

不同立地条件下不同混播模式的植物增长率比较*

郑晓钟¹ 严巧敏¹ 吴琼^{1,3} 朱刚^{1,2}
谢威⁴ 魏龙² 殷祚云¹

(1. 仲恺农业工程学院, 广东广州 510225; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东广州 510520; 3. 晋中市昔阳县乡村振兴局, 山西 晋中 045300; 4. 台山市红岭种子园, 广东 台山 529222)

摘要 为研究近自然恢复模式下不同的立地条件混播模式对播种植物增长率的影响, 通过观测各种植被基部面积增长率、冠层面积增长率、地径增长率和株高增长率等生长量指标, 对比研究植物生长量增长率在不同立地条件和不同播种方式下的变化。结果表明: 草坡立地下播种植物生长量的增长率优于裸地, 乔灌混播对比乔灌草混播差异不显著, 但优于乔木种子单播; 主要出苗树种的生长量增长率在乔灌混播下更具有优势。在近自然植被恢复中, 良好的立地条件能获得较高植物增长率, 乔灌混播模式对植物增长率更具优势。

关键词 近自然恢复; 乔灌混播; 增长率

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053(2023)02-0076-06

Comparison of Plant Growth Rates of Different Mixed Seeding Patterns under Different Site Conditions

ZHENG Xiaozhong¹ YAN Qiaomin¹ WU Qiong^{1,3} ZHU Gang^{1,2}
XIE Wei⁴ WEI Long² YIN Zuoyun¹

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2. Guangdong Province Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 3. Xiyang County Rural Revitalization Bureau of Jinzhong City, Jinzhong, Shanxi 045300, China; 4. Taishan Hongling Seed Park, Taishan, Guangdong 529222, China)

Abstract To study the effect of different site conditions and plant seeding patterns on the growth rate of sowing plants under the near-natural recovery mode, the growth rate of plant growth was compared and studied by observing the growth rate for the base area, canopy area, ground diameter, and plant height of various vegetation. The results showed that the growth rate of underground sowing plants on grass slopes was better than that of bare ground. There was no significant difference between the tree-shrub mixed sowing and the tree-shrub-grass mixed sowing, but it was better than the tree seed monoculture. The growth rate of the main seedling species is more advantageous to the mixed planting of trees and shrubs. In near-natural vegetation restoration, good site conditions can obtain a higher plant growth rate, and the tree-shrub mixed sowing has more advantages in plant growth rate.

Key words near-natural restoration ; the tree-shrub mixed sowing ; growth rate

* 基金项目: 广东省林业科技创新平台项目(2021-KYXM-09), 广东省教育厅省级重大项目(2016KZDXM002)。

第一作者: 郑晓钟(1997—), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为森林培育, E-mail: 345367197@qq.com。

通信作者: 魏龙(1976—), 男, 正高级工程师, 主要从事森林生态学研究, E-mail: weilong@sinogaf.cn。

殷祚云(1966—), 男, 教授, 主要从事生态学、林学和生物统计学研究, E-mail: yinzuoyun@163.com。

目前，人类生产导致了部分地区自然生态系统的退化、水土流失和景观破碎化。一般情况下，那些已经遭受严重破坏的植被群落恢复相当困难或者根本就无法恢复^[1]。林业上常采用育苗移栽法进行造林或复绿，这种方式会出现成本高、苗木根系受损等问题。运用近自然植被恢复理论进行植被复绿，注重保持物种的丰富度和植被垂直结构的多样性，能使林分进行接近自然生态的自发生产^[2]，且能降低现有育苗移栽的高额成本。在边坡治理中，近自然模式整理坡面的稳定性指数比自然坡面高，可以减少坡面土壤的侵蚀^[3]；在林业上，近自然森林经营实例表明，近自然林业森林经营理念在森林可持续发展中具有重要指导意义^[4-5]；近自然恢复能形成结构更稳定、景观更优美的稳定森林^[6]，同时在湿地修复中也具有显著优势^[7]。

影响裸地近自然恢复的关键是立地条件、植物的选择和植物种子混播类型，立地条件对群落的生长量具有一定的影响；植物的选择和混播类型在一定程度上决定近自然恢复后植物群落的多样性和群落优势树种，乔灌草混播模式的近自然植被修复恢复物种丰富度方面具有一定可行性^[8]，同时乔灌草结合的模式也被证实为一种有效解决土地荒漠化，改善风沙化现状的有效模式^[9]，但在近自然恢复下，不同植物种子混播后群落生物量变化还存在空白，研究不同立地条件和不同种子混播模式的植物初期增长率变化，对群落植物生长量预估、生长模型模拟和近自然植被恢复理论有重要意义。

现有文献对生长模型^[10]进行的研究，局限在正态分布等集中统计分布模型，本研究采用殷祚云^[11]等人对多种生长量综合指标作为研究基础，即从地径增长率、株高增长率、基部面积增长率和冠层面积增长率，多角度全面对植物生长指标和生长量进行对比。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

设在广东省广州市的仲恺农业工程学院的试验地（北纬 23°36′、东经 113°44′）位于广州市北郊。在草坡、裸地两种立地类型分别设置 3 种植

物种子播种组合类型，在每个立地类型分别设有 9 个面积为 2 m × 2 m 的样方，不同植物组合各有 3 个子样方重复（表 1）。种子数量配置如表 2。

表 1 样方设置
Table 1 Sample site settings

试验 Test	立地条件 Site conditions	种子配置模式 Seed configuration mode
近自然化 裸地复绿 Near-nat- ural bare land re-greening	裸地	纯乔木种子
		乔木灌木种子混播
	草坡	乔灌草种子混播
		纯乔木种子
		乔木灌木种子混播
		乔灌草种子混播

1.2 播种试验

播种试验植物物种选择基于钟颖华^[8]对边坡复绿植物混播技术研究为基础，选用乡土植物种子，见表 2。

依照种子的大小，播种在样地 0~2 cm 腐殖质层，其中红花大果油茶 *Camellia semiserrata* 及千年桐 *Vernicia montana* 属于大种子，采用挖种植穴方式播种，其他灌木和乔木种子为中型种子，采用覆土方式播种，草本植物以撒播方式播种。播种时间为 2017 年 12 月 10 日，第一次测量时间为 2018 年 4 月 3 日，补播时间为 4 月 4 日（以同样的播种方式），第二次测量 4 月 27 日，两次分别测量出苗植物的株高、冠幅和地径指标。

1.3 植物增长率计算方法^[11]

横冠 (cm) = 冠层平行于等高线方向的横向直径

纵冠 (cm) = 冠层垂直于等高线方向的纵向直径；

基径 (mm) = 植物个体主干离地 0.01 m 处直径，即地径；

株高 (cm) = 植株顶端活枝叶的自然高度；

基部面积 (mm²) = $\pi \times (\text{基径}/2)^2$ ；

冠层面积 (cm²) = $\pi \times \text{横冠} \times \text{纵冠}/4$ ；

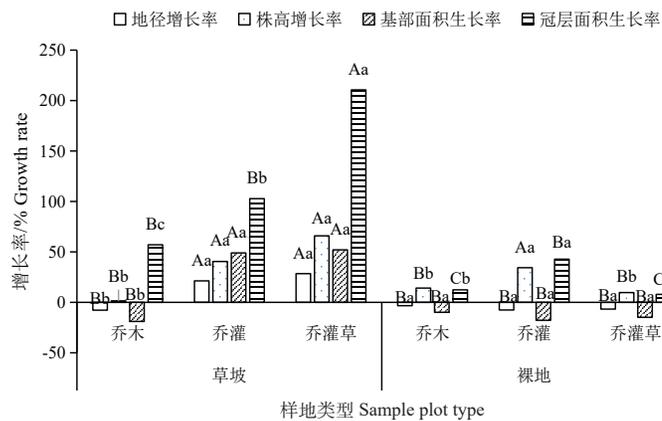
增长率 (%) = (期末生长量 - 期初生长量) / 期初生长量 × 100%。

1.4 数据分析方法

所有数据应用 SPSS 22.0 软件统计处理，采用双因素方差分析和最小显著差异法分析。

表 2 不同植物组合中各类植物播种数量及种子质量
Table 2 Seed weight and number of plants sown in different plant combinations

种名 Plant	生活型 Life form	千粒重 /g Thousand seeds weight	数量 (颗 / 样方) Number		
			乔灌木 Trees, shrubs, and herbs	乔灌 Trees, and shrubs	乔木 Trees
大叶樟 <i>Cinnamomum austrosinense</i>	乔木	121.8	200	200	200
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	乔木	139.4	200	200	200
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	乔木	4.0	200	200	200
木荷 <i>Schima superba</i>	乔木	5.0	100	100	100
火力楠 <i>Michelia macclurei</i>	乔木	84.3	100	100	100
山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	乔木	251.3	100	100	100
山乌桕 <i>Sapium discolor</i>	乔木	41.2	100	100	100
红花大果油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	乔木	3 559.7	30	30	30
千年桐 <i>Vernicia montana</i>	乔木	3 579.7	15	15	15
山毛豆 <i>Tephrosia candida</i>	灌木	22.2	100	100	/
银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	灌木	51.5	100	100	/
猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	灌木	9.2	200	200	/
一年生黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i>	草本	0.3	10 g	/	/
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	草本	0.4	10 g	/	/



注：大写字母表示各样方同种增长率之间差异显著 ($P < 0.05$)，小写字母表示同种立地条件不同混播模型中增长率之间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Capital letters indicate that there is significant difference in the growth rate of the same kind ($P < 0.05$), and lowercase letters indicate significant differences in growth rates among different mixed seeding models ($P < 0.05$).

图 1 不同混播模式下植被恢复的总体平均增长率

Figure 1 Overall average growth rate of vegetation recovery under different mixed seeding modes

2 结果与分析

2.1 植物整体增长率

由图 1 可知，植物在幼苗期，不同立地条件

下，乔灌混播和乔灌草混播两种模式的地径增长率、株高增长率、基部面积增长率和冠层面积增长率在草坡立地下具有显著优势，乔灌草混播模式的冠层面积增长率在草坡立地条件显著最高。

这说明不同立地条件，对幼苗期植物的各个增长率指标具有显著影响，草坡更有利于生长量的提高。

同种立地条件下，草坡中乔灌草混播在地径增长率、株高增长率、基部面积增长率和冠层面积增长率显著较高，乔灌混播在冠层面积增长率显著低于乔灌草混播。

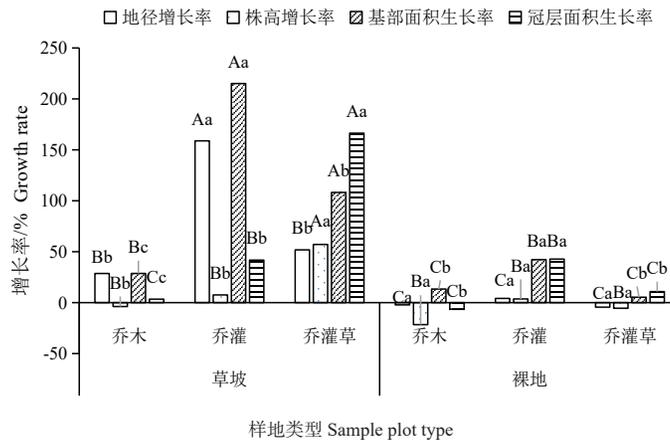
2.2 主要出苗植物增长率分析

2.2.1 朴树增长率分析 由图 2 可知，朴树在幼苗期，不同立地条件下，乔灌混播在草坡下基部

面积增长率和地径增长率具有显著优势，乔灌草混播在草坡下冠层面积增长率、株高增长率和基部面积增长率显著最高。这表明混播条件下草坡条件对朴树的生长量相关指标具有显著的优势。

同种立地条件下，乔木单播在各个条件下指标都不具优势。朴树在幼苗阶段，单播不利于其生长，混播情况下乔灌混播和乔灌草混播各具优势。

2.2.2 火力楠增长率分析 由图 3 可知，火力楠在幼苗期，不同立地条件下，乔灌混播在草坡下

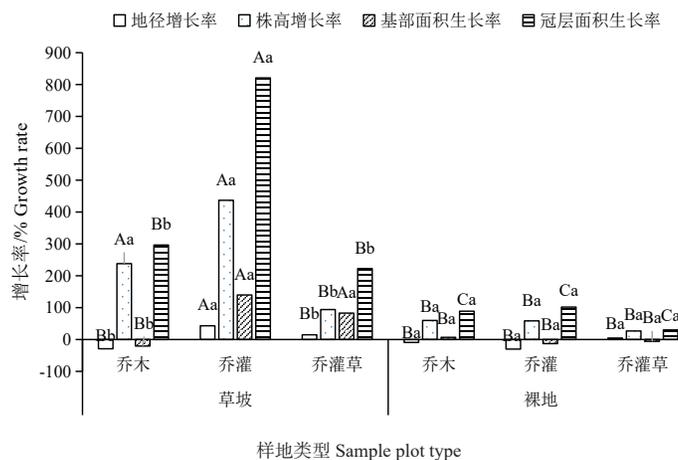


注：大写字母表示各样方同种增长率之间差异显著 ($P < 0.05$)，小写字母表示同种立地条件下不同混播模型中增长率之间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Capital letters indicate that there is significant difference in the growth rate of the same kind ($P < 0.05$), and lowercase letters indicate significant differences in growth rates among different mixed seeding models ($P < 0.05$).

图 2 不同混播模式下朴树平均增长率比较

Figure 2 Comparison of average growth rate of *Celtis sinensis* under different mixed seeding modes



注：大写字母表示各样方同种增长率之间差异显著 ($P < 0.05$)，小写字母表示同种立地条件下不同混播模型中增长率之间差异显著 ($P < 0.05$)。

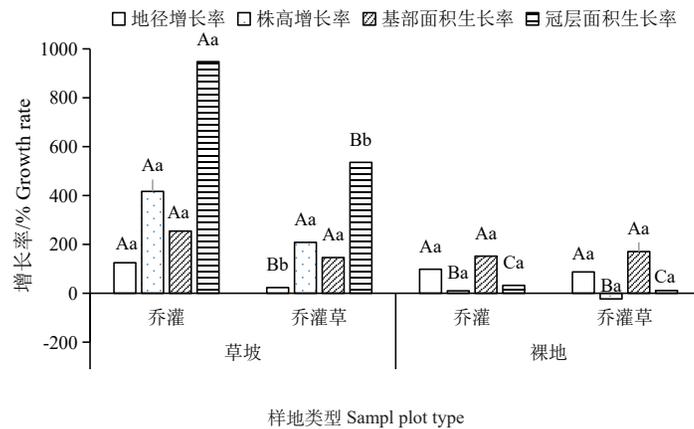
Note: Capital letters indicate that there is significant difference in the growth rate of the same kind ($P < 0.05$), and lowercase letters indicate significant differences in growth rates among different mixed seeding models ($P < 0.05$).

图 3 不同混播模式下火力楠平均增长率比较

Figure 3 Comparison of average growth rate of *Michelia macclurei* under different mixed seeding modes

地径增长率、株高增长率、基部面积增长率和冠层面积增长率都显著最高, 乔灌混播对火力楠生长更佳。

2.2.3 猪屎豆增长率分析 由图4可知, 猪屎豆在幼苗期, 乔灌混播在草坡下冠层面积增长率和株高增长率显著最高, 猪屎豆在乔灌混播更具有优势, 同时猪屎豆在不同立地条件适应性更好。



注: 大写字母表示各样方同种增长率之间差异显著 ($P < 0.05$), 小写字母表示同种立地条件不同混播模型中增长率之间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Capital letters indicate that there is significant difference in the growth rate of the same kind ($P < 0.05$), and lowercase letters indicate significant differences in growth rates among different mixed seeding models ($P < 0.05$).

图4 不同混播模式下猪屎豆平均增长率比较

Figure 4 Comparison of average growth rate of *Crotalaria pallida* under different mixed planting modes

更有利于植物生长, 贫瘠的土壤中植被决定因素的重要性下降^[12]; 在草坡上, 乔灌草混播有较高的冠层面积增长率、地径增长率、株高增长率、基部面积增长率, 其中地径增长率、株高增长率、基部面积增长率与乔灌混播的差异较小, 说明乔灌草混播和乔灌混播在增长率上无较大差异, 但都优于乔木种子单播。通过主要出苗植物增长率分析, 不同树种适宜不同的混播方式, 综合而言, 乔灌混播方式对植物幼苗期生长量更具优势, 乔灌草混播不如乔灌混播, 可能是在前期草本植物出苗快生长迅速, 占据一定的生态位, 灌木和乔木的前期优势不如草本植物, 竞争的弱势体现在增长率的变化上; 乔灌混播在增长率上的有也体现在植被恢复效果, 安伟莉^[13]等人研究表明, 草坡进行近自然恢复时, 乔灌混播的恢复方式最佳, 乔灌幼苗和原生草的竞争对新生草存在不利影响, 进而对新生草生长产生抑制作用^[14]。不同植物对

3 讨论与结论

植物生长指标中, 地径与株高最能直观表示植物的生长变化, 基部面积和冠层面积属于二维指标, 分别符合伽玛和反高斯模型分布^[11], 4个变量从不同角度研究植物个体大小与生长的关系。

通过植物增长率整体分析发现, 草坡比裸地

环境的适应性不同, 主要出苗树种中猪屎豆具有更好的裸地适应性, 这也指导在混播树种选择要多样化, 在不同立地条件下都具有较快的增长率。

一般情况下, 乔灌草混交林比任何一种乔灌木纯林的效益都要更好, 单一栽培对生物多样性有害^[15], 有研究表明中, 高林龄的中密度乔灌混交林具有较高生态效益和经济效益^[16], 不同混播模式能增加地被覆盖改善土壤质量^[17], 缩短发芽时间^[18], 同时近自然经营能恢复物种多样性^[19], 能促进植物生长量积累。纯林的种类少, 组合简单, 可持续差, 群落生态系统稳定性差。研究不同植物种子混播模式的植物增长率变化, 在近自然植被恢复中, 能估测不同混播模式自然生长量的变化趋势, 从而对生物量做出评估。混播植物选择乡土树种, 以乡土树种作为群落的优势种或建群种, 有利于快速形成稳定可持续的近自然林^[20], 能维持自身生长所需的营养物质, 使其在相当长

的时期里保持更新^[21],因地制宜地选择多树种、多层次的混播方式,提高了群落中物种的多度和丰富度,生物群落中物种多度分布,可以估测给定区域的整个群落中潜在物种丰富度^[22],乔灌草的物种多样性获得的生态效益,使整个生态系统趋于平衡。

植物幼苗阶段是混播后变化最为剧烈的阶段,特别是灌木和草本植物在自然恢复下的增长率表现,虽然试验中时间相对较短,但自然混播方式仍获得成功,同时不同混播模式下增长率具有的不同效果,为进一步试验提供了指导。增长率出现负增长主要由于第二次测量数据包括补播种的幼苗,但整体上混播形式没有发生变化。研究能将不同混播形式下增长率进行比较,但混播中植物种子量同样影响主要植物生物量变化^[23]和表型变化^[24],今后的研究中可以调整播种时间,最佳混播次数和数量,同时延长测量周期以获得更佳的实验效果。

致谢:感谢王明祖老师对本研究的指导以及卢耀海、梁浩建、梁晴、陈锦睿、黄瑞婷和郑灿达等同学对本研究的支持,并感谢李娜在论文修改中提供帮助。

参考文献

- [1] 康冰.广西大青山退化森林植被特征及生态恢复研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2007.
- [2] 何贤勤,钟少伟,段钰,等.浅析近自然森林经营与传统森林抚育的差异[J].中国林业经济,2014(4):48-50.
- [3] 王天宏,呼帅,李会科,等.秦巴山区近自然模式整治坡面稳定性研究[J].中国水土保持,2021(11):46-48;9.
- [4] 王艳军,王辉,陈爱桃.木兰林场森林近自然经营实践[J].林业科技通讯,2021(8):46-49.
- [5] 单楠.“近自然林业”在森林可持续经营中的应用分析[J].广东蚕业,2021,55(11):17-18.
- [6] GUO X, LI W, DA L. Near-natural silviculture: sustainable approach for urban renaturalization? assessment based on 10 years recovering dynamics and eco-benefits in Shanghai[J]. Journal of Urban Planning & Development, 2015,141(3):A5015001.
- [7] YE C, LI C H. Wetland ecological restoration using near-natural method[M]. Urban Water Management for Future Cities: Springer, Cham, 2019: 157-172.
- [8] 钟颖华,安伟莉,谢威,等.基于乔灌草种子混播的近自然植被恢复研究[J].水土保持应用技术,2021(1):1-3;12.
- [9] 布凤琴,杜双件,方李明,等.乔灌草结合治理我国北方土地风沙化问题的研究进展[J].安徽农业科学,2016,44(3):48-49;54.
- [10] 黄家荣,孟宪宇,关毓秀.马尾松人工林直径分布神经网络模型研究[J].北京林业大学学报,2006(1):28-31.
- [11] 殷祚云,曾令海,何波祥,等.城市景观林中幼龄期红锥个体大小之统计分布模型[J].生态环境学报,2013(2):189-198.
- [12] CAMPBELL B D, GRIME J P. An experimental test of plant strategy theory[J]. Ecology, 1992, 73(1):15-29.
- [13] 安伟莉,卢耀海,谢威,等.基于近自然植被恢复的乔灌草种子混播研究[J].中国水土保持,2021(8):40-43;9.
- [14] 殷祚云,任海,彭少麟,等.华南退化草坡自然恢复中物种多度分布的动态与模拟[J].生态环境学报,2009,18(1):222-228.
- [15] TISSIER M L, KLETTY F, HANDRICH Y, et al. Monocultural sowing in mesocosms decreases the species richness of weeds and invertebrates and critically reduces the fitness of the endangered European hamster[J]. Oecologia,2018,186(2):589-599.
- [16] 厉静文, DOSMANBETOV D A,郭浩,等.不同配置乔灌混交林防风效益的风洞试验[J].农业工程学报,2020,36(11):95-102.
- [17] 王志云,陆耀东,温达志,等.不同植被恢复模式对生物多样性及土壤有机质的影响[J].中国城市林业,2009,7(5):45-47.
- [18] BAO F, ROSSATTO D R, POTT A, et al. Do neighbours matter? The effect of single - and mixed - species sowing density on seed germination of annual wetland plants[J]. Applied Vegetation Science,2021,24(3):12602.
- [19] AUESTAD I, RYDGREN K, AUSTAD I. Near-natural methods promote restoration of species-rich grassland vegetation—revisiting a road verge trial after 9 years[J]. Restoration Ecology,2016,24(3):381-389.
- [20] 李超荣,高艳芳,刘志发,等.乳阳林场杉木林物种多样性分析[J].林业与环境科学,2021,37(4):122-128.
- [21] 赖泓宇.垃圾填埋气对植物生长影响及近自然植被恢复途径[D].上海:华东师范大学,2011.
- [22] 殷祚云.南亚热带森林3层次物种多度之广义泊松分布模型(英文)[J].生态环境学报,2022,31(1):17-25.
- [23] 冯琴,王斌,海艺蕊,等.毛苕子不同播种量与燕麦混播对群落竞争及燕麦生物量分配的影响[J].草地学报,2022,30(9):2423-2429.
- [24] 宋清华,赵成章,史元春,等.祁连山北坡混播草地密度制约下燕麦和毛苕子比根长分布格局[J].生态学杂志,2015,34(2):497-503.