

上海市香樟群落结构与生物量对碳汇能力的影响研究

A Study on the Impact of Structural Characteristics and Biomass of *Camphora officinarum* Communities on Carbon Sink Capacity in Shanghai

张希金 张艳华 张桂莲*
ZHANG Xijin ZHANG Yanhua ZHANG Guilian*

(上海市园林科学规划研究院, 城市困难立地生态园林国家林业和草原局重点实验室, 国家林业和草原局城市困难立地绿化造林国家创新联盟, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心, 上海 200232)

(Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Ecological Landscaping of Challenging Urban Sites, National Innovation Alliance of National Forestry and Grassland Administration on Afforestation and Landscaping of Challenging Urban Sites, Shanghai Engineering Research Center of Landscaping on Challenging Urban Sites, Shanghai, China, 200232)

文章编号: 1000-0283(2025)07-0119-07
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2025. 07. 0119. 014
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2025-02-11
修回日期: 2025-04-10

摘要

植被固碳作为城市园林绿化的重要生态服务之一, 在应对全球气候变化过程中具有不可或缺的生态价值。为探讨影响上海市香樟群落碳汇能力的关键特征因子, 以40个香樟群落为对象, 采用皮尔逊相关性分析和广义加性模型分析平均胸径、密度等群落结构以及群落生物量对群落碳汇能力的影响。研究结果表明:(1)上海市香樟群落年固碳量平均约为5.42 t/hm²/a;(2)群落平均胸径和密度均对碳汇能力有显著正向影响, 且密度发挥主要驱动作用。但平均胸径与密度呈显著负相关关系, 因此考虑单一指标无法有效指导城市绿林地种植设计或经营管理;(3)群落生物量对碳汇能力具有明显的阈值效应, 当群落生物量约为175 t/hm²时, 群落碳汇能力达到峰值。综上, 群落生物量可作为上海市香樟群落碳汇能力的有效表征指标, 通过密度调控群落生物量是提升香樟群落碳汇能力的有效策略。

关键词

香樟群落; 平均胸径; 密度; 群落生物量; 碳汇能力

Abstract

Carbon sequestration by vegetation represents one of the crucial ecological services within urban greening systems, possessing essential ecological significance in the effort to mitigate global climate change. This study focuses on 40 *Camphora officinarum* communities in Shanghai to identify the primary factors that affect their carbon sequestration capacity. Pearson Correlation Analysis and Generalized Additive Models were employed to examine the effects of average diameter at breast height (DBH), density, and community biomass on carbon sink capacity. The main findings showed that: (1) The annual carbon sequestration rate of *C. officinarum* communities in Shanghai averages approximately 5.42 t/hm²/a; (2) Both mean DBH and density exhibit significant positive correlations with carbon sink capacity, though density emerges as the dominant driver. Notably, the significant negative correlation between mean DBH and density highlights the inadequacy of single-parameter optimization in guiding planting designs or silvicultural management; (3) Community biomass demonstrates a distinct threshold effect on carbon sequestration, with peak carbon sink capacity occurring at approximately 175 t/hm². These results suggest that community biomass can serve as an effective indicator of the carbon sequestration potential of *C. officinarum* communities. Regulating density to optimize community biomass presents a viable strategy for enhancing the carbon sink capacity of these communities.

Keywords

Camphora officinarum communities; average diameter at breast height; density; community biomass; carbon sink capacity

张希金

1991年生/男/山东济南人/博士/工程师/
研究方向为城市绿地碳汇计量监测、植被生态学

张艳华

1991年生/女/山东济宁人/博士/工程师/
研究方向为城市绿地碳汇计量监测、森林培育

张桂莲

1976年生/女/山西太原人/博士/教授级
高级工程师/研究方向为城市绿地碳汇计
量监测、城市绿地生态效益智能评估

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: zgl@shsyky.com

基金项目:

国家重点研发计划项目“城市绿地湿地碳汇监测与核算方法研究”(编号: 2022YFC3802605); 上海市“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目“崇明岛生态产品总值(GEP)核算关键技术与示范”(编号: 23DZ1204300); 上海市绿化和市容管理局项目“上海公园绿地植物群落碳汇评估与增汇关键技术研究”(编号: G220201); 上海市自然科学基金面上项目“城市绿地三维结构对夏季热岛效应的影响机制研究”(编号: 23ZR1459700); 上海市青年科技英才扬帆计划“基于高光谱和激光雷达的城市绿地植被群落碳汇计量监测技术研究”(编号: 22YF1444000)

如何在有限的城市园林绿化空间内,最大限度地发挥植物碳汇能力,已成为中国各大城市推动实现“双碳”战略目标的重要课题^[1-2]。当前城市植物碳汇的相关研究主要集中于物种水平的碳汇能力评价^[3-6]和较大空间尺度的碳汇核算^[7-8],而植物群落尺度的关键特征与碳汇能力之间的关系研究相对较少^[2,9]。以往研究表明,具有大规格、高密度以及复层结构的植物群落往往展现出较高的碳汇能力^[10]。然而,由于生长空间的限制,密度通常随着树木平均规格的增加而降低^[11],即大胸径与高密度不可兼得。群落密度与碳汇能力之间亦存在阈值效应:当密度达到一定程度后群落碳汇能力不随密度的增加而持续高效提升^[9]。在城市环境尤其是公园绿地中,过高的密度还可导致林下空间的视线通透感和开放感降低。因此,有必要综合考虑群落树木规格与密度等结构因子,以明确量化高碳汇群落的最佳配置特征。

生物量或蓄积量,作为群落内树木规格和密度的综合指标,对群落碳汇能力具有显著影响。有学者提出植被数量假说,认为生态系统功能主要取决于单位面积内森林所具有的生物量或蓄积量^[12]。Lohbeck等^[12]研究发现,在热带森林中功能多样性和功能组成对森林生产力的影响较弱,而森林生物量则是生产力的最主要决定因素。但随着资源的利用趋于饱和,个体间的竞争也更激烈,植被数量效应也可能会对生态系统功能产生负面影响^[13-14]。因此,确定特定森林生态系统中植被数量效应由正转负的饱和点,对森林的经营管理具有十分重要的意义。

香樟(*Camphora officinarum*)是中国亚热带地区的重要树种,主要分布于长江流域以南,在自然界中常作为伴生种存在。由于其树形

优美、适应性强、生长迅速、寿命长,且移植成活率高等特点,被广泛应用于城市园林绿化,并培育成人工纯林。目前,香樟已成为上海市应用频率最高的树种^[15]。但在营林过程中为追求快速成型,多采用高密度营林方式,随着植物生长发育,导致大面积香樟纯林普遍存在密度过大、冠层生长受到挤压、生长成型缓慢、群落结构不稳定等问题^[16]。而现存密度较低的香樟纯林又无法最大限度利用生长空间。因此,探索合理的群落结构配置特征,既有助于充分发挥香樟群落碳汇能力,又能形成良好的园林绿化景观。鉴于此,本研究以上海市香樟群落为研究对象,解析其平均胸径、密度等群落结构特征以及群落生物量对碳汇能力的影响,探讨高碳汇香樟群落的最佳配置模式,以期为了解上海市香樟群落碳汇能力提供数据支撑以及为上海城市园林绿化碳汇能力建设提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区位于上海市(30° 40′—31° 53′ N, 120° 52′—122° 12′ E),地处长江入海口,毗邻东海,为长江三角洲冲积平原。上海市作为中国超大城市之一和长三角大都市圈的中心,其现代化和城市化程度高。行政区域陆地总面积为6 340.5 km²,常住人口2 400多万。上海市属于亚热带湿润季风气候,四季分明,光照充足,雨量充沛,平均气温15.5℃,最高温度39.0℃,最低-8.5℃,年平均降水量1 062 mm,无霜期200天。上海境内自然植被稀少,大部分为人工植被,主要乔木树种为香樟、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、池杉(*Taxodium distichum* var. *imbricarium*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)和复羽叶栎(*Koelreuteria bipinnata*)等。

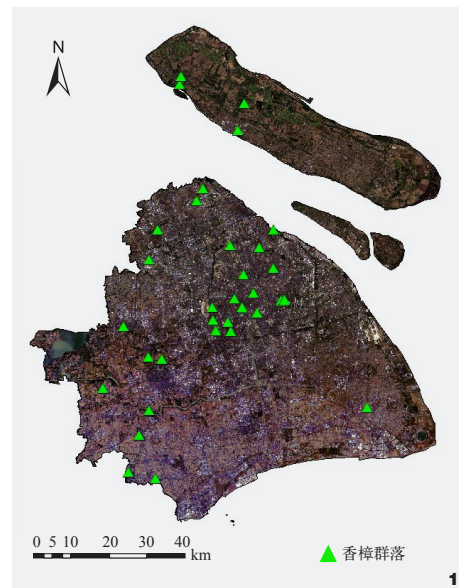


图1 样方位置分布情况
Fig. 1 Distribution of plot locations

1.2 数据来源

数据来源于2020–2023年上海市40个香樟群落(香樟相对优势度>65%)固定监测样方复测数据,复测期为两年。其中,6个样方的调查时间为2020年和2022年,34个样方的调查时间为2021年和2023年。样方分布涉及上海市13个行政区,包括崇明区、宝山区、嘉定区、青浦区、松江区、金山区、闵行区、浦东新区、徐汇区、长宁区、黄浦区、静安区和杨浦区(图1)。样方面积约为20 m×20 m~25.8 m×25.8 m。对样方内胸径≥5 cm的树木进行每木检尺,调查记录物种名、胸径,并目视估测树高、冠幅等指标。第一期记录762株香樟个体,第二期记录733株香樟个体,有32个样方的植株全部复位。由于损失植株数量较少且损失原因不明,本研究后续分析仅基于两期均有记录的733株个体。

因胸径易于准确测量且与城市森林其他特征密切相关,成为最常见的树木结构测量

指标之一^[17]。因此，本研究以胸径表征单木规格大小。在此基础上，以各样方前一期调查数据为基准统计每个样方的平均胸径、密度和生物量。生物量计算方法详见下文。平均胸径量化群落内树木平均规格大小，密度表征群落疏密程度，生物量作为群落内树木规格和密度的综合指标。本研究调研的40个香樟群落的平均胸径介于16.02~51.03 cm，平均值为27.43 cm；密度介于15~840株/hm²，平均值为391株/hm²；生物量介于3.67~440.24 t/hm²，平均值为171.41 t/hm²（表1）。

1.3 群落碳汇能力估算

利用每木调查数据计算单株树木生物量，累加以估算样方的总生物量。单株树木生物量根据生物量异速生长方程^[18]进行计算，见公式（1）。

$$B = 0.10387D^{2.535} \quad (1)$$

式中，*B*表示生物量（kg），*D*表示胸径（cm）。

基于各样方两期调查数据计算得到的总生物量相减以估算样方生物量增量，再根据生物量与碳储量转换因子计算各样方固碳量。一般植物碳素含量转换率为0.45~0.55，本研究根据前人研究结果，取0.5作为生物量与碳储量转换因子^[19]。群落碳汇能力定义为单位时间单位面积的群落固碳量，计算见公式（2）。

$$C = (\sum_{i=1}^n B_2 - \sum_{i=1}^n B_1) \times 0.5 \div 2 \div S \times 10 \quad (2)$$

式中，*C*表示群落碳汇能力（t/hm²/a），*B₁*表示前一期调查得到的第*i*株单株生物量（kg），*B₂*表示后一期调查得到的第*i*株单株生物量（kg），*n*表示株数，0.5表示生物量与碳储量转换因子，2表示复测间隔时间（a），*S*表示样地面积（m²），10为单位转换系数。

表1 香樟群落基本信息
Tab. 1 Basic information of the *Camphora officinarum* communities

样方编号 Plot ID	平均胸径 /cm Mean DBH	密度 / (株 /hm ²) Density	生物量 / (t/hm ²) Biomass	类型 Type
1	23.07	135	54.90	林地
2	16.02	90	18.40	林地
3	30.63	60	38.34	林地
4	26.93	60	28.08	林地
5	21.59	720	187.93	林地
6	16.46	795	106.29	林地
7	16.66	840	131.09	林地
8	20.63	840	202.54	林地
9	25.77	300	128.19	林地
10	21.40	15	3.67	林地
11	23.58	330	106.97	林地
12	33.60	148	124.83	绿地
13	25.85	693	287.93	绿地
14	38.02	225	278.14	绿地
15	18.70	589	112.39	绿地
16	42.05	208	321.50	绿地
17	23.84	369	138.67	绿地
18	16.82	493	67.70	绿地
19	20.76	197	45.41	绿地
20	31.36	407	275.25	绿地
21	22.12	540	149.37	绿地
22	29.04	476	260.82	绿地
23	44.80	124	217.41	绿地
24	43.43	177	267.58	绿地
25	43.98	101	164.12	绿地
26	38.10	127	148.95	绿地
27	19.15	597	115.50	绿地
28	18.81	765	154.20	绿地
29	25.60	213	95.78	绿地
30	34.17	246	208.35	绿地
31	25.44	526	205.78	绿地
32	31.99	352	249.56	绿地
33	29.00	99	52.95	绿地
34	21.94	689	198.43	绿地
35	28.38	548	317.68	绿地
36	28.63	615	414.69	绿地
37	22.78	349	105.33	绿地
38	22.15	808	246.79	绿地
39	23.04	607	184.48	绿地
40	51.03	178	440.24	绿地
最小值	16.02	15	3.67	—
最大值	51.03	840	440.24	—
均值	27.43	391	171.41	—
标准差	8.79	257	104.29	—

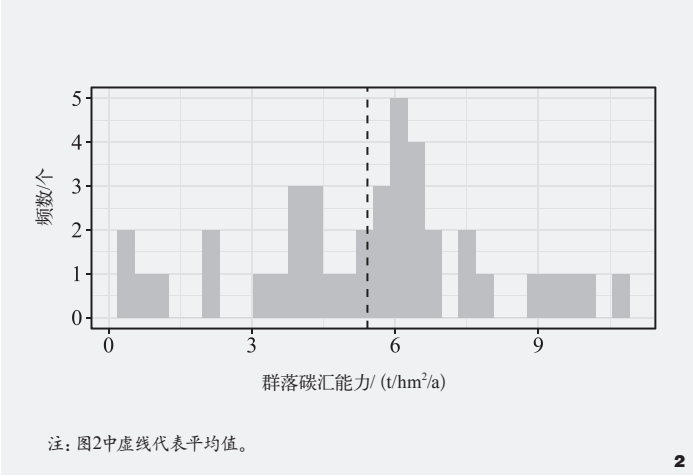
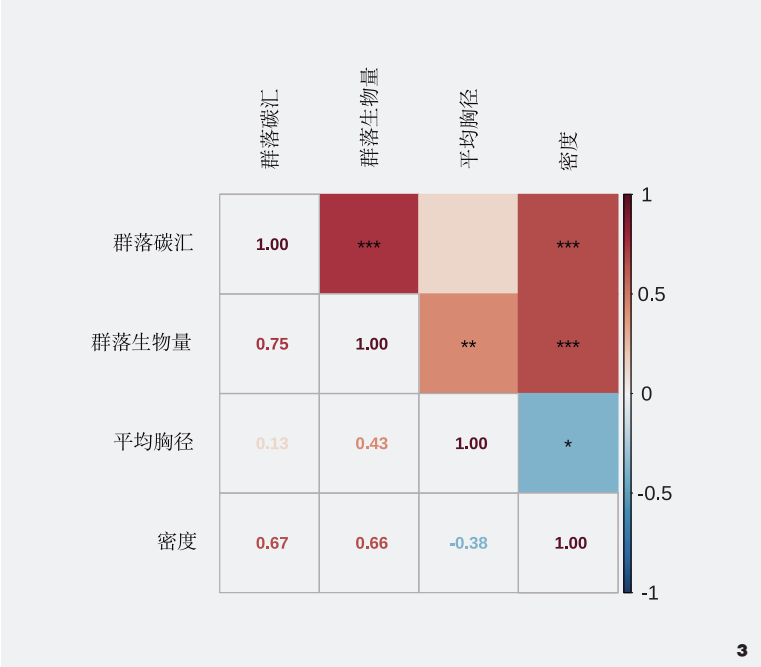


图2 香樟群落碳汇能力频数分布
Fig. 2 Frequency distribution of carbon sink capacity of *Camphora officinarum* communities

图3 群落结构及生物量与群落碳汇能力的皮尔逊相关性分析
Fig. 3 Pearson correlation analysis of community structure, biomass, and carbon sink capacity



本研究中40个香樟群落的碳汇能力介于0.21~10.59 t/hm²/a, 平均值为5.42 t/hm²/a (图2)。

1.4 统计分析

所有统计分析均在R version 4.3.1中执行。首先, 采用皮尔逊相关性分析群落平均胸径、密度、生物量和碳汇能力之间的双变量线性关系。然后, 采用广义加性模型 (Generalized Addictive Models, GAM) 分析群落碳汇能力与群落结构特征 (群落平均胸径和密度) 之间的关系。将群落碳汇能力作为响应变量, 将平均胸径和密度同时作为解释变量进行模型拟合, 并解析平均胸径和密度对群落碳汇能力的单独贡献。进一步采用GAM分析群落生物量对群落碳汇能力的影响。将群落碳汇能力作为响应变量, 将群落生物量设为解释变量进行模型拟合。为防止GAM高估非线性关系, 本研究限制平滑项的k值为4。在拟合GAM

时, 所有平滑项都会进行中心化, 以确保模型的可识别性^[20]。采用stats包和corplot包进行皮尔逊相关性分析及结果可视化。采用mgcv和mgcviz包进行GAM拟合及结果可视化^[21], 采用gam.hp包和tidyverse包分解GAM模型的调整R²及结果可视化^[22]。

2 结果分析

2.1 群落结构及生物量与群落碳汇能力的相关性分析

皮尔逊相关性分析结果显示, 香樟群落碳汇能力与群落生物量 ($r=0.75, p<0.001$) 及密度 ($r=0.67, p<0.001$) 均呈极显著正相关, 但与群落平均胸径无关 ($r=0.13, p>0.05$) (图3)。群落生物量与平均胸径 ($r=0.43, p<0.01$) 及密度 ($r=0.66, p<0.001$) 均呈极显著正相关。此外, 平均胸径与密度呈显著负相关 ($r=-0.38, p<0.05$)。

2.2 基于GAM模型的群落结构与碳汇能力分析

广义加性模型解析了群落平均胸径与密度对群落碳汇能力的单独效应。随着平均胸径和密度的增加, 群落碳汇能力均呈非线性上升趋势 (图4-a, 图4-b)。当平均胸径和密度增加到一定程度后, 群落碳汇能力的上升趋势趋于平缓。方差分析表明, 平均胸径和密度共解释了群落碳汇能力变异的40.54%, 其中平均胸径为4.32%, 密度为36.22% (图4-c)。

2.3 基于GAM模型的群落生物量与碳汇能力分析

广义加性模型分析结果显示, 群落碳汇能力与群落生物量呈现显著的非线性关系。随着群落生物量的增加, 碳汇能力呈现先增加后略有降低的趋势。群落生物量约为

175 t/hm²时, 群落碳汇能力达到峰值(图5)。

2.4 上海市香樟群落最佳配置模式

基于群落生物量约为175 t/hm²时碳汇能力达到峰值的研究结果, 统计了不同平均胸径的香樟纯林所对应的最佳密度(表2)。

3 结论与讨论

本研究基于皮尔逊相关性分析和广义加性模型解析上海市40个香樟群落的平均胸径、密度、生物量与碳汇能力之间的关系, 探明了基于群落碳汇能力考量的不同平均胸径下的最佳密度。皮尔逊相关性分析表明群落碳汇能力随群落密度及生物量的增加而增加。这与以往多数研究结果一致^[1, 23-25]。本研究进一步基于广义加性模型分析群落碳汇能力与群落结构特征及生物量的非线性关系。结果表明在固定密度的条件下, 群落碳汇能力随平均胸径呈非线性上升趋势; 在固定平均胸径的条件下, 群落碳汇能力随密度亦呈非线性上升趋势。即平均胸径或密度对群落碳汇能力的单独促进效应随平均胸径或密度的增加而逐渐减弱。这是由于在平均胸径一定的情况下增加密度或在密度一定的情况下增大平均胸径都会导致树木之间冠幅挤压, 生长空间受到限制, 从而降低了树木生长速率^[14]。

相较于平均胸径, 本研究发现密度对香樟群落碳汇能力具有主要的贡献率。因此, 密度调控是提升香樟群落碳汇能力的有效途径。然而, 由于空间限制, 群落平均胸径和密度呈显著的负相关关系, 即平均规格较大的香樟群落具有较低的群落密度, 这与自然条件下的天然林或人工林群落一致^[11,26]。鉴于平均胸径和密度对群落碳汇能力均具有显著的促进效应, 在种植设计或经营管理时,

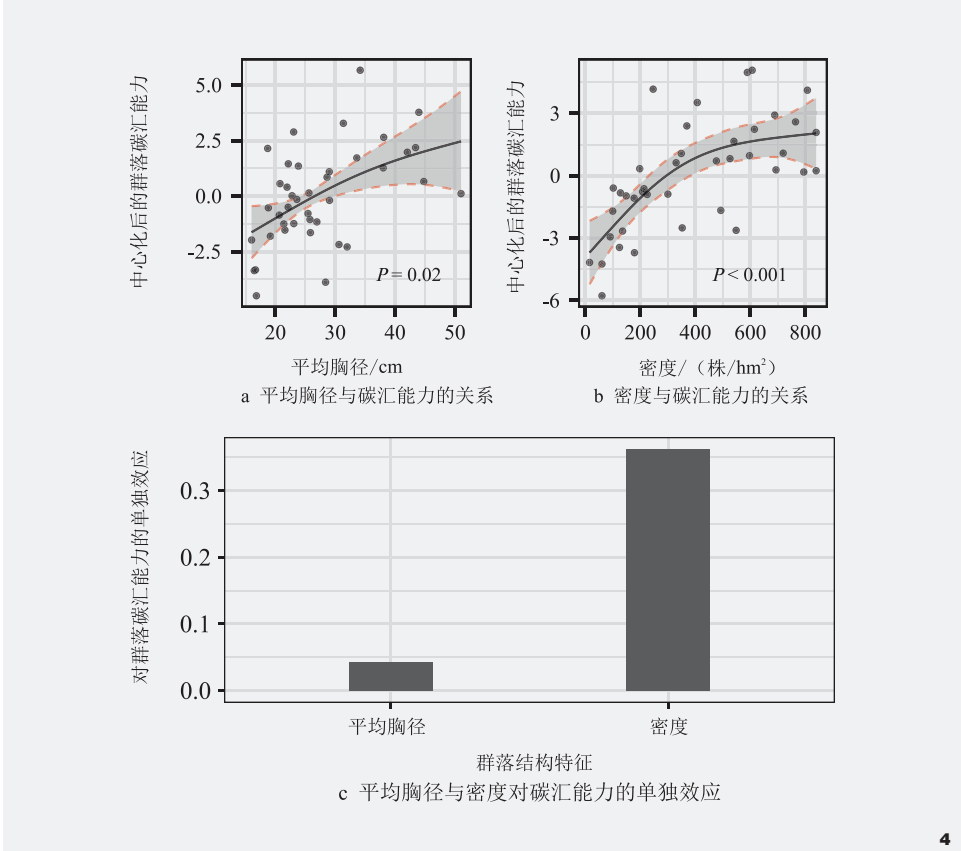


图4 香樟群落结构特征与碳汇能力的关系
Fig. 4 Relationship between the structural characteristics of *Camphora officinarum* communities and their carbon sink capacity

表 2 不同平均胸径的香樟纯林最佳密度
Tab. 2 Optimal planting densities for *Camphora officinarum* communities with different mean DBH

平均胸径/cm Mean DBH	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52
密度/(株/hm ²) Density	1493	966	666	482	361	279	221	178	146	122	103	87	75

单一考虑平均胸径或密度, 如“小规格+高密度”或“大规格+低密度”群落配置, 无法使得群落碳汇能力最大化。以往研究表明, 香樟单木生长与其规格成显著正相关, 而与密度则呈显著负相关^[6,14,27]。在“小规格+高密度”群落配置模式下, 树木规格小导致单木生长量小, 同时高密度也会压缩生长空间、增加竞争强度。反之, 在“大规格+

低密度”的群落配置模式下, 群落内单株树木生长量增加, 但受到株数的影响, 限制了群落水平生物量的积累。因此, 需要综合考虑群落结构特征, 即如何在已知群落平均胸径的情况下确定最佳的密度。

群落生物量, 作为群落平均胸径和密度的综合指标, 对群落碳汇能力呈现出明显的阈值效应。随着群落生物量的增加, 碳

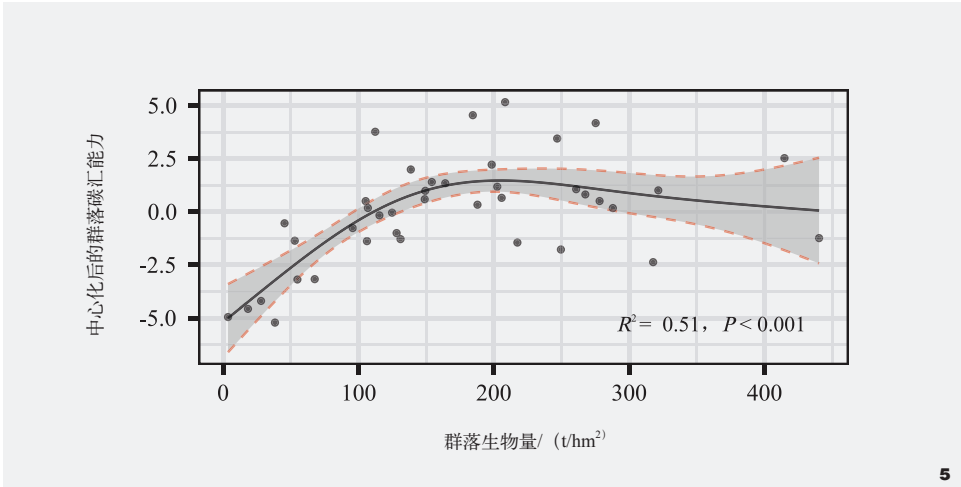


图5 香樟群落生物量与碳汇能力的关系
Fig. 5 Relationship between the biomass of *Camphora officinarum* communities and their carbon sink capacity

汇能力呈现先上升后略有降低的趋势。阈值效应是由于负密度制约导致的。在群落生物量较低时，群落生物量的增加通过增加林冠面积、光照截获等促进了资源的利用，从而提高了森林的生产力^[28]；然而，过高的群落生物量会增加个体间的竞争，从而降低森林生产力^[29]。本研究中当群落生物量在0~175 t/hm²时，碳汇能力随着群落生物量的增加而迅速提高；当群落生物量超过175 t/hm²，碳汇能力略有下降趋势。考虑到群落生物量超过175 t/hm²后群落碳汇能力与生物量之间的置信区间逐渐增加，可以得出结论：当群落生物量超过175 t/hm²后无法促进群落碳汇能力。因此，可将群落生物量约为175 t/hm²时的群落结构特征作为香樟群落最佳配置模式的参考。

基于此，本研究进一步量化了不同平均胸径的香樟纯林所对应的最佳密度。对比惠光秀^[16]编制的上海香樟纯林不同平均胸径（7~40 cm）不同郁闭度（0.5~0.8）下的林分密度表，本研究所得不同平均胸径下的最佳密度均高于上述研究。惠光秀编制的

密度表的实质是基于胸径和冠幅的线性关系，在树冠投影不重叠和一定郁闭度的情况下，单位面积林地所能容纳的最大株数。然而，由于株行距以及个体生长速度的差异，导致树冠投影重叠客观存在。对上海香樟纯林进行间伐抚育降低林分密度后，虽然能明显提高林木生长势^[30-31]，但造成的林分总胸高断面面积累积增长量的降低在短期内难以恢复^[30]，提示尽管树冠挤压会降低个体生长速率，但较大的林分密度是最大化群落水平碳汇能力的关键。因此，从群落碳汇能力最大化的角度确定最佳林分密度对于上海香樟群落种植设计或经营管理至关重要。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

[1] 侯文硕, 张瑶, 张颖, 等. 城市绿地固碳释氧效益对植物群落特征因子响应分析[J]. 风景园林, 2024, 31(06): 55-61.
[2] 张丽, 刘子奕, 麻欣瑶, 等. 植物群落特征对城市公园绿地碳汇效能的影响研究[J]. 园林, 2023, 40(04): 125-134.

[3] MANDAL R A, JHA P K, DUTTA I C, et al. Carbon Sequestration in Tropical and Subtropical Plant Species in Collaborative and Community Forests of Nepal[J]. Advances in Ecology, 2016, 2016: 1529703.
[4] OTHMAN R, SUID S, MOHD NOOR N F, et al. The Influence of Urban Park Green Spaces, Plant Material Specifications and Spatial Design Organization and Pattern Towards Carbon Sequestration Rate[J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2019, 17(04): 8079-8088.
[5] 李蕊, 姚鳗卿, 李屹楠, 等. 我国高碳汇植物研究现状[J]. 山东林业科技, 2023, 53(03): 104-110.
[6] 徐嘉艺, 王小玲, 宋坤, 等. 上海四种常见树种单株固碳能力差异及其影响因子[J]. 生态学报, 2024, 44(13): 5532-5541.
[7] 张彪, 谢紫霞, 高吉喜. 上海城市森林植被固碳功能及其抵消能源碳排放效果评估[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 8906-8920.
[8] XU F, WANG X, LI L. NPP and Vegetation Carbon Sink Capacity Estimation of Urban Green Space Using the Optimized CASA Model: A Case Study of Five Chinese Cities[J]. Atmosphere, 2023, 14(07): 1161.
[9] ZHANG X, HUANG H, TU K, et al. Effects of Plant Community Structural Characteristics on Carbon Sequestration in Urban Green Spaces[J]. Scientific Reports, 2024, 14(01): 7382.
[10] 王敏, 宋昊洋. 影响碳中和的城市绿地空间特征与精细化管控实施框架[J]. 风景园林, 2022, 29(05): 17-23.
[11] 龙时胜, 曾思齐, 杨盛扬. 基于改进林分密度指数的标类天然林最大密度线[J]. 林业科学, 2023, 59(09): 13-22.
[12] LOHBECK M, POORTER L, RAMOS M M, et al. Biomass is the Main Driver of Changes in Ecosystem Process Rates During Tropical Forest Succession[J]. Ecology, 2015, 96(05): 1242-1252.
[13] CONDÉS S, RÍO M, STERBA H. Mixing Effect on Volume Growth of Fagus Sylvatica and Pinus Sylvestris is Modulated by Stand Density[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 292: 86-95.
[14] 胡凌, 商侃侃, 张庆费, 等. 密度调控对香樟人工林林木生长及空间分布的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(02): 20-25.
[15] 钟军璐, 李向茂, 王本耀, 等. 上海公共绿地木本植物资源调查与分析[J]. 中国园林, 2019(S2): 123-127.
[16] 惠光秀. 上海香樟及女贞群落密度特征及邻体效应研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
[17] MORGENROTH J, NOWAK D, KOESER A. DBH Distributions in America's Urban Forests—An Overview of Structural Diversity[J]. Forests, 2020,

- 11(02): 135.
- [18] 王哲, 韩玉洁, 康宏樟, 等. 黄浦江上游主要树种水源涵养林生态系统碳储量[J]. 生态学杂志, 2012, 31(08): 1930-1935.
- [19] FANG J, WANG G G, LIU G, et al. Forest Biomass of China: An Estimate Based on the Biomass-Volume Relationship[J]. Ecological Applications, 1998, 8(04): 1084-1091.
- [20] WOOD S. Generalized Additive Models: An Introduction with R[M]. London, UK: Chapman and Hall, 2006.
- [21] FASIOLO M, NEDELLEC R, GOUDE Y, et al. Scalable Visualisation Methods for Modern Generalized Additive Models[J]. Journal of Computational and Graphical, 2020, 29(01): 78-86.
- [22] LAI J, TANG J, LI T, et al. Evaluating the Relative Importance of Predictors in Generalized Additive Models Using the gam.hp R Package[J]. Plant Diversity, 2024, 46(04): 542-546.
- [23] 徐飞, 刘为华, 任文玲, 等. 上海城市森林群落结构对固碳能力的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(03): 439-447.
- [24] 郝珉辉, 代莹, 岳庆敏, 等. 阔叶红松林功能多样性与森林碳汇功能关系[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(10): 68-76.
- [25] 杜晴晴, 任思远, YUAN N T S, 等. 北京东灵山暖温带落叶阔叶林幼树及成树生产力的影响因素[J]. 生物多样性, 2024, 32(12): 100-110.
- [26] REINEKE L H. Perfecting a Stand-Density Index for Even-Aged Forests[J]. Journal of Agricultural Research, 1933, 46(07): 627-638.
- [27] 张艳华, 张希金, 张桂莲. 上海市樟树单木胸径生长模型构建及其影响因素[J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(07): 31-35.
- [28] MORIN X. Species Richness Promotes Canopy Packing: A Promising Step Towards a Better Understanding of the Mechanisms Driving the Diversity Effects On Forest Functioning[J]. Functional Ecology, 2015, 29(08): 993-994.
- [29] FINEGAN B, PEÑA CLAROS M, DE OLIVEIRA A, et al. Does Functional Trait Diversity Predict Above-Ground Biomass and Productivity of Tropical Forests? Testing Three Alternative Hypotheses[J]. Journal of Ecology, 2015, 103(01): 191-201.
- [30] 朱靖. 密度调控对上海香樟林林木生长与林下更新的影响[J]. 生态环境与保护, 2024, 7(10): 84-87.
- [31] 杨子欣, 颜兵文, 张庆贵, 等. 基于树冠连续覆盖的香樟人工林群落结构优化研究[J]. 中国城市林业, 2018, 16(06): 10-13.

《园林》 学刊征集 2026 年专题选题

“专题”是《园林》学刊的重点和特色栏目。为了进一步强化开放办刊、平台共享,《园林》学刊现面向海内外风景园林学界及相关领域学者公开征集2026年专题选题,以期深化与拓展学科体系和研究团队建设,助力风景园林学科高质量发展。

一、选题要求

- 1、学术性。选题应深入探讨与系统研究本学科及相关领域具有较高学术、理论价值和普遍意义的研究成果。
- 2、创新性。选题应以问题研究为导向,在理论、方法、论据、观点上有突破、新进展。
- 3、前沿性。选题立足国内,面向全球,关注风景园林学科的前沿问题、热点问题,进行体系性的深入论证。
- 4、包容性。鼓励跨学科、跨地域、多视角的综合研究。

二、申报程序

提供选题的专家,请在邮件正文中简要阐述被选选题的背景、意义及研究方向,并于2025年7月1日前发送至编辑部邮箱: LA899@VIP.163.com, 邮件主题为“2026专题+选题名称”。

