

中山市防火林带树种组成与冠层结构*

陈嘉杰¹ 冼丽铨² 黎清¹ 陈红跃²
陈昱华¹ 所永亮¹ 刘小玲² 刘璐¹

(1. 中山市国有森林资源保护中心, 广东 中山 528458; 2. 华南农业大学林业学与风景园林学院, 广东 广州, 510642)

摘要 防火林带的树种组成与冠层结构可影响林带的防火功能。为评价中山市防火林带的树种组成和冠层结构, 对中山市防火林带树种进行了调查, 并在防火林带中选取了 9 个典型林带类型, 建立标准地, 对其树种组成与冠层结构进行了对比研究。结果表明: 中山市 13 个镇区的生物防火林带共应用了 31 个树种, 隶属 17 科 24 属, 豆科、山茶科和樟科树种最多, 数量最多的有荷木 *Schima superba*、马尾松 *Pinus massoniana*、台湾相思 *Acacia confusa*、柠檬桉 *Eucalyptus citriodora*、米老排 *Mytilaria laosensis*; 以针叶树为主的针叶林林冠开度最大, 达 38.07%, 林下植物相对茂盛, 分别以米老排和杨梅 *Myrica rubra* 为主的阔叶混交林林冠开度最小, 分别为 12.36% 和 13.88%。米老排与杨梅为主要树种的阔叶林林冠开度比以马尾松为主的针叶林的林冠开度要小, 阔叶林的冠层郁闭度较高; 自然保护区核心区针阔混交林的叶面积指数最大, 达 2.64, 显著高于马尾松纯林和马占相思 *Acacia mangium*、荷木和藜蒺 *Castanopsis fissa* 等阔叶混交林, 为 0.99 和 1.65; 山脚的荷木林地、荷木与马尾松的混交林和以米老排为主的阔叶混交林的林下光照较弱, 林下植被稀少, 冠层结构较为疏散, 是较好的防火林带。对现有防火林带的林分改造, 如增加经济林木、果树等阔叶树种, 可进一步提高防火林带的防火作用。

关键词 中山市; 防火林带; 冠层结构; 树种组成

中图分类号: S762.3 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 05-0071-06

Tree Species Composition and Canopy Structure of Fire-resistant Forest Belt in Zhongshan City

CHEN Jiajie¹ XIAN Lihua² LI Qing¹ CHEN Hongyue²
CHEN Yuhua¹ SUO Yongliang¹ LIU Xiaoling² LIU Lu¹

(1. Forest Resources Protection Center of Zhongshan, Zhongshan, Guangdong 528458, China;

2. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract Fire prevention forest tree species composition and canopy structure can affect the forest fire prevention function. To evaluate the Zhongshan city fire prevention forest tree species composition and canopy structure, the tree species were surveyed, and nine typical types were establish as standard plots, for floristic composition and canopy structure comparative study. The results showed that 31 species were used in the biofireproof forest belts of 13 towns in Zhongshan city, belonging to 17 families and 24 genera, with the largest number of species of Legume, Camellidae and Camphaceae, and the largest number of species were *Schima superba*, *Pinus massoniana*, *Acacia confusa*, *Eucalyptus citriodora*, *Mytilaria laosensis*. Coniferous forests, coniferous trees mainly, had the largest canopy opening, reaching up to 38.07%, and the undergrowth plants were

* 第一作者: 陈嘉杰 (1974—), 男, 工程师, 主要从事林业科学研究, E-mail: cjj0318@163.com。

通信作者: 冼丽铨 (1987—), 女, 实验师, 主要园林植物应用研究, E-mail: xianlihua@scau.edu.cn。

relatively flourishing. The broad-leaved mixed forests, mainly composed of *Mytilaria laosensis* and *Myrica rubra*, had the smallest canopy opening, which was 12.36% and 13.88%, respectively. The canopy opening of broad-leaved forest was smaller than that of coniferous forest dominated by *Pinus massoniana*, and the canopy density of broad-leaved forest was higher. The leaf area index of mixed coniferous and broad-leaved forest in the core area of nature reserve was the largest, reaching 2.64, significantly higher than that of pure forest of *Pinus massoniana* and mixed forest of broad-leaved *Acacia mangium*, *Schima superba*, *Pinus massoniana* and *Castanopsis fissa*, which were 0.99 and 1.65. At the foot of the mountain, the *S. superba* woodland, the mixed forest of *S. superba* and *Pinus massoniana*, and broad-leaved mixed forest dominated by *Mytilaria laosensis* are appropriate fire-resistant forest belt because of the weak light, sparse understory vegetation and the relatively evacuated canopy structure. The fire prevention effect of the fire-resistant forest belt can be further improved by reforming the existing forest distribution of the fire-resistant forest belt, such as increasing the economic tree, fruit tree and other broad-leaved tree species.

Key words Zhongshan city; fire-resistant forest belt; canopy structure; tree species composition

利用生物之间的差异性、树冠结构以及相对密植构成的独特林分，降低森林自身的燃烧性，提高森林阻燃能力，改变火环境，从而达到阻火、隔火和断火的作用，对于减少森林火灾损失具有十分重要的意义和作用^[1-3]，同时防火林带对增加生态系统稳定性和生物多样性，充分发挥森林的综合效益也有重要作用^[4]。防火林带的生物群落的冠层结构与林下植物情况不仅直接影响防火林带截获太阳辐射强度及截留降水能力，还影响了林内小气候特征，如林内光照、风速、空气温湿度等^[5-6]。冠层结构会影响林内光环境，光环境变化对草本层的影响较乔木层和灌木层明显，对草本层物种丰富度和多样性影响更显著，林下光照强度大小是影响林下植物生长和演替的重要限制因素^[7-11]。从研究文献看，由冠层结构分析评价防火林带特征的很少。

本研究以广东省中山市现有的森林防火林带 9 个典型林分为研究对象，以现有全市生物防火林带现状为基础，从树种组成、冠层结构等方面进行分析，从而评价中山市典型森林防火林带的防

火能力，旨在从冠层结构方面为防火林带的高效改造与营建管理提供参考。

1 研究区概况

中山市处于北回归线以南，热带的北缘，太阳辐射角度大，光照充足，气候温暖，植被类型主要为热带季雨林型的常绿季雨林，以五桂山为主脉，与周围诸山形成全市低山丘陵台地的主体，森林覆盖率达 23.08%，防火林带 411 条，总长约 591.8 km。本研究地点位于中山市田心公园森林公园、中山市树木园、逍遥谷自然保护区、槟榔村、长江村以及和平村，最高海拔 487 m，最低海拔 105 m，9 个标准地（表 1）设于不同林分类型的防火林带中。

2 研究方法

2.1 防火林带树种调查

通过对中山市 13 个镇区及森保中心现有生物防火林带进行本底资料查阅、现场踏查，本研究记录了中山市 13 个镇区防火林带主要树种组成（表 2）。

表 1 各标准地的植物组成情况
Table 1 Plant composition in each site

标准地号 Number	调查地点 Sites	标准地特点 Standard plots feature	主要树种组成 Major species
1	田心公园森林公园	荷木为主，其它阔叶树混交，位于山脚	荷木 <i>Schima superba</i> 、大叶桉 <i>Eucalyptus robusta</i> 、大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i> 、柠檬桉 <i>Eucalyptus citriodora</i> 、马尾松 <i>Pinus massoniana</i> 、鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i> 、银柴 <i>Aporosa dioica</i> 、黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i>

标准地号 Number	调查地点 Sites	标准地特点 Standard plots feature	主要树种组成 Major species
2	伯公坳	荷木为主，位于山顶，中间为登山道	荷木为主，少量鸭脚木、杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> 、马尾松
3	逍遥谷	针阔混交林，自然保护区核心区	荷木为主，少量马尾松
4	田心森林公园 园电视塔	针阔混交林，位于山顶，裸露地	荷木、大叶相思、杉木、润楠 <i>Machilus pingii</i> 、马尾松
5	槟榔村	针叶树为主，位于山顶	马尾松、荷木、柠檬桉、马尾松、潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i> 、山乌桕 <i>Sapium discolor</i>
6	槎桥村－ 树木园 1	阔叶混交林，中间为登山道	杨梅 <i>Myrica rubra</i> 、深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> 、润楠、黄兰 <i>Michelia champaca</i> 、荷木、观光木 <i>Michelia odora</i>
7	槎桥村－ 树木园 2	阔叶混交林，中间为登山道	米老排 <i>Mytilaria laosensis</i> 、柠檬桉、海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i> 、润楠、樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> 、台湾相思 <i>Acacia confusa</i> 、大叶相思
8	长江村	阔叶混交林，位于山顶	荷木、大叶相思、台湾相思、柠檬桉、马占相思 <i>Acacia mangium</i> 、马尾松、尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> 、枫香 <i>Liquidambar formosana</i>
9	和平村	阔叶混交林，位于山脚	马占相思、荷木、藜蒴 <i>Castanopsis fissa</i> 、密花树 <i>Rapanea neriifolia</i> 、马尾松、凹叶红豆 <i>Ormosia emarginata</i> 、铁冬青 <i>Ilex rotunda</i> 、鸭脚木、杉木、山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>

表 2 中山市各镇区防火林带树种
Table 2 Fire forest tree species in different districts of Zhongshan city

序号 Number	镇区 Town/District	主要树种 Major species	种数 Species
1	五桂山	荷木、马尾松、马占相思、桉树、油茶 <i>Camellia oleifera</i> 、白花油茶 <i>Camellia oleosa</i> 、大叶相思、枫香、红锥 <i>Castanopsis hystrix</i> 、火力楠 <i>Michelia macclurei</i> 、藜蒴、米老排、南洋楹 <i>Albizia falcata</i> 、山茶 <i>Camellia japonica</i> 、山鸡椒、山乌桕、杉木、台湾相思、鸭脚木、樟树	20
2	市防	荷木、台湾相思、马尾松、马占相思、桉树、山茶、白花油茶、凤凰木 <i>Delonix regia</i> 、米老排、杉木、油茶、大叶相思、鸭脚木	13
3	大涌	荷木、马占相思、藜蒴、马尾松、红苞木 <i>Rhodoleia parvipetala</i> 、豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> 、潺槁木姜子、枫香、南洋楹、水蒲桃 <i>Syzygium jambos</i> 、山乌桕	11
4	东区	荷木、马尾松、台湾相思、桉树 <i>Eucalyptus robusta</i> 、米老排、沉香、枫香、苦楝 <i>Melia azedarach</i> 、马占相思、乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	10
5	南区	荷木、马占相思、台湾相思、马尾松、桉树、沉香 <i>Aquilaria sinensis</i> 、枫香、苦楝、米老排、乌桕	10
6	板芙	荷木、马占相思、台湾相思、马尾松、桉树、槐树 <i>Sophora japonica</i> 、藜蒴、鸭脚木、樟树	9
7	南朗	荷木、马占相思、马尾松、桉树、凤凰木、桉树、夹竹桃 <i>Nerium indicum</i> 、山乌桕	8
8	坦洲	荷木、台湾相思、鸭脚木、马尾松、大叶相思、桉树、白楸 <i>Mallotus paniculatus</i> 、山乌桕	8
9	神湾	荷木、大叶相思、马尾松、桉树、杉木、鸭脚木	6
10	三乡	荷木、马占相思、桉树、马尾松、台湾相思	5
11	沙溪	荷木、马尾松、山茶、马占相思	4
12	开发区	荷木、马占相思、马尾松	3
13	森保中心	荷木、马占相思、马尾松	3

2.2 标准地的建立

本研究选择具有代表意义的针阔混交林、阔叶混交林、纯针叶林、纯阔叶林的防火林带类型，共设置 9 个标准地，每标准地取 3 个 20 m×20 m 的乔木样方，为 3 个重复样方，其中 1 至 5 号标准地为 20 a 林龄，8 号和 9 号标准地为 15 a 林龄，6 和 7 号标准地为 10 a 林龄。

2.3 林木生长调查

在每标准地中进行每木检尺，调查树高、胸径、枝下高、冠幅、枝下高、生长情况。

2.4 冠层影像获取

运用 Coolpx 4500 数码相机，搭配 180°广角的 Nikkor 鱼镜头，对每个标准地的冠层进行拍照，拍照高度为离地面 1.6 m 处，在样方内随机选择 5 个不同的位置获取半球面影像，用基于鱼眼照相技术的数码半球图像分析系统 Gap Light Analyzer Version 2.0 软件对冠层结构特征进行处理与分析，在参数设置中输入样地的经纬度坐标和海拔，获得冠层结构参数林冠开度（Canopy Openess）和叶面积指数（Leaf index，LAI）以及林下光照指标，包括林下直射光（Transmittance Dir）、林下散射光（Transmittance Dif）和总透光（Transmittance Total）。

2.5 数据统计分析

每个样方的每木调查数据以及半球面影像分

析数据经 Microsoft Excel 2007 整理，用 SAS 8.0 软件对数据进行分析。

3 结果与分析

3.1 中山市防火林带主要树种现状

中山市 13 个镇区的生物防火林带主要分布在山顶、山脊、路缘，据统计，各镇区共应用了 31 个树种（表 2），隶属 17 科 24 属，其中，豆科、山茶科和樟科树种最多，而林带内树种数量最多的是荷木、马尾松、台湾相思、柠檬桉、米老排。在各镇区均有出现的是荷木和马尾松，出现频率较高的还有柠檬桉（84.6%）、马占相思（84.6%）、台湾相思（53.8%）、鸭脚木（38.5%）等。

3.2 标准地树种生长分析

通过对 9 个标准地进行每木调查，发现标准地的树种共有 24 种，隶属 15 科 20 属，樟科和豆科树种最多，各占 23.84%。各标准地主要树种有荷木、马尾松、大叶相思、台湾相思、马占相思等。

各标准地树木的生长情况如表 3（均为平均值）所示，结果显示：树木胸径最大的是 3 号标准地，平均胸径达 17.54 cm，其次是 2 号和 4 号，这 3 个标准地主要树种均为荷木，树木胸径最小的是 8 号和 5 号标准地，仅 8.49 和 8.52 cm，8 号和 5 号标准地均位于山顶，其主要树种为马尾

表 3 各标准地的树木生长
Table 3 Tree growth in each site

标准地号 Number	调查地点 Site	胸径 /cm DHB	树高 /m H	枝下高 /m HB	冠幅 /m W
1	田心公园森林公园	11.29 ± 0.11 cd	8.47 ± 0.22ab	2.64 ± 0.10 bcd	2.98 ± 0.10 cd
2	伯公坳	14.52 ± 0.07 ab	7.52 ± 0.47 bc	1.88 ± 0.15 cd	2.32 ± 0.04 d
3	逍遥谷	17.54 ± 0.05 a	10.49 ± 0.21 a	4.27 ± 0.38 ab	5.25 ± 0.13 a
4	田心森林公园电视塔	14.72 ± 0.74 ab	9.80 ± 0.56 ab	2.74 ± 0.25 bcd	4.83 ± 0.14 ab
5	槟榔村	8.52 ± 0.51 d	4.67 ± 0.13 d	1.41 ± 0.08 cd	2.88 ± 0.12 cd
6	槎桥村 - 树木园 1	12.22 ± 0.50 cd	8.48 ± 0.18 ab	1.95 ± 0.17 cd	3.98 ± 0.10 bc
7	槎桥村 - 树木园 2	12.42 ± 0.30 bc	10.31 ± 0.46 a	5.13 ± 0.45 a	4.03 ± 0.42 bc
8	长江村	8.49 ± 0.35 d	5.78 ± 0.27 cd	1.22 ± 0.05 d	2.41 ± 0.21 d
9	和平村	11.17 ± 0.93 cd	7.53 ± 0.90 bc	3.56 ± 0.89 abc	2.08 ± 0.31 d

注：表中数据为平均值 ± 标准误差，同列不同小写字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。Note: The data in this table is the standard error of the mean value, and different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

松和荷木与大叶相思等阔叶树种。树高最高的标准地是3号和7号, 分别是10.49和10.31m, 最小的是5号标准地, 平均树高仅4.67 m, 说明纯针叶林的树高相对较矮。枝下高最高的是7号标准地, 高达5.13 m, 最小的是8号标准地, 仅为1.22 m, 说明以米老排为主要树种的阔叶混交林比以荷木为主的阔叶混交林的枝下高要高。冠幅最大的是3号标准地, 高达5.25 m, 而最小的是9号、2号和8号, 冠幅分别为2.08 m、2.32和2.41 m, 说明自然保护区核心区针阔混交林的冠幅相对其它阔叶混交林的要大。

3.3 冠层结构分析

冠层结构是一项重要的植物群体指标^[12], 林冠开度、叶面积指数、林下直射光、林下散射光以及总光照的测定结果见表4。

林冠开度对了解林隙大小及郁闭情况, 从而评估树种的更新演替有重要的意义^[12], 从表4可知, 5号标准地的林冠开度最大, 达38.07%, 林下植物相对茂盛, 有白花鬼灯笼 *Clerodendrum fortuneatum*、芒萁 *Dicranopteris dichotoma*、芒草 *Imperata cylindrica*、菝葜 *Smilax chin* 等; 7号和6号标准地林冠开度最小, 分别为12.36%和13.88%, 说明米老排与杨梅为主要树种的阔叶林林冠开度比以马尾松为主的针叶林的林冠开度要小, 阔叶林的冠层郁闭度较高。

叶面积指数对于评定生长状况、遮荫效果及其他生态功能有重要的意义^[12]。3号标准地的叶面积指数最大, 达2.64, 显著高于5号和9号标准地 ($P < 0.05$), 为0.99和1.65, 可见自然保护区核心区的3号标准地树木生长良好, 虽针阔混交, 但枝繁叶茂, 郁闭度较高。

疏透性结构防火林节下木很少, 结构疏散, 利于热量扩散, 冷热空气对流不强烈, 不容易产生飞火, 是理想的防火林带结构^[13]。林下总光照最大的是5号标准地, 显著高于其它标准地 ($P < 0.05$), 为20.06 mol · m⁻² · d⁻¹, 总光照较弱的是7号、1号和3号, 分别是5.56、5.65和5.73 mol · m⁻² · d⁻¹, 其中林下直射光最强的是5号标准地, 显著高于其它标准地, 达10.61 mol · m⁻² · d⁻¹, 7号标准地的林下直射光最弱, 仅2.30 mol · m⁻² · d⁻¹; 而5号标准地的林下散射光同样最强, 显著高于其它标准地, 达9.46 mol · m⁻² · d⁻¹, 林下散射光最弱的则是1号标准地, 仅为2.91 mol · m⁻² · d⁻¹。总的来看, 林下光照弱, 不利于林下植被生长, 下木变少, 较易形成较为疏透的冠层结构, 标准地1号、3号和7号林下植被稀少, 仅少量的剑叶凤尾蕨 *Pteris ensiformis*、淡竹叶 *Lophatherum gracile*、扇叶铁线蕨 *Adiantum flabellulatum*, 冠层结构较为疏散, 是较好的防火林带。

表4 各标准地冠层特征值
Table 4 Characteristic values of each canopy

标准地号 Number	林冠开度 / % CO	叶面积指数 LAI	林下直射光 / (mol · m ⁻² · d ⁻¹) TDir	林下散射光 / (mol · m ⁻² · d ⁻¹) TDif	总光照 / (mol · m ⁻² · d ⁻¹) TTot
1	16.26 ± 0.42 c	2.52 ± 0.04 a	2.74 ± 0.25 cd	2.91 ± 0.15 d	5.65 ± 0.39 c
2	15.10 ± 0.33 c	2.44 ± 0.03 ab	2.86 ± 0.08 cd	3.17 ± 0.06 cd	6.03 ± 0.11 c
3	16.16 ± 1.04 c	2.64 ± 0.09 a	2.64 ± 0.09 cd	3.09 ± 0.21 cd	5.73 ± 0.28 c
4	17.32 ± 0.57 c	2.39 ± 0.07 ab	4.57 ± 0.45 bcd	3.84 ± 0.20 cd	8.41 ± 0.65 bc
5	38.07 ± 2.41 a	0.99 ± 0.08 d	10.61 ± 0.66 a	9.46 ± 0.49 a	20.06 ± 1.12 a
6	13.88 ± 0.85 c	2.53 ± 0.09 a	4.56 ± 0.60 bcd	3.51 ± 0.29 cd	8.07 ± 0.88 c
7	12.36 ± 0.49 c	2.65 ± 0.08 a	2.30 ± 0.24 d	3.26 ± 0.17 cd	5.56 ± 0.35 c
8	19.32 ± 0.80 c	1.94 ± 0.06 bc	5.49 ± 0.42 bc	4.98 ± 0.33 bc	10.47 ± 0.74 bc
9	27.98 ± 0.34 b	1.65 ± 0.04 c	6.91 ± 0.26 b	6.08 ± 0.13 b	12.98 ± 0.37 b

注: 表中数据为平均值 ± 标准误差, 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Note: The data in this table is the standard error of the mean value, and different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

4 结论与讨论

全市防火林带树种应用多达 30 余种,但是荷木、马尾松、台湾相思、柠檬桉、米老排为主要树种组成,树种组成略单一,更多耐火树种值得进一步筛选与研究,避免形成以荷木为主的单一优势群落,增加生物防火林带树种的多样性,有助于稳定生态系统群落结构。

光照是防火林带植物生长的重要生态因子,本研究结果表明各标准地的林冠开度、叶面积指数、林下直射光与林下散射光差异显著,林冠开度越大与叶面积指数越小的标准地,林下直射光越强,对林内植物的生长越有利,形成的群落空间不利于防火,相比叶面积指数越大和林冠开度较小的以杨梅和米老排为主要树种的标准地,林内光照较弱,林下植被稀少,冠层结构较为疏散,其能很好地维持林内的温湿度等小气候环境,是较好的防火林带,为防火林带的阻火性提供保障。

以荷木为主要树种的生物防火林带,群落物种多样性不高,林龄基本都在 15~20 年之间,呈单优势群落,群落垂直结构较差,乔、灌、草分层不明显,导致对林内空间利用不充分^[1],不利于群落防火功能的维持,但荷木与其它阔叶树种,如米老排、樟树、大叶相思、台湾相思、鸭脚木、柠檬桉、海南红豆、润楠等树种混交,营造的防火林带冠层结构较为疏透,防火性能较好。将来通过对现有防火林带的林分改造,如增加经济林木、果树等阔叶树种或耐火植物,可进一步提高防火林带的防火作用,增加生物多样性,充分发挥防火林带的综合效益。

参考文献

- [1] 黄志伟, 余树全, 胡庭兴, 等. 不同木荷防火林带建设模式群落学特征比较[J]. 林业科学, 2008, 44(1): 101-106.
- [2] 王海晖. 生物防火林带技术的科学基础和发展前景[J]. 林业科学研究, 2015, 28(5): 731-738.
- [3] 何莹泉, 王振师, 陈雄伟, 等. 水喷淋对防火林带枯落物含水率的影响[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(2): 71-76.
- [4] 田晓瑞, 舒立福. 防火林带的应用与研究现状[J]. 世界林业研究, 2000, 13(1): 20-26.
- [5] 贾小容, 苏志尧, 区余端, 等. 三种人工林分的冠层结构参数与林下光照条件[J]. 广西植物, 2011, 31(4): 473-478.
- [7] 曾晓阳, 高永恒. 青城山常绿阔叶林冠层结构对植被生物多样性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(2): 65-70.
- [6] 丁丹, 陈钰皓, 陈雄伟, 等. 水喷淋对防火林带土壤温湿度的影响[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(2): 66-70.
- [8] 卢训令, 丁圣彦, 游莉, 等. 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4715-4723.
- [9] 田平, 韩海荣, 康峰峰, 等. 密度调整对太岳山华北落叶松人工林冠层结构及林下植被的影响[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(8): 45-53.
- [10] 王旭东, 杨秋生, 张庆费. 上海市公园绿地植物群落冠层结构量化研究[J]. 中国园林, 2017, 33(7): 75-79.
- [11] 汪迎利, 卢雅莉, 陈一群, 等. 湿地松改造林分冠层结构及树种光合特征研究[J]. 生态环境学报, 2017, 26(5): 735-740.
- [12] 苏志尧, 贾小容, 解丹丹, 等. 用半球面影像技术测定城市林分的冠层结构参数[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2): 65-68.
- [13] 孙永明, 魏立, 刘随存, 等. 生物防火林带有效宽度和结构研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 139-142.