

深圳市桉树相思改造乡土阔叶树种混交林林下草本群落特征研究*

林 冉¹ 谭 琳² 陶玉柱² 窦 苗² 白浩楠²

(1. 广东省林业政务服务中心, 广东 广州 510173; 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 / 广东南岭森林生态系统定位观测研究站, 广东 广州 510520)

摘要 营造乡土阔叶人工林是华南地区自然保护区桉树、相思林改造的主要措施之一, 在提高保护地森林生物多样性和生态系统稳定性发挥了重要作用。为明确乡土阔叶树人工林林下草本群落特征, 对深圳田头山和大鹏半岛市级自然保护区乡土阔叶人工林林下草本群落开展调查。结果表明: 深圳市级自然保护区桉树相思改造乡土阔叶树林下草本植物平均高度在 0.2~120.0 cm 之间, 草本平均盖度在 0.2%~50.0%; 田头山桉树相思改造乡土阔叶树林下草本树种丰富度为 22~39 种, Shannon-Weiner 指数在 2.54~3.03 之间, Simpson 指数在 0.86~0.92 之间, Pielou 指数为 0.852~0.919 之间, 芒萁 *Dicranopteris dichotoma*、芒 *Miscanthus sinensis*、毛稔 *Melastoma sanguineum*、粪箕笃 *Stephania longa*、乌毛蕨 *Blechnum orientale* 等为优势草本植物; 大鹏桉树相思低效林改造工程区草本树种丰富度在 12~14 种之间, Shannon-Weiner 指数为 2.38~2.49 之间, Simpson 指数在 0.88~0.91 之间, Pielou 指数在 0.91~0.98 之间, 乌毛蕨、玉叶金花 *Mussaenda pubescens*、淡竹叶 *Lophatherum gracile*、小花露籽草 *Ottochloa nodosa* var. *micrantha*、薇甘菊 *Mikania micrantha* 等为优势草本植物。

关键词 市级自然保护区; 乡土阔叶人工林; 林下草本; 群落特征

中图分类号: S719 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 06-0148-07

Characterization of understory Herbaceous Communities of *Eucalyptus* or *Acacia* Transforming Native Broadleaf Species Mixed Forests in Shenzhen

LIN Ran¹ TAN Lin² TAO Yuzhu² DOU Miao² BAI Haonan²

(1. Guangdong Forestry Administrative Affairs Service Center, Guangzhou, Guangdong 510173, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization / Guangdong Academy of Forestry/Guangdong Nanling Forest Ecosystem Positioning Observation and Research Station, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract The creation of native broadleaved mixed forests is one of the main measures for the transformation of *Eucalyptus* or *Acacia* plantations in nature reserves in South China, and plays an important role in improving forest biodiversity and ecosystem stability in the reserves. To clarify the characteristics of the understory herbaceous communities of native broad-leaved plantation forests, this study investigated the understory herbaceous communities of native broad-leaved plantation forests in Shenzhen Tiantu Mountain and Dapeng Peninsula municipal nature reserves. The results showed that the average height of herbaceous plants in the understory of *Eucalyptus* or *Acacia* transformed native broadleaf forest in Shenzhen municipal nature reserves

* 基金项目: 广东省林业科技计划项目 (2021-KYXM-11), 广东省林业科技创新平台项目 (2021-KYXM-09)。

第一作者: 林冉 (1989—), 女, 工程师, 主要从事自然保护区生物多样性和林业公共传播等研究, E-mail: 799636726@qq.com。

通信作者: 陶玉柱 (1982—), 男, 高级工程师, 主要从事森林生态学研究, E-mail: taoyuzhusyau@163.com。

ranged from 0.2 ~ 120.0 cm, and the herbaceous average cover ranged from 0.20%~50.0%; the herbaceous species richness in the understory of *Eucalyptus* or *Acacia* transformed native broadleaf forest in Tiantou Mountain ranged from 22 ~ 39 species, and the Shannon-Weiner index ranged from 2.54~ 3.03. Simpson's index was between 0.86~ 0.92, Pielou's index was between 0.852~ 0.919, with *Dicranopteris dichotoma*、*Miscanthus sinensis*、*Melastoma sanguineum*、*Stephania longa* and *Blechnum orientale* as the dominant herbaceous species. Dapeng *Eucalyptus-Acacia* low-efficiency forest renovation project area indicated that the herbaceous species richness was between 12~14 species;Shannon-Weiner's index between 2.38~ 2.49; the Simpson index between 0.88~ 0.91, the Pielou index between 0.91~ 0.98, Herbaceous plants with allelic advantages including *B.orientale*、*Mussaenda pubescens*、*Lophatherum gracile*、*Ottlochloa nodosa* var. *micrantha*、*Mikania micrantha*.

Key words municipal nature reserve; native broadleaved plantation; understory herb; community characteristics

桉树和相思是我国华南地区速生丰产林的优良树种,在林业商品林中大面积种植。但自然保护区内桉树和相思速生丰产林在生物多样性保育、水土保持等方面的生态服务功能相对较低,已不能满足当前我国自然保护地建设的要求。乡土树种是地带性植被的重要组成部分^[1]。相对于外来树种,乡土树种具有更加明显的生态、社会和经济效益,尤其在涵养水源、水土保持、防风固沙、生物多样性保育以及维系森林生态系统平衡方面有着不可替代的作用^[2]。混交林一般由两个或多个优势乔木树种或不同生活型的乔木所组成^[3]。混交林可有效地提升林地抵御灾害能力,提高林产品产量与质量,改善林地立地条件,充分利用林地营养空间^[4]。因此,在保护区内将桉树相思林改造为乡土阔叶混交林既能发挥乡土树种适应性,又能够发挥混交林的优势,对自然保护区生物多样性与生态系统保护具有积极影响。为此,深圳市开展森林质量精准提升工程将部分市级自然保护区内的桉树和相思林改造成为乡土阔叶人工混交林。科学高效的生态系统管理是将这种积极影响最大化的有效手段,而林下草本群落管理是乡土阔叶混交林生态系统管理的重要内容。大量研究表明,草本群落的物种组成对森林生态系统结构和功能的发展与稳定有着重要影响,草本层的物种多样性是区域植被多样性的重要组成部分,同时也可作为环境评价的重要指标^[5]。林下草本层是影响乔木层幼苗更新、防止水土流失和促进土壤养分元素(N、P、K等)循环的重要因素,保护林下草本多样性对维持森林生态系统物种多样性具有十分重要的作用^[6]。目前,已经开展了杨

树 *Acer buergerianum*^[7]、杉木 *Cunninghamia lanceolata*^[8-9]、胡杨 *Populus euphratica*^[10]、樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica*^[11]、天然林^[12-13]等林分的林下草本群落研究,但关于华南地区乡土阔叶树种混交林林下草本群落的研究还较少,因此本研究在深圳市田头山和大鹏半岛两个市级自然保护区桉树相思改造乡土阔叶林林下草本进行调查分析,为保护区林下植被与生态系统管理提供参考和依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

本研究在深圳田头山和大鹏半岛两个市级自然保护区开展。田头山市级自然保护区位于深圳东部坪山新区坪山街道,东北邻惠州市,东南接葵涌街道办,距离深圳市中心 32 km,保护区的规划面积为 20.0 km²,包括田心村、田头村、石井村、金龟村等自然山体,地理位置为东经 114°18'~114°27',北纬 22°38'~22°43'^[14]。深圳田头山自然保护区共有野生维管植物 1 289 种(含种下分类群),隶属于 191 科 699 属,占深圳市和广东省野生维管植物总种数的比例分别为 60.2% 和 23.7%^[15]。大鹏半岛自然保护区位于深圳东部大鹏半岛,南临大亚湾和西涌湾,北接惠州地区,地跨龙岗区的葵涌街道办、大鹏街道办及南澳街道办,保护区的规划面积为 146.22 km²^[15]。

深圳市大鹏半岛自然保护区的植物种类非常丰富,共有野生维管植物 1 372 种(含种下分类群),隶属于 200 科 732 属,约占深圳市和广东省野生维管植物的科属种比例分别为 93.5%、77.3%、

64.1% 和 73.3%、46.6%、25.3%^[15]。大鹏半岛市级自然保护区总面积 146.22 km²，北侧与田头山市级自然保护区、马峦山郊野公园和三洲田森林公园相接，东南侧与深圳市大鹏半岛国家地质公园相接。包括排牙山和笔架山山地森林、南澳山地森林、马峦山部分山地森林、葵涌坝光银叶树红树林湿地、南澳东涌红树林湿地、西涌香蒲桃林等^[16]。田头山和大鹏半岛自然保护区，分布有多个中小型人工水库，是深圳市重要的水源^[17]。

1.2 样地设置

2021 年 8 月，在田头山自然保护区和大鹏半岛自然保护区 2019 年桉树和相思改造乡土阔叶混交林森林质量精准提升工程区代表性区域各选择 4 个 20 m×20 m 的样地开展林下草本群落调查，每个 20 m×20 m 样方内设置 5 个 1 m×1 m 的草本小样方，8 个样地共设置 40 个草本样方。样地林分改造信息见表 1。

1.3 调查方法

调查方法执行国家标准“森林生态系统长期定位观测方法”（GB/T33027-2016）^[18]。植物多样性调查主要包括植物群落名称、郁闭度、地貌地形、坡度坡向等调查草本植物的种类、数量、高度、多度、盖度。

1.4 生物多样性分析方法

运用 Excel 将数据进行整理和处理。对植物群落物种重要值（ I_r ）、物种丰富度指数（ S ）、Simp-

son 优势度指数（ D ）、Shannon-Wiener 指数（ H' ）、Pielou 均匀度指数（ E ）按如下公式计算^[19]。

（1）重要值（ I_r ）

$$I_r = (D_r + C_r + F_r) / 3$$

式中， D_r 为相对密度， C_r 为相对盖度， F_r 为相对频度。

$$D_r = H_i / \sum_{i=1}^S H_i$$

$$C_r = C_i / \sum_{i=1}^S C_i$$

$$F_r = F_i / \sum_{i=1}^S F_i$$

（2）物种丰富度指数（ S ）以样方中物种的数目表示。

（3）Simpson 优势度指数（ D ）

$$D = - \sum P$$

式中， P_i 为属于种 i 的个体在全部个体中的比例。

（4）Shannon-Wiener 指数（ H' ）

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

（5）Pielou 均匀度指数（ E ）

表 1 样地林分改造信息
Tab.1 Sample site stand modification information

自然保护区 Nature reserve area	样地编号 Sample site No.	主要乡土树种 Major native tree species
田头山	TTS-D1	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> 、桉 <i>Eucalyptus robusta</i> 、八角枫 <i>Alangium chinense</i> 、变叶榕 <i>Ficus variolosa</i> 、豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i> 、粗叶榕 <i>F. hirta</i> 等
	TTS-D2	大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i> 、桉、白楸 <i>Mallotus paniculatus</i> 、变叶榕、秤星树 <i>Ilex asprellantosa</i> 等
	TTS-D3	八角枫、秤星树、鹅掌柴 <i>Schefflera octophylla</i> 、黄槐决明 <i>Cassia surattensis</i> 、假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i> 等
	TTS-D4	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i> 、山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i> 、腊肠树 <i>Cassia fistula</i> 、非洲楝 <i>Khaya senegalensis</i> 、杨桐 <i>Adinandra millettii</i> 等
大鹏半岛	DP-D1	白楸 <i>Mallotus paniculatus</i> 、豺皮樟、鹅掌柴、枫香 <i>Liquidambar formosana</i> 、灰毛大青 <i>Clerodendrum canescens</i> 等
	DP-D2	水团花 <i>Adina pilulifera</i> 、银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i> 、樟树、白楸、藜蒻 <i>Castanopsis fissa</i> 等
	DP-D3	八角枫、白楸、变叶榕、豺皮樟、秤星树
	DP-D4	白楸、布渣叶 <i>Strophanthus divaricatus</i> 、粗叶榕、鹅掌柴、含笑花 <i>Michelia figo</i> 等

$$E = (-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln S$$

2 结果与分析

2.1 群落特征

2.1.1 高度 田头山低效林改造区草本植物平均高度在 0.20~80.58 cm 之间。平均高度最高的是薇甘菊 (图 1)。大鹏低效林改造区草本植物平均高度在 10.0~120.0 cm 之间。平均高度最高的是海芋 *Alocasia macrorrhiza* (图 2)。

2.1.2 盖度 田头山低效林工程区草本盖度在 0.20%~44.70%。盖度最高的是芒萁 *Dicranopteris dichotoma* (图 3)。大鹏低效林工程区草本平均盖度在 1.0%~50.0%。盖度最高的是耳草 *Hedyotis auricularia* (图 4)。

方差分析表明, 8 个样地林下草本高度差异不显著, 样地 TTS-D1、TTS-D2、TTS-D4 和 DP-D4 的乡土阔叶树种混交林盖度显著高于其他样地 (图 5)。

2.2 草本多样性

2.2.1 物种丰富度 田头山桉树相思低效林改造工程区草本树种丰富度在 22~39 种之间。其中 TTS-D2 和 TTS-D3 的草本物种丰富度最高, 为 39 种, TTS-D4 草本树种最低, 为 22 种。大鹏桉树相思低效林改造工程区草本树种丰富度在 12~14 种之间。其中 DP-D1 和 DP-D4 的草本物种丰富度最高, 为 14 种, DP-D2 和 DP-D3 草本树种最低, 为 12 种。

2.2.2 物种优势度 从调查结果来看, 在 TTS-D1 样地中芒萁、芒 *Miscanthus sinensis*、金丝草 *Pogonatherum crinitum*、小花露籽草 *Ottlochloa*

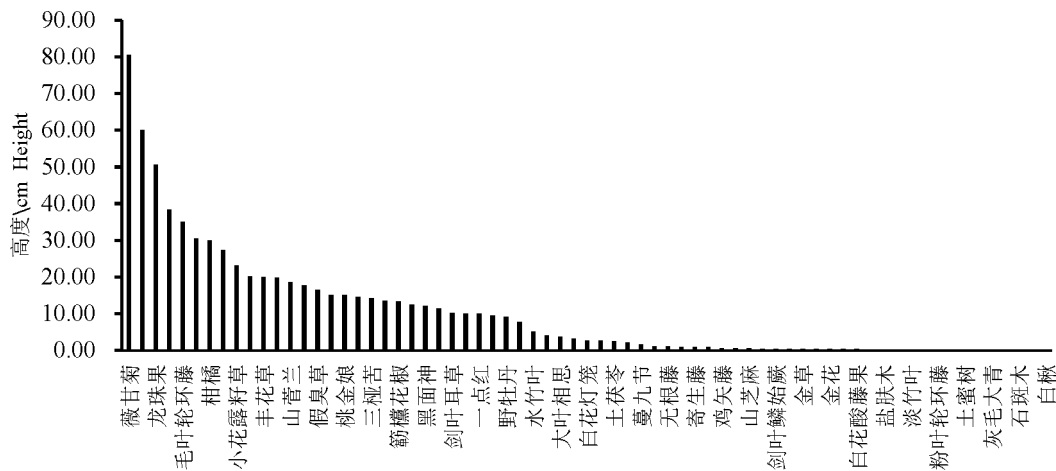


图 1 田头山低效林改造工程区草本平均高度

Fig.1 Average herbaceous height of the low-efficiency forest transformation project area in Tiantou Mountain

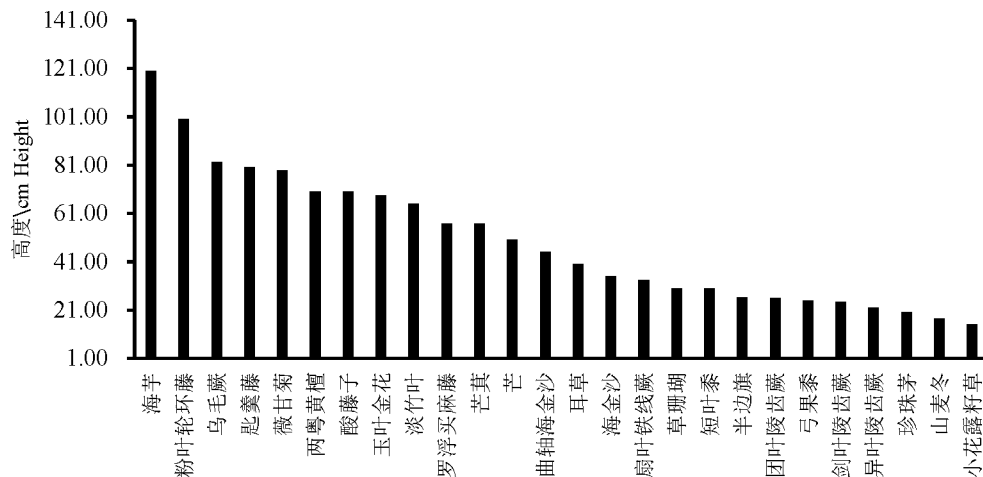


图 2 大鹏半岛低效林改造工程区草本平均高度

Fig. 2 Average herbaceous height in the Dapeng Peninsula inefficient forest transformation project area

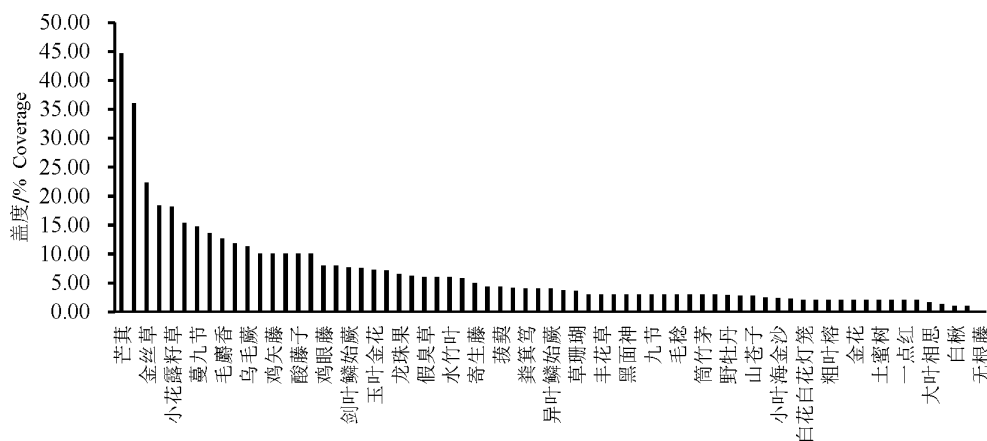


图 3 田头山低效林改造工程区草本平均盖度

Fig. 3 Average herbaceous cover of the low-efficiency forest renovation project area in Tiantou Mountain

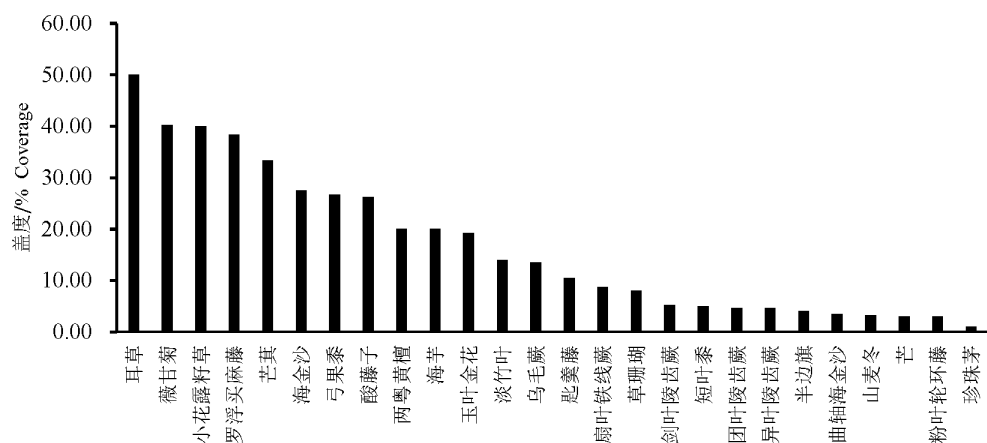
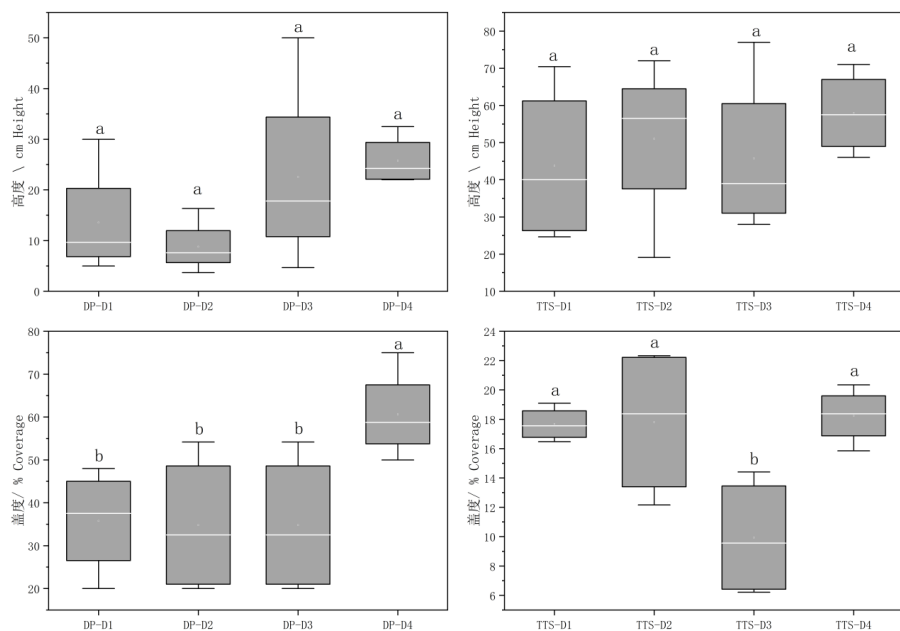


图 4 大鹏半岛低效林改造工程区草本平均盖度

Fig. 4 Average herbaceous cover in the Dapeng Peninsula inefficient forest renovation project area



注：不同字母表示在 $\alpha=0.05$ 水平差异显著。

Note: different letters indicate significant difference at 0.05 level.

图 5 各样地草本高度和盖度

Fig. 5 Herbaceous height and cover of sample plots

nodosa var. *micrantha*、薇甘菊 *Mikania micrantha* 是重要值最高的 5 种草本植物, 粉防己 *Stephania tetrandra*、金草 *Hedyotis acutangula* 的重要值则较低。TTS-D2 中, 芒萁、芒、乌毛蕨、蔓九节 *Psychotria serpens*、玉叶金花 *Mussaenda pubescens* 是重要值最高的 5 个草本物种, 毛稔、粪箕笃、无根藤 *Cassytha filiformis*、盐肤木 *Rhus chinensis*、小叶海金沙、鸭脚木 *Schefflera diversifoliolata*、石斑木 *Rhaphiolepis indica* 的重要值则较低。TTS-D3 样地中, 芒萁、蔓九节、断肠草、山苍子 *Litsea cubeba*、玉叶金花是重要值最高的 5 个草本, 白楸的重要值则最低。TTS-D4 样地中, 芒萁、芒、玉叶金花、断肠草、鸡眼藤 *Morinda parvifolia* 是重要值最高的 5 个草本, 珍珠茅的重要值最低。DP-D1 样地中, 薇甘菊、乌毛蕨、海金沙 *Lygodium japonicum*、陵齿蕨 *Lindsaea cultrata*、弓果黍 *Cyrtococcum patens* 是重要值最高的 5 种草本植物, 山麦冬 *Liriope spicata* 的重要值则较低。DP-D2 中, 淡竹叶、小花露籽草、薇甘菊、陵齿蕨、曲轴海金沙 *Lygodium flexuosum* 是重要值最高的 5 个草本物种, 珍珠茅 *Subgen scleria* 的重要值则较低。DP-D3 样地中, 乌毛蕨、玉叶金花、罗浮买麻藤 *Gnetum lofuense*、芒萁、酸藤子 *Embelia laeta* 是重要值最高的 5 个草本, 山麦冬的重要值则最低。DP-D4 样地中, 薇甘菊、乌毛蕨、海金沙、玉叶金花、酸藤子是重要值最高的 5 个草本, 陵齿蕨的重要值最低。

2.2.3 生物多样性指数 Shannon-Weiner 指数是反映群落复杂程度的一个生物多样性指数。田头山桉树相思低效林改造工程区样地草本 Shannon-Weiner 指数在 2.54~3.03 之间, 草本生物多样性处于中等水平。其中 TTS-D3 的 Shannon-Weiner 指数最高, 为 3.03, TTS-D1 样地的 Shannon-Weiner 指数最低, 为 2.54。田头山桉树相思低效林改造工程区样地草本植物 Simpson 指数在 0.86~0.92 之间, 草本生物多样性处于中上等水平。其中 TTS-D3 的 Simpson 指数最高, 为 0.92, 高于其他样地。TTS-D1 样地的 Simpson 指数最低, 为 0.86。Pielou 均匀度指数是指一个群落或生境中全部物种个体数目的分配状况, 它反映的是各物种个体数目分配的均匀程度。田头山桉树相思低效林改造工程区样地 Pielou 指数在 0.852~0.919 之间, 草本均匀度处于较高水平。其中 TTS-D2

的 Pielou 指数最高, 为 0.919, 高于其他样地。TTS-D3 样地的 Pielou 指数最低, 为 0.852。

大鹏桉树相思低效林改造工程区样地草本 Shannon-Weiner 指数在 2.38~2.49 之间, 草本生物多样性处于中等水平。其中 DP-D1 的 Shannon-Weiner 指数最高, 为 2.49, DP-D1 样地的 Shannon-Weiner 指数最低, 为 2.38。大鹏桉树相思低效林改造工程区样地草本植物 Simpson 指数在 0.88~0.91 之间, 草本生物多样性处于中上等水平。其中 DP-D1 和 DP-D2 的 Simpson 指数最高, 为 0.92, 高于其他样地。DP-D4 样地的 Simpson 指数最低, 为 0.91。大鹏桉树相思低效林改造工程区样地 Pielou 指数在 0.91~0.98 之间, 草本均匀度处于较高水平。其中 DP-D2 的 Pielou 指数最高, 为 0.98, 高于其他样地。DP-D4 样地的 Pielou 指数最低, 为 0.91。

大鹏半岛自然保护区桉树相思低效林改造乡土阔叶树种混交林林下草本 Shannon-Weiner 指数总体低于田头山自然保护区, 但其样地最低 Simpson 指数高于田头山保护区。Shannon-Weiner 指数更能够显示两个保护区之间的差异。

3 结论与讨论

将桉树、相思等纯林改造为乡土阔叶树混交林, 是华南地区自然保护区森林提质增效的有效手段。进行乡土树种改造对于创新现阶段的生态林业建设模式思路具有重要意义^[20]。纯林样地较高的种植密度亦在一定程度上抑制了林下草本的生长^[9]。将原有桉树、相思林进行改造后, 减少了林分的郁闭度, 增加了光照和水分, 为林下草本植物的生长提供了更好的水热条件, 所以在改造后的乡土阔叶人工混交林内, 林下草本植物的生长得到促进, 最高可以达到 2 m。但由于水热条件较好, 有害生物薇甘菊也在林内快速生长。因此, 应加强改造林分林下草本的管理。同时草珊瑚等资源植物也能够很好生长, 表明改造后林分具备一定发展林下经济的条件。

相比于混交林样地, 纯林样地林下草本层的物种多样性相对较低^[9,21-22]。混交林更有利于林下草本多样性的提高。尤龙辉等^[23]研究不同林龄桉树林下草本 Shannon-Weiner 指数在 2.0 到 2.4 之间, 低于本研究的阔叶混交林。曾伟等^[24]研究深圳马占相思林林下草本平均 Pielou 指数在

0.39~0.48, 低于本研究中的乡土阔叶树种混交林, 表明乡土阔叶树种混交林林下草本多样性高于桉树或相思纯林。在本研究中大鹏半岛自然保护区阔叶混交林林下草本多样性总体上低于田头山自然保护区, 这主要是因为两者地理位置不同而造成各项环境生态因子差异造成的。因为林下草本生物多样性受乔木林龄^[8]、植被演替周期^[25]、海拔^[26]、坡度^[27]、坡向^[28]、光照^[29]、人为活动^[30]等多种生态要素影响, 即使采用相同营建模式, 乡土阔叶混交林林下草本多样性也存在差异。

参考文献

- [1] 区余端, 王楚彪, 吴钊. 基于聚类分析的广东省乡土阔叶树种分布研究[J]. 植物科学学报, 2015, 33(3): 295-301.
- [2] 梁俊林, 毛绘友, 郭丽, 等. 遮阴对3种珍贵乡土阔叶树种幼苗生长及光合作用的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(4): 57-63.
- [3] 潘婷, 雷云, 申玲芝, 等. 针阔混交林生态系统特征及生态效益分析[J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(5): 40-47.
- [4] 朱昭华, 张能文, 冯云. 桉树人工混交林营造技术[J]. 现代农业科技, 2021(14): 132-133.
- [5] 刘鲁光, 陈曦, 朱兆棋, 等. 汶川震后谢家店滑坡体不同次生林林下草本群落特征[J]. 林业科技通讯, 2021, 8(13): 1-8.
- [6] 曹小玉, 李际平, 委霞. 亚热带典型林分空间结构与林下草本物种多样性的差异特征分析及其关联度[J]. 草业科学, 2019, 36(10): 2466-2475.
- [7] 朱媛君, 杨晓晖, 时忠杰, 等. 林分因子对张北杨树人工林林下草本层物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2018, 37(10): 2869-2879.
- [8] 刘佳哲, 谭长强, 申文辉, 等. 不同林龄杉木人工林林下灌木和草本物种组成及多样性分析[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(3): 104-110.
- [9] 张涵丹, 康希睿, 邵文豪, 等. 不同类型杉木人工林林下草本植物多样性特征[J]. 生态学报, 2021, 41(6): 2118-2128.
- [10] 吴瑞航, 叶尔江·拜克吐尔汗, 努尔塔依·铁利汗, 赵文. 克拉玛依市乌尔禾区胡杨林下草本层物种多样性研究[J]. 中国城市林业, 2019, 17(4): 7-11.
- [11] 张日升, 宋鸽. 章古台地区樟子松人工林林下草本植物群落动态[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 233-238; 243.
- [12] 殷正, 范秀华. 长白山不同演替阶段温带森林林下草本植物对乔木幼苗的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(7): 2194-2204.
- [13] 杜鹏飞, 李明文. 不同天然林分对林下草本植物多样性的影响[J]. 2019, 44(6): 18-22.
- [14] 赵晴, 刘莉娜, 陈丹, 等. 深圳田头山市级自然保护区的植物资源调查[J]. 绿色科技, 2016(14): 4-7.
- [15] 王佐霖, 邓辉, 李瑜. 深圳市级自然保护区有害生物防控措施研究[J]. 绿色科技, 2015(8): 1-5.
- [16] 张姣, 余传, 陈若虹. 大鹏半岛市级自然保护区动物资源现状和评价[J]. 绿色科技, 2019(8): 38-39.
- [17] 余传, 张姣. 大鹏半岛市级自然保护区水质状况评价[J]. 绿色科技, 2019(8): 66-67.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 森林生态系统长期定位观测方法: GB/T 33027-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [19] 谭琳, 刘梦芸, 甘先华, 等. 深圳市级自然保护区土壤化学计量特征与植物多样性的相关性[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 20-25.
- [20] 张红丽. 生态林业建设中乡土树种的应用探究[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(7): 195-196.
- [21] 董卉卉, 邱林, 张建设, 等. 黄柏山4种典型人工林林下植物多样性研究[J]. 林业资源管理, 2019(4): 86-91.
- [22] 郭琦, 王新杰. 不同混交模式杉木人工林林下植被生物量与土壤物理性质研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(5): 70-74.
- [23] 尤龙辉, 裴森, 陈金章, 等. 桉树林分改造模式对林下植被物种多样性的影响[J]. 林业勘察设计, 2019, 39(1): 16-22; 26.
- [24] 曾伟, 谭一凡, 曹华, 等. 深圳市马占相思过熟林群落组成及物种多样性分析[J]. 生态科学, 2020, 39(6): 112-119.
- [25] 胡文浩, 张晓婧, 陈雅杰, 等. 坝上地区不同年代退耕还林生境的草本层植物多样性及影响因子[J]. 生态学报, 2021(3): 1-11.
- [26] 杨晓艳, 张世雄, 温静, 等. 吕梁山森林群落草本层植物物种多样性的空间格局及其对模拟增温的响应[J]. 生态学报, 2018, 38(18): 6642-6654.
- [27] 杨振奇, 秦富仓, 张晓娜, 等. 砬砂岩区不同立地类型人工沙棘林下草本物种多样性环境解释[J]. 生态学报, 2018, 38(14): 5132-5140.
- [28] 王子婷, 杨磊, 李广, 等. 半干旱黄土区苜蓿退化对坡面草本植物分布及多样性的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(10): 3720-3729.
- [29] 曹小玉, 李际平, 赵文菲, 等. 基于结构方程模型分析林分空间结构对草本物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(24): 9164-9173.
- [30] González-Hernández M P, Mouronte V, Romero R, et al. Plant diversity and botanical composition in an Atlantic heather-gorse dominated understory after horse grazing suspension: comparison of a continuous and rotational management[J]. Global Ecology and Conservation, 2020, 23: e01134.