



曲院风荷公园中树形配置的数量、组成与空间格局

程飞彪^{1,2}, 胡 广¹, 刘立明¹

(1. 浙江理工大学建筑工程学院, 杭州 310018; 2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 杭州 311122)

摘 要: 树形的多元配置构成了复杂的植被轮廓和外貌,是植物造景的重要组成部分。以植物个体为中心、以植物属性为对象的空间量化分析方法,可以针对性地指导园林植物景观的设计和营建。文章以杭州曲院风荷公园为研究对象,实地调查公园内所有树木个体的树形属性和空间位置,构建了公园树形空间数据库;并运用缓冲区分析判定不同树形组合,通过空间优化热点分析和非度量多维尺度分析等统计方法,分析不同乔、灌木树形在公园内的数量、组成与空间格局及其对园林景观构成的贡献。结果表明:曲院风荷公园中乔木在树形丰富度和使用规模上都要多于灌木;圆球形与其他树形的组合搭配应用最为广泛;树形配置在整个公园中存在明显的空间偏好和差异性;但是树形组成结构对功能空间的景观差异贡献相对较低。该研究结果可以为园林树种选择和配置,特别是近自然园林景观的植物群落营造提供一定的指导。

关键词: 曲院风荷公园;树形;植物配置;空间量化分析;浙派园林

中图分类号: TU986.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2022) 03-0238-09

The quantity, composition and spatial pattern of tree form configuration in Quyuanfenghe Park

CHENG Feibiao^{1,2}, HU Guang¹, LIU Liming¹

(1.School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2.Huadong Engineering Corporation Limited, POWERCHINA, Hangzhou 311122, China)

Abstract: The diverse configuration of tree forms constitutes the complex vegetation contour and physiognomy, which is an important element of plant landscaping. The spatial quantitative analysis of the attributes of individual plants can provide targeted guidance of the design and construction of plant landscape in urban gardens. In this study, taking Quyuanfenghe Park as the research object, we conducted a field survey on the tree form attributes and spatial locations of all tree individuals in Quyuanfenghe Park, Hangzhou, and established a special database for the tree form in the park. Then, we used the buffer zones to determine different tree combinations through buffer analysis, analyzed the quantity, composition and spatial pattern of different trees and shrubs in the park and their contribution to the composition of the garden landscape through space optimization hotspot analysis, NMDS (Nonmetric multidimensional scaling) ordination and other statistical methods. The results show that the tree form richness and usage scale in Quyuanfenghe Park are better than those of shrubs; the combination of spherical tree form and other tree forms is the most widely used; there exist obvious spatial preference and differences of tree form

收稿日期:2021-04-30 网络出版日期:2021-10-11

基金项目:国家自然科学基金项目(32171570);浙江省土木工程一流学科(B)队伍建设及人才培养基金项目(建工政【2018】27号)

作者简介:程飞彪(1993—),男,河南信阳人,硕士研究生,主要从事城市景观规划设计方面的研究。

通信作者:刘立明, E-mail: 3292532073@qq.com

configuration in the whole park; but the composition and structure of tree form is less contributed to the landscape differences of the functional space. The research findings are expected to provide certain guidance for the tree species selection and configuration in the garden, especially the construction of plant community in close-to-nature landscape.

Key words: Quyuanfenghe Park; tree form; plant configuration; spatial quantitative analysis; Zhejiang-style garden

0 引言

植物造景是园林景观营建的基础和核心内容^[1-2]。其中,树木的冠层形态,即树形,是植物造景设计中需要考虑的重要观赏特征之一^[3]。从现有的景观设计实践来看,艺术与设计领域中强调的形式美法是植物景观设计需要普遍遵循的原则^[3]。然而,在现有的园林植物造景研究中,一般以观察者视域内的整体景观,即植物群落和园林其他要素的组合作为分析对象,多探讨其美学和文化价值。尽管这类成果对于园林历史和文化发展具有较好的理论研究价值,但是对于具体场地中的园林设计与施工来说,过于主观和抽象,缺少客观、有效的量化方法将这些理论成果转化为具体的设计和施工准则来进行现场指导。基于植物个体的景观空间格局研究,可以对场地内所有植物个体的空间信息进行详细描述,将风景园林师的设计理念准确地转换为设计图纸,指导具体施工。同时,景观设计师在进行园林植物的选择与配置时,多从植物物种的角度出发,由于植物物种在不同气候带存在差异,某些场地的成果案例和设计经验无法有效地应用于其他地区。若从植物观赏属性的角度进行植物景观设计研究,则只需选择具有类似观赏属性的当地树种进行替代,就可以打破了物种与气候的限制,研究结果具有更强的普适性和应用性。

以植物个体为中心、以植物观赏属性为对象的植物景观分析方法,可以克服传统植物景观研究普适性和实操性较弱的缺陷。这种植物属性的量化分析方法源于对热带雨林植被的研究,该方法对研究区域内的所有植物个体进行空间定位和属性记录,通过数量统计和空间统计方法,对植物属性的点格局分布特征、生态关联性、个体互作等空间关系进行分析^[4-5]。这种融合了空间定位和统计分析的植物大数据分析已经成为自然植被研究中的主流研究方法,但是在人工植被,特别是关于园林植物造景的研究中,由于风景园林学科的研究多从园林美学角度出发,空间量化分析的方法少有应用。

近年来,曲院风荷公园已成为西湖景观研究的代表性对象之一。俞楠欣等^[6]、苏扬^[7]、蔡建国等^[8]分别从植物的叶形配置、滨水植物景观设计和植被时空分布格局等方面对曲院风荷公园的植物景观特点进行了深入分析。赵可新等^[9]对曲院风荷公园地被植物的发展历史进行了系统性的综述。马婷婷^[10]则从生态系统服务功能出发,对曲院风荷公园植物景观的碳汇功能进行了量化研究。然而,目前从植物观赏属性角度对公园植物景观空间分布格局进行量化分析的研究仍是空白。

本文通过调查杭州西湖风景区曲院风荷公园内所有园林树木个体的树形属性及空间位置,结合GIS空间建模和数量统计方法,对园林树木树形的数量特征、组成结构和空间配置进行空间量化分析,研究曲院风荷公园植物树形的空间分布规律,以期在城市公园中的植物景观营造提供具体指导。

1 研究方法

1.1 研究区概况

曲院风荷公园始建于南宋初年,现位于杭州西湖西北侧苏堤和杨公堤之间。该公园占地面积28.4 hm²,其中水域面积12.2 hm²,陆域面积16.2 hm²,公园平面示意图见图1。曲院风荷公园在遵循主题明显、层次分明设计的基础上,利用周边西湖景观和滨湖地形特点,以荷花景观为主题,并按照公园内部空间的景观差异分为风荷、曲院、岳湖、竹素园、湖滨密林5个区块。

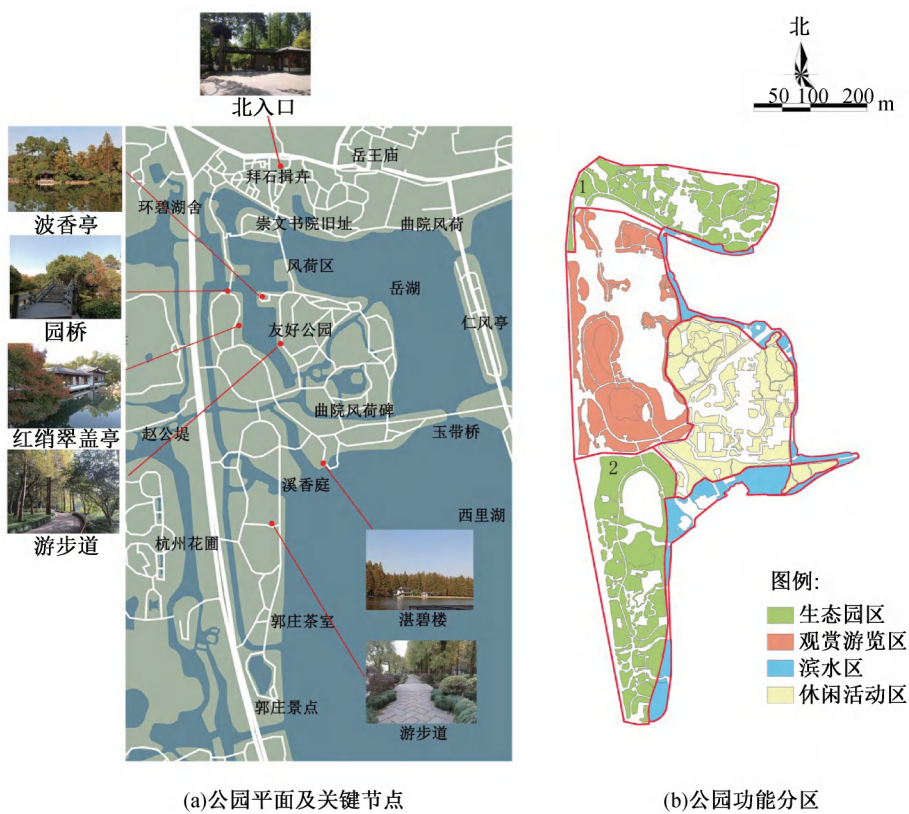
1.2 调查与分析方法

1.2.1 树木形态分类

根据树冠形态,将曲院风荷公园中的树木分为7种树形,分别为圆球形、水平展开形、圆柱形、纺锤形、尖塔形、垂枝形和特殊形^[13]。本文以公园内所有的乔木和灌木个体作为研究对象,藤本和草本由于没有稳定形态,不纳入树形分析。

1.2.2 植物个体空间定位

利用网格法对公园内所有园林木本植物个体进行调查,记录目标个体的生活型、树形、树冠直径和



(a)公园平面及关键节点
(b)公园功能分区

图 1 曲院风荷公园平面示意图

注:图(b)功能分区图中 1、2 表示两个独立的生态园区。

树高等信息,并将个体空间位置逐一标记在公园平面对应的位置上。将上述调查数据导入 ArcGIS,构建植物树形 GIS 数据库,并在数据库中完善公园植被面、道路、建筑、水体等信息。

1.2.3 分析方法

1.2.3.1 分析单元

将公园中各个由连续植被覆盖、内部景观相对均质的植被斑块定义为植被面,作为本研究进行数量统计分析的基本单元。利用公园内的道路、建筑、水体等非植物景观围合形成各植被面的边界,用以确定各个植被面的面积大小和外部轮廓。

1.2.3.2 功能分区

以曲院风荷公园原有的 5 个分区为基础,结合景观特征以及游客行为,按照使用功能将曲院风荷公园分为生态园区(2 处)、观赏游览区、休闲活动区和滨水区(图 1(b)),分别比较不同功能区内的树形配置差异。

1.2.3.3 树形组合定义

使用 ArcGIS 的缓冲区(Buffer)工具为公园内每棵树木个体中心作为中心建立缓冲区,以树冠直径中位数的两倍(实测数据为 8 m)设置缓冲区半径,统计缓冲区内其他个体的数量和树形,得到基于该树木个体的树形组合结构。对公园内所有树木逐个进行相

同分析,构建基于个体的树形组合空间分布格局。由于 3 种或更多树形的组合形式数量超过 50 多种。过多的树形组合类别将会导致各种组合的样本量降低,无法满足统计需求;同时过多的树形组合类别得到的结论规律性较弱,无法为实践应用提供有效建议,因此在本文中选择两树形组合作为研究对象。

1.2.3.4 树形数量分布特征

对每个植被面中不同树形的相对多度和密度进行统计,利用 t 检验以及邓肯新复极差法对各树形之间的数量差异进行两两均值比较,以检验不同功能区之间各树形在种植规模上是否存在差异。

1.2.3.5 树形组成结构分析

以各植被面内不同树形的个体数量作为分析变量,利用非度量多维尺度分析(Nonmetric multidimensional scaling,NMDS)对各植被面植物树形组成结构进行排序分析^[14-15]。NMDS 是一种将具有多维空间数据(各树形数据)的样本简化到低维空间(一般是二维空间)进行定位、分析和归类,同时又保留样本间原始关系的降维分析方法。NMDS 是对样本数值的秩次(数据排序)信息的评估,结果中的横纵坐标数值仅反映数据秩次信息的相似性,而不反映真实的数值差异,横纵坐标轴并无权重意义。NMDS 整体排序效果由 Stress 值进行判断,Stress 值小于

0.1,拟合较好;Stress 值小于 0.2,拟合一般;Stress 值大于 0.3,拟合较差。通过 Spearman 秩相关分析计算不同树形对 NMDS 两轴的影响,以及检验植被面的面积是否影响其内部的树形组成结构。

1.2.3.6 树形空间分布格局

以植被面为分析单元,结合曲院风荷公园内不同树形及其组合的空间定位数据,使用 ArcGIS 进行优化热点分析^[16],得到的空间热点图可用于识别曲院风荷公园中不同树形在空间上是否存在具有统计显著性的密集配置区和稀疏配置区,以探究公园里不同树形组合在各功能区的配置偏好。

2 结果与分析

2.1 树形分布的整体格局

2.1.1 公园树形概况

曲院风荷公园里共记录乔木 82 种,共 5905 棵。

树形分布情况为:圆球形 1487 棵、水平展开形 664 棵、圆柱形 36 棵、纺锤形 1048 棵、尖塔形 2465 棵、垂枝形 130 棵、特殊形 75 棵;灌木种类 55 种,共 4929 棵,树形分布情况为:圆球形 2916 棵、水平展开形 90 棵、纺锤形 580 棵、垂枝形 345 棵、特殊形 998 棵。

2.1.2 单一树形空间配置分析

树形空间分布的优化热点分析如图 2 所示,大部分树形除纺锤形外均存在明显的密集配置区(热点)或稀疏配置区(冷点)。尖塔形、圆球形的热点区域分布相对较多,在公园内存在多处集中配置的局部空间;而圆球形同时存在热点和冷点区域,说明其景观配置存在明显的空间偏好,观赏游览区配置较多,而生态园区配置较少。纺锤形没有冷热点区域,说明其在公园各处空间的配置较为均匀。

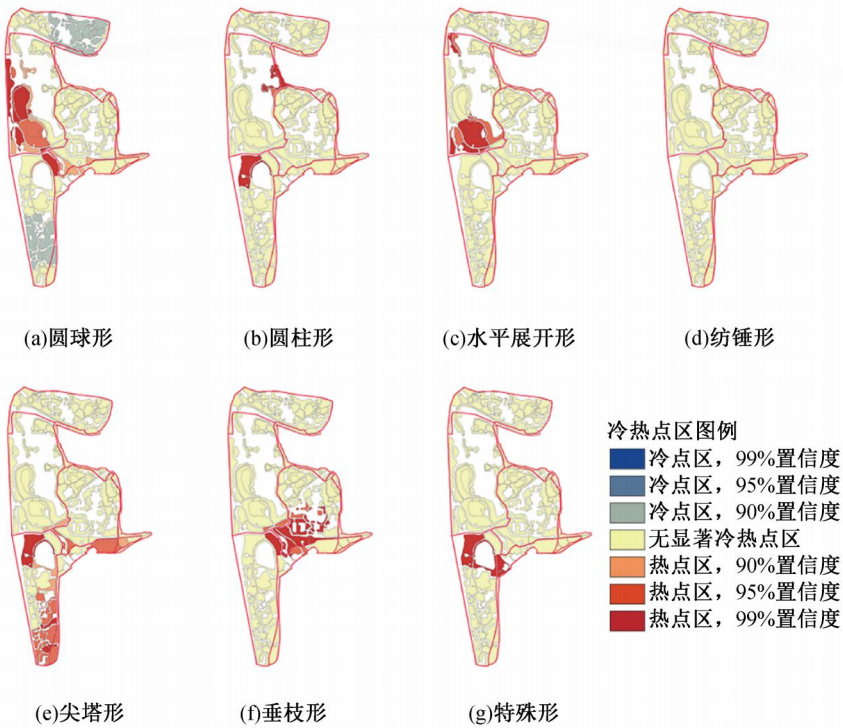


图 2 树形个体空间分布的优化热点分析

注:图中颜色表示不同置信度水平下的冷热点区域。

2.1.3 树形组合空间配置分析

树形组合的优化热点分析结果如图 3 所示,从图中可以看出:大部分树形组合均存在密集配置(仅有热点区),纺锤形与尖塔形的组合同时存在密集和稀疏配置区域(冷热点区域并存),而水平展开形与纺锤形、水平展开形与特

殊形的组合则分布相对均匀;圆球形与尖塔形组合是集中应用的空间最为广泛的组合类型;纺锤形与尖塔形组合并存密集和稀疏配置区域,植物配置上存在明显的空间偏好性;水平展开形与纺锤形、水平展开形与特殊形的组合空间分布较为均匀。

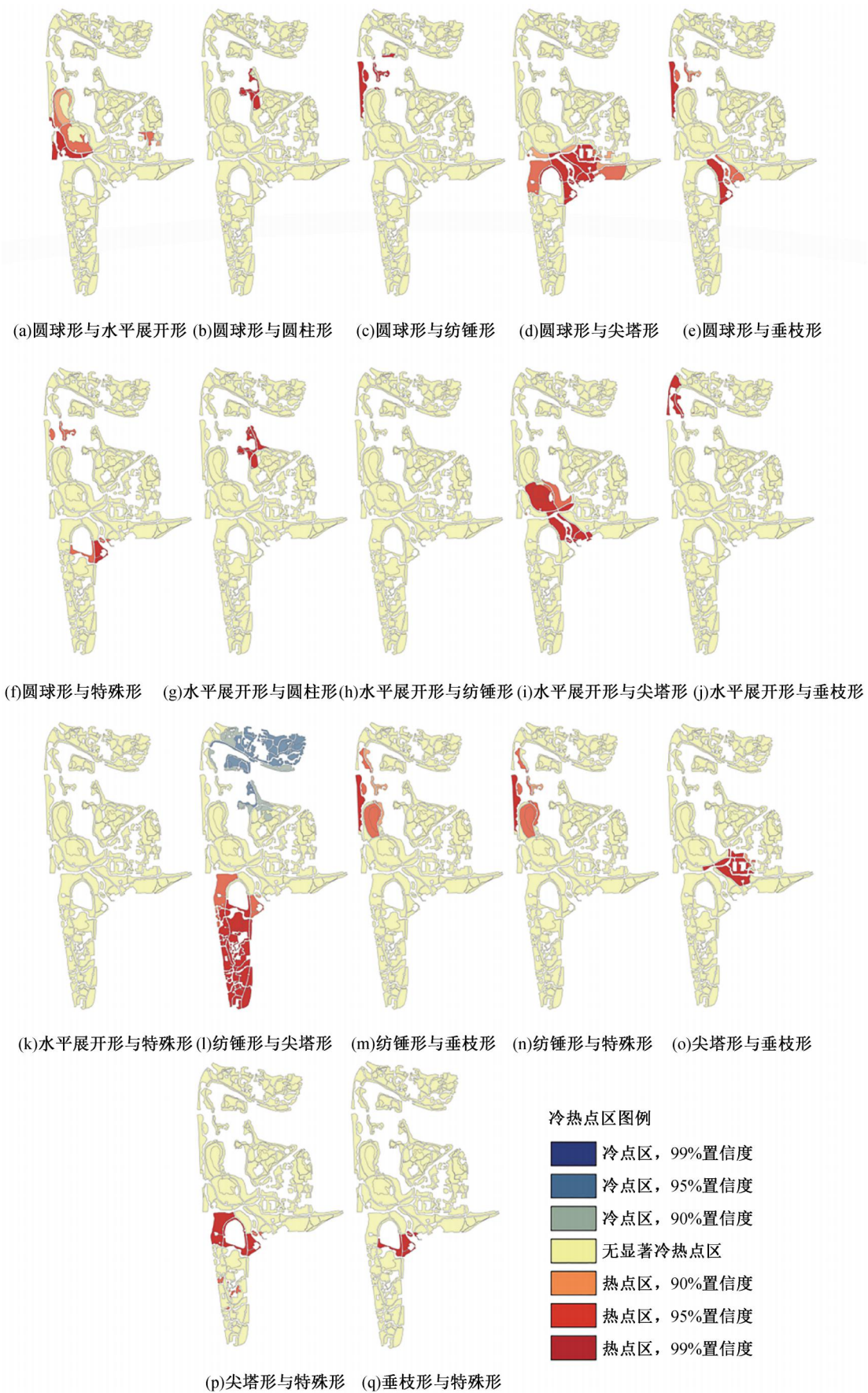


图3 树形组合分布的热点分析

注:图中颜色表示不同置信度水平下的冷热点区域。

2.2 树形在功能空间中的配置模式

为避免同一空间中各种活动的相互干扰,《公园设计规范》(GB 51192—2016)规定,在综合性公园中一般应具有较明确的功能区划分^[17]。曲院风荷公园四类功能分区如图1(b)所示。各功能区的树形配置模式通过量化树形的数量分布(栽种规模)和组成结构(栽种比例)来进行分析。

2.2.1 不同功能区的树形数量分布格局

各树形个体在不同功能区的数量分布如图4所示,从图中可以看出:配置在观赏游览区和休闲活动区的树形主要以圆球形为主,生态园区2集中配置

尖塔形树木,滨水区则以垂枝形为主。生态园区中树形丰富度最高,配置了除圆柱形外其他所有树形,且各树形的栽种数量相对均匀。圆柱形和特殊形树木在公园中的应用较少,主要分布在观赏游览区和休闲活动区。

圆柱形、纺锤形和垂枝形树木的相对数量在各功能区之间大致相等;圆球形在滨水区数量最多,生态园区2数量最少;水平展开形在生态园区1数量最多、生态园区2数量最少;尖塔形在生态园区2中栽种最多,形成具有代表性的水杉森林;而特殊形树木在生态园区1数量则显著高于其他功能区。

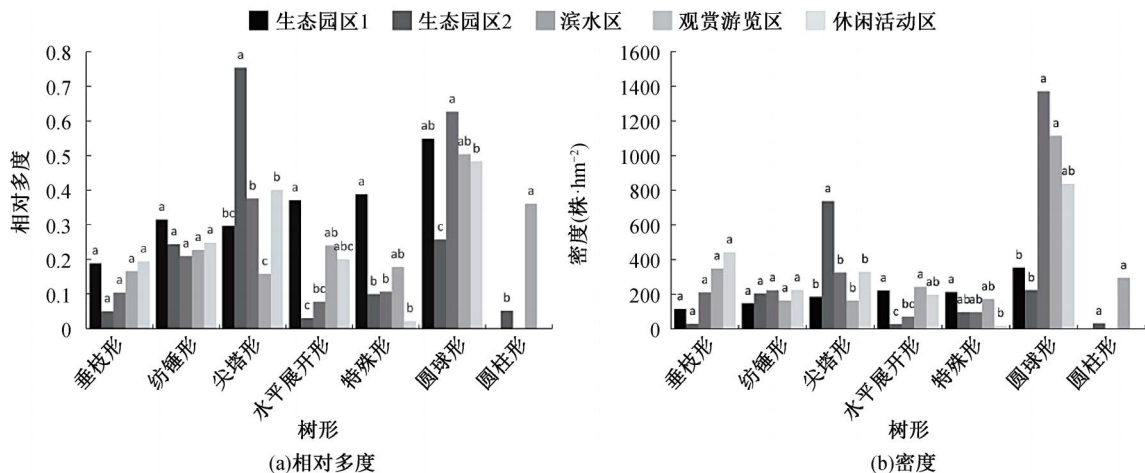


图4 各树形个体在不同功能区的数量分布

注:字母不同表示树形在不同功能区存在显著差异,字母相同则无差异。

公园整体栽种规模较小的树形(如圆柱形、纺锤形和垂枝形)并没有集中配置的倾向,其在各功能区的分布并无显著性差异。水平展开形和特殊形这类在自然植被中更为常见的树冠形态,在生态园区1的使用显著多于其他功能区,使得生态园区1的植物景观更接近于自然植被的形态特征。生态园区2内的树形种类最为丰富,但是在树形的比例和组合上有着明显的趋向性:尖塔形乔木搭配圆球形灌木是该区应用最为广泛的树形组合。观赏游览区强调景观美学效果,树形组合的种类十分丰富,且在各植被面的配置上较为均匀。休闲活动区由于存在大面积的草坪等开放空间,乔、灌木主要起到空间围合作用,景观作用相对较低,在树形应用上最为单调。

在垂直结构上,乔木在各功能区的树形配置模式如图5(a)所示,从图中可以看出:圆柱形、垂枝形和特殊形乔木在各个功能区均匀分布且密度较低;在观赏游览区以圆球形、水平展开形、纺锤形乔木为主;而生态园区2则大量集中应用尖塔形乔木。灌木在各功能区的树形配置模式如图5(b)所示,圆球形灌木密度在所有功能分区内均高于其他形态灌木

的密度;水平展开形和纺锤形灌木在观赏游览区密度最高,而垂枝形灌木在休闲活动区密度最高。

整体而言,曲院风荷公园不同的功能分区中乔、灌木树形及其组合配置在数量分布上表现出的特点为:

a)生态园区对树形的丰富度要求较高,但两个生态园区在树形选择的偏好性上存在较大差异,组合方式也各有特色。这说明即使是强调近自然景观的生态园区,其景观表现也非一成不变,通过改变建群树种的树形,可以营造不同的近自然植被景观(阔叶林与针叶林),避免产生审美疲劳。

b)观赏游览区在不同树形乔、灌木的应用规模上具有明显的景观优势,且通过配置大量其他功能区较少的树形组合,更好地满足游客对多元化植物景观的观赏需求。

c)休闲活动区是树形类别及组合方式最为单调的区域。这一现象跟休闲活动区对大体量开放空间和服务设施的需求较高有着直接的关系。尖塔形与水平展开形为主的树形组合是该区域的主要树形,这两种树形与人工构筑物搭配能够产生明显的空间围合效果,形成分区明显的活动空间。

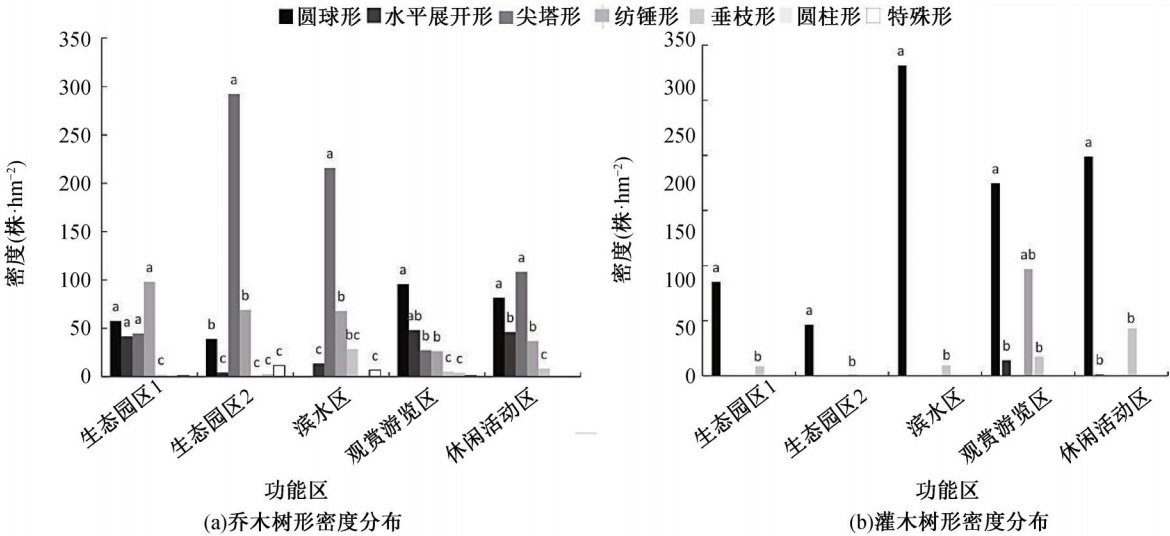


图5 乔、灌木树形在不同功能区的密度分布

注:字母不同表示功能区内不同树形存在显著差异,字母相同则无差异。

d)滨水区在树形类别及组合方式上的运用最具特色。垂枝形或尖塔形乔木搭配圆球形灌木是滨水区的主要树形配置模式,特别是大量应用垂枝形的柳树沿岸线分布,形成公园的一大特色景观。而带状配置的尖塔形水杉通过列植构成一道高大景墙,不仅突出了前景中的建筑和植被造景,也满足了公园的私密性和围合感。

2.2.2 不同功能区的树形组成结构相似性分析

利用 NMDS 对各植被面的树形组成结构进行排序分析。Stress 值为 0.14,排序分析结果基本满足统计要求。不同功能区树形组成相似性分析结果如图 6 所示,图中各点代表植被面,两点之间的距离越近,说明两个植被面之间的树形组成比例越相似。用相同符号将属于同一功能区的植被面进行标记,通过不同符号的分布情况判断各功能区的树形组成结构的差异。

NMDS 两轴得分与各树形个体数量的 Spearman 相关关系见表 1,其中 NMDS1 表示 NMDS 第一轴, NMDS2 表示第二轴。NMDS1 的变化主要由圆球形和尖塔形的应用比例决定,分布在图 6 中右侧的点说明圆球形在对应植被面中应用比例较高(如观赏游览区),分布在左侧的点则说明尖塔形占比较高(如生态园区 2)。NMDS2 的变化主要由圆球形的应用比例决定,上方的点说明圆球形的应用比例较

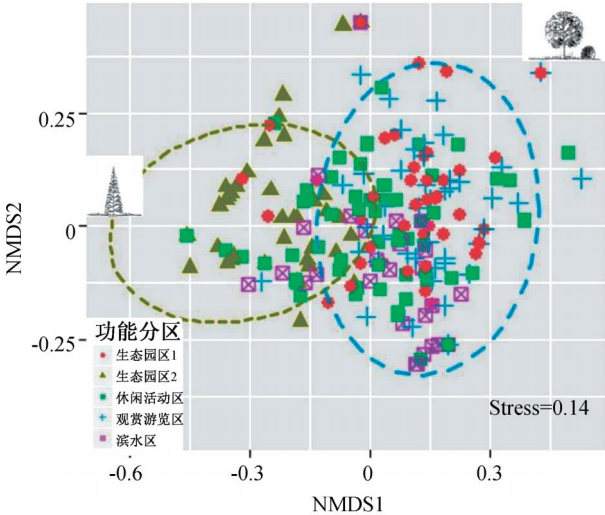


图6 不同功能区树形组成结构相似性分析

注:图中椭圆分别表明树形组成结构差异最大的生态园区 2 (短虚线)和观赏游览区(长虚线)的数值点分布(95%置信度)。

高。纺锤形和水平展开形的占比对各植被面的树形组成差异也具有一定的贡献。仅有生态园区 2 和观赏游览区的树形组成结构有着较为明显的差异。而其他功能区植被面符号的分布则相互重叠。由此可见,功能区植物景观差异并非由树形组成结构造成。Spearman 相关分析发现植被面的面积和其内部的树形组成结构之间不存在显著相关($r_{ho}=0.03, P=0.646$)。

表1 各植被面 NMDS 两轴得分与各树形个体数量之间的相关关系

NMDS 得分	圆球形	圆柱形	纺锤形	尖塔形	水平展开形	垂枝形	特殊形
NMDS1	0.55***	0.12*	-0.03	-0.92***	0.51***	0.20**	0.14*
NMDS2	0.71***	0.07	0.57***	-0.03	0.46***	0.11	0.14*

注:*, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$ 。

2.2.3 不同功能区的树形空间配置分析

由图1(b)的功能分区以及图2的优化热点分析结果可以发现:生态园区1内各树形均不存在热点区域;生态园区2内圆柱形、尖塔形和特殊形存在热点区域,且位置重叠。上述功能区中的树形空间分布说明在近自然植物景观的设计中多利用树木丰富的天然形态来构建景观,较少使用人工造型植物。圆球形、圆柱形、水平展开形、尖塔形和垂枝形在观赏游览区内应用较集中。圆球形、尖塔形和垂枝形在休闲活动区和滨水区内应用较集中。在游人活动频繁的区域中,大量应用圆球形、圆柱形这类人工修剪的对称树形,可以起到了柔和景观,活跃气氛的景观作用,也点明了这些区域游览体验的功能特点。

树形组合的优化热点分析结果则表明,圆球形和其他树形的组合配置,除了两个生态园区外,在其他功能区均有热点分布。纺锤形和其他树形的组合,重点配置在观赏游览区和休闲活动区。尖塔形和纺锤形组合在两个生态园区中的配置特点截然相反,生态园区1表现为冷点区域,生态园区2却表现为热点区域。生态园区1的近自然设计没有表现出对某一种特定树形组合的配置偏好,而生态园区2中的水杉林则是强调了尖塔形以及类似的纺锤形的植物的应用。和单一树形空间配置的规律类似,树形组合的空间配置规律也表现出近自然植被中的树形组合配置模仿了天然植被的树形组合,并不强调具有特定景观效果的树形组合;而游人活动频繁的区域,人工整型的灌木则被大量应用,和其他高大的自然树形植物进行组合。

3 结 语

3.1 结 论

本文对曲院风荷公园的树形配置进行了研究,通过定量化景观空间分析来探讨城市公园树形配置的基本格局与规律,得到了以下结论:

a)乔木在树形的丰富度和栽种规模上要多于灌木,一般以尖塔形和圆球形乔木最为常见;灌木相对单一,一般以圆球形灌木和其他乔木进行组合。不同树形在公园中的空间分布存在明显差异,应用广泛的树形(如圆球形和尖塔形)表现出特有的空间聚集性,罕见的树形在空间上的分布则相对均匀。

b)在园林树形组合中,圆球形与其他树形的组合搭配应用最为广泛。树形组合在公园中也存在明显的空间分布差异,树形组合在不同功能区中具有各自的空间配置特点。

c)各功能区树形组成结构之间差异性较小,仅生态园区2和观赏游览区之间存在明显区别,说明树形组成结构对功能区的景观区分并没有太大的贡献,各区域的景观差异主要受树形的栽种规模和空间聚集性的影响。

d)树形组成结构并不受其种植场地面积的影响,随着植被面面积的增大,树形的组成并不会发生规律性的变化;在实际调查中发现,植被面中的树形组合搭配往往是决定各树形组成比例和栽种密度的主要因素。

3.2 建 议

基于以上结论,本文对基于树形的植物景观设计提出以下建议:

a)在园林景观中,突出树形的观赏效果主要通过大型乔木营造;除了一些人工修剪的特殊冠形,灌木树种配置较少考虑树形差异,更多考虑灌木色彩、季相变化、群植形式等的景观效果。

b)在树形组合设计中,圆球形是最基本,也是应用最广泛的树形,一般可与各种棱角明显,但具有一定对称性的树形,乃至建筑、山石等其他景观要素进行组合搭配。

c)功能空间主要通过树形的空间配置来区分,而通过非种植规模和数量比例来区分。

d)树形组合设计不受独立种植场地面积大小的影响,而是受到场地具体功能的限制。

3.3 展 望

景观信息模型(LIM)衍生自建筑信息模型(BIM)技术,正逐渐成为风景园林行业迈向信息化的主要手段^[18-19]。其中园林景观的数字化和参数化是构建LIM的前置技术^[20]。通过植物形态GIS数据库对园林植物景观构成进行量化分析,是LIM应用于景观格局分析的一种空间分析可视化形式^[21],不仅为园林景观中树形设计的合理配置提供了科学依据,也为其他植物观赏要素配置规律的研究提供案例借鉴。

未来对于园林植物树形的研究还可以从其他角度深入探讨,例如植物树形和其他景观要素之间的组合形式、树形在垂直结构上的组合规律、镶嵌格局,以及树形与其他观赏属性,如和色彩、质地之间的景观互作效应等。同时,需要注意的是植物树形在不同发育阶段会发生一定变化,景观设计师在进行树形设计时需要预估植物成年个体的树形特征,而非仅考虑施工阶段的植物树形。尽管树形只是树木的一种基本观赏属性,但是通过这种针对植物单

一属性分别进行独立分析的方法,可以有效地解析园林植物景观中不同观赏属性的景观作用;利用这种定量分析方法进一步对多种植物观赏和生态特征进行综合分析,并与景观美学与生态价值评价分析相结合^[22],进而辅助景观设计师营造更为美观和谐的公园景观空间,也为风景园林设计理论的发展提供了一个不同的视野和角度。

参考文献:

[1] 毛春英,李和滨,徐斌,等. 园林植物造景刍议[J]. 北方园艺, 2007(2): 72-74.

[2] 陈黄春. 植物景观在城市空间中的艺术语言[D]. 南京: 南京林业大学, 2009: 35-39.

[3] 李树华. 园林种植设计学: 理论篇[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 8-10.

[4] 陈仲茁,葛结林,赵常明,等.中国东部3个地带性森林的叶片功能属性及其关联[J]. 植物科学学报, 2020, 38(3): 347-359.

[5] 王瑞丽,于贵瑞,何念鹏,等. 中国森林叶片功能属性的纬度格局及其影响因素[J]. 地理学报, 2015, 70(11): 1735-1746.

[6] 俞楠欣,王丽娴,黄均华,等. 植物叶形在杭州曲院风荷植物造景中的应用[J]. 浙江园林, 2018(2): 55-58.

[7] 苏扬. 曲院风荷公园景观营造研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 54-60.

[8] 蔡建国,钱黎君,赵然,等. 杭州曲院风荷特色景点植物造景分析[J]. 科技通报, 2013, 29(11): 199-204.

[9] 赵可新,何加宜,唐宇力. 地被植物在传统景点改造中的地位 and 作用: 以杭州曲院风荷公园为例[J]. 中国园林, 2006(11): 63-67.

[10] 马娉婷. 低碳园林植物景观研究: 以杭州西湖风景名胜胜区为例[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011: 180-184.

[11] 国家城市建设总局. 杭州园林植物配置[Z]. 北京: 城市建设杂志社, 1981: 6-10.

[12] 苏雪痕. 植物造景[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994: 20-22.

[13] 程飞彪,朱琳,黄均华,等. 杭州曲院风荷公园园林树木形态组合研究[J]. 浙江理工大学学报(社会科学版), 2018, 40(4): 55-64.

[14] Chaves P P, Zuquim G, Ruokolainen K, et al. Mapping floristic patterns of trees in Peruvian Amazonia using remote sensing and machine learning [J]. Remote Sensing, 2020, 12(9): 1523.

[15] 余世孝. 非度量多维测度及其在群落分类中的应用[J]. 植物生态学报, 1995, 19(2): 128-136.

[16] 王钊,杨山,王玉娟,等. 基于最小阻力模型的城市空间扩展冷热点格局分析: 以苏锡常地区为例[J]. 经济地理, 2016, 36(3): 57-64.

[17] 北京市园林绿化局. 公园设计规范: GB 51192—2016 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016: 13-16, 59.

[18] 刘颂,章舒雯. 数字景观技术研究进展: 国际数字景观大会发展概述[J]. 中国园林, 2015, 31(2): 45-50.

[19] 赖文波,杜春兰,贾铠针,等. 景观信息模型(LIM)框架构建研究: 以重庆大学B校区三角地改造为例[J]. 中国园林, 2015, 31(7): 26-30.

[20] 舒斌龙,王忠杰,王兆辰,等. 风景园林信息模型(LIM)技术实践探究与应用实证[J]. 中国园林, 2020, 36(9): 23-28.

[21] Tanhuanpaa P, Yu X W, Luoma V, et al. Effect of canopy structure on the performance of tree mapping methods in urban parks[J]. Urban Forest & Urban Greening, 2019, 44: 126411.

[22] Tran T J, Helmus M R, Behm J E, et al. Green infrastructure space and traits (GIST) model: Integrating green infrastructure spatial placement and plant traits to maximize multifunctionality[J]. Urban Forest & Urban Greening, 2020, 49: 126635.

(责任编辑:康 锋)