

◆生态环境◆

桉树林取代马尾松林后不同更新方式对林下植物多样性的影响^{*}陈秋海¹, 温远光¹, 周晓果^{1**}, 王磊², 孙冬婧¹, 黄旭光³, 汤里³, 许峻模¹, 黄勇杰¹, 邓少虹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:为探究桉树(*Eucalyptus* spp.)林取代马尾松(*Pinus massoniana*)林后不同更新方式(植苗、萌芽)对林下植物多样性的影响,采用空间代替时间结合成对比较法,开展林下植物群落调查及土壤理化性质测定,分析不同林分林下灌草层的物种组成、重要值和多样性特征。结果表明:①4种林分林下植物共有49科99属121种,其中灌木层有35科65属83种,草本层有18科36属38种;桉树林取代马尾松林后,植苗更新及萌芽更新方式下,林下植物群落的物种组成均发生了显著变化。②桉树林取代马尾松林后,植苗更新桉树林均显著提高灌木层及草本层的Shannon-Wiener指数、Simpson指数和Pielou均匀度指数;而萌芽更新林分显著降低灌木层的物种丰富度,但显著提高草本层的物种丰富度、Shannon-Wiener指数和Simpson指数。植苗更新方式有利于桉树林灌木层物种的恢复和多样性的维持,萌芽更新方式则更有利于草本层植物物种的恢复和多样性的维持。③土壤含水量(Soil Moisture Content, SMC)和全氮(Total Nitrogen, TN)是影响4种林分灌木层植物物种组成的主要影响因子,土壤pH值、TN和全磷(Total Phosphorus, TP)是影响4种林分草本层植物物种组成的主要影响因子。在林地转变和经营时,可结合实际采用不同的更新方式恢复林下灌草植物物种丰富度和多样性,实现桉树人工林的可持续经营。

关键词:桉树人工林;物种组成;植物多样性;植苗更新;萌芽更新

中图分类号:S718.54 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)03-0504-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20230710.009

林下植被是人工林生态系统的重要组成部分,也是人工林生态系统中物种多样性的主要组成部分^[1],在维持生态系统稳定性、促进群落演替更新、改善立地条件等方面具有重要作用^[2]。生物多样性是人工

收稿日期:2023-05-12

修回日期:2023-06-10

* 国家自然科学基金项目(32160358, 31860171)和广西自然科学基金项目(2022JJA130223, 2022JJB130158)资助。

【第一作者简介】

陈秋海(1993-),女,研究实习生,主要从事森林生态学研究,E-mail:1213203168@qq.com。

【**通信作者】

周晓果(1980-),女,研究员,主要从事森林生态学研究,E-mail:xgzhou2014@126.com。

【引用本文】

陈秋海,温远光,周晓果,等.桉树林取代马尾松林后不同更新方式对林下植物多样性的影响[J].广西科学,2023,30(3):504-512.

CHEN Q H, WEN Y G, ZHOU X G, et al. Effects of Different Regeneration Methods on Understory Plant Diversity after *Eucalyptus* Plantations Replaced *Pinus massoniana* Plantations [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(3): 504-512.

植被恢复的重要评价指标,而植物多样性是生物多样性在植物水平上的表现形式^[3]。植物多样性作为人工林生态系统群落结构和功能稳定性、复杂性的重要量度指标,反映了生态系统中各种植物对资源环境的竞争及协调利用^[4,5],一直以来都是群落生态学和恢复生态学的研究热点。有研究表明林下植物多样性越丰富,林分的稳定性和恢复性越强^[6]。

桉树(*Eucalyptus* spp.)作为我国南方人工林重要的速生造林树种之一,在缓解木材资源供需矛盾和应对气候变化等方面发挥着重要作用^[7],但桉树人工林纯林连栽导致的林下植物多样性和土壤肥力降低等^[8]生态问题一直是社会各界争论的焦点,因此探索桉树人工林的可持续发展成为亟待解决的问题。目前,桉树人工林的更新方式主要有植苗更新和萌芽更新。与植苗更新造林相比,萌芽更新更有利于地力的恢复和维持,已成为目前桉树短周期人工林普遍采用的林地更新的重要营林技术措施^[9]。然而研究发现,相同密度下尾巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)植苗更新林分的胸径、树高、材积生长优于萌芽更新林分^[10],且林分生物量比萌芽更新林分高^[11]。但植苗更新尾巨桉人工林的灌木层、草本层及枯落物层的生物量均低于萌芽更新^[11]。有研究发现,尾巨桉人工林更新后5年,植苗林的草本层和灌木层的物种丰富度均大于萌芽林,草本层植物的 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数以植苗林为最高,而在灌木层则以萌芽林为最高^[12]。

在我国南方,大面积桉树人工林是由马尾松(*Pinus massoniana*)林改造而来的。目前虽然已有一些关于桉树人工林不同更新方式对林下植被的影响研究,但还缺乏桉树林与马尾松林的比较,仍不能准确评价桉树林取代马尾松林后不同更新方式对林下植被多样性的影响。本研究采用空间代替时间结合成对比较法,研究桉树林取代马尾松林后不同更新方式(植苗和萌芽)下林下植物多样性的特征及变化规律,分析林下植物组成及多样性与土壤因子之间的关系,以期揭示桉树人工林不同更新方式对林下植物多样性的影响机制,为我国桉树人工林可持续经营及环境风险评估提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于中国南部广西壮族自治区,包含南宁(108°02′ E-108°16′ E,22°36′ N-22°43′ N)和钦

州(108°36′ E-108°43′ E,21°48′ N-21°57′ N)两个市。地形以低山丘陵为主,海拔 250-400 m。属于亚热带季风气候,夏季高温多雨,冬季温暖少雨,年降水量多在 1 300 mm 以上,由北向南递增;年平均温度约 22 °C,相对湿度约为 80%。土壤类型以砖红壤为主。地带性植被为热带季雨林,多数季雨林经长期破坏后,天然更新成马尾松林。20 世纪 80 年代后,随着桉树良种选育和无性繁殖技术取得重大突破,大面积马尾松林被桉树林取代,桉树人工林面积迅速扩大。

1.2 样地设置

2022 年 7 月,采用空间代替时间结合成对比较法,分别在钦州选择植苗更新桉树林(EP_RS)、马尾松林(PM_QZ)样地,在南宁选择萌芽更新桉树林(EP_RC)、马尾松林(PM_NN)样地,在各样地中选择坡度、坡向、立地条件相对一致的典型区域分别设置 5 块 20 m×20 m 的固定样方,即每种林分设 5 个重复,样方间隔 20 m 以上。

所选桉树林均为从马尾松次生林转变而来的,造林树种均为尾巨桉。其中南宁桉树人工林为萌芽更新的林分,于 2014 年春季植苗造林、2019 年采伐后萌芽,造林时机耕整地,施基肥 250 g/株(N:P:K=8:8:4),株行距 3 m×2 m,造林密度 1 664 株/hm²;2020-2022 年每年春季追肥,每株施桉树专用肥 350 g(N:P:K=15:6:9),施肥前进行人工砍草抚育,将所有灌草从基部砍倒,就地放置于林地。钦州桉树人工林为植苗更新的林分,于 2019 年春季造林,营林措施、株行距、造林密度、基肥和追肥用量、林下抚育措施与南宁桉树林一致。调查、采样时,桉树平均胸径 7-10 cm,树高 8-12 m,郁闭度 38%-40%;马尾松平均胸径 10-13 cm,树高 11-14 m,郁闭度 35%-40%。

1.3 样地调查

在桉树人工林及马尾松林中的每块 20 m×20 m 样方随机设置 3 个 5 m×5 m 的小样方,用于灌木层、草本层植物的调查,记录林下植物的种名、株数、高度、盖度等。

在林下植被群落调查的同时,在每块 20 m×20 m 样方中心以及距离样方中心 9-10 m 处,每隔 45°设置一个采样点,共 9 个采样点,用内径为 5 cm 的不锈钢土钻采集 0-10 cm 的土样,去除植物根系及石砾,混合成一个样品后过 2 mm 孔径筛,风干用于测定土壤理化性质。土壤含水量(Soil Moisture Con-

tent, SMC) 采用烘干法测定, 土壤容重 (Soil Bulk Density, SBD) 采用环刀法测定。土壤 pH 值采用 pH 计 (Starter2100, Ohaus, USA) 测定 (土: 水 = 1: 2.5, W/V), 土壤有机质 (Soil Organic Matter, SOM) 采用 $K_2Cr_2O_7 - H_2SO_4$ 外加热法测定, 全氮 (Total Nitrogen, TN) 采用连续流动分析仪 (AA3, Bran Luebbe 公司) 测定, 全磷 (Total Phosphorus, TP) 采用 $HClO_4 - H_2SO_4$ 钼锑抗比色法测定, 全钾 (Total Kalium, TK) 采用火焰光度计法测定^[13]。

1.4 数据分析

① 林下植物多样性指数的计算公式^[14] 如下所示。

物种丰富度 (R): $R =$ 调查样方内出现的物种数, (1)

$$\text{Shannon-Wiener 指数}(H): H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i, \quad (2)$$

$$\text{Simpson 指数}(D): D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2, \quad (3)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数}(J): J = \frac{H}{\ln S}, \quad (4)$$

式中, S 为样方出现的物种数, $p_i = n_i / N_i$, n_i 为样方内某物种的个体数量, N_i 为样方内总个体数。

② 采用每种林下植物物种的重要值 (Importance Value, IV) 来表征其在相应群落中的优势度大小, 计算方法如下所示^[15]。

灌木层 (或草本层) 物种的重要值:

$$IV = 100\% \times (Ra + Rp + Rc) / 3, \quad (5)$$

式中, Ra 为相对多度, 为样方中某个种的个体数占全部种的个体总数的百分比; Rp 为相对频度, 为样方中某个种出现的频度占全部种的频度的百分比; Rc 为相对盖度, 为样方中某个种的盖度占全部种的盖度的百分比。

③ 采用独立样本 T 检验分别对植苗、萌芽更新桉树人工林及马尾松林下植物多样性、土壤理化性质的差异性进行检验。采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 检验不同林分林下植物多样性、土壤理化性质的差异显著性, 采用最小显著性差异法 (Least Significant Difference, LSD) 进行多重比较, 显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。以上分析采用 SPSS 19.0

(SPSS, Inc, Chicago, IL) 运行。数据绘图用 Sigmaplot 11.0、Origin 2021 软件完成。在软件 Canoco 5.0 中采用冗余分析 (Redundancy Analysis, RDA) 确定林下植物群落组成变异的主要因子及其解释率。

2 结果与分析

2.1 不同更新方式对桉树人工林林下植物的科、属、种数量的影响

4 种林分林下共监测到维管束植物 121 种, 隶属 49 科 99 属。其中灌木层植物有 35 科 [图 1(a)], 以大戟科 (Euphorbiaceae)、茜草科 (Rubiaceae)、樟科 (Lauraceae)、山茶科 (Theaceae) 植物为主; 草本层有 18 科, 以禾本科 (Gramineae) 和菊科 (Asteraceae) 植物为主。在灌木层中, 桉树林取代马尾松林后, 植苗更新林分林下灌木层的科数没有变化 [图 1(a)]。而萌芽更新林分林下灌木层的科数下降 25.00%。植苗更新桉树林灌木层植物的科数比萌芽更新林提高 16.67%。在草本层中, 桉树林取代马尾松林后, 植苗更新林分的科数降低 9.09%。萌芽更新林分的科数提高 33.33%。萌芽更新桉树林草本层植物的科数比植苗更新林提高 20.00%。

4 种林分林下灌木层植物有 65 属 [图 1(b)], 草本层有 36 属。在灌木层中, 桉树林取代马尾松林后, 植苗更新林分的属数没有变化; 而萌芽更新林分的属数下降 33.33%。植苗更新桉树林灌木层植物的属数比萌芽更新林提高 20.83%。在草本层, 桉树林取代马尾松林后, 植苗更新林分的属数提高 6.25%, 萌芽更新林分的属数提高 28.57%。萌芽更新桉树林草本层植物的属数比植苗更新林提高 5.88%。

4 种林分林下灌木层植物有 83 种 [图 1(c)], 草本层有 38 种。在灌木层, 桉树林取代马尾松林后, 植苗更新林分的物种数增加 16.67%; 而萌芽更新林的种数下降 31.71%。植苗更新桉树林灌木层植物的种数比萌芽更新林提高 25.00%。在草本层, 桉树林取代马尾松林后, 植苗更新林分的种数提高 18.75%, 萌芽更新林的种数提高 42.86%。其中, 萌芽更新桉树林草本层植物的种数比植苗更新林提高 5.26%。表明桉树林取代马尾松林后, 两种更新方式均能提高草本层植物的物种数量。

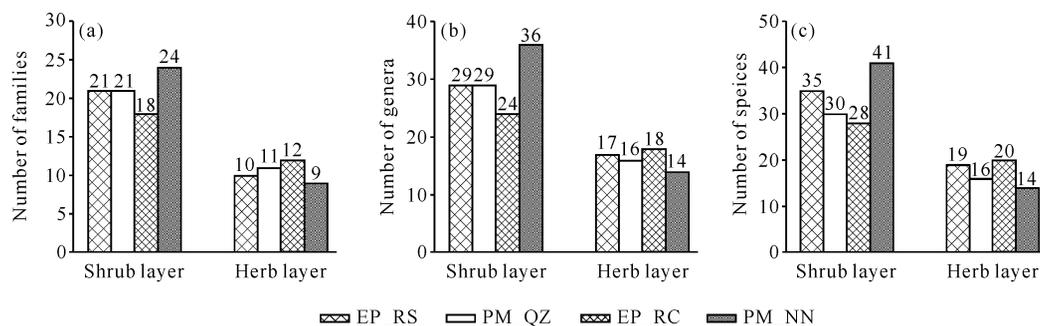


图1 不同林分林下灌木层和草本层植物的科、属、种数量

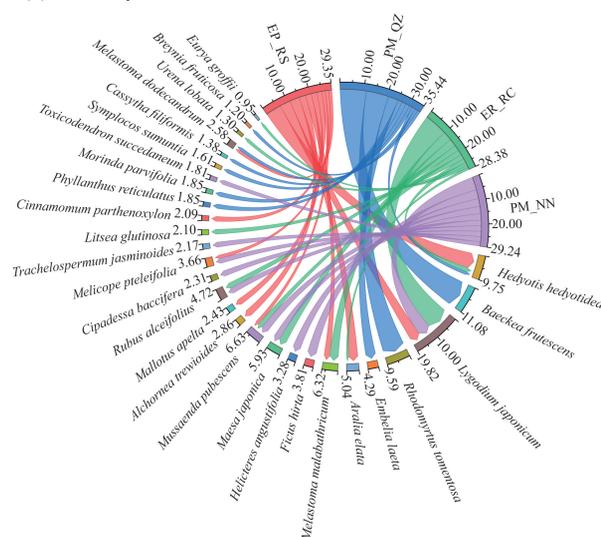
Fig. 1 Number of families, genera and species in the understory shrub layer and the herb layer of different stands

2.2 不同更新方式对桉树人工林林下植物物种组成及重要值的影响

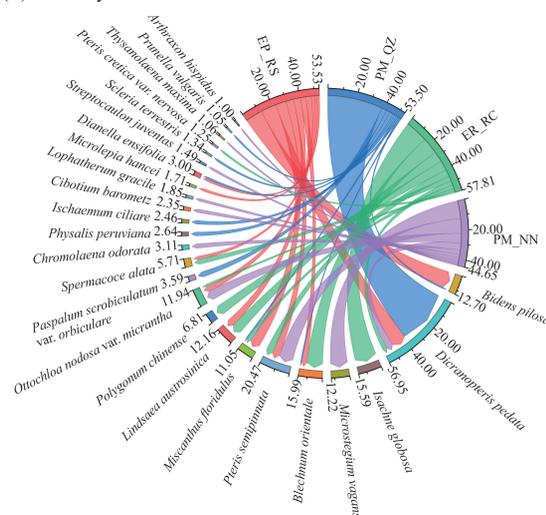
在灌木层,钦州马尾松林林下植物以岗松(*Baeckea frutescens*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、酸藤子(*Embelia laeta*)、小果叶下珠(*Phyllanthus reticulatus*)、鸡眼藤(*Morinda parvifolia*)为优势种,重要值分别为11.08%、9.59%、4.29%、1.85%、1.85%;桉树林取代马尾松林后优势种组成发生了显著变化,以牛白藤(*Hedyotis hedyotidea*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)、椴木(*Aralia elata*)、红背山麻秆(*Alchornea trewioides*)、野牡丹(*Melastoma malabathricum*)为优势种,重要值分别为6.64%、4.51%、4.11%、2.86%、2.49% [图2(a)]。南宁马尾松林林下灌木层植物以海金沙、粗叶榕(*Ficus hirta*)、山芝麻(*Helicteres angustifolia*)、玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、杜荃山(*Maesa japonica*)为优势种,重要值分别为5.49%、3.81%、3.28%、3.05%、2.68%;桉树林取代马尾松林后,优势种为海金沙(9.82%)、野牡丹(3.83%)、杜荃山(3.25%)、粗叶悬钩子(*Rubus alceifolius*, 2.30%)、玉叶金花(2.12%),其中海金沙、玉叶金花、杜荃山为共优势种[图2(a)]。

在草本层,4种林分以芒萁(*Dicranopteris pedata*)为共优势种[图2(b)]。钦州马尾松林林下植物以芒萁、圆果雀稗(*Paspalum scrobiculatum* var. *orbiculare*)、灯笼果(*Physalis peruviana*)、细毛鸭嘴草(*Ischaemum ciliare*)、高秆珍珠茅(*Scleria terrestris*)为优势种,重要值分别为38.42%、3.59%、2.64%、2.46%、1.34%;桉树林取代马尾松林后,以鬼针草(*Bidens pilosa*)、芒萁、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、半边旗(*Pteris semipinnata*)、华南鳞始蕨(*Lindsaea austrosinica*)为优势种,重要值分别为

(a) Shrub layer



(b) Herb layer



In the figure, just the top 10 species of each stand are listed.

图2 不同林分林下灌木层和草本层主要物种组成及重要值

Fig. 2 Main species compositions and important values of understory shrub layer and the herb layer in different stands 11.83%、10.78%、7.48%、5.34%、4.91%。南宁马尾松林林下植物以蔓生莠竹(*Microstegium vagans*)、半边旗、小花露籽草(*Ottlochloa nodosa* var.

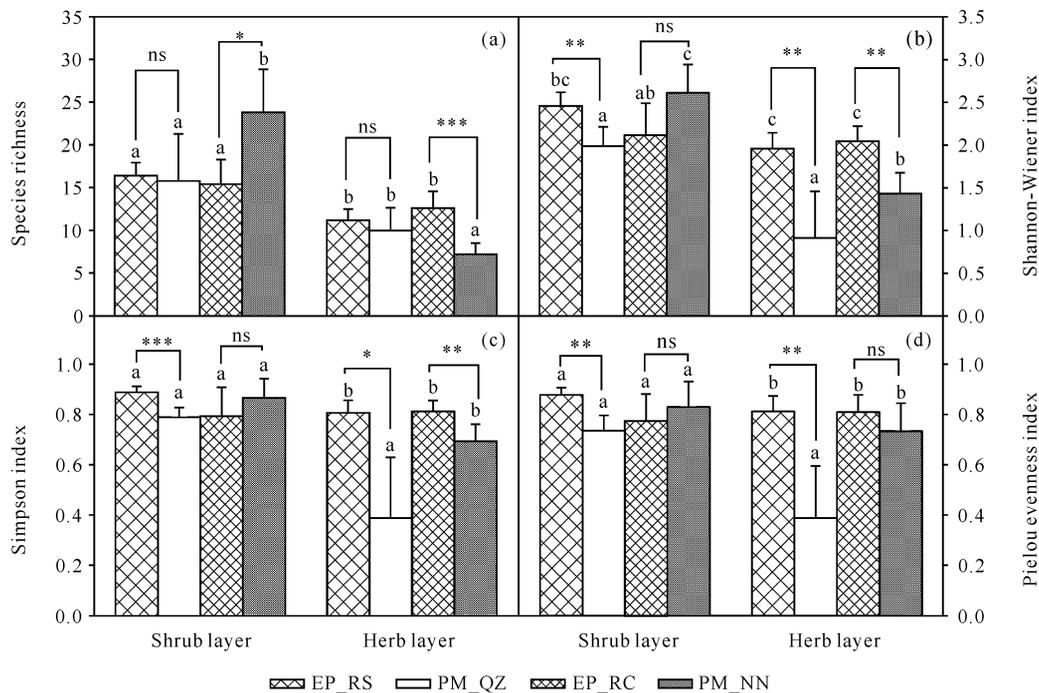
micrantha)、芒萁、飞机草(*Chromolaena odorata*)为优势种,重要值分别为12.22%、10.24%、6.60%、4.73%、3.11%;桉树林取代马尾松林后,以柳叶箬(*Isachne globosa*)、乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、华南鳞始蕨、火炭母(*Polygonum chinense*)、半边旗为优势种,重要值分别为15.90%、11.49%、7.25%、6.81%、4.89%。

2.3 不同更新方式对桉树人工林林下植物多样性的影响

在灌木层中,桉树林取代马尾松林后,植苗更新桉树林的物种丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数和Pielou均匀度指数均有所提高,除物种丰富度外,其余3种多样性指数极显著提高(图3);萌

芽更新桉树林的4种植物多样性指数均降低,其中,物种丰富度显著降低[图3(a)],而Shannon-Wiener指数、Simpson指数和Pielou均匀度指数均无显著差异[图3;(b)(c)(d)]。植苗更新桉树林与萌芽更新桉树林灌木层4种植物多样性指数均无显著差异。

在草本层中,桉树林取代马尾松林后,植苗更新桉树林的4种植物多样性指数均提高,除物种丰富度外,其余3种多样性指数提高幅度达到显著或极显著水平;萌芽更新桉树林的4种植物多样性指数均提高,除Pielou均匀度指数外,其余指数提高的幅度均达到极显著水平(图3)。植苗更新桉树林与萌芽更新桉树林草本层4种植物多样性指数均无显著差异。



Different lowercase letters indicate significant difference of diversity index among different stands ($P < 0.05$). * indicates significant difference at $0.01 < P < 0.05$; ** indicates significant difference at $0.001 < P < 0.01$; *** indicates significant difference at $P < 0.001$; ns indicates not significant.

图3 不同林分林下灌木层和草本层植物的多样性指数

Fig. 3 Diversity index of plants in understory shrub layer and the herb layer of different stands

2.4 不同林分灌木层和草本层植物物种组成与土壤环境因子的冗余分析

RDA结果显示,第一轴和第二轴累计能解释林下灌木层植物物种组成变异的23.47%[图4(a)]。其中,不同更新方式的桉树人工林灌木层植物物种组成与土壤pH值和TK呈正相关关系,与土壤TN、TP、SMC、SOM和SBD呈负相关关系。南宁马尾松林灌木层植物组成、钦州马尾松林灌木层植物组成均与土壤TN、TP、SMC、SOM和SBD呈正相关关系,

与土壤pH值和TK呈负相关关系。结合表1可知,SMC和TN含量是影响灌木层植物组成的主要环境因子。

图4(b)表明,第一轴和第二轴累计方差解释率为27.57%。其中,植苗更新桉树林林下草本层植物物种组成与土壤pH值和TK呈正相关关系,但与TN、TP、SMC、SOM和SBD呈负相关关系。萌芽更新桉树林林下草本层植物物种组成与土壤pH值、TP和TK呈正相关关系,但与土壤TN、SMC、SOM

和 SBD 呈负相关关系。钦州马尾松林下草本层植物组成与土壤 TN、SMC、SBD 和 SOM 呈正相关关系，但与土壤 TP、pH 值和 TK 呈负相关关系。南宁马尾松林下草本层植物组成与土壤 TN、TP、SMC、

SOM 和 SBD 呈正相关关系，但与土壤 pH 值和 TK 呈负相关关系。结合表 1 的解释率显著性说明土壤 pH 值、TN、TP 含量是影响草本层植物组成的主要环境因子。

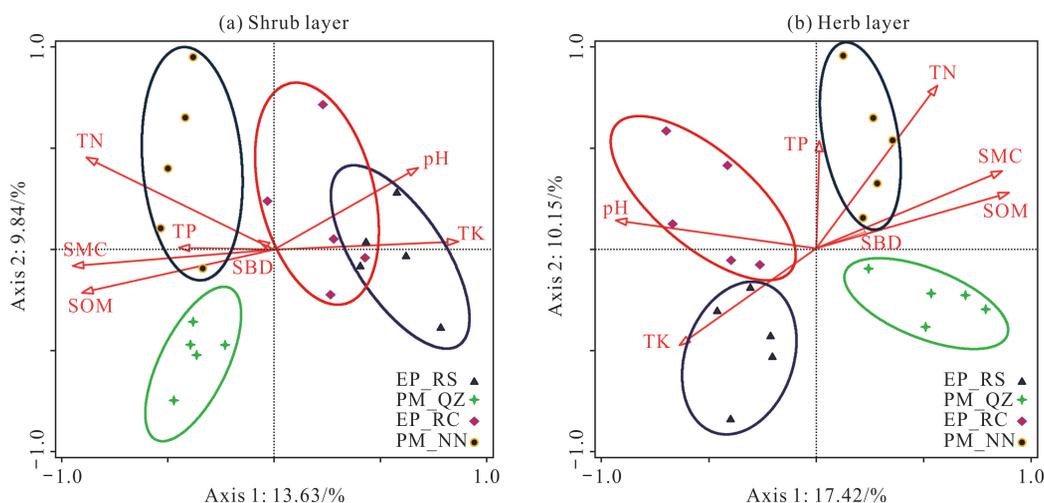


图 4 不同林分林下灌木层和草本层植物物种组成与土壤理化性质的冗余分析

Fig. 4 Redundancy analysis of plant species compositions and soil physicochemical properties in understory shrub layer and the herb layer of different stands

表 1 灌木层和草本层植物物种组成与土壤理化性质的 RDA 解释率和显著性检验

Table 1 RDA interpretation rate and significance test of plant species compositions in the shrub layer and the herb layer and soil physicochemical properties

层次 Layer	环境因子 Environmental factors	解释率/% Interpre- tation rate/%	伪 F 统计量 Pseudo-F statistic	P
Shrub layer	SMC	12.8	2.6	0.002
	TN	9.5	2.1	0.006
	TP	6.0	1.3	0.102
	pH value	5.2	1.2	0.256
	SBD	5.1	1.1	0.284
	TK	3.8	0.8	0.666
	SOM	3.2	0.7	0.804
	Herb layer	SMC	5.8	1.4
TN		10.0	2.3	0.002
TP		6.6	1.6	0.032
pH value		15.9	3.4	0.002
SBD		5.5	1.4	0.120
TK		4.0	1.0	0.484
SOM		2.0	0.5	0.966

3 讨论

研究人工林林下植物多样性的维持机制有利于了解森林生态系统的功能及其稳定性^[16]。本研究发现，桉树林取代马尾松林后，在灌木层，桉树植苗更新林分的物种数提高了 16.67%，并显著提高了 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数；而萌芽更新林分的科、属、种数则分别下降了 25.00%、33.33%、31.71%，4 种多样性指数均降低，且物种丰富度降低幅度达到显著水平。在草本层，桉树林取代马尾松林后，桉树林两种更新方式均能提高林下植物属、种数及其多样性，以萌芽更新方式提高的幅度最大。这可能是由于树种转变后，植苗更新方式下，人工挖坎及扩坎抚育对林地的适度干扰促进了林下木本植物繁殖体的萌生，使得植苗更新方式比萌芽更新方式更有利于灌木层植物物种的恢复和多样性的维持^[17,18]，而萌芽更新方式下林地的低干扰更有利于草本植物的繁殖和生长^[19,20]。

桉树林取代马尾松林后，无论是植苗更新还是萌芽更新，林下植物群落的优势物种组成均发生了显著变化，且外来入侵植物在群落中占据一定优势。这与林分冠层结构、桉树经营过程中机耕整地、施肥、生境、更新方式等因子及其相互作用有关^[19]。林木冠层结构及其所形成的光环境会直接或间接地对林下

植物的组成及多样性产生影响^[21]。朱宏光等^[12]研究发现,冠层透光系数是导致桉树林与灌丛群落植物种类组成分异的最重要的因子,微生境的变化导致不同更新方式巨尾桉(*E. grandis* × *E. urophylla*)林下植物种类组成的变化。有研究发现全垦植苗更新尾桉林分林下植物 Simpson 指数、Shannon-wiener 指数、Hill 多样性指数、均匀度指数、物种丰富度均比萌芽更新林分低,在密度为 1 110 - 2 100 株/hm²内,萌芽更新尾桉林分林下植物 Simpson 指数、Shannon-wiener 指数、Hill 多样性指数、均匀度指数、物种丰富度随萌芽保留密度的增加而略有增加^[22]。

段文军等^[23]研究发现,林下透光率和土壤水分是尾桉人工林林下植物多样性的主要影响因素。本研究中,土壤含水量、全氮含量是影响灌木层植物组成的主要环境因子,不同更新方式桉树人工林灌木层物种组成与土壤含水量、全氮含量呈显著负相关,可见在桉树人工林中主要分布着耐受土壤低含水量、低氮含量的木本植物。土壤 pH 值、全氮和全磷含量是影响草本层植物组成的主控因子,与王媚臻等^[24]的研究结果相似。李婷婷等^[25]通过对人工林林下植物多样性和土壤养分间的关系调查研究发现,土壤有机质、速效磷是不同人工林林下灌木层物种多样性产生差异的主要因素,全磷、速效磷则是不同人工林林下草本层物种多样性产生差异的主要因素。Zhou 等^[26]研究发现,随着桉树连栽代次的增加,与碳、磷循环相关的土壤养分含量的变化及土壤总氮、有效磷含量的降低导致林下植物群落物种组成、结构和植物多样性发生变化。可见,桉树林取代马尾松林后,在不同的更新方式下,林分土壤理化性质的变化导致了林下植被物种组成的显著变化。

4 结论

桉树取代马尾松造林,林下植物群落优势物种组成发生了显著变化,植苗更新均能提高灌木层、草本层的物种数,并显著提高灌木层、草本层物种 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数;而萌芽更新则能降低灌木层物种数和多样性指数,显著提高草本层物种丰富度、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数。植苗更新更有利于桉树林灌木层植物物种的恢复和多样性的维持,萌芽更新则更有利于草本层植物物种的恢复和多样性的维持。土壤含水量和全氮是影响 4 种林分灌木层植物物种组成的主要影响因子,土壤 pH 值、全氮和全磷是影响 4

种林分草本层植物物种组成的主要影响因子。在林分转变和经营时,可根据实际采用不同的更新方式恢复林下灌草植物的丰富度和多样性,实现桉树人工林的可持续经营。

参考文献

- [1] 陈秋海,周晓果,朱宏光,等. 桉树与红锥混交对土壤养分及林下植物功能群的影响[J]. 广西植物, 2022, 42(4):556-568.
- [2] LI X K, LI Y N, ZHANG J, et al. The effects of forest thinning on understory diversity in China: a meta-analysis [J]. Land Degradation and Development, 2020, 31(10):1225-1240.
- [3] 甄倩,王百田,赵耀,等. 基于土壤理化性质和植物多样性的晋西黄土区人工林质量评价[J]. 中国水土保持科学, 2020, 18(4):12-20.
- [4] 张柳桦,齐锦秋,李婷婷,等. 林分密度对新津文峰山马尾松人工林林下物种多样性和生物量的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(15):5709-5717.
- [5] 胡延辰,张晓林,韩晓义,等. 蒙古栎次生林的生长更新与林下植被多样性对林分密度的响应[J]. 应用生态学报, 2022, 33(3):727-732.
- [6] 张洋洋,周清慧,许骄阳,等. 林龄对马尾松人工林林下植物与土壤种子库多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2021, 30(11):2121-2129.
- [7] 温远光,周晓果,喻素芳,等. 全球桉树人工林发展面临的困境与对策[J]. 广西科学, 2018, 25(2):107-116, 229.
- [8] 李朝婷,周晓果,温远光,等. 桉树高代次连栽对林下植物、土壤肥力和酶活性的影响[J]. 广西科学, 2019, 26(2):176-187.
- [9] 杨卫星,庞赞松,银彬吾,等. 桂西南 2 种更新方式尾桉人工林生长特性的比较[J]. 广西林业科学, 2018, 47(1):47-51.
- [10] 叶绍明,郑小贤,谢伟东,等. 尾桉萌芽更新不同密度处理对林分初期生长的影响[J]. 林业资源管理, 2007(3):94-97.
- [11] 叶绍明,郑小贤,谢伟东,等. 萌芽更新与植苗更新对尾桉人工林收获的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2007(3):43-46.
- [12] 朱宏光,熊江波,尤业明,等. 不同更新方式巨尾桉林下植物群落变化及其环境解释[J]. 广西科学, 2014, 21(5):469-476.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [14] 李博. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [15] MAGURRAN A E. Ecological diversity and its measurement [M]. Princeton: Princeton University Press,

- 1988.
- [16] 黄润霞,徐明锋,刘婷,等. 亚热带5种森林类型林下植物物种多样性及其环境解释[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2020,40(2):53-62.
- [17] 闫玮明,孙冰,裴男才,等. 粤北阔叶人工林和次生林植物多样性与土壤理化性质相关性研究[J]. 生态环境学报,2019,28(5):898-907.
- [18] ZHOU X G,ZHU H G,LI X Q,et al. Effects of second rotation seedlings and coppice on understory vegetation and timber production of *Eucalyptus* plantations [J]. Journal of Tropical Forest Science,2017,29(1):54-68.
- [19] ZHOU X G,ZHU H G,WEN Y G,et al. Effects of understory management on trade-offs and synergies between biomass carbon stock,plant diversity and timber production in *Eucalyptus* plantations [J]. Forest Ecology and Management,2018,410:164-173.
- [20] 温远光,刘世荣,陈放. 连栽对桉树人工林下物种多样性的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(9):1667-1671.
- [21] 区余端,苏志尧. 粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态[J]. 生态学报,2012,32(18):5637-5645.
- [22] 叶绍明. 广西桉树工业人工林经营模式研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [23] 段文军,李达,李冲. 5种不同林龄尾巨桉人工林林下植物多样性及其影响因素分析[J]. 生态环境学报,2022,31(5):857-864.
- [24] 王媚臻,毕浩杰,金锁,等. 林分密度对云顶山柏木人工林林下物种多样性和土壤理化性质的影响[J]. 生态学报,2019,39(3):981-988.
- [25] 李婷婷,唐永彬,周润惠,等. 云顶山不同人工林林下植物多样性及其与土壤理化性质的关系[J]. 生态学报,2021,41(3):1168-1177.
- [26] ZHOU X G,ZHU H G,WEN Y G,et al. Intensive management and declines in soil nutrients lead to serious exotic plant invasion in *Eucalyptus* plantations under successive short-rotation regimes [J]. Land Degradation and Development,2020,31(3):297-310.

Effects of Different Regeneration Methods on Understory Plant Diversity after *Eucalyptus* Replaced *Pinus massoniana*

CHEN Qiu hai¹, WEN Yuanguang¹, ZHOU Xiaoguo^{1**}, WANG Lei², SUN Dongjing¹, HUANG Xuguang³, TANG Li³, XU Junmo¹, HUANG Yongjie¹, DENG Shaohong¹

(1. Institute of Eco-Environment Research, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

Abstract: In order to explore the effects of different regeneration methods (seedling planting and germination) on the diversity of understory plants after *Eucalyptus* plantations replaced *Pinus massoniana* plantations, the spatial instead of temporal paired comparison method was used to investigate the understory plant community and determine the physical and chemical properties of soil, and analyze the species composition, importance value and diversity characteristics of the understory shrub layer in different stands. The results showed that: ① There are 49 families, 99 genera and 121 species of understory plants in the four stands, among them, there are 83 species, 65 genera and 35 families in the shrub layer, and 38 species, 36 genera and 18 families in the herb layer. After the *Eucalyptus* plantations replaced the *P. massoniana* plantations, the species composition of the understory plant community changed significantly under the seedling regeneration and germination regeneration. ② After *Eucalyptus* plantations replaced *P. massoniana* plantations, *Eucalyptus* plantations regenerated with seedling planting significantly increased Shannon-Wiener index, Simpson index and Pielou evenness index in the shrub layer and the herb layer; the species richness of the shrub layer was significantly

decreased in plantations regeneration stand, but species richness, Shannon-Wiener index and Simpson index of the herb layer was significantly increased. The seedling regeneration method is beneficial to the restoration of shrub layer species and the maintenance of diversity in *Eucalyptus* forest. The germination regeneration method is more conducive to the restoration of herbaceous plant species and the maintenance of diversity.

③ Soil Moisture Content (SMC) and Total Nitrogen (TN) were the main factors affecting the species composition of shrub layer plants in the four stands, Soil pH value, TN and Total Phosphorus (TP) were the main factors affecting the species composition of herb layer plants in the four stands. In the transformation and management of plantations, different renewal methods can be used to restore the species richness and diversity of understory shrubs and grasses in combination with the actual situation, so as to realize the sustainable management of *Eucalyptus* plantation.

Key words: *Eucalyptus* plantation; species composition; plant diversity; seedling regeneration; germination regeneration

责任编辑: 梁 晓



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>