南宁 530007; 2. 广西大学林学院, 广西森林生态与保育重点实验室, 广西南宁 530004; 3. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600)

摘要:为阐明岩溶石漠化不同修复林分的早期生长动态特征及变化规律,选择2011年营造的顶果木(*Acrocarpus fraxinifolius*)纯林(PAFP)、降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)纯林(PDOP)和顶果木×降香黄檀混交林(MADP)为研究对象,设置固定监测样地,基于2013年、2015年、2019年、2021年的4次林分调查,研究了3种修复林分胸径、树高、蓄积量的动态变化。结果表明,监测期8 a内,3种修复林分平均胸径、树高和林分蓄积量均随时间推移显著增加;PAFP林分蓄积量增长率为137.23%,MADP为292.28%,PDOP为1090.39%;3种林分单株胸径、树高和蓄积量年平均生长量均表现为PDOP(0.76 cm,0.56 m,0.004 m³)>MADP(0.55 cm,0.53 m,0.003 m³)>PAFP(0.34 cm,0.30 m,0.002 m³),3种林分蓄积量年平均生长量也表现为PDOP(5.49 m³/hm²)>MADP(4.50 m³/hm²)>PAFP(3.01 m³/hm²),3种林分间差异显著;3种林分的平均胸径与树高存在极显著的正相关关系($P<0.001$),顶果木与降香黄檀混交可以促进顶果木的胸径和树高生长,同时也能促进降香黄檀的树高生长。这一结果表明混交有利于促进顶果木和降香黄檀的生长,减缓顶果木的生长衰退。

关键词:石漠化 纯林 混交林 胸径 树高 蓄积量 生长动态

中图分类号:S718.54 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2022)01-0088-10

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20220311.001

林分的生长发育是森林提供一切生态系统服务的物质基础,而林分生长规律和结构规律是森林经营管理的理论基础^[1]。林分生长包括个体生长和群体(林分)生长,通常指树高生长、胸径生长和材积生长^[2]。它是衡量林木生长状况最直观、最基本的指

标,也是评价立地条件和林分结构优劣的重要测树因子^[3,4]。因此,国际上长期以来都把胸径和树高作为森林调查和林业科学研究不可或缺的测定指标^[1,3,4]。林木和林分生长量还是森林经营管理工作正确分析和评价诸如树种选择、造林密度、抚育间

收稿日期:2022-01-04

* 广西重点研发计划项目(2018AB40007)和国家自然科学基金项目(31860171,32160358)资助。

【作者简介】

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。

【**通信作者】

温远光(1957-),男,博士,教授,主要从事森林生态学、恢复生态学研究,E-mail:wenyg@263.net。

【引用本文】

周晓果,孙冬婧,温远光,等.岩溶石漠化不同修复林分的早期生长动态分析[J].广西科学,2022,29(1):88-97.

ZHOU X G,SUN D J,WEN Y G,et al. Early Growth Dynamic Analysis of Different Restoration Stands in Karst Rocky Desertification [J]. Guangxi Sciences,2022,29(1):88-97.

伐、林分改造、施肥措施以及生态修复等营林措施的实施效果以及调控林分蓄积量极为重要的手段^[5]。了解和掌握林分、林木的生长规律和结构规律对于精准提高人工林的生长量、林分质量具有重要意义。

关于林分生长量的研究已有大量的文献发表, 科学揭示了诸多造林树种的生长发育规律。郭文福等^[6]对米老排(*Mytilaria laosensis*)的生长规律进行研究, 揭示米老排的幼林生长节律和林分生长过程, 确定米老排的数量成熟龄。陈德叶^[7]对檫树(*Sassafras tsumu*)人工林生长特性进行研究, 确定其数量成熟龄为 20 a。程冀文等^[8]根据 2013 年、2016 年和 2019 年 3 次调查结果, 分析不同经营模式对油松人工林林分生长的短期影响。张芳等^[9]基于 2007 年、2012 年、2017 年 3 次调查, 分析喀斯特灌木林、次生林和原生林林分生长动态特征。周晓果等^[10]对不同岩溶石漠化治理模式的幼龄林林分生长进行初步研究, 认为顶果木(*Acrocarpus fraxinifolius*)和降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)均能适应石漠化生境, 顶果木的生长表现优于降香黄檀, 混交可以提高林分的造林成活率、保存率及生长量。最近研究发现, 顶果木生长呈现明显的衰退现象^[11]。岩溶石漠化地区生态环境恶劣, 修复林分的稳定性差, 对治理林分长期监测十分必要。然而, 这样的长期监测研究却十分稀少。本研究基于 2011 年建立的顶果木纯林(PAFP)、降香黄檀纯林(PDOP)和顶果木×降香黄檀混交林(MADP)固定监测样地, 分别于 2013 年、2015 年、2019 年、2021 年开展了 4 次林分生长调查, 探讨了岩溶石漠化不同修复林分的生长动态特征, 旨在为石漠化综合治理的树种选择和治理林分的可持续经营提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域的自然环境概况

研究区域位于广西南宁市马山县, 23°24′ - 24°2′ N, 107°41′ - 108°29′ E, 属南亚热带季风气候区, 雨热同季, 干湿季分明。年平均气温 21.3℃, 最高气温 38.9℃, 最低气温 -0.7℃; 年平均降水量 1 667.1 mm; 相对湿度 76%; 年平均无霜期 343 d。土壤以碳酸盐岩发育的石灰土为主, 土层浅薄, 岩基裸露度大, 土壤 pH 呈弱碱性。地带性植被明显退化。随着国家石漠化综合治理工程的深入实施, 岩溶地区人工林

明显增加, 主要是任豆(*Zenia insignis*)、香椿(*Toona sinensis*)人工林。

1.2 样方设置与林分调查

试验样方设置在 2011 年于马山县民族村建立的顶果木纯林、降香黄檀纯林和顶果木×降香黄檀混交林^[10,11]。造林时顶果木和降香黄檀的苗高均为 50 - 80 cm, 地径均为 0.4 - 0.6 cm。PAFP、PDOP、MADP 初植密度无显著差异^[11], 分别为 1 417 株/hm²、1 608 株/hm²、1 525 株/hm²。3 种林分土壤均为石灰土, 土层厚度 30 - 40 cm, 栽培和管理措施一致。2013 年建立长期固定监测样地, 每种林分样地面积为 20 m × 20 m, 设 3 个重复(表 1)。分别于 2013 年、2015 年、2019 年和 2021 年进行样地林分生长调查, 记录林分树种组成、胸径、树高等。

1.3 生长量的计算

单株蓄积量(Individual Tree Volume, ITV)^[12], 按下式计算:

$$ITV = f_e \times (H + 3) \times \pi \times (1/4) \times DBH^2, \quad (1)$$

式中, f_e 为实验形数, 取值 0.4; H 为树高(m); DBH 为胸径(cm)。

单株年平均生长量(Average Annual Individual Tree Growth Increment, AAITGI)按下式计算^[8]:

$$AAITGI = \frac{y_2 - y_1}{n \cdot a}, \quad (2)$$

式中, y_2 为期末所有树木的胸径(或树高、材积)之和, y_1 为期初所有树木的胸径(或树高、材积)之和, n 为林木株数, a 为间隔期的年数。

蓄积量年平均生长量(Average Annual Volume Increment, AAVI)按下式计算^[8]:

$$AAVI = \frac{V_2 - V_1}{a}, \quad (3)$$

式中, V_2 为期末林分的蓄积量(m³/hm²), V_1 为期初林分的蓄积量(m³/hm²), a 为间隔期的年数。

1.4 数据统计分析

在 SPSS 24.0 for Windows 中, 采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验不同林分、不同年份林分平均胸径、树高、蓄积量及其生长量的差异显著性, 采用最小显著性差异法(Least Significant Difference, LSD)法进行多重比较, 显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

表 1 调查样地环境概况

Table 1 Environmental overview of the survey plots

林分类型 Stand type	样地号 Number of plots	海拔(m) Altitude (m)	坡向 Aspect	坡位 Slope position	坡度(°) Slope degree (°)	土层厚度(cm) Soil depth (cm)	岩石裸露度(%) Rock bareness ratio (%)
顶果木纯林 PAFP	1	285	西南 SW	下坡 Lower	22	40	37
	2	275	西南 SW	下坡 Lower	25	38	36
	3	295	西南 SW	下坡 Lower	20	35	20
	平均 Mean	285			22	38	31
顶果木×降香 黄檀混交林 MADP	1	295	西 W	下坡 Lower	20	30	37
	2	290	西 W	下坡 Lower	27	35	32
	3	280	西 W	中坡 Middle	22	32	27
	平均 Mean	288			23	32	32
降香黄檀纯林 PDOP	1	308	西南 SW	下坡 Lower	30	30	38
	2	300	西南 SW	中坡 Middle	25	36	40
	3	292	西南 SW	下坡 Lower	20	32	37
	平均 Mean	300			25	33	38

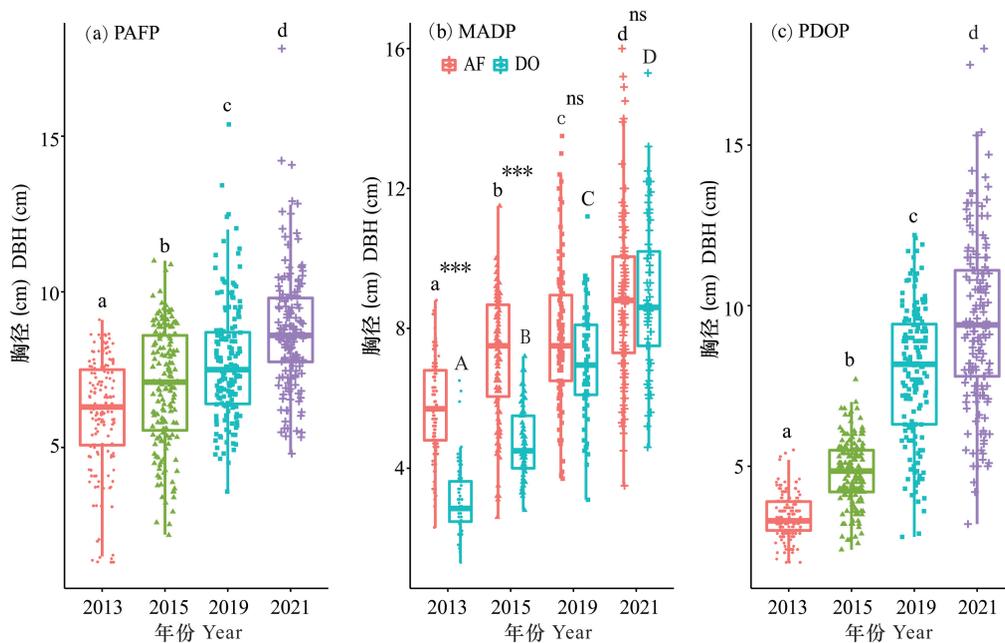
2 结果与分析

2.1 林分胸径和树高生长的动态变化

由图 1 可知, 3 种林分的胸径随年龄的增加而增大。林分平均胸径各年份差异显著 ($P < 0.05$)。2013 年、2015 年、2019 年和 2021 年, PAFP 的平均胸径分别为 6.05 cm、6.94 cm、7.73 cm、8.76 cm; MADP 中, 顶果木的平均胸径分别为 5.76 cm、7.19 cm、7.80 cm、8.86 cm, 降香黄檀的平均胸径分别为 3.08 cm、4.72 cm、7.01 cm、8.87 cm; PDOP 的平均胸径分别为 3.43 cm、4.79 cm、7.94 cm、9.50 cm。两种纯林 (PAFP 和 PDOP) 的平均胸径随年龄增加而显著增大 ($P < 0.05$)。混交林 (MADP) 中, 顶果木和降香黄檀的平均胸径随年龄增加而显著增大 ($P < 0.05$), 两个树种平均胸径在 2013 年和 2015 年存在极显著差异 ($P < 0.001$), 2019 年和 2021 年差异不显著 ($P > 0.05$)。

由图 2 可知, 3 种林分平均树高均随林分的生长

显著增加 ($P < 0.05$)。2013 年、2015 年、2019 年和 2021 年, PAFP 的平均树高分别为 6.83 m、7.57 m、9.05 m、9.26 m; MADP 中, 顶果木的平均树高分别为 6.61 m、8.23 m、9.78 m、9.80 m, 降香黄檀的平均树高分别为 3.94 m、5.60 m、7.86 m、9.15 m; PDOP 的平均树高分别为 3.91 m、5.16 m、7.94 m、8.40 m。同一林分不同年份间存在显著差异 ($P < 0.05$), PAFP 2019 年和 2021 年的平均树高显著高于 2013 年和 2015 年 ($P < 0.05$), 2015 年显著高于 2013 年 ($P < 0.05$), 2019 年和 2021 年差异不显著 ($P > 0.05$)。PDOP 各年份平均树高存在显著差异 ($P < 0.05$)。MADP 中, 顶果木的平均树高为 2019 年和 2021 年显著高于 2013 年和 2015 年 ($P < 0.05$), 2019 年和 2021 年差异不显著 ($P > 0.05$); 降香黄檀各年份平均树高存在显著差异 ($P < 0.05$); 2013 年、2015 年和 2019 年顶果木与降香黄檀的平均树高存在极显著差异 ($P < 0.001$), 2021 年无显著差异 ($P > 0.05$)。

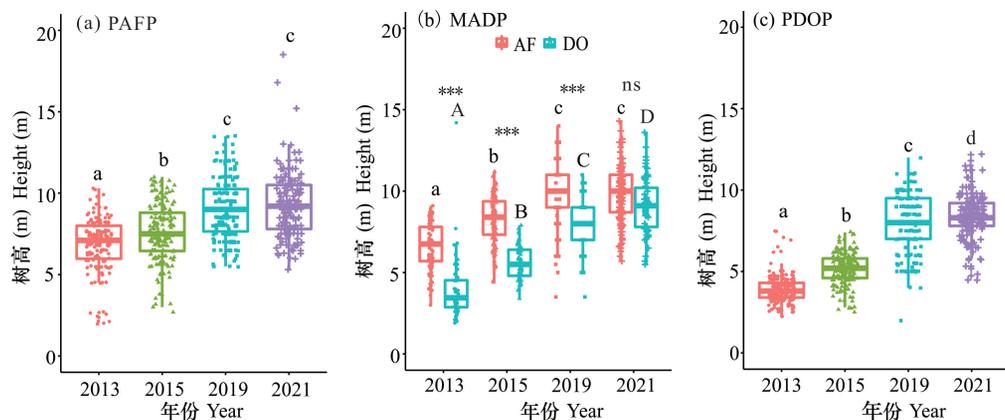


AF: 顶果木; DO: 降香黄檀; (a)、(c)不同小写字母表示同一林分不同年份间差异显著 ($P < 0.05$); (b)不同小写字母表示混交林中不同年份间顶果木胸径差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示混交林中不同年份间降香黄檀胸径差异显著 ($P < 0.05$); ***表示同一年份顶果木与降香黄檀胸径差异极显著 ($P < 0.001$), ns表示同一年份顶果木与降香黄檀胸径差异不显著 ($P > 0.05$)

AF: *Acrocapus fraxinifolius*; DO: *Dalbergia odorifera*; different lowercase in letters (a) and (c) indicate significant differences among different years of the same stand ($P < 0.05$); different lowercase letters in (b) indicate differences in DBH of AF among different years in the mixed stand ($P < 0.05$), and different uppercase letters indicate significant differences in DBH of DO among different years in the mixed stand ($P < 0.05$); *** indicates extremely significant difference in DBH between AF and DO in the same year ($P < 0.001$); ns indicates significant difference in DBH between AF and DO in the same year ($P > 0.05$)

图1 林分胸径生长的动态变化

Fig. 1 Growth dynamic changes of DBH in different stands



AF: 顶果木; DO: 降香黄檀; (a)、(c)不同小写字母表示同一林分不同年份间差异显著 ($P < 0.05$); (b)不同小写字母表示混交林中不同年份间顶果木胸径差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示混交林中不同年份间降香黄檀胸径差异显著 ($P < 0.05$); ***表示同一年份顶果木与降香黄檀胸径差异极显著 ($P < 0.001$), ns表示同一年份顶果木与降香黄檀胸径差异不显著 ($P > 0.05$)

AF: *Acrocapus fraxinifolius*; DO: *Dalbergia odorifera*; different lowercase in letters (a) and (c) indicate significant differences among different years of the same stand ($P < 0.05$); different lowercase letters in (b) indicate differences in DBH of AF among different years in the mixed stand ($P < 0.05$), and different uppercase letters indicate significant differences in DBH of DO among different years in the mixed stand ($P < 0.05$); *** indicates extremely significant difference in DBH between AF and DO in the same year ($P < 0.001$); ns indicates significant difference in DBH between AF and DO in the same year ($P > 0.05$)

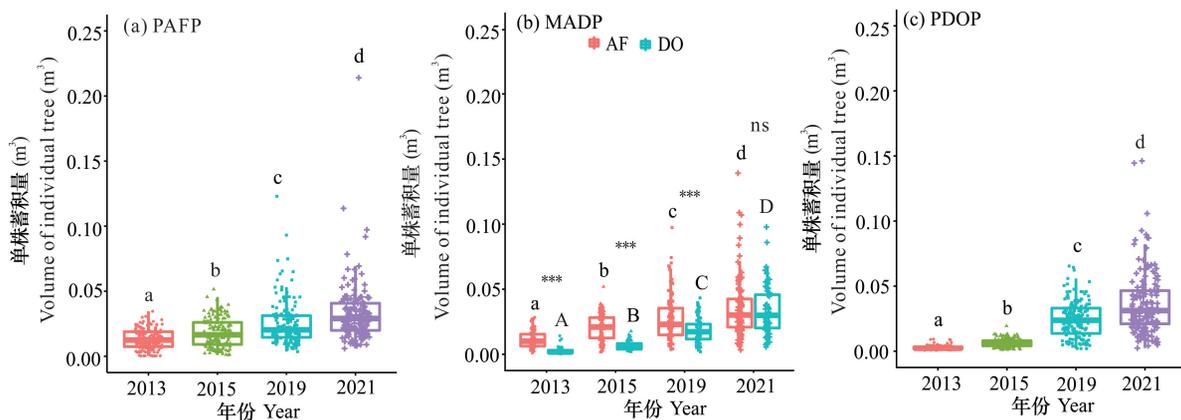
图2 林分树高生长的动态变化

Fig. 2 Growth dynamic changes of tree height in different stands

2.2 林木和林分蓄积量的动态变化

由图3可知,随着林分的生长,林分平均单株蓄积量显著增加($P < 0.05$)。2013年、2015年、2019年和2021年PAFP的平均单株蓄积量分别为 0.013 m^3 、 0.018 m^3 、 0.025 m^3 、 0.033 m^3 ;MADP中顶果木的平均单株蓄积量分别为 0.011 m^3 、 0.020 m^3 、 0.027 m^3 、 0.035 m^3 ,降香黄檀分别为 0.003 m^3 、 0.007 m^3 、 0.018 m^3 、 0.033 m^3 ;PDOP分别为 0.003 m^3 、 0.006 m^3 、 0.024 m^3 、 0.037 m^3 。同一林分不同年份间存在显著差异($P < 0.05$),两种纯林(PAFP

和PDOP)各年份平均单株蓄积量存在显著差异($P < 0.05$);混交林(MADP)中,顶果木的平均单株蓄积量各年份差异显著($P < 0.05$);降香黄檀的平均单株蓄积量2021年显著高于2013年、2015年和2019年($P < 0.05$),2019年显著高于2013年和2015年($P < 0.05$),2013年和2015年差异不显著($P > 0.05$);顶果木与降香黄檀的平均单株蓄积量在2013年、2015年存在极显著差异($P < 0.001$),2019年存在显著差异($P < 0.05$),2021年差异不显著($P > 0.05$)。



AF: 顶果木;DO: 降香黄檀;(a)、(c)不同小写字母表示同一林分不同年份间差异显著($P < 0.05$);(b)不同小写字母表示混交林中不同年份间顶果木胸径差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示混交林中不同年份间降香黄檀胸径差异显著($P < 0.05$);***表示同一年份顶果木与降香黄檀胸径差异极显著($P < 0.001$),ns表示同一年份顶果木与降香黄檀胸径差异不显著($P > 0.05$)

AF: *Acroca pus fraxinifolius*; DO: *Dalbergia odorifera*; different lowercase in letters (a) and (c) indicate significant differences among different years of the same stand ($P < 0.05$); different lowercase letters in (b) indicate differences in DBH of AF among different years in the mixed stand ($P < 0.05$), and different uppercase letters indicate significant differences in DBH of DO among different years in the mixed stand ($P < 0.05$); *** indicates extremely significant difference in DBH between AF and DO in the same year ($P < 0.001$); ns indicates significant difference in DBH between AF and DO in the same year ($P > 0.05$)

图3 林分单株蓄积量的变化

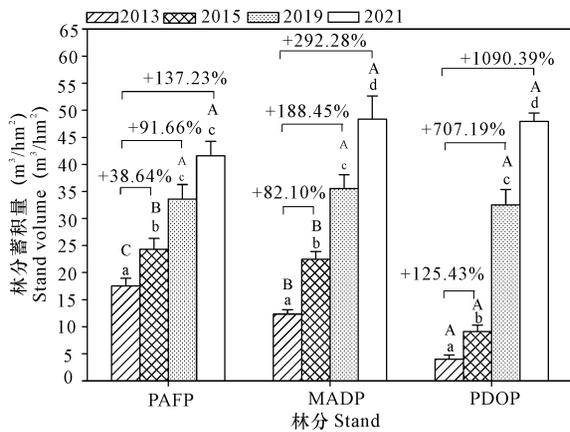
Fig. 3 Growth dynamic changes of stand individual tree volume in different stands

由图4可知,3种林分蓄积量均随林分年龄的增加而显著增加($P < 0.05$)。2013年、2015年、2019年、2021年PAFP的蓄积量分别为 $17.53 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $24.30 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $33.60 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $41.58 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;MADP分别为 $12.33 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $22.46 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $35.57 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $48.36 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ (其中顶果木分别为 $11.03 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $19.14 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $26.09 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $31.49 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,降香黄檀分别为 $1.30 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $3.32 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $9.48 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $16.87 \text{ m}^3/\text{hm}^2$);PDOP分别为 $4.03 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $9.08 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $32.53 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $47.97 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。3种林分各年份林分蓄积量存在显著差异($P < 0.05$)。PAFP 2019年和2021年的林分蓄积量显著高于2013年和2015年($P < 0.05$),2015年显著高于2013年($P < 0.05$),2019年和2021年差异不显著($P > 0.05$)。从8a的总增长率来看,

PAFP的蓄积增长率为137.23%,MADP为292.28%,PDOP为1090.39%。

2.3 林木和林分生长量的动态变化

由图5(a)可知,2013-2015年、2015-2019年、2019-2021年PAFP单株胸径年平均生长量分别为 0.45 cm 、 0.20 cm 、 0.52 cm ,2013-2021年整个监测期的胸径年平均生长量为 0.34 cm 。2013-2015年、2015-2019年、2019-2021年、2013-2021年,MADP中顶果木单株胸径年平均生长量分别为 0.72 cm 、 0.15 cm 、 0.52 cm 、 0.39 cm ,降香黄檀分别为 0.82 cm 、 0.57 cm 、 0.92 cm 、 0.72 cm ;PDOP分别为 0.68 cm 、 0.79 cm 、 0.78 cm 、 0.76 cm 。除2015-2019年外,MADP中顶果木的胸径年平均生长量高于PAFP中的顶果木,但差异不显著($P > 0.05$);混交林中的降香黄檀与PDOP差异不显著($P > 0.05$)。



不同小写字母表示同一林分不同年份间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同一年度不同林分间差异显著 ($P < 0.05$)

Different lowercase letters indicate significant differences between different years in the same stand ($P < 0.05$), different uppercase letters indicate significant differences among different stands in the same year ($P < 0.05$)

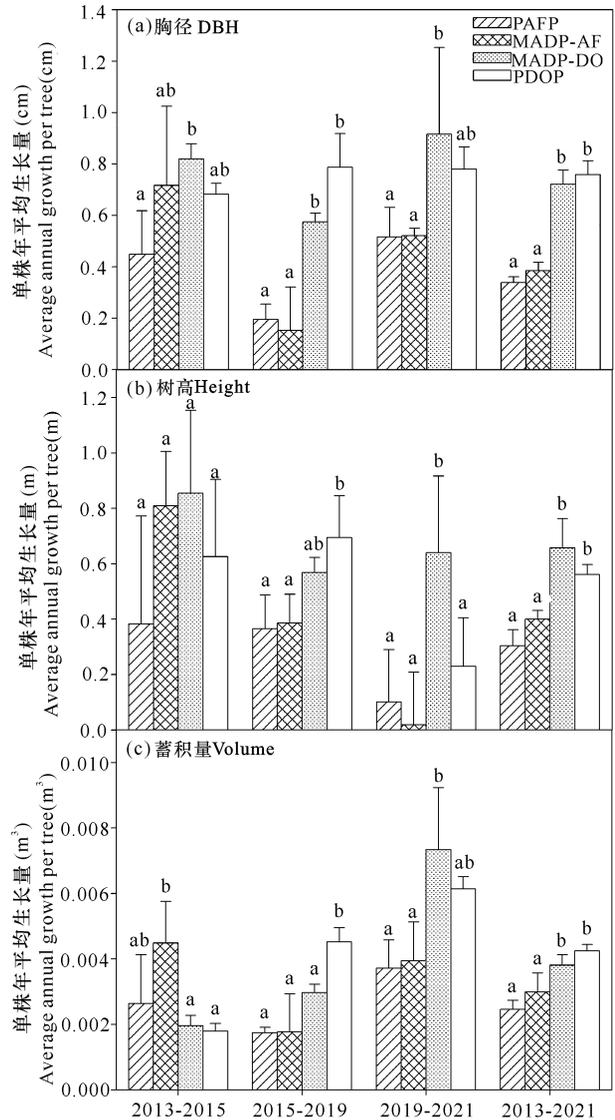
图4 林分蓄积量的动态变化

Fig. 4 Growth dynamic changes of stand volume in different stands

由图 5(b)可知, 2013-2015 年、2015-2019 年、2019-2021 年 PAFP 单株树高年平均生长量分别为 0.38 m、0.37 m、0.10 m, 2013-2021 年整个监测期的树高年平均生长量为 0.30 m。2013-2015 年、2015-2019 年、2019-2021 年、2013-2021 年, MADP 中顶果木单株树高年平均生长量分别为 0.81 m、0.39 m、0.02 m、0.40 m, 降香黄檀分别为 0.85 m、0.57 m、0.64 m、0.66 m; PDOP 分别为 0.63 m、0.69 m、0.23 m、0.56 m。除 2019-2021 年外, MADP 中顶果木的树高年平均生长量高于 PAFP 中的顶果木, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 2019-2021 年, MADP 中的降香黄檀树高显著高于 PDOP ($P < 0.05$)。

由图 5(c)可知, 2013-2015 年、2015-2019 年、2019-2021 年 PAFP 单株蓄积量年平均生长量分别约为 0.003 m^3 、 0.002 m^3 、 0.004 m^3 , 2013-2021 年整个监测期的单株蓄积量年平均生长量约为 0.002 m^3 。2013-2015 年、2015-2019 年、2019-2021 年、2013-2021 年, MADP 中顶果木单株蓄积量年平均生长量分别约为 0.004 m^3 、 0.002 m^3 、 0.004 m^3 、 0.003 m^3 , 降香黄檀分别约为 0.002 m^3 、 0.003 m^3 、 0.007 m^3 、 0.004 m^3 ; PDOP 分别约为 0.002 m^3 、 0.005 m^3 、 0.006 m^3 、 0.004 m^3 。MADP 中顶果木的

单株蓄积量年平均生长量高于纯林中的顶果木, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 除 2015-2019 年外, MADP 中降香黄檀的单株蓄积量年平均生长量与 PDOP 差异不显著 ($P > 0.05$)。



不同小写字母表示不同年份间差异显著 ($P < 0.05$)

Different lowercase letters indicated significant differences between different years ($P < 0.05$)

图5 不同修复树种单株年平均生长量动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of average annual individual tree growth increment in different restoration tree species

方差分析表明, 2013-2015 年、2015-2019 年, PAFP 和 MADP 林分蓄积量年平均增长量显著低于 PDOP ($P < 0.05$), 2019-2021 年 MADP 和 PDOP 的林分蓄积量年平均增长量显著高于 PAFP ($P < 0.05$)。监测期 8 a 内林分蓄积量年平均增长量存在显著差异 ($P < 0.05$), PAFP 显著低于 MADP 和

PDOP ($P < 0.05$), 后两者也具有显著差异 ($P < 0.05$) (表 2)。

表 2 不同修复林分蓄积量年平均增长量变化

Table 2 Changes of mean annual increment of stand volume in different restoration stands

林分类型 Stand type	林分蓄积量年平均增长量 Mean annual increment of stand volume (m^3/hm^2)			
	2013-2015	2015-2019	2019-2021	2013-2021
顶果木纯林 PAFP	$3.39 \pm 1.66^{\text{ab}}$	$2.32 \pm 0.25^{\text{a}}$	$3.99 \pm 1.09^{\text{a}}$	$3.01 \pm 0.36^{\text{a}}$
顶果木×降香黄檀混交林 MADP	$5.60 \pm 2.41^{\text{b}}$	$3.28 \pm 0.87^{\text{a}}$	$6.40 \pm 0.90^{\text{b}}$	$4.50 \pm 0.47^{\text{b}}$
降香黄檀纯林 PDOP	$2.53 \pm 0.36^{\text{a}}$	$5.86 \pm 0.52^{\text{b}}$	$7.72 \pm 0.75^{\text{b}}$	$5.49 \pm 0.15^{\text{c}}$

注:不同小写字母表示同一生长阶段不同林分间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different stand at the same growth period ($P < 0.05$)

2.4 胸径与树高的相关性

由图 6 可知, 3 种林分平均胸径与树高呈极显著正相关, 但不同林分、不同年龄林木树高随胸径增加的变化有所差异, PAFP 树高随胸径增加而增加的速率最大, 随时间的变化也比较稳定; MADP 和 PDOP 树高随胸径增加而增加的速率在 2013 年和 2015 年

较大, 而 2019 年和 2021 年有所降低。

2.5 年份、林分类型及其交互作用

从表 3 可以看出, 年份、林分类型及其交互作用对胸径、树高和林分蓄积量均有显著或极显著影响 (林分类型对林分蓄积量的影响除外)。

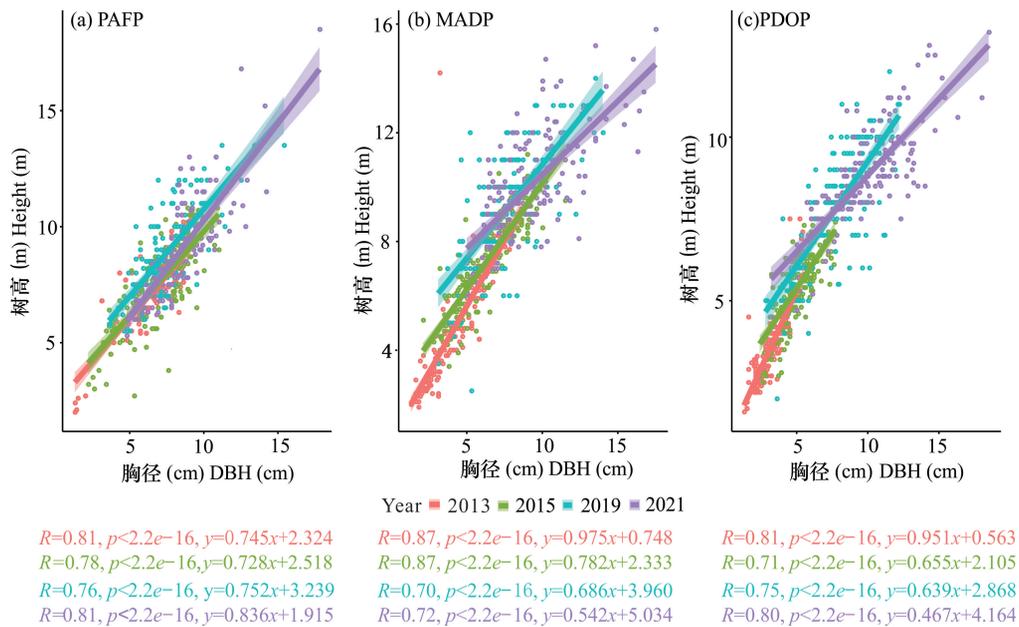


图 6 林分胸径与树高关系的动态变化

Fig. 6 Dynamic changes of relationship between DBH and tree height in different stands

表 3 年份、林分类型及其交互作用对胸径、树高和林分蓄积量的影响

Table 3 Effects of years, stand type and their interactions on DBH, tree height and stand volume

因子 Factor	胸径 DBH		树高 Tree height		林分蓄积量 Stand volume	
	F	P	F	P	F	P
年份 Year	108.672	< 0.001	89.788	< 0.001	50.051	< 0.001
林分类型 Stand type	6.875	0.004	29.428	< 0.001	1.469	0.250
年份×林分类型 Year×Stand type	7.614	< 0.001	3.737	0.009	3.263	0.017

3 讨论

张芳等^[9]研究表明,喀斯特灌木林、次生林和原生林的平均胸径和树高随时间推移而增加,2007年、2012年和2017年的3次测定表明,胸径各年份差异显著,平均树高在5 a间的差异不显著,10 a间达到了显著差异。喀斯特地区环境恶劣,土层浅薄和地下水的渗漏限制了植物的生长^[9,13],导致植物生长的增加趋势不明显^[9]。本研究中,3种岩溶石漠化修复林分的平均胸径和树高均随时间的推移显著增加,而且各年份间均存在显著差异,这说明以豆科固氮树种启动石漠化的生态修复以及前两年的施肥作用加速了林分的生长。早期研究发现,本区域石漠化不同修复林分幼林生长表现为顶果木优于降香黄檀,混交可以提高林分的生长量^[10]。本研究表明,年份和林分类型显著影响林分胸径和树高生长。随着林龄的增长,在林龄6 a以上时,顶果木的胸径和树高生长出现衰退现象,PAFP生长初期(2013年和2015年)的林分平均胸径和树高显著高于PDOP,而后期(2019年和2021年)则相反,显著低于PDOP;在MADP中,2013年和2015年顶果木的平均胸径极显著高于降香黄檀,2019年和2021年两个树种的平均胸径无显著差异;2013年、2015年和2019年顶果木的平均树高极显著高于降香黄檀,2021年两个树种的树高无显著差异。说明在施肥条件下,顶果木早期生长较快,由于岩溶石漠化区域生态环境恶劣,后期停止施肥的情况下,顶果木的生长受到较大影响;而降香黄檀早期生长较慢,后期停止施肥的情况下也能较快生长,表现出更强的适应性。

大量研究表明,无论是林分平均单株蓄积量还是林分蓄积量,都受到树种、胸径、树高、密度和生境的影响^[5-8,14]。随着林分的生长,林木胸径和树高增加,势必会造成林分结构的变化,进而导致林木和林分蓄积量的不同。梁燕等^[15]对岩溶地区50 a生侧柏人工林研究表明,侧柏林分密度与林分平均胸径、树高、蓄积量(材积)呈极显著负相关,林分密度的增大对单株侧柏的胸径和树高生长都有明显的抑制作用,这与鲁中石灰岩山地有限的生长空间、土壤瘠薄、环境干旱密切相关,致使植物生长竞争激烈,密度越大,冠形越狭长,单株长势越弱。本研究中,3种林分的生境相似、密度相近(1 417-1 608株/hm²),3种林分的平均单株蓄积量和林分蓄积量均随林分年龄的增加而显著增加。林分生长早期(2013-2021年),林分类型

对蓄积量没有显著影响,而年份、年份和林分类型的交互作用对林分蓄积量存在显著影响。说明随着林分年龄的增长,林分类型对林分蓄积量的影响将进一步凸显。笔者推测,由于岩溶生境恶劣和气候变化的叠加影响,顶果木纯林将进一步衰退。

林木和林分的年平均生长量反映林木和林分的实际生长水平和速率,是评价植被生态修复成效的重要指标^[2,10]。程冀文等^[8]根据2013年、2016年、2019年3次调查发现,油松人工林近自然经营有利于林木胸径、单株立木材积量的生长,同时还会提高林分大径级林木株数的比例,更有助于提高人工林质量。本研究中,监测期8 a内,3种林分单株胸径、树高和蓄积量年平均生长量均表现为PDOP(0.76 cm,0.56 m,0.004 m³)>MADP(0.55 cm,0.53 m,0.003 m³)>PAFP(0.34 cm,0.30 m,0.002 m³)。监测期8 a内,3种林分蓄积量年平均生长量也表现为PDOP(5.49 m³/hm²)>MADP(4.50 m³/hm²)>PAFP(3.01 m³/hm²),3种林分间差异显著。这进一步说明顶果木的生长已经出现明显的衰退,因此早期认为在岩溶石漠化植被修复过程中,顶果木优于降香黄檀的结论需要修订,同时还需要开展长期定位研究,以了解顶果木的全周期生长规律。本研究还发现,3种林分的平均胸径与树高存在极显著的正相关关系,顶果木与降香黄檀混交可以促进顶果木的胸径和树高生长,而对降香黄檀的胸径生长存在一定的负效应,对树高生长为正效应。这是由于混交林郁闭度最高(67%),从而对降香黄檀的胸径生长产生影响。这一结果表明混交有利于提高顶果木和降香黄檀的生长,减缓顶果木的生长衰退。但由于林分已进入中林龄,林分密度或郁闭度偏大,影响降香黄檀的胸径生长,生产上应及时间伐,以提高林分质量,特别是提高珍贵用材降香黄檀的干材质量。这一研究结果为石漠化植被修复中的树种和林分类型选择及管理提供了科学依据。

4 结论

8a监测表明,3种修复林分平均胸径、树高和林分蓄积量均随林分年龄的增加而显著增加,PDOP林分蓄积量增长率最高,为1 090.39%;其次是MADP林分,为292.28%;PAFP最小,为137.23%;3种林分单株胸径、树高和蓄积量年平均生长量变化也呈相似的规律,均表现为PDOP(0.76 cm,0.56 m,0.004 m³)>MADP(0.55 cm,0.53 m,0.003 m³)>PAFP

(0.34 cm、0.30 m、0.002 m³); 3种林分蓄积量年平均生长量存在显著差异, 表现为 PDOP (5.49 m³/hm²) > MADP (4.50 m³/hm²) > PAFP (3.01 m³/hm²); 3种林分的平均胸径与树高存在极显著的正相关关系, 混交能够促进顶果木胸径和树高生长, 减缓生长衰退, 也能促进降香黄檀的树高生长。PDOP 适应性最强, 优于 MADP 和 PAFP, MADP 又优于 PAFP。

参考文献

- [1] 温远光, 周晓果, 朱宏光. 桉树生态营林理论、技术与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [2] 翟明普, 沈国舫. 森林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [3] DA SILVA R P, DOS SANTOS J, TRIBUZY E S, et al. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil [J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 166(1/3): 295-301.
- [4] SUMIDA A, MIYAURA T, TORII H. Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: Analyses of stem growth using 20-year data of an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand [J]. *Tree Physiology*, 2013, 33(1): 106-118.
- [5] 韩兴吉. 林分生长和产量的数学模型[J]. 北京林业大学学报, 1986(3): 85-98.
- [6] 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 等. 马尾松与红锥等 3 种阔叶树种营造混交林的生长效果[J]. 林业科学研究, 2010, 23(6): 839-844.
- [7] 陈德叶. 檫树人工林生长特性研究[J]. 江西林业科技, 2008(4): 17-18, 30.
- [8] 程冀文, 王树森, 罗于洋, 等. 不同经营模式对油松人工林林分生长短期影响[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(2): 172-179.
- [9] 张芳, 杜虎, 曾馥平, 等. 喀斯特峰丛洼地原生林群落更新动态[J]. 生态学报, 2019, 39(22): 8516-8525.
- [10] 周晓果, 李隽宜, 朱宏光, 等. 不同石漠化治理模式的造林保存率及幼林生长分析[J]. 广西科学, 2017, 24(2): 175-181.
- [11] 张彧娜, 周晓果, 温远光, 等. 喀斯特地区三种人工林土壤微生物群落结构特征[J/OL]. 广西植物, 2021: 1-17 [2022-01-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20210511.0907.002.html>.
- [12] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [13] 于维莲, 董丹, 倪健. 中国西南山地喀斯特与非喀斯特森林的生物量与生产力比较[J]. 亚热带资源与环境学报, 2010, 5(2): 25-30.
- [14] SOARES A A V, LEITE H G, SOUZA A L, et al. Increasing stand structural heterogeneity reduces productivity in Brazilian *Eucalyptus* monoclonal stands [J]. *Forest Ecology and Management*, 2016, 373: 26-32.
- [15] 梁燕, 葛忠强, 李宗泰, 等. 鲁中石灰岩山地不同密度侧柏人工林林分生长特征研究[J]. 湖南林业科技, 2019, 46(5): 37-43.

Early Growth Dynamic Analysis of Different Restoration Stands in Karst Rocky Desertification

ZHOU Xiaoguo¹, SUN Dongjing¹, WEN Yuanguang^{1,2}, WANG Lei², MING Angang³, JIA Hongyan³, ZHU Hongguang², ZHAO Yanyan¹, HUANG Yongjie¹, LIANG Jia¹

(1. Institute of Eco-Environmental Research, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Forest Ecology and Conservation, Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

Abstract: In order to clarify the growth dynamic characteristics and variation rules of different restoration stands in Karst rocky desertification, the pure *Acrocarpus fraxinifolius* plantation (PAFP), pure *Dalbergia odorifera* plantation (PDOP), mixed *A. fraxinifolius* and *D. odorifera* plantation (MADP) constructed in 2011 were selected as the research objects. Based on four continuous stand survey in 2013, 2015, 2019 and

2021, respectively, the dynamic changes of DBH, tree height and stand volume of three restoration stands were studied by setting a fixed monitoring sample plot. The results showed that within 8 years of monitoring period, the average DBH, tree height and stand volume of the three restoration stands have been increased significantly with time. The growth rate of stand volume in PAFP, MADP and PDOP were 137.23%, 292.28% and 1 090.39%, respectively. The average annual increments of DBH, tree height and volume for an individual tree of the three stands were PDOP (0.76 cm, 0.56 m, 0.004 m³) > MADP (0.55 cm, 0.53 m, 0.003 m³) > PAFP (0.34 cm, 0.30 m, 0.002 m³). The average annual increment of stand volume of the three stands showed the same trend, i. e. PDOP (5.49 m³/hm²) > MADP (4.50 m³/hm²) > PAFP (3.01 m³/hm²). There were significant different among the three stands. There was an extremely significant positive correlation between the average DBH and tree height of the three restoration stands. The mixing of *A. fraxinifolius* and *D. odorifera* promoted the growth of DBH and tree height of *A. fraxinifolius*, and accelerated tree height growth of *D. odorifera*. The results have proved that the mixing is beneficial to help the growth of both *A. fraxinifolius* and *D. odorifera*, and mitigate the growth decline of *A. fraxinifolius*.

Key words: rocky desertification; pure plantation; mixed plantation; DBH; tree height; volume; growth dynamic

责任编辑:陆媛峰

科技支撑发展 创新引领未来

第九届广西青年学术年会

开始征文啦



长按识别二维码观看

主办单位:
广西壮族自治区科学技术协会
广西壮族自治区社会科学界联合会委员会
广西壮族自治区共青团

征文截止时间: 2022年4月20日