

吴逸, 裴鸿菲, 罗心玥, 胡亚萍. 基于恢复性感知的城市滨水绿地景观要素对公众健康行为影响[J]. 风景园林, 2025, 32(3): 119-126.

基于恢复性感知的城市滨水绿地景观要素对公众健康行为影响

吴逸 裴鸿菲* 罗心玥 胡亚萍

摘要: 【目的】城市滨水绿地内部空间景观要素与健康行为之间的复杂关联亟待深入剖析, 恢复性感知作为自然环境中影响个体行为决策的关键因素, 为探究二者关系提供了新视角。【方法】以武汉市沙湖公园 93 个景观节点为研究对象, 结合计算机视觉技术、问卷调查和行为观测等方法, 深入探究滨水绿地景观要素、恢复性感知对公众健康行为(恢复、体力及社交活动)的影响。【结果】自然景观有助于提升公众的恢复性感知, 而高比例的人工要素则产生相反效果; 不同健康行为存在空间分布差异且显著影响要素各不相同; 恢复性感知与恢复活动、社交活动呈显著正相关。【结论】揭示了 3 类健康行为对节点景观要素的偏好差异, 并证实了恢复性感知对促进健康行为的积极作用。未来可通过强化自然景观建设、合理规划空间色彩及实施节点差异化设计等措施, 有效促进公众健康行为开展, 进而提升滨水绿地健康效益。

关键词: 风景园林; 城市蓝绿空间; 景观要素; 景观感知; 健康行为; 计算机视觉

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“基于蓝绿协同的城市湖泊公园景观绩效与优化调控研究——以武汉市为例”(编号 31770753); 中央高校基本科研业务费专项资助项目(编号 2662018PY087)

中图分类号: TU986

文章编号: 1673-1530(2025)03-0119-08

收稿日期: 2024-07-21

文献标识码: A

DOI: 10.3724/j.fjyl.202407210396

修回日期: 2024-12-30

文章亮点:

- 1、研究方法: 针对滨水绿地景观训练了一种基于 DeepLabv3+ 的图像语义分割模型, 并结合色彩量化方法, 实现对滨水绿地景观要素更精准、全面的量化分析。
- 2、研究内容: 创新性地从内部空间视角出发, 探索了滨水绿地节点景观要素与 3 类健康行为的关联关系, 有助于从“健康行为促进”角度优化绿地设计, 提升公众健康福祉。

健康是人类最基本的福祉和需求, 健康维护受多重复杂因素影响。《健康中国行动(2019—2030年)》指出, 个人行为与生活方式对健康的贡献高达 60%^[1], 凸显了健康行为, 即那些对个体健康产生直接或潜在影响的行为活动^[2] 在健康维护中的核心地位。城市蓝绿空间是由水域、湿地、绿地等开敞空间组成的复杂系统^[3], 不仅为城市提供广泛的生态系统服务, 还是公众亲近自然、开展户外活动的重要场所, 对缓解公众精神压力^[4]、降低疾病风险^[5] 及增强社会凝聚力^[6] 均具有积极作用。为此, 深入探究城市蓝绿空间对公众健康行为的影响, 对于提升公众健康水平具有深远意义。

既往研究已证实蓝绿空间多元复杂的景观要素与健康行为的密切联系: 在宏观层面, 集中探讨了蓝绿空间数量^[7]、密度^[8] 以及邻里环境^[9] 等要素对公众参与健康行为的频率和时长的影响, 揭示了蓝绿空间整体布局与健康行为之间的内在联系; 在微观层面, 通过对比不同公园或绿地, 探讨了公众对景观要素的行为偏好, 如老年人倾向于在配有水景和

运动设施的社区公园进行体力活动^[10], 青少年则偏爱在设休息设施和遮阴区域的公园进行社交活动^[11], 城市公园使用者健康行为与植物多样性呈显著正相关^[12]。然而, 当前研究多侧重于对蓝绿空间整体的对比, 对内部空间(即景观节点)的异质性探讨尚显不足。这主要归因于景观节点要素客观量化难度大, 现有方法多依赖主观问卷数据^[4, 13]。近年来, 随着计算机视觉技术的发展, 语义分割^[14]、色彩量化^[15] 等技术大量出现, 实现了对空间环境的量化分析, 为深入研究景观要素与健康行为的关系提供了有力支撑。

同时, 个体行为决策不仅取决于客观环境, 还受个体感知的深刻影响。景观感知代表个体对环境的主观感受和心理评估, 是指导个体行为决策的重要因素^[16]。恢复性感知作为景观感知的特殊类型, 反映了自然环境帮助个体从消极情绪中恢复以及转向积极情绪的渐进过程^[17], 包含远离性、魅力性、延展性和兼容性 4 个维度, 为全面量化自然环境中的景观感知提供了新视角, 并广泛应用于城市公园^[12, 17]、郊野森林^[18]、自然风景区^[19] 等蓝

绿空间的研究中。已有研究证实, 景观环境可通过提高游人的恢复性感知水平, 对其行为意向产生积极影响^[18-19]。因此, 引入恢复性感知视角有助于更全面地理解蓝绿空间景观要素与健康行为之间的复杂联系。

综上所述, 城市蓝绿空间内部景观要素与公众健康行为的关联关系仍有待深入探索。城市滨水绿地, 作为城市中与水体相接的典型蓝绿交融空间, 具有独特的吸引力和健康促进潜力^[20]。为此, 本研究聚焦这一典型蓝绿空间, 以武汉市沙湖公园 93 个景观节点为研究对象, 采用计算机视觉技术、问卷调查和行为观测等方法, 尝试回答以下问题: 1) 城市滨水绿地内部空间景观要素如何影响公众的恢复性感知及健康行为? 2) 城市滨水绿地中公众恢复性感知与健康行为之间是否存在相关性? 3) 恢复性感知是否在景观要素对健康行为的影响中发挥了中介作用?

1 研究基础

1.1 景观要素选取

视觉信息具有直观性与易感知性, 视觉

表1 城市滨水绿地景观要素分解

Tab. 1 Decomposition of landscape elements in urban waterfront green space

类型	序号	景观要素	定义/计算方法	量化方法
空间	K1	天空开敞度	天空在图像中所占比例	语义分割
	K2	空间围合度	垂直要素(陆生植被、园内建筑、栏杆)在图像中所占比例	语义分割
	K3	视觉复杂度	图像内容复杂程度	MATLAB
自然	Z1	绿视率	绿色植被(草坪、陆生植被、水生植被)在图像中所占比例	语义分割
	Z2	陆生植被比例	陆生植被在图像中所占比例	语义分割
	Z3	植被层次	单层型(草、灌、乔)=0; 双层型(乔-草、乔-灌、灌-草)=1; 三层型(乔-灌-草)=2	赋值统计
	Z4	花卉景观	无=0; 有=1	赋值统计
	Z5	土壤裸露程度	较低=0; 一般=1; 较高=2	赋值统计
人工	R1	城市背景比例	城市背景在图像中所占比例	语义分割
	R2	园内建筑比例	园内建筑在图像中所占比例	语义分割
	R3	铺装比例	铺装比例在图像中所占比例	语义分割
	R4	铺装形式	无=0(铺装比例<3%); 砖石=1; 木质=2; 鹅卵石/碎石=3; 塑胶=4	赋值统计
	R5	景观小品比例	景观小品在图像中所占比例	语义分割
	R6	干扰因素比例	景观视野内具有干扰效果的因素(垃圾桶、指示牌、路灯、车辆、杂物)所占比例	语义分割
滨水	B1	蓝视率	水体在图像中所占比例	语义分割
	B2	水体质量	无水体=0; 清澈=1; 浑浊=2	赋值统计
	B3	水生植被比例	水生植被在图像中所占比例	语义分割
	B4	驳岸形态	无驳岸=0; 人工垂直型驳岸=1; 自然生态型驳岸=2	赋值统计
色彩	S1	色彩数量	图像中除黑、白、灰三色外, 像素量占比大于1%的色彩数量	色彩量化
	S2	色相指数	不同等级色相的像素量占比情况	色彩量化
	S3	饱和度指数	不同等级饱和度的像素量占比情况	色彩量化
	S4	明度指数	不同等级明度的像素量占比情况	色彩量化
	S5	主色相占比	主色相的像素量在图像中所占比例	色彩量化
	S6	色彩多样性指数	图像中色彩种类和数量的丰富程度	色彩量化
	S7	色彩均匀度指数	图像中色彩分布的均匀程度	色彩量化
实体	T1	标志物	天空=0; 水体=1; 植被=2; 建筑=3; 景观小品=4; 铺装=5	赋值统计

注: Z3、Z4、Z5、R4、B2、B4的赋值统计首先由参与实地勘察的3名风景园林专业研究生分别进行, 然后将统计结果汇总比较, 有差异的部分商讨确定; T1通过章节2.3问卷调查的方式进行统计, 选择人数最多的选项被视为最终结果。

表2 健康行为分类及定义

Tab. 2 Types and definitions of health behaviors

类别	定义	具体活动类型
恢复活动	为促进心理的恢复、减轻压力而进行的行为活动 ^[27]	拍照、赏景、休息、钓鱼、单人演奏、听广播、阅读
体力活动	由骨骼肌收缩引起的导致能量消耗的身体运动 ^[28]	健身、散步、跑步、打太极拳、骑自行车、遛狗、跳舞、打羽毛球、滑滑板
社交活动	人与人之间物质和情感的交流活动 ^[29]	亲子活动、交谈、团建游戏、野餐、露营、多人演奏、棋牌活动

接触是人与景观环境互动的核心方式, 占人体感知方式的75%~87%^[21], 对个体环境认知的形成至关重要。刘滨谊等将景观空间中吸引个体视觉注意的要素分为空间、色彩、实体、瞬息自然景象、植物、水体、质地七大

类别^[22]。本研究在此基础上, 综合近年来有关城市滨水绿地景观要素的相关研究^[17, 23-25], 从空间、自然、人工、滨水、色彩和实体6个类型(瞬息自然景象无法用图像记录, 予以删除)提取了26个景观要素(表1), 以全

面反映景观节点的物质环境。

1.2 健康行为分类

对健康行为进行分类有助于更深入理解不同类型健康行为对内部空间景观要素的偏好和需求。健康行为的发生通常基于3种核心假定机制^[26]: 1) 通过减少注意力疲劳和恢复压力以保持健康; 2) 通过促进体力活动以保持健康; 3) 通过促进社会互动、增强社会凝聚力以保持健康。基于3种机制, 滨水绿地中的健康行为可细分为恢复活动、体力活动及社交活动3类(表2)^[27-29]。

2 研究对象与方法

2.1 研究对象

沙湖为湖北省武汉市城区内环线中唯一的湖泊, 地处人口密集区, 人流量大。沙湖公园环湖而建, 总占地面积为377 hm², 其中水面面积为290 hm²。公园内拥有五大功能分区(图1), 各区主题和风格独特, 既有古色古香的历史人文景观, 又有创意新颖的现代艺术景观, 是武汉中心城区最具代表性的城市滨水绿地。本研究在全面勘察公园的基础上, 依照3项原则选择景观节点: 1) 已建成且具有一定流量; 2) 包含自然及人工景观要素; 3) 全天免费向公众开放。最终, 本研究共选择93个景观节点作为研究对象。

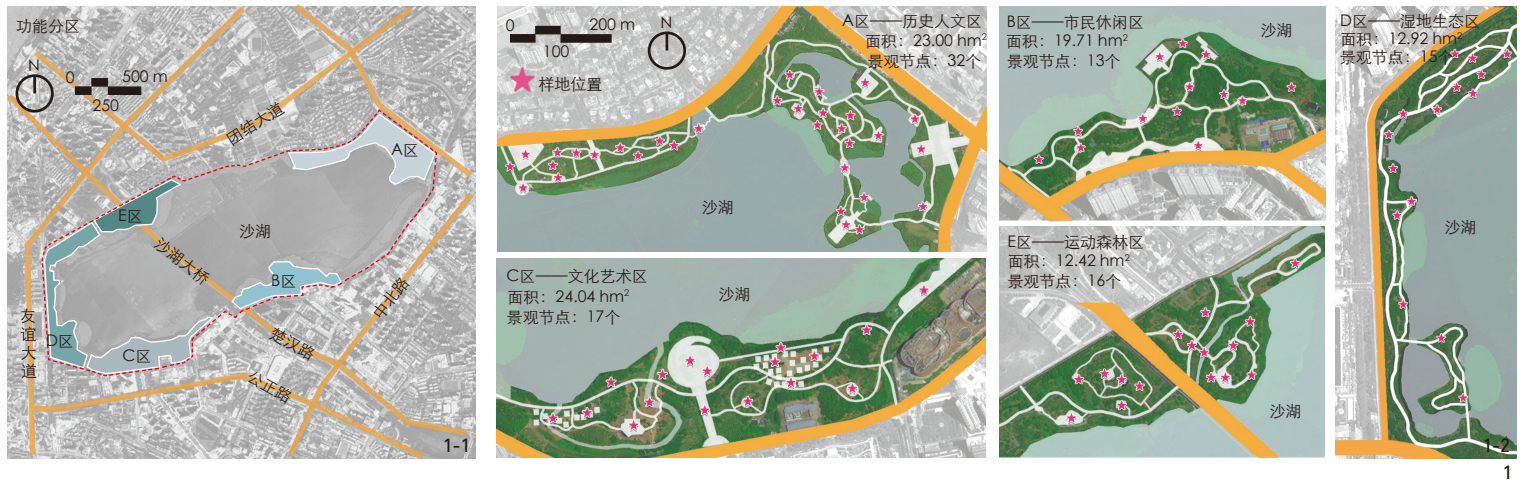
2.2 图像采集与处理

2.2.1 图像采集

选择2023年4月10—30日08:00—18:00的晴朗天气进行图像采集。拍摄及处理原则如下: 1) 由同一个拍摄者使用同一台Insta360 X3相机拍摄全景图, 相机离地高度为1.6 m, 拍摄角度为水平180°; 2) 尽量避免游人入镜; 3) 根据节点类型及面积制定统一的拍摄方式^①, 对于场地较大或含建筑的节点, 进行多张图像拍摄; 4) 所有图像统一裁剪为10 000×2 300像素大小; 5) 利用Adobe Photoshop进行偏色校正, 以减少天气、光线等原因造成的差异。本研究共采集全景图像166张。

2.2.2 图像语义分割

DeepLabv3+模型因具有“编码器-解码器”结构, 能够精准捕获图像中多尺度信息, 实现高效分割^[14], 尤其在城市景观方面表现出



色^[30]。但现有公开数据集主要针对街景,无法涵盖滨水绿地景观的复杂要素。为此,本研究专门训练了一种基于 DeepLabv3+的滨水绿地图像语义分割模型,具体操作过程分为3个步骤。1)选择90张含有代表性景观要素的图像,利用 Labelme 软件进行人工分类标注,将景观标签划分为12个类别(图2),构建专属数据集。2)在 DeepLabv3+框架下,将72张图像作为训练集,18张图像作为测试集,进行160轮训练。模型评估采用平均像素精度(mean pixel accuracy, MPA)和平均交并比(mean intersection over union, MIoU)作为评价指标。结果显示训练后的模型 MPA 为86.7%,MIoU 为76.4%,分割精度满足实验要求。3)利用训练后模型完成166张图像的语义分割。

2.2.3 色彩量化

HSV 色彩模式是一种基于人眼视觉特性的颜色模式,通过色相(hue, H)、饱和度(saturation, S)和亮度(value, V)3个属性来描述颜色。本研究采用 HSV 色彩模式来描述图像的色彩特征,根据非均匀色彩量化分级^[31]和黑白灰归一化^[15]的方法,将色彩分为147种(包含彩色144种和黑、白、灰3种)颜色,并在 MATLAB R2021b 平台上通过自拟程序设计实现对166张图像色彩要素的量化。

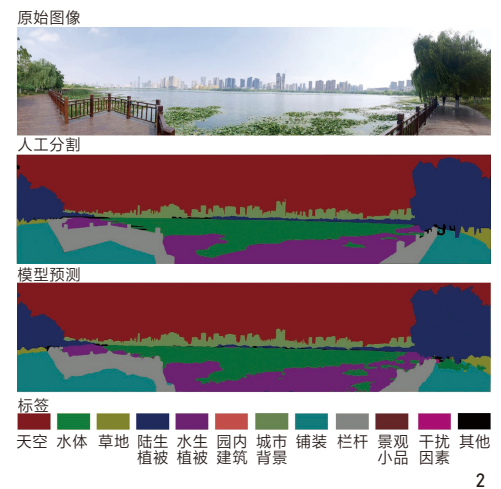
2.3 问卷调查与行为观测

问卷调查和行为观测同样于2023年4月10—30日进行,选择晴朗、温度适宜(18—

23℃)且空气质量优良的天气开展。1)问卷调查。本研究将166张图像随机分为5组,由6位实验人员在绿地的5个区域同步发放,问卷中每张图像附带4项恢复性感知问题^[32],采用7级李克特量表评分,共收集有效问卷248份,男女比例接近1:1,年龄平均值为41.5岁,问卷数量及人口统计学特征结果符合对效应量的要求^[33]。为消除个体感知差异,利用 z-score 方法对问卷数据进行标准化处理,每张节点图像获得45~50份评分数据,取平均值作为最终结果。2)行为观测。选择一个工作日和一个休息日在公园进行观测,时间段为08:00—12:00及14:00—18:00,每隔2h记录一次。6名受过培训的实验人员携带带有GPS定位的相机,对各节点内的公众健康行为进行拍摄、定位,每个节点共记录8次,最终观测到健康行为4771人次。为平衡场地规模对结果的干扰,采用健康行为密度(即节点内健康行为人次与节点面积之比)作为健康行为量化结果。

2.4 数据处理与分析

1)采用 min-max 方法对所有景观要素量化结果进行归一化处理。2)在 SPSS 26.0 平台上以26个景观要素为自变量,分别以恢复性感知和健康行为的量化结果为因变量建立多元逐步回归模型,筛选出显著相关的景观要素,并根据标准化回归系数(β 值)深入探讨景观要素对公众恢复性感知及健康行为的影响程度。3)利用皮尔逊相关性分析法检验恢复性感知4个维度和健康行为3种类



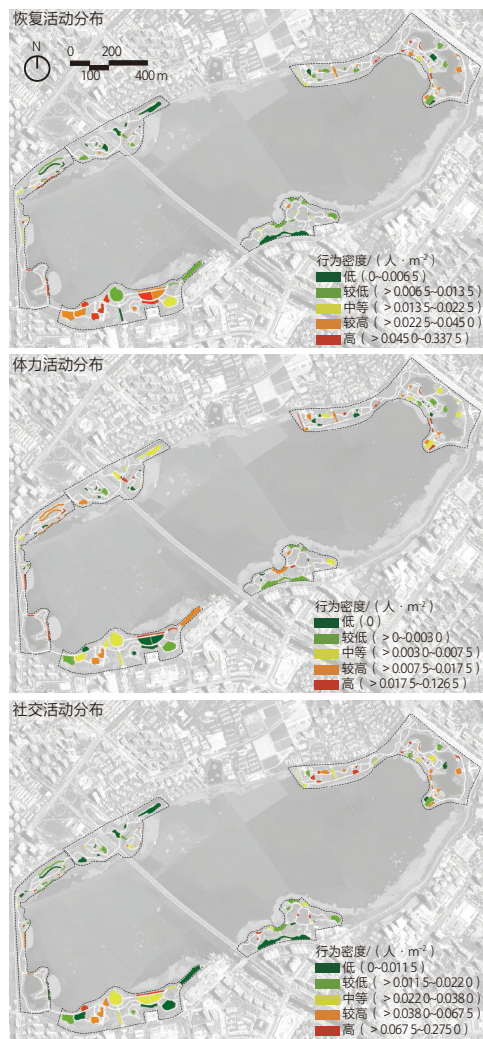
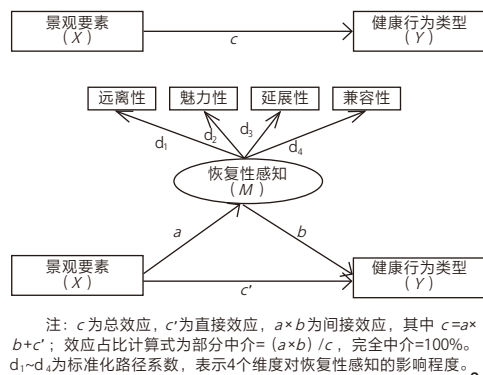
1 沙湖公园分区(1-1)及景观节点分布(1-2)
Distribution of zones (1-1) and landscape nodes (1-2) in Shahu Park
2 语义分割结果示例
Example of semantic segmentation results

型之间的相关关系。4)通过构建中介模型(图3),按照温忠麟等^[34]提出的中介效应分析流程,以筛选出的景观要素为自变量,恢复性感知为中介变量,分别检验二者对3种健康行为类型的影响。具体操作在 SPSS Amos 26 平台上采用 Bootstrap 法进行,重复抽样5000次,在95%置信区间进行自举分析,检验中介效应。

3 结果与分析

3.1 健康行为分布情况

本研究共观测到恢复活动1986人次、体力活动656人次和社交活动2129人次。通过等频划分法^②对3类行为进行量化、分级,



3 中介模型示例
 Example of intermediary model
 4 健康行为分布情况
 Distribution of health behaviors

绘制滨水绿地健康行为分布特征图(图4)。结果显示，恢复活动与社交活动参与人次远超体力活动，恢复活动多发生于滨水及花卉景观节点；体力活动集中于滨水线性空间，

表3 景观要素与恢复性感知的多元逐步回归分析

Tab. 3 Multiple stepwise regression analysis of landscape elements and restorative perception

感知维度	模型参数	景观要素	β 值	t 值	显著性	VIF
远离性	$R^2=0.348$ 、 调整后 $R^2=0.314$ 、 $F=10.455$	Z4 (有)	0.208	3.177	0.002	1.028
		Z5 (较高)	-0.162	-2.472	0.015	1.029
		R1	-0.236	-3.106	0.002	1.383
		R3	-0.240	-3.268	0.001	1.302
		B1	0.239	2.776	0.006	1.787
		B2 (清澈)	0.162	2.112	0.036	1.414
魅力性	$R^2=0.407$ 、 调整后 $R^2=0.373$ 、 $F=11.911$	S2	0.230	2.731	0.007	1.714
		S3	0.301	3.558	0.000	1.726
		Z4 (有)	0.266	4.126	0.000	1.095
		Z5 (较高)	-0.192	-3.072	0.003	1.029
		R1	-0.189	-2.662	0.009	1.327
		R3	-0.310	-4.335	0.000	1.348
延展性	$R^2=0.161$ 、 调整后 $R^2=0.146$ 、 $F=10.374$	R4 (木质)	0.145	2.229	0.027	1.111
		S2	0.329	0.000	0.033	1.717
		S3	0.321	4.020	0.000	1.679
		S5	-0.150	-2.305	0.022	1.117
		T1 (植被)	-0.232	-3.373	0.001	1.242
		Z4 (有)	0.235	3.252	0.001	1.009
兼容性	$R^2=0.341$ 、 调整后 $R^2=0.303$ 、 $F=8.980$	Z5 (较高)	-0.191	-2.638	0.009	1.012
		R4	-0.299	-4.140	0.000	1.006
		Z4 (有)	0.218	3.305	0.001	1.029
		Z5 (较高)	-0.193	-2.914	0.004	1.037
		R1	-0.268	-3.512	0.001	1.379
		R3	-0.188	-2.430	0.016	1.425
兼容性	$R^2=0.341$ 、 调整后 $R^2=0.303$ 、 $F=8.980$	R4 (砖石)	0.163	2.080	0.039	1.452
		R4 (木质)	0.208	2.934	0.004	1.194
		B1	0.258	3.093	0.002	1.653
		S2	0.313	3.595	0.000	1.793
		S3	0.404	4.488	0.000	1.916

注：4个模型的残差分布均符合正态分布，且VIF值均小于5，F统计量的p值均小于0.001，表明模型不存在多重共线性且整体拟合效果显著。

尤其是木栈道；社交活动则在小型节点密集分布，而在大型广场与绿地的密度较低。综合比较发现，体力活动与其他2类活动存在显著的空间异质性。

3.2 景观要素对恢复性感知的影响

恢复性感知的多元逐步回归结果发现(表3)，共有12个景观要素显著影响公众恢复性感知。其中，花卉景观、土壤裸露程度及铺装比例对4个维度的恢复性感知均具有显著影响，表明场地中设置花卉植物能显著提升公众的恢复性感知，而土壤裸露度过高和铺装比例过大则对恢复性感知产生负向影响。此外，高监视率能显著提升远离及兼容性感知，清澈的水体对远离性产生积极影响，反映出公众偏好开阔且清澈的水面。城市背景比例对除延展性外的3个维度产生负

向影响，可能因为城市背景与园内建设风格的差异影响了视觉效果。色相指数和饱和度指数对远离性、魅力性、兼容性3个维度均产生正向影响，且 β 值相对较高，揭示出公众更偏爱色彩饱和度较高(色彩鲜艳)的场景。进一步分析色系占比显示^①，公众更偏爱绿色系(草地、绿色植被)占比高的场景，而对黄色系(裸露的土壤、灰色人工材质)和红色系(树干、木质或暖色人工材质)占比高的场景具有负向感知。

总体来看，人工要素占比对恢复性感知存在较明显负向影响。通过散点拟合图的进一步分析发现^②，当视野中的铺装比例大于10%，城市背景比例大于6%，人工要素比例大于30%时，对恢复性感知的负向影响开始变得显著。模型结果显示，延展性模型的 R^2

表4 景观要素与健康行为的多元逐步回归分析
Tab. 4 Multiple stepwise regression analysis of landscape elements and health behaviors

行为类型	模型参数	景观要素	β 值	t 值	显著性	VIF
恢复活动	$R^2=0.454$ 、 调整后 $R^2=0.426$ 、 $F=16.311$	K1	0.630	6.544	0.000	2.684
		K2	0.663	6.392	0.000	3.090
		K3	-0.170	-2.102	0.037	1.882
		Z4	0.236	3.961	0.000	1.020
		B1	0.365	5.004	0.000	1.530
		B2 (浑浊)	-0.148	-2.300	0.023	1.192
体力活动	$R^2=0.269$ 、 调整后 $R^2=0.256$ 、 $F=19.878$	R4 (塑胶)	0.136	2.026	0.044	1.005
		B1	0.315	4.049	0.000	1.339
		B2 (清澈)	0.273	3.481	0.001	1.333
社交活动	$R^2=0.261$ 、 调整后 $R^2=0.233$ 、 $F=9.355$	Z3 (三层型)	-0.227	-2.959	0.004	1.265
		Z4	0.161	2.266	0.025	1.084
		R1	-0.264	-3.606	0.000	1.153
		R2	0.189	2.603	0.010	1.134
		R5	-0.180	-2.383	0.018	1.222
		S6	0.241	3.263	0.001	1.174

注：3个模型的残差分布均符合正态分布，且VIF值均小于5，F统计量的p值均小于0.001，表明模型不存在多重共线性且整体拟合效果显著。

显著低于其他3个维度的模型，这可能是由于延展性感知更强调环境要素的和谐统一，单凭视觉景观要素占比难以全面解释其变化。

3.3 景观要素对健康行为的影响

健康行为的多元逐步回归分析结果表明（表4），共有14个景观要素对公众健康行为产生了显著影响。具体而言，恢复活动受到花卉景观、蓝视率、天空开敞度、空间围合度、饱和度指数和色彩多样性指数的正向影响，受到视觉复杂度和水体质量（浑浊）的负向影响。其中，天空开敞度（ $\beta=0.630$ ）和空间围合度（ $\beta=0.663$ ）对恢复活动的影响贡献度最大，这可能与滨水空间特性有关，例如水边环境通常设有栏杆等围合因素，离水越近视野也更为开阔。影响体力活动的主导景观要素为蓝视率（ $\beta=0.315$ ）、水体质量（清澈， $\beta=0.273$ ）、铺装形式（塑胶， $\beta=0.136$ ），三者均呈正向影响，凸显了滨水景观、塑胶场地对体力活动的积极作用。花卉景观、园内建筑比例、色彩多样性指数均对社交活动产生正向影响，反映出公众对色彩丰富性、自然与建筑景观的偏好。而植被层

次（三层型）、城市背景比例、景观小品比例则对社交活动产生负向影响，这可能是由于密集的植被及景观小品会阻挡视线或占据活动空间，而较高的城市背景比例可能意味着空间离城市街道较近，产生的噪声和干扰可能会影响社交活动的舒适度。3个模型结果显示，恢复活动模型的 R^2 明显高于体力活动和社交活动，表明景观要素对恢复活动的直接解释程度更强，对体力活动和社交活动的解释力较弱。

3.4 恢复性感知的中介效应分析

恢复性感知与健康行为的相关性分析显示（表5），恢复活动、社交活动与恢复性感知的4个维度均呈现显著正相关（ $p<0.05$ ），意味着提升公众恢复性感知可促进这2类行为的发生。然而，体力活动与恢复性感知的关联性并不显著，这可能是由于体力活动更多受到设施条件、个人兴趣和身体状况的影响，而与环境的恢复性感知关系相对较小。

通过构建中介模型并运用Bootstrap法检验中介效应后发现（图5），3个模型路径的中介效应显著（ $a \times b$ 的95%置信区间不包含0）。其中，“蓝视率—恢复性感知—恢复活

表5 恢复性感知与健康行为的皮尔逊相关性分析
Tab. 5 Pearson correlation analysis of restorative perception and health behaviors

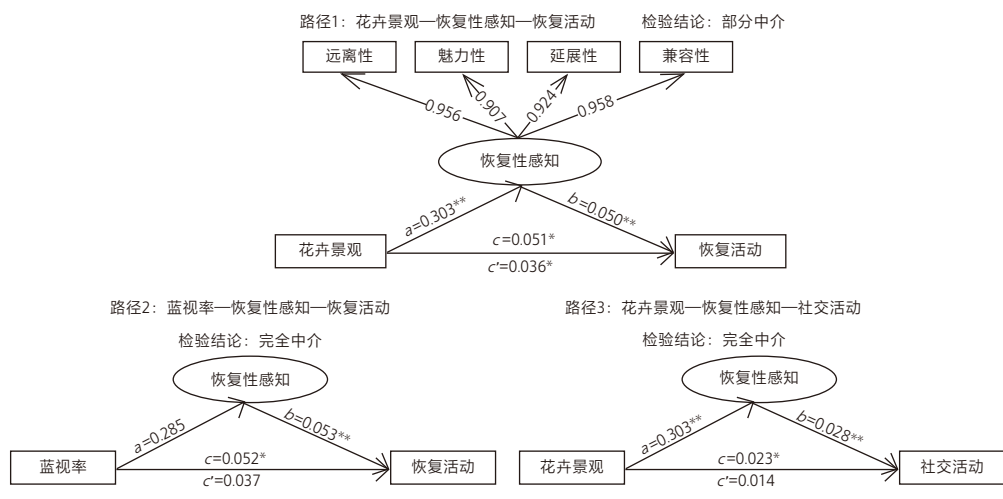
恢复性感知	恢复活动	体力活动	社交活动
远离性	0.363**	0.150	0.263*
魅力性	0.452**	0.127	0.340**
延展性	0.362**	0.107	0.282**
兼容性	0.373**	0.099	0.368**

注：*、**分别表示在0.05、0.01水平上显著。

动”及“花卉景观—恢复性感知—社交活动”2个模型路径的直接效应均不显著（ $p>0.05$ ），间接效应表现为完全中介作用，即恢复性感知在其中起到完全中介作用；“花卉景观—恢复性感知—恢复活动”模型路径的直接效应和间接效应均显著（ $p<0.05$ ），说明恢复性感知起到部分中介作用，中介效应占比为29.41%。恢复性感知4个维度的路径均与图5路径1一致，4个维度对恢复性感知的贡献相近。

4 讨论

本研究从城市滨水绿地的内部空间角度出发，深入探讨了景观要素、公众恢复性感知与健康行为三者之间的复杂关系。结果表明，景观要素对公众恢复性感知及健康行为均具有显著且差异化的影响。具体而言，维护良好的自然景观及色彩鲜艳的绿色空间有助于提升公众恢复性感知，而高比例的人工要素则产生相反效果。这一发现与以往研究结果一致^[17, 23]。本研究通过针对性构建语义分割模型，明确了花卉景观、色彩饱和度、铺装比例等具体景观要素的类型及部分人工要素的影响阈值。同时，不同健康行为对节点呈现出显著的空间分布与景观要素偏好差异，如恢复活动偏好发生在视野开阔的水边、整体色彩丰富鲜艳的区域及含有花卉的景观空间；体力活动倾向发生于滨水线性空间和塑胶场地；而社交活动则偏好在发生于植被层次简单、色彩丰富、建筑比例协调的小型景观空间。这些发现揭示了不同健康行为对滨水绿地景观节点使用的空间异质性以及景观要素的特定需求，有效补充了以往主要关注滨水绿地整体偏好的研究。



注: 图中回归系数均为非标准化结果; *, **分别表示在0.05、0.01水平上显著。路径1间接效应为 $a \times b = 0.015^*$, 95%置信区间为[0.002, 0.029], 效应占比为29.41%; 路径2间接效应为 $a \times b = 0.015^{**}$, 95%置信区间为[0.004, 0.030], 效应占比为100%; 路径3间接效应为 $a \times b = 0.008^*$, 95%置信区间为[0.002, 0.018], 效应占比为100%。

5 恢复性感知中介效应检验
Test of the mediating effect of restorative perception

本研究进一步发现恢复性感知与恢复活动和社交活动呈现显著正相关, 并在特定景观要素(如蓝视率、花卉景观)与健康行为之间起到中介作用。然而, 对于体力活动而言, 恢复性感知的直接影响较弱, 这可能是由于体力活动更多地依赖于场地的特定功能属性, 如运动设施^[13]、体育场及慢行系统设置^[11]等。此外, 本研究通过对景观要素、恢复性感知及健康行为的两两分析发现, 某些景观要素虽不直接影响健康行为, 但可通过提升恢复性感知, 为健康行为的发生创造有利条件, 可作为影响健康行为的间接要素。

基于上述发现, 本研究从“健康行为促进”角度为城市滨水绿地的景观节点设计与改造提供3点建议。1) 强化自然景观建设, 避免过度的人工痕迹。设计时充分利用自然景观资源, 通过巧妙布局营造宜人环境。同时注重日常维护, 确保景观效果的持续性。适度融入硬质铺装与城市建筑等人工要素, 视觉占比控制在30%以下, 以实现景观的自然和谐。2) 合理规划空间色彩, 打造鲜艳多彩的景观。植物配置设计中引入色彩鲜艳的花卉与彩叶植物; 在景观小品及设施的设计上, 巧妙运用饱和度较高的色彩进行点缀, 使景观更加活泼生动。3) 实施节点差异化设计,

满足多样化需求。根据健康行为类型规划功能各异的活动场地, 并考虑分隔不同活动区域, 避免互相干扰, 实现空间功能的优化配置。例如, 在视野开阔的水边搭配色彩鲜艳的花卉景观以促进恢复活动; 在水边和塑胶场地增设健身设施, 满足公众体力活动需求; 在环境优美、色彩丰富的场地增加园林建筑以促进社交活动。

5 结论

本研究以武汉市沙湖公园为例, 通过采集和量化城市滨水绿地的93个景观节点的景观要素、恢复性感知和健康行为数据, 并运用统计分析方法, 深入探究了三者之间的内在联系。本研究明确了3类健康行为对节点景观要素的偏好差异, 并证实了恢复性感知对健康行为的促进作用, 为滨水绿地景观节点设计与优化提供了科学依据。然而, 作为横断面研究, 本研究仅揭示了特定状态下三者之间的关联性, 未能直接确立因果关系。尽管本研究指出了景观要素对健康行为的潜在影响, 但具体发生机制尚需深入探索。此外, 本研究侧重于量化景观节点的物质环境, 恢复性感知与健康行为的量化结果取自节点的平均值, 鉴于不同人群之间的感知和行为

偏好可能存在差异, 未来研究可从个体属性角度出发, 深入探讨不同人群“环境—感知—行为”三者之间的作用关系。

注释 (Notes):

- ① 不同类型空间采取不同拍摄方式。面状空间: 节点面积 $\leq 1000 \text{ m}^2$ (小型广场或绿地节点), 在距角落5~10 m处采集1张全景图; $1000 \text{ m}^2 < \text{节点面积} < 2000 \text{ m}^2$ (聚集性广场或大草坪), 在对角10~15 m处采集2张全景图; 节点面积 $\geq 2000 \text{ m}^2$ (长条形广场或绿地), 在对角10~15 m处及节点中央位置处采集3张全景图。线状空间: 节点长度 $\leq 100 \text{ m}$, 在节点两端10~15 m处采集全景2张图; 节点长度 $> 100 \text{ m}$, 在节点两端10~15 m处及节点中央位置采集3张全景图。建筑空间: 在包含建筑的节点采集2张全景图, 分别展示建筑外观和内部。
- ② 等频划分法: 将93个景观节点的统计数据从小到大依次排序, 然后平均分为5个等级, 排名1~18为低, 19~37为较低, 38~56为中等, 57~75为较高, 76~93为高。
- ③ 见本刊官网资源附件 (<http://www.lalavision.com/article/doi/10.3724/j.fjyl.202407210396>) 附录1不同色系与公众恢复性感知的皮尔逊相关性分析。
- ④ 见本刊官网资源附件 (<http://www.lalavision.com/article/doi/10.3724/j.fjyl.202407210396>) 附录2人工要素的散点拟合分析。

参考文献 (References):

- [1] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动 (2019—2030年) [EB/OL]. (2019-07-15) [2024-05-01]. https://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm. The Healthy China Action Promotion Committee. Healthy China Initiative (2019–2030) [EB/OL]. (2019-07-15) [2024-05-01]. https://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm.
- [2] MCEACHAN R, TAYLOR N, HARRISON R, et al. Meta-Analysis of the Reasoned Action Approach (RAA) to Understanding Health Behaviors [J]. *Annals of Behavioral Medicine*, 2016, 50 (4): 592–612.
- [3] 黄铎, 易芙蓉, 汪思哲, 等. 国土空间规划中蓝绿空间模式与指标体系研究 [J]. *城市规划*, 2022, 46 (1): 18–31. HUANG D, YI F R, WANG S Z, et al. Blue-Green Space Pattern and Indicator System in Territorial Planning [J]. *City Planning Review*, 2022, 46 (1): 18–31.
- [4] 袁青, 赵家璇, 冷红. 冬季住区绿地活动行为对老年人心理健康的影响研究 [J]. *中国园林*, 2022, 38 (3): 45–50. YUAN Q, ZHAO J X, LENG H. Research on the Impact of Green Space Activity Behavior in Winter Residential Districts on the Mental Health of the Elderly [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2022, 38(3): 45–50.
- [5] HANSON S, JONES A. Is There Evidence that Walking Groups Have Health Benefits? A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2015, 49 (11): 710–715.
- [6] MOLINA-GARCÍA J, MENESCARDI C, ESTEVAN I, et al. Associations Between Park and Playground Availability and Proximity and Children’s Physical Activity and Body Mass Index: The BEACH Study [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 19 (1): 250.

- [7] KLOMPMAKER J O, HOEK G, BLOEMSMA L D, et al. Associations of Combined Exposures to Surrounding Green, Air Pollution and Traffic Noise on Mental Health[J]. *Environment International*, 2019, 129: 525-537.
- [8] 黄邓楷, 刘焯, 周佩玲. 自发地理信息支持下建成环境与移动型体力活动相关性荟萃分析[J]. *风景园林*, 2024, 31(4): 12-20.
- [9] HUANG D K, LIU Y, ZHOU P L. Meta-Analysis on Associations Between the Built Environment and Mobile Physical Activity Using Volunteered Geographic Information[J]. *Landscape Architecture*, 2024, 31(4): 12-20.
- [9] 董雯, 朱逊, 赵晓龙. 社区绿道建成环境特征与体力活动强度关联性研究: 以深圳市为例[J]. *风景园林*, 2021, 28(12): 93-99.
- DONG W, ZHU X, ZHAO X L. Research on Correlation Between Built Environment Characteristics of Community Greenway and Intensity of Physical Activities: A Case Study of Shenzhen[J]. *Landscape Architecture*, 2021, 28(12): 93-99.
- [10] 翟宇佳, 黎东莹, 王德. 社区公园对老年使用者体力活动参与和情绪改善的促进作用: 以上海市15座社区公园为例[J]. *中国园林*, 2021, 37(5): 74-79.
- ZHAI Y J, LI D Y, WANG D. The Role of Urban Community Park in Promoting Seniors' Physical Activity and Positive Emotion: A Case Study of 15 Shanghai Community Parks[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2021, 37(5): 74-79.
- [11] RIVERA E, TIMPERIO A, LOH V H Y, et al. Critical Factors Influencing Adolescents' Active and Social Park Use: A Qualitative Study Using Walk-Along Interviews[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 58: 126948.
- [12] 刘滨谊, 常青, 张琳, 等. 城市公园绿地主客观植物多样性对居民健康行为的影响[J]. *中国园林*, 2024, 40(11): 6-14.
- LIU B Y, CHANG Q, ZHANG L, et al. The Influence of Measured and Perceived Biodiversity on Human Health Behavior in Urban Green Spaces[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2024, 40(11): 6-14.
- [13] VAN HECKE L, GHEKIERE A, VAN CAUWENBERG J, et al. Park Characteristics Preferred for Adolescent Park Visitation and Physical Activity: A Choice-Based Conjoint Analysis Using Manipulated Photographs[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 178: 144-155.
- [14] CHEN L C, PAPANDREOU G, KOKKINOS I, et al. DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2018, 40(4): 834-848.
- [15] 张喆. 基于公众响应评价的森林色彩特征及其影响研究: 以四川九寨沟秋季森林为例[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
- ZHANG Z. Public Response to Characteristics of Forest Color and Its Influence: A Case Study of Forest in Autumn of Jiuzhai Valley, Sichuan Province[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry Sciences, 2017.
- [16] DANIEL T C. Whither Scenic Beauty? Visual Landscape Quality Assessment in the 21st Century[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 54(1-4): 267-281.
- [17] JAHANI A, SAFFARIHA M. Aesthetic Preference and Mental Restoration Prediction in Urban Parks: An Application of Environmental Modeling Approach[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 54: 126775.
- [18] 郑涵青, 赖鹏程, 吴元晶, 等. 城市郊野公园景观旷奥视觉感知对游人行为意向的影响[J]. *风景园林*, 2023, 30(5): 83-90.
- ZHENG H Q, LAI P C, WU Y J, et al. Relationship Between Visual Perception of Landscape Kuang-Ao and Behavioral Intention of Tourists in Urban Country Parks[J]. *Landscape Architecture*, 2023, 30(5): 83-90.
- [19] 黄杰, 黄安民, 杨飞飞, 等. 旅游者恢复性环境感知与游后行为意向: 影响机制和边界条件[J]. *旅游学刊*, 2022, 37(2): 31-45.
- HUANG J, HUANG A M, YANG F F, et al. Tourists' Perceived Restorative Qualities and Post-Visit Behavioral Intention: The Mechanism and Boundary Condition[J]. *Tourism Tribune*, 2022, 37(2): 31-45.
- [20] WHITE M, SMITH A, HUMPHRYES K, et al. Blue Space: The Importance of Water for Preference, Affect, and Restorativeness Ratings of Natural and Built Scenes[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2010, 30(4): 482-493.
- [21] DANIEL T C, MEITNER M M. Representational Validity of Landscape Visualizations: The Effects of Graphical Realism on Perceived Scenic Beauty of Forest Vistas[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2001, 21(1): 61-72.
- [22] 刘滨谊, 范榕. 景观空间视觉吸引要素及其机制研究[J]. *中国园林*, 2013, 29(5): 5-10.
- LIU B Y, FAN R. Research on Visual Attraction Elements and Mechanism of Landscape Space[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2013, 29(5): 5-10.
- [23] 黎俊仪, 林盈芳, 董建文, 等. 语义分割技术下的城市滨水绿地美景度评价研究: 以福州西湖公园、左海公园为例[J]. *中国园林*, 2022, 38(10): 92-97.
- LI J Y, LIN Y F, DONG J W, et al. Landscape Evaluation on Urban Waterfront Under Semantic Segmentation Technology: Taking Xihu Park and Zuohai Park in Fuzhou as Examples[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2022, 38(10): 92-97.
- [24] LI X, WANG X R, JIANG X, et al. Prediction of Riverside Greenway Landscape Aesthetic Quality of Urban Canalized Rivers Using Environmental Modeling[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 367: 133066.
- [25] 江浩波, 宋孟坤, 肖扬. 滨水空间视觉景观舒适度评价研究: 以上海市“一江一河”为例[J]. *风景园林*, 2022, 29(10): 122-129.
- JIANG H B, SONG M K, XIAO Y. Research on Visual Landscape Comfort Evaluation of Waterfront Space: A Case Study of Huangpu River and Suzhou Creek in Shanghai[J]. *Landscape Architecture*, 2022, 29(10): 122-129.
- [26] WANG Y A, CHANG Q, FAN P L, et al. From Urban Greenspace to Health Behaviors: An Ecosystem Services-Mediated Perspective[J]. *Environmental Research*, 2022, 213: 113664.
- [27] 柴铁劬. 康复医学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008.
- CHAI T Q. Rehabilitation Medicine[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2008.
- [28] World Health Organization. Global Action Plan on Physical Activity 2018-2030: More Active People for a Healthier World[M]. Geneva: World Health Organization, 2018.
- [29] OKUN M A, STOCK W A, HARING M J, et al. The Social Activity/Subjective Well-Being Relation: A Quantitative Synthesis[J]. *Research on Aging*, 1984, 6(1): 45-65.
- [30] NAGATA S, NAKAYA T, HANIBUCHI T, et al. Objective Scoring of Streetscape Walkability Related to Leisure Walking: Statistical Modeling Approach with Semantic Segmentation of Google Street View Images[J]. *Health & Place*, 2020, 66: 102428.
- [31] 田玉敏, 林高全. 基于颜色特征的彩色图像检索方法[J]. *西安电子科技大学学报*, 2002, 29(1): 43-46.
- TIAN Y M, LIN G Q. Retrieval Technique of Color Image Based on Color Features[J]. *Journal of Xidian University*, 2002, 29(1): 43-46.
- [32] BERTO R. Exposure to Restorative Environments Helps Restore Attentional Capacity[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2005, 25(3): 249-259.
- [33] FAUL F, ERDFELDER E, LANG A G, et al. G*Power 3: A Flexible Statistical Power Analysis Program for the Social, Behavioral, and Biomedical Sciences[J]. *Behavior Research Methods*, 2007, 39(2): 175-191.
- [34] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. *心理科学进展*, 2014, 22(5): 731-745.
- WEN Z L, YE B J. Analyses of Mediating Effects: The Development of Methods and Models[J]. *Advances in Psychological Science*, 2014, 22(5): 731-745.

图表来源(Sources of Figures and Tables):

文中图表均由作者绘制, 其中图1、4的底图来自2023年高德卫星影像图, 图3计算方式参考文献[34]。

(编辑 / 刘玉霞)

作者简介:

吴逸 / 女 / 华中农业大学园艺林学学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计与理论

裴鸿菲 / 女 / 博士 / 华中农业大学园艺林学学院教授、博士生导师 / 农业农村部华中都市农业重点实验室成员 / 研究方向为风景园林规划设计与理论
通信作者邮箱: qihongfei@mail.hzau.edu.cn

罗心玥 / 女 / 华中农业大学园艺林学学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计与理论

胡亚萍 / 女 / 华中农业大学园艺林学学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计与理论

WU Y, QIU H F, LUO X Y, HU Y P. Impact of Urban Waterfront Green Space Landscape Elements on Public Health Behaviors Based on Restorative Perception[J]. Landscape Architecture, 2025, 32(3): 119-126. DOI: 10.3724/j.fjyl.202407210396.

Impact of Urban Waterfront Green Space Landscape Elements on Public Health Behaviors Based on Restorative Perception

WU Yi, QIU Hongfei*, LUO Xinyue, HU Yaping

Abstract:

[Objective] Urban waterfront green spaces, as a typical representative of urban blue-green spaces, can serve as an important venue for the public to engage in various outdoor health-related activities. Although previous research has confirmed the close relationship between the diverse and complex landscape elements of waterfront green spaces and health behaviors, which mainly focuses on comparisons between overall waterfront green spaces, while seldom considering how landscape elements within these green spaces affect health behaviors. Meanwhile, restorative perception has been identified as a key factor influencing individual behavioral decisions in natural environments, which can provide a new perspective for exploring the relationship between the aforesaid landscape elements and health behaviors. Therefore, this research aims to delve into how landscape elements in urban waterfront green spaces influence public health behaviors from an internal spatial perspective, with restorative perception as a mediator.

[Methods] This research takes Wuhan Shahu Park as an example and selects 93 landscape nodes within the park as the research objects. Initially, a DeepLabv3+ semantic segmentation model tailored for landscapes in waterfront green spaces is developed through manual training. This is coupled with MATLAB-based color quantification and assignment statistical techniques to comprehensively and meticulously quantify landscape elements across six dimensions: Space, nature, artificiality, waterfront characteristic, color and entity. Subsequently, field surveys are conducted to gather public assessments of restorative perceptions (being away, fascination, extent and compatibility) at landscape nodes. Behavioral observations are also employed to document specific instances of public engagement in restorative, physical, and social activities within these sites. Ultimately, data analysis methods, including multiple regression analysis and mediation effect analysis, are applied to explore the interrelationships among landscape elements, restorative perceptions, and health behaviors.

[Results] Research findings are summarized as follows. 1) Natural landscapes significantly enhance the public's restorative perception, while a high proportion of artificial elements has the opposite effect. Specifically, flower landscapes, open and clear water bodies, and scenes with rich and bright colors or predominantly green hues can enhance positive perceptions. In contrast, bare soil, high proportions of paving/urban backgrounds, and scenes dominated by red/yellow hues have negative impacts. Especially when the proportion of pavement in the view exceeds 10%, that of the urban background exceeds 6%, and the total proportion of artificial elements exceeds 30%, the negative impacts are particularly evident. 2) Different types of health behaviors vary in spatial distribution and are significantly influenced by distinct elements. Restorative activities tend to occur in open waterfront spaces, and colorful and flower-filled landscapes; physical activities prefer linear waterfront spaces and rubberized surfaces; and social activities favor small landscape spaces with simple vegetation layers, rich colors, and harmonious building proportions. 3) Restorative perception plays a crucial role in promoting restorative and social activities, serving as a complete mediator in the relationships between "blue visibility and restorative activities", and between "flower landscapes and social activities", and as a partial mediator in the relationship between "flower

landscapes and restorative activities". However, for physical activities, the direct influence of restorative perception is relatively weak, possibly due to the greater dependence of physical activities on the specific functional attributes of activity sites.

[Conclusion] This research clarifies the preference differences among three types of health behaviors toward nodal landscape elements and confirms the promotive effect of restorative perceptions on health behaviors, providing a scientific basis for the design and optimization of landscape nodes in waterfront green spaces. To further augment the health benefits of waterfront green spaces, the following initiatives may be taken in the future. Firstly, prioritize the development of natural landscapes while minimizing artificial elements, and leverage natural features to create inviting environments while ensuring their regular maintenance; secondly, strategically plan spatial colors to foster vibrant and diverse landscapes, with a focus on color harmony; and thirdly, implement tailored designs for landscape nodes to cater to diverse needs and establish functional spaces based on health behavior types, for which specific measures include promoting restorative activities through the integration of vibrant floral displays in open waterfront areas, providing physical activity infrastructure along watersides and on rubberized surfaces to satisfy public exercise requirements, and augmenting architectural spaces in aesthetically pleasing colorful venues to facilitate social interactions. Future research is recommended to introduce the time dimension, explore the influence mechanism among environment, perception, and behavior, and attempt to investigate the differences among different population groups.

Keywords: landscape architecture; urban blue-green space; landscape element; landscape perception; health behavior; computer vision

Authors:

WU Yi is a master student in the College of Horticulture & Forestry Sciences of Huazhong Agricultural University. Her research focuses on landscape planning and design, and theory of landscape architecture.

QIU Hongfei, Ph.D, is a professor and doctoral supervisor in the College of Horticulture & Forestry Sciences of Huazhong Agricultural University, and a member of the Key Laboratory of Urban Agriculture in Central China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Her research focuses on landscape planning and design, and theory of landscape architecture.

Corresponding author Email: qihongfei@mail.hzau.edu.cn

LUO Xinyue is a master student in the College of Horticulture & Forestry Sciences of Huazhong Agricultural University. Her research focuses on landscape planning and design, and theory of landscape architecture.

HU Yaping is a master student in the College of Horticulture & Forestry Sciences of Huazhong Agricultural University. Her research focuses on landscape planning and design, and theory of landscape architecture.