



广州红锥-马占相思林物种组成与多样性研究

廖宇杰, 洪维, 陈富强, 张千荣, 李仕裕, 李志宏, 庄晓纯, 邢福武, 王发国

引用本文:

廖宇杰, 洪维, 陈富强, 等. 广州红锥-马占相思林物种组成与多样性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(5): 494-502.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4361>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

5种相思树和尾巨桉人工林土壤养分和酶活性特征

Characteristics of Soil Nutrient and Enzyme Activities in Plantations of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* and Five *Acacia* Species
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 483-493 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4334>

人为干扰对川西碧峰峡山矾次生林群落结构和物种多样性的影响

Effects of Human Disturbance on Species Diversity and Community Structure of *Symplocos sumuntia* Secondary Forest in Bifengxia in Western Sichuan
热带亚热带植物学报. 2016, 24(5): 559-567 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.05.012>

茂兰喀斯特常绿落叶阔叶混交林群落组成和优势种更新类型

Community Composition and Regeneration Types of Dominant Species in Evergreen and Deciduous Broad-leaved Mixed Karst Forest in Maolan National Nature Reserve, Guizhou Province
热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 651-660 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3893>

滨海防护林木麻黄和花吊丝竹混交林群落的种间关联和生态位分析

Interspecific Association and Niche of Mixed Forest Communities of *Casuarina equisetifolia* and *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* in the Windbreak of Sandy Coast
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 465-473 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4346>

人为干扰对栲树次生林群落物种多样性和土壤理化性质的影响

Effect of Human Disturbance on Species Diversity and Soil Physiochemical Properties of *Castanopsis fargesii* Secondary Forest
热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 355-362 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3843>

向下翻页, 浏览PDF全文

广州红锥-马占相思林物种组成与多样性研究

廖宇杰^{1,2}, 洪维³, 陈富强³, 张干荣³, 李仕裕¹, 李志宏³, 庄晓纯³,
邢福武¹, 王发国^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广东省应用植物学重点实验室, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 广东省龙眼洞林场, 广州 510520)

摘要: 为了解广州市龙眼洞林场红锥(*Castanopsis hystrix*)-马占相思(*Acacia mangium*)阔叶混交林的群落结构, 对其物种多样性进行了分析。结果表明, 红锥-马占相思阔叶混交林的物种丰富度依次为乔木层 > 灌木层 > 草本层 > 层间植物层。乔木层的 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数分别为 0.945 和 0.237, 密度为 2 671 ind./hm², 红锥、马占相思、三桠苦(*Melicope pteleifolia*)、山乌柏(*Triadica cochinchinensis*)和台湾相思(*A. confusa*)的重要值较高。灌木层中豺皮樟(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、九节(*Psychotria asiatica*)、黄牛木(*Cratoxylum cochinchinense*)的重要值超过 10%。层间植物的优势科为茜草科(Rubiaceae), 其次是夹竹桃科(Apocynaceae)。草本层植物密度约 38 000 ind./hm², 以禾本科(Poaceae)占优势, 有 9 种。红锥林从幼龄向中龄过渡, 优势种群为增长型, 而马占相思林则由近熟龄或成熟龄向过熟龄过渡。对不同区域 4 种近似林分的比较表明, 混交林的生物多样性远远高于人工纯林。因此, 红锥-马占相思阔叶混交林已形成了混交复层异龄林结构, 乔木层、灌木层和草本层均具有较高的物种丰富度。

关键词: 红锥; 马占相思; 阔叶混交林; 物种多样性

doi: 10.11926/jtsb.4361

Studies on Species Composition and Diversity of *Castanopsis hystrix*-*Acacia mangium* Mixed Forest in Guangzhou

LIAO Yujie^{1,2}, HONG Wei³, CHEN Fuqiang³, ZHANG Ganrong³, LI Shiyu¹, LI Zhihong³,
ZHUANG Xiaochun³, XING Fuwu¹, WANG Faguo^{1*}

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, Guangzhou 510650, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Longyandong Forest Farm, Guangzhou 510520, China)

Abstract: In order to understand the community structure of *Castanopsis hystrix* and *Acacia mangium* broad-leaved mixed forest in Longyandong Forest Farm in Guangzhou, its species diversity was analyzed. The results showed that the species richness was in the order of tree layer > shrub layer > herb layer > interlayer plant layer. The Simpson and Shannon-Wiener indices of tree layer were 0.945 and 0.237, respectively, with the density of 2 671 ind./hm². *Castanopsis hystrix*, *A. mangium*, *Melicope pteleifolia*, *Triadica cochinchinensis* and *Acacia confusa* had high importance values of 12.79%, 10.98%, 8.08%, 7.78% and 7.02%, respectively. Among the 35 shrub species, the important values of *Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (14.95%), *Psychotria asiatica* (12.60%) and *Cratoxylum cochinchinense* (10.17%) were more than 10%. The dominant family of interlayer species was Rubiaceae, followed by Apocynaceae. The density of herb species was about 38 000 ind./hm², and Poaceae was the dominant family, which consists of 9 species. *Castanopsis hystrix* community was transitioned from young age to

收稿日期: 2020-12-14 接受日期: 2021-01-22

基金项目: 广州市野生动植物保护管理办公室项目(SYZFCG-[2017]032); 广东省龙眼洞林场项目(Y934111001)资助

This work was supported by the Project of Guangzhou Municipal Wildlife Conservation and Management Office (Grant No. SYZFCG-[2017]032), and the Project of Longyandong Forest Farm in Guangdong (Grant No. Y934111001).

作者简介: 廖宇杰(1998~), 男, 硕士研究生, 主要从事植物分类与资源研究。E-mail: lyj@scbg.ac.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wangfg@scbg.ac.cn

middle age, the dominant population was growth type, while *Acacia mangium* community was transited from near maturity age or mature age to over maturity age. Compared with similar forests in different region, the biodiversity of mixed forest was much higher than that of pure forest. Therefore, *C. hystrix*-*A. mangium* broad-leaved mixed forest had formed the structure of mixed multilayer and different age forest with high species richness in tree layer, shrub layer and herb layer.

Key words: *Castanopsis hystrix*; *Acacia mangium*; Broad-leaved mixed forests; Species diversity

近几年来,生物多样性及其保护的研究得到了社会高度关注,人工林植被的多样性也越来越受到重视,逐渐成为土壤、林业和生态科学工作者的研究热点^[1-2]。林下物种多样性是以复杂的林分内外结构为基础,森林群落的垂直结构与水平结构对物种多样性的形成和发展都有重要意义^[3]。越来越多的研究者对灌木层和草本层植物进行深入研究,认为其对维持整个森林生态系统的结构和功能稳定,尤其是对维持森林物种多样性,维持地上地下物质循环和能量流动、保持水土、保育种子、促进幼苗生长、具有不可替代的作用^[4]。Wu等^[5]研究表明清除林下植被导致土壤温度升高和土壤氮元素有效性等间接效应,而引起的土壤微生物群落变化,显著减缓凋落物的腐化分解速率,影响人工林林分的物质循环和土壤碳排放。

由于林分生物量主要由乔木层提供,其他层次的生物量所占比例较小而经常被忽略。在造林过程中整地营林措施很少关注林分中灌木层和草本层及层间植物对整个森林生态系统稳定性的影响。对林下植物群落的形成与分布产生影响的因素有很多,主要有林分结构与光照条件^[6-7]、土壤养分状况^[8-9]、林分起源、类型、年龄和营林措施等^[10-12]。地面上的灌木和草本植物对降雨有阻隔作用,林地上灌草全部清除后土壤含水量增加,使得超出土壤持水能力的灌溉水或降水通过深层渗漏或地表径流损失掉,造成大量水土流失^[13]。有研究表明纯林的土壤性质比混交林差,纯林生态系统稳定性较差和物种多样性较低,也不如混交林美观^[14-17]。故在森林经营过程中不能忽视森林物种多样性和林下灌草对森林林分生长发育过程的影响。

红锥(*Castanopsis hystrix*)为壳斗科(Fagaceae)常绿乔木,其林地凋落物较多,适合于改良土壤和涵养水源,主要分布于福建、湖南、广东、海南、广西、贵州和西藏30~1 600 m的坡地和山地常绿阔叶林中。马占相思(*Acacia mangium*)为豆科(Leguminosae)常

绿乔木,树形优美,用于行道树和公路绿化,具有速生丰产特性,是荒山绿化、经营规划水土保持林、防风固沙林和薪炭林的优良树种。

本研究以广东省广州市龙眼洞林场具有代表性的红锥-马占相思阔叶混交林为对象,采用实地踏查和样方调查方法,对物种组成和多样性进行分析,以深入认识人工林经营方式与林下生物多样性的关系,为广州龙眼洞林场的物种多样性保护、森林抚育、森林管理提供参考,为推进人工林建设,实现森林资源可持续利用,促进现代林业发展并为生态文明的建设提供决策依据。

1 研究地概况

龙眼洞林场(113°20'~113°27' E, 23°11'~23°18' N)位于广州市天河区和白云区,林地呈块状分布,分别处于天河区的龙洞街、凤凰街和白云区的太和镇内,是从帽峰山脉向西南延伸形成的丘陵地带,呈东北高西南低的地势^[18],多为海拔300~450 m的低丘台地^[19]。土壤主要为赤红壤,主要由花岗岩和砂页岩发育而成。林场处于南亚热带季风气候带,夏季高温多雨,有明显干湿季节,水热条件较好,4~9月为主要雨期,降雨量占全年的80%以上。夏热冬暖,雨量充沛,年平均气温可达20℃,年降雨量约1 694 mm,无霜期长达340 d,气候条件较好,适宜发展林业^[20]。龙眼洞林场筲箕窝九林班的红锥-马占相思阔叶混交林林分营建于2008年,造林初植密度为1 335 ind./hm²,总面积为49.9 hm²,带状混交,红锥:马占相思混交比为8:2,采用水平带状方式清理山地,清除造林带里的杂草、灌木,带距3 m(即造林行距)、带宽1 m。采用穴垦整地,株行距3 m×2.5 m,种植当年追肥、抚育各2次,分别在1和9月进行补植、追肥、除草和培土等措施。第2、3年各抚育2次,第1次在4~5月,第2次在9月,主要进行全铲除草、松土、扩穴、追肥。

2 方法

2.1 样地设置和试验方法

于 2020 年 11 月在龙眼洞林场筲箕窝九林班中选择具有代表性的红锥-马占相思阔叶混交林, 设置 5 块 100 m×50 m 的样地, 每块样地分为 50 个 10 m×10 m 的样方, 每块样地随机抽取 20 个样方, 共 100 个, 随机设置 120 个 2 m×2 m 的草本层样方。对样方中乔木层和灌木层植株进行每木检尺, 记录物种名称、胸径、树高、冠幅和位置等信息, 以 2 cm 为径级间距; 攀援灌木、攀援草本、藤本为层间植物物种。对草本样方内的草本植物和树高小于 33 cm 的乔木和灌木幼苗记录物种名称、高度和位置等信息。

2.2 数据处理

相对多度=(某种的个体数/同一生活型植物个体总数)×100%; 频度=(某种植物出现的样地数/样地总数)×100%; 相对频度=(某种的频度/所有物种的频度之和)×100%; 相对盖度=(某种的盖度/所有

物种的盖度之和)×100%; 相对优势度=(某种胸高断面面积/所有物种胸高断面面积和)×100%; 重要值=[相对多度+相对盖度(相对优势度)+相对频度]/3。

多样性指数采用物种丰富度、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 均匀度指数等指标。丰富度指数 $R=S$, Simpson 指数 $D=1-\sum P_i^2$, Shannon-Wiener 指数 $H'=-\sum P_i \ln P_i$, Pielou 指数 $J_{sw}=(\sum P_i \log P_i)/\log S$, 式中, S 为样方中植物物种数量, P_i 为物种 i 的个体数占总个体数的比率。

林分单位面积蓄积量用标准地的蓄积量除以标准地面积得到单位面积蓄积量。

2.3 近似林分比较分析

选择不同区域的 4 种近似林分(表 1), 分别为广西玉林市容县的 30 a 生红锥天然林、广东深圳凤凰山的马占相思人工林、广西梧州市苍梧县珠江流域的红锥人工林、香港大棠郊野公园的 20 a 生尾叶桉-马占相思混交林, 这些林分均处于南亚热带季风气候区, 分布海拔相近, 比较物种组成、Shannon-Wiener 指数、物种丰富度指数等。

表 1 邻近地区林分的基本信息

Table 1 Basic information of different forests

林分 Forest	地点 Location	纬度 (N) Latitude	经度 (E) Longitude	海拔 (m) Altitude
红锥天然林 <i>Castanopsis hystrix</i> natural forest ^[21]	广西玉林 Yulin, Guangxi	22°30'	110°42'	90~138
马占相思人工林 <i>Acacia mangium</i> plantation ^[22]	广东深圳 Shenzhen, Guangdong	22°40'	113°52'	100~240
红锥人工林 <i>C. hystrix</i> plantation ^[23]	广西梧州 Wuzhou, Guangxi	23°20'	110°55'	46~168
尾叶桉-马占相思混交林 <i>Eucalyptus urophylla</i> - <i>A. mangium</i> mixed forest ^[24]	香港 Hong Kong	22°24'	114°20'	115~263

3 结果和分析

3.1 乔木层物种组成

乔木层共有 39 种植物, 隶属于 19 科 31 属。从表 2 可见, 重要值排前 5 名的乔木树种为红锥(12.79%)、马占相思(10.98%)、三桠苦(8.08%)、山乌桕(7.78%)和台湾相思(7.02%)。从科级水平看, 物种较多的有壳斗科(Fagaceae, 5 种)、芸香科(Rutaceae, 5 种)、樟科(Lauraceae, 4 种)、豆科(Leguminosae, 4 种); 有 11 科仅有 1 种植物。从表 3 可见, 乔木层的物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielous 指数分别为 39、0.945、0.237 和 0.360。

3.2 灌木层物种组成

灌木层的植株密度为 1 133 ind./hm², 共有 35 种

植物, 隶属于 22 科 22 属。叶下珠科(Phyllanthaceae)的种类最多, 共有 3 属 5 种; 其次是冬青科(Aquifoliaceae)、野牡丹科(Melastomataceae)和茜草科(Rubiaceae), 均为 3 种。灌木层植物密度较高的是豺皮樟(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、九节(*Psychotria asiatica*)、黄牛木(*Cratoxylum cochinchinense*)、假鹰爪(*Desmos chinensis*)和梅叶冬青(*Ilex asprella*), 分别为 340、235、165、99 和 51 ind./hm²。从表 4 可见, 豺皮樟、九节和黄牛木的重要值超过 10%。灌木层的物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数分别为 35、0.989、0.065 和 0.193(表 3)。

3.3 草本层物种组成

草本层植物的密度约为 38 000 ind./hm², 共有 29 种, 隶属于 17 科 25 属。禾本科(Poaceae)为优势

表 2 乔木层物种的重要值

Table 2 Important value of species in tree layer

序号 No.	植物 Species	相对多度 /% Relative abundance	相对频度 /% Relative frequency	相对盖度 /% Relative coverage	重要值 /% Importance value
1	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	27.78	4.42	6.18	12.79
2	马占相思 <i>Acacia mangium</i>	11.01	4.42	17.51	10.98
3	三桠苦 <i>Melicope pteleifolia</i>	16.21	4.42	3.61	8.08
4	山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i>	14.98	4.42	3.95	7.78
5	台湾相思 <i>A. confusa</i>	0.26	2.65	18.15	7.02
6	大叶相思 <i>A. auriculiformis</i>	1.01	3.54	8.47	4.34
7	银柴 <i>Aporosa dioica</i>	6.59	4.42	0.61	3.87
8	薰莨 <i>Castanopsis fissa</i>	0.15	0.88	6.51	2.51
9	楝叶吴茱萸 <i>Tetradium glabrifolium</i>	2.13	3.54	3.36	3.01
10	山苍子 <i>Litsea pungens</i>	3.07	4.42	1.26	2.92
其他 29 种 Other 29 tree species		30.43	16.81	62.83	36.69
合计 Total		100.00	100.00	100.00	100.00

表 3 物种多样性

Table 4 Species diversity

层次 Layer	物种丰富度 (R) Species richness	Simpson 指数 (D) Simpson index	Shannon-Wiener 指数 (H') Shannon-Wiener index	Pielou 指数 (J _{sw}) Pielou index
乔木 Tree	39	0.945	0.237	0.360
灌木 Shrub	35	0.989	0.065	0.193
层间植物 Interlayer species	26	0.999	0.002	0.050
草本 Herb	29	0.999	0.006	0.091

表 4 灌木层物种的重要值

Table 4 Importance value of species in shrub layer

序号 No.	植物 Species	相对多度 /% Relative abundance	相对频度 /% Relative frequency	相对盖度 /% Relative coverage	重要值 /% Importance value
1	豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	30.01	5.95	8.89	14.95
2	九节 <i>Psychotria asiatica</i>	20.74	5.95	11.11	12.60
3	黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i>	14.56	5.95	10.00	10.17
4	假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>	8.74	5.95	8.89	7.86
5	梅叶冬青 <i>Ilex asprella</i>	4.50	4.76	6.67	5.31
6	毛蕊 <i>Melastoma sanguineum</i>	4.06	5.95	4.44	4.82
7	龙船花 <i>Ixora chinensis</i>	3.09	5.95	4.44	4.50
8	桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	2.82	5.95	4.44	4.41
9	草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	0.79	3.57	2.22	2.20
10	鲫鱼胆 <i>Maesa perlarium</i>	0.71	3.57	2.22	2.17
其他 25 种 Other 25 species		46.43	9.97	36.37	31.02
合计 Total		100.00	100.00	100.00	100.00

科, 包含 9 种, 分别为露籽草(*Ottochloa nodosa*)、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、刚莠竹(*Microstegium ciliatum*)、散穗弓果黍(*Cyrtococcum patens* var. *latifolium*)、短叶黍(*Panicum brevifolium*)、蔓生莠竹(*Microstegium fasciculatum*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、粽叶芦(*Thysanolaena latifolia*)。

3.4 层间植物组成

层间植物共有 26 种, 隶属于 17 科 22 属, 重要值前 3 的分别是羊角拗(*Strophanthus divaricatus*, 11.81%)、玉叶金花(*Mussaenda pubescens*, 10.87%)和锡叶藤(*Tetracera sarmentosa*, 10.69%)。优势科为茜草科(Rubiaceae), 有 4 种: 玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、鸡矢藤(*Paederia foetida*)、牛白藤

(*Hedyotis hedyotidea*)、羊角藤(*Morinda umbellata* subsp. *obovata*); 其次是夹竹桃科(Apocynaceae), 有 3 种: 羊角拗(*Strophanthus divaricatus*)、白叶藤(*Cryptolepis sinensis*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)。有 11 科仅含单属单种。

3.5 群落的演替

混交林中红锥和马占相思的密度分别为 742 和 294 ind./hm²; 马占相思的平均胸径为 16.40 cm, 而红锥为 9.74 cm; 马占相思的平均树高为 12.93 m, 大于红锥(10.51 m); 表明马占相思的单位面积蓄积量大于红锥。本研究的林分起源为人工林, 红锥的株数占全林(乔木层)总株数的 27.8%, 马占相思占 11.01%; 虽然红锥的株数、密度大于马占相思, 但蓄积量小于后者。

红锥的重要值为 12.79, 在群落中占有较大优势, 其次为马占相思(10.98)。红锥有 742 株, 占乔木层总数的 27.78%, 其数量和生态位均占较大优势。马占相思的重要值略小, 为混交林的次要树种,

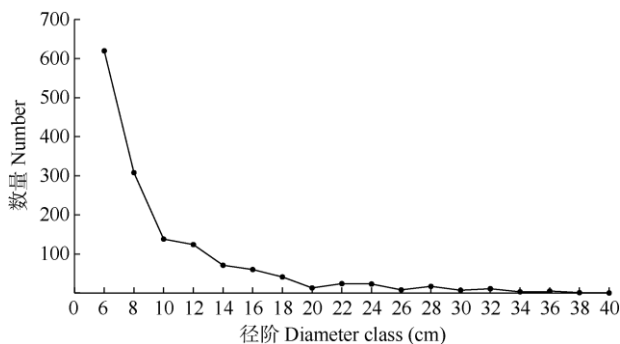


图 1 林分的径级结构

Fig. 1 Structure of diameter class

3.6 近似林分的比较

选取邻近地区的红锥天然林、马占相思人工林、桉树-马占相思混交林和红锥人工林 4 种林分(表 1)进行物种组成比较, 结果表明(图 3), 玉林容县 30 a 生红锥天然林有 60 种植物, 隶属于 34 科 53 属, 包括裸子植物 1 科 1 属 1 种, 被子植物 27 科 45 属 50 种, 蕨类植物 6 科 7 属 9 种, 优势科为茜草科, 其次是山茶科(Theaceae)和大戟科(Euphorbiaceae); 乔木层、灌木层和草本层分别有 16、28 和 16 种, Shannon-Wiener 指数(H')为 2.439。深圳凤凰山马占相思人工林有 85 种植物, 隶属于 48 科, 其中 58 种木本植物和 27 种草本植物; 优势

生长分布均匀。草本层的物种种类和数量较少, 对群落发展影响不大。层间植物的种类相对丰富, 但数量所占比例不大。可见该群落结构较为简单, 优势种明显。由图 1 可知, 红锥-马占相思林分的径级结构呈现为小径阶数量多, 大径阶数量少, 呈倒 J 型, 表现为明显的异龄林的径级结构特征, 林下自然更新幼苗较多, 即第 VI、VIII 径级数量较多。因此, 分析种群的径级分布可以了解该种群的变化趋势对群落演替的影响。由图 2 可见, 红锥在径级为 2~12 cm 的数量最多, 大径级(>20 cm)的仅有 7 株, 胸径最大可达 29 cm, 径级<12 cm 的有 617 株, 说明红锥的年龄结构为从幼龄林过渡到中龄林, 红锥种群处于增长阶段。大径级的马占相思较多, 以>20 cm 的最多, 有 113 株; 其次为 IV 级(6~12 cm)有 74 株, 说明马占相思种群年龄结构为从近熟或成熟林过渡至过熟林, 表明马占相思种群处于成熟至衰落阶段, 可能由于林分自然繁殖萌芽或者人工补充种植使 IV 级植株增加, 大致符合倒“J”形曲线。

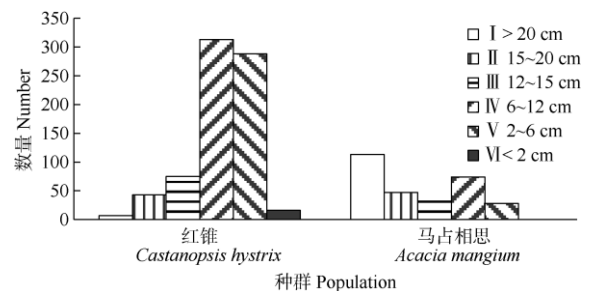


图 2 红锥、马占相思种群的径级分布

Fig. 2 Distribution of diameter class of *Castanopsis hystrix* and *Acacia mangium* populations

科有 4 科, 为桃金娘科、禾本科(Gramineae)、大戟科和菊科(Compositae), 优势物种为芒和春花(*Rhaphiolepis indica*); 乔木层、灌木层和草本层分别有 36、22 和 27 种, H' 为 3.125。梧州苍梧珠江流域的红锥人工林乔木层有 19 科 19 属 21 种, 灌木层有 12 科 17 属 17 种, 草本层有 15 科 21 属 22 种; 优势科为茜草科、禾本科和樟科(Lauraceae); H' 为 2.282。香港大棠郊野公园 20 a 生尾叶桉-马占相思混交林共有维管束植物 71 种, 隶属于 25 科 42 属, 乔木层、灌木层和草本层分别有 29、22 和 20 种, H' 为 2.121。可见, 红锥-马占相思混交林的科、属、种数量最多。

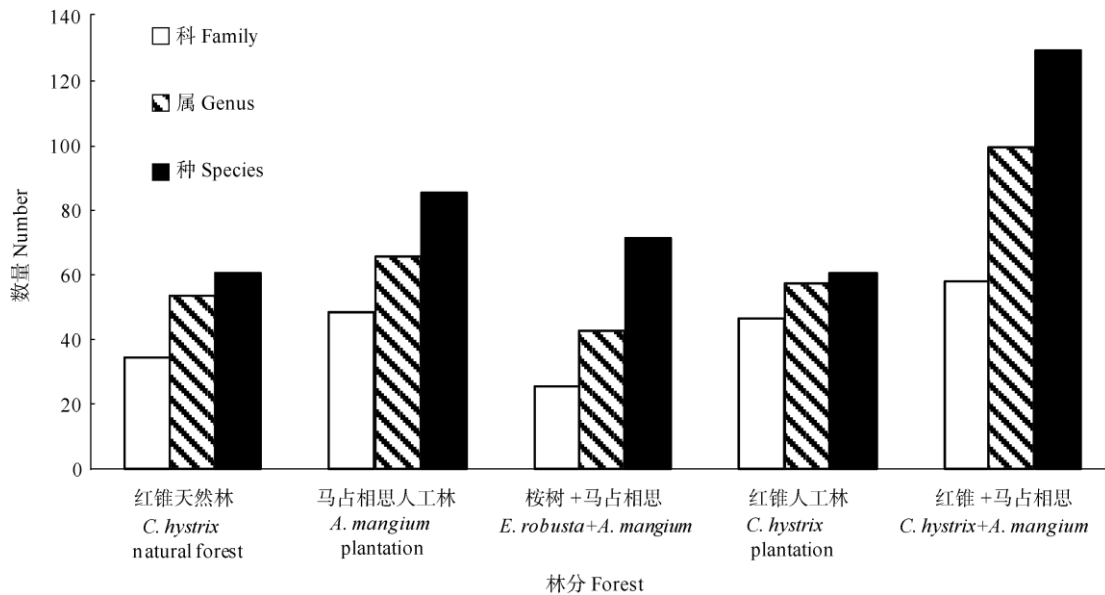


图 3 不同林分的物种组成

Fig. 3 Species composition of different forests

4 结论和讨论

本研究结果表明, 广州市龙眼洞林场的红锥-马占相思混交林共有 58 科 99 属 129 种植物, 已形成了多树种混交的复层异龄林分结构, 物种丰富度依次为乔木层 > 灌木层 > 草本层 > 层间植物层。从物种丰富度指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数 4 个指标来看, 该群落的物种丰富, 多样性较高, 分布较均匀。与邻近区域相似林分进行比较, 结果表明混交林的生物多样性远高于人工纯林, 桉树-马占相思混交林的物种多样性较低, 可能与物种个体性质或者营林措施有一定关系, 红锥纯林与马占相思纯林的物种科、属、种数量均小于混交林, 可见纯林中的植物种类较为稀少, 与林场营林措施有非常大的关系, 林场造林清理林下灌草力度大, 使林下物种多样性程度大大减少, 林分抵抗力下降, 会出现外来入侵物种侵占生态位加剧的现象^[25], 不利于林分生态系统协调稳定发展。在珠江三角洲乃至广东的植树造林、植被恢复及生态公益林造林中, 可采用乔、灌、草互相搭配的群落模式以提高其生态功能和生态效益^[26-27]。

在红锥-马占相思阔叶混交林周边有其他林分, 混交林下存在天然更新的苗木和幼树个体, 为人工混交林物种丰富度、生物多样性的提高提供了有利条件。本林分中大量阔叶树树种可能来源于天然更

新、深层土壤种子萌发和周边林分的种子传播, 但具体的来源还需更深入的研究。灌木层中大量生长的树种在自然更新过程中将成为后备树种资源, 这些幼树对群落未来发展的影响和作用如何, 随着更新演替的进行, 哪些树种可以在林分中逐渐占据优势, 仍需进一步探讨。红锥种群的年龄结构由幼龄林过渡到中年林, 表现为增长型, 而马占相思种群则是由近熟或成熟林过渡至过熟林, 表现为衰落型。混交林的物种多样性远高于纯林, 且其地上地下部分结构比单树种的纯林结构复杂。红锥是混交林乔木层的优势种, 其多度较马占相思大, 但单位面积蓄积量小于马占相思, 天然更新的乔木树种以三桠苦、山乌柏、台湾相思和大叶相思等树种为主。过度采用人工林营林技术手段会增加林分灾害风险, 应适当调整树种分布, 增加物种多样性, 提高林分抵抗力, 降低因物种退化、病害或老化造成的森林养护成本。合理提高幼龄树比例, 调整年龄结构, 坚持林场可持续发展, 有利于在未来形成可持续、稳定的生产力和森林覆盖率。

此前对红锥与马占相思纯林的土壤理化性质研究表明, 林下土壤容重较小, 保水性与透气性良好, 土壤中缺少有效 N 和有效 P^[28], 故在林分培育过程中应当注重施肥与林种生长和土壤肥力间的动态变化^[29-30]。

以前林场的首要职责是木材生产, 现在以生态保护提供生态价值为主, 以资源培育, 保护生态为

主要工作内容, 提高森林质量培育大径材的优势树木, 提升林场林分的森林经济价值、生态价值, 更重要的是起到地区性示范引领作用^[31-32]。在未来的林场经营管理工作当中, 生态林业将会在建设资源节约型、环境友好型社会的大环境下作为长期发展的目标和对象。林场与林业主体要积极发展多种经营产业, 依靠行业利好政策, 积极寻求法律保障, 完善主体权属制度, 以取得更大的经济、社会和生态效益。

致谢 野外调查中得到中国科学院华南植物园叶华谷、易绮斐老师和魏雪莹、徐蕾、邓双文同学, 以及龙眼洞林场工作人员的协助, 一并致谢!

参考文献

- [1] ZHAO G S, LIU J Y, KUANG W H, et al. Disturbance impacts of land use change on biodiversity conservation priority areas across China during 1990–2010 [J]. *Acta Geogr Sin*, 2014, 69(11): 1640–1650. doi: 10.11821/dlxb201411005.
赵国松, 刘纪远, 匡文慧, 等. 1990–2010 年中国土地利用变化对生物多样性保护重点区域的扰动 [J]. *地理学报*, 2014, 69(11): 1640–1650. doi: 10.11821/dlxb201411005.
- [2] XU W, MA Z Y, JING X, et al. Biodiversity and ecosystem multifunctionality: Advances and perspectives [J]. *Biodiv Sci*, 2016, 24(1): 55–71. doi: 10.17520/biods.2015091.
徐炜, 马志远, 井新, 等. 生物多样性与生态系统多功能性: 进展与展望 [J]. *生物多样性*, 2016, 24(1): 55–71. doi: 10.17520/biods.2015091.
- [3] YAO A J, ZHU Q K, ZHANG Y Q, et al. Present situation and prospect of the study on stand structure [J]. *For Invent Plan*, 2005, 30(2): 70–76. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2005.02.018.
姚爱静, 朱清科, 张宇清, 等. 林分结构研究现状与展望 [J]. *林业调查规划*, 2005, 30(2): 70–76. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2005.02.018.
- [4] WHIGHAM D F. Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forests [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 2004, 35: 583–621. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105708.
- [5] WU J P, LIU Z F, WANG X L, et al. Effects of understory removal and tree girdling on soil microbial community composition and litter decomposition in two Eucalyptus plantations in south China [J]. *Funct Ecol*, 2011, 25(4): 921–931. doi: 10.1111/j.1365-2435.2011.01845.x.
- [6] TINYA F, MÁRIALIGETI S, KIRÁLY I, et al. The effect of light conditions on herbs, bryophytes and seedlings of temperate mixed forests in Órség, Western Hungary [J]. *Plant Ecol*, 2009, 204(1): 69–81. doi: 10.1007/s11258-008-9566-z.
- [7] FAN Y S. Effects of structural characteristic factors of typical artificial forest stands on the diversity of understory plants in Qinghai [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019: 1–60.
樊雨时. 青海典型人工林林分结构特征因子对林下植物多样性的影响 [D]. 北京: 北京林业大学, 2019: 1–60.
- [8] HÄRDTLE W, MIERWALD U, BEHRENDTS T, et al. Pasture landscapes in Germany: Progress towards sustainable use of agricultural land [M]// REDECKER B, HÄRDTLE W, FINCK P, et al. *Pasture Landscapes and Nature Conservation*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002: 1–30. doi: 10.1007/978-3-642-55953-2_10.
- [9] WANG L, LIN S, LI Y H, et al. Relationship between understory vegetation and soil moisture in different forest types in Datong, Qinghai Province [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2019, 17(5): 25–35. doi: 10.16843/j.sswc.2019.05.004.
王莉, 林莎, 李远航, 等. 青海大通不同林地类型林下植被与土壤水分的关系 [J]. *中国水土保持科学*, 2019, 17(5): 25–35. doi: 10.16843/j.sswc.2019.05.004.
- [10] WANG S, MA L, ZHANG D, et al. Plant diversity and soil moisture of artificial *Robinia pseudoacacia* forest in Loess region of western Shanxi Province [J]. *J Beijing Nor Univ (Nat Sci)*, 2016, 52(3): 253–258. doi: 10.16360/j.cnki.jbnuns.2016.03.001.
王舒, 马岚, 张栋, 等. 晋西黄土区不同林龄人工刺槐林下植被及土壤水分特征 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 52(3): 253–258. doi: 10.16360/j.cnki.jbnuns.2016.03.001.
- [11] DANG P. Soil microbial community dynamics following afforestation and its responses to thinning practice of *Pinus tabulaeformis* on the Loess Plateau [D]. Yangling: Northwest Agricultural and Forestry University, 2018: 1–17.
党鹏. 黄土高原油松林土壤微生物及其对抚育间伐的响应 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018: 1–17.
- [12] BARBIER S, GOSSELIN F, BALANDIER P. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved: A critical review for temperate and boreal forests [J]. *For Ecol Manag*, 2008, 254(1): 1–15. doi: 10.1016/j.foreco.2007.09.038.
- [13] ZHOU J. The influence that management of understory vegetation in semiarid region has in soil moisture of secondary deciduous broad-leaved forest [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017: 1–48.
周婕. 半干旱地区林下植被管理对落叶阔叶次生林土壤水分的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017: 1–48.
- [14] ZHANG Z X, ZHANG S Y, FAN H B, et al. An analysis on fertility of

- the soils beneath pure and mixed Chinese fir plantations [J]. *J Fujian Coll For*, 1999, 19(2): 181–184. doi: 10.3969/j.issn.1001-389X.1999.02.022.
- 张志翔, 张思玉, 樊后保, 等. 杉木人工纯林与混交林下土壤肥力分析 [J]. *福建林学院学报*, 1999, 19(2): 181–184. doi: 10.3969/j.issn.1001-389X.1999.02.022.
- [15] ZHANG S Y, ZHANG Z X. Comparative analysis of fire hazards in artificial pure forest and mixed forest of Chinese fir, masson pine, and *Schima superba* [J]. *For Fire Preven*, 2001, 10(03): 27–30. doi: 10.3969/j.issn.1002-2511.2001.03.010.
- 张思玉, 张志翔. 杉木马尾松木荷人工纯林与混交林火灾隐患的对比分析 [J]. *森林防火*, 2001, 10(03): 27–30. doi: 10.3969/j.issn.1002-2511.2001.03.010.
- [16] HUANG C W. Study on the productivity and soil fertility of mixed forest of *Pinus massoniana* and *Acacia mangium* on hills along the coast [J]. *Prot For Sci Technol*, 2004(4): 8–10. doi: 10.3969/j.issn.1005-5215.2004.04.003.
- 黄传伟. 沿海丘陵马尾松马占相思混交林生产力和改土效果研究 [J]. *防护林科技*, 2004(4): 8–10. doi: 10.3969/j.issn.1005-5215.2004.04.003.
- [17] WEI J. The effect of pure forest and mixed forest on plant diversity and soil fertility in Daqingshan Mountain, Guangxi [D]. Nanning: Guangxi University, 2011: 1–73.
- 韦洁. 广西大青山人工纯林和混交林对植物多样性和土壤肥力的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2011: 1–73.
- [18] GUO T F. Study on management strategies of Guangdong province Longyandong forest farm [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008: 1–10.
- 郭天峰. 广东省龙眼洞林场经营管理对策研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2008: 1–10.
- [19] WANG F. Survey on forestland soil of Longyandong forest farm in Guangdong Province [J]. *Farm Technol*, 2015, (9): 18–19. doi: 10.3969/j.issn.1003-6989.2015.09.017.
- 王锋. 广东省龙眼洞林场林地土壤调查概况 [J]. *农家科技*, 2015 (9): 18–19. doi: 10.3969/j.issn.1003-6989.2015.09.017.
- [20] TANG H J. Analysis on climate conditions of urban planning in Guangzhou [J]. *Econ Geogr*, 2004, 24(4): 490–493, 576. doi: 10.3969/j.issn.1000-8462.2004.04.014.
- 汤惠君. 广州城市规划的气候条件分析 [J]. *经济地理*, 2004, 24(4): 490–493, 576. doi: 10.3969/j.issn.1000-8462.2004.04.014.
- [21] TAN Y B, SHEN W H, ZHENG W, et al. Species composition and community structure characteristics of *Castanopsis hystrix* natural forest in Rongxian County, Guangxi Province [J]. *J CS Univ For Technol*, 2015, 35(5): 98–102. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2015.05.017.
- 谭一波, 申文辉, 郑威, 等. 广西容县红锥天然林物种组成与群落结构特征 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2015, 35(5): 98–102. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2015.05.017.
- [22] LIU M, QIU Z J, ZHOU G Y, et al. Undergrowth species diversity of *Acacia mangium* plantation in Phoenix Mountain, Shenzhen, China [J]. *Guangdong For Sci Technol*, 2007, 23(6): 26–31. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2007.06.007.
- 刘敏, 邱治军, 周光益, 等. 深圳凤凰山马占相思林下植物多样性分析 [J]. *广东林业科技*, 2007, 23(6): 26–31. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2007.06.007.
- [23] SHEN W H, HE Q F, ZHENG W, et al. Species composition and diversity of five different forest types in middle Pearl River basin [J]. *Guangxi For Sci*, 2015, 44(4): 325–332. doi: 10.3969/j.issn.1006-1126.2015.04.002.
- 申文辉, 何琴飞, 郑威, 等. 珠江流域中游5种不同森林类型物种组成及其多样性 [J]. *广西林业科学*, 2015, 44(4): 325–332. doi: 10.3969/j.issn.1006-1126.2015.04.002.
- [24] YE Y C, ZHANG H, CHEN K X, et al. Early effect of thinning on the natural regeneration and species diversity in transformation of plantations in Hong Kong [J]. *For Environ Sci*, 2016, 32(6): 1–9. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2016.06.001.
- 叶永昌, 张浩, 陈葵仙, 等. 香港人工林改造对林下植物自然更新和物种多样性的早期影响 [J]. *林业与环境科学*, 2016, 32(6): 1–9. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2016.06.001.
- [25] HUANG X R, CAO Y Y, LU G D, et al. Relating invasive alien species in plantations to dissimilarity of undergrowth vegetation structure [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2020, 28(1): 10–16. doi: 10.11926/jtsb.4050.
- 黄小荣, 曹艳云, 陆国导, 等. 外来入侵植物与人工林下层植被结构的关联性 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(1): 10–16. doi: 10.11926/jtsb.4050.
- [26] NA X Q. Study on aspection plant furnishing of Beijing Wetland Park [D]. Beijing: China Institute of Forestry Sciences, 2015: 1–122.
- 那晓铨. 北京湿地公园景观季相变化下的植物配置研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015: 1–122.
- [27] CHEN D P, SUN J X. Discussion on the design principle and plant disposition of forest farm highway and slope greening in mountainous area of Hunan: A case study of highway and slope greening in Longhui Wangyunshan State-owned Forest Farm (Provincial Forest Park) [J]. *Contemp Hort*, 2016(14): 116–117. doi: 10.14051/j.cnki.xdyy.2016.14.093.
- 陈东平, 孙俊雄. 湖南山区林场公路及边坡绿化设计原则和植物配

- 置探讨——以隆回望云山国有林场(省级森林公园)公路及边坡绿化为例 [J]. 现代园艺, 2016(14): 116–117. doi: 10.14051/j.cnki.xddy.2016.14.093.
- [28] XU S K, XUE L, YANG P, et al. Soil physical and chemical characters of 5 pure stands [J]. Guangdong For Sci Technol, 2003, 19(4): 27–29. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2003.04.006.
- 许松葵, 薛立, 杨鹏, 等. 马占相思等 5 种纯林林地土壤理化性质分析 [J]. 广东林业科技, 2003, 19(4): 27–29. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2003.04.006.
- [29] XU Y X, WANG Z C, ZHU W K, et al. Litterfall and nutrient cycling of *Eucalyptus* plantation with different ages on Leizhou Peninsula [J]. J Trop Subtrop Bot, 2019, 27(4): 359–366. doi: 10.11926/jtsb.3986.
- 许宇星, 王志超, 竹万宽, 等. 雷州半岛桉树人工林凋落物量和养分循环研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(4): 359–366. doi: 10.11926/jtsb.3986.
- [30] HUANG S D, HUANG Y R, GAO W, et al. Dynamics of litterfall and nutrient return in three typical forests of Wuyi Mountain along altitudinal gradient [J]. J Trop Subtrop Bot, 2020, 28(4): 394–402. doi: 10.11926/jtsb.4146.
- 黄石德, 黄雍容, 高伟, 等. 沿海拔梯度武夷山 3 种典型森林凋落物及养分归还动态 [J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(4): 394–402. doi: 10.11926/jtsb.4146.
- [31] QIU H L. Standardize the management of ecological forest farms and promote the orderly utilization of resources [J]. Jiangxi Agric, 2016(6): 46.
- 邱汉莲. 规范生态林场管理促进资源有序利用 [J]. 江西农业, 2016(6): 46.
- [32] WANG Y C. Lucid water and lush mountains are invaluable assets: On the way to reform and develop state-owned forest farms [J]. State Acad For Adm J, 2016, 15(1): 9–13. doi: 10.3969/j.issn.2095-2880.2016.01.002.
- 王延成. 绿水青山就是金山银山——浅谈国有林场改革发展之路 [J]. 国家林业局管理干部学院学报, 2016, 15(1): 9–13. doi: 10.3969/j.issn.2095-2880.2016.01.002.