

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201909036

王月, 赵亮. 重庆市不同年龄综合公园绿化乔木树种多样性和组成的比较研究 [J]. 广西植物, 2020, 40(4): 546–556.

WANG Y, ZHAO L. A comparative study on diversity and composition of greening tree species in parks of different ages in Chongqing [J].

Guihaia, 2020, 40(4): 546–556.

重庆市不同年龄综合公园绿化乔木树种 多样性和组成的比较研究

王 月, 赵 亮*

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 该研究通过对重庆市不同时期(解放前、直辖前、直辖后)建造的 15 个综合公园的绿化乔木树种进行调查, 分析了公园年龄对绿化乔木多样性和组成的影响以及公园之间的同质化情况。结果表明: (1) 共调查到乔木 59 种, 隶属于 28 科 48 属。其中, 乡土树种占 81.36%, 外来树种占 18.64%。(2) 不同年龄公园乔木物种丰富度之间虽无显著差异, 但解放后和直辖后公园乔木多度明显高于解放前; 不同年龄公园外来树种的比例无显著差异; 黄葛树、雅榕、复羽叶栎树在公园中的应用呈减少趋势, 而日本晚樱、荷花玉兰、木犀、黄兰在绿化中的应用却呈增加趋势。(3) 不同年龄公园之间同质化程度较低, 解放前公园植物群落间 Jaccard 相似性指数明显高于其他两个阶段, 且公园之间的 Jaccard 相似性指数与公园年龄差距无显著相关关系。综上结果发现, 我国历史因素、园林文化和近代城市绿化相关规定可能是外来物种使用的限制因子, 并可能导致了小尺度植物群落同质化程度偏低的现象。

关键词: 城市公园, 乔木, 多样性, 外来树种, 常绿树种

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A

文章编号: 1000-3142(2020)04-0546-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A comparative study on diversity and composition of greening tree species in parks of different ages in Chongqing

WANG Yue, ZHAO Liang*

(Key Lab of Three Gorges Reservoir Region Eco-Environment of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Greening tree communities in fifteen comprehensive parks in Chongqing were investigated to analyze the impact of park age on the diversity and composition, and homogeneity among parks. Park age was divided into three stages

收稿日期: 2020-02-14

基金项目: 中央高校基本科研业务费项目(106112016CDJXY210006); 重庆都市区“四山”生态监测、保育与恢复技术研究示范项目(cstc2018jszx-zdyfxmX0007) [Supported by Fundamental Research Fund for the Central Universities(106112016CDJXY210006); Research and Demonstration Program of Ecological Monitoring, Conservation and Restoration Technology of Four Urban Mountains in Chongqing(cstc2018jszx-zdyfxmX0007)]。

作者简介: 王月(1993-), 女(土家族), 重庆市人, 硕士研究生, 主要从事城市植物多样性研究, (E-mail) 849178342@qq.com。

*通信作者: 赵亮, 博士, 副教授, 主要从事植物生态学、城市生态学、生物多样性与生态系统功能研究, (E-mail) zhaoliang2014@cqu.edu.cn。

including before liberation (before 1949), before the municipality period (1950–1998) and after the municipality period (after 1999). The results were as follows: (1) There were 59 tree species, belonging to 28 families and 48 genera, among which native tree species accounted for 81.36%, exotic tree species accounted for 18.64%. (2) There was no significant differences in the richness of park trees among the three stages, but the tree abundances in the park after liberation and after the municipality period were significantly higher than that before liberation; The proportion of alien tree species in community was no significant differences among the three stages; The application of *Ficus virens*, *F. concinna*, and *Koelreuteria bipinnata* in the park was decreasing, while the application of *Cerasus serrulata*, *Magnolia grandiflora*, *Osmanthus fragrans*, and *Michelia champaca* was increasing. (3) The degree of homogeneity between parks of different ages was low, but the Jaccard similarity index between plant communities in the parks before liberation was significantly higher than that in the other two stages. There was no significant relationships between the Jaccard similarity index and the age of park. The historical factors, garden culture and modern urban greening regulations may be the limiting factors for the use of alien species and may lead to a low degree of homogeneity of small-scale plant communities.

Key words: urban park, arbors, diversity, exotic tree species, evergreen tree species

自 20 世纪以来,快速的城市化进程显著地改变了传统的土地利用方式和生态系统组成。一方面,城市中原生自然植被快速消失;另一方面,在城市绿化中人类又栽植了大量的人工植物群落,形成了独特的城市景观(Chen & Wang, 2013)。植物群落是城市生态系统的基础,具有重要的生态系统功能(Guerrero et al., 2016)。公园是城市中植物集中分布的区域,其植物群落的组成、演变及其驱动因子受到研究者的广泛关注(Cornelis & Hermy, 2004; Li et al., 2006; Vilisics & Hornung, 2009; Tonietto et al., 2011)。除了环境和生态因素外,公园年龄也会影响其植物群落的多样性和组成(Nielsen et al., 2014)。在新西兰奥克兰市,公园中的乔木几乎都是人类栽植的,从 1903 年到 1991 年,城市中的乔木物种数目从 10 种增加到 350 种,且政府规划起着主导性作用(Nowak & David, 1993)。对智利圣地亚哥 49 个城市公园的研究表明,老公园的乔木物种丰富度比新公园更多,且与公园年龄具有显著的相关关系(Figueroa et al., 2018)。对中国上海市 15 个公园的研究表明,老公园中木本植物物种丰富度高于新公园(向官海, 2017)。对中国安徽省合肥市的环城公园研究表明,乔木物种丰富度随公园年龄的增加呈连续减少趋势(刘慧等, 2017)。然而,公园年龄对乔木物种多样性和组成的影响在不同国家和地区缺乏一致的结论(Fischer et al., 2016)。

外来物种在城市绿化中的大量应用被认为是植物群落同质化(homogenization)的主要驱动因子(McKinney, 1999, 2006)。在北美的研究表明,相对于乡土物种而言,外来物种对同质化的贡献更大(Qian & Ricklefs, 2006)。在欧洲,1 500 a 以后引入的外来物种在不同城市之间有很高的相似性,是城市之间同质化的重要原因之一(La et al., 2007)。在南美洲,大量来自于欧洲和亚洲的外来物种在城市绿化中的应用,使得城市之间的同质化程度很高(Figueroa et al., 2018)。在中国,对于同质化的研究起步较晚且相对较少,相关研究主要集中于长江流域城市(宋坤, 2009; 齐猛, 2015; Qian et al., 2016)。近年来,外来物种在公园绿化中使用是否为我国城市植物群落同质化的驱动因子尚不明确。

重庆是全球生物多样性 34 个关键地区之一,具有丰富的乡土植物资源(韩晨霞, 2004)。从社会经济发展过程来看,重庆公园绿地建设具有鲜明的阶段性特征,可以作为研究绿化历史变迁的绝佳地区(朱明, 2007)。乔木是城市绿化的主体,寿命较长,可以很好地反映城市绿化树种选择的历史变迁(Nagendra & Gopal, 2011)。因此,本文以重庆市三个不同建设时期的 15 个公园为研究对象,探讨公园人工栽植的乔木树种组成和多样性随时间的变化规律,同时分析城市绿化中使用的外来物种是否是同质化的原因,以期为今后城

市公园绿化建设和管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

重庆市位于 $105^{\circ}17' - 110^{\circ}11' \text{ E}$ 、 $28^{\circ}10' - 32^{\circ}13' \text{ N}$ 之间的青藏高原与长江中下游平原的过渡地带。气候较为温和,属亚热带季风性气候,冬暖夏热,无霜期长,雨量充沛,湿润多阴,年平均气温为 18°C ,冬季平均气温为 $6 \sim 8^{\circ}\text{C}$,夏季平均气温为 $27 \sim 29^{\circ}\text{C}$,7 月—8 月最高气温多超过 35°C ,极端气温最高为 43°C 。日照总时数 $1\,000 \sim 1\,200 \text{ h}$,常年降雨量 $1\,000 \sim 1\,400 \text{ mm}$ (董仕萍,2006)。

1.2 研究方法

城市公园植物群落包括人工群落、半人工群落和自然群落三种类型,不同类型植物群落的驱动机制也有所区别。为了排除生态过程如演替等的干扰,排除自然植被较多的森林公园、植物园、动物园等专题性公园后,本研究选取了人工型植物群落主导的综合公园作为研究对象(图 1)。根据城市和经济状况和绿化发展历史,将重庆市公园分为三个阶段:第 I 阶段——建国前(1949 年及其以前),第 II 阶段——直辖前(1950 年—1998 年),第 III 阶段——直辖后(1999 年及其以后),详见表 1(朱明,2007)。在每个阶段选取 5 个公园,共计 15 个综合公园,于 2018 年 1 月—10 月对公园乔木组成进行调查。

目前对公园植物调查的方法包括普查法和抽样调查法两类。普查法是对公园的所有物种进行逐一记录;抽样法是采取样线或样方法记录植物群落组成和结构。无论采用哪种方法,物种多样性通常随着公园面积或取样面积的增加而增加(Cornelis & Hermy, 2004; Figueroa et al., 2018)。本研究的主要目的是探索公园年龄与植物群落之间的关系,其中人民公园和南温泉公园面积分别只有 1.2 和 2.8 hm^2 ,为消除公园面积或取样面积差异带来的影响,在每个公园选取了相同的取样面积,为 $2\,000 \text{ m}^2$ (Cornelis et al., 2004; Fischer et al., 2016)。

为了避免取样时人为选择带来的偏差,在百度地图上对每个公园中选取 5 个样方($20 \text{ m} \times 20$

m),尽量均匀分布于公园中(图 2)。样方选取时避开大片水面和地面硬化的广场,同时与公园边缘保持一定的距离。调查前对公园进行整体踏查,以确保样方选择符合要求。记录样方内株高 $\geq 1.3 \text{ m}$ 乔木树种的种名、多度、株高和胸径。

1.3 数据处理

选取物种丰富度指数(S)和多度(abundance)作为衡量生物多样性的指标。

将乔木胸径分为 6 个等级来反应群落的大小结构,分别为 $0 \sim 15 \text{ cm}$ 、 $15 \sim 30 \text{ cm}$ 、 $30 \sim 45 \text{ cm}$ 、 $45 \sim 60 \text{ cm}$ 、 $60 \sim 75 \text{ cm}$ 、 $>75 \text{ cm}$ 。为了分析公园绿化植物组成的变化过程,根据生活型将绿化树种分为常绿乔木和落叶乔木;根据起源地将绿化树种分为乡土物种和外来物种。所有分类标准以中国植物志电子版(<http://frps.iplant.cn/>)为依据。

为了检验公园植物群落之间的同质化程度,选取了 Jaccard 相似性指数表示不同公园之间物种组成的相似程度(Mckinney, 2004; Qian et al., 2016)。首先构建公园植物群落组成矩阵,如群落中存在某物种则记为“1”,不存在则记为“0”,并在此基础上进行指数计算(Qian et al., 2016)。

Jaccard 相似性指数计算公式如下:

$$C_j = \frac{c}{a+b-c}.$$

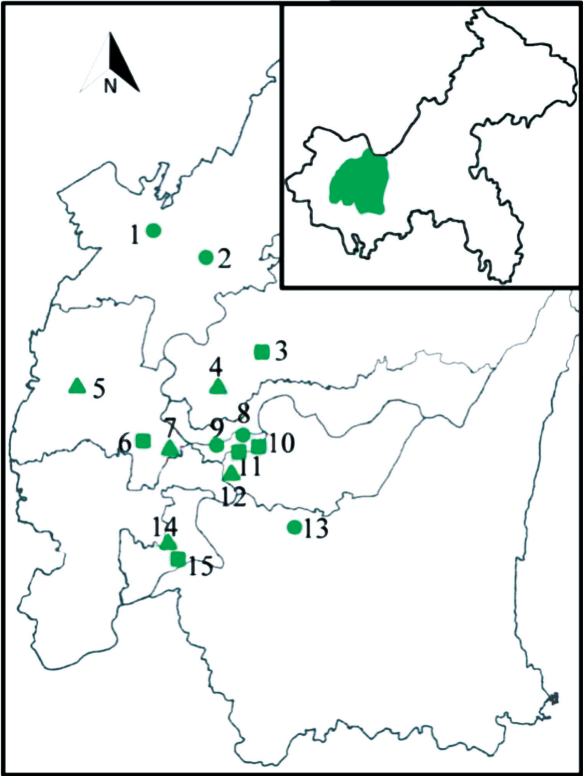
式中, a 和 b 分别为两个公园中的物种数, c 为两个公园的共有物种数。 C_j 的取值范围介于 0 和 1 之间。 C_j 的取值为 0,表明两个位点之间没有共同的物种; C_j 的取值为 1,表明两个位点之间的物种组成完全相同。将公园建造的年份相减,计算公园之间的年龄差异。

采用单因素方差分析(One-way ANOVA)来比较不同阶段公园物种丰富度、多度、胸径、Jaccard 相似性指数、生活型百分比和来源百分比在三个阶段中的差异,显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。利用 R3.5.2、Origin 9.1 和 Excel 2016 进行数据分析和作图。

2 结果与分析

2.1 公园绿地乔木树种组成

从重庆市 15 个综合公园中共统计到乔木



1. 北温泉公园；2. 北碚公园；3. 碧津公园；4. 龙头寺公园；5. 大学城中央公园；6. 沙坪公园；7. 平顶山文化公园；8. 鹅岭公园；9. 人民公园；10. 枇杷山公园；11. 珊瑚公园；12. 融侨公园；13. 南温泉公园；14. 中华美德公园；15. 大渡口公园。

1. Beiwenguan Park；2. Beibei Park；3. Bijin Park；4. Longtousi Park；5. Daxuecheng Central Park；6. Shaping Park；7. Pingdingshan Cultural Park；8. E-ling Park；9. Renmin Park；10. Pipashan Park；11. Shanhu Park；12. Rongqiao Park；13. Nanwenguan Park；14. Zhonghuameide Park；15. Dadukou Park.

图 1 所选择公园分布示意图

Fig. 1 Schematic of the distribution of chosen parks

1 721株,涉及树种 59 种,隶属于 28 科 48 属。其中,阔叶树种占有绝对优势,比例为 79.67%,而针叶树仅有 12 种,比例为 20.34%,种类数最多的科为蔷薇科(5 属 6 种,占有所有树种的 10.34%)。乡土树种 48 种,种类占比为 81.36%,数量占比为 82.4%;外来树种 11 种,种类占比为 18.64%,数量占比为 17.6%。常绿树种 31 种,种类占比为 52.54%,数量占比为 72.34%;落叶树种 28 种,种类占比为 47.46%,数量占比为 27.66%。

2.2 公园乔木物种多样性及组成特征

第 I 阶段公园乔木多度为 41 至 145, 物种丰

表 1 15 个公园的基本信息

Table 1 Details of fifteen parks

公园名称 Name of park	建造时间 Construction time	阶段 Stage	公园面积 Park area (hm ²)	样方个数 Number of plot
鹅岭公园 E-ling Park	1911	I	6.63	5
南温泉公园 Nanwenguan Park	1927	I	2.8	5
北温泉公园 Beiwenguan Park	1927	I	10	5
人民公园 Renmin Park	1929	I	1.2	5
北碚公园 Beibei Park	1930	I	7.43	5
枇杷山公园 Pipashan Park	1955	II	5.4	5
沙坪公园 Shaping Park	1957	II	17.2	5
大渡口公园 Dadukou Park	1986	II	8	5
碧津公园 Bijin Park	1987	II	13.33	5
珊瑚公园 Shanhu Park	1997	II	9.33	5
平顶山文化公园 Pingdingshan Cultural Park	2001	III	16.11	5
中华美德公园 Zhonghuameide Park	2007	III	10.67	5
融侨公园 Rongqiao Park	2010	III	15.7	5
龙头寺公园 Longtousi Park	2011	III	43.33	5
大学城中央公园 Daxuecheng Central Park	2012	III	22.5	5

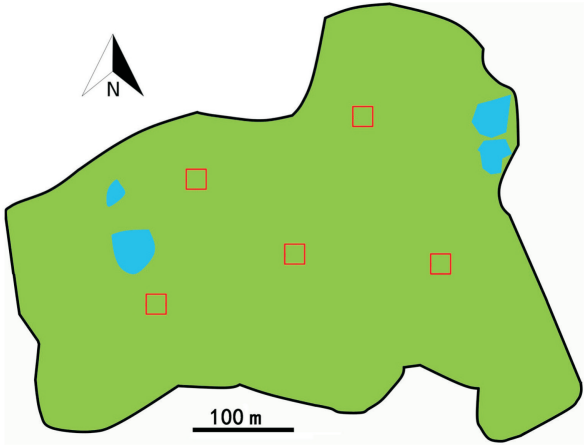


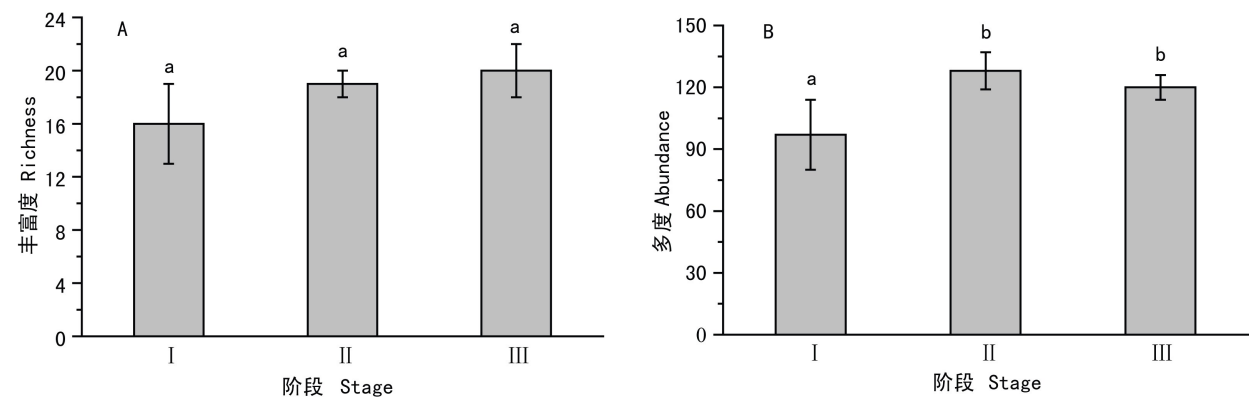
图 2 公园样方设置(以沙坪公园为例)

Fig. 2 Set of plots in park(e.g. Shaping Park)

表 2 重庆市公园绿化常见乔木物种
Table 2 Common tree species in Chongqing park greening

中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name	来源 Origin	生活型 Life form	频率 Frequency (%)
黄葛树	<i>Ficus virens</i>	乡土 N	常绿 E	57.3
樟	<i>Cinnamomum camphora</i>	乡土 N	常绿 E	50.7
雅榕	<i>Ficus concinna</i>	乡土 N	常绿 E	49.3
木犀	<i>Osmanthus fragrans</i>	乡土 N	常绿 E	38.7
荷花玉兰	<i>Magnolia grandiflora</i>	外来 A	常绿 E	32
银杏	<i>Ginkgo biloba</i>	乡土 N	落叶 D	30.7
黄兰	<i>Michelia champaca</i>	乡土 N	常绿 E	24
重阳木	<i>Bischofia polycarpa</i>	乡土 N	落叶 D	21.3
日本晚樱	<i>Cerasus serrulata</i>	外来 A	落叶 D	20
复羽叶栎树	<i>Koelreuteria bipinnata</i>	乡土 N	落叶 D	17.3
蒲葵	<i>Livistona chinensis</i>	乡土 N	常绿 E	16
罗汉松	<i>Podocarpus macrophyllus</i>	乡土 N	常绿 E	14.7
楠木	<i>Phoebe zhennan</i>	乡土 N	常绿 E	14.7
鸡爪槭	<i>Acer palmatum</i>	乡土 N	落叶 D	13.3
雪松	<i>Cedrus deodara</i>	外来 A	常绿 E	13.3
蒲桃	<i>Syzygium jambos</i>	乡土 N	常绿 E	13.3
蓝花楹	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	外来 A	落叶 D	12
紫叶李	<i>Prunus cerasifera</i>	乡土 N	落叶 D	10.7

注：频率=树种出现的样方数/样方总数×100%。N. 乡土；A. 外来；E. 常绿；D. 落叶。下同。
Note: Frequency = number of plots in the tree species / total number of plots × 100%. N. Native; A. Alien; E. Evergreen; D. Deciduous. The same below.



不同小写字母表示具有显著的差异 ($P < 0.05$)。下同。
Different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The same below.

图 3 三个阶段间丰富度(A)和多度(B)的比较
Fig. 3 Comparison of richness (A) and abundance (B) in three stages

表 3 各阶段乔木优势种
Table 3 Dominant tree species of in different stages

阶段 Stage	中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name	频率 Frequency (%)	生活型 Life form	园林用途 Garden use
I	樟	<i>Cinnamomum camphora</i>	72.0	常绿 E	遮荫树 ST
	黄葛树	<i>Ficus virens</i>	60.0	常绿 E	遮荫树 ST
	木犀	<i>Osmanthus fragrans</i>	56.0	常绿 E	观花树 FV
	复羽叶栎树	<i>Koelreuteria bipinnata</i>	32.0	落叶 D	观花树 FV
	荷花玉兰	<i>Magnolia grandiflora</i>	28.0	常绿 E	观花树 FV
II	黄葛树	<i>Ficus virens</i>	80.0	常绿 E	遮荫树 ST
	雅榕	<i>Ficus concinna</i>	76.0	常绿 E	遮荫树 ST
	樟	<i>Cinnamomum camphora</i>	44.0	常绿 E	遮荫树 ST
	荷花玉兰	<i>Magnolia grandiflora</i>	28.0	常绿 E	观花树 FV
III	樟	<i>Cinnamomum camphora</i>	60.0	常绿 E	遮荫树 ST
	雅榕	<i>Ficus concinna</i>	56.0	常绿 E	遮荫树 ST
	黄兰	<i>Michelia champaca</i>	48.0	常绿 E	观花树 FV
	日本晚樱	<i>Cerasus serrulata</i>	40.0	落叶 D	观花树 FV
	楠木	<i>Phoebe zhennan</i>	36.0	常绿 E	遮荫树 ST
	银杏	<i>Ginkgo biloba</i>	32.0	落叶 D	观叶树 LV
	荷花玉兰	<i>Magnolia grandiflora</i>	28.0	常绿 E	观花树 FV
	紫叶李	<i>Prunus cerasifera</i>	28.0	落叶 D	观叶树 LV

注：ST. 遮荫树；FV. 观花树；LV. 观叶树。
Note: ST. Shady tree; FV. Flower viewing; LV. Leaf viewing.

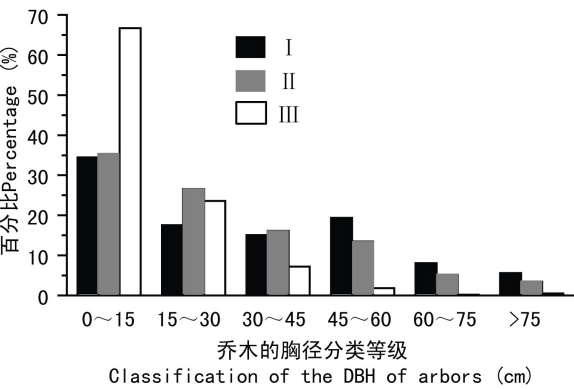
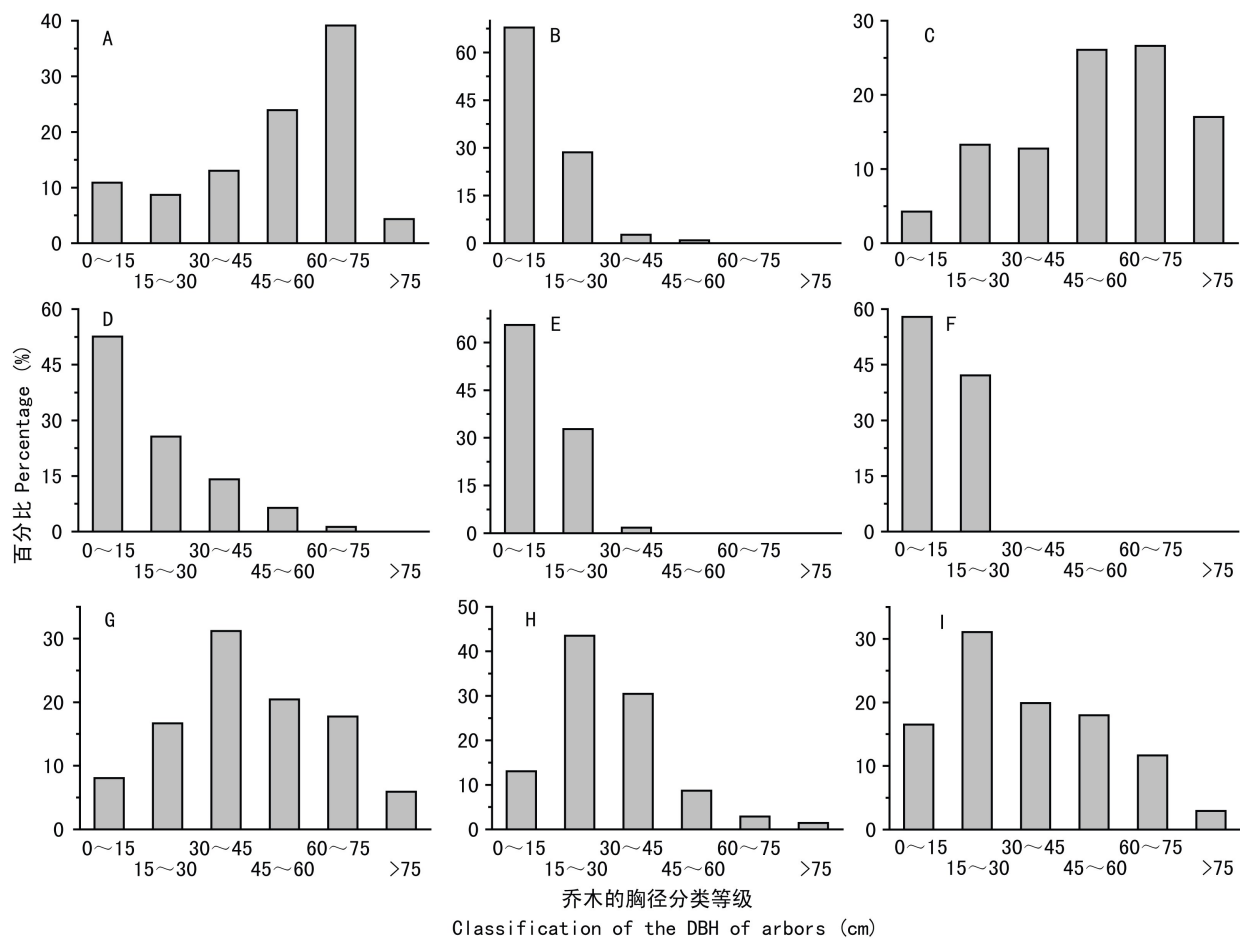


图 4 三个阶段乔木胸径分布

Fig. 4 DBH distributions of arbors in three stages

富度为 5~23;第Ⅱ阶段公园乔木多度为 96~149,物种丰富度为 15~22;第Ⅲ阶段公园乔木多度为 107~136,物种丰富度为 15~24。在取样面积相同的情况下,三个阶段之间公园乔木丰富度差异不显著,第Ⅱ、第Ⅲ阶段公园乔木多度显著高于第Ⅰ阶段($P<0.05$)(图 3)。

三个阶段公园中乔木优势种(出现频率大于 20%)见表 3。从表 3 可以看出,樟和荷花玉兰是在三个时期均广泛采用的绿化树种。黄葛树是在第Ⅰ和第Ⅱ阶段广泛采用的绿化树种,频率分别为 60%和 80%;在第Ⅲ阶段则很少采用。雅榕在第Ⅰ阶段较少出现,而在第Ⅱ和第Ⅲ阶段公园中



A. 复羽叶栎树; B. 荷花玉兰; C. 黄葛树; D. 黄兰; E. 木犀; F. 日本晚樱; G. 雅榕; H. 银杏; I. 樟。
A. *Koelreuteria bipinnata*; B. *Magnolia grandiflora*; C. *Ficus virens*; D. *Cephalanthopseis obcordata*; E. *Osmanthus fragrans*; F. *Cerasus serrulata*; G. *Ficus concinna*; H. *Ginkgo biloba*; I. *Cinnamomum camphora*.

图 5 乔木优势种胸径分布
Fig. 5 DBH distributions of those dominant tree species

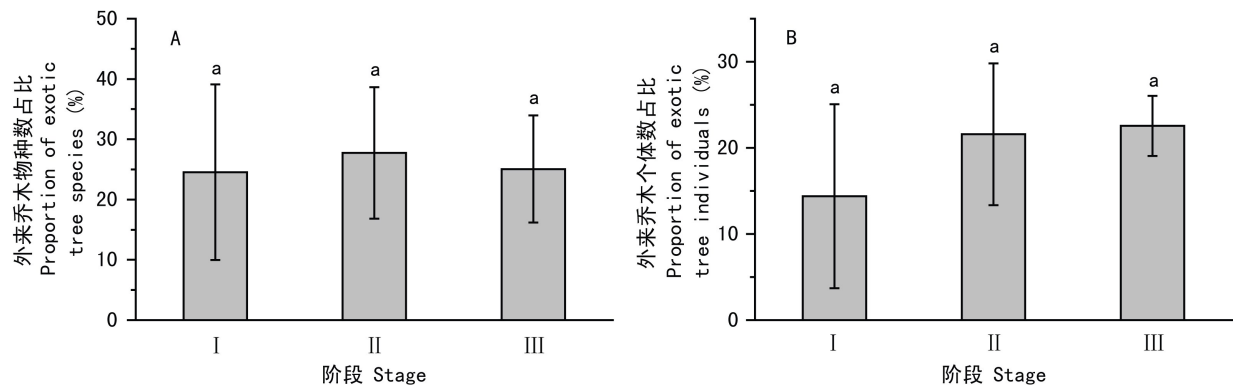


图 6 不同阶段公园外来乔木树种变化趋势
Fig. 6 Trends of exotic tree species in three stages

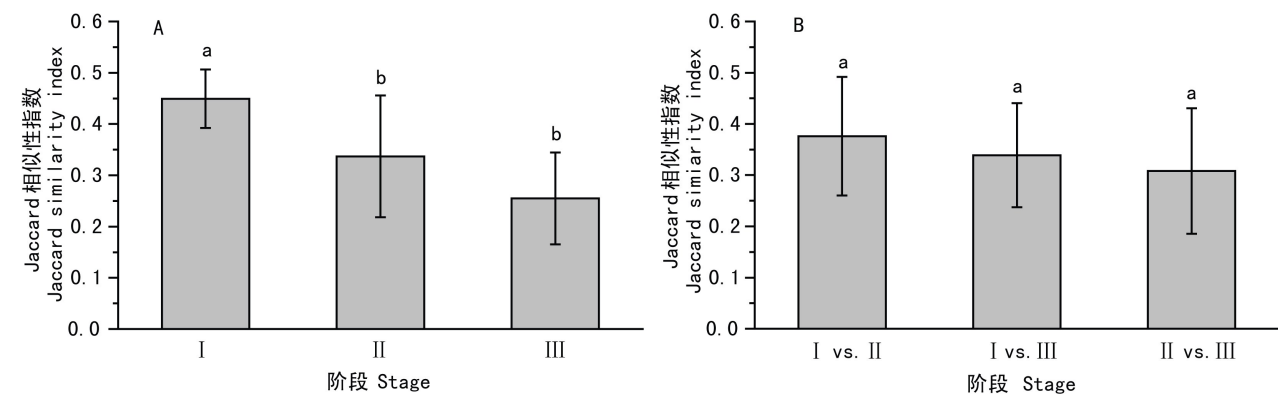


图 7 三个阶段内公园乔木(A)和每两个年代间公园乔木(B) Jaccard 相似性的比较
Fig. 7 Jaccard similarity of three stages (A) and comparison between each two stages (B)

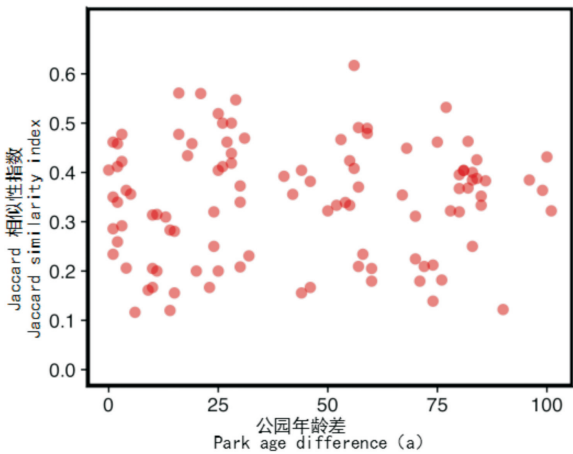


图 8 公园年龄差与 Jaccard 相似性指数的关系
Fig. 8 Relationship between park age difference and Jaccard similarity index

占据优势,占比分别为 76%和 56%。第 I 和第 II 阶段公园绿化树种以遮荫树和观花树为主,而直辖后的公园中观赏型树种的应用比例大大提高,第 III 阶段公园紫叶李、银杏等观叶植物大量出现(表 3)。

2.3 公园乔木的胸径结构

三个阶段的乔木胸径分布都基本符合偏左分布,乔木胸径大小主要集中在 0~30 cm(图 4)。第 I、第 II 阶段公园乔木不同胸径占比较为均匀,表明整体上植物群落在持续更新中。胸径≥60 cm 的乔木主要分布在第 I、第 II 阶段;第 III 阶段公园中 90%的乔木胸径分布在 0~30 cm 之间,未见胸

径≥60 cm 的个体。
从胸径分布来看,木犀、荷花玉兰、黄兰和日本晚樱这四个树种胸径<15 cm 的个体比例很高,而黄葛树、复羽叶栎树胸径<15 cm 的个体比例较少,胸径≥45 cm 的大树较多。雅榕、樟和银杏的胸径分布主要集中在 15~45 cm 的区间(图 5)。

2.4 公园植物群落的同质化

第 I 阶段外来乔木物种数占比为 8.94%~25.93%;第 II 阶段外来乔木物种数占比为 12.34%~31.46%;第 III 阶段外来乔木物种数占比为 18.98%~27.43%。三个阶段间外来树种的物种数和个体数占比均差异不显著(图 6)。

第 I 阶段内 5 个公园之间的乔木的 Jaccard 相似性指数为 0.449±0.057,显著高于第 II 阶段内公园(0.337±0.119)和第 III 阶段内公园(0.255±0.090)($P<0.05$)。不同阶段公园之间乔木的 Jaccard 相似性指数无显著性差异(图 7)。

公园之间的年龄差距为 16~101 a;公园之间的 Jaccard 相似性指数介于 0.167~0.617 之间;公园之间的年龄差与 Jaccard 相似性指数之间无显著相关关系(图 8)。

3 讨论与结论

本研究在 75 个样方中记录到了 59 种绿化乔木树种,其中外来乔木树种所占的比例为 18.64%,表明重庆绿化树种多样性较高且主要以乡土树种

为主。2003 年对北京公园绿化树种的调查发现, 200 个乔木样方中共记录到 78 个绿化树种, 其中外来树种占比为 62.3% (Li et al., 2006)。在印度班加罗尔公园 127 个乔木样方中记录到 80 个树种, 其中外来树种所占比例为 77% (Nagendra & Gopal, 2011)。由于城市中的公园主要是政府投资建设, 并由相应部门管理的绿地, 其植物组成具有鲜明的历史和地域特色 (徐倩, 2010)。重庆市现有公园大多是 20 世纪 80 年代后建造的, 尤其是 1998 年直辖后, 重庆市经济飞速发展, 公园建设才踏上快车道 (朱明, 2007)。国家和地方一系列公园绿地建设规范限制了外来树种的使用, 使得重庆市公园绿化树种以乡土物种为主。

3.1 公园年龄与乔木物种多样性

重庆市不同年龄公园之间乔木物种丰富度和多度之间不存在显著差异, 表明公园年龄与物种多样性之间并不存在必然的联系。Figuerola et al. (2018) 认为植物物种丰富度与公园年龄正相关, 原因是早期栽植的乔木正常存活, 后期新栽植的乔木增加了公园植物的物种多样性, 因此公园年龄越长, 其物种丰富度可能越高, 即物种密度随公园年龄增长表现出增长的趋势。向官海 (2017) 对上海公园的调查发现老公园乔木树种丰富度高于新公园, 原因是新公园相对而言生境均质化程度较高, 包含的生境类型较少, 因此物种丰富度也较低。而在这些研究中, 取样面积与公园总体面积相关, 即大公园的取样面积较大, 因此物种丰富度的增加可能是因为种-面积效应而不是年龄效应 (Fisher et al., 2016)。在本研究中, 当取样面积恒定后, 三个阶段公园乔木树种丰富度之间无显著差异。由于解放前公园乔木胸径较大, 其较大的土地和空间占用面积使得可利用的更新栽植的空间较少, 使得解放前公园乔木多度显著少于其他两个阶段。因此, 公园年龄和乔木物种多样性之间并没有普适性规律, 公园设计理念的变迁及后期管理维护水平可能是乔木多样性变化的主导因素 (Nielsen et al., 2014; 刘慧等, 2017)。

3.2 公园年龄与乔木群落组成

对于单一物种而言, 乔木的胸径分布可以作为物种随时间变化的可靠指标 (Richards, 1983;

Welch, 1994; Nielsen et al., 2014)。1999 年颁布的《城市绿化工程施工及验收规范 CJJ/T82-99》中明确规定常绿乔木胸径在 15 cm 以上的常绿乔木视为大树移栽, 需建立相应的技术档案, 因此胸径 15 cm 可作为新栽植乔木的判断标准, 间接反映绿化树种的栽培选择历史记录。我们注意到不同时期重庆市公园植物选择偏好已经发生了变化, 高大且具有良好遮荫效果的乡土乔木物种如黄葛树、雅榕等在近年来逐渐被树形较小的观花观叶类乔木如晚樱、荷花玉兰、木犀以及银杏等物种替代。在直辖后的 15 个样方中, 黄葛树的出现频率为 10%, 作为重庆市市树黄葛树具有优良的适应性和遮荫效果, 其应用减少的可能是设计时尚改变的结果 (白雪和秦华, 2017)。尤其是直辖后, 公园设计更加注重彩叶植物的应用, 紫叶李、银杏观叶树种的比例显著高于前两个阶段 (王友国, 2017)。在印度班加罗尔和中国广州的研究发现了同样的趋势, 公园设计和管理者的偏好从具有庞大树冠的遮荫树种向冠层较小或者个体较小的树种转变 (Jim & Liu, 2001; Nagendra & Gopal, 2011)。乔木群落组成的改变可能对鸟类、昆虫等生物多样性带来巨大的影响, 需要在后续研究中持续关注 (Guo et al., 2015; 张雪萍, 2017)。

3.3 外来物种与植物群落同质化

重庆市公园外来乔木树种的比例与南美和欧洲城市公园相比处于较低水平。原因是综合公园中的植物群落是依照设计者和管理者的喜好与理念配置的, 现代公园的理念起源于欧洲, 随欧洲殖民者扩散到世界各地的殖民地中, 公园建设者的喜好使得外来物种 (主要是欧洲和亚洲的物种) 在曾经的殖民地公园中占据绝对优势 (Nagendra & Gopal, 2010; Fischer et al., 2016; Figuerola et al., 2018)。中国古典园林具有 2 000 多年的悠久历史, 其设计理念秉承顺应自然、天人合一的文化观, 具有鲜明的文化特征和继承性, 植物应用主要以乡土物种为主 (朱明, 2007)。尤其是解放后全国性城市建设和绿地建设一系列导则和规范的出台对外来物种的应用做出了明确的规定。如《国家园林城市系列标准》中明确规定“本地木本植物指数大于等于 0.8”。因此, 历史、文化以及政

策因素是重庆市外来物种比例较低的主要原因。

重庆市公园之间的同质化程度整体较低,且与公园年龄差距之间没有显著的相关关系,可能是由于研究尺度的影响。徐志虎等(2009)发现省份之间的相似性指数最高,其次是城市之间的相似性指数,而小区之间的相似性指数最低且数值与本研究结果相近。值得注意的是,解放前公园之间的相似性指数显著高于其余两个阶段,Jaccard 指数超过了 0.4,而长江流域城市附近自然生态系统的相似性指数大多数小于 0.2(Qian et al., 2016)。重庆市解放前建成的老公园几乎都是由私家园林改造而成,其建设之始可选择的绿化物种少,乡土物种的大量应用是公园之间同质化程度较高的主要原因(徐志虎等,2009;宋坤等,2009)。随着经济发展,大量外来物种进入城市绿化种库,公园建设者具有更多个性化选择的可能,植物群落相似性有所下降(Qian et al., 2016)。研究表明,少数适应城市环境物种的大量应用是城市同质化的重要原因,其中既包括了乡土物种,也包括了外来物种(Mckinney, 2006; Williams et al., 2009)。因此,在未来的研究中,进一步区分乡土物种和外来物种对城市公园植物群落同质化的贡献对理解人类活动对生态系统服务功能的影响至关重要。

参考文献:

- BAI X, QIN H, 2017. Shading effects of common tree trees in Chongqing [J]. *For Inv Plan*, 42(2):158-162. [白雪, 秦华, 2017. 重庆市主城区常见行道树遮荫效果研究 [J]. *林业调查规划*, 42(2):158-162.]
- CHEN WY, WANG DT, 2013. Urban forest development in China: Natural endowment or socioeconomic product? [J] *Cities*, 35: 62-68.
- CORNELIS J, HERMY M, 2004. Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders [J]. *Landscape Urban Plan*, 69(4):385-401.
- DONG SP, 2006. Study on the composition feature of gardening plant communities in main urban areas of Chongqing City [D]. Chongqing: Southwest University. [董仕萍, 2006. 重庆主城区园林植物群落树种组成特点研究 [D]. 重庆:西南大学.]
- FIGUEROA JA, CASTRO SA, REYES M, et al., 2018. Urban park area and age determine the richness of native and exotic plants in parks of a Latin American city: Santiago as a case study [J]. *Urban Ecosyst*, 21(4):645-655.
- FISCHER LK, RODORFF V, MORITZ VDL, et al., 2016. Drivers of biodiversity patterns in parks of a growing South American megacity [J]. *Urban Ecosyst*, 19(3):1231-1249.
- GUERRERO LN, CASTRO SA, RUBO MA, et al., 2016. Retention of atmospheric particulate by three woody ornamental species in Santiago, Chile [J]. *Water Air Soil Poll*, 227(12):435.
- GUO X, LI W, DA L, 2015. Near-natural silviculture: Sustainable approach for urban renaturalization? Assessment based on 10 years recovering dynamics and eco-benefits in Shanghai [J]. *J Urban Plan D-ASCE*, 141(3): A5015001.
- HAN CX, 2004. Study on the investigation oil biodiversity conservation and nature reserves in Chongqing [D]. Chongqing: Southwest University. [韩晨霞, 2004. 重庆自然保护区及生物多样性保护调查研究 [D]. 重庆:西南师范大学.]
- JIM CY, LIU HT, 2001. Species diversity of three major urban forest types in Guangzhou City, China [J]. *For Ecol Manag*, 146:99-144.
- LA S, FRANK A, MCKINNEY, ET AL, 2007. Compositional similarity among urban floras within and across continents: Biogeographical consequences of human-mediated biotic interchange [J]. *Global Change Biol*, 13(4):913-921.
- LI W, OUYANG Z, MENG X, et al., 2006. Plant species composition in relation to green cover configuration and function of urban parks in Beijing, China [J]. *Ecol Res*, 21(2):221-237.
- LIU H, ZHU J, WANG JN, et al., 2017. Dynamic change of plant community structure in the ring park around Hefei City [J]. *Ecol Environ*, 26(8): 1284-1291. [刘慧, 朱建, 王嘉楠, 等, 2017. 合肥环城公园植物群落结构动态变化 [J]. *生态环境学报*, 26(8): 1284-1291.]
- MCKINNEY ML, 1999. Biotic homogenization: A few winners replacing many losers in the next mass extinction [J]. *Trends Ecol Evol*, 14(11): 450-453.
- MCKINNEY ML, 2004. Do exotics homogenize or differentiate communities? Roles of sampling and exotic species richness [J]. *Biol Inv*, 6(4):495-504.
- MCKINNEY ML, 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization [J]. *Biol Conserv*, 127(3):247-260.
- NAGENDRA H, GOPAL D, 2010. Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution [J]. *Urban For Urban Gree*, 9(2): 129-137.
- NAGENDRA H, GOPAL D, 2011. Tree diversity, distribution, history and change in urban parks: Studies in Bangalore, India [J]. *Urban Ecosyst*, 14(2):211-223.
- NIELSEN AB, MATILDA VDB, MARUTHAVEERAN S, et al., 2014. Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence [J]. *Urban Ecosyst*, 17(1): 305-327.
- NOWAK, DAVID J, 1993. Historical vegetation change in Oak-

- land and its implication for urban forest management [J]. *J Arbor*, 19(5).
- QIAN H, RICKLEFS RE, 2006. The role of exotic species in homogenizing the North American flora [J]. *Ecol Lett*, 9(12): 1293–1298.
- QIAN S, QI M, HUANG L, et al., 2016. Biotic homogenization of China's urban greening: A meta-analysis on woody species [J]. *Urban For Urban Gree*, 18:25–33.
- QI M, 2015. Study on the homogenization of urban greening in the Yangtze river basin [D]. Chongqing: Chongqing University. [齐猛, 2015. 长江流域城市绿化均一化研究 [D]. 重庆:重庆大学.]
- RICHARDS NA, 1983. Diversity and stability in a street tree population [J]. *Urban Ecol*, 7(2):159–171.
- SONG K, QIN J, GAO K, et al., 2009. Homogenization of plant diversity in Shanghai residential areas [J]. *J Appl Ecol*, (7): 77–81. [宋坤, 秦俊, 高凯, 等, 2009. 上海居住区植物多样性的均质化 [J]. 应用生态学报, (7):77–81.]
- TONIETTO R, FANT J, ASCHER J, et al., 2011. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies [J]. *Landscape Urban Plan*, 103(1):102–108.
- VILISCIS F, HORNUNG E, 2009. Urban areas as hot-spots for introduced and shelters for native isopod species [J]. *Urban Ecosyst*, 12(3):333–345.
- WANG YG, 2017. Investigation and analysis of species and application of color-leafed plants in Chongqing's main district [J]. *Pract For Technol*, (5):64–66. [王友国, 2017. 重庆市主城区彩叶植物种类及应用情况调查分析 [J]. 林业科技通讯, (5):64–66.]
- WELCH JM, 1994. Street and park trees of Boston: A comparison of urban forest structure [J]. *Landscape Urban Plan*, 29(2–3):131–143.
- WILLIAMS NSG, SCHWARTZ MW, VESK PA, et al., 2009. A conceptual framework for predicting the effects of urban environments on floras [J]. *J Ecol*, 97(1):4–9.
- XIANG GH, 2017. Comparative study on plant diversity in urban parks between Shanghai, China and Salzburg, Austria [D]. Shanghai: East China Normal University. [向官海, 2017. 上海—萨尔茨堡城市公园植物多样性对比研究 [D]. 上海:华东师范大学.]
- XU Q, 2010. Reconstruction of city parks in mountainous areas with the “the organic renewal” theory [D]. Chongqing: Southwest University. [徐倩, 2010. “有机更新”理论指导下的山地城市公园改造设计 [D]. 重庆:西南大学.]
- XU ZH, SONG K, QIN J, et al., 2009. Similarity of ornamental plant composition in new residential areas in Yangtze River Delta [D]. *J Ecol*, 28(10):1956–1959. [徐志虎, 宋坤, 秦俊, 等, 2009. 长三角新建居住区景观绿化植物组成的相似性 [J]. 生态学杂志, 28(10):1956–1959.]
- ZHANG XP, 2017. Study on the evolution of urban green space system planning in the main city of Chongqing (1891–2015) [D]. Chongqing: Southwest University. [张雪萍, 2017. 重庆主城区城市绿地系统规划变迁研究 (1891–2015) [D]. 重庆:西南大学.]
- ZHU M, 2007. The study on development and the characteristic of the Chongqing garden [D]. Changsha: South Central Forestry S & T university. [朱明, 2007. 重庆园林发展与特点研究 [D]. 长沙:中南林业科技大学.]

(责任编辑 何永艳)