

上海植物园环保植物区群落结构特征研究

郭健康

上海植物园温室管理中心, 上海

收稿日期: 2025年5月20日; 录用日期: 2025年7月2日; 发布日期: 2025年7月14日

摘要

上海植物园的环保植物区, 是整个园区中不以专类植物为主体的区域, 种植的植物种类以及配置方式接近城市绿地。为明确环保植物区树木生长情况与群落结构特征, 以及和城市绿地群落结构的差异, 本研究对环保植物区进行每木调查, 主要结论包括: 1) 环保植物区以常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林为主, 出现频率分别为55.56%和27.78%; 2) 共记录植物47科74属96种, 单位面积物种丰富度高于上海城市绿地, 与上海自然林地相当; 3) 植物群落均为乔 + 灌 + 草类型的复层群落, 其中77.8%的群落为双层乔 + 灌 + 草模式, 远高于城市绿地的平均水平。

关键词

上海植物园, 植物群落, 结构特征, 多样性指数

Study on the Community Structural Characteristics of the Environmental Protection Plant Zone in Shanghai Botanical Garden

Jiankang Guo

Shanghai Botanical Garden Greenhouse Management Center, Shanghai

Received: May 20th, 2025; accepted: Jul. 2nd, 2025; published: Jul. 14th, 2025

Abstract

The Environmental Protection Plant Zone of the Shanghai Botanical Garden, distinct from specialized plant collections, showcases vegetation composition and configuration patterns similar to those found in urban green spaces. To elucidate tree growth status, community structural characteristics,

and differences from typical urban green space communities, we conducted a comprehensive tree census within this zone. Key findings include: 1) Vegetation types: 55.56% are evergreen broad-leaved forest, and 27.78% are mixed evergreen-deciduous broad-leaved forest; 2) Floristic composition: A total of 96 species (excluding ruderal species) from 74 genera and 47 families were recorded. The Environmental Protection Plant Zone demonstrated biodiversity metrics comparable to those of natural forests in Shanghai, surpassing those of other urban green space types; 3) All communities displayed multi-layered structures (tree-shrub-herb), with 77.8% featuring dual-tree-layer configurations, significantly exceeding the average level observed in urban green spaces.

Keywords

Shanghai Botanical Garden, Plant Community, Structural Characteristics, Biodiversity Index

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

植物园的整体空间布局以种植专科专属植物的专类园为主，目标是尽量保育更多的珍稀濒危和乡土植物。国内植物园大多建设较早，有些区域采用城市绿地的建设模式，管理思路秉持低维护、高生态价值发挥为主，对于目前城市绿地生态价值提升有较大的借鉴意义。上海植物园是国内建设较早的植物园之一，担负着服务城市 and 对外交流的重要使命，1974 年在龙华苗圃(建于 1954 年)的基础上开始建设，1978 年正式对外开放。目前，园内建有 24 个专类园和两个南北温室群。其中环保植物区是整个园区中唯一不以专类植物为主体的区域，种植的植物种类以及配置方式接近城市绿地，而且该区域位于 1 号门，为工作人员出入口，游客较少，人为干扰较弱，植物种类多样、林木茂密，郁闭度高，具有良好的生态环境效益。为明确环保植物区树木生长情况与群落结构特征，以及和城市绿地群落结构的差异，本研究开展植物群落结构调查研究，以期为城市绿地的生态价值提升、生物多样性保护提供借鉴。

2. 研究方法

2.1 样地选择

本研究于 2023 年 1 月对上海植物园环保植物区(图 1)绿地的植物群落进行调查。由于环保植物区总体面积相对较小，在以路缘、水缘、建筑等为边界划定群落范围后，对全部的植物群落进行每木调查，调查群落 18 个，面积在 233~4227 m² 之间，总调查面积为 29,439 m²。

2.2. 群落调查

采用法瑞学派调查法对社区植物群落(图 2)进行社会学调查。根据研究需要，调查样地群落结构特征、植物种类和冠层结构特征。乔木层、灌木层和草本层按照赵娟娟等总结的城市植物调查定性、定量标准进行划分[1]，乔灌幼苗计入其高度所在的层内。由于自然生长的草本在环保植物区中的优势度较低，对绿地结构和功能影响较小，故不在本调查范围内。

2.3. 群落结构特征计算方法

1) 物种多样性分析

物种多样性特征包括丰富度指数、Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数[2]。计算方法参考 Magurran

等研究[3][4]。

2) 群落聚类分析

以所有物种的相对优势度值为基础排表, 使用 SPSS 26.0 (美国) 系统聚类, 组间联接聚类方法, 平方欧氏距离进行群落聚类分析[5]。



注: 该图是基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2020)3183 号和 GS(2019)3266 号的标准地图制作, 地图无修改(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/browse.html?picId=%224028b0625501ad13015501ad2bfc0431%22>)。

Figure 1. Location of environmental protection plant area

图 1. 环保植物区区位图

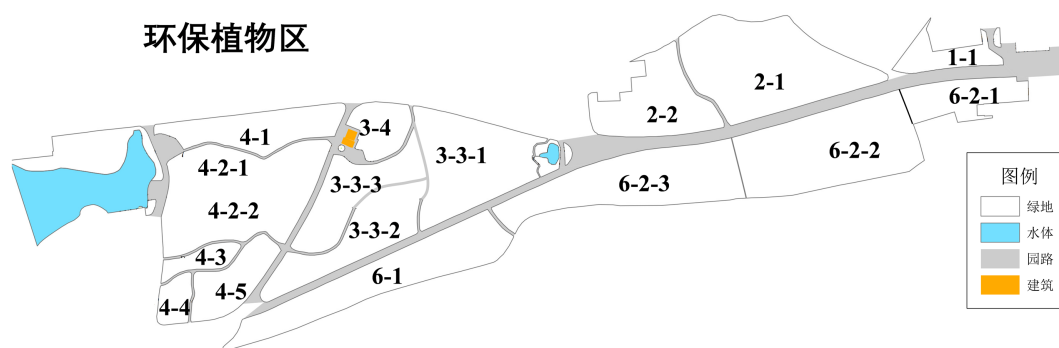


Figure 2. Community code map of environmental protection plant area

图 2. 环保植物区群落编号

3. 研究结果

3.1 植被类型和群落类型

参照《中国植被》[6]的分类标准, 调查的 18 个环保植物区群落分为 5 种植被类型, 主要为常绿阔叶

林(出现频率 55.56%)、落叶阔叶林(出现频率 27.78%)、常绿落叶阔叶混交林、针阔混交林、草本群落(出现频率较低)(图 3)。以所有物种的相对优势度值为基础,结合外貌特征,对环保植物区的 18 个群落进行聚类分析,在平方欧氏距离 5 的标准上,聚类为 13 种植物群落类型(图 4)。由于植物群落为人工配置种植,导致样地种类组成及优势度差异较大,因此聚类分析结果显示的群落类型较多。

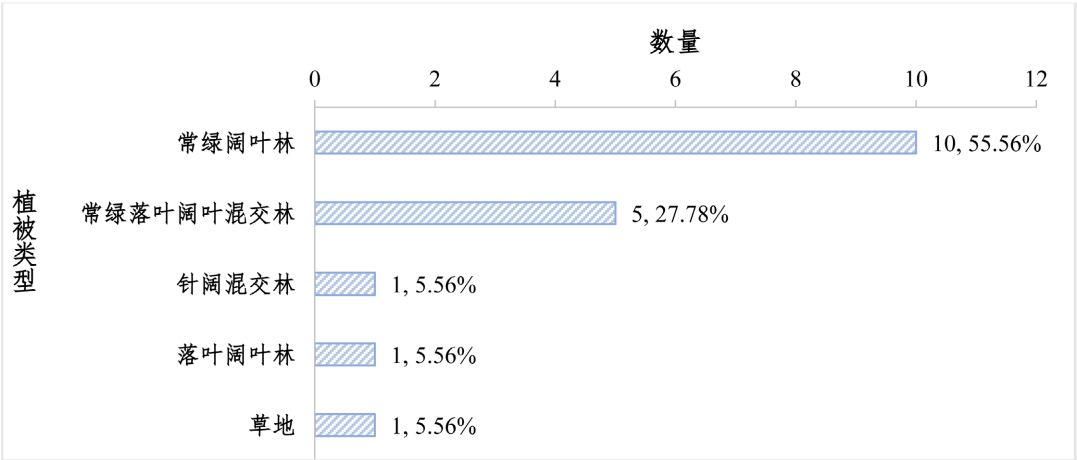
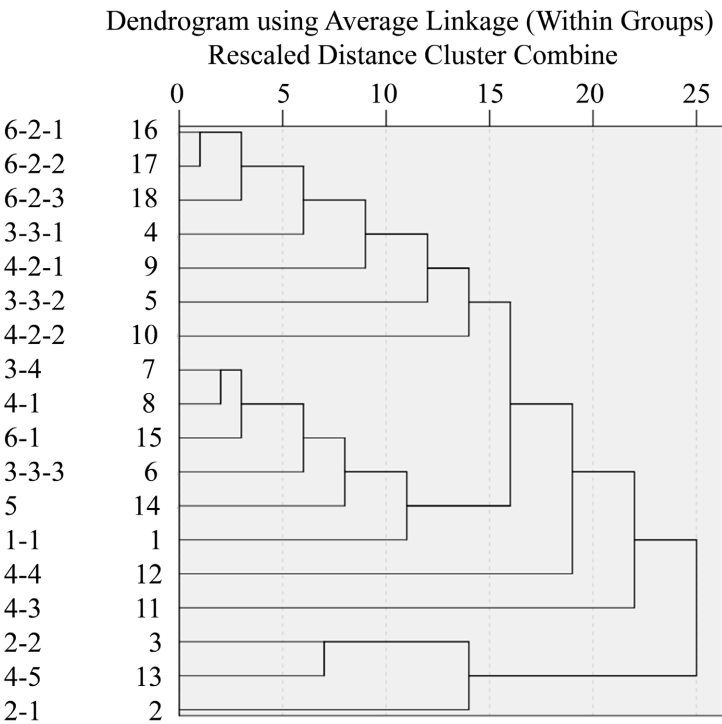


Figure 3. Quantity of vegetation types
图 3. 植被类型数量



注: 1) 香樟群落(3-4, 4-1, 6-1); 2) 香樟 - 白玉兰群落(5); 3) 香樟 - 广玉兰 - 乌桕群落(3-3-1); 4) 香樟 - 银杏群落(6-2-1, 6-2-2, 6-2-3); 5) 香樟 - 广玉兰 - 枫杨群落(3-3-3); 6) 雪松 - 香樟群落(4-2-1); 7) 广玉兰 - 香樟 - 毛竹群落(1-1); 8) 毛竹群落(2-2, 4-5); 9) 毛竹 - 香樟群落(3-3-2); 10) 毛竹 - 悬铃木群落(2-1); 11) 榔榆群落(4-4); 12) 乐昌含笑 - 樟叶槭 - 草坪群落(4-2-2); 13) 棕榈 - 樟叶槭群落(4-3)。

Figure 4. Cluster diagram
图 4. 聚类图

3.2. 种类组成

通过对环保植物区 18 个群落的调查结果分析, 共记录维管植物 47 科 74 属 96 种(含种以下单位), 其中裸子植物 5 科 7 属 7 种, 被子植物 42 科 66 属 88 种, 蕨类植物 1 科 1 属 1 种。调查样地内植物科、属、种分别占上海植物园植物的 33.5%、8.9%、0.9%, 其中全国野生保护植物[7]和 IUCN 红色名录植物[8]共计 11 种, 分别是水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、榧树(*Torreya grandis*)、罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、普陀鹅耳枥(*Carpinus putoensis*)、连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)、玉兰(*Yulania denudata*)、乐昌含笑(*Michelia chapensis*)、舟山新木姜子(*Neolitsea sericea*)、鸡爪槭(*Acer palmatum*)、天竺桂(*Cinnamomum japonicum*)。

3.2.1. 科属组成

环保植物区植物共计 47 科, 按属、种数统计(表 1), 种数大于 6 的科有 1 个, 为蔷薇科, 含 5 属 7 种, 种数在 2~5 之前的科有 20 个, 含 43 属 64 种, 单科单属单种的有 26 个[3]。

Table 1. Family number of seed plant flora of environmental protection plant area

表 1. 环保植物区植物科的数量统计

类别	单种科 (1 种)	寡种科 (2~5 种)	中等科 (6~10 种)	大种科 (11 种以上)
科(属/种)	26 (26/26)	20 (43/64)	1 (5/7)	0 (0/0)
占科属种的比例(%)	55.3 (35.1/26.8)	42.6 (58.1/66.0)	2.1 (6.8/7.2)	0 (0/0)

表 2 按照所含种、属数的高低列出了上海植物园环保植物区种子植物科的属种组成, 含 5 种及以上的科有 6 个, 为蔷薇科(Rosaceae) 7 种、豆科(Leguminosae) 5 种、木犀科(Oleaceae) 5 种、锦葵科(Malvaceae) 5 种、天门冬科(Asparagaceae) 5 种、无患子科(Sapindaceae) 5 种, 共计占总科、属、种数的 12.8%、25.7% 和 33.0%。其中蔷薇科、木犀科、豆科以观赏价值较高的灌木、小乔木和乔木为主。

Table 2. Number of families, genera, and species in the environmental protection plant area

表 2. 环保植物区植物科属种的数量

科	属/种	科	属/种	科	属/种
蔷薇科	5/7	金缕梅科	2/2	蓝果树科	1/1
豆科	3/5	松科	2/2	连香树科	1/1
锦葵科	1/5	五加科	2/2	罗汉松科	1/1
木犀科	4/5	榆科	2/2	千屈菜科	1/1
天门冬科	4/5	鸢尾科	1/2	莎草科	1/1
无患子科	2/5	海桐科	1/1	山茶科	1/1
禾本科	2/4	红豆杉科	1/1	肾蕨科	1/1
樟科	3/4	胡桃科	1/1	石蒜科	1/1
夹竹桃科	3/3	胡颓子科	1/1	悬铃木科	1/1
木兰科	3/3	桦木科	1/1	蕁树科	1/1

续表

丝缨花科	1/3	黄杨科	1/1	杨梅科	1/1
五福花科	1/3	姜科	1/1	叶下珠科	1/1
小檗科	2/3	菊科	1/1	银杏科	1/1
柏科	2/2	苦木科	1/1	棕榈科	1/1
大戟科	2/2	蜡梅科	1/1	酢浆草科	1/1
冬青科	1/2	兰科	1/1		

3.2.2. 主要植物种类出现频率

通过计算各个物种的出现频率(Frequency) [3]来表征人工群落常用的植物种类, 环保植物区出现频率 $f > 20\%$ 的物种名录见表 3。八角金盘(*Fatsia japonica*)和麦冬(*Ophiopogon japonicus*)在 18 个群落样地中的出现率高于 80%, 香樟(*Cinnamomum camphora*)出现率高于 70%, 为出现频率最高的 3 个物种。出现频率按高低排序, 前 3 位的常绿乔木为香樟、广玉兰(*Magnolia grandiflora*)、银杏; 常绿小乔木为女贞(*Ligustrum lucidum*)、蚊母树(*Distylium racemosum*)、桂花(*Osmanthus fragrans*); 落叶乔木为水杉、七叶树(*Aesculus chinensis*)、榔榆(*Ulmus parvifolia*); 落叶小乔木为(*Acer buergerianum*)、红枫(*Acer palmatum*)、日本早樱(*Prunus × yedoensis*); 灌木为八角金盘、琼花(*Viburnum keteleeri*)、山茶(*Camellia japonica*); 草本为麦冬、吉祥草(*Reineckea carnea*)、沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)。出现频率在 20% 以上的物种共 29 种, 其中常绿乔木或小乔木 8 种, 落叶乔木或小乔木 5 种, 灌木 8 种, 草本 8 种(含草本层中的乔木幼苗), 分别占总数的 27.6%、17.2%、27.6%和 27.6%。乔木树种中, 常绿乔木在种类数量上占优势。从结果可以看出, 环保植物区主要物种的出现频率较高。另一方面, 次数 ≤ 2 ($f \leq 10\%$) 的物种有 59 种, 这说明环保植物区中有少数几种应用频繁, 但是超过 60% 的物种出现次数仅为 1~2 次, 说明这些物种应用偶然性较大。

Table 3. Species frequency $\geq 20\%$ in environmental protection plant area

表 3. 环保植物区出现频率 $f \geq 20\%$ 的物种

f (%)	物种(Species)
$f \geq 70$	八角金盘 <i>Fatsia japonica</i> 、麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i> 、香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>
$50 \leq f < 70$	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> 、广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>
$30 \leq f < 50$	毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i> 、吉祥草 <i>Reineckea carnea</i> 、肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i> 、银杏 <i>Ginkgo biloba</i> 、蚊母树 <i>Distylium racemosum</i> 、琼花 <i>Viburnum keteleeri</i> 、山茶 <i>Camellia japonica</i> 、桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>
$20 \leq f < 30$	紫荆 <i>Cercis chinensis</i> 、鸢尾 <i>Iris tectorum</i> 、沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i> 、水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i> 、南天竹 <i>Nandina domestica</i> 、蔓长春 <i>Vinca major</i> 、大叶黄杨 <i>Buxus megistophylla</i> 、狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> 、酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i> 、棕榈 <i>Trachycarpus fortune</i> 、珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i> 、七叶树 <i>Aesculus chinensis</i> 、榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i> 、海桐 <i>Pittosporum tobira</i> 、枸骨 <i>Ilex cornuta</i> 、榿树 <i>Torreya grandis</i>

3.2.3. 物种多样性

物种多样性(Species Diversity)是生物多样性的主要指标之一, 可以表示单个群落或研究区域的物种

数量的多寡，以及各物种的个体数目在全部物种个体数目中分配的均匀度[9]，是群落中物种数量分布特征的重要指标。

对 18 个植物群落的物种多样性指数求平均值及标准差，得出物种丰富度指数为 17.8 ± 4.1 ，Gleason 指数为 2.5 ± 0.4 ，Shannon-Wiener 指数为 1.8 ± 0.4 ，Simpson 指数为 0.8 ± 0.1 (图 5)。这四项指标均显著高于上海城市绿地[10]。

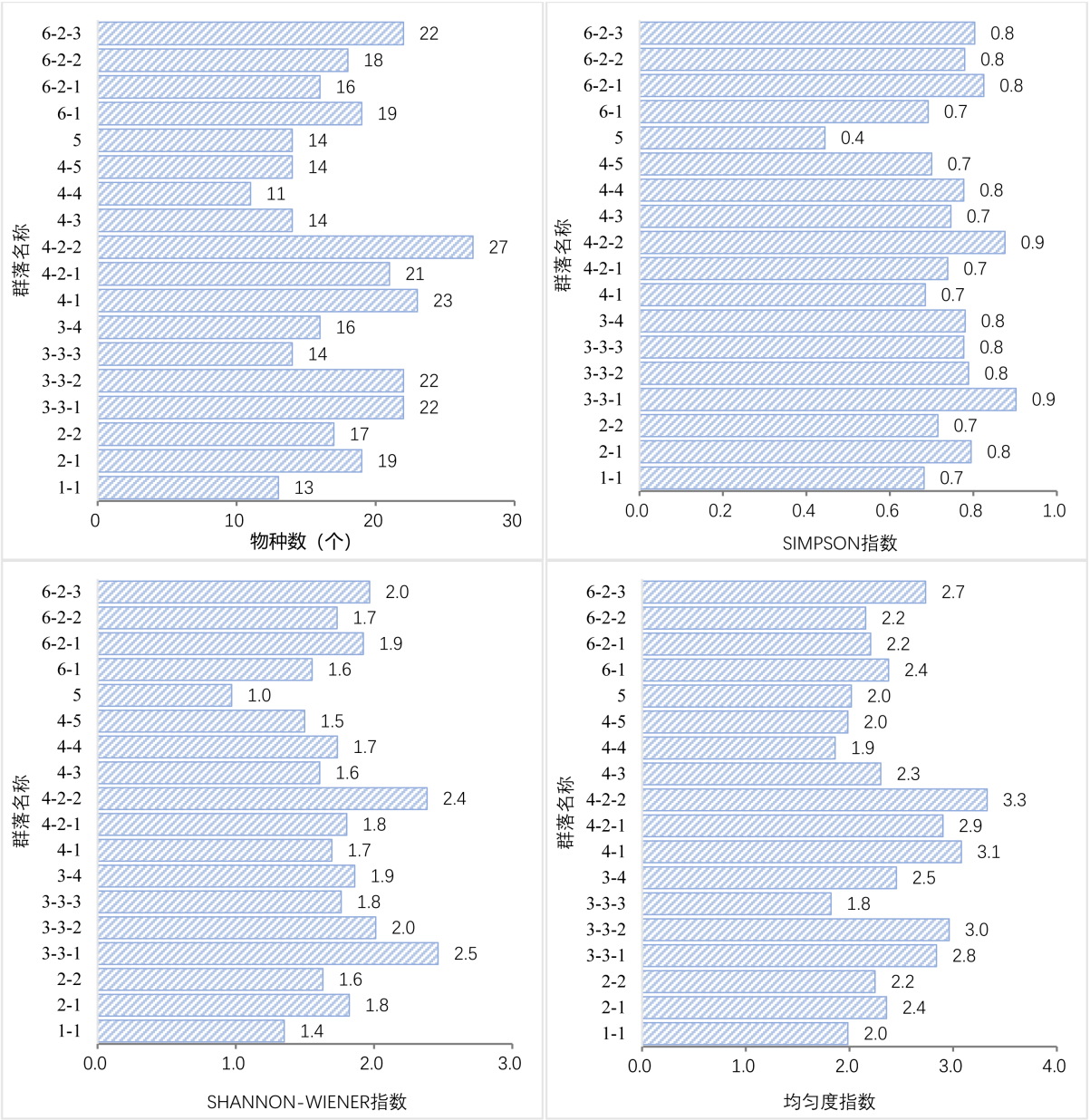


Figure 5. Plant community diversity index
图 5. 植物群落多样性指数

3.3. 群落垂直结构

群落各物种在垂直空间上对阳光、水分和养分的利用，导致其在高度上的差异，这种分化称为成层

现象(Stratification)群落垂直结构(Vertical Structure)，是植物间以及植物与环境间相互关系的一种体现[11]。

本文调查时在垂直空间上把群落分为4层，高于8 m的植物为乔木T₁层、4~8 m的为乔木T₂层、4 m以下为灌木S层，地表植物为草本H层[12]。对于具体的某个样地，通过统计样地群落最高层的特征来表征垂直结构特征。含两层乔木层的计为T₁₂群落，只含1层乔木层的计为T₁群落或T₂群落，最高层为S层的计为S群落，只含H层的计为H群落[12]。结果显示，从垂直结构分类，环保植物区包含2种垂直类型(图6)，分别是T₂群落4个，T₁₂群落14个，说明环保植物区植物群落均为包含乔灌草的复层群落，分成三层(T₂群落)或者四层(T₁₂群落)。

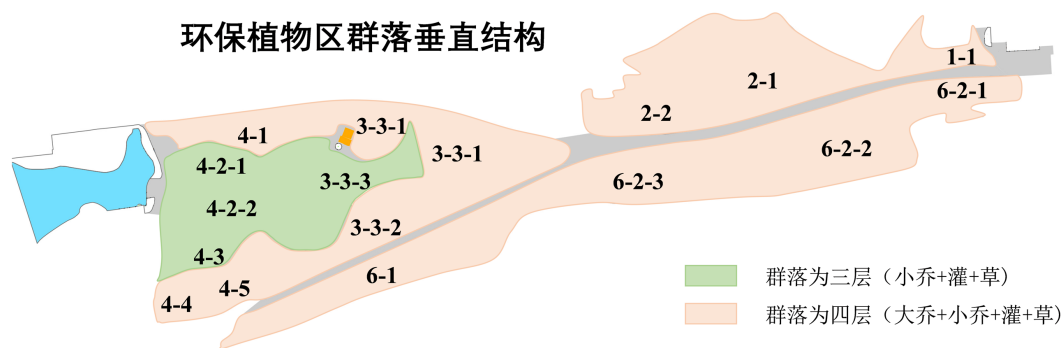


Figure 6. Plant community vertical structure types
图6. 植物群落垂直结构类型

3.4. 群落水平结构

群落中各物种以及物种与环境间在水平空间上的相互关系称为水平结构(Horizontal Structure) [11]。表征植物群落水平结构的指标包括各植物覆盖程度(盖度或郁闭度)、聚生情况，对绿地生态价值的发挥具有重要影响。

3.4.1. 群落盖度

群落盖度可以包括群落总盖度、各层盖度等。环保植物区群落分为4层：乔木1层(T₁)、乔木2层(T₂)、灌木层(S)和草本层(H)。乔木层总盖度为 $58.0\% \pm 29.1\%$ ，群落3-3-1乔木层盖度最大，为99.0%，群落3-3乔木层盖度最小，为11.3%；灌木层总盖度为 $15.7\% \pm 13.7\%$ ，群落4-3灌木层盖度最大，为52.2%，群落5灌木层盖度最小，为2.2%；草本层总盖度为 $34.0\% \pm 23.0\%$ ，群落4-2-2草本层盖度最大，为84.2%，群落6-2-2草本层盖度最小，为6.1%(图7)。

3.4.2. 林分密度

林分密度反映林木对其所占空间的利用程度，是影响林分生长和木材产量的重要因子，本报告指株数密度，即单位面积上的林木株数。调查结果显示，环保植物区的群落林分密度为 (873 ± 917) 株/ha，最大为群落4-5的4117株/ha，主要是因为该群落以毛竹为优势种，最小为4-2-2的75株/ha，主要是因为该群落为草地群落。根据3.2.1和3.2.2可知，环保植物区18个群落中，有12个群落以香樟为建群种或优势种，这12个群落的林分密度为 (722 ± 520) 株/ha，对比上海自然林地，如佘山自然森林的香樟群落林分密度为565株/ha，结果表明，上海植物园环保植物区的香樟群落林分密度显著高于自然林地，特别是群落3-3-2和6-1，林分密度分别达到1477株/ha和1980株/ha，较高的林分密度影响植物对群落空间的有效利用(图8)。

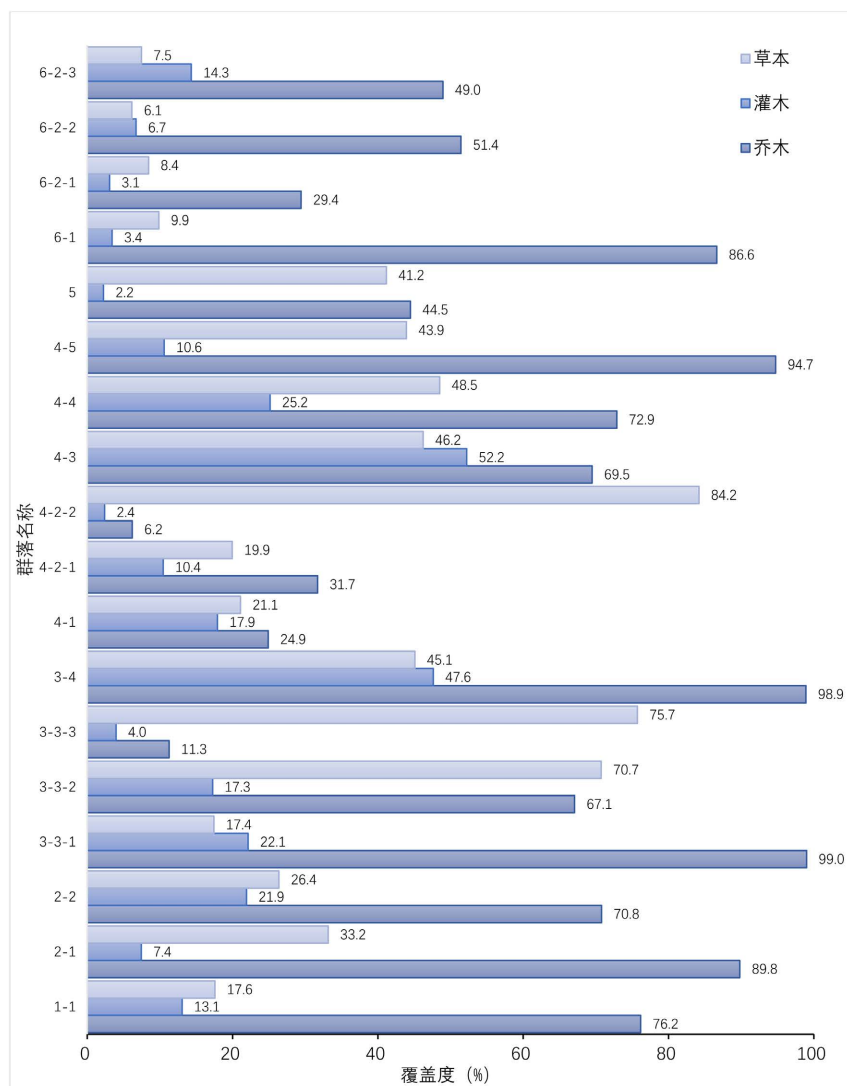


Figure 7. Coverage of different layers of the community

图 7. 群落不同层覆盖度(%)

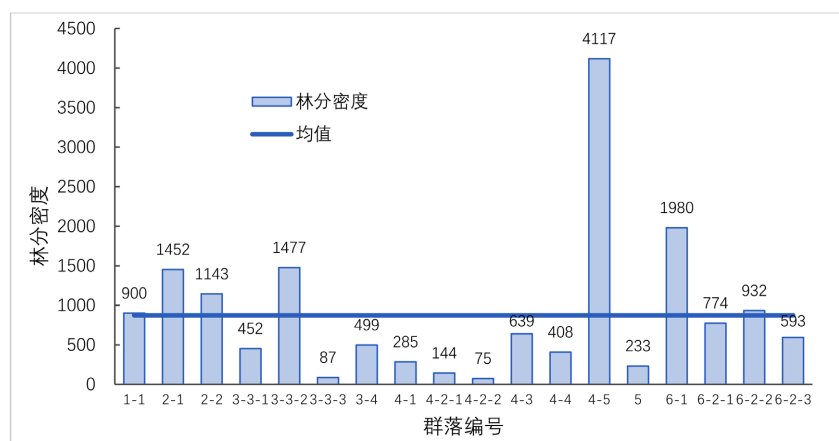


Figure 8. Stand density of different plant community

图 8. 不同群落林分密度

4. 讨论

环保植物区以常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林 2 种植被类型为主, 出现频率分别为 55.56% 和 27.78%。与上海城市其他绿地和外环林带比较[13][14], 上海植物园环保植物区中常绿落叶阔叶混交林的比例相对较高, 这是由于环保植物区乔木层树木种类丰富, 常绿、落叶阔叶树种搭配种植是常见模式。

本调查共记录 18 个群落, 约 3 万 m^2 , 种子植物 47 科 74 属 96 种(不含杂草种类), 与上海中心城区绿地植物群落(227 个群落, 约 740 万 m^2 , 种子植物 109 科 263 属 364 种)、上海社区绿地植物群落(约 10 万 m^2 , 188 个群落, 种子植物 85 科 197 属 271 种)和上海外环林带(177 个群落, 约 7 万 m^2 , 84 科 181 属 223 种)比较[13][14], 上海植物园环保植物区植物种类相对丰富, 单位面积物种丰富度高于上海城市绿地。其中, 香樟、八角金盘、麦冬是应用最为频繁的常见种, 在超过 70% 的群落中出现。除常见种外, 环保植物区植物群落出现次数 ≤ 2 ($f \leq 10\%$) 的物种有 59 种, 这说明环保植物区中有少数几种应用频繁, 但是超过 60% 的物种出现次数仅为 1~2 次, 说明这些物种应用偶然性较大。

上海植物园环保植物区植物群落物种丰富度均值 17.8 ± 4.1 (不含杂草), 上海城市绿地植物群落的物种丰富度均值为 7.2 (包含杂草) [13], 上海社区绿地物种丰富度为 11.6 ± 6.7 (不含杂草) [10], 外环林带植物群落物种丰富度均值 2.6 (不含草本层) [14]。环保植物区 Simpson 指数为 0.8 ± 0.1 , 与佘山植物群落 Simpson 指数相当(0.8 ± 0.1), 高于城市社区绿地 Simpson 指数(0.7 ± 0.2); 环保植物区 Shannon-Wiener 指数为 1.8 ± 0.4 , 略低于佘山植物群落 Shannon-Wiener 指数(2.2 ± 0.4) [15], 高于城市社区绿地(1.6 ± 0.7) Shannon-Wiener 指数。因此, 综合多种生物多样性指标参数对比结果, 上海植物园环保植物区植物多样性水平, 与上海自然林地相当, 高于其他类型的城市绿地。

按照不同的垂直结构分类, 环保植物区植物群落均为乔 + 灌 + 草类型的复层群落。这与上海中心城区绿地的垂直结构类型分布特征一致[13], 而与上海外环林带不同, 外环林带以乔 + 草模式为主, 其次为乔 + 灌 + 草[14]。植物园环保植物区中, 乔灌草型植物群落有超过一半(77.8%)的样地为双层乔 + 灌 + 草模式, 远高于外环林带(26%)和城市绿地的平均水平(48%)。因此相比其他类型的城市绿地, 植物园环保植物区植物群落的垂直层次更加多样, 普遍存在的灌木层和小乔木层丰富了群落的中层空间。

调查样地的林分密度, 特别是最常见的并且作为建群种和优势种的香樟群落, 其林分密度(722 ± 520 株/ha)高于佘山自然森林群落(565 株/ha) [15], 说明环保植物区植物群落密度较高, 会在一定程度上影响其生态效益的发挥。

综上所述, 作为城市绿地的重要组成部分, 相比其他类型的城市绿地, 上海植物园环保植物区植物群落具有相对丰富的种类组成、垂直结构和较高的物种多样性水平, 乔木层物种丰富度较高, 林分密度高于整个上海市自然森林水平。

5. 结论

群落类型方面, 环保植物区以常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林 2 种植被类型为主, 出现频率分别为 55.56% 和 27.78%。

种类组成方面, 环保植物区共记录植物 47 科 74 属 96 种(不含杂草种类), 上海植物园环保植物区植物种类相对丰富, 单位面积物种丰富度高于上海城市绿地。香樟、八角金盘、麦冬是应用最为频繁的常见种, 在超过 70% 的群落中出现。环保植物区物种丰富度均值 17.8 ± 4.1 (不含杂草), Simpson 指数为 0.8 ± 0.1 , Shannon-Wiener 指数为 1.8 ± 0.4 , 上海植物园环保植物区植物多样性水平与上海自然林地相当, 高于其他类型的城市绿地。

群落垂直结构方面, 环保植物区植物群落均为乔 + 灌 + 草类型的复层群落, 其中 77.8% 的群落为双层乔 + 灌 + 草模式, 远高于城市绿地的平均水平。

调查样地的林分密度,其中最常见并且作为建群种和优势种的香樟群落,林分密度高于佘山自然群落,说明环保植物区植物群落密度较高,会在一定程度上影响其生态效益的发挥。

基金项目

本论文受到上海科委社发项目(23DZ1204601)、上海市绿化与市容管理局课题(G240304)资助。

参考文献

- [1] 娟娟, 欧阳志云, 郑华, 等. 城市植物分层随机抽样调查方案设计的方法探讨[J]. 生态学杂志, 2009, 28(7): 1430-1436.
- [2] Magurran, A.E. (1988) Ecological Diversity and Its Measurement. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- [3] 夏蕴强. 长三角平原水网地区乡村植物群落保育评价与优化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2018.
- [4] 达良俊, 杨永川, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 376-384.
- [5] Ellison, A.M. (2012) PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data. *Ecology*, **2**, 144-145.
- [6] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [7] 国家林业和草原局农业农村部. 国家重点保护野生植物名录[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/09/content_5636409.htm, 2025-02-01.
- [8] 世界自然保护联盟. IUCN 红色名录[EB/OL]. <https://www.iucnredlist.org/>, 2025-02-01
- [9] Fisher, R.A., Corbet, A.S. and Williams, C.B. (1943) The Relation between the Number of Species and the Number of Individuals in a Random Sample of an Animal Population. *Journal of Animal Ecology*, **12**, 42-58. <https://doi.org/10.2307/1411>
- [10] 靳思佳. 上海社区绿地植物群落特征及对温湿度和大气污染物的调节功能[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2017.
- [11] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [12] 张凯旋, 车生泉, 马少初, 等. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(VI): 上海外环林带群落多样性与结构特征[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2011(4): 1-14, 74.
- [13] 方和俊. 上海城市绿地植物群落现状及综合评价研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- [14] 张凯旋. 上海环城林带群落生态学与生态效益及景观美学评价研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [15] 曾祥谓, 谢锦忠, 朱春玲, 等. 上海佘山国家森林公园主要森林群落的结构特征和植物多样性[J]. 林业科学研究, 2010, 23(3): 375-381.