

声景观边缘效应对福州西湖公园 声景观评价的影响

张 薇, 洪昕晨, 段 芮, 郑艺琦, 林洲瑜, 兰思仁

(福建农林大学园林学院, 福建福州 350002)

摘要: 基于声景生态学, 研究城市公园声景观边缘效应, 以福州西湖公园为研究对象, 采用实地调查法及语义差别法(Semantic Differential Method, SD), 进行城市公园边界内外两侧空间的声景观评价。结果表明: (1) 公园绿地边缘对声景观有优化作用, 大部分情况下, 声景观边缘效应在公园边缘外侧比内侧更明显, 该效应一定程度上会影响景观使用者的心理感知; (2) 公园不同质边缘的声景观边缘效应强度依次为: 地形>种植>水体>广场; (3) 受声景观边缘效应影响较大的项目包括: 噪声、气氛、美感、情绪、舒适度、愉悦度、吸引力。该研究将城市公园声景观评价由公园内部拓展到公园边缘及外部, 为城市公园声景观的规划和声景观边缘效应研究提供了重要参考。

关键词: 声景观边缘效应; 城市公园; 语义差别法(SD 法)

中图分类号: TU986.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2017)-06-0503-06

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2017.06.001

Influence of soundscape edge effect on soundscape evaluation of the West Lake Park in Fuzhou

ZHANG Wei, HONG Xin-chen, DUAN Rui, ZHENG Yi-qi, LIN Zhou-yu, LAN Si-ren

(College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: Based on soundscape ecology, this paper studies the edge effect of soundscape. Taking the West Lake Park in Fuzhou as an example, through site observation and measurement and using Semantic Differential Method, the study conducts a landscape evaluation of inside and outside the urban park boundaries. The main conclusions are as follows: (1) The edge of parks has an optimization effect on the soundscape, and in most cases, the soundscape edge effect in the outer side of the park is more obvious than that in the inner side, and this effect affects the overall psychological feelings to some extent. (2) The intensity of the soundscape edge effect varies in different edge conditions, the intensity order is as follows: topography > plant community > water body > square. (3) The main factors affected by soundscape edge effect include noise, atmosphere, aesthetics, emotion, comfort, pleasure and attraction. In this paper, the soundscape evaluation of urban parks is extended from the interior to the edge and the exterior of the park, thus providing a theoretical basis for the further research, planning and design of the urban park soundscape.

Key words: soundscape edge effect; urban park; Semantic Differential Method

0 引 言

随着城市化进程日益加快, 噪声污染成为影响城市景观和市民健康的罪魁祸首之一。因此, 我们不仅需要治理噪声来减小其负面影响, 还需要积极创造舒适的声景观环境^[1-3]。声景观的研究将环境中的声音视为一种景观资源, 综合使用物理学、心理

学、社会学的研究方法, 强调人与声音、环境之间的关系, 以及人对声音的评价^[4-5]。

声景生态学是一门新兴交叉学科, 通过声景观与声生态的结合, 研究声音对人的物理影响、审美影响和人文影响^[6]。东南大学毛建西^[7]等从城市设计角度出发, 分析了声景观与生态学的联系。美国普渡大学的 BC Pijanowski^[8]等提出了声景生态学的内涵和框架, 认为声景观是需要管理的动态景观, 它是通过环境、生物以及人类互动所形成的。Szeremeta B^[9]等选取了巴西南部四个城市公园进行测量和访谈, 探讨了城市噪声污染与公园的关系, 特别指出公园边界会受到街道交通噪声影响。

声音具有相互干扰的特性, 因此, 不同景观斑

收稿日期: 2017-07-10; 修回日期: 2017-09-13

基金项目: 国家科技支撑计划(2014BAD15B00)、国家林业局森林公园工程技术研究中心开放课题(PTJH1500217)

作者简介: 张薇(1993—), 女, 辽宁辽阳人, 硕士研究生, 研究方向为风景园林规划设计。

通讯作者: 兰思仁, E-mail: lsr9636@163.com

块的边缘声景观会因互相干扰而与其内部有所不同，即本研究中提到的声景观边缘效应。目前国内对于声景观评价的研究主要集中在公园绿地内部^[10-11]，也有部分研究探讨了城市噪声对公园的影响^[12]，但城市公园边缘的声景观评价尚无人涉足。因此，本研究以声景生态学为基础理论，探究声景观边缘效应对声景观评价的影响。

目前声景观评价常用的方法有：排序法、评分法、成对比较法、语义差别法^[13]。其中，语义差别法是由美国心理学家 Charles Egerton Osgood 提出的，通过言语表达尺度来判定受访者心理感受的方法^[14]，现广泛应用于心理评判转化为量化数据^[15]，评价效果较好。

本文以西湖公园为例，采用实地调查法与 SD 法，对城市公园边界及其内外两侧空间进行景观评价。研究主要目的为：(1) 证实城市公园声景观具有边缘效应；(2) 探究城市公园声景观边缘效应对其景观评价的影响；(3) 分析公园的不同质地边缘对声景观边缘效应的作用。

1 研究对象与方法

1.1 研究区概况

西湖公园位于福州市区西北部，是福州迄今为止保留最完整的一座古典园林，也是福州最典型的城市公园之一，至今已有 1 700 多年历史，被誉为“福建园林明珠”。西湖公园现占地面积 42.51 公顷，其中陆地面积 12.21 公顷，水面面积 30.3 公顷，整个园区由仙桥柳色、大梦松声、古堞斜阳、水晶初月、荷亭唱晚、西禅晓钟、湖心春雨、澄澜曙莺等 8 个景点组成，园内景色宜人，游人如织。

随着时间的推移和历史的演变，西湖公园逐渐扩大用地范围。毗邻福建会馆、左海公园和海峡福州熊猫世界，环抱福建博物院，其充分利用得天独厚的区位条件和景质资源，为福州市民提供了一个绝佳的游憩空间，也逐渐成为独具特色的资源、休闲和娱乐中心。城市与公园形成“一衣带水、相辅相成”的空间综合体^[16]。

1.2 选取特征点

西湖公园环湖游步道贯穿全园，为研究公园声景观边缘效应提供了便利交通条件。结合实地调查情况，采用典型抽样方法，根据公园边缘声景观的不同特征，在公园边缘选取了 5 个特征点，公园平面图及特征点选点如图 1 和表 1 所示。

调研使用 AWA5680 声级计，以公园边缘特征

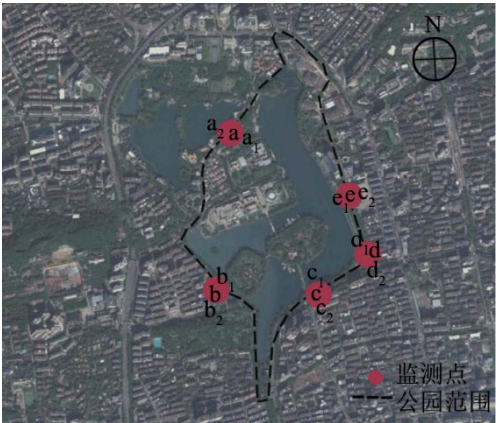


图 1 西湖公园平面图及特征点选点
Fig.1 The plane graph and soundscape feature points of the West Lake Park

表 1 特征点情况表
Table 1 Situations at the five feature points

序号	边界质地	外部环境	特点
a ₀	绿化带	左海公园	控制组。两个公园近似同质单元，声景观较好。
b ₀	湖水	湖滨小区	湖畔栈道比外部道路低 0.69 m，中间绿化带种植大乔木和草本植物。外部道路车流量小，噪声小。
c ₀	地形 (挡土墙+绿篱)	湖滨路	园内游步道比外部道路低，中间有 1.68 m 高的挡土墙和 0.76 m 高的绿篱。外部道路车流量大，噪声大。
d ₀	下沉广场	湖滨路路口	广场上有大量老年人进行游憩活动。外部路口有大量行人和车辆。
e ₀	植物群落	西湖宾馆	附近建筑工地有噪声，外部道路交通流量小。

点为原点，以公园边缘几何垂线为路径，在同一特征点区域进行声级测量。以 5 dB 声级变化为阈值，定位公园边缘内、外两个阈值点，用激光测距仪测量阈值点与特征点的直线距离并记录。如因水体、道路不便到达或其他实际情况造成测量范围受限的，则将公园、建筑群、城市道路分别视为同质单元，等比换算出 5 dB 变化对应的距离，以作直观参考。阈值点与特征点直线距离如表 2 所示。

表 2 中，a₁、b₁、c₁、d₁、e₁ 为边缘以内阈值点，a₂、b₂、c₂、d₂、e₂ 为边缘以外阈值点。可以看出：
 $a_0a_1 > d_0d_1 > d_0d_2 > a_0a_2 > c_0c_1 > e_0e_1 > b_0b_2 > b_0b_1 > e_0e_2 > c_0c_2$

大部分情况下， $p_0p_1 > p_0p_2$ (p=a, c, d, e)，说明在不同质地边缘，声级变化 5 dB 需要的距离不同。需要的距离越小，边缘声景观变化越明显，即声景观边缘效应越明显。由此可见，大部分特征点外侧声景观边缘效应比内侧更明显，说明公园内部声景观更近似，而公园外部和公园边缘声景观差别大。

表 2 阈值点与特征点直线距离表
Table 2 Straight distances between threshold points and corresponding feature points

特征点	特征点 声级/dB	阈值点	阈值点 声级/dB	测量距离 /m	换算距离 /m
a ₀	39	a ₁	39	52.22	∞
		a ₂	42	23.15	38.58
b ₀	45	b ₁	42	5.74	9.57
		b ₂	50	11.73	11.73
c ₀	47	c ₁	45	12.12	30.30
		c ₂	62	4.74	4.74
d ₀	53	d ₁	48	51.36	51.36
		d ₂	55	18.09	45.23
e ₀	44	e ₁	42	6.28	15.70
		e ₂	49	8.53	8.53

其中 a 组(包括特征点 a₀, 阈值点 a₁、a₂, 其余点组同理)两侧都是公园绿地, d 组是广场和路口交界, 质地类似, 所以换算距离大, 边缘效应不明显; c 和 e 组分别由于地形和植物群落, 有垂直向遮挡作用, 所以外侧边缘效应比内侧明显得多; b 组由于外界居住区比较安静, 且静止湖水对声景观的作用不强, 所以表现为内侧边缘效应更明显。

综上所述, 初步证明了城市公园声景观具有边缘效应, 且边缘质地不同则声景观边缘效应不同。对所选 5 组测量点分组逐一拍照并录音, 为之后的问卷设计做准备。

1.3 确定 SD 因子

在完成现场勘查和测量后, 参考景观、声生态学常用形容词^[14-15, 17-18], 根据西湖公园边缘的实际情况和景观特征, 从声景观和整体心理感受两个类别, 选取评价项目和能够描述的形容词, 这些形容词两两成对互为反义, 最后确定 12 对形容词, 构成本研究的 SD 因子表, 如表 3 所示。

测试的最佳方式是受测者实地体验并答卷, 但

表 3 公园声景观评价 SD 因子表
Table 3 SD factors of park landscape evaluation

序号	类别	评价项目	形容词对
1	声景观	自然声	自然的——人工的
2		游憩声	热闹的——冷清的
3		噪声	喧嚣的——安静的
4		丰富度	丰富的——简单的
5		协调性	协调的——不协调的
6		气氛	有气氛的——无气氛的
7	整体心理感受	生命力	有生命力的——无生命力的
8		美感	有美感的——无美感的
9		情绪	轻松的——紧张的
10		舒适度	舒适的——不舒适的
11		愉悦度	令人愉悦的——令人不快的
12		吸引力	有吸引力的——无吸引力的

由于本研究采用无声、有声进行对比, 故以播放照片和录音的形式进行测试^[18]。虽然对同样景观的感受和描述因人而异, 但由于本研究重点在于探究声景观边缘效应的存在和影响, 并不在于对不同社会特征人群的认知差异分析, 故发放代表性问卷。

2 结果与分析

2.1 问卷信度和效度

选择风景园林相关行业从业一年及以上者参加两组测试: 第一组只播放照片; 第二组同时播放对应的声音, 进行视听结合。两组测试均发放同一问卷, 使受测者在无声与有声条件下分别对场地作出评价。评定尺度定为 7 级, 以 0 为中点对称, 将非常符合、比较符合、稍微符合、一般分别赋值 3(-3), 2(-2), 1(-1), 0。问卷共发放 46 份, 回收 46 份, 有效 46 份, 回收率及有效问卷率均为 100%。

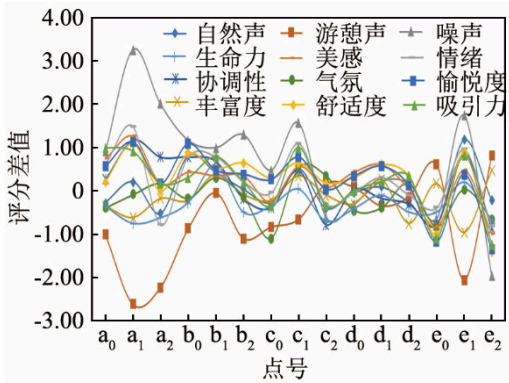


图 2 只看图片与视听结合两组评分差值
Fig.2 Score difference of the two tests: photographs only and photographs with recordings

由于两组测试回答同一问卷, 且每个特征点与其两个阈值点有极高相关性, 所以抽取 5 个特征点的视听结合评分进行信度效度检测。使用统计软件 SPSS19.0, 进行可靠性分析, 得出 Cronbach's Alpha 为 0.891, Cronbach's Alpha 是用于描述量表内部一致性的参数, 其>0.8 时说明数据信度高。然后进行 KMO 和 Bartlett 球形度检验, 得出 KMO 值为 0.713, Sig. 值为 0.000, 其中 KMO 是用于比较变量间简单相关系数和偏相关系数的指标, Sig. 是显著性指标, KMO>0.7 且 Sig.<0.05 时, 数据适合进行因子分析。最后进行因子分析, 提取出 2 个主成分, 其累计旋转平方和载入为 95.017%, 计算旋转成分矩阵, 得出每个点都仅在某一个主成分上载荷, 数值在 0.825~0.990 之间, 说明问卷中每个测点都是有效度的^[19-20]。

2.2 问卷结果分析

2.2.1 只看图片与视听结合的测试结果差异分析

问卷统计结果表明,只看图片与视听结合两组评分有明显差异,其中差异最大者为游憩声、噪声。进一步分析两组评分的差异性与相关性,计算平均差与 Spearman 相关系数并按升序排序,如表 4 所示^[21]。其中, Spearman 相关系数又称秩相关(Rank Correlation),描述两个变量之间联系的强弱,适用于没有直接关系、不服从正态分布或总体分布类型未知的资料。

表 4 两组评分的平均差与 Spearman 相关系数
Table 4 Average deviation and spearman's correlation coefficient of the two tests

评价项目	平均差	Spearman 相关系数
噪声	1.156	0.436
游憩声	0.900	0.333
舒适度	0.600	0.765**
愉悦度	0.591	0.675**
吸引力	0.585	0.832**
情绪	0.581	0.630*
协调性	0.570	0.532*
美感	0.508	0.870**
生命力	0.432	0.823**
自然声	0.403	0.910**
气氛	0.383	0.871**
丰富度	0.358	0.525*

注: * 在置信度(双侧)为 0.05 时,相关性是显著的。

** 在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

由表 4 可见,噪声、游憩声相关性不显著。通过访谈发现,大部分受测者在第一组只看图片的测试中,会对声景观有意识或无意识地想象和预判,当这种预判与第二组测试中听到的实际声音差异越大时,评分也就差异越大。城市公园的主要视觉景观和基调音都是自然化的,人对城市公园的预判也是自然化的,因此以说话声为主的游憩声和以交通声为主的噪声对于环境和预判来说都是异质性的,很容易引起人的注意,导致两组评分差异大,相关性不显著。

对于相关性显著的评价项目,平均差越小代表两组评分越接近,其降序排序为:舒适度>愉悦度>吸引力>情绪>协调性>美感>生命力>自然声>气氛>丰富度。噪声与游憩声,可能成为与公园视觉景观不协调的因子,影响部分受测者对公园安静环境的需求,造成整体心理感受评价差异大,如舒适度、愉悦度、吸引力、情绪、美感五个项目。而西湖公园中的鸟鸣声易于被人捕捉,以其为代表的自然声在环境和预判中表现为一致,故评分差异小。气氛

与丰富度两个项目的判断标准因人而异,游憩声、自然声等各类声音均可能成为增强公园气氛、提高声景观丰富度的因子,故评分变动不大。

2.2.2 五组测量点的测试结果差异分析

将五组测量点分别进行评分对比,如图 3 所示。可见总体趋势为:组内评分整体走势相同,且分数由公园外到公园内依次升高,说明公园绿地边缘对声景观有优化作用。部分测量组在声景观评分差异不大的情况下,整体心理感受差异比较大,可能是由于除声景观外的视觉及其他因素对人的心理感受产生了影响,或整体心理感受的变化较声景观变化更为敏感。按组分析发现:

a 组作为对照组,三个测量点的评分最为接近,其中 a_1 、 a_2 因为分别在两个公园内,所以评分较高,而 a 因为在两个公园交界,人流量更大,扰动因子更多,反而评分低一些。

b 组评分整体趋势 $b_1 > b_0 > b_2$,虽然声级测量结果显示,b 组由于外界比较安静且平静湖面声景观不明显,而主要表现为内部空间受外部噪声影响,而非公园声景观边缘优化效应;但评分结果显示出了优化效应,说明人对声景观的评价也会受视觉等其他因素影响。平静湖面声景观不明显,但可以给予人视觉和心理上的平和感,所以对声景观评价有积极作用。

c 组中 c_1 评分远远高于 c_0 、 c_2 ,是因为边缘有一人高的地形及绿篱,降噪效果非常好,边缘效应最为明显。

d 组中 d_0 、 d_1 评分接近,高于 d_2 ,由于下沉广场每一层都比较开阔,缺乏遮挡物,且游憩人数较多,唱歌聊天声音较大,所以公园边缘声景观优化效应并不明显。

e 组与 c 组趋势相仿,因边缘有植物群落,产生良好的降噪效果。

根据 5 个特征点的评分,得出公园的不同质边缘的声景观边缘效应强度排序:地形>种植>水体>广场。

按评价项目分析,各组中评分差异较大的项目,也就是受声景观边缘效应影响较大的项目,包括:噪声、气氛、美感、情绪、舒适度、愉悦度、吸引力,其中隶属于整体心理感受的项目远多于隶属于声景观的项目,说明公园边缘声景观的主要作用体现在降噪和改变环境气氛上,进而明显改善人的整体心理感受。相反地,受声景观边缘效应影响较小的项目有:自然声、游憩声、丰富度、协调性、生命力。

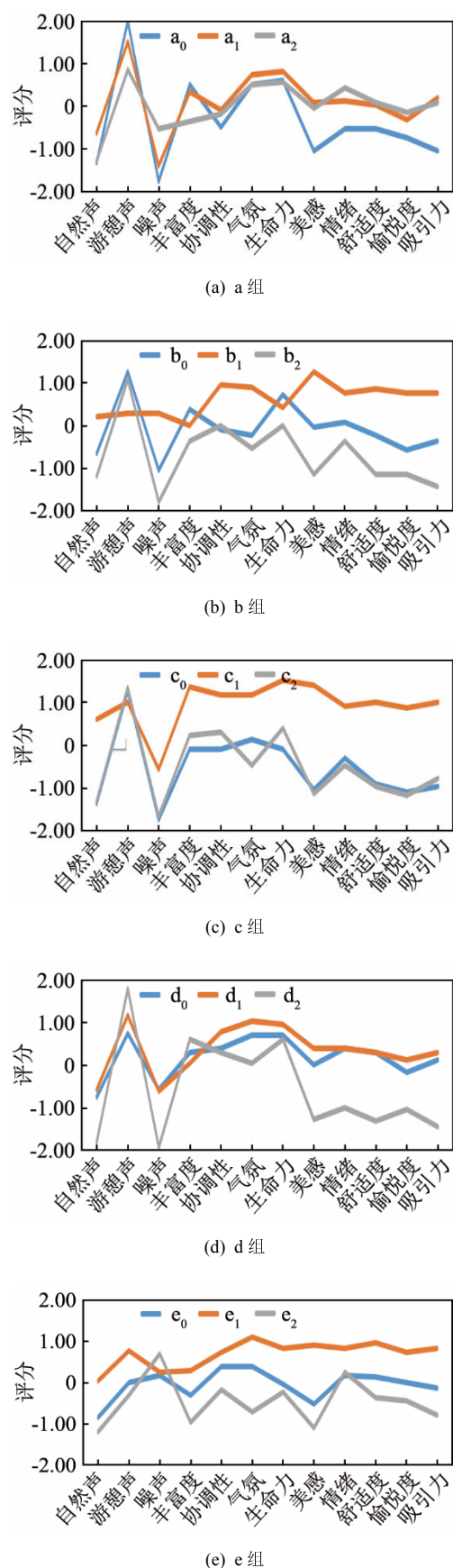


图3 5组测量点评分对比

Fig.3 Scores of the five groups of measuring points

3 结论与讨论

研究结论表明：(1) 大部分情况下，在公园边缘外侧声景观边缘效应比内侧更明显，公园内部声景观更稳定，而公园外部和公园边缘声景观相比差别更大，公园绿地边缘对声景观有优化作用；(2) 在无声和有声的测试对照中发现，评价受听觉影响最大的是噪声、游憩声，影响最小的是丰富度；(3) 受声景观边缘效应影响较大的项目有：噪声、气氛、美感、情绪、舒适度、愉悦度、吸引力；受声景观边缘效应影响较小的项目有：自然声、游憩声、丰富度、协调性、生命力。相比于声景观评价，声景观边缘效应对整体心理感受评价的影响更为显著，可能是由于除声景观外的视觉及其他因素对人的心理感受产生了影响，或整体心理感受的变化较声景观变化更为敏感；(4) 根据五个特征点的评分，得出公园的不同质边缘的声景观边缘效应强度排序：地形>种植>水体>广场。

本研究证明了声景观边缘效应的存在，这种声景观边缘效应扩大了公园声景观的影响范围，增强了其对改善城市声景观的作用。之前的对于城市绿地声景观评价往往只是在绿地内部，本文的研究方法，为今后科学和系统地研究城市公园声景观提供了参考依据，对改善城市景观乃至公众健康具有前瞻性意义。

参 考 文 献

- [1] 康健, 杨威. 城市公共开放空间中的声景[J]. 世界建筑, 2002(6): 76-79.
KANG Jian, YANG Wei. Soundscape in urban open public spaces[J]. World Architecture, 2002(6): 76-79.
- [2] Schulteortkamp B. Soundscape-focusing on resources[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2013, 133(5): 3505.
- [3] 秦佑国. 声景学的范畴[J]. 建筑学报, 2005(1): 45-46.
QIN Youguo. Category of soundscape[J]. Building Technology, 2005(1): 45-46.
- [4] Katherine N. Irvine, Patrick Devine Wright, Sarah R. Payne, et al. Green space, soundscape and urban sustainability: an interdisciplinary, empirical study[J]. Local Environment, 2009, 14(2): 155-172.
- [5] 张骏, 古风. 声生态学视角下的城市旅游声景观研究[J]. 生态经济, 2015, 31(3): 138-142.
ZHANG Jun, GU Feng. Research on acoustic landscape of urban tourism based on acoustic ecology[J]. Ecological Economy, 2015, 31(3): 138-142.
- [6] Truax B, Barrett G W. Soundscape in a context of acoustic and landscape ecology[J]. Landscape Ecology, 2011, 26(9): 1201-1207.
- [7] 毛建西, 王增欣. 基于声生态学的城市景观设计策略探讨[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(1): 94-96.
MAO Jianxi, WANG Zengxin. Urban landscape design strategy based on acoustic ecology[J]. Environmental Science & Technology, 2006, 29(1): 94-96.

- [8] Pijanowski B C, Farina A, Gage S H, et al. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science[J]. *Landscape Ecology*, 2011, **26**(9): 1213-1232.
- [9] Szeremeta B, Zannin P H T. Analysis and evaluation of soundscapes in public parks through interviews and measurement of noise[J]. *Science of the Total Environment*, 2009, **407**(24): 6143-6149.
- [10] 马蕙, 王丹丹. 城市公园声景观要素及其初步定量化分析[J]. *噪声与振动控制*, 2012, **32**(1): 81-85, 118.
MA Hui, WANG Dandan. Primary quantification of soundscape elements in urban parks[J]. *Noise and Vibration Control*, 2012, **32**(1): 81-85, 118.
- [11] 洪昕晨, 张薇, 陈凯, 等. 基于 F-AHP 法的城郊型森林公园声景观评价研究[J]. *林业调查规划*, 2016, **41**(6): 58-63.
HONG Xinchun, ZHANG Wei, CHEN Kai, et al. Soundscape evaluation of suburban forest park based on F-AHP[J]. *Forest Inventory and Planning*, 2016, **41**(6): 58-63.
- [12] 洪昕晨, 张薇, 朱里莹, 等. 城市公园声景观危险度评价研究[J]. *应用声学*, 2016, **35**(6): 539-546.
HONG Xinchun, ZHANG Wei, ZHU Liying, et al. Soundscape risk degree evaluation in urban park[J]. *Journal of Applied Acoustics*, 2016, **35**(6): 539-546.
- [13] 吴颖娇. 声景观评价方法和典型区域声景观研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
WU Yingjiao. Soundscape evaluation method and typical regional soundscape research[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.
- [14] 胡其魁. SD 法在园林景观评价中的应用[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会 2014 年学术年会. 中国观赏园艺研究进展(2014). 青岛: 中国林业出版社, 2014: 506-510.
HU Qikui. The applications of SD Method in the evaluation of landscape architecture[C]//2014 Annual Conference of China Horticulture Society Ornamental Horticulture Specialized Committee. *Advances in Ornamental Horticulture of China*(2014). Qingdao: China Forestry Publishing House, 2014: 506-510.
- [15] 矫明阳, 高凤, 郝培尧, 等. 基于 SD 法的城市带状公园植物景观评价研究[J]. *西北林学院学报*, 2013, **28**(5): 185-190.
JIAO Mingyang, GAO Feng, HAO Peiyao, et al. Evaluation of plant design of linear parks based on Semantic Differential Method[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, **28**(5): 185-190.
- [16] 何艳凤. 城市公园景观设计探析——以福州西湖为例[J]. *中国园艺文摘*, 2012, **28**(7): 90-91, 103.
HE Yanfeng. Urban park landscape design of Fuzhou West Lake[J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2012, **28**(7): 90-91, 103.
- [17] 王学值. 街心公园绿地空间声景观优化研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
WANG Xuezhi. The optimization study of the soundscape for the urban[D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.
- [18] 于苏建, 袁书琪. 基于 SD 法的公园景观综合感知研究——以福州市为例[J]. *旅游科学*, 2012, **26**(5): 85-94.
YU Sujian, Yuan Shuqi. A study on the integrated perception of park landscape based on SD Method: A case study of Fuzhou[J]. *Tourism Science*, 2012, **26**(5): 85-94.
- [19] 曾五一, 黄炳艺. 调查问卷的可信度和有效度分析[J]. *统计与信息论坛*, 2005, **20**(6): 11-15.
ZENG Wuyi, HUANG Bingyi. Analyses of the reliability and validity of questionnaire[J]. *Statistics & Information Forum*, 2005, **20**(6): 11-15.
- [20] 何守森. 儿童早期家庭养育环境量表编制及其信度效度研究[D]. 济南: 山东大学, 2008.
HE Shousen. Early child home nurture environment scales: development, reliability and validity[D]. Ji'nan: Shandong University, 2008.
- [21] 刘文竹, 王晓燕, 欧洋. 密云水库小流域不同尺度景观格局与水质的相关性分析[J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2013, **34**(6): 70-75.
LIU Wenzhu, WANG Xiaoyan, OU Yang. Correlation analysis between landscape pattern and water quality at local scale in the upper watershed of Miyun reservoir[J]. *Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition)*, 2013, **34**(6): 70-75.