

吴元晶, 游永熠, 周卫, 兰思仁. 老年人绿地感知与活动特征的非线性关系[J]. 风景园林, 2025, 32 (5): 96-104.

老年人绿地感知与活动特征的非线性关系

吴元晶 游永熠 周卫 兰思仁*

摘要: 【目的】探究老年人在城市公园中的绿地感知与绿地活动特征间的非线性关系, 旨在为公园适老化和设计提供科学依据。【方法】在福州市的 5 个城市公园绿地中, 对具有一定思考和语言表达能力的老年人进行关于绿地感知与绿地活动特征的问卷调查, 对收集到的有效数据进行相关性分析, 并基于 XGBoost 可解释性机器学习算法构建模型, 探究绿地感知各指标对绿地活动特征各指标的相对重要性及指标间的非线性关系。【结果】1) 空间归属感、生态环境质量、空气质量、休憩设施合理性、健身设施合理性和绿地品质是影响老年人绿地活动特征的重要因素; 2) 老年人在城市公园绿地中的每周活动频率、时长、活动类型丰富度及活动总量与情感、物理环境、设施三大感知特征之间存在显著的非线性关系; 3) 揭示了变量间复杂的非线性关系, 明确了不同变量的边际效应和临界值, 例如生态环境质量对老年人绿地活动每周活动时长、每周活动总量的倒 U 型效应。【结论】从非线性视角明确了各绿地感知指标在老年人绿地活动特征中的权重及边际效应, 为理解老年人绿地活动的驱动机制提供了新的理论视角, 拓展了环境舒适度与绿地活动特征关联性的研究框架。同时, 为城市公园绿地的适老化设计与优化提供了实践建议, 有助于推动城市公园的适老化更新, 促进绿色空间的高质量建设, 并最终推动老年人健康福祉与社会可持续发展。

关键词: 城市公园; 老年人; 绿地感知; 绿地活动; 非线性关系; XGBoost

基金项目: 国家林业和草原局补助项目“国家林业局森林公园工程技术研究中心运行补助”(编号 115-KHD18102A); 福建省自然科学基金项目“高湿高热地区城市滨水空间对老年人多维健康的影响及其作用机制研究”(编号 2023J05193); 国家自然科学基金“老旧小区非正式绿地对居民情感与恢复性的影响机制及其更新策略”(编号 32401642); 福建省中青年科研项目“城市滨海景观促进健康的景感特征及空间优化研究”(编号 JAT220220)

中图分类号: TU986; TU985; X502 **文章编号:** 1673-1530(2025)05-0096-09 **收稿日期:** 2024-09-20
文献标识码: A **DOI:** 10.3724/j.fjyl.202409200552 **修回日期:** 2025-01-26

文章亮点:

- 1、运用 XGBoost 算法构建模型, 揭示了老年人绿地感知与绿地活动特征之间的非线性关系及不同指标的边际效应, 弥补了传统线性分析模型的不足。
- 2、为理解老年人绿地活动的驱动机制提供了新的理论视角, 拓展了环境舒适度与绿地活动特征关联性的研究框架。
- 3、为城市公园绿地的适老化设计与优化提供了具体实践建议, 对政策制定和城市规划具有重要参考意义。

中国是人口老龄化速度最快的国家之一^[1]。预计到 21 世纪中叶, 中国 60 岁以上人口将接近总人口的 35%^[2], 随着老龄化进程的加快, 老年人的健康也成为社会关注的焦点。城市公园作为城市绿地的重要组成部分, 为老年人提供了重要的日常活动场所, 能够有效促进老年人身心健康^[3]。相比于其他年龄群体, 老年人更常在城市绿地中展开活动, 绿地感知评价对老年人绿地活动的影响尤为显著^[4]。行为活动与环境感知作为人与环境相互作用的外显反应与内在机制, 对于人本尺度下的绿地空间规划设计实践至关重要^[5]。

公众的绿地感知与绿地活动特征存在密切联系^[6]。就老年人而言, 相关研究表明绿地品质^[7]、安全感^[8]、可达性^[9]、空间归属感^[10]、设施质量与数量^[11]等因素显著影响老年人开

展绿地活动的频率和时长, 高质量的绿地环境可以吸引老年人更频繁地进行户外活动^[12]。此外, 对社交活动机会的感知也会增强老年人开展绿地活动的意愿, 从而提升幸福感和减少孤独感^[13-14]。

现有研究虽然揭示了绿地感知对老年人户外绿地活动的多种影响, 但大多基于线性假设分析其影响因素。例如, 绿化面积、绿化品质、卫生状况与公共设施质量会对老年人绿地活动时长产生负向影响, 环境友好性与卫生状况会对老年人绿地活动强度产生正向影响^[15]。此外, 多元线性回归被广泛用于探讨城市绿地暴露水平与老年人户外活动时间、频率的关系^[16], 以及主观绿地感知与客观绿地特征与老年人活动习惯的关联^[17]。结果显示, 主观感知的绿地暴露水平与老年人户外活动

时间和频率显著正相关^[16]。然而, 线性假设分析在处理绿地感知与老年人户外活动关系时存在明显局限性, 无法捕捉绿地感知与户外活动潜在的非线性关系或边际效应。因此, 仅依赖线性假设分析难以全面、准确地揭示绿地感知与老年人户外活动之间的内在联系, 可能导致研究结论偏差。

近年来, 关于绿地暴露水平与健康的非线性关系的研究逐渐增加, 涵盖了空间感知与活动^[18]、绿地暴露与活动^[19]、环境因素(如气温和空气污染物)与健康^[20]等多个领域。例如, 郑凌予等通过调查研究, 揭示了社区绿色暴露指数对空间感知与活动行为的影响及其内在关联, 发现两者间存在倒 U 型关系^[18]。与此同时, 也有少量研究尝试采用机器学习、广义相加模型等方法对建成环境特征

与使用情况进行非线性关系检验。可解释性机器学习算法及相关模型在分析建成环境特征对其使用情况的影响方面已经得到了广泛应用，如探究建成环境特征对出行安全^[21]、活动^[22]、街道活力^[23]等的非线性影响。同时，部分学者指出环境感知与绿地活动特征之间存在复杂关联，难以通过线性关系全面解释。例如，绿地环境与使用效果之间可能呈现非线性关系^[24]，可达性与空间活力强度之间的关联也较为复杂^[25]。尽管已有部分研究探讨了建成环境对户外活动的非线性影响，但大多集中在建成环境特征分析，老年人绿地感知与绿地活动特征的非线性关系尚不明确。

本研究采用极端梯度提升（extreme gradient boosting, XGBoost）模型方法，分析老年人对城市公园绿地的感知与其绿地活动特征之间的复杂非线性关系。XGBoost 具有较好的模型校正能力^[26]，能准确描述绿地感知对绿地活动特征的真实影响，并说明绿地感知与绿地活动特征关系的复杂性和动态性，能够弥补上述研究的不足。本研究以福州市城市公园为例，构建老年人绿地感知与绿地活动特征的理论模型，通过数据收集与模型验证，深入探讨绿地感知与绿地活动特征的非线性关系，评估变量间的阈值效应和贡献度，以期揭示绿地感知对老年人绿地活动特征的动态影响机制，为城市公园绿地更新与高质量发展提供科学理论支持。

1 研究方法

1.1 研究区域

第七次全国人口普查显示，福州市 60 岁及以上人口占总人口的 16.76%，65 岁及以上人口占 11.72%，分别高出福建省平均水平 0.78% 和 0.62%，可见福州市老龄化问题日益严峻。福州市城市公园绿地数量众多、类型多样，被誉为千园之城。综合考虑公园建成时间、服务半径、老年人游客量等情况，本研究选取福州市 5 个不同尺度的公园绿地为研究区域（表 1）。这些公园分布于鼓楼区、仓山区和台江区，是老年人进行休闲活动的主要场所，对老年人绿地活动感知与健康研究而言具有较高代表性。

表 1 研究区域概况
Tab. 1 Overview of the research area

公园名称	建成年份	所属区域	面积/hm ²	实景照片
西湖公园	1914	鼓楼区	42.51	①
左海公园	1990	鼓楼区	35.47	②
闽江公园	2000	仓山区	71.64	③
金山公园	2004	仓山区	30.90	④
茶亭公园	1986	台江区	3.57	⑤



1.2 研究方案设计

1.2.1 指标选取

本研究以城市公园中老年人绿地感知为自变量，以老年人的绿地活动特征为因变量。在研究区域内，对 50 名具有一定思考和语言表达能力的老年人进行结构化访谈，访谈主题为城市公园绿地感知评价与绿地活动特征，主要包括 3 个方面：1）对城市公园绿地空间环境的整体感受以及对场地特定指标的体验评价；2）探究绿地在物理环境、管理维护、服务配套等维度的现存问题与优化需求；3）对绿地功能、绿地活动特征和绿地活动重要性的了解。基于访谈结果，统计老年人作出感知评价时使用的高频词汇，并结合国内外文献中与城市公园绿地感知指标相关的专题聚类，初步筛选出 14 个城市公园绿地感知指标，分别为可达性、安全感、景观美观度、空间多样性、健身设施合理性、休憩设施合理性、卫生情况、绿地品质、维护情况、生态环境质量、声环境舒适性、空气质量、空间依恋感、空间归属感。

绿地活动特征包含 4 个指标，分别为每周活动频率、每周活动时长、每周活动类型丰富度和每周活动总量。每周活动频率与每周活动时长通过问卷调查的方式获取，每周活动类型丰富度及每周活动总量通过分析问卷数据获取。根据问卷结果中绿地活动类型的数量统计每周活动类型丰富度，每周活动总量指标依据《中国健康成年人身体活动汇编》^[27]对问卷记录的老年人在城市公园中的

行为活动进行分类与代谢当量（metabolic equivalent, MET）赋值，每周活动总量通过平均代谢当量^[28]与每周活动长时的乘积计算^[29]。

1.2.2 问卷设计与调查

本研究先通过预问卷调查检测问卷的信效度并进行优化，再开展正式问卷调查。预问卷主要包括 4 个部分：1）老年人城市公园绿地感知评价，包含上述 14 个城市公园绿地感知指标；2）老年人绿地活动特征；3）受访者的基本信息；4）受访者绿地活动出行基础特征。调研人员于 2024 年 1 月 4—6 日在西湖公园、左海公园中进行预问卷发放，回收有效问卷 87 份。基于预问卷信效度分析结果，剔除景观美观度、空间多样性 2 个指标，并对难以理解的语句进行修改，形成正式问卷。

正式问卷主要包括 4 个部分：1）老年人城市公园绿地感知评价，包含 12 个题项，即对可达性、安全感、健身设施合理性、休憩设施合理性、卫生情况、绿地品质、维护情况、生态环境质量、声环境舒适性、空气质量、空间依恋感、空间归属感进行评价，均采用李克特 7 级量表进行测量；2）老年人绿地活动特征，包含 3 个题项，其中每周活动频率和每周活动时长采用填空题的形式进行调查，绿地活动类型则通过多选题的形式进行调查；3）受访者的基本信息，包括性别、年龄等基础个人信息题项，以填空题与选择题形式进行调查；4）受访者绿地活动出行基础特征，以选择题形式进行调查。

表3 老年人绿地感知特征分析
Tab. 3 Analysis of the characteristic of the elderly's perception of green spaces

样本类型	平均值 (标准差)											
	A1可达性	A2安全感	A3健身设施合理性	A4休憩设施合理性	A5卫生情况	A6绿地品质	A7维护情况	A8生态环境质量	A9声环境舒适性	A10空气质量	A11空间依恋感	A12空间归属感
总样本	5.89 (1.12)	5.80 (1.22)	5.23 (1.54)	5.44 (1.37)	5.83 (1.30)	5.77 (1.12)	5.64 (1.25)	5.95 (1.26)	5.75 (1.27)	6.02 (1.23)	5.61 (1.26)	5.37 (1.37)
男	5.90 (1.12)	5.77 (1.26)	5.20 (1.55)	5.33 (1.39)	5.77 (1.35)	5.75 (1.13)	5.59 (1.28)	5.91 (1.28)	5.74 (1.29)	6.02 (1.24)	5.56 (1.30)	5.38 (1.40)
女	5.89 (1.13)	5.83 (1.19)	5.26 (1.53)	5.56 (1.34)	5.90 (1.25)	5.78 (1.17)	5.70 (1.22)	6.00 (1.24)	5.75 (1.25)	6.03 (1.22)	5.68 (1.20)	5.35 (1.34)
60~70岁	5.83 (1.18)	5.76 (1.25)	5.16 (1.59)	5.41 (1.14)	5.83 (1.29)	5.74 (1.15)	5.68 (1.25)	5.93 (1.28)	5.70 (1.28)	5.96 (1.25)	5.55 (1.26)	5.29 (1.39)
71~80岁	5.96 (1.06)	5.86 (1.17)	5.31 (1.45)	5.50 (1.25)	5.85 (1.29)	5.81 (1.03)	5.63 (1.15)	5.99 (1.21)	5.78 (1.24)	6.13 (1.15)	5.71 (1.21)	5.42 (1.31)
81岁及以上	5.97 (1.00)	5.79 (1.24)	5.34 (1.54)	5.44 (1.47)	5.80 (1.41)	5.73 (1.23)	5.50 (1.46)	5.97 (1.33)	5.86 (1.32)	6.01 (1.27)	5.67 (1.33)	5.60 (1.40)

表2 样本描述性统计
Tab. 2 Descriptive statistics of samples

项目	分类	人数	占比/%
性别	男	412	52.9
	女	367	47.1
年龄	60~70岁	427	54.81
	71~80岁	247	31.71
	81~90岁	96	12.32
	90岁以上	9	1.16

1.2.3 数据收集

为避免天气和温度对个人主观感受的影响,正式调查选择在气温相似的晴天开展。调查工作于2024年1月8日—2月20日实施,调查时间覆盖工作日与周末。在5个公园共发放问卷800份,去除填写不完整及完成过快的问卷,最终获得有效问卷779份,回收率为97.4%。问卷量表的Cronbach's α 值为0.875,表明问卷具有较高的内部一致性,且量表各项题目之间的相关性和一致性较强,适合使用该问卷的数据进行进一步的分析和研究。

1.3 分析方法

本研究借助Excel 2013和SPSS 26.0软件进行数据处理,通过描述性统计和均值比较解析老年人绿地感知评价特征。运用Spearman相关性分析探究变量间的关联性,并通过Origin 2022软件将其可视化。针对显著变量组,基于XGBoost算法构建老年人绿地感知与绿地活动特征之间关系的模型。XGBoost算法通过集成多棵决策树来校正误差^[9],相对于线性回归模型,其优势表现为:1)无需依赖数据假设,对数据缺失也具有更强的接受能

力,考虑了预测变量之间的相互作用,规避了部分多重共线性的问题,能够提供更准确的预测;2)通过同时揭示变量的相对重要性和拟合变量之间的复杂非线性关系,为老年人绿地感知对绿地活动特征影响的精确分析提供了新的可能性;3)相较于传统的回归分析方法,XGBoost算法能够对离散型变量进行更为适当的处理^[24]。因此,本研究分别以绿地活动特征的4个指标为因变量,采用XGBoost算法构建老年人城市公园绿地感知与绿地活动特征关系的模型。以 R^2 值衡量模型解释力, R^2 值处于0~1之间,值越大代表模型解释力越好。结果显示,以每周活动频率为因变量的模型1的 R^2 值为0.470,以每周活动时长为因变量的模型2的 R^2 值为0.682,以活动类型丰富度为因变量的模型3的 R^2 值为0.309,以每周活动总量为因变量的模型4的 R^2 值为0.653,均大于0.300,表明这些模型的解释力均可被接受,故基于4个模型对老年人城市公园绿地感知各指标对绿地活动特征各指标的相对重要性及非线性关系进行进一步探究分析。

2 结果与分析

2.1 老年人绿地感知与绿地活动特征差异

问卷调查结果显示,参与者的性别比例分布较为均衡。从年龄分布来看,处在60~70岁的参与者占比最高,其次是71~80岁和81~90岁,而超过90岁的参与者占比最低。由此可以看出,样本群体以60~80岁的老年人为主,60~70岁年龄段的高参与率说明了该年龄段的老年人在公园绿地展开活动的积极

性更高(表2)。

通过SPSS 26.0软件对问卷结果进行平均值与标准差分析,得到老年人绿地感知特征情况(表3)。各项感知指标的平均值均在5以上,为较高水平,表明城市公园绿地在老年人中具有较高的吸引力和满意度,老年人普遍认为公园绿地是积极的、令人满意的空间。其中平均值最高的为空气质量,其次是生态环境质量,再次是可达性,最低为健身设施合理性。分析标准差可知,老年人对绿地感知指标的评价具有较高的一致性,标准差范围为1.12~1.54,属较低水平,表明老年人对绿地的满意度较为均衡,绿地感知在性别、年龄层上并没有呈现出太大的差异。

研究结果表明,老年人平均每周在绿地进行活动的次数接近6次,男性活动频率与时长均略高于女性。在年龄分布上,71~80岁的老年人每周活动频率与时长的平均值均最大。参与者每周在绿地中的活动时长的平均值超过了10 h,从标准差可以看出在活动时长上参与者之间的差异较大。老年人参与的绿地活动类型相对多样化。男性每周活动总量略高于女性,60~70岁年龄层的老年人活动总量最大,从每周活动总量的标准差可以看出个体间在活动总量上的差异极大,这可能与他们的健康状况、个人兴趣以及绿地可达性等因素有关(表4)。

2.2 Spearman相关性分析

变量之间的Spearman相关性分析结果表明大多数变量间的相关性呈现弱到中等程度(图1)。在绿地感知和每周活动频率的相关性分析中,12个自变量均与每周活动频率

呈现显著正相关，其中与每周活动频率相关性相对较强的自变量为空间归属感、空间依恋感、绿地品质、卫生情况、休憩设施合理性，相关性系数均大于 0.200。同样在和每周活动时长的相关性分析中，12 个自变量也均与之呈现显著正相关，其中与每周活动时长相关性较强的自变量为空间归属感和空间依恋感。在绿地感知和每周活动类型丰富度的相关性分析中，共有 4 个自变量与之呈现显著正相关，分别为空气质量、生态环境质量、卫生情况、声环境舒适性；2 个自变量与之呈现显著负相关，分别为空间归属感和健身设施合理性。在绿地感知和每周活动总量的相关性分析中，共有 11 个自变量与之呈现显著正相关，维护情况与每周活动总量无显著相关性，与之相关性相对较强的是空间归属感、空间依恋感、休憩设施合理性及可达性。

2.3 老年人绿地感知对绿地活动特征的相对重要性分析

分别以每周活动频率、每周活动时长、每周活动类型丰富度、每周活动总量为因变量，对相关性显著的指标进行模型构建，探究老年人绿地感知各指标对绿地活动特征各指标的相对重要性（表 5）及两者间的非线性关系。

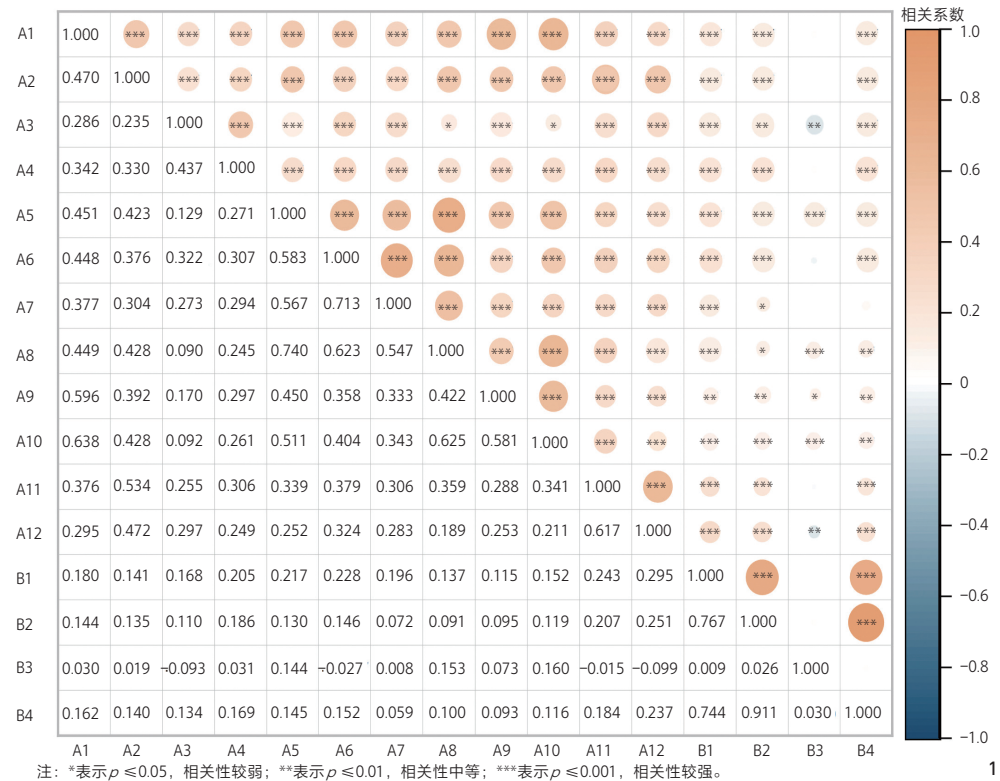
在影响老年人每周活动频率的绿地感知指标中，空间归属感的相对重要性最高，说明强烈的归属感促使老年人更频繁地访问绿地。空间依恋感和休憩设施合理性也是重要因素，说明情感依恋和合理的设施布局能有效促进老年人使用绿地。此外，空气质量和健身设施合理性相对重要性较高说明老年人对空气质量和健身设施有较高需求，而维护情况、生态环境和绿地品质的相对重要性相近。声环境舒适性和卫生情况对老年人绿地活动特征的影响较弱。

影响老年人每周活动时长的首要因素是生态环境质量，其次是空间归属感、绿地品质和空气质量，这表明良好的自然环境和较高的归属感能够显著提升老年人在公园进行活动的舒适度和意愿。空间依恋感和健身设施合理性通过增强情感联系和提供适宜的活动条件来影响老年人每周活动时长。安全感

表4 老年人绿地活动特征分析

Tab. 4 Analysis of the elderly's activity characteristics in green spaces

样本类型	平均值（标准差）			
	B1每周活动频率	B2每周活动时长	B3每周活动类型丰富度	B4每周活动总量
总样本	5.85 (3.02)	10.48 (9.83)	3.58 (1.46)	25.74 (24.27)
男	5.92 (2.90)	11.14 (10.35)	3.44 (1.41)	27.20 (25.78)
女	5.77 (3.16)	9.74 (9.15)	3.73 (1.50)	24.11 (22.36)
60~70岁	5.66 (2.98)	10.90 (11.43)	3.56 (1.47)	26.28 (26.37)
71~80岁	6.18 (3.02)	10.24 (7.77)	3.54 (1.46)	26.13 (23.22)
81岁及以上	5.84 (3.17)	9.34 (6.44)	3.71 (1.45)	22.63 (16.44)



1 双变量 Spearman 相关性分析
Bivariate Spearman correlation analysis

与休憩设施合理性保障了活动的舒适与安全。尽管可达性对每周活动时长的影响最小，但在城市规划中仍需重视。

每周活动类型丰富度的首要影响因素是空气质量，良好的空气质量极大提升了老年人参与绿地活动的意愿。声环境舒适性、生态环境质量、健身设施合理性和空间归属感对每周活动类型丰富度的影响均较大，且相对重要性数值相近，表明舒适的环境与合理的设施布局对活动多样性至关重要，而卫生情况对每周活动类型丰富度的影响较小。

在每周活动总量方面，生态环境质量是

老年人绿地感知指标中对每周活动总量影响最大的因素，表明绿地的生态质量直接影响老年人活动量。其次是空间归属感，它增强了老年人与绿地的情感联系。休憩设施合理性、安全感和健身设施合理性对每周活动总量的影响也较为重要，表明安全性与设施的合理性是支持长时间活动的关键。声环境舒适性和绿地品质对每周活动总量的相对重要性也相对较高，强调了噪声控制和环境质量的重要性。卫生情况和可达性对每周活动总量的影响较小。

综上所述，空间归属感、生态环境质量、

表5 老年人绿地感知对绿地活动特征的相对重要性
Tab. 5 Relative importance of the elderly's perception of green spaces to their activity characteristics in green spaces

变量	模型1: B1每周活动频率		模型2: B2每周活动时长		模型3: B3每周活动类型丰富度		模型4: B4每周活动总量	
	排序	相对重要性/%	排序	相对重要性/%	排序	相对重要性/%	排序	相对重要性/%
A1可达性	10	6.9	12	4.7			11	6.3
A2安全感	9	7.1	7	7.6			4	9.7
A3健身设施合理性	5	8.0	6	8.6	4	17.0	5	9.7
A4休憩设施合理性	3	8.8	8	7.4			3	9.8
A5卫生情况	12	6.7	11	6.0	6	13.0	10	6.7
A6绿地品质	8	7.5	3	9.4			7	9.1
A7维护情况	6	7.9	9	6.9				
A8生态环境质量	7	7.5	1	14.0	3	17.0	1	11.1
A9声环境舒适性	11	6.7	10	6.8	2	17.0	6	9.4
A10空气质量	4	8.4	4	9.2	1	18.0	9	8.7
A11空间依恋感	2	10.0	5	8.6			8	8.9
A12空间归属感	1	14.0	2	11.0	5	17.0	2	10.7

注：空白表示该模型无此变量。

空气质量、休憩设施合理性、健身设施合理性和绿地品质是综合影响老年人绿地活动特征的关键因素。

2.4 老年人城市公园绿地感知对绿地活动特征的非线性影响

2.4.1 绿地感知对每周活动频率的影响

本研究发现多数绿地感知指标与老年人在城市公园绿地中的每周活动频率存在显著的非线性关系，根据相对重要性排序，选取前6个关键指标进行分析（图2）。结果表明空间归属感对每周活动频率的影响整体呈上升趋势，在空间归属感评分为4时，每周活动频率有所下降，后又稳健上升。每周活动频率与空间依恋感的关系呈平缓递增趋势，在空间依恋感评分为7时，每周活动频率达到峰值，为6.1次/周，表明空间归属感与空间依恋感对提高老年人在城市绿地中每周活动频率的积极作用。休憩设施合理性对每周活动频率的影响呈现先快速增长后放缓的趋势，当休憩设施合理性评分超过3后，每周活动频率增速减缓甚至略有下降，可能由于布局合理的休憩设施吸引了过多的人，从而造成拥挤等情况，降低了老年人的绿地活动意愿与每周活动频率。空气质量对每周活动频率的影响呈缓慢上升趋势，空气质量评分为6时，每周活动频率达到峰值6.0次/周，表

明改善空气质量能增加户外活动频率。相比之下，健身设施合理性与维护情况对每周活动频率的影响较小，健身设施合理性与维护情况评分增加时，每周活动频率仅略微上升。

2.4.2 绿地感知对每周活动时长的影响

大多数绿地感知变量与老年人每周活动时长有显著的非线性关系，根据相对重要性排序，选取前6个关键指标进行分析（图3）。生态环境质量对每周活动时长的影响呈现先增长后下降的倒U型趋势，生态环境质量评分从2增加至5时，每周活动时长从12.5 h增加至14.5 h，随后下降至9.7 h，表明生态环境质量改善到一定程度后对每周活动时长的促进作用减弱。空间归属感在评分为4~7时显著促进活动时长的增加，反映了安全感和满意度对户外活动的积极作用。绿地品质对每周活动时长影响呈递增趋势，表明高质量绿地能有效增加老年人绿地活动时间。空气质量对每周活动时长影响整体上呈递增趋势，当空气质量评分为6时，每周活动时长达峰值，为10.8 h，表明空气质量对户外活动的积极影响。健身设施合理性对每周活动时长影响呈U型变化，当健身设施合理性评分为2时，每周活动时长最短，当健身设施合理性评分为7时，每周活动时长达12 h，表明适度优化设施布局能增加活动时长。此

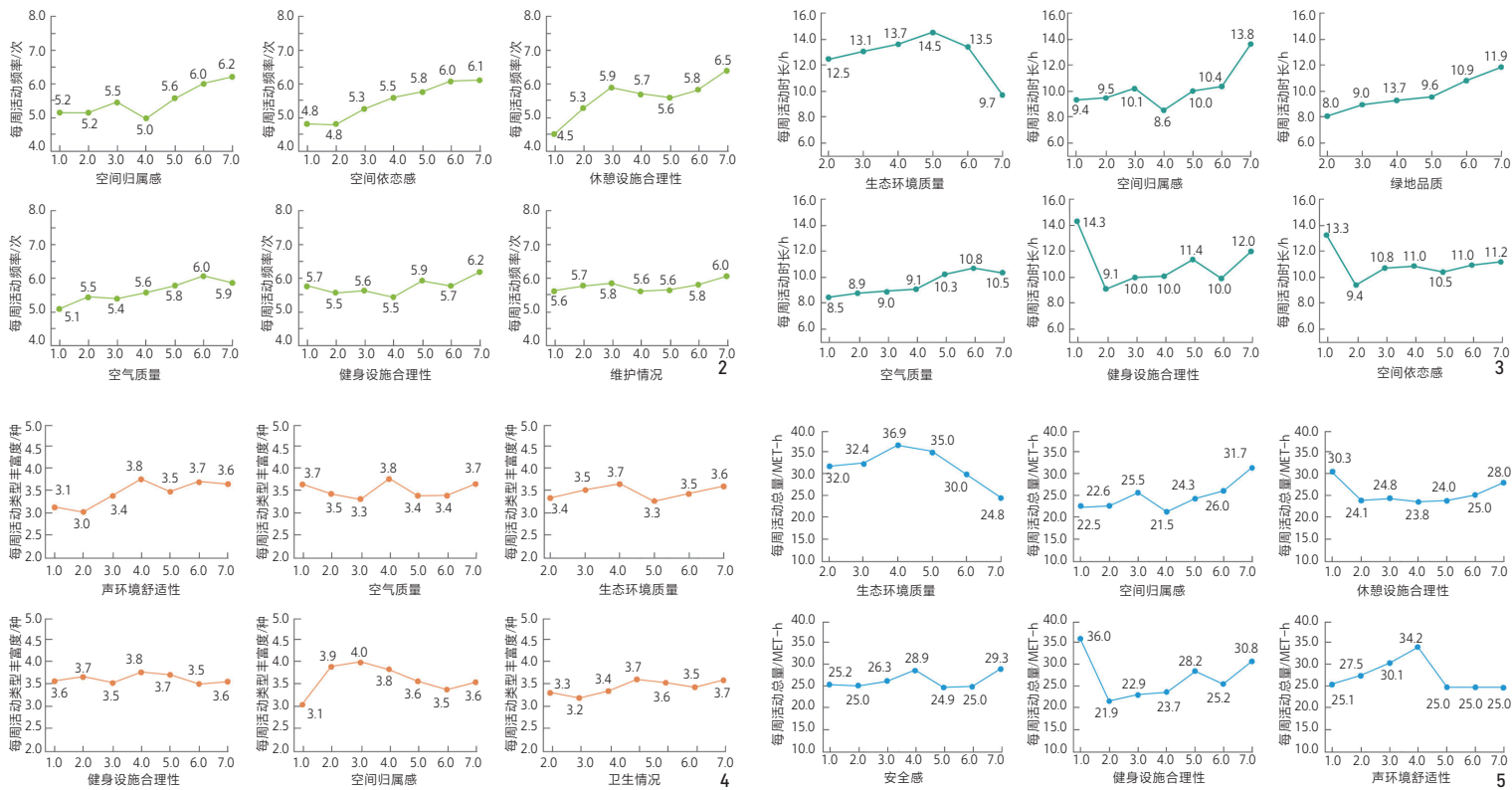
外，空间依恋感与活动时长呈先下降后上升的复杂动态关系。

2.4.3 绿地感知对每周活动类型丰富度的影响

所有绿地感知指标与老年人每周活动类型丰富度均存在非线性关系，根据变量的相对重要性，选取前6个关键指标进行分析（图4）。声环境舒适性评分从2增至4时，活动类型丰富度从3增至3.8，随后趋于稳定，表明良好的声环境对活动多样性具有积极的影响。空气质量评分为4时每周活动类型丰富度最高，为3.8种，表明适中的空气质量对每周活动类型丰富度有正面影响。生态环境质量、健身设施合理性和卫生情况对每周活动类型丰富度的影响较小，评分增加时每周活动类型丰富度变化不大，表明这些因素对每周活动类型丰富度的影响有限。空间归属感对每周活动类型丰富度的影响呈先上升后下降的趋势，评分为3时每周活动类型丰富度达到峰值，为4.0种，随后空间归属感下降至评分为6时，每周活动类型丰富度再次上升，表明提升空间归属感对每周活动类型丰富度提高的促进作用存在阶段性差异，可能是由于空间归属感提升造成了老年人探索新活动的意愿下降。

2.4.4 绿地感知对每周活动总量的影响

所有绿地感知指标与老年人每周活动总量呈现显著非线性关系，根据相对重要性排序，选取前6个关键指标进行分析（图5）。生态环境质量与每周活动总量的关系呈现出倒U型关系，当生态环境质量评分从2增至4时，每周活动总量从32 MET-h增至峰值36.9 MET-h，随后下降，表明生态环境质量的初步改善能提升活动总量，但持续改善对活动总量的促进作用逐渐减弱。空间归属感评分从4升至7时，每周活动总量逐步上升，当空间归属感评分为7时，每周活动总量达到峰值31.7 MET-h，说明归属感与每周活动总量整体上呈正相关。随着休憩设施合理性、安全感评分的增加，每周活动总量无明显变化。健身设施合理性对每周活动总量的影响呈先下降后上升趋势，评分为2时每周活动总量最小，评分逐步增加后每周活动总量有所提升，表明健身设施对每周活动总量的促



进作用较为复杂。声环境舒适性评分呈现先增长后下降的趋势，声环境舒适性评分为4时，每周活动总量为34.2 MET-h，声环境舒适性评分超过4后，每周活动总量下降并趋于稳定。

3 讨论

3.1 老年人绿地情感感知对绿地活动特征的影响

在老年人绿地感知指标中，空间归属感、空间依恋感、安全感均属于绿地情感感知指标，对老年人城市公园绿地活动具有不同程度的影响。其中，空间归属感对老年人绿地活动的影响较为显著，尤其体现在每周活动频率和时长方面。在感知到较强的归属感时，老年人更愿意频繁访问并长时间停留于绿地中，可能是归属感增强了老年人与公园之间的心理联结，使其更愿意将公园视为日常生活的重要组成部分。恋地情结（topophilia）

理论^[30]指出，恋地情结不仅影响人们对环境的态度的，还可能把情感转化为具体的环境行为。本研究验证了这一观点，同时也进一步验证了对公共空间依恋感与归属感能显著提升绿地使用频率、延长停留时间^[10, 31]。然而，空间归属感的提升可能因场地空间多样性不足而受限。例如，一些公园缺乏满足不同文化背景、兴趣爱好的老年人需求的专属场地，导致部分群体归属感偏低。此外，本研究也验证了安全感能够通过提升老年人的心理舒适度来鼓励老年人更积极地参与户外活动^[32]。

3.2 老年人绿地物理环境感知对绿地活动特征的影响

可达性、卫生情况、绿地品质、维护情况、生态环境质量、声环境舒适性、空气质量均属于绿地物理环境感知指标。其中，生态环境质量对老年人绿地活动的倒U型效应表明，适度优化生态环境质量能促进活动的开展，但过度优化可能导致空间拥挤或功能

性下降。这种现象可能与绿地的使用体验有关。当空间过度拥挤或功能失衡时，老年人可能会选择减少停留时间或使用其他活动场所。Keskinen等也发现了关于生态环境质量与户外活动关系的具体动态机制^[33]。这表明城市绿地更新应综合考虑各因素，如便利性和功能性等。绿地品质与老年人每周活动频率和时长的正相关关系表明，优质的绿地环境能显著提升老年人的活动积极性。这一发现与现有研究成果一致^[22]，随着绿地品质提高，老年人不仅增加了绿地访问频率，还愿意延长停留时间。此外，空气质量和声环境舒适性改善对老年人绿地活动特征的积极作用强调了舒适环境对老年人城市公园绿地活动的促进作用。Yu等发现空气质量差会显著减少老年人参与户外活动的频率^[34]。与此同时，声环境舒适性的研究结果显示，适度的自然声音有助于丰富老年人活动类型，而交通噪声则可能限制其户外活动频率。这也验证了

Dzhambov 等^[35]的观点,噪声会通过增加烦恼感、降低邻里环境的恢复质量,进而减少老年人的户外活动频率。

3.3 老年人绿地设施感知对活动的影响

健身设施合理性、休憩设施合理性均属于老年人绿地设施感知指标。本研究发现,健身设施的合理性不仅增加了老年人的活动频率,还提升了活动总量。这可能是因为健身设施的合理性能为老年人提供明确的活动目标,减少活动时的不确定性和潜在风险。这一发现进一步验证了相关研究^[36]。同时,随着休憩设施合理性的增加,老年人活动频率也呈现增长状态。这可能是由于休憩设施合理性的提升为老年人提供了舒适的休息场所,增强了其长时间参与活动的信心和耐力。健身设施和休憩设施的合理性对老年人活动的促进作用进一步验证了设施设计的重要性。然而,设施的使用效果可能因功能设计和维护水平的不同而存在显著差异。

3.4 城市公园优化提升策略

首先,在老年人绿地情感感知指标中,空间归属感对绿地活动特征的影响较大。因此未来城市公园规划应更注重加强老年人与空间之间的情感联结,例如,通过定制化设计和社交活动场地营造提升老年人对公园的情感认同,从而促进他们更积极地参与户外活动。同时,通过增设照明设施、提升治安管理水平来增强老年人在绿地空间中的安全感。

其次,城市绿地的物理环境感知指标中,生态环境质量、空气质量与绿地品质对绿地活动特征产生了较大影响。城市绿地更新应更注重生态环境质量的平衡性设计,通过增加植被覆盖和优化景观设计提升绿地吸引力;应合理规划交通流线和功能分区,以减少拥挤等潜在不良体验对老年人活动时长、频率等产生的消极影响。在设计中应特别关注空气质量和噪声,尤其是在交通繁忙的城市区域,应通过适当的屏障设计降低噪声对绿地的干扰。此外,提升绿地的整体环境质量对于吸引老年人进行更长时间的活动以及参与更多类型的活动至关重要。

最后,未来设计中应进一步细化健身设施和休憩设施的功能性研究。例如,结合老

年人行为偏好和健康需求优化设施类型和分布;为不同健康水平的老年人提供多样化选择,如设置低强度锻炼器材和多样化的休憩空间,以实现更大的包容性和灵活性。总体而言,在公园设计和更新中,需特别注重增强老年人与绿地的情感联结,通过提供舒适的生态环境和合理的健身、休憩设施,促使老年人更积极地使用绿地,进而促进老年人健康与社会福祉。

4 结论与展望

4.1 结论

本研究通过调查分析福州市 5 个城市公园的老年人绿地感知及绿地活动特征数据,运用 XGBoost 模型揭示了老年人绿地感知与绿地活动特征之间的非线性关系,弥补了传统线性分析模型的不足。结果表明,空间归属感、生态环境质量、空气质量、休憩设施合理性、健身设施合理性和绿地品质是影响老年人绿地活动特征的重要因素。其中,空间归属感对老年人活动频率和时长的影响最为显著;生态环境质量对每周活动时长、每周活动总量的影响呈现出倒 U 型效应;空气质量和声环境的改善对活动频率和多样性的提升具有重要作用。健身设施及休憩设施的合理布局和维护对活动时长和类型丰富度也具有多重影响。

在理论层面,本研究明确了各绿地感知指标对老年人绿地活动特征的权重及边际效应,阐明了老年人绿地感知与绿地活动特征之间的复杂机制,为理解老年人绿地活动的驱动机制提供了新的理论视角,拓展了环境舒适度与绿地活动特征关联性的研究框架。在实践层面,本研究的结果为城市公园绿地的适老化设计与优化提供了科学依据与具体指导,对政策制定和城市规划具有重要参考意义。

4.2 展望

尽管本研究有效揭示了老年人绿地感知与绿地活动特征之间复杂的非线性关系,为老年人的绿地使用提供了科学依据,但仍存在局限性。本研究采用了 XGBoost 模型来分析数据,但模型的解释能力可能受到特征选

择和样本量的限制,未来研究可以通过扩大样本量和纳入更多可能影响老年人绿地活动特征的变量来提高模型的解释力。由于数据的时间和区域限制,未来研究应进行多季节和跨区域对比,从动态视角探索老年人绿地使用行为的变化规律,追踪老年人绿地感知与绿地活动特征的长期关系,以进一步验证和推广研究结论。

致谢 (Acknowledgments):

感谢福建理工大学建筑与城乡规划学院刘群副教授对本文的指导,感谢福建农林大学风景园林与艺术学院硕士研究生蔡宜静、张慧敏等同学在问卷调查方面给予的帮助。

参考文献 (References):

- [1] HUANG B S, HUANG C Y, FENG Z Q, et al. Association Between Residential Greenness and General Health Among Older Adults in Rural and Urban Areas in China[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 59: 126907.
- [2] JIANG H, LIU Z X. Community Home Elderly Care Services, Multi-dimensional Health and Social Participation of Chronically Ill Elderly-Empirical Analysis Based on Propensity Score Matching and Multiple Mediation Analysis[J]. Frontiers in Public Health, 2023, 11: 1121909.
- [3] ENSSLE F, KABISCH N. Urban Green Spaces for the Social Interaction, Health and Well-Being of Older People: An Integrated View of Urban Ecosystem Services and Socio-environmental Justice[J]. Environmental Science & Policy, 2020, 109: 36-44.
- [4] PARK K. Park and Neighborhood Attributes Associated with Park Use: An Observational Study Using Unmanned Aerial Vehicles[J]. Environment and Behavior, 2020, 52 (5): 518-543.
- [5] 赵晓龙, 邱璇, 徐靖然, 等. 绿色空间中使用行为与环境认知研究方法综述[J]. 风景园林, 2020, 27 (3): 56-62.
- [6] ZHAO X L, QIU X, XU J R, et al. Review of Research Methods for Green Spatial Behavioral Activities and Environmental Cognition[J]. Landscape Architecture, 2020, 27 (3): 56-62.
- [7] TAN Z, LAU K K, ROBERTS A C, et al. Designing Urban Green Spaces for Older Adults in Asian Cities[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16 (22): 4423.
- [8] LAU K K, YUNG C C, TAN Z. Usage and Perception of Urban Green Space of Older Adults in the High-Density City of Hong Kong[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 64: 127251.
- [9] 罗立杰, 丁晨旸, 王纪云, 等. 基于结构方程模型的城市公园绿地适老性评价[J]. 科学技术与工程, 2022, 22 (23): 10230-10237.
- [10] LUO L J, DING C Y, WANG J Y, et al. Evaluation of Adaptation of Urban Park Green Space for the Elderly on Structural Equation Model[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22 (23): 10230-10237.
- [11] LI J T, AN X Q, LI Q Y, et al. Application of XGBoost Algorithm in the Optimization of Pollutant Concentration[J]. Atmospheric Research, 2022, 276: 106238.

[10] 赵怡霖, 王兰爽, 陈兰双, 等.社区绿化感知特征与老年人主观幸福感: 社区依恋的中介作用和家庭亲密度的调节作用[J].心理与行为研究, 2023, 21 (5): 682-690.

ZHAO Y L, WANG L S, CHEN L S, et al. Perceived Characteristics of Neighborhood Greening and Subjective Well-Being of the Elderly: The Mediating Effect of Neighborhood Attachment and the Moderating Effect of Family Cohesion[J]. Studies of Psychology and Behavior, 2023, 21 (5): 682-690.

[11] COHEN D A, MARSH T, WILLIAMSON S, et al. Parks and Physical Activity: Why Are Some Parks Used More Than Others?[J]. Preventive Medicine, 2010, 50: S9-S12.

[12] SUGIYAMA T, THOMPSON C W. Older People's Health, Outdoor Activity and Supportiveness of Neighbourhood Environments[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 83 (2-3): 168-175.

[13] 周卫, 范少贞, 闫晨, 等.城市公园老年人休闲活动参与度对幸福感的影响机制[J].风景园林, 2023, 30 (7): 109-116.

ZHOU W, FAN S Z, YAN C, et al. Influencing Mechanism of Leisure Participation on Well-Being of the Elderly in Urban Parks[J]. Landscape Architecture, 2023, 30 (7): 109-116.

[14] KWEON B S, SULLIVAN W C, WILEY A R. Green Common Spaces and the Social Integration of Inner-City Older Adults[J]. Environment and Behavior, 1998, 30 (6): 832-858.

[15] 郑凌予, 王华嵩, 伍夏, 等.基于邻里空间感知的老年人群绿地活动水平比较研究: 以重庆典型社区为例[J].园林, 2022, 39 (8): 45-52.

ZHENG L Y, WANG H S, WU X, et al. A Comparative Study on Green Space Activity Level of Elderly People in Open and Closed Communities Based on Neighborhood Space Perception: A Case Study of Downtown Chongqing[J]. Landscape Architecture Academic Journal, 2022, 39 (8): 45-52.

[16] LI Y Y, YATSUYA H, HANIBUCHI T, et al. Positive Association of Physical Activity with Both Objective and Perceived Measures of the Neighborhood Environment Among Older Adults: The Aichi Workers' Cohort Study[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17 (21): 7971.

[17] PETERSEN E, SCHOEN G, LIEDTKE G, et al. Relevance of Urban Green Space for Physical Activity and Health-Related Quality of Life in Older Adults[J]. Quality in Ageing and Older Adults, 2018, 19 (3): 158-166.

[18] 郑凌予, 杨淑梅, 伍夏, 等.基于空间感知的社区绿色暴露指数对活动行为影响研究[J].中国园林, 2023, 39 (1): 92-97.

ZHENG L Y, YANG S M, WU X, et al. Study on the Impact of Community Green Exposure Index on Activity Behavior Based on Spatial Perception[J]. Chinese Landscape Architecture, 2023, 39 (1): 92-97.

[19] WILT G E, ROSCOE C J, HU C R, et al. Minute Level Smartphone Derived Exposure to Greenness and Consumer Wearable Derived Physical Activity in a Cohort of US Women[J]. Environmental Research, 2023, 237: 116864.

[20] HUANG X Q, MA W P, LAW C, et al. Importance of Applying Mixed Generalized Additive Model (MGAM) as a Method for Assessing the Environmental Health Impacts: Ambient Temperature and Acute Myocardial Infarction (AMI), Among Elderly in Shanghai, China[J]. PLoS One, 2021, 16 (8): e0255767.

[21] 杨红, 申犁帆, 胡议文, 等.老年人地铁出行时空特征

及与建成环境非线性关系: 以武汉市为例[J].地理科学进展, 2023, 42 (3): 491-504.

YANG H, SHEN L F, HU Y W, et al. Spatial and Temporal Characteristics of Elderly People's Metro Travel Behavior and Its Non-linear Relationship with the Built Environment: A Case Study of Wuhan City[J]. Progress in Geography, 2023, 42 (3): 491-504.

[22] 王小月, 杨东峰.建成环境如何影响老年人绿地使用频率: 基于可达性和吸引力双重视角[J].中国园林, 2020, 36 (11): 62-66.

WANG X Y, YANG D F. How the Built Environment Affect the Frequency of Green Space Used by the Elderly: Based on the Dual Perspective of Accessibility and Attractiveness[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36 (11): 62-66.

[23] 吴莞姝, 马子迎, 郭金函, 等.建成环境对街道活力的非线性效应: 基于 XGBoost 模型的多源大数据分析[J].中国园林, 2022, 38 (12): 82-87.

WU W S, MA Z Y, GUO J H, et al. Nonlinear Effect of Built Environment on Street Vitality: A Multi-source Big Data Analysis Based on XGBoost Model[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38 (12): 82-87.

[24] GRAHN P, STIGSDOTTER U K. The Relation Between Perceived Sensory Dimensions of Urban Green Space and Stress Restoration[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94 (3-4): 264-275.

[25] 王梓豪, 刘艳芳, 罗璇, 等.基于多源数据的城市活力与建成环境非线性关系研究: 以双休日武汉市主城区为例[J].地理科学进展, 2023, 42 (4): 716-729.

WANG Z M, LIU Y F, LUO X, et al. Nonlinear Relationship Between Urban Vitality and the Built Environment Based on Multi-source Data: A Case Study of the Main Urban Area of Wuhan City at the Weekend[J]. Progress in Geography, 2023, 42 (4): 716-729.

[26] 陈春, 唐弋.建成环境对老年行人出行安全的非线性影响研究: 以重庆市渝中区为例[J].科学技术与工程, 2023, 23 (16): 7112-7119.

CHEN C, TANG Y. Nonlinear Effects of Built Environment on Travel Safety of the Elderly Pedestrians: A Case in Yuzhong District, Chongqing[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23 (16): 7112-7119.

[27] 邱俊强, 杨俊超, 路明月, 等.中国健康成年人身体活动能量消耗参考值[J].中国运动医学杂志, 2022, 41 (5): 335-349.

QIU J Q, YANG J C, LU M Y, et al. Compilation of Physical Activities of Healthy Chinese Adults: Reference Values for Energy Expenditure[J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2022, 41 (5): 335-349.

[28] WU Y J, ZHOU W, ZHANG H M, et al. Relationships Between Green Space Perceptions, Green Space Use, and the Multidimensional Health of Older People: A Case Study of Fuzhou, China[J]. Buildings, 2024, 14 (6): 1544.

[29] 戴颖宜, 朱战强, 周素红.绿色空间对休闲性体力活动影响的社区分异: 以广州市为例[J].热带地理, 2019, 39 (2): 237-246.

DAI Y Y, ZHU Z Q, ZHOU S H. The Effects of Green Space on Leisure Time Physical Activities from the Perspective of Community Differentiation: A Case Study of Guangzhou, China[J]. Tropical Geography, 2019, 39 (2): 237-246.

[30] TUAN Y F. Topophilia: A Study of Environmental Perception, Attitudes, and Values[M]. New York: Columbia University Press, 1990.

[31] 吴蓉, 潘卓林, 李志刚, 等.城市绿地对居民地方依恋

的影响研究: 以广州市为例[J].地理科学进展, 2021, 40 (3): 441-456.

WU R, PAN Z L, LI Z G, et al. Effect of Green Space on Residents' Place Attachment: A Case Study of Guangzhou City[J]. Progress in Geography, 2021, 40 (3): 441-456.

[32] 于文婷, 朴正浩, 张玲玲, 等.住区建成环境对老年人生活品质影响的实证研究: 以大连市既有住区为例[J].西部人居环境学刊, 2024, 39 (2): 15-20.

YU W T, PIAO Z H, ZHANG L L, et al. An Empirical Study on the Impact of Residential Built Environment on the Quality of Life of Older People: A Case Study of Existing Residential Areas in Dalian[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2024, 39 (2): 15-20.

[33] KESKINEN K E, RANTAKOKKO M, SUOMI K, et al. Nature as a Facilitator for Physical Activity: Defining Relationships Between the Objective and Perceived Environment and Physical Activity Among Community-Dwelling Older People[J]. Health & Place, 2018, 49: 111-119.

[34] YU S W, GUO N, ZHENG C M, et al. Investigating the Association Between Outdoor Environment and Outdoor Activities for Seniors Living in Old Residential Communities[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18 (14): 7500.

[35] DZHAMBOV A M, MARKEVYCH I, TILOV B, et al. Pathways Linking Residential Noise and Air Pollution to Mental Ill-Health in Young Adults[J]. Environmental Research, 2018, 166: 458-465.

[36] 申依宁.老年人冬季绿地活动情况与心理健康关系研究: 以石家庄市典型社区公园为例[J].石家庄职业技术学院学报, 2023, 35 (4): 42-46.

SHEN Y N. The Relationship Between Activities in Green Space and Mental Health of the Elderly in Winter[J]. Journal of Shijiazhuang University of Applied Technology, 2023, 35 (4): 42-46.

图表来源(Sources of Figures and Tables):
文中图表均由作者绘制。

(编辑 / 李禹潺 边紫琳)

作者简介:

吴元晶 / 女 / 福建农林大学风景园林与艺术学院在读博士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计

游永熠 / 男 / 硕士 / 广东省城乡规划设计研究院有限责任公司规划二所工程师 / 研究方向为城市视觉智能

周卫 / 男 / 福建农林大学风景园林与艺术学院在读博士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计

兰思仁 / 男 / 博士 / 福建农林大学校长 / 福建农林大学风景园林与艺术学院教授、博士生导师 / 研究方向为风景园林规划与设计、国家公园
通信作者邮箱: lkzx@fafu.edu.cn

WU Y J, YOU Y Y, ZHOU W, LAN S R. Nonlinear Relationship Between the Elderly's Perception of Green Spaces and Their Activity Characteristics[J]. Landscape Architecture, 2025, 32(5): 96-104. DOI: 10.3724/j.fjyl.202409200552.

Nonlinear Relationship Between the Elderly's Perception of Green Spaces and Their Activity Characteristics

WU Yuanjing, YOU Yongyi, ZHOU Wei, LAN Siren*

Abstract:

[Objective] Urban parks, as essential components of urban green spaces, serve as important venues for the elderly, supporting both physical and mental well-being. Compared to other age groups, the elderly show a higher demand for engaging in activities within green spaces, and their perception of these environments plays a key role in shaping their activity patterns. Understanding how these perceptions influence behavior is crucial for addressing the needs of aging populations in rapidly urbanizing societies. While previous studies have examined the influence of green spaces on the elderly, most have emphasized objective environmental characteristics — such as vegetation coverage, facility distribution, and spatial accessibility — while largely overlooking subjective perceptions that often guide behavior more directly. Subjective experiences such as comfort, attachment, and satisfaction with environmental quality may serve as critical mediators between green space features and health-promoting behaviors. To address this gap, this research employs the extreme gradient boosting (XGBoost) model to investigate the nonlinear relationship between the elderly's perception of urban park green spaces and their activity characteristics, aiming to inform age-friendly park design and evidence-based green space planning strategies.

[Methods] This research is based on 779 valid questionnaires collected from five representative urban parks in Fuzhou, a city experiencing rapid demographic aging and urban expansion. The independent variable — the elderly's perception of green spaces — includes 12 key indicators: accessibility, safety, rationality of fitness and recreational facilities, sanitation, green space quality, maintenance, ecological environment, acoustic comfort, air quality, sense of attachment, and sense of place. These factors are measured using a standardized 7-point Likert scale, ensuring comparability and internal consistency. The dependent variable covers four dimensions of activity level: weekly activity frequency, average activity duration, diversity of activity types, and total weekly activity amount. Descriptive statistics and Spearman correlation analyses are conducted using Excel 2013 and SPSS 26.0 to identify initial associations between variables. Based on significant correlations, an interpretable XGBoost machine learning model is constructed to explore variable importance and detect potential nonlinear relationships between perception indicators and activity outcomes.

[Results] 1) The elderly generally hold positive perceptions of park environments, particularly in terms of air quality and the ecological environment, indicating a high baseline satisfaction with environmental conditions in the research areas. Differences in perception across gender and age subgroups are found to be minimal, suggesting that subjective evaluations of park environments are relatively consistent among demographic segments. In contrast, total activity levels show substantial variation, which may be attributed to individual factors such as physical condition, recreational preferences, social habits, and park accessibility. 2) Among the perception indicators, sense of place and sense of attachment emerges as the strongest predictors of activity frequency, underscoring the psychological dimensions of green space use. Ecological environment and green space quality significantly influence activity duration, reflecting the importance of natural aesthetics and environmental quality in sustaining longer park visits. Air quality is found to be the most influential factor driving activity diversity, while ecological

environment has the greatest overall impact on total activity engagement. 3) The XGBoost model reveals significant nonlinear relationships between perception indicators and all four activity measures. Sense of place, ecological environment, and green space quality shows the most robust effects. Notably, the ecological environment exhibits an inverted U-shaped influence, indicating that while moderate improvements in ecological features promote engagement, excessive environmental complexity or overdesign may reduce activity levels beyond a certain threshold. Additionally, air quality and acoustic comfort play important roles in enhancing activity frequency and diversity, highlighting the value of environmental comfort for encouraging outdoor participation among the elderly.

[Conclusion] This research demonstrates the effectiveness of the XGBoost model in capturing the complex and nonlinear associations between the elderly's perception of green spaces and their activity behaviors. Key influencing factors include sense of place, ecological environment, air quality, rationality of park facilities, and overall green space quality. The findings show that both insufficient and excessive facility provision may suppress activity participation, pointing to the need for balanced design strategies. These results contribute to a broader theoretical understanding of how subjective environmental perceptions shape behavioral patterns among the elderly. The research also emphasizes the practical relevance of environmental comfort — particularly air and acoustic quality — in facilitating diverse and frequent outdoor activities. Despite limitations in sample coverage and cross-sectional design, this research provides valuable insights and empirical evidence for optimizing the design and renovation of age-friendly parks. It also lays a methodological foundation for future longitudinal and cross-regional studies exploring behavioral responses to green space interventions. Ultimately, this research supports the high-quality development of urban green spaces and advances policy goals centered on healthy aging and sustainable urban living.

Keywords: urban park; the elderly; green space perception; green space activity; nonlinear relationship; XGBoost

Authors:

WU Yuanjing is a Ph.D. candidate in the College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University. Her research focuses on landscape planning and design.

YOU Yongyi, Master, is an engineer in Guangdong Urban-Rural Planning and Design Research Institute Technology Group Co., Ltd. His research focuses on urban visual intelligence.

ZHOU Wei is a Ph.D. candidate in the College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University. His research focuses on landscape planning and design.

LAN Siren, Ph.D., is president of Fujian Agriculture and Forestry University, and a professor and doctoral supervisor in the College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University. His research focuses on landscape planning and design, and national parks.

Corresponding author Email: lkzx@fafu.edu.cn