

上海嘉松南路绿带香樟林和意杨林生长量及生物量动态

Growth and Biomass Dynamics of *Cinnamomum camphora* Forest and *Populus × canadensis* 'I-214' Forest in the Green Belt of Jiasong South Road, Shanghai

邓力豪¹ 刘雨沛¹ 张庆费^{2*} 戴兴安¹
DENG Lihao¹ LIU Yupei¹ ZHANG Qingfei^{2*} DAI Xingan¹

(1.中南林业科技大学, 长沙 410000; 2.上海辰山植物园, 上海 201602)
(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan, China, 410000; 2. Shanghai Chenshan Botanical Garden, Shanghai, China, 200000)

文章编号: 1000-0283(2022)06-0068-06
DOI: 10.12193/j.laing.2022.06.0068.009
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2021-11-24
修回日期: 2022-04-20

摘要

研究城市绿化树种生长发育过程特征是城市植物群落构建、养护管理和生态功能评估的基础。以上海嘉松南路绿带的香樟林和意杨林为研究对象, 在2010年、2015年与2020年间, 分别定位测量两个群落的生长参数, 并利用单木异速生长方程估测生物量和碳储量变化。结果表明, 香樟林和意杨林的平均胸径分别从2010年的5.71 cm、10.38 cm增长到2015年的9.69 cm、15.53 cm和2020年的18.14 cm、24.50 cm; 同时, 2020年的香樟林单位生物量和碳储量分别为2010年的4.44倍、2015年的1.93倍; 而2020年意杨林单位生物量和碳储量分别为2010年的3.55倍、2015年的1.35倍。虽然意杨的生长速度和生物量增长速度较快, 但随着时间的推移, 意杨种群发展趋于衰弱, 生长量增长率低于香樟林, 而香樟林则呈持续发展趋势。研究结果可以为速生树种和长寿树种的合理选择提供借鉴, 也为城市绿地碳汇估算提供参考。

关键词

上海; 香樟林; 意杨林; 群落结构; 生物量; 碳储量; 生长动态

Abstract

The study of the characteristics of urban greening tree species' growth and development process is the basis of urban plant community construction, maintenance and management, and ecological function evaluation. Taking the *Cinnamomum camphora* and *Populus × Canadensis* 'I-214' in the green belt of Jiasongnan Road in Shanghai as the research object, the growth parameters of the two forests were measured respectively in 2010, 2015 and 2020, and the changes in biomass and carbon storage were estimated by single tree allometric growth equation. The results showed that the average DBH of *Cinnamomum camphora* forest and *Populus × Canadensis* 'I-214' forest increased from 5.71 cm and 10.38 cm in 2010, to 9.69 cm and 15.53 cm in 2015, and 18.14 cm and 24.50 cm in 2020. At the same time, the unit biomass and carbon storage of *Cinnamomum camphora* forest in 2020 are 4.44 times of 2010 and 1.93 times of 2015, respectively. In 2020, the unit biomass and carbon storage of *Populus × Canadensis* 'I-214' forest were 3.55 times of 2010 and 1.35 times of 2015, respectively. Although the growth rate and biomass of *Populus × Canadensis* 'I-214' increased rapidly, with the passage of time, the development of the *Populus × Canadensis* 'I-214' population tends to weaken, and the growth rate is lower than that of *Cinnamomum camphora* forest, while *Cinnamomum camphora* forest shows a sustainable development trend. The results can provide a reference for the rational selection of fast-growing tree species and long-lived tree species and a reference for estimating carbon sink in urban green space.

Keywords

Shanghai; *Cinnamomum camphora* forest; *Populus × canadensis* 'I-214' forest; community structure; biomass; carbon storage; growth dynamics

邓力豪

1997年生/男/重庆梁平人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林景观规划与设计

刘雨沛

1997年生/女/湖南浏阳人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林景观规划与设计

张庆费

1966年生/男/浙江泰顺人/博士/教授级高工/研究方向为城市园林生态与城市植物多样性

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: qfzhang@126.com

基金项目:
上海市绿化和市容管理局科研攻关项目“上海周边区域地带性群落优势种与生境特征研究”(编号: G202403)

变化与发展是植物群落的基本特征, 在较长时间尺度上监测绿地群落结构及其组成树种生长发育过程, 有助于准确揭示人工群落发展动态, 积累城市人工林生态系统基础资料^[1]。由于城市绿地受城市环境和人为干扰影响, 长期动态变化研究较少, 如通过近20年三个时期合肥环城公园植物群落结构动态变化, 研究在立地条件、自然选择以及人为干扰等因素作用下植物群落结构演变过程及发展趋势^[2]; 通过三个时期观测, 分析管护放弃后城市水杉林林下植被的种类组成、主要物种种群结构与高生长速率的动态变化^[3]。香樟和意杨作为长三角区域城市绿化重要的绿化树种, 群落动态研究主要从密度量化控制^[4]、胸径、树高及冠幅关系预测时空尺度变化规律^[5], 但生长动态研究较少。城市树木生长不仅包括胸径与树高的增长, 也决定群落生物量及碳储量动态, 影响城市绿地生态功能以及碳汇潜力, 如通过构建杨树立木及各器官生物量方程, 估测上海黄浦江中上游9年生快速生长阶段的杨树人工林储碳量^[6]; 通过CM和AM两种方法研究2010年至2016年上海乔木林总生物量动态变化, 发现上海城市森林资源在数量和质量方面得到显著提升^[7]。因此, 对群落生长动态的研究不仅有利于了解树种的生长发育特点, 指导城市绿地的养护管理和更新改造, 也为评价城市绿地建设成效提供依据^[8]。

文章选择上海市嘉松南路绿带的香樟林和意杨林为研究对象, 通过2010、2015、2020年三时段的定位观测, 分析两种典型的常绿树与落叶树群落生长发育过程特征和生物量动态, 为植物群落构建、养护管理和生态功能评估提供参考。

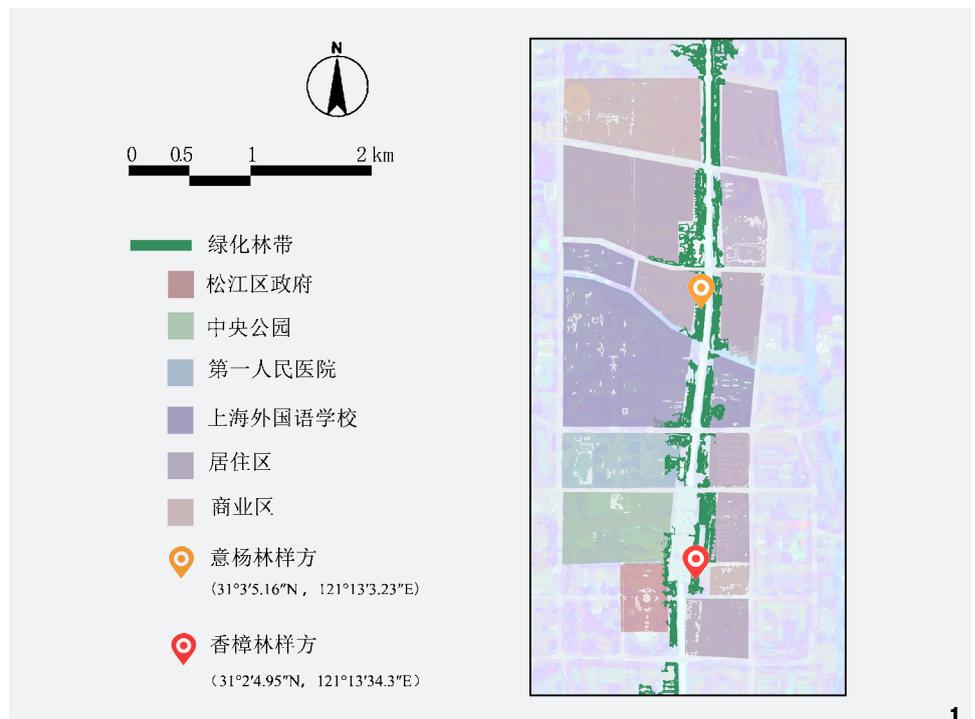


图1 嘉松南路绿带概况
Fig. 1 Overview of green belt of Jiasong South Road

1 调查区概况及研究方法

1.1 调查区概况

上海属北亚热带季风气候, 气候温和湿润, 四季分明, 日照充分雨量充沛, 年平均气温 16°C 左右, 全年无霜期约230 d, 年平均降雨量在1 200 mm左右, 60%雨量集中在5至9月, 夏季台风天气较多。嘉松南路是上海市松江新城的主要南北交通干道, 地理位置重要, 道路西侧依次分布松江区政府、思贤公园、中央公园、上海市第一人民医院、上海外国语大学松江校区以及居住区, 东侧主要以居住区和商业区为主。嘉松南路作为新城区重要的生态绿带, 建设生态型森林景观路和示范林带^[9], 2005年嘉松南路两侧建设宽度为30 ~ 60 m的绿带, 绿带配置形式以大型中央分车带+两侧分车带+路测大型生态林带为主, 生态林带配

置各式大中乔木、灌、草层混交, 乔木层以香樟 (*Cinnamomum camphora*)、意杨 (*Populus × canadensis* 'I-214')、雪松 (*Cedrus deodara*)、广玉兰 (*Magnolia grandiflora*)、银杏 (*Ginkgo biloba*)、女贞 (*Ligustrum lucidum*) 等树种为主, 其中香樟林主要以带状或块状纯林分布, 宽度多在20 ~ 30 m之间, 种植密度为1 425株/ hm^2 ; 意杨林主要以绿带背景林带形式为主, 宽度多在15 ~ 30 m之间, 种植密度为925株/ hm^2 (图1)。

1.2 调查方法

在松江大学城东侧嘉松南路路段, 选取绿带分布广、面积大的典型香樟纯林和意杨纯林, 在松江新城站附近设置一个 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的代表性香樟林样方, 以及在星辰园路旁设置一个 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的代表性意杨林样方, 采

用植物群落学调查方法, 在2010年、2015年和2020年进行连续定位调查观测, 分别记录香樟林和意杨林的胸径、树高等, 分析香樟林、意杨林的林冠结构、树林径向生长以及生物量和碳储量变化。

1.3 生物量估算方法

采用单木异速生长方程法 (Allometric Growth Equation Method) 估算人工林的生物量^[7]。香樟林和意杨林的计算模型采用近年来上海本地或邻近地区的香樟、意杨的立木生物量一元模型 (表1), 分别计算每个样地的总生物量等。国际上常用的含碳率为0.45^[10], 碳储量由生物量乘以含碳率计算求得。

2 调查结果分析

2.1 香樟林

嘉松南路香樟林栽种于2005年。调查始于2010年, 香樟林样地共记录香樟57株, 香樟植株发育良好。

2.1.1 群落胸径与树高生长量动态

从2010年到2020年, 香樟林平均胸径增长12.43 cm, 平均每年增长1.24 cm; 2010年到2015年, 平均胸径增长9.98 cm; 2015年到2020年平均胸径增长8.45 cm, 两个时间段平均增长量对比来看, 平均胸径增长量依然保持较大增长趋势。

从2010年到2020年, 香樟平均树高增长6.34 m, 平均每年增长0.63 m; 2010年到2015年, 平均树高增长4.47 m; 2015年到2020年平均树高增长1.87 m, 可见前5年香樟树高增长迅速, 后5年香樟树高增长变缓。

总体来看, 在10年时间里香樟胸径和树高均明显增长, 随着群落的生长发育, 平均胸径增长217.69%, 平均树高增加185.92% (表2)。

2.1.2 胸径径级结构动态

胸径按照每5 cm为一径级组, 如胸径0 ~ 5 cm表示0 cm ≤ DBH < 5 cm, 胸径5 ~ 10 cm表示5 cm ≤ DBH < 10 cm, 以此类推。分析香

樟结构动态变化状况, 2010年, 胸径级包括0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm和10 ~ 15 cm三个径级组, 其中胸径5 ~ 10 cm的香樟个体数最多, 达45株, 10 ~ 15 cm径级香樟个体株数最少, 仅3株。2015年, 依然保留0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm和10 ~ 15 cm三个径级组, 但径级分布发生明显变化, 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm径级中香樟株数有所减少, 减少至29株, 而10 ~ 15 cm径级组的香樟显著增加, 达28株, 没有胸径大于15 cm的个体出现。2020年, 样地内香樟总株数从57株减少到41株, 可能是10年时间里人工管控或病虫害等自然原因导致, 胸径径级组增加到7个, 径级分化明显, 从15 ~ 35 cm的各个径级组中均出现植株个体, 胸径15 cm以上的较大径级香樟株数显著增加, 占总株数的24.39%; 胸径级30 ~ 35 cm、25 ~ 30 cm的植株各有一株, 分别占2.44%; 胸径20 ~ 25 cm的植株有三株, 占7.32%; 胸径15 ~ 20 cm的植株占12.2%; 其中10 ~ 15 cm胸径的香樟株数最多, 达21株, 占51.22%; 0 ~ 5 cm径级的香樟株数减少到两株, 仅占4.88%。

因此, 10年间小径级香樟数量减少, 大径级香樟数量显著增加, 径级结构发生明显变化, 香樟林径级呈加速增长状态 (图2)。

2.1.3 生物量和碳储量积累动态

利用单木异速生长方程法计算香樟林的生物量, 比较不同时段香樟林生物量变化动态。2010年, 香樟林的单位生物量和碳储量分别为17.90 t/hm²和8.05 t/hm²; 至2015年, 单位生物量和单位碳储量分别增加了23.22 t/hm²和10.45 t/hm², 为2010年的2.3倍; 至2020年, 单位生物量和单位碳储量达到了79.52 t/hm²和35.78 t/hm², 为2010年时的4.44倍。在10年的生长发育过程中, 香樟林单位面积生物量

表1 单木异速生长方程^[7]
Tab. 1 Allometric growth equation of single wood^[7]

模型树种 Model tree species	生物量组分/kg Biomass components	异速生长方程 Allometric growth equation
香樟	地下生物量 M_b	$M_b=0.03345D^{2.43692}$
	地上生物量 M_a	$M_a=M_t-M_b$
	总生物量 M_t	$M_t=0.10387D^{2.53500}$
意杨	地下生物量 M_b	$M_b=0.01345D^{2.45350}$
	地上生物量 M_a	$M_a=M_t-M_b$
	总生物量 M_t	$M_t=0.01901D^{3.10510}$

注: 表中 D 表示胸径。

表2 香樟林胸径与树高动态变化 (平均值 ± 标准误)
Tab. 2 Dynamic changes of DBH and tree height of *Cinnamomum camphora* forest (mean ± S.E.)

年份 Particular year	胸径/cm DBH	树高/m Tree height
2010	5.71 ± 2.02	3.41 ± 1.32
2015	9.69 ± 2.20	7.88 ± 0.89
2020	18.14 ± 10.28	9.75 ± 1.98

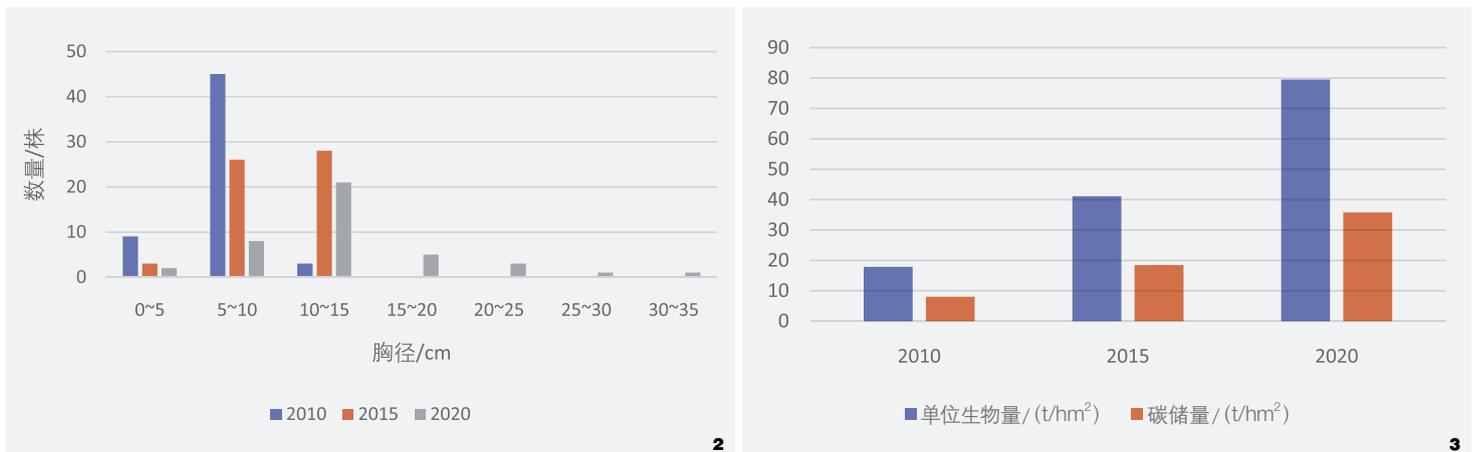


图2 香樟林胸径级动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of DBH class of *Cinnamomum camphora* forest

图3 香樟林生物量和碳储量动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of biomass and carbon storage of *Cinnamomum camphora* forest

和碳储量的平均增长速率为6.16 t/a和2.77 t/a, 年均增长率为18.01% (图3)。

2.1.4 群落动态预测

在香樟林10年的生长过程中, 胸径平均增长速率为1.24 cm/a, 树高平均增长速率为0.63 m/a, 单位面积上生物量和碳储量的平均增长速率为6.16 t/a和2.77 t/a。可见, 香樟林处于林分快速发育期, 各植株生长速率较大, 林木增长量和积累量高。按照当前的平均增长速率, 5年后, 香樟林的平均胸径达24.34 cm, 最大胸径可达40 cm以上, 生物量和碳储量积累到110.32 t/hm²和49.64 t/hm²。按照林木的平均生长速率预算值, 可通过进一步的监测来检验林木动态预测的准确性和精确性。

2.2 意杨林

2.2.1 群落胸径与树高生长量动态

2010年, 意杨林样地共记录意杨37株, 意杨林植株发育良好, 结构完整。

从2010年到2020年, 意杨林平均胸径

增长14.14 cm, 平均每年增长1.41 cm; 2010年到2015年, 平均胸径增长5.15 cm; 2015年到2020年平均胸径增长8.97 cm, 可见平均胸径增长量呈显著增加趋势。

从2010年到2020年, 意杨林平均高度增长10.03 m, 平均每年增长1.00 m; 2010年到2015年, 平均树高增长5.87 m; 2015年到2020年平均树高增长4.16 m, 可见意杨平均树高增长速度逐渐变缓。由此可见, 意杨林10年的生长发育中, 胸径增长量增长明显, 意杨平均胸径增长136.03%, 平均树高增加192.88% (表3)。

2.2.2 胸径径级结构动态

胸径按照每5 cm为一径级组, 如胸径0~5 cm表示0 cm ≤ DBH < 5 cm, 胸径5~10 cm

表示5 cm ≤ DBH < 10 cm, 以此类推。分析意杨结构动态变化状况, 2010年, 胸径级包括0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm等4个径级组, 其中胸径10~15 cm的意杨植株最多, 达22株, 占59.46%, 最大植株的胸径为13.3 cm; 经过5年生长, 到2015年, 保留有5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm三个径级组, 0~5 cm径级消失, 新增20~25 cm径级, 大多数意杨胸径处于15~20 cm径级中, 达16株, 20~25 cm径级意杨新增3株; 至2020年, 意杨总株数减少, 其原因可能是人为干扰或病虫害等自然原因导致, 此时意杨林胸径迅速增粗, 已不存在0~10 cm的小径级意杨, 意杨径级组增加到4个, 从10 cm至35 cm的各个阶段中均有意杨分布, 且最大胸径达到34 cm。

表3 意杨林胸径与树高动态变化 (平均值 ± 标准差)

Tab. 3 Dynamic changes of DBH and tree height of *Populus × canadensis* 'I-214' forest (mean ± S.E.)

年份 Particular year	胸径/cm DBH	树高/m Tree height
2010	10.38 ± 2.19	5.20 ± 2.46
2015	15.53 ± 3.29	11.07 ± 3.59
2020	24.50 ± 8.39	15.23 ± 2.80

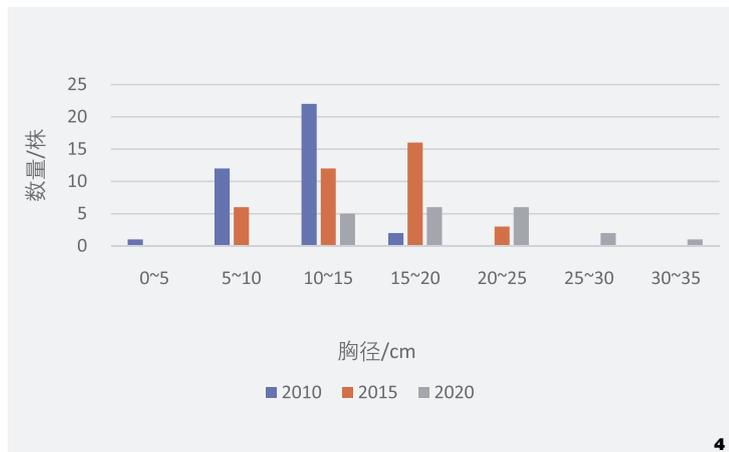


图4 意杨林胸径级动态变化
Fig. 4 Dynamic changes of DBH class of *Populus x canadensis* '1-214' forest

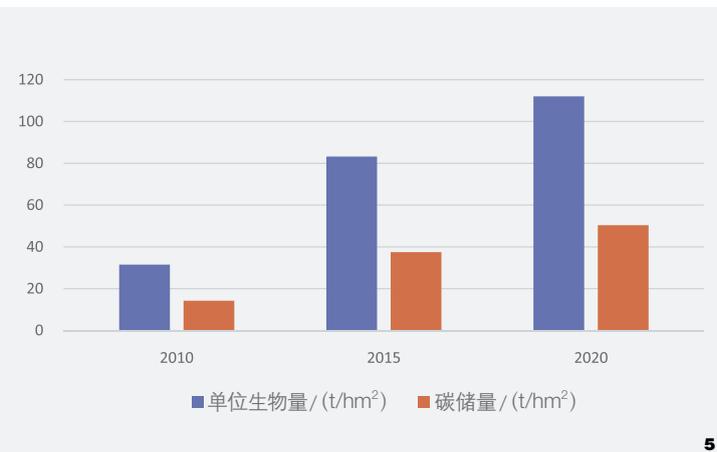


图5 意杨林生物量和碳储量动态变化
Fig. 5 Dynamic changes of biomass and carbon storage of *Populus x canadensis* '1-214' forest

可见，在10年生长过程中，意杨植株生长迅速，种内竞争加剧，林木分化明显，在三次测量中，意杨林胸径数据明显从径级小而集中向大而分散转变，胸径15 cm以上的较大径级意杨个体数量明显增加(图4)。

2.2.3 生物量和碳储量积累动态

利用单木异速生长方程法，计算意杨林的生物量，比较不同时段林分生物量变化动态。2010年，意杨林的单位生物量和碳储量分别为31.54 t/hm²和14.19 t/hm²；至2015年，单位生物量和碳储量分为83.20 t/hm²和37.44 t/hm²，为2010年的2.64倍；至2020年，单位生物量和单位碳储量分别达到了111.99 t/hm²和50.40 t/hm²，为2010年的3.55倍。10年的生长发育过程中，意杨林单位面积上生物量和碳储量的平均增长速率为8.05 t/a和3.62 t/a，年均增长率为15.12% (图5)。

2.2.4 群落动态预测

从意杨林过去10年的生长中，胸径平均增长速率为1.41 cm/a，树高平均增长速率为

1.00 m/a。单位面积上生物量和碳储量的平均增长速率为8.05 t/a和3.62 t/a。可见，林分生长发育旺盛，植株生长速率高，有快速的生物量积累。按照当前的平均增长速率，5年后，意杨林的平均胸径达31.55 cm，最大胸径可达45 cm以上，单位面积上生物量和碳储量积累到152.24 t/hm²和68.51 t/hm²。但由于林分的密度偏高，各树种的冠层相互重叠严重，将影响林分的健康发育。因此，按照林木的平均生长速率预算值需要进一步进行检验校正。

3 结论

通过对2010年、2015年和2020年上海松江嘉松南路的香樟林和意杨林群落数据的整理与对比，分析两种人工林的群落结构动态变化过程和发展趋势。结果表明：在人工林群落结构方面，自2010年到2020年间，香樟的胸径平均增长速率为1.24 cm/a，树高平均增长速率为0.63 m/a。意杨的胸径平均增长速率为1.41 cm/a，树高平均增长速率为1.00 m/a，该两种人工林树高、胸径增长明显，但速生的意杨林生长量更大。在胸径结构动态方

面，树种的径级结构变化影响种群的发展趋势，香樟林2010年小径级植株最多，经过10年的生长发育，径级逐渐分化，小径级植株变少，且出现大径级植株，中径级植株最多而形成单峰型模式，具有稳定生长发育趋势；意杨林经过10年的发展，径级分化明显，小径级植株逐渐减少直至消失，中径级和大径级植株变多，形成多峰型模式，由于缺乏小径级植株的后续补给，种群呈衰退趋势。在生物量和碳储量动态变化方面，香樟林和意杨林的生物量和碳储量在10年间呈现快速增长态势，2015年香樟和意杨的生物量分别达到41.12 t/hm²和83.20 t/hm²，2020年香樟和意杨的生物量分别增长到79.52 t/hm²和111.99 t/hm²，香樟林和意杨林都具有较快积累生物量和碳储量的能力，有利于快速形成碳汇。

4 讨论与建议

香樟和意杨是上海具有代表性的常绿树种和落叶树种，分析10年间群落生长发育结构、生物量和碳储量动态变化，有助于了解



图6 上海闵行体育公园意杨纯林逐步改造为意杨香樟混交林
Fig. 6 Structure of *Cinnamomum camphora* and *Populus x canadensis* '1-214' forest

绿化树种生长发育规律,为群落结构优化和功能提升提供参考。嘉松南路香樟林与广西15年生香樟人工林生长相比^[11],本次研究的香樟林胸径、树高增长速度相对稍慢,其原因可能是本研究样地香樟采用较大径级幼树造林,密度较大,根系发育不如幼苗造林,而地域气候和土壤差异也可能影响树木生长。意杨林作为速生树种,生长发育快速,调查期间属于胸径、树高持续生长阶段^[12]。在生物量方面,2016年上海区域乔木林单位生物量达75.7 t/hm²^[7],全国乔木林单位生物量平均水平达77.4 t/hm²^[13],与2015年香樟林和意杨林生物量相比,香樟林低于上海区域平均水平,而意杨林则高于全国平均水平,但两种人工林生物量年均增长率较快,分别为34.42%和25.51%,超过2010-2016年上海市乔木林总生物量年均增长率(19.2%)^[7],意杨的胸径、树高增长快以及具有较高的生物生产力和碳储量^[14],加上适应性强,能够较快成林成景等优点,在城市绿地建设中,意杨作为外来速生树种,曾在2000年前后的上海城市绿化大发展初期,在环城绿带、道路绿化、盐碱地

造林等起到快速成林和成景的作用,但意杨病虫害发生比较严重,生长势容易衰退,加上抗台风能力较差,目前已逐步退出上海主要绿化树种行列。如在最近的嘉松南路道路绿带更新改造中,意杨成为改造和树种替换对象,意杨林的数量和面积明显减少,而香樟林则大部分保留。

随着城市绿化的高质量发展,绿地结构优化与功能提升成为城市绿化的重要方面,原有绿地改造优化离不开树种的更替,一些具有明显潜在缺陷性的速生树种将逐步更换或淘汰,更多地选择长寿性珍贵树种^[15]。除了直接淘汰速生树种外,最好将绿地群落结构调整与景观外貌延续有机结合,采用微调的过渡性改造方式,确保树冠的连续覆盖和绿地景观的延续性^[16],适当引进中生性地带性树种,逐步改造速生型绿地结构,如上海闵行体育公园意杨林下栽植香樟和保留香樟更新苗,逐步形成意杨与香樟混交林结构,两个树种的冠层占据不同的高度,充分利用不同空间生态资源,形成人工速生纯林的多层次、多物种培育和改造目标(图6)。

通过多年连续的观测,对2010-2020年上海松江嘉松南路绿带香樟林和意杨林生长过程进行研究,初步了解主要绿化树种生长动态特征,有助于探讨城市绿地结构变化规律,为合理选择绿化树种和绿地群落动态管护以及生态功能评估提供依据。但由于城市绿地经常面临调整改造,长期而连续的研究往往难以开展。如随着嘉松南路生态景观带的优化提升,调查的林带也不同程度进行改造。因此,应在城市绿地建立永久的定位样方及数据库^[17],长期持续监测分析城市植物群落结构动态变化,为城市绿地的建设和管护提供更多确切而严谨的科学依据。

注:文中图表均由作者拍摄、绘制。

参考文献

- [1] 高侃侃,郑思俊,张庆费.上海海湾国家森林公园1 hm²样地群落结构特征及其动态监测意义[J].生态与农村环境学报,2013,29(3):316-321.
- [2] 刘慧,朱建,王嘉楠,等.合肥环城公园植物群落结构动态变化[J].生态环境学报,2017,26(8):1284-1291.
- [3] 王娟,达良俊,李艳艳,等.城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(V):管护放弃后城市水杉林下植被自然演替格局的研究[J].华东师范大学学报(自然科学版),2009(6):12-22.
- [4] 惠光秀,吴海洋,张庆费,等.上海浦东公路绿带意杨和香樟群落密度量化控制[J].东北林业大学学报,2010,38(03):20-22.
- [5] 王旭东,杨秋生,张庆费.基于时空尺度变化规律的树种选择及应用策略[J].中国城市林业,2018,16(4):33-37.
- [6] 薛春燕,王哲,崔璇,等.黄浦江中上游杨树人工林生态系统碳储量研究[J].广西植物,2014,34(3):338-343.
- [7] 仲启斌,傅煜,张桂莲.上海市乔木林生物量估算及动态分析[J].浙江农林大学学报,2019,36(3):524-532.
- [8] 王美霞,刘玲,吕文利.上海乔木林分碳储量比较分析研究[J].环境科学与管理,2013,38(5):174-177.
- [9] 刘承珊.上海松江中心城区街道绿化调查与分析[D].杭州:浙江大学,2005.
- [10] YUN J Y, GUO Z D, PIAO S L, et al. Terrestrial Vegetation Carbon Sinks in China, 1981-2000[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(9):1341-1350.
- [11] 谭桂菲,武建云,吴际友,等.15年生香樟人工林生长规律研究[J].广西林业科学,2018,47(1):41-46.
- [12] 徐宏远,陈章水.不同密度1-69杨树生长规律的研究[J].林业科学研究,1994(1):61-66.
- [13] 刘国华,傅伯杰,方精云.中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J].生态学报,2000,20(5):733-740.
- [14] 唐罗忠,生原喜久雄,黄宝龙,等.江苏省里下河地区杨树人工林的碳储量及其动态[J].南京林业大学学报(自然科学版),2015(2):1-6.
- [15] 张庆费.城市绿化珍贵树种特征与选择探讨[J].园林,2020(1):24-28.
- [16] 杨子欣,颜兵文,张庆费,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(6):10-13.
- [17] STRUNK J I, MILLS J R, RIES P, et al. An Urban Forest Inventory and Analysis Investigation in Oregon and Washington[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 18(1):100-109.