DOI: 10.15986/j.1006-7930.2026.04.015

基于结构方程模型的城市绿道恢复性评价体系构建

许还幻[1,2], 杨建明[1], 韩　默[1]

(1. 北京理工大学 设计与艺术学院,北京 102488; 2. 北京电影学院 高等职业教育学院,北京 100091)

摘要: 为满足公众使用城市绿道的健康需求,解决城市绿道面临的"设计过度,资源闲置,体验不佳"等问题,文章采用文献研究和专家评估相结合的方法提出评价指标,并以成都天府绿道为对象开展实证研究,基于结构方程模型分析结果,构建了可供规划设计师使用的城市绿道恢复性评价体系,包括自然景观、设施配置、游憩体验、空间结构、环境感知和人文感知6个维度和39个具体的评价指标。研究表明:城市绿道的恢复性效应是多维度感知综合作用的结果;挖掘了城市绿道独有的恢复性效应评价指标,诸如城市绿道景观节点的连接性、游径系统的起伏变化性和遮荫程度、设施的配置度和维护状况等;定量分析了评价指标对恢复性效应影响程度,从而揭示了城市绿道环境质量对恢复性效应的内在影响机制。

关键词: 城市绿道; 恢复性效应; 结构方程模型; 评价体系

中图分类号: TU985.12　　**文献标志码**: A　　**文章编号**: 1006-7930(2026)04-0606-11

Developing a restorative evaluation system for urban greenways with structural equation modeling

XU Huanhuan[1,2], *YANG Jianming*[1], *HAN Mo*[1]

(1. School of Design and Arts, Beijing Institute of Technology, Beijing 102488, China;
2. Higher Vocational College, Beijing Film Academy, Beijing 100091, China)

Abstract: To address public health needs in using urban greenways and tackle issues such as "over-design, resource underutilization , and poor user experience," this study adopted a methodology integrating literature review and expert assessment to identify potential evaluation indicators. An empirical study was conducted focusing on the Chengdu Tianfu Greenway. Based on the results analyzed through Structural Equation Modeling (SEM), a restorative evaluation system applicable for planners and designers was constructed. This system comprises six dimensions—Natural Landscape, Facility Configuration, Recreational Experience, Spatial Structure, Environmental Perception, and Cultural Perception—and includes 39 specific evaluation indicators. The research indicates that the restorative effects of urban greenways are the result of the comprehensive interplay of multidimensional perceptions. It identifies unique indicators pertinent to evaluating restorative effects in urban greenways, such as connectivity of landscape nodes, variation and shading degree of trail systems, and the adequacy and maintenance status of facilities. Furthermore, the study quantitatively analyzes the extent of influence these evaluation indicators have on restorative effects, thereby elucidating the intrinsic influence mechanism through which the environmental quality of urban greenways impacts restorative effects.

Key words: urban greenway; restorative effects; structural equation modeling; evaluation system

城市化的快速进程,导致人们常出现压力过大、注意力下降等健康问题。为改善健康,人们选择更多地接触自然环境。城市绿道具有优美的自然环境和多种休闲服务设施,让其成为人们接近自然环境的最有效开放空间。然而,城市绿道的建设实施更突出以满足功能性为导向,导致目前很多绿道面临"设计过度,资源闲置,体验不佳"等种种问题。诸如大量节点驿站无人问津,科普文化设施使用率低,季节性景观作物和农作物在空置期变成荒地,运动监测设施使用率低,过多设施遮蔽视野……这些问题在绿道层出不穷,应该引起绿道建设单位的足够重视。事实上,作为一种公共活动空

收稿日期: 2025-10-27　　**修回日期**: 2026-05-29

基金项目: 国家自然科学基金(52378113)

第一作者: 许还幻(1978—),女,博士生,主要研究方向为设计历史及理论、影视、话剧表演。E-mail: xhh1002@sina.com

通信作者: 韩　默(1986—),女,博士,助理教授,硕士生导师,主要研究方向为蓝绿空间对健康与福祉的影响。E-mail:hanmo1828@163.com

间，以健康价值为导向进行城市绿道设计，更契合公众改善心理健康的实际需求，在提升绿道的使用体验的同时也能提高其利用率。

城市绿道的健康价值体现在绿道自然环境对个体的恢复效应上。由卡普兰夫妇最早提出的“恢复性环境”，即能使人更好地从心理疲劳和心理压力伴随的消极情绪中恢复的环境，解释了环境对个体的恢复效应[1]。随后，注意力恢复理论（Attention Restoration Theory）与压力恢复理论（Stress Recovery Theory）[2-3]陆续提出。注意力恢复理论认为，而当个体所处环境能够帮助个体远离令其疲惫的思维任务，又对个体具有一定的吸引力、包容度，使个体的思维沉浸在环境感受之中，消耗的注意力就能够得到一定程度的恢复[2]，而自然环境能够无意识地吸引人类的注意力，从而恢复定向注意力机能，改善人的心情和感知功能[4]，压力恢复理论则从情绪（包括偏好）和生理反应方面解释了自然减压的原理[5]。随着研究的深入，学者对自然环境对个体健康的有了深层次的发现：在对情绪健康的影响上，自然暴露可显著降低焦虑水平等负性情绪状态、促进积极情绪[6]，调节人体血压指数[7]、缓解心理压力水平[8]；对认知健康的影响主要表现在个人注意力的有效恢复以及工作记忆的显著改善[6,9]。总之，城市中的自然环境已被证明是应对城市不良健康状况的重要解决方案[10-11]，对增加人们的积极情绪[12]、释放焦虑与压力[13]、提高认知能力[14]、减少心血管及呼吸道疾病的发病率及死亡率具有积极作用[15]。然而，相较于其他类型绿地，对城市绿道的环境恢复效应研究相对较少，且缺乏环境对个体健康影响机制的深入研究[16]。

除了视觉环境外，城市绿道也面临声环境的困扰。城市绿道往往毗邻交通道路，交通噪声高达70 dB 以上，附属商业设施也存在一些噪声源如小吃摊的叫卖声、店铺的促销广播声等，以及绿道人群活动的脚步声、交谈声，这些都会影响使用者的游览体验。因此，营造积极谐的自然声景有助于提升成都绿道的游览体验，而且生物多样性丰富、自然元素丰富的声景在恢复性上更具有优势[17-18]，这也是现行绿道设计标准的空缺。在绿道恢复性研究中，现有研究多侧重单一维度的研究，缺乏多维度的评价体系，特别是现行绿道设计标准，更是缺乏声景指标。因此，开展基于多元主体对绿道环境与人的恢复性效果的综合评估研究非常有必要。

因此，为提升城市绿道的健康价值，本研究旨在提出城市绿道的恢复性评价指标，以成都天府绿道作为研究对象开展实证研究，从而建立城市绿道恢复性评价模型，研究不同评价指标的影响路径，定量分析各评价维度和评价指标的影响程度，从而构建可供设计师使用的城市绿道恢复性评价体系。

1　研究样本与研究方法

1.1　研究样本

1.1.1　研究样本概况

成都天府绿道是成都“公园城市”建设的核心载体，因其以超大规模网络、多元差异节点、完善设施支撑及公众高度参与的特点，适合作为研究对象。天府绿道总规划长度 2.4 万 km，已建成超 1.5 万 km 形成“一轴两翼三带多节点”空间格局。其景观节点呈现显著差异性与多样性，既有杜甫草堂、武侯祠等历史文化地标，也有湿地博览园、龙泉山城市阳台等生态景观区，更嵌入“熊猫主题驿站”“川西林盘示范点”“田园综合体”等特色节点，涵盖文化传承、生态保育、乡村振兴等多元主题，形成“一段一景、一景一韵”的差异化景观序列[19-20]。在设施配置上，构建了“三级驿站＋智慧化”服务体系，包括 50 个一级驿站、300 个二级驿站以及 1 000 余个三级驿站，形成全域覆盖。公众参与度也尤为突出，日均骑行量超 50 万人次、步行量超 200 万人次。

通过对天府绿道进行预调研，基于覆盖全域、涵盖典型类型、使用频率高的原则，选择绿道全域 4 个区段的 16 个典型景观节点作为实验场地，涵盖天府绿道景观节点的的四大核心类型：有以生态农田为主的蜀道通衡、拾趣园，也有自然景观为主的青龙湖湿地、白鹭湾湿地，还包括运动娱乐为主的桂溪公园、萌宠乐园，以及富有历史文化特色的凤求凰和茶马古道（见图 1），契合了天府绿道的多元主题特色。


蜀道通衡


拾趣园


青龙湖湿地


白鹭湾湿地



图 1 典型景观节点现状

Fig. 1 Current status of typical landscape nodes

1.1.2 使用人群特征分析

采用行为观察法[21-22]对天府绿道的使用人群特征进行分析,在2025年3—4月同样天气条件下的2个工作日和2个休息日,选择天府绿道4个景观节点(白鹭湾A区、中和湿地、桂溪公园、锦城公园),分上午、下午和傍晚三个时间段各记录20 min内游览绿道游客的一般特征和行为特征,共记录9 348位游客数据见图2。

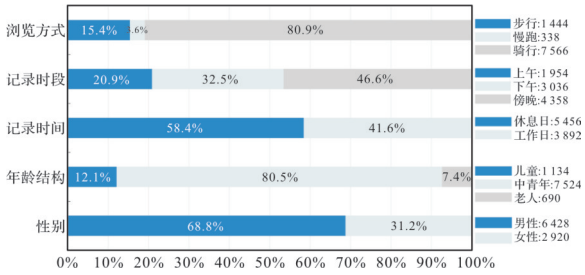


图 2 使用人群特征统计分析

Fig. 2 Statistical analysis of user characteristics

由绿道使用人群统计结果分析可知:

(1)游客个人一般特征。从游客性别和年龄结构来看,呈明显的年轻化特征,男性游客显著多于女性游客,中青年占比达到80.5%,老年人仅7.4%。一方面,天府绿道的绕城超大规模、适宜的运动设计更吸引中青年人群来绿道进行锻炼,这从80.9%的骑行人群上也能得到印证。另一方面,与便于访问的社区绿道相比,天府绿道对老年人吸引性不够,观察发现绿道的老年人多在陪同家人游览。

(2)游客行为特征。从休息日和工作日游客占比(58.4%和41.6%)来看,休息日人群显著多于工作日。从时间段来看,傍晚非工作时间人群数量最多,达到46.6%。天府绿道围绕绕城高速而建,距离很多居住区有一定的距离,因此更多游客会选择休息时间前往绿道游览和锻炼。

1.2 评价体系的初步建立

采用文献分析法和专家评估法相结合的方法进行城市绿道恢复性评价指标的选取。在国内外相关资料库中,以“绿道”“恢复性环境”“感知”“质量评价”和“健康”作为检索关键词,对2003年—2025年以来国内外的文献进行筛选并提取指标;另外,在《绿道规划设计导则》、《四川省城乡绿道规划设计标准》等绿道设计标准中提取相关评价指标[23-24]。考虑到评价指标内在的逻辑性和重复性,采用专家评估法对评价指标进行优化与分类[25-26],在2025年4月7日,组织9位高校教师和规划设计专家、8位公众代表共同参与城市绿道恢复性评价指标体系评估会,经讨论对指标进行进一步的筛选、分类和释义,得到城市绿道环境恢复性评价体系初始表1,并在此基础上提出城市绿道恢复性效应的研究假设(表2)。

表 1 城市绿道环境恢复性评价体系初始表

Tab. 1 Initial framework for the restorative environment assessment system of urban greenways

评价维度	评价指标	指标说明
游憩体验(B2)	游径坡度起伏变化性(C10)	绿道步道的坡度起伏变化
	路面铺装质感(C11)	绿道步道铺设的路面材料质感自然或具有地方文化特色
	游径系统多样性(C12)	绿道的步道、骑行道路的设置能满足使用者的多种使用需求
	游径系统维护情况(C13)	绿道步道和骑行道路的维护情况
	游径遮荫程度(C14)	绿道步道和骑行道路的遮荫程度
设施配置(B3)	儿童设施配置度(C15)	儿童娱乐设施配置完备
	无障碍设施配置(C16)	无障碍设施配置完备
	夜间照明配置度(C17)	夜间有充足的照明配置
	健身设施配置度(C18)	休闲健身设施完备
	文化设施配置度(C19)	科普文化设施设施配置完备
	卫生设施配置度(C20)	卫生设施配置完备
	商业设施配置度(C21)	商业服务设施配置完备
	标识清晰度(C22)	标识设施清晰易懂

续表 1

评价维度	评价指标	指标说明
空间结构(B4)	天空开阔度(C23)	某个区域天空面积与地面面积的比值
	水景覆盖率(C24)	某一区域内水体(如湖泊、河流、喷泉、人工湖等)面积与该区域总面积的比值
	连通性(C25)	绿道节点之间的连通性
	视野开阔度(C26)	绿道空间整体的视野开阔程度
	景观层次性(C27)	景观整体布置的层次感强
	空间连贯性(C28)	空间在整体布局、功能衔接和设计协调上协调统一
	节点丰富度(C29)	绿道周边的节点数量多
	空间私密性(C30)	空间的私密性
	水体亲近性(C31)	空间中的水景能够让人感到亲近且方便与水进行互动或接触
人文感知(B5)	功能空间利用率(C35)	绿道节点驿站的功能空间利用率
	空间舒适度(C36)	绿道体验让你感受到舒适
	景观美观性(C37)	景观整体美观性很强、有吸引力
	归属感(C38)	能感受到被接纳、被认同,心理上能与绿道建立情感联系
	社会福祉(C39)	该场所有较强的参与感,提供潜在的社交机会/活动参与,并获得身份认同感
	安全性(C40)	绿道给你安全感
环境感知(B6)	等效声压级(C41)	在规定的时间内,某一连续稳态声的A计权声压,具有与时变的噪声相同的均方A计权声压,则这一连续稳态声的声级就是此时变噪声的等效声级
	声景多样度(C42)	绿道有多种不同的声音元素
	声景自然度(C43)	有鸟鸣、流水声、风声等令人愉悦的自然声元素
	声景宁静度(C44)	声环境能给人以安静、平和的心理感受
	声景协调度(C45)	声环境中的各种自然声、人工声、生物声等相互配合、相互作用,能感受到声音的统一与和谐
	声景舒适度(C46)	声环境让人整体感受到舒适

表 2　研究假设

Tab. 2　Research hypotheses

序号	假设内容
H1	自然景观与游憩体验之间呈正相关
H2	设施配置对游憩体验之间呈正相关
H3	自然景观对环境感知之间呈正相关
H4	游憩体验对人文感知之间呈正相关
H5	游憩体验对环境感知之间呈正相关
H6	空间结构对人文感知之间呈正相关
H7	空间结构对环境感知之间呈正相关
H8	设施配置对人文感知之间呈正相关
H9	自然景观对恢复性效应之间呈正相关
H10	设施配置对恢复性效应之间呈正相关
H11	人文感知对恢复性效应之间呈正相关
H12	游憩体验对恢复性效应之间呈正相关
H13	空间结构对恢复性效应之间呈正相关
H14	环境感知对恢复性效应之间呈正相关

1.3　问卷设计与数据收集

现场实验问卷包括三部分:第一部分是基本情况表,包括实验人员基本特征和行为特征两方面;第二部分是“绿道环境质量感知量表”,是实验人员对绿道环境质量各要素受进行主观评价,采用李克特量表5分制的形式,从1~5依次为非常不满意、不太满意、一般、比较满意和非常满意;第三部分是“绿道环境恢复性评价量表”(PRS),共11个评价指标,是在李云昊[27]修订后的中文版PRS-11量表的基础上结合绿道使用场景修改而成。

实验采用问卷调研与漫步法相结合的方法,在2025年4月12日、4月13日、4月26日和5月11日的9:00-19:30间进行4次户外漫步实验。实验人员为线上招募和现场招募,共59人。每次实验分成A、B两组,每组人数不超过20人,由1名工作人员进行测试,另1名工作人员带领志愿者进行绿道漫步实验。采用BK2270声级记录每个景观节点的等效声压级数据,并用SONY高清相机备在每个节点拍摄4张高清照片。

在前期图像的筛选过程中,采用拉普拉斯方差(Laplacian Variance)算法量化评估图像清晰度,同时辅以人工目视核查,剔除存在运动模糊、对焦失准或曝光异常(直方图分布严重偏左或偏右)的图像,对于存在局部眩光、镜头污渍或压缩伪影等影响分割精度的低质量图像,也考虑筛除。若选中的图像内非景观要素面积占比超过5%,则予以剔除或对该区域进行掩膜处理(masking),不纳入语义分割计算。用DeeplabV3+对原始图像进行语义分割(图3),由此得到各节点的水景覆盖率、绿视率和天

空视觉占比等客观指标。统一将原始图像缩放至513×513像素作为网络输入,保持图片原始宽高比不变,边缘以零值填充(Zero-Padding)处理;分割结果经映射为类别标签后,按类别统计像素数量,计算各语义类别的像素占比。各视觉指标的计算方式为:目标类别像素数/图像总像素数×100%。

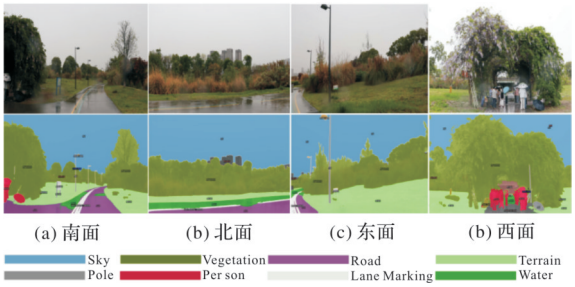


图3 景观节点图像语义分割

Fig. 3 Semantic segmentation of landscape node images

经统计,共发放1 362份问卷,回收有效问卷1 335份,问卷的有效回收率98.0%,共采集170份客观声学数据和视觉数据。

2 数据处理及分析

2.1 样本基本特征

获取的样本数据中,18~50岁的中青年人群占比达到96.6%,老年人群占比仅3.4%,这也符合前期调研中中青年占比最高)的实际情况。女性占比59.3%,男性24人占比40.7%,研究发现在问卷调查中,女性的合作率要高于男性,对问卷调查较为宽容[27-28]。从受教育程度来看,本科学历和硕士学历的实验人员分别占44.1%和28.8%,高中/大专学历占比27.1%,招募实验人员的受教育程度较高,能清楚地理解问卷内容。

实验人员对绿道的熟悉程度和使用频率的差异性较大。56.1%的志愿者平均每月来访绿道1次,36.8%没来过绿道或只来过几次,只有7%的人员平均每周有1~3次来绿道活动。一半以上人员会在绿道上停留60 min以上。实验人员更倾向于在春天、秋天来访(占比分别为42.4%和30.4%)。30%实验人员来绿道的目的是户外游玩、26.5%是欣赏景观,27.1%是放松身心。实验人员的差异性印证了选取实验设计的合理性。

2.2 信效度分析

信度检验是验证测量结果的稳定性和一致性,消除随机误差对数据的影响。在SPSS27软件中对样本数据进行信度检测,得到样本整体的克隆巴赫系数Cronbach's α为0.953,各维度均大于0.88,量表的信度质量可靠[30]。

效度检验是评估量表能否准确反应目标概念,而非其他无关因素。在SPSS27进行KMO和Bartlett球形检验,得到样本KMO值为0.948,Bartlett球形度检验的显著性水平为0.000,说明变量间存在显著的相关性[31]。用主成分分析法进行探索性因子分析,初始特征值大于1的前7个主成分累计解释方差为72.026%。通过正交旋转对因子结构进行调整与优化,删去因子载荷小于0.4的因子,提取7个公因子和各自的因子,所有因子载荷系数均大于0.7,验证了量表维度划分的合理性与有效性[32]。在AMOS28软件中进行验证性因子分析,分析结果见表3。

表3 模型信度和效度分析结果

Tab. 3 Results of the reliability and validity analysis of the model

潜变量	观测变量	标准化因子载荷量	组合效度	收敛效度	克隆巴赫系数
自然景观	C1	0.863	0.73	0.97	0.967
	C2	0.816			
	C3	0.844			
	C4	0.852			
	C5	0.854			
	C7	0.869			
	C8	0.862			
	C9	0.868			
	C23	0.844			
	C24	0.862			
	C26	0.863			
设施配置	C15	0.785	0.65	0.92	0.918
	C16	0.796			
	C18	0.811			
	C19	0.765			
	C20	0.842			
	C21	0.844			
游憩体验	C10	0.807	0.67	0.89	0.926
	C14	0.779			
	C30	0.914			
	C31	0.763			
空间结构	C11	0.762	0.60	0.88	0.88
	C25	0.782			
	C27	0.742			
	C28	0.738			
	C29	0.838			
环境感知	C36	0.832	0.64	0.92	0.923
	C37	0.818			
	C41	0.814			
	C43	0.797			
	C44	0.767			
	C46	0.777			

续表 3

潜变量	观测变量	标准化因子载荷量	组合效度	收敛效度	克隆巴赫系数
人文感知	C32	0.771	0.64	0.93	0.886
	C33	0.775			
	C34	0.789			
	C35	0.787			
	C38	0.825			
	C39	0.826			
	C40	0.837			
恢复性效应	S1	0.629	0.64	0.87	0.869
	S2	0.936			
	S3	0.906			
	S4	0.676			

可知:恢复性效应的观测变量S1和S4的标准化因子载荷量为0.629和0.676,其他观测变量均大于0.7;各潜变量的组合效度均大于0.7,收敛效度也均超过0.8,符合标准。

2.3　结构方程模型拟合检验

为验证初始模型的合理性,在AMOS28软件中对模型的适配度进行检验。通过计算卡方自由度比(*CMIN/DF*)、渐进残差均方和平方根(*RMSEA*)、适配指数(*NFI*)和拟合度指标(*GFI*)等指标来判断初始模型与观测变量的适配程度。初始模型的*CMIN/DF*指标实测值为9.604,远超1-3的优秀区间和3-5的良好区间,表明模型在解释变量与被解释变量关系时存在较大偏差,模型复杂度与数据特征的契合度欠佳,这可能是由于初始模型未设定残差项关联,导致模型残差矩阵存在未解释的协方差,因此需要添加合理的残差项关联。。另外,*NFI*、*TLI*、*GFI*和*CFI*四个指标实测结果均低于0.8,未达到良好标准,整体模型适配性存在一定不足。对于初始模型存在的问题,一方面对样本进行检查,剔除少量极端样本(如标准化残差绝对值大于3.29的异常样本),以减少极端样本对整体模型拟合的影响;另一方面,对"自然景观-空间结构、设备配置-空间结构、人文感知-环境感知"添加残差项关联,以削弱不同维度的测量误差,进一步降低模型近似误差。初始模型和修正后的模型拟合度结果见下表4所示,最终模型的*CMIN/DF*值为4.613,达到良好标准;*RMSEA*值为0.052,也处于良好水平。*NFI*(0.915)、*TLI*(0.927)、*CFI*(0.932)均超过0.9的优秀标准,表明模型对数据的拟合程度显著优于初始模型。*GFI*值为0.884,达到良好标准,反映了模型对样本数据的总体解释力较强。综合来看,优化后的结果模型的整体拟合结果表现良好,能够合理反映潜变量间的理论关系,构建的结构方程模型(图4)具有较强的实证有效性。

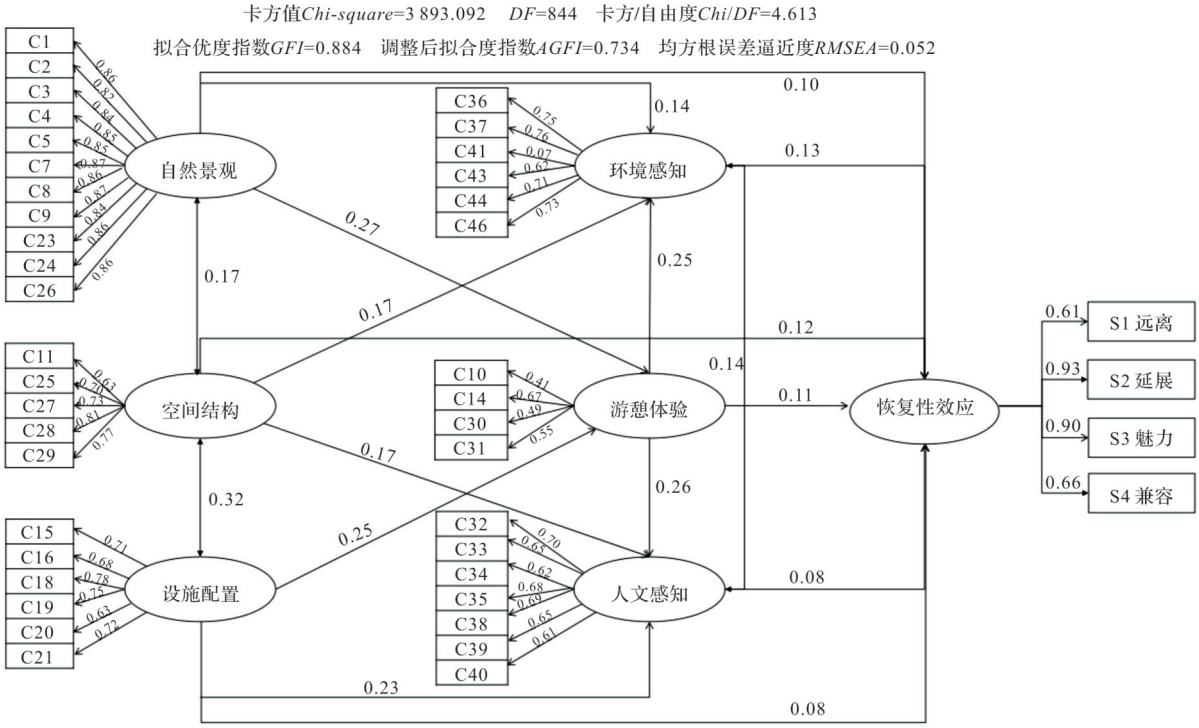


图4　结构方程最终模型

Fig. 4　Final structural equation model

表4 结构方程模型拟合度检验结果

Tab. 4 Results of the goodness-of-fit test for the structural equation model

指标	参考标准	初始结果	最终结果
CMIN/DF	1-3优秀,3-5良好	9.604	4.613
RMSEA	<0.05优秀,<0.08良好	0.080	0.052
NFI	>0.9优秀,>0.8良好	0.761	0.915
TLI		0.765	0.927
GFI		0.762	0.884
CFI		0.780	0.932

3 结果与分析

3.1 城市绿道环境质量的恢复性影响路径

为研究城市绿道的环境质量对恢复性评价的影响路径,可以在最终构建的结构方程模型中进行路径分析。结构方程模型中的路径系数反应的是各潜变量之间的直接影响关系,最终模型中各潜变量的路径系数见下表5:

表5 模型路径系数

Tab. 5 Path coefficients of the model

路径	标准化值	*S. E.*	*C. R.*	*P*
自然景观→游憩体验	0.27	0.027	9.894	***
设施配置→游憩体验	0.245	0.026	9.373	***
自然景观→环境感知	0.143	0.026	5.524	***
游憩体验→人文感知	0.258	0.029	8.78	***
游憩体验→环境感知	0.246	0.028	8.682	***
空间结构→人文感知	0.174	0.03	5.832	***
空间结构→环境感知	0.17	0.028	6.162	***
设施配置→人文感知	0.227	0.027	8.322	***
自然景观→恢复性效应	0.098	0.018	5.53	***
设施配置→恢复性效应	0.081	0.018	4.541	***
人文感知→恢复性效应	0.075	0.02	3.787	***
游憩体验→恢复性效应	0.111	0.021	5.394	***
空间结构→恢复性效应	0.121	0.02	6.042	***
环境感知→恢复性效应	0.088	0.021	4.248	***

注:***代表P值<0.001,通过显著性检验。

可以看到,各潜变量相互作用,自然景观和设施配置对游憩体验的效应值分别为0.27和0.245,作用明显,说明丰富多样的自然景观可以提升游览体验,而齐全的商业、卫生等设施会让人更愿意在绿道上停留,从而提高绿道的使用感。游憩体验的提升,也提高了使用者的人文感知(0.258)和环境感知(0.246),说明游憩体验的提升能够通过提升使用者的感知间接促进对人文环境和自然环境的积极评价。空间结构对人文感知(0.174)和环境感知(0.170)的路径系数均达0.17左右,表明合理的空间设计对使用者的人文感知和环境感知具有不可忽视的影响。在各潜变量对恢复性评价的影响路径中,空间结构(0.121)和游憩体验(0.111)的效应较强,自然景观(0.098)、设施配置(0.081)、人文感知(0.075)和环境感知(0.088)的效应虽相对较小但均显著。环境特征的各维度互相作用,最终作用于恢复性效应,说明恢复性效应是多维度感知综合作用的结果。

3.2 城市绿道恢复性评价指标权重结果

在结构方程模型中得到各观测变量的标准化路径系数,计算每个潜变量下的各观测变量的标准化路径系数之和,然后用各观测变量的标准路径系数再除以该求和值,可得到各观测变量的权重值[33]。潜变量的权重值则等于各潜变量对恢复性评价的效应值除以各潜变量对恢复性效应影响的效应值之和[34]。最终构建的城市绿道恢复性评价体系中的各指标权重见表6,各指标权重分析见图5。

表6 城市绿道恢复性评价指标权重表

Tab. 6 Indicator weight table for urban greenway restorative assessment

潜变量	效应值	指标权重	观测变量	标准化路径系数	指标权重
自然景观(B1)	0.098	0.171	绿视率(C1)	0.863	0.092
			植被色彩丰富性(C2)	0.816	0.087
			植被种类丰富性(C3)	0.844	0.090
			植被地域性(C4)	0.852	0.091
			景观自然性(C5)	0.854	0.091
			植被的保持情况(C7)	0.869	0.092
			色彩季相多样性(C8)	0.862	0.092
			色彩丰富度(C9)	0.868	0.092
			天空开阔度(C23)	0.844	0.090
			水景覆盖率(C24)	0.862	0.092
			视野开阔度(C26)	0.863	0.092
设施配置(B2)	0.081	0.141	儿童设施配置度(C15)	0.785	0.162
			无障碍设施配置度(C16)	0.796	0.164
			健身设施配置度(C18)	0.811	0.167
			文化设施配置度(C19)	0.765	0.158
			卫生设施配置度(C20)	0.842	0.174
			商业设施配置度(C21)	0.844	0.174
游憩体验(B3)	0.111	0.193	游径坡度起伏变化性(C10)	0.807	0.247
			游径遮荫程度(C14)	0.779	0.239
			空间私密性(C30)	0.914	0.280

续表 6

潜变量	效应值	指标权重	观测变量	标准化路径系数	指标权重
			水体亲近性(C31)	0.763	0.234
空间结构(B4)	0.121	0.211	路面铺装质感(C11)	0.762	0.197
			连通性(C25)	0.782	0.202
			景观层次性(C27)	0.742	0.192
			空间连贯性(C28)	0.738	0.191
			节点丰富度(C29)	0.838	0.217
环境感知(B5)	0.088	0.153	空间舒适度(C36)	0.832	0.173
			景观美观性(C37)	0.818	0.170
			等效声压级(C41)	0.814	0.169
			声景自然度(C43)	0.797	0.166

续表 6

潜变量	效应值	指标权重	观测变量	标准化路径系数	指标权重
			声景宁静度(C44)	0.767	0.160
			声景舒适度(C46)	0.777	0.162
人文感知(B6)	0.075	0.131	驿站功能齐全(C32)	0.771	0.137
			设施满意度(C33)	0.775	0.138
			设施维护情况(C34)	0.789	0.141
			功能空间利用率(C35)	0.787	0.140
			归属感(C38)	0.825	0.147
			社会福祉(C39)	0.826	0.147
			安全性(C40)	0.837	0.149

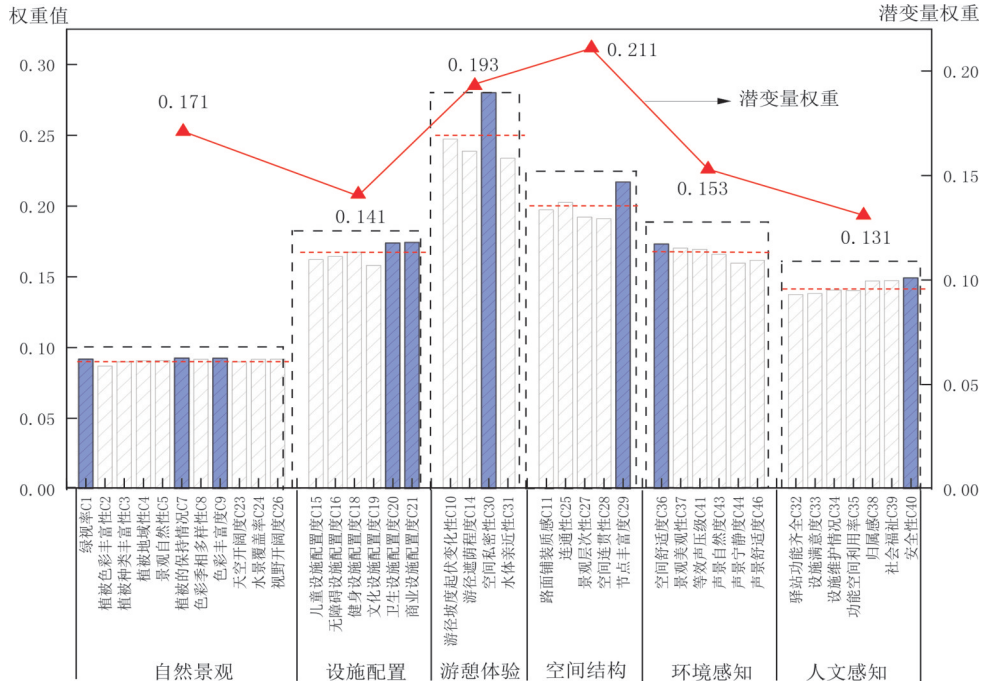


图 5　评价指标权重比较分析

Fig. 5　Comparative analysis of evaluation indicator weights

可知：①影响恢复性效应的维度排序依次为：空间结构 > 游憩体验 > 自然景观 > 环境感知 > 设施配置 > 人文感知。

②空间结构对恢复性效应贡献最高，丰富的绿道节点和节点之间的连通性尤为重要，自然或富有文化特色路面铺装也影响了恢复性效应，这一点在过往的恢复性研究并未有过多的实证[35-36]；另外，多层级、空间布局和功能衔接合理的绿道空间对恢复性效应更有正向作用。

③游览时空间私密性最为重要，地形的起伏变化也会使人产生不同的心理反应[37-39]，进而影响恢复性效应。另外，游径系统的遮荫程度会很大影响使用者游览时的感受，进而影响恢复性效应。

④开阔的自然景观更有恢复性效应，多样的植被、节点设施的色彩更受到使用者的偏爱，而保持良好绿化植被更有正向效果[40]；此外，可亲近的蓝色空间也具有良好的恢复性效应。

⑤使用者对绿道景观美学的认可以及感受到的舒适程度，对恢复性评价有正向作用；与其他绿地类似，绿道环境中的自然声能带来宁静与舒适的听觉感受[41]，对恢复性效应有正向作用。

⑥商业、运动、娱乐、卫生、文化等设施的配置，能提供更好的服务，从而提高恢复性效应。

⑦游览中感受到的安全感、社会认同感和归属感，对提升绿道的恢复性效应有一定的贡献；此外，使用者对绿道的节点驿站和配套设施的满意度和维护情况，也直接影响恢复性效应。

3.3 成都天府绿道环境恢复性解析

在构建的城市绿道恢复性评价体系中,选取恢复性贡献权重系数较大的四个关键评价指标,分别是游径坡度起伏变化性(C10)、游径遮荫程度(C14)、节点丰富度(C29)和空间私密性(C30),对成都天府绿道16个典型景点的环境恢复性特征进行解析,各景点的恢复性评价得分和关键评价指标得分,以及部分节点的现状特征见下图6所示。

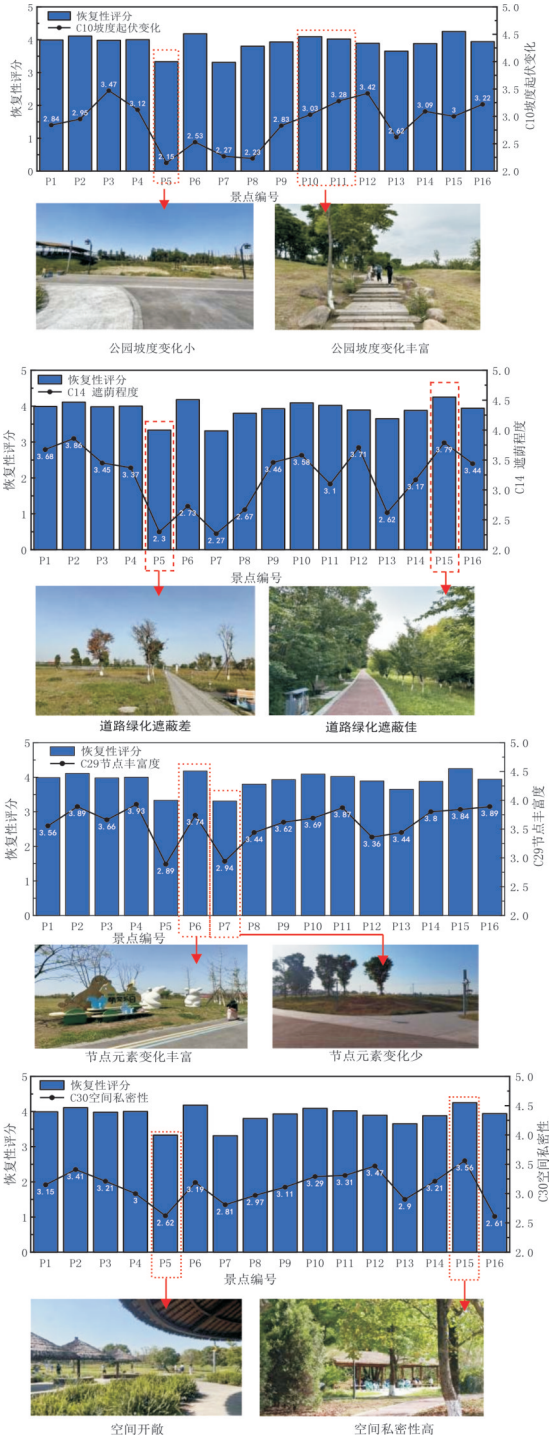


图6 景点恢复性评价与关键指标得分比较

Fig. 6 Comparison of restorative assessment scores and key indicator scores for scenic spots

在16个景点中,P5的恢复性评分最低,P6和P15的评分较高。从景点现状看出,P5地势平坦且空间开敞,几个关键指标中,游径系统坡度起伏变化最小(仅2.15分)、遮荫程度很小(2.3分)、空间私密性很差(2.62分),3项指标都排名倒数前二;反观P6和P15,景点元素多样(P6得3.74分,P15得3.84分),绿化遮荫程度高(P15得3.79分),空间私密性很好(P6得3.19分,P15得3.56分)。使用者对成都天府绿道恢复性评分与恢复性环境关键指标得分的吻合情况,印证了指标选取的合理性和构建的评价体系的科学性。

4 结论

本研究构建城市绿道恢复性评价体系,深入探讨了城市绿道环境质量对恢复性效应的影响机制,主要结论如下:

(1)城市绿道的恢复性效应是多维度感知综合作用的结果。6个特征维度互相作用,最终作用于恢复性效应。其中,空间结构和游憩体验的的恢复性效应最强,自然景观、设施配置、人文感知和环境感知的效应虽相对较小但均显著。

(2)研究发现城市绿道在恢复性效应上独有于其他绿地的一些特征:景观节点之间的连接性是绿道空间结构的重要特征,对恢复性效应有显著的影响;对于绿道独有的游径系统,使用者更喜爱自然或富有文化特色路面铺装,而遮荫程度的好坏也影响游览感受,进而影响恢复性效应;自然景观方面,使用者更偏爱视野开阔、种类色彩多样、具有地域性和保持良好的自然景观以及可亲近的水体;在声景营造上,更多自然声的融入,也对恢复性效应有正向作用;使用者游览中感受到的安全感、社会认同感和归属感,对提升绿道的恢复性效应有积极影响。

(3)成都天府绿道的现状解析和恢复性评价实验的评分情况非常吻合,印证了指标选取的合理性和构建的评价体系的科学性。

本研究构建的城市绿道恢复性评价体系是对现有绿道设计标准在健康价值导向上的补充,提出的空间结构评价指标能提升绿道连通性和景观设计的层次性,补充的感知评价指标和声景评价指标有助于提升绿道使用者的体验感和恢复性效益,设施配置维度的评价指标有助于绿道管理者优化资源分配,并推动管理条例的有效落地。然而,本文研究选取的实验对象为成都天府绿道,样本数据具有一定的地域气候局限性,未来将增加不同地区的绿道评价实验来验证评价体系的地域适用性。

参考文献 References

[1] KAPLAN S, TALBOT I F. Psychological benefits of a wilderness experience [M]. New York: Plenum, 1985.

[2] HARTIG T. Validation of a measure of perceived environmental restorativeness [J]. Goteborg psychological reports, 1996, 26(7): 2-64.

[3] KAPLAN R, KAPLAN S. The experience of nature: a psychological perspective [M]. Cambridge University Press, 1989.

[4] KAPLAN R, KAPLAN S. The experience of nature: A psychological perspective[M]. Newyork: Cambridge University Press,1989.

[5] ULRICH R S, SIMONS R F, LOSITO B D, et al. Stress recovery during exposure to natural and urban environments [J]. Journal of environmental psychology, 1991, 11(3): 201-30.

[6] BRATMAN G N, DAILY G C, LEVY B J, et al. The benefits of nature experience: Improved affect and cognition [J]. Landscape and urban planning, 2015, 138: 41-50.

[7] TSUNETSUGU Y, LEE J, PARK B-J, et al. Physiological and psychological effects of viewing urban forest landscapes assessed by multiple measurements [J]. Landscape and Urban Planning, 2013,113: 90-3.

[8] ULRICH R S. Natural versus urban scenes: Some psychophysiological effects [J]. Environment and behavior, 1981, 13(5): 523-56.

[9] LAUMANN K, GäRLING T, STORMARK K M. Selective attention and heart rate responses to natural and urban environments [J]. Journal of environmental psychology, 2003, 23(2): 125-34.

[10] BRATMAN G N,ANDERSON C B, BERMAN M G, et al. Nature and mental health: An ecosystem service perspective [J]. Science Advances, 2019, 5(7): 15-28.

[11] GASCON M, ZIJLEMA W, VERT C, et al. Outdoor blue spaces, human health andwell-being: a systematic review of quantitative studies [J]. International journa of Hygiene and Environmental Health, 2017, 220(8): 1207-1221.

[12] MCMAHAN E A, ESTES D, The effect of contact with natural environments on positive and negative affect: A meta-analysis [J]. The Journal of Positive Psychology, 2015, 10(6):507-519.

[13] HEDBLOM M, GUNNARSSON B, LRAVANI B, et al. Reduction of physiological stressby urban green space in a multisensory virtual experiment [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1):10113.

[14] BRATMAN G N, HAMILTON J. P, DAILY G C. The impacts of nature experience on human cognitive function and mental health [J]. Annals of the New YorkAcademy of Sciences, 2012, 1249(1):118-136.

[15] TSUNETSUGU Y, LEE J, PARK B j, et al. Physiological and psychological effects of viewing urban forest landscapes assessed by multiple measurements [J]. Landscape and Urban Planning, 2013, 113:90-93.

[16] 高雅, 郭昌胜, 徐建. 基于文献计量学的环境健康效益评估研究热点及趋势分析 [J]. 环境科学研究, 2023, 36(9): 1813-23.
GAO Ya, GUO Changsheng, XU Jian. Research hotspots and trends of environmental health benefit evaluation: A bibliometric analysis [J]. Research of Environmental Sciences, 2023, 36(9): 1813-1823.

[17] 刘昱齐,刘晶岚,樊晓丽,等. 鸟鸣多样性感知与声景感知恢复性: 鸟鸣音频和科普的干预[J]. 生物多样性, 2024, 32(1):23230.
LIU Yuqi, LIU Jinglan, FAN Xiaoli, et al. Perception of birdsong diversity and soundscape perceptual restoration: Interventions of birdsong audio clips and science popularization materials [J]. Biodiversity Science, 2024, 32(1): 23230.

[18] WOOD E, HARSANT A, DALLIMER M, et al. Not all green space is created equal: Biodiversity predicts psychological restorative benefits from urban green space [J]. Frontiers in Psychology, 2018, 9: 2320.

[19] 陈明坤, 张清彦, 朱梅安,等. 成都公园城市三年创新探索与风景园林重点实践 [J]. 中国园林, 2021,37(8):18-23.
CHEN Mingkun, ZHANG Qingyan, ZHU Meian, et al. Three-year innovative exploration of the Chengdu park city and key practices in landscape architecture [J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(8): 18-23.

[20] 苏红艳,俞杨,周炯焱. 公园城市绿道导视系统特色化探索——以成都天府绿道为例[J]. 大观(东京文学). 2025(2):36-38.
SU Hongyan, YU Yang, ZHOU Jiongyan. Exploration of the characteristic guidance signage system for park city greenways: A case study of Chengdu Tianfu Greenway [J]. Grand View (Tokyo Literature), 2025 (2): 36-38.

[21] 曾锐. 老人和儿童户外行为与景观空间的关联性研究 [D]. 合肥:合肥工业大学, 2013.
ZENG Rui. A correlation study of outdoor behavior of older adults and children with landscape space [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013.

[22] LI L, GAO X, LI J, et al. Difference of Usage Behavior between Urban Greenway and Suburban Greenway: A Case Study in Beijing, China [J]. Land, 2022, 11(8): 1245.

[23] 谭少华,赵万民. 绿道规划研究进展与展望 [J]. 中国园林,2007,23(2):5.
TAN Shaohua, ZHAO Wanmin. Research progress and prospects of greenway planning [J]. Chinese Landscape Architecture, 2007, 23(2): 5.

[24] 羊芸, 王同俊. 关于成都市绿道规划建设的探讨 [J]. 交通科技与经济, 2011, 13(4): 4.

YANG Yun, WANG Tongjun. Discussion on the planning and construction of greenways in Chengdu City [J]. Journal of Transportation Science and Technology and Economy, 2011, 13(4): 4.

[25] 雷勇,石惠娴,杨学军,等. 基于模糊层次分析法的生态建筑综合评估模型[J]. 建筑学报, 2010(S2):5.
LEI Yong, SHI Huixian, YANG Xuejun, et al. A comprehensive assessment model for ecological buildings based on fuzzy analytic hierarchy process [J]. Architectural Journal, 2010(S2): 5.

[26] 晏忠,陈建华. 基于层次分析-语义差异法的城市公园景观质量评价—以广州市天河公园为例[J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(4):191-198.
YAN Zhong, CHEN Jianhua. Urban park landscape quality evaluation based on analytic hierarchy process-semantic differential method: A case study of Tianhe Park in Guangzhou [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2023, 43(4): 191-198.

[27] 李云昊,杜雪妍,吴建平. 感知复愈性量表的中文版修订[J]. 中国健康心理学杂志,2024,32(12):1883-1889.
LI Yunhao, DU Xueyan, WU Jianping. Revision of the Chinese version of the perceived restorativeness scale [J]. China Journal of Health Psychology, 2024, 32(12): 1883-1889.

[28] 孙妍,邹艳辉,丁华等. 跟踪调查中的拒访行为分析——以中国家庭动态跟踪调查为例[J]. 社会学研究, 2011(2):15.
SUN Yan, ZOU Yanhui, DING Hua, et al. Analysis of refusal behavior in panel surveys: Evidence from the China Family Panel Studies [J]. Sociological Studies, 2011 (2): 15.

[29] GROVES R M. Theories and methods of telephone surveys [J]. Annual Review of Sociology, 1990, 16 (1): 221-40.

[30] 吴明隆. SPSS统计应用实务:问卷分析与应用统计[M]. 北京:科学出版社,2003.
WU Minglong. SPSS Statistical application practice: questionnaire analysis and applied statistics [M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2003.

[31] 王保进. 英文视窗版SPSS与行为科学研究. 第3版[M]. 第3版,北京:科学出版社,2007.
WANG Baojin. SPSS for Windows and Behavioral Research. 3rd ed [M]. 3rd ed, Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2007.

[32] 王山河,陈烈. 基于结构方程式模型的广州城市形象元素分析评价[J]. 经济地理,2010,(1):6.
WANG Shanhe, CHEN Lie. Analysis and evaluation of urban image elements in Guangzhou based on structural equation modeling [J]. Economic Geography, 2010, (1): 6.

[33] 李爽. 基于结构方程模型的住区户外空间适老化研究——以邯郸市为例[D]. 邯郸:河北工程大学, 2021.
LI Shuang. Research on the aging-friendly adaptation of residential outdoor spaces based on structural equation modeling: A case study of Handan city [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2021.

[34] 金亿. 基于恢复性环境理论的成都市锦江绿道景观评价与优化[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2023.
JIN Yi. Landscape assessment and optimization of the jinjiang greenway in Chengdu based on restorative environment theory [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2023.

[35] 屈海燕,郑思远. 公共健康视角下的恢复性环境实证研究综述[J]. 西部人居环境学刊,2024,39(1):52-60.
QU Haiyan, ZHENG Siyuan. Review of empirical research on restorative environments from a public health perspective [J]. Journal of Human Settlements in West China, 2024, 39(1): 52-60.

[36] 刘畅,李树华. 多学科视角下的恢复性自然环境研究综述[J]. 中国园林,2020,36(1):5.
LIU Chang, LI Shuhua. A review of research on restorative natural environments from a multidisciplinary perspective [J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36(1): 5.

[37] KORPELA K, SAVONEN E-M, ANTTILA S, et al. Enhancing wellbeing with psychological tasks along forest trails [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 26: 25-30.

[38] 李志民,王昆. 基于行为心理需求的城市商业广场尺度研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2016,48(2):240-244,264.
LI Zhimin, WANG Kun. Research on the scale of urban commercial squares based on behavioral and psychological needs [J]. J. Xi′an Univ. of Arch. & Tech., (Natural Science Edition) 2016, 48(2): 240-244,264.

[39] 刘月. 山地城市园林景观特色的营造方法研究[D]. 泰安:山东农业大学,2011.
LIU Yue. Research on the creation methods of landscape characteristics in mountain cities [D]. Tai′an: Shandong Agricultural University, 2011.

[40] 游雨聪,杨洁. 基于绿视率的滨水绿道心理恢复影响研究[J]. 现代园艺,2024,47(10):11-13.
YOU Yucong, YANG Jie. Research on the psychological restoration effect of waterfront greenways based on green view index [J]. Modern Horticulture, 2024, 47(10): 11-13.

[41] 边佳玉,冷嘉惠,赵正等. 城市居民的绿道声景观感知评价研究[J]. 林业资源管理,2021(1):111-120.
BIAN Jiayu, LENG Jiahui, ZHAO Zheng, et al. Research on soundscape perception evaluation of urban greenways by residents [J]. Forest Resources Management, 2021(1): 111-120.

(编辑 吴海西)