

网络出版时间:2020-03-13 16:40

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.09.007

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.s.20200312.1021.032.html>

不同造林模式对桉树人工林林下 植物物种多样性的影响

庞圣江¹, 张 培¹, 贾宏炎^{1,2}, 杨保国¹, 陈健波³, 郭东强³

(1 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600;

2 广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站, 广西 凭祥 532600; 3 广西林业科学研究院, 广西 南宁 530001)

【摘 要】 【目的】研究不同造林模式下桉树人工林的植物多样性特征及其与林分环境因子的相关性, 为探寻桉树人工林科学合理的栽培模式及可持续经营提供理论依据。【方法】以广西大青山林区桉树人工林为研究对象, 采用典型的样地调查法, 在 5 种造林模式的桉树林地(桉树纯林、桉树×降香黄檀、桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林)中各设置 6 块样地, 每块样地大小为 20 m×30 m, 对各样地 3 个小样方(5 m×5 m)内植物群落灌木层和草本层的物种组成、重要值、多样性指数及其与环境因子的相关性进行研究。【结果】5 种造林模式的桉树人工林中共出现植物 42 科 68 属 76 种, 其中 15 种灌木和 18 种草本植物占据优势地位。不同造林模式的桉树人工林植物种类组成及分布存在较大差异, 桉树×望天树(10 种)、桉树×格木(11 种)和桉树×红椎(10 种)混交林的灌木优势种类明显多于桉树纯林(6 种)、桉树×降香黄檀混交林(7 种), 而草本植物优势种类在不同造林模式桉树人工林间差异不明显, 均介于 12~14 种。5 种造林模式的桉树人工林下植物均匀度指数在灌木层和草本层均无显著差异($P>0.05$), 而 Margalef 丰富度指数、Simpson 生态优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数在灌木层表现为桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林大于桉树纯林、桉树×降香黄檀混交林, 在草本层则与之相反。林分环境因子对林下植物多样性的影响较大, 特别是林分郁闭度和土壤含水率对植物多样性有显著影响($P<0.05$)。【结论】不同造林模式对桉树人工林下植物物种多样性有显著影响, 综合比较认为桉树与望天树、格木和红椎混交造林更具优势。

【关键词】 桉树人工林; 植物多样性; 造林模式; 森林经营

【中图分类号】 S718.5

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2020)09-0044-09

Effects of different afforestation modes on diversity of undergrowth plants in *Eucalyptus* plantations

PANG Shengjiang¹, ZHANG Pei¹, JIA Hongyan^{1,2}, YANG Baoguo¹,
CHEN Jianbo³, GUO Dongqiang³

(1 Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry Sciences, Pingxiang, Guangxi 532600, China;

2 Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang, Guangxi 532600, China;

3 Guangxi Forestry Science Research Institute, Nanning, Guangxi 530001, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the characteristics of plants diversity and its correlations with forest habitat factors in different afforestation modes to provide basis for scientific cultivation and sustainable management of *Eucalyptus* plantations. 【Method】 The research employed typical plots to investigate the undergrowth vegetations in the *Eucalyptus* forests with five afforestation modes (mixed forest of *Eucalyptus* and *Dalbergia odorifera*, mixed forest of *Eucalyptus* and *Parashorea chinensis*, mixed forest

【收稿日期】 2019-09-23

【基金项目】 广西创新驱动发展专项“桉树用材林质量精准提升关键技术与示范”(桂科 AA17204087-6)

【作者简介】 庞圣江(1986—), 男, 广西桂平人, 工程师, 主要从事森林培育与生态研究。E-mail: rlxzpang@126.com

【通信作者】 贾宏炎(1968—), 男, 湖南醴陵人, 高级工程师, 主要从事森林培育与生态研究。E-mail: rlxjhy@163.com

of *Eucalyptus* and *Erythrophleum fordii*, mixed forest of *Eucalyptus* and *Castanopsis hystrix*) in the Daqingshan Forest Region in Pingxiang, Guangxi and thirty plots (6 plots in each forest) with area of 20 m×30 m(three plots, 5 m×5 m) were setup. The species composition of every plant community, degree of superiority, diversity index and relation to environmental factors were analyzed. 【Result】 There were 76 species of undergrowth plants belonging to 68 genera and 42 families across *Eucalyptus* plantations, and 15 shrubs and 18 herbs plants occupied the dominant positions. The species composition and distribution were quite different among different afforestation modes. The numbers of shrub dominant species in mixed forest of *Eucalyptus* and *P. chinensis* (10 dominant species), mixed forest of *Eucalyptus* and *E. fordii* (11 dominant species) and mixed forest of *Eucalyptus* and *C. hystrix* (10 dominant species) were larger than that of *Eucalyptus* pure forest (6 dominant species) and mixed forest of *Eucalyptus* and *D. odorifera* (7 dominant species). The number of herb dominant species was not significantly different. There was no significant difference in the evenness index of undergrowth plants among the five afforestation modes ($P>0.05$). The shrub diversity indexes showed the trend that mixed forest of *Eucalyptus* and *P. chinensis*, mixed forest of *Eucalyptus* and *E. fordii* and mixed forest of *Eucalyptus* and *C. hystrix* were larger than *Eucalyptus* pure forest, mixed forest of *Eucalyptus* and *D. odorifera*, while those of the herb layer diversity index were reversed. The forest habitat factors, especially canopy density, soil water content, had significant impact on plant diversity ($P<0.05$). 【Conclusion】 Different afforestation modes had significant impacts on undergrowth plant diversity of *Eucalyptus* plantations, and comprehensive comparison suggested that mixed forest of *Eucalyptus* and *Parashorea chinensis* as well as *Erythrophleum fordii* and *Castanopsis hystrix* were better than pure *Eucalyptus* plantations.

Key words: *Eucalyptus* artificial forest; plant diversity; afforestation mode; forest management

植物多样性是生物多样性在植物中的主要表现形式,为森林植物丰富度及分布状况的重要测量指标^[1]。森林植物丰富多样化,不仅有利于提高自身抵御极端干旱、病虫害等外界干扰的能力及干扰后自我恢复的能力^[2-3],亦有助于群落系统中植物营养元素和土壤肥力的循环利用^[4]。森林植物多样性可直接反映植物群落与生存环境的相互关系,揭示森林生态系统生产力发展水平,是森林生态领域研究的热点内容^[5-6]。

桉树(*Eucalyptus* spp.)为桃金娘科桉属树种的统称,其因具有速生、适应性强等优良特性,已成为我国南方林区重要的外来速生造林树种^[7]。近年来,随着桉树种植业的规模化发展,其造林面积已逾200万 hm^2 ^[8],极大地促进了当地经济发展。然而,人们仅关注桉树人工林的经济收益,却忽视了长期施肥、不合理经营和林木采伐所造成的林地污染、病虫害频发、土壤肥力降低和生物多样性锐减等生态环境问题^[9-10]。尤其是桉树人工林对生物多样性的影响方面,一直是社会和有关学者争论的焦点^[11],大面积连片种植桉树纯林,被认为是造成森林稳定性下降和威胁当地生物多样性的主要原因^[12]。因此,在我国将生态文明建设提升为国家战略的新形

势下,开展桉树种植所引起的群落结构和植物多样性变化方面的研究,对促进桉树种植业健康、高效发展具有重要意义。

本研究以广西凭祥市大青山林区的桉树纯林及桉树×降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)、桉树×望天树(*Parashorea chinensis*)、桉树×格木(*Erythrophleum fordii*)和桉树×红椎(*Castanopsis hystrix*)混交林5种造林模式的桉树人工林为研究对象,调查植物种类组成和群落结构特征,分析比较不同造林模式下桉树人工林林下植物物种多样性和群落间的差异,探讨桉树与珍贵阔叶树种混交造林的林下植物多样性特征,以期探寻合理的桉树种植模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西凭祥市($22^{\circ}04' - 22^{\circ}16' \text{N}$, $106^{\circ}41' - 106^{\circ}48' \text{E}$),为南亚热带季风气候带范围,干湿季差别大,雨季主要集中于4—10月,年均降雨量1450 mm,年均气温22℃。

根据营林生产资料和野外踏查发现,研究区土地利用为马尾松(*Pinus massoniana*)采伐迹地,桉

树造林时间为 2012 年,采用 1 年生实生苗造林,密度为 2 500 株/hm²,主要造林模式包括桉树纯林和桉树×降香黄檀、桉树×望天树、桉树×格木、桉树×红椎(2 桉树 1 珍贵阔叶树种)等,海拔分布 204.4~287.5 m,土壤类型为赤红壤。

1.2 野外调查与取样

2019 年 4 月以来,在广西凭祥市大青山林区相同地点内,选取林分密度和生长环境相似的 5 种造林模式桉树人工林为调查研究对象,样地基本信息详见表 1。采用标准样地调查方法,每种造林模式的林地各设置面积为 600 m²(20 m×30 m)的重复样地 6 个,共调查 30 个标准样地。首先,在调查样

地内进行林木检尺,记录主林层林木种类、数量、胸径、树高、冠幅、枝下高以及郁闭度等指标;其次,在每个样地内沿着对角线两个角和中心点各设置 3 个 25 m²(5 m×5 m)的小样方,共计 90 个小样方,调查灌木层与草本层植物种类、数量、高度、盖度等指标。采用均匀布点的方法,在各调查样地上、中、下坡位选取 3 个土壤取样点,用土壤环刀对 0~20 cm 土层土壤进行取样,测定土壤含水率、密度和孔隙度等指标。同时,记录调查样地的海拔、坡向、坡度和坡位等立地因子,对林地以外的周边植被进行全面踏查。

表 1 不同造林模式桉树人工林样地的基本信息
Table 1 Basic information of sample plots in *Eucalyptus* plantations with different afforestation modes

造林模式 Afforestation modes	树种组成 Species composition	林龄/a Age	郁闭度 Canopy density	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average tree height	海拔/m Altitude	坡位 Slope position	坡向 Slope aspect	坡度/(°) Slope gradient
I	桉树纯林 <i>Eucalyptus</i> pure forest	8	0.78	14.90	15.04	287.5	中上 Upslope and midslope	阳坡 Sunny slope	24
II	桉树×降香黄檀 <i>Eucalyptus</i> and <i>Dalbergia odorifera</i>	8	0.79	7.32	8.84	258.9	中上 Upslope and midslope	阳坡 Sunny slope	28
III	桉树×望天树 <i>Eucalyptus</i> and <i>Parashorea chinensis</i>	8	0.86	10.50	10.86	204.4	中 Midslope	半阳坡 Half-sunny slope	19
IV	桉树×格木 <i>Eucalyptus</i> and <i>Erythrophleum fordii</i>	8	0.89	10.11	9.85	281.8	中上 Upslope and midslope	阳坡 Sunny slope	23
V	桉树×红椎 <i>Eucalyptus</i> and <i>Castanopsis hystrix</i>	8	0.93	13.39	11.82	260.2	中下 Midslope and downslope	半阳坡 Half-sunny slope	22

1.3 数据处理与分析

灌木层和草本层重要值计算公式:
重要值=(相对多度+相对频度)/2。(1)
植物多样性指数的计算公式:
Margalef 丰富度指数(H): $H=(S-1)/\ln N$;
(2)
Simpson 生态优势度指数(D):
 $D=1-\sum_{i=1}^S P_i^2$;
(3)
Shannon-Wiener 多样性指数(H'):
 $H'=-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$;
(4)
Pielou 均匀度指数(J): $J=H'/\ln S$;
(5)
Sorensen 相似性系数(C_s): $C_s=2c/(a+b)$ 。
(6)

式中: S 为调查样方内植物种数, N 为调查样方内所有植物个体总数, P_i 为第 i 种植物个体数量(N_i)占

植物个体总数量(N)的比值; a 和 b 表示仅分布在本群落的植物种, c 表示共同出现植物种。

利用 Excel 2010 与 SPSS 20.0 处理数据,同时,运用单因素方差分析(one-way ANOVA)对不同造林模式的桉树人工林林下植物多样性的差异性进行检验,Spearman 相关系数开展植物多样性指数与林分环境因子相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同造林模式桉树人工林下灌木植物种类组成及重要值

根据对 5 种造林模式桉树人工林的植物群落调查结果可知,所调查的 90 个小样方中共有 42 科 68 属 76 种植物,限于篇幅,仅列出灌木层植物优势种及其重要值,详见表 2。从表 2 可以看出,5 种造林模式的桉树人工林中共有灌木优势植物 15 种,隶属

于 11 科 15 属。其中,桉树纯林中共有灌木植物 6 种,隶属 5 科 6 属,主要优势种包括西南木荷(*Schima wallichii*)、乌桕(*Triadica cochinchinensis*)和银柴(*Aporosa dioica*);桉树×降香黄檀混交林中共有灌木植物 7 种,隶属 5 科 7 属,优势种有西南木荷、乌桕、九节(*Psychotria asiatica*)、粗叶榕(*Ficus hirta*)和算盘子(*Glochidion eriocarpum*)等;桉树×望天树混交林中共有灌木植物 10 种,隶属 7 科 10 属,中平树(*Macaranga denticulata*)、乌桕、银柴和九节等重要值相对较大;桉树×格木混交林中共有灌木植物 11 种,隶属 8 科 11 属,具有一定优势的物种为玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、西南木荷、中平树、算盘子和三桠苦(*Melicope pteleifolia*)等;桉树×红椎混交林中共有灌木植物 10 种,隶属 8 科 10 属,中平树、乌桕、九节和大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)等物种占有一定优势。由此可见,桉

树与望天树、格木和红椎混交造林后灌木层植物优势种类相对较多,但却没有表现较为明显的优势物种。

由表 2 可见,5 种不同造林模式的桉树人工林中,灌木层植物优势种的数量大小依次为桉树×格木混交林>桉树×望天树混交林=桉树×红椎混交林>桉树×降香黄檀混交林>桉树纯林,灌木层共有植物为乌桕和九节;其中乌桕在桉树纯林和桉树×降香黄檀混交林中占有较大优势,在其他 3 种混交林中占据的优势相对较小,揭示桉树与不同珍贵树种混交造林灌木层共有植物优势种群存在差异。5 种造林模式下,大戟科植物分布最为广泛,在调查样地中出现 4 个物种,占灌木层植物优势种的 26.67%,说明大戟科植物在研究区桉树人工林群落发展过程中起到关键作用。

表 2 不同造林模式桉树人工林下灌木植物种类的组成及重要值

Table 2 Shrub layer species composition and important values of *Eucalyptus* plantations with different afforestation modes

物种 Species	科 Family	属 Genus	重要值/% Important value				
			I	II	III	IV	V
西南木荷 <i>Schima wallichii</i>	山茶科 Theaceae	木荷属 <i>Schima</i>	53.27	69.44		18.52	
中平树 <i>Macaranga denticulata</i>	大戟科 Euphorbiaceae	血桐属 <i>Macaranga</i>			18.83	15.46	24.79
乌桕 <i>Triadica cochinchinensis</i>	大戟科 Euphorbiaceae	乌桕属 <i>Triadica</i>	48.64	53.87	19.11	7.74	19.35
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	大戟科 Euphorbiaceae	银柴属 <i>Aporosa</i>	25.59	4.43	23.35		
九节 <i>Psychotria asiatica</i>	茜草科 Rubiaceae	九节属 <i>Psychotria</i>	8.86	43.76	16.62	12.15	21.83
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	紫金牛科 Ardisiaceae	杜茎山属 <i>Maesa</i>				14.93	7.61
算盘子 <i>Glochidion eriocarpum</i>	大戟科 Euphorbiaceae	算盘子属 <i>Glochidion</i>		21.65		16.28	
粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	19.68	46.98	2.54		17.49
粗叶悬钩子 <i>Rubus alceifolius</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>					14.05
三桠苦 <i>Melicope pteleifolia</i>	芸香科 Rutaceae	密荖荚属 <i>Melicope</i>		8.45		23.87	
大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	马鞭草科 Verbenaceae	大青属 <i>Clerodendrum</i>			6.97	3.23	19.72
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	茜草科 Rubiaceae	玉叶金花属 <i>Mussaenda</i>			13.62	19.74	14.05
毒根斑鸠菊 <i>Vernonia cumingiana</i>	菊科 Compositae	斑鸠菊属 <i>Vernonia</i>	4.27		7.93		
金刚藤 <i>Smilax china</i>	菝葜科 Smilacaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>			11.56	3.03	17.18
乌荑莓 <i>Cayratia japonica</i>	葡萄科 Vitaceae	乌荑莓属 <i>Cayratia</i>			2.85	5.26	4.21

注:Ⅰ.桉树纯林;Ⅱ.桉树×降香黄檀混交林;Ⅲ.桉树×望天树混交林;Ⅳ.桉树×格木混交林;Ⅴ.桉树×红椎混交林。表 3、表 4 同。
Note:Ⅰ. *Eucalyptus* pure forest;Ⅱ. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Dalbergia odorifera*;Ⅲ. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Parashorea chinensis*;Ⅳ. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Erythrophleum fordii*;Ⅴ. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Castanopsis hystrix*. The same for Table 3 and Table 4.

2.2 不同造林模式桉树人工林下草本植物种类组成及重要值

由表 3 可知,5 种造林模式的桉树人工林共有草本优势植物 18 种,隶属 13 科 18 属。其中,桉树纯林共有草本植物 12 种,隶属 8 科 12 属,以莠竹草(*Microstegium fasciculatum*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)和粽叶芦(*Thysanolaena latifolia*)为主要优势种,弓果黍(*Cyrtococcum patens*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)、金毛狗(*Cibotium*

barometz)和半边旗(*Pteris semipinnata*)等亦占据一定优势;桉树×降香黄檀混交林共有草本植物 14 种,隶属 10 科 14 属,莠竹草处于绝对优势地位,其重要值高达 38.56%;桉树×望天树混交林中共有草本植物 13 种,隶属 9 科 13 属,以莠竹草、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、弓果黍和华南毛蕨(*Cylosorus parasiticus*)相对占优;桉树×格木混交林共有草本植物 12 种,隶属 8 科 12 属,弓果黍、淡竹叶、半边旗和金毛狗等占据相对较大的优势;桉树×

红椎混交林共有草本植物 13 种,隶属 9 科 13 属,草本优势种以莠竹草、淡竹叶、弓果黍和华南毛蕨为主。

上述研究表明,5 种造林模式的桉树人工林草本植物优势种类差异相对较小,说明桉树纯林与桉

树×乡土珍贵树种混交林的草本植物优势种类差异不明显。在草本植物优势种中,大多数以禾本科和蕨类植物为主,共计出现 14 种,占总物种数量的 77.78%,说明研究区桉树人工林中禾本科和蕨类植物具有较强的适应性。

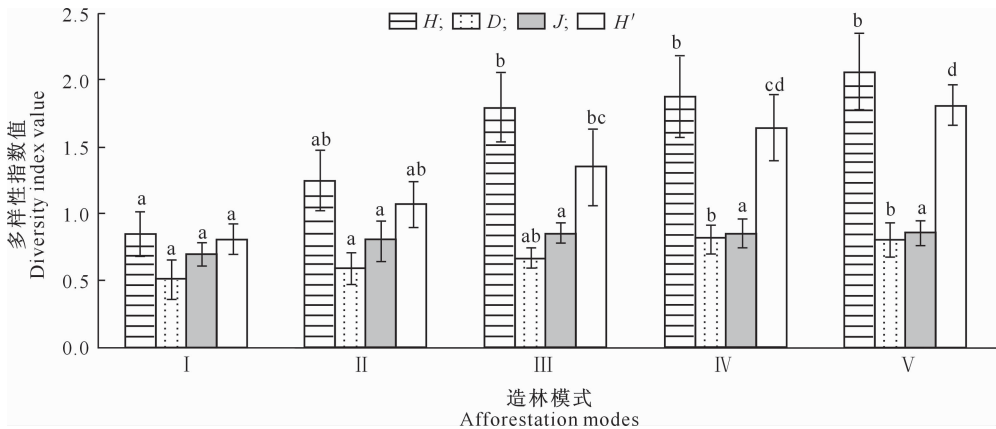
表 3 不同造林模式桉树人工林下草本植物的种类组成及重要值

物种 Species	科 Family	属 Genus	重要值/% Important value				
			I	II	III	IV	V
莠竹草 <i>Microstegium fasciculatum</i>	禾本科 Poaceae	莠竹属 <i>Microstegium</i>	56.84	38.56	13.21	6.35	13.86
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	禾本科 Poaceae	芒属 <i>Miscanthus</i>	14.78	11.43	4.72	2.33	6.58
弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	禾本科 Poaceae	弓果黍属 <i>Cyrtococcum</i>	6.70	2.14	23.68	26.93	33.84
粽叶芦 <i>Thysanolaena latifolia</i>	禾本科 Poaceae	粽叶芦属 <i>Thysanolaena</i>	19.30	7.56			8.53
铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	铁线蕨科 Adiantaceae	铁线蕨属 <i>Adiantum</i>		2.86	6.73		2.30
飞机草 <i>Chromolaena odorata</i>	菊科 Compositae	飞机草属 <i>Chromolaena</i>	2.62		3.58		2.57
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	禾本科 Poaceae	淡竹叶属 <i>Lophatherum</i>	2.04	6.48	21.94	12.09	23.18
半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨属 <i>Pteris</i>	4.74	3.28	7.12	13.87	2.32
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙属 <i>Lygodium</i>	2.15	5.51	4.35	4.68	
铁芒萁 <i>Dicranopteris linearis</i>	里白科 Gleicheniaceae	芒萁属 <i>Dicranopteris</i>	5.97				3.16
荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	禾本科 Poaceae	荩草属 <i>Arthraxon</i>			2.24	4.81	
乌毛蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨属 <i>Adiantum</i>		3.46		2.14	
阔片短肠蕨 <i>Allantodia matthewii</i>	蹄盖蕨科 Athyriaceae	短肠蕨属 <i>Allantodia</i>		4.82		2.68	1.05
浆果薹草 <i>Carex baccans</i>	莎草科 Cyperaceae	薹草属 <i>Carex</i>	1.83	3.12	1.86		
团叶鳞始蕨 <i>Lindsaea orbiculata</i>	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨属 <i>Lindsaea</i>			3.10		2.06
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	金星蕨科 Thelypteridaceae	毛蕨属 <i>Cyclosorus</i>		6.01	12.24	7.28	18.85
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	蚌壳蕨科 Dicksoniaceae	金毛狗属 <i>Cibotium</i>	5.76	8.23		18.05	
山菅兰 <i>Dianella ensifolia</i>	百合科 Liliaceae	山菅属 <i>Dianella</i>	3.82	4.94	6.35	4.69	2.47

2.3 不同造林模式桉树人工林的植物多样性

对 5 种造林模式下桉树人工林的植物 Margalef 丰富度 (H)、Simpson 生态优势度 (D)、Shannon-Wiener 多样性 (H') 和 Pielou 均匀度 (J) 指数的分

析结果表明,该林区桉树人工林植物多样性指数相对较小,仅有桉树×红椎混交林灌木层植物的 H 指数 (2.07) >2 。不同造林模式桉树人工林下灌木层和草本层的植物多样性见图 1 和图 2。



I. 桉树纯林; II. 桉树×降香黄檀混交林; III. 桉树×望天树混交林; IV. 桉树×格木混交林; V. 桉树×红椎混交林。

图柱上标不同小写字母表示不同桉树人工林间差异显著 ($P<0.05$)。图 2 同

I. *Eucalyptus* pure forest; II. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Dalbergia odorifera*; III. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Parashorea chinensis*; IV. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Erythrophleum fordii*; V. Mixed forest of *Eucalyptus* and *Castanopsis hystrix*.

Different lowercase letters indicate significant difference among different *Eucalyptus* plantations ($P<0.05$). The same for Fig. 2

图 1 不同造林模式桉树人工林下灌木层的植物多样性

Fig. 1 Shrub layer diversity of *Eucalyptus* plantation with different afforestation modes

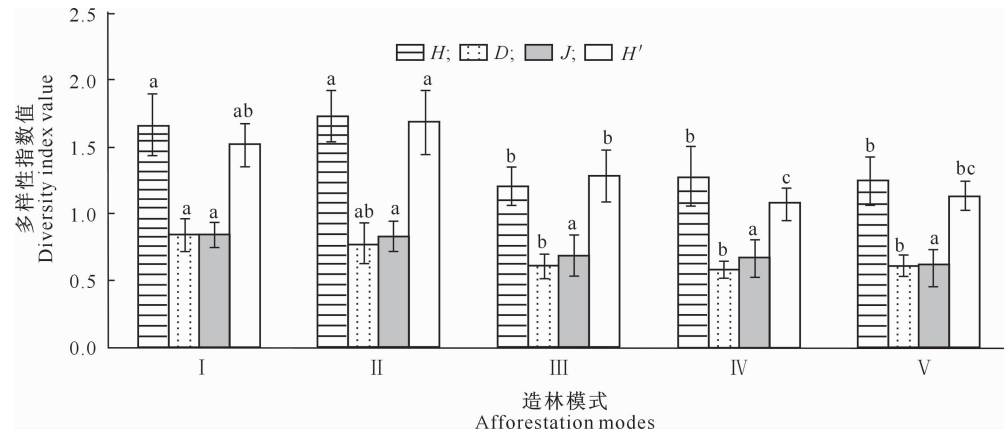


图 2 不同造林模式桉树人工林下草本层的植物多样性

Fig. 2 Herb layer plant diversity of *Eucalyptus* plantation with different afforestation modes

从图 1 可以看出,灌木层植物优势种的 H 、 D 和 H' 指数表现为桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林高于桉树纯林、桉树×降香黄檀混交林, J 指数在不同造林模式桉树人工林间无显著差异($P>0.05$)。从图 2 可知,桉树纯林和桉树×降香黄檀混交林的 H 、 D 和 H' 指数明显高于桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林, J 指数在不同造林模式桉树人工林间差异不显著($P>0.05$)。

综上所述,桉树纯林与桉树×降香黄檀混交林之间,桉树与望天树、格木和红椎混交林之间的植物物种多样性总体差异较小,但前二者与后三者间差异较大;灌木层植物多样性指数总体表现为桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林大于桉树

纯林、桉树×降香黄檀混交林,草本层植物多样性则与之相反。

2.4 不同造林模式桉树人工林的植物群落相似性

从表 4 可知,桉树纯林与桉树×降香黄檀混交林的植物群落相似性较高,相似程度高达 0.685,但二者与桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林的相似性较低,相似程度均小于 0.500;桉树×望天树与桉树×格木和桉树×红椎混交林的相似性均较高,相似程度分别达到 0.704 和 0.679,桉树×格木与桉树×红椎混交林的相似程度为 0.734。可见,桉树纯林、桉树×降香黄檀混交林与桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林在植物种类组成方面存在较大差异。

表 4 不同造林模式桉树人工林的植物群落相似性

Table 4 Similarity coefficients of plant communities of <i>Eucalyptus</i> plantations with different afforestation modes					
造林模式 Afforestation modes	I	II	III	IV	V
I	1				
II	0.685	1			
III	0.431	0.459	1		
IV	0.386	0.473	0.704	1	
V	0.418	0.415	0.679	0.734	1

2.5 不同造林模式桉树人工林下植物多样性与林分环境因子的相关性

对 5 种造林模式的桉树人工林林下植物物种多样性与林分环境因子进行 Spearman 相关性分析,结果见表 5。由表 5 可知,灌木层植物 H 指数与土壤含水率极显著正相关($P<0.01$), D 、 H' 指数与土壤含水率显著正相关($P<0.05$), H 、 D 、 H' 指数与毛管孔隙度显著负相关($P<0.05$); J 指数与林分郁闭度显著正相关($P<0.05$)。另外,草本植物 H 指数与林分郁闭度极显著负相关($P<0.01$),与坡度

和土壤体积质量显著负相关($P<0.05$),与土壤含水率显著正相关($P<0.05$); D 指数与坡度显著正相关($P<0.05$); H' 指数与林分郁闭度极显著负相关($P<0.01$),与坡度、土壤含水率显著正相关($P<0.05$)。从土壤结构性方面来看,桉树与望天树、格木和红椎混交林土壤含水率较桉树纯林和桉树×降香黄檀混交林高,表层土壤(0~20 cm)总孔隙度和毛管孔隙度前者均高于后者。由此可见,在采伐迹地营建的桉树人工林均取得了一定的植被恢复和贮水保土能力,但不同造林模式间有所差异。

上述研究表明,桉树人工林中植物群落所处环境因素的差异对该群落的结构、物种组成及分布状况等有显著影响,从而导致不同造林模式桉树人工林林下植物多样性的差异。

表 5 不同造林模式桉树人工林下植物多样性与林分环境因子之间的相关性

Table 5 Correlations between plant diversity and environmental factors of *Eucalyptus* plantations with different afforestation modes

环境因子 Environmental factor	灌木层 Shrub layer				草本层 Herb layer			
	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>H'</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>H'</i>
海拔 Elevation	0.347	−0.120	0.328	0.235	−0.329	0.236	0.375	0.348
林分郁闭度 Canopy density	0.524	0.539	0.681 *	0.366	−0.762 * *	0.452	0.376	−0.802 * *
坡度 Slope degree	0.583	0.432	0.472	0.584	−0.695 *	0.524 *	−0.548	0.737 *
土壤含水率 Soil moisture content	0.728 * *	0.284 *	0.524	0.689 *	0.563 *	0.283	0.091	0.668 *
土壤体积质量 Soil bulk density	0.171	0.426	0.325	0.242	−0.529 *	−0.248	0.327	0.414
总孔隙度 Total porosity	−0.452	−0.386	0.109	−0.358	−0.574	−0.215	0.247	0.534
毛管孔隙度 Capillary porosity	−0.478 *	−0.449 *	0.000	−0.243 *	0.524	0.437	0.248	0.474
非毛管孔隙度 Non-capillary porosity	0.389	0.471	0.278	0.374	0.577	0.381	0.442	0.473

注: * * 相关性极显著($P<0.01$); * 相关性显著($P<0.05$)。
Note: * * Correlation is significant at the $P<0.01$ level (2-tailed); * Correlation is significant at the $P<0.05$ level (2-tailed).

3 讨 论

5 种造林模式的桉树人工林灌木层植物优势种中,以大戟科植物种类最多、分布范围较广,为桉树人工林群落的重要组成部分,说明桉树人工林内大戟科植物具有较高的资源利用率,适应能力较强。其中,乌桕作为大戟科植物在所有桉树人工林中均有分布,处于优势地位,属于该林区植被恢复过程中较早自然定居而广泛分布的树种,对林分环境具有较大的影响。草本植物种类相对丰富,大多数以禾本科和蕨类植物为主要优势种,表明禾本科和蕨类植物具有较强的适应性,为该林区桉树人工林生态系统的重要组成植物。本研究结果与邓海燕等^[13]对桉树人工林植物群落变化特征的比较研究结果基本一致,原因可能与桉树生长迅速、树冠较小、透光率高,可为植物优势种生长提供良好的水热条件有关。庞圣江等^[14]对本研究中同一林区不同造林模式的西南桦(*Betula alnoides*)人工林植物多样性的研究也得出相似结论,认为林分光照是影响植物优势种类组成、数量和多样性的重要环境因素,资源利用率高、适应性较强的植物优势种在光照充足的林分环境中通常占据优势地位。

本研究发现,5 种造林模式的桉树人工林林下植物优势种类组成存在一定差异,反映了不同树种配置的林分环境形成过程中植物群落结构的变化。桉树纯林和桉树×降香黄檀混交林灌木层植物优势

种类及其数量明显小于桉树与望天树、格木和红椎混交的林分,原因可能是桉树纯林和桉树与生长较慢的降香黄檀混交造林时,上层林木郁闭度相对较低,少数几种喜阳性树种能利用资源迅速发育,形成占据绝对优势地位的灌木群落;桉树与望天树、格木和红椎混交林的林分郁闭度提高,一些适当耐阴的树种出现,因此极大地丰富了灌木层植物的种类。草本植物优势种类及其数量在 5 种造林模式桉树人工林间差异不明显,也与桉树人工林上层林木形成较快的郁闭环境有直接关系,使相对耐荫蔽的禾本科和蕨类植物较早侵入自然定居,从而占据一定的优势地位,这与张卫强等^[15]对桉树人工林植物多样性的研究结论存在相似性。由此可见,桉树人工林早期草本植物群落协调发展比较好,使生态系统的功能得到一定恢复,有效防止了水土流失;但需要合理抚育来促进珍贵树种生长,提高灌草植物种类的组成比例,以有利于桉树与珍贵树种形成健康、稳定的乔灌草多层次群落结构。由于造林前的土地利用方式与人工种植的桉树人工林群落结构和植物多样性密切相关^[16],因此,5 种造林模式的桉树人工林均在马尾松采伐迹地造林,在自然环境、造林密度、林龄和土壤类型等方面基本一致,从而避免了造林前土地利用方式、立地条件和林龄等方面的差异对桉树人工林植物多样性的影响。

本研究中,灌木层植物多样性指数表现为桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林大于

桉树纯林、桉树×降香黄檀混交林,草本层植物多样性则与之相反。说明桉树与望天树、格木和红椎等珍贵树种适当比例混交造林,能够有效地改善林分内光照和水分条件,为灌木层植物提供良好的生长环境,有利于物种丰富度、多样性水平和分布状况的提高,从而使群落维持最大的更新潜力。草本植物处于上层树种和灌木层之下,随着二者遮蔽程度的改变,造成草本植物多样性指数也随之发生变化。本研究发现,5种造林模式桉树人工林间灌木和草本植物群落的 Pielou 均匀度指数均无显著差异,表明该类桉树人工林在植物多样性恢复方面存在的差异,主要是因物种丰富程度的变化而呈现出不同的空间分布格局。

植物群落的相似程度越低,群落间差异性越明显,其生境差异越大^[17-18]。本研究表明,桉树纯林、桉树×降香黄檀混交林与桉树×望天树、桉树×格木和桉树×红椎混交林相似程度较低,揭示二者在光照、水分和温度等环境因子方面存在差异。以往学者研究认为,海拔高度影响水热条件分布,是决定生境差异的主要因子,也是调控植物物种多样性分布格局的重要因子^[19]。然而,本研究中海拔对植物多样性的影响不显著,这可能与研究区域的海拔梯度变化范围较小有关。本研究发现,土壤含水率显著影响着桉树人工林林下植物多样性^[20-21],是桉树人工林植被恢复与重建的关键因子,这与李东海等^[22]对桉树人工林林下植被与土壤物理性质关系的研究结果基本一致。然而,桉树人工林中灌木层和草本层植物多样性的变化,在不同造林模式间存在一定差异,这可能是因为望天树、格木和红椎长势较好,其在土壤表面形成枯落物,更有利于微生物分解形成腐殖质层,提高土壤贮水能力,从而为灌木层植物的生长发育创造了良好条件。桉树纯林和桉树×降香黄檀混交林土壤发育较差,这可能与二者枯落物较少且不易分解,不能尽快形成腐殖质层,土壤贮水能力相对较差有关,也因此导致灌木层植物多样性较小。林分郁闭度也是影响草本植物多样性的重要因子,通常上层树种和灌木郁闭度增大时,可造成林下光照不足而降低草本植物的多样性,客观地反映了光照是影响林下草本种类组成的重要环境因子。可见,研究造林模式对桉树人工林林下植物物种多样性的影响,不能简单地判定植物物种多样性受哪种造林方式的作用,有待根据桉树人工林不同生长发育阶段做进一步研究。

4 结 论

不同造林模式对桉树人工林下植物的物种多样性有显著影响;从桉树林木生长、林下植物的物种组成及其群落特征方面来考虑,桉树与望天树、格木和红椎混交造林更具优势,建议当地适当增加桉树与该类乡土珍贵树种混交造林的面积,这将有利于桉树人工林生态与经济效益兼顾的可持续经营。

[参考文献]

- [1] Duan R Y, Wang C, Wang X A, et al. Differences in plant species diversity between conifer (*Pinus tabulaeformis*) plantations and natural forests in middle of the Loess plateau [J]. Russian Journal of Ecology, 2009, 40(7): 501-509.
- [2] Kennedy T A, Naeem S, Howe K M, et al. Biodiversity as a barrier to ecological invasion [J]. Nature, 2002, 417: 636-638.
- [3] 吕婧娴, 王得祥, 张宋智, 等. 小陇山林区不同密度油松人工林林下物种多样性研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(11): 49-56.
Lü J X, Wang D X, Zhang S Z, et al. Study on the species diversity of undergrowth in the different stand densities of *Pinus tabulaeformis* plantation of Xiaolongshan area [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2010, 38(11): 49-56.
- [4] Tilman D, Wedin D A, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. Nature, 1996, 379: 718-720.
- [5] Ives A R, Carpenter S R. Stability and diversity of ecosystems [J]. Science, 2007, 317: 58-62.
- [6] 黄忠良, 孔国辉, 何道泉. 鼎湖山植物群落多样性的研究 [J]. 生态学报, 2000, 20(2): 193-198.
Huang Z L, Kong G H, He D Q. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(2): 193-198.
- [7] 夏体渊, 段昌群, 张彩仙, 等. 桉树人工林与邻近区域群落土壤肥力研究 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2010, 32(1): 118-123.
Xia T Y, Duan C Q, Zhang C X, et al. A study on the soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantation and their adjacent vegetations [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2010, 32(1): 118-123.
- [8] 刘 涛, 杨民胜, 刘德桃, 等. 桉树人工林土壤养分效应及其评价 [J]. 桉树科技, 2007, 24(1): 31-34.
Liu T, Yang M S, Liu D T, et al. Effects of *Eucalypt* plantation on soil nutrient and its soil fertility evaluation [J]. Eucalypt Science & Technology, 2007, 24(1): 31-34.
- [9] 时忠杰, 张宇南, 何常清, 等. 桉树人工林冠层、凋落物及土壤水文生态效应 [J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1932-1939.
Shi Z J, Zhang N N, He C Q, et al. Eco-hydrological effect of the canopy, litter and soil of a *Eucalyptus* plantation in South

- China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(7): 1932-1939.
- [10] Cornish P M. The effects of logging and forest regeneration on water yields in a moist *Eucalypt* forest in New South Wales, Australia [J]. Journal of Hydrology, 1993, 150(2/3/4): 301-322.
- [11] 温远光, 刘世荣, 陈放, 等. 桉树工业人工林植物物种多样性及动态研究 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(4): 17-22.
Wen Y G, Liu S R, Chen F, et al. Plant diversity and dynamics in industrial plantations of *Eucalyptus* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(4): 17-22.
- [12] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性研究进展 [J]. 热带作物学报, 2001, 22(4): 82-90.
Chen Q B. A review of researches on biodiversity in *Eucalyptus* plantations [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2001, 22(4): 82-90.
- [13] 邓海燕, 胡绍平, 莫晓勇, 等. 桉树人工混交林营造技术研究综述 [J]. 桉树科技, 2017, 34(4): 57-62.
Deng H Y, Hu S P, Mo X Y, et al. Afforestation technology of mixed *Eucalyptus* plantations [J]. Eucalypt Science & Technology, 2017, 34(4): 57-62.
- [14] 庞圣江, 张培, 杨保国, 等. 广西大青山西南桦人工林林下植物多样性与稳定性 [J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(2): 103-107.
Pang S J, Zhang P, Yang B G, et al. Species diversity and community stability of *Betula alnoides* plantations in Daqingshan mountain areas of Guangxi [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2018, 38(2): 103-107.
- [15] 张卫强, 张卫华, 潘文, 等. 桉树林和针阔混交林对植物多样性的影响比较 [J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 122-128.
Zhang W Q, Zhang W H, Pan W, et al. Effects of *Eucalypt* plantation and conifer-broadleaved forest on plant biodiversity [J]. Research of Soil & Water Conservation, 2014, 21(6): 122-128.
- [16] 刘平, 秦晶, 刘建昌, 等. 桉树人工林物种多样性变化特征 [J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2227-2235.
Liu P, Qin J, Liu J C, et al. Comparison of structure and species diversity of *Eucalyptus* community [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(8): 2227-2235.
- [17] 张继义, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 86-92.
Zhang J Y, Zhao H L, Zhang T H, et al. Dynamics of species diversity of communities in restoration processes in Horqin Sandy Land [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(1): 86-92.
- [18] 王健铭, 董芳宇, 巴海·那斯拉, 等. 中国黑戈壁植物多样性分布格局及其影响因素 [J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3488-3498.
Wang J M, Dong F Y, Bahai·Nasina, et al. Plant distribution patterns and the factors influencing plant diversity in the Black Gobi Desert of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 3488-3498.
- [19] Sattler T, Borcard D, Arlettaz R, et al. Spider, bee, and bird communities in cities are shaped by environmental control and high stochasticity [J]. Ecology, 2010, 91(11): 3343-3353.
- [20] 郝文芳, 杜峰, 陈小燕, 等. 黄土丘陵区天然群落的植物组成、植物多样性及其与环境因子的关系 [J]. 草地学报, 2012, 20(4): 609-615.
Hao W F, Du F, Chen X Y, et al. Composition and diversity analysis of natural-community plants in the loess hilly region [J]. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20(4): 609-615.
- [21] 许宇星, 王志超, 竹万宽, 等. 不同品种桉树林生活叶-凋落物-土壤碳氮磷化学计量特征 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(3): 94-100.
Xu Y X, Wang Z C, Zhu W K, et al. Stoichiometric characteristics of C, N and P in leaf-litter-soil of different *Eucalyptus* varieties [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2018, 46(3): 94-100.
- [22] 李东海, 杨小波, 邓运武, 等. 桉树人工林林下植被、地面覆盖物与土壤物理性质的关系 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(6): 607-611.
Li D H, Yang X B, Deng Y W, et al. Soil physical properties under effects of *Eucalyptus* understory vegetation and litter [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6): 607-611.