

郭华贵, 张铭桓, 万博宇, 洪昕晨. 基于机器学习的街道环境色彩对老年人愉悦感知的影响研究[J]. 风景园林, 2025, 32 (8): 119-127.

基于机器学习的街道环境色彩对老年人愉悦感知的影响研究

郭华贵 张铭桓 万博宇 洪昕晨*

摘要: 【目的】街道是老年人日常活动的重要生活空间, 设计适应老年人健康需求的街道环境色彩, 对于推进“积极应对人口老龄化”和“健康中国”两大战略至关重要。然而, 街道环境色彩与老年人愉悦感知之间的关联机理尚缺乏系统性研究。【方法】以福州市主城区为案例地, 融合街景图像、TrueSkill 算法、机器学习等手段, 量化街道环境色彩和老年人愉悦感知; 基于随机森林模型, 解析街道环境色彩对老年人愉悦感知的非线性影响和交互作用。【结果】1) 色彩亮度对老年人愉悦感知的影响最大 (负向效应), 而色彩协调度和复杂度具有正向促进作用; 2) 街道环境色彩与老年人愉悦感知呈现 U 形、倒 U 形、S 形等多类型非线性关系, 并存在阈值效应; 3) 街道环境色彩交互具有促进与削弱老年人愉悦感知的双重机制, 具有正向促进和反向削弱的交互作用。【结论】从非线性视角明确了街道环境色彩对老年人愉悦感知的边际效应和交互作用, 丰富了街景大数据和机器学习技术在街道尺度的应用。同时, 为以老年友好为导向的街道更新及城市色彩规划实施, 提供色彩优化调控的关键要素及有效干预区间。

关键词: 健康城市; 建成环境; 情绪感知; 非线性关系; 随机森林

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目“街道建成环境对老年人安全感知的影响及其优化研究——基于多元时间序列数据的分析”(编号 52308055)

中图分类号: TU981; TU984 **文章编号:** 1673-1530(2025)08-0119-09 **收稿日期:** 2024-12-12

文献标识码: A **DOI:** 10.3724/j.fjyl.LA20250042 **修回日期:** 2025-06-17

文章亮点:

- 1、以城市街道为切入点, 探索“微观尺度”上环境色彩与老年人情绪感知之间的内在关系, 深化了人与街道环境交互作用的科学认知, 推动了健康城市规划理论发展, 响应了“健康中国”和“积极应对人口老龄化”两大战略。
- 2、运用随机森林算法构建模型, 揭示街道环境色彩维度中亮度、饱和度、复杂度等变量与老年人愉悦感知的多类型非线性关系及交互作用机制, 辨识老年友好导向的色彩调控关键要素及有效干预区间, 为未来街道更新和色彩规划提供科学依据和实践指引。

自 20 世纪 90 年代以来, 全球城市化进程加速、经济迅速发展、人口老龄化加剧, 促使学界愈发关注城市环境对老年人身心健康的影响。进入 21 世纪, 中国老龄化进程显著加快, 预计将成为人口老龄化速度最快的国家之一。第七次全国人口普查数据显示, 2020 年 60 岁及以上人口占比已达 18.7%^[1]。在此背景下, 中共中央制定了《“健康中国 2030”规划纲要》和《“十四五”健康老龄化规划》等政策, 旨在推进健康城市建设, 保障老年人心理和生理健康^[2]。愉悦感知是指个体在特定时刻或短时间内的积极情绪体验, 与心理、生理健康密切相关, 通常受环境要素影响, 可作为反映即时情绪健康水平的重要指标^[3]。与其他年龄群体相比, 老年人由于身体机能和认知能力的退化, 对情绪波动和环境变化的感知愈加敏感。在应对老龄化社会带来的心理生理双重挑战时, 愉悦情绪能够有效提升老年人的心理韧性, 缓解孤独感与压力^[4]。因此, 关注老年人的愉悦感知及其

受影响的环境要素, 对于响应“健康中国”战略和应对人口老龄化挑战具有重要意义。

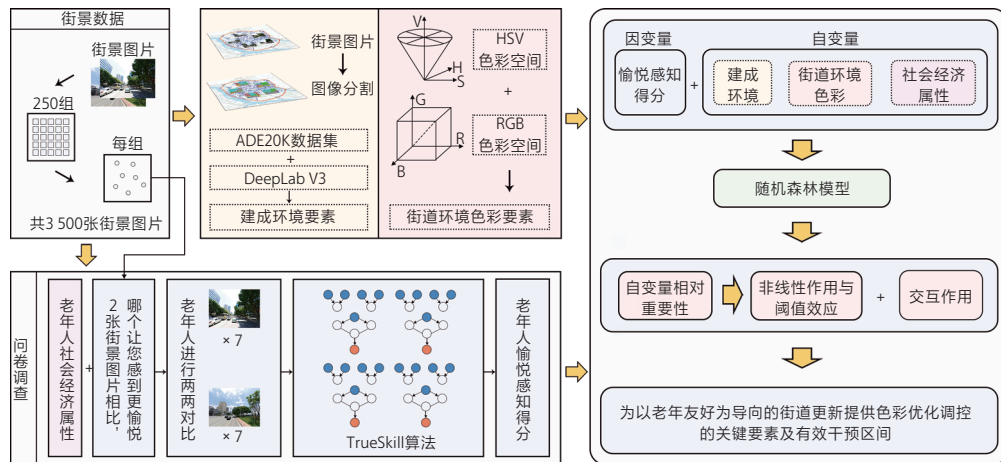
首先, 色彩作为环境中的关键视觉要素, 对愉悦感知的积极作用已被广泛证实^[5-6]。合理的色彩设计能够营造舒适的环境氛围, 提升老年人的愉悦感知^[7-9]。例如, 庄旂旒等指出居住区绿地中的植物色彩对老年人的社交行为具有显著影响^[10]; 袁青等提出合理的色彩设计能促进老年人对寒地滨江空间的环境感知^[11]; 岳亚飞等的研究表明, 蓝绿空间的色彩特征能提升老年人的愉悦感知, 促进社交互动, 进而影响心理健康水平^[12]。然而, 现有研究多聚焦室内环境 (如家庭、养老院等) 和局部外部环境 (如公园、植物园等)^[13-16], 对街道空间的色彩应用关注较少。街道空间是老年人进行休闲、社交、锻炼等日常活动的重要场所, 营造安全、舒适的街道空间是提升其愉悦感知和生活质量的重要途径^[17-18]。街道环境色彩作为街道空间中的关键视觉要素, 已有研究在色彩规划、色彩管控和建筑立面

设计等领域进行了探索^[19-21]。然而, 现有研究主要关注色彩在城市视觉形象中的作用, 较少关注街道环境色彩对愉悦感知的潜在影响。

其次, 既有研究忽视了街道环境色彩与愉悦感知之间可能存在的非线性关系。部分环境色彩要素可能存在有效作用区间, 不同区间下环境色彩要素的影响绩效或作用方向亦存在动态性。探索这种非线性影响效应是规划干预能够“精准施策”的基础, 即明确空间调控变量的有效作用区间。近年来, 机器学习算法 (如 XGBoost、随机森林、梯度提升决策树等) 被广泛用于研究建成环境与老年人步行倾向、出行方式选择、心理健康等因变量之间的非线性关系及阈值效应^[22-24], 可通过计算每个输入特征对模型输出结果的边际贡献, 从全局层面评估特征的相对重要性, 从局部层面揭示各自变量与因变量之间的复杂关系。街道环境色彩作为建成环境中的一部分, 已有学者发现其与游客情感感知之间存在非线性关系^[25]。此外, 街道环境色彩各变



1 研究区域
Research area



量之间也可能存在复杂的交互效应，这在其他研究中已得到验证，即不同建成环境变量的组合可能会放大或削弱各变量对被解释变量的影响^[26]。

基于以上不足，本研究以福州市主城区核心区为例，基于街景图片提取的建成环境和街道环境色彩数据，结合老年人社会经济属性及 TrueSkill 算法计算的愉悦感知得分，构建随机森林模型，深入分析关键变量与老年人愉悦感知的非线性关系及交互作用，旨在揭示街道环境中色彩要素对老年人愉悦感知的作用机制，并为营造更加友好的城市街道环境提供理论支持。

1 研究区域、数据来源

1.1 研究区域

福州市是福建省省会，地处福建省东部，闽江下游。福州市正面临严峻的老龄化趋势，截至2020年，60岁及以上的人口占比达16.76%，65岁及以上的人口占比为11.72%，相较于2010年分别增加了4.67%和3.51%^[27]。福州市三环内为主城核心区，包括鼓楼区、台江区、仓山区及晋安区部分区域（图1），该区域街道建设完善，人口密集且老年人口比例较高。此外，福州市于2022年颁布了《福州市城市色彩规划实施导则》，旨在优化城市色彩风貌，塑造“清新山水，古雅榕城”的

城市色彩主题。以福州市主城核心区作为案例地，研究街道环境色彩对老年人愉悦感知的影响，具有较强的代表性和实践参考价值。

1.2 数据来源

1.2.1 街景图像数据采集

本研究基于高德地图开放平台获取路网数据，综合考虑老年人步行出行特点与视觉感知习惯，沿案例地内三级及以上道路每隔50m设置街景采集点，采集模拟老年人步行视角的街景图像。考虑季节、天气等因素对老年人街道环境感知的影响，选择在同一季节和相近天气条件下拍摄的图像样本，由于近5年街景图像在案例地内存在覆盖率不足、分布不均等问题，综合图像的完整性与质量，最终选取2014年与2020年这2个年份的街景图像，共保留5500个街景点、11000张街景图像，用于提取街道环境色彩与建成环境特征，并作为老年人愉悦感知调查的基础数据。其中，街景图像采集参数设置为90°水平视角（Fov）、20°俯仰角（Pitch）及0°前视角，分辨率为600×400像素，符合人视街景的观察角度，从而尽量贴近老年人的步行体验^[22, 28]。

1.2.2 老年人愉悦感知调查

笔者团队于2024年1月在福州市主城区核心区开展了老年人对街景图像愉悦感知评价的实地调研。受访对象为具有基本认知能力、日常可独立步行出行且年龄在60岁及以上的

常住老年人。基于前期采集的5500个街景点，考虑街道建成环境的代表性和多样性，随机抽取研究区30%的街景点，共计得到1750个街景点的3500张街景图像。随后，将采集的街景图像随机分为250组，每组包含7个采集点在2014和2020年的14张照片。为准确测量老年人愉悦感知，笔者团队搭建了在线评估系统，采用抽取不放回的形式，即每组内的14张图像对比任务仅由一名老年人独立完成。问题设置为：“2张街景图片相比，哪一张让您感到更愉悦？”剔除图像加载失败、老年人未完成选择或信息缺失等无效样本后，最终获得221位老年人对3094张街景图像的有效对比结果。同时收集了受访老年人的社会经济属性特征。

2 研究方法

首先采集福州市主城区核心区的街景图像并进行筛选抽样，获取老年人对街景图像的两两对比结果及社会经济属性特征，将对比结果利用 TrueSkill 算法计算愉悦感知得分；其次，对街景图像进行语义分割及量化，得到建成环境与街道环境色彩变量；最后，分析老年人愉悦感知与街道环境色彩的非线性关系及交互作用（图2）。其中，因变量为老年人愉悦感知，自变量包括建成环境、街道环境色彩和社会经济属性（表1）。并在模型

测度自变量和因变量关系之前进行信效度检验：问卷整体的 Cronbach's α 系数 > 0.7 ，说明问卷整体具有良好的信度；在 KMO 和 Bartlett 球形度检验中，KMO 值 > 0.6 且 $p < 0.05$ ，进一步进行探索性因子分析后得到较好的问卷效度。同时，本研究对自变量和因变量开展了 Spearman 和 Pearson 相关性分析及共线性诊断，排除与因变量不相关的自变量及共线性程度高的自变量。另外，针对变量中的分类变量，分别进行了标签编码（label encoding）和哑变量编码（dummy coding）处理，帮助模型更好地理解数据。

2.1 因变量获取

基于 TrueSkill 算法迭代分析老年人对街道环境的两两对比结果，将主观感知转化为愉悦感知得分。该算法是一种基于贝叶斯图模型的概率方法，能够动态调整评分阈值，确保结果在噪声和数据不完整情况下的科学性和稳健性^[29]。参与者对 2 张图像的选择将会影响图像的得分结果，若选择左侧（右侧）图像为更愉悦，则提升该图像得分并相应减少右侧（左侧）图像得分；若为平局，则对两张图像的得分进行等比例调整。计算式为：

$$q_i = \frac{10}{3} (W_i + \frac{1}{w_i} \sum_{j_1=1}^{w_i} W_{j_1} - \frac{1}{l_i} \sum_{j_2=2}^{l_i} L_{j_2} + 1), \quad (1)$$

$$W_i = \frac{w_i}{w_i + l_i + t_i}, \quad (2)$$

$$L_i = \frac{l_i}{w_i + l_i + t_i}。 \quad (3)$$

式中： q_i 为图像 i 得分，范围为 $[0, 10]$ ，分数越高表明该街道环境对老年人的愉悦感知促进作用越好； W_i 和 L_i 分别表示图像 i 的标准化胜率和标准化败率； W_{j_1} 、 L_{j_2} 分别表示与图像 i 发生胜负关系的其他图像的胜率与败率， l_i 和 t_i 分别表示图像在与其他图像的比较中胜出、失败和平局的次数； j_1 表示在所有胜出场景中与图像 i 比较且被判为“不如图像 i 愉悦”的图像编号； j_2 表示在失败场景中与图像 i 比较且被判为“更愉悦”的图像编号。

2.2 自变量选取

基于采集的街景图像，应用 ADE20K 数据集和 DeepLab V3 语义分割训练数据集，识别并量化图像中建成环境要素的占比。基于里德·尤因等提出的研究框架^[30]，本研究从意象

表1 变量解释与说明
Tab. 1 Explanation and definition of variables

测度维度	测度变量	定义/描述	比例或平均值	取值范围
建成环境	老年人愉悦感知	TrueSkill算法得分	5.07	[0, 10]
	绿视率	植被在人视野中占的面积比例	0.19	[0, 0.73]
	街道高宽比	街道空间视觉上由建筑物与道路面界定的程度	0.84	[0, 9.69]
	机动车占比	街道中机动车数量总和	0.03	[0, 0.26]
	窗的比例	窗户占比	0.02	[0, 0.37]
街道环境色彩	街景元素数量总和	街道中街景元素总和	10.01	[5, 19]
	色彩色相	$\bar{X}_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$ 注： $\bar{X}_h$ 表示图像的平均色相； N 为图像的总像素数； H_i 为每个像素的色相值	144.70	[52.97, 224.32]
	色彩饱和度	$\bar{X}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i$ 注： $\bar{X}_s$ 表示图像的平均饱和度； N 为图像的总像素数； S_i 为每个像素的饱和度值	97.84	[25.39, 168.96]
	色彩亮度	$\bar{X}_v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i$ 注： $\bar{X}_v$ 表示图像的平均亮度； N 为图像的总像素数； V_i 为每个像素的亮度值	162.15	[65.61, 229.21]
	色彩协调度	$\bar{X}_{ch} = \frac{1}{3} (\sigma_R + \sigma_G + \sigma_B)$ 注： $\bar{X}_{ch}$ 表示图像的色彩协调度； σ_R 、 σ_G 和 σ_B 为图像中红色、绿色和蓝色通道的标准差	74.04	[38.82, 100.02]
社会经济属性	色彩复杂度	$\bar{X}_{cc} = \left \left(\sum_{i=0}^n S^2 \right) - 1 \right $ 注： $\bar{X}_{cc}$ 表示图像的色彩复杂度； n 为从图像中提取的主颜色数量； S 为图像中每种色彩所占的面积	0.78	[0.52, 0.90]
	年龄	受访者年龄	66岁	
	性别	1=女, 0=男		0=58.03%, 1=41.97%
	受教育程度	1=小学及以下, 2=初中, 3=高中/中专, 4=本科/大专, 5=研究生及以上		1=23.93%, 2=27.52%, 3=25.13%, 4=22.82%, 5=0.60%
	个人收入	个人月收入	4 870元	
	居住类型	[0, 0, 0]=独居, [1, 0, 0]=与配偶居住, [0, 1, 0]=与子女居住, [0, 0, 1]=三代同居及以上		[0, 0, 0]=7.26%, [1, 0, 0]=32.91%, [0, 1, 0]=45.47%, [0, 0, 1]=14.36%

(imageability)、围合空间 (enclosure)、人的尺度 (human scale)、透明度 (transparency) 和复杂性 (complexity) 5 个维度来测度街道建成环境。其中，意象表示街道在视觉上具有鲜明且易于辨识的特征^[31]；围合空间是指由建筑物、墙壁或树木等垂直元素形成的空间边界感^[32]；人的尺度表示街道空间中与人身高相近的元素所营造的尺度亲近感^[31]；透明度表示街道空间中光线与视线的穿透程度^[30]；复杂

性表示街道景观中视觉元素的多样性^[33]。基于此，分别选择绿视率、街道高宽比、机动车占比、窗的比例、街景元素数量总和作为变量来表征这 5 个维度，从而量化街道建成环境。街道环境色彩是指城市街道中的整体色彩布局及其视觉感知，包括建筑物、路面、绿化以及公共设施等各个元素的颜色^[34]。参考既往研究，本研究选取色彩色相 (hue)、色彩饱和度 (saturation)、色彩亮度 (value)、



3 街道环境色彩变量
Street environment color variables

4 自变量的相对重要性
Relative importance of independent variables



色彩协调度 (color harmony)、色彩复杂度 (color complexity) 作为街道环境色彩的关键变量^[25, 35-36] (图 3)。

老年人社会经济属性变量主要包括年龄、性别、受教育程度、个人收入及居住类型。

2.3 模型选取

随机森林模型 (random forest, RF) 由 Breiman 提出^[37-38], 是一种基于决策树的集成学习方法, 通过构建多棵决策树并集成预测结果以提升模型鲁棒性。相较于传统线性模型, RF 的核心优势在于能够捕捉自变量与因变量间的复杂非线性关系与阈值效应, 且无需预设变量间的线性关联。具体而言, RF 采取自助采样生成多个训练子集, 并在节点分裂时随机选择特征进行决策, 有效降低了过拟合风险并增强泛化能力。此外, RF 能够量化各变量对老年人愉悦感知的相对重要性, 同时数据中的异常值、噪声数据及缺失值的鲁棒性不会显著干扰模型性能。值得注意的是, 由于决策树的分裂仅依赖特征值的相对排序而非绝对值, RF 无需进行归一化或标准化预处理^[39], 避免了传统线性模型中因量纲差异导致的权重偏差问题。综上所述, 本研究选取随机森林作为建模方法。

3 结果与分析

本研究使用 Python 语言中的 “sklearn” 包来构建 RF 模型。首先, 随机选取研究样本的 80% 作为训练集 (training set) 进行建模, 将剩余的 20% 样本作为验证集 (validation set) 以验证所建模型。其次, 应用 “5 折交叉验证法” (5-fold cross validation procedure)

来验证模型以获得稳健结果, 即将训练集随机平均分为 5 份, 然后建立 5 个模型, 其中 4 份作为训练集, 1 份作为验证集, 依次进行迭代。最后, 采用 “超参数网格搜索法” (hyper-parameter grid search) 进行参数调节, 即 “遍历法” 或 “穷举搜索法”, 将所有列举的参数组合循环进行训练, 直至找出最优参数组合。在模型进行迭代训练 12 000 次后, 得到最优参数为: 树的数量 2 500, 最大深度 30, 最小样本分裂数 6, 叶节点最小样本点 2, R^2 为 0.245 6。

3.1 自变量的相对重要性

相对重要性 (relative importance) 是机器学习算法最常用的结果可视化方法之一, 可以在排除其他变量干扰的情况下准确地表示某个自变量对因变量的贡献程度 (图 4)。

在影响老年人愉悦感知的变量中, 绿视率的相对重要性最高, 表明街道中植被覆盖的比例能够显著提升老年人的愉悦度。这与既有研究一致, 即绿色植物空间可以促进老年人的步行愉悦度^[40]。街道高宽比的相对重要性仅次于绿视率, 说明由建筑物界面构成的街道围合空间有助于提升老年人的环境感知和愉悦情绪。色彩亮度、色彩饱和度、色彩复杂度的相对重要性较高, 表明色彩鲜明、丰富, 层次感强的街道环境可有效增强老年人的愉悦感知。同时, 色彩色相与色彩协调度也在提升愉悦感知方面发挥一定作用。而居住类型、受教育程度与性别对老年人愉悦感知的影响较小。

3.2 街道环境色彩与愉悦感知的非线性关系

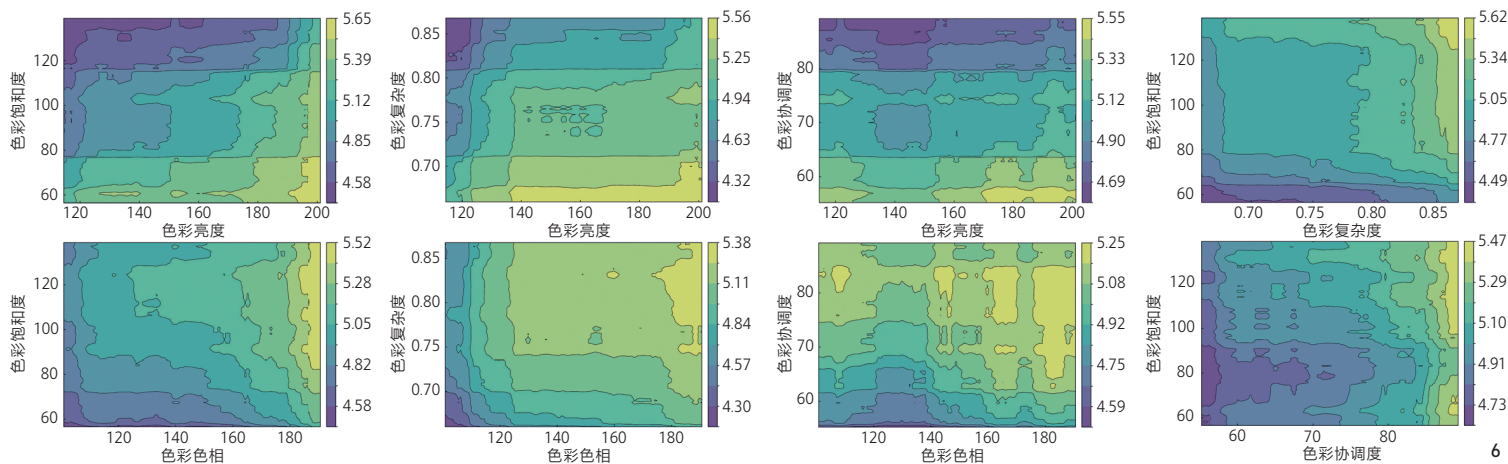
部分依赖关系图 (partial dependence

plot, PDP) 可提供对 2 个或多个解释因素部分依赖性的可视化, 通过边缘化其他因素来可视化所选解释变量对预测因变量的边际效应^[41]。RF 导出的部分依赖关系图中, 几乎所有考察变量与老年人愉悦感知之间都存在明显的非线性关系, 并且自变量存在有效影响的阈值范围。鉴于已有研究表明建成环境变量与老年人心理健康之间存在复杂的非线性关系^[24], 本研究主要聚焦于探讨街道环境色彩变量与愉悦感知的非线性关系及其边际效应, 图中纵轴的数值变化表示该变量对因变量的边际效应 (图 5)。

色彩亮度为 120~140 以及 > 165 时, 对老年人愉悦感知起负向作用; 在 > 140~165 时, 负向作用逐渐减缓并趋于平稳。可能的原因是: 随着色彩亮度的提高, 老年人需要更费力地适应环境光线, 容易产生视觉疲劳和压力; 但适宜的亮度能够为老年人提供良好的视觉反馈, 使之能够更容易地辨认物体、观察街道环境, 提升愉悦度。

色彩色相与老年人愉悦感知呈倒 U 形非线性关系, 存在 3 个区间: 当为 100~155 时, 起正向作用; > 155~175, 正向作用达到峰值并趋于平稳; > 175, 产生负向影响。可能的原因是: 较低色彩色相的街道环境集中表现为绿色, 而已有研究表明绿色能够使老年人感到平静放松^[42]; 适中的色彩色相则为蓝绿色, 老年人暴露在其中能够更好地维持愉悦状态^[43]; 过高的色彩色相则表现为蓝色, 老年人更易感到孤独或冷漠, 引发其消极情绪或抑郁感。

色彩饱和度为 60~80, 正向作用缓慢增加; > 80~120, 正向作用显著; > 120~140,



正向作用达到峰值。可能的原因是：老年人视觉敏感性相对年轻群体有所下降，随着街道环境色彩饱和度的提升，带给老年人的视觉冲击也逐渐增强，高饱和度色彩更能促进愉悦感知提升。

色彩协调度与老年人愉悦感知呈 U 形非线性关系。在 55~65 时，呈负相关关系；>65，整体呈正相关关系，但每段存在略微波动。表明色彩协调度过低时街道环境相对杂乱，降低了愉悦度；色彩协调度的提升给老年人以和谐的视觉体验，促进其愉悦感知提升。然而在某些区间，过于一致的色彩组合可能引发视觉疲劳，导致短暂情绪波动。

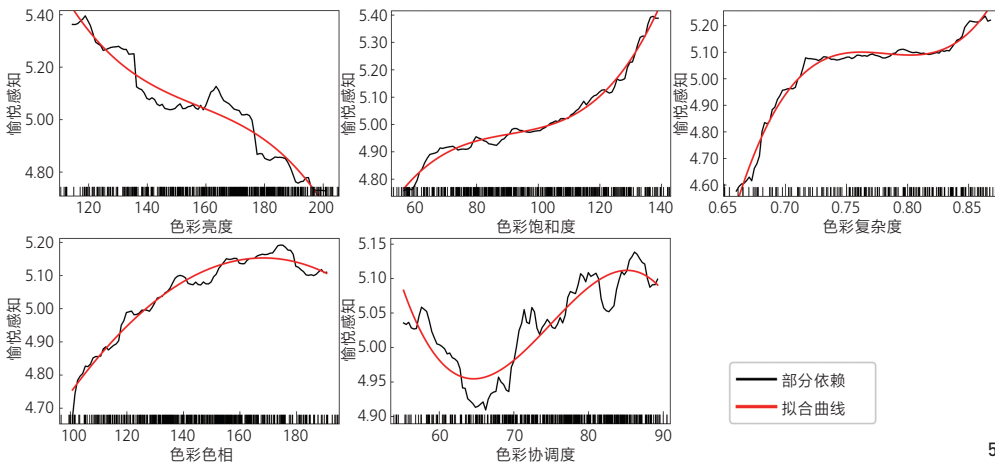
色彩复杂度与老年人愉悦感知呈 S 形非线性关系。在 0.65~0.72 时，产生显著正向作用；>0.72~0.85，正向作用趋于平稳；>0.85，再次产生正向作用。这可能是因为随着色彩复杂度的增加，老年人的视觉系统逐渐适应了这种变化，达到平衡状态。色彩复杂度超过 0.85，街道环境的视觉要素在没有对老年人造成混乱的同时产生了新的刺激，再次提升了愉悦感知水平。

3.3 自变量与老年人愉悦感知的交互影响

交互部分依赖关系图不仅能够描述单个变量对因变量的非线性影响，还可以分析多个解释变量之间的交互效应；图中不同颜色表示老年人愉悦感知的数值大小变化，从紫色到黄色的过渡代表数值大小逐渐增加。

3.3.1 街道环境色彩变量之间的交互影响

色彩亮度与色彩复杂度、色彩饱和度与色彩复杂度的交互效应较强，而色彩色相与



5 街道环境色彩变量与老年人愉悦感知的非线性关系
Nonlinear relationship between street environment color variables and the elderly's perception of pleasure

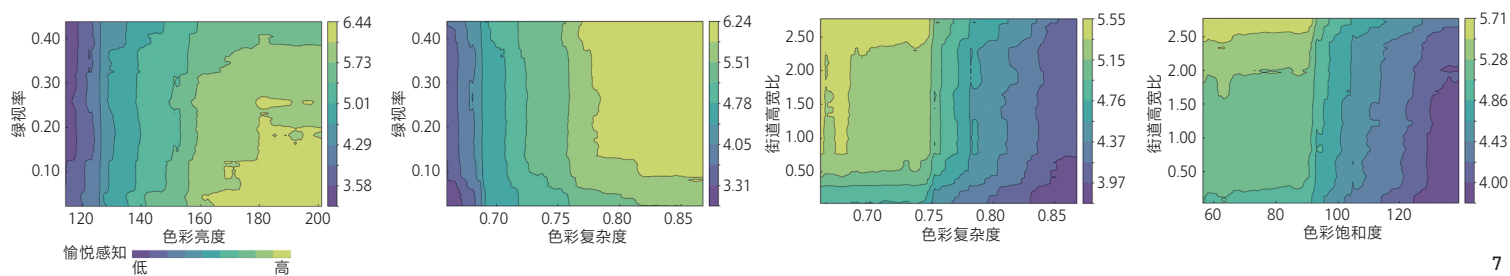
6 街道环境色彩变量之间的交互
Interaction between street environment color variables

色彩协调度、色彩饱和度与色彩协调度的交互效应较弱（图 6）。其中，色彩亮度与色彩复杂度之间存在负向交互，即一个特征的值增加会削弱另一个特征的影响。街道环境在色彩复杂度低于 0.80 且色彩亮度高于 137 时，老年人愉悦感知维持在较高水平；最佳作用区间为色彩复杂度低于 0.67 且色彩亮度达到 137，此时对老年人愉悦感知的促进作用最强。表明适中的色彩复杂度与色彩亮度能营造舒适、平衡的街道环境。此外，色彩饱和度与色彩复杂度之间存在正向交互，即一个特征的值增加会增强另一个特征的影响。街道环境在色彩复杂度高于 0.77 且色彩饱和度高于 78 时，老年人的愉悦感知维持在较高水平；最佳作用区间为色彩复杂度高于 0.85 且色彩

饱和度高于 128，此时对老年人愉悦感知促进作用最强。这表明适中色彩饱和度和高色彩复杂度的共同作用，为老年人提供更丰富的视觉体验。

3.3.2 街道环境色彩变量与建成环境变量的交互影响

色彩复杂度与绿视率、色彩亮度与绿视率的交互效应较强；而色彩饱和度与街道高宽比、色彩复杂度与街道高宽比的交互效应较弱（图 7）。其中，色彩复杂度与绿视率之间存在正向交互。当色彩复杂度高于 0.77 且绿视率高于 0.5 时，老年人愉悦感知水平维持在较高水平；最佳作用区间为色彩复杂度达到 0.78 且绿视率达到 0.14，此时对老年人愉悦感知的促进作用最强。表明当街道环境的



7 街道环境色彩变量与建成环境变量的交互
Interaction between street environment color variables and built environment variables

色彩复杂多样时，即使绿色植物景观较少，也能显著改善老年人的愉悦感知。

4 讨论

从自变量的相对重要性来看，街道环境色彩对老年人愉悦感知具有重要作用，其相对重要性仅略低于建成环境，远高于社会经济属性。其中，色彩亮度、色彩饱和度、色彩复杂度对老年人愉悦感知的影响尤为显著，为规划者提供了优先干预的参考。此外，本研究还发现色彩亮度是街道环境色彩中影响老年人愉悦感知最重要的因素，呈显著负相关关系。该现象可能与老年人视觉器官的老化相关^[44]，如瞳孔变小、晶状体增龄性变化等，导致进入老年人视网膜的光线量减少，在高亮度环境中引发视觉疲劳或不适。在日间街道环境中，色彩亮度受植被覆盖程度、街道开阔度、地面与建筑外立面反射率等因素影响。因此，为提升老年人愉悦感知水平并减少消极情绪的产生，规划应考虑适当使用低亮度色彩，增加行道树密度及冠幅，优化街道尺度，减少光滑、浅色表面或镜面反射型材质（如玻璃、金属）的使用，以降低光反射并为老年人营造更舒适的视觉体验。

从自变量与因变量的非线性关系来看，街道环境色彩与老年人愉悦感知呈现 U 形、倒 U 形、S 形等多类型非线性关系，并存在阈值效应。具体而言，过高或过低的色彩亮度对愉悦感知均有显著负向影响，表明老年人更偏好亮度适中的街道环境；较高的色彩饱和度对愉悦感知有显著正向影响，说明老年人偏好高饱和度的街道色彩；较高的色彩复杂度也对愉悦感知有显著正向影响，表明老

年人偏好色彩复杂多样的街道环境；色彩色相在 [100, 160] 区间内对愉悦感知有显著正向影响，即老年人在街道中更偏爱青绿色至黄绿色的色调；较高的色彩协调度对愉悦感知同样有显著正向影响，表明老年人更偏好色彩分布均衡、视觉上更为统一的街道环境。以上发现与已有研究一致，高饱和度、色彩丰富且协调、以暖色调为主的色彩组合能够增强视觉层次感，提高空间的可视性和舒适性，帮助老年人感受到更加温暖、愉悦的环境^[8, 45]。这些发现为街道色彩规划提供了具体的参考区间，帮助规划者制定更符合老年人需求的街道色彩方案。

从不同维度的变量间交互结果来看，老年人愉悦感知受多因素共同影响且存在异质性。例如，街道环境色彩中，低色彩饱和度与较高色彩复杂度皆可缓解色彩亮度的负向影响，这可能是因为低色彩饱和度和较高色彩复杂度能够平衡过高色彩亮度带来的不适，减少对感官的刺激；低色彩饱和度还会减弱色彩复杂度对愉悦感知的正向作用，这可能是由于在低色彩饱和度的环境中，色彩的表现力较弱，复杂的色彩组合难以激发老年人的愉悦度。建成环境中，适中的绿视率显著增强了色彩饱和度对愉悦感知的正向影响，这可能是因为绿色植物或景观能够提供放松效果，进而提升色彩饱和度带来的愉悦感知；但绿视率几乎不影响色彩复杂度对愉悦感知的作用，这可能由于色彩复杂度主要影响视觉层次感，而绿视率对这种感受维度的调节作用相对有限。因此，色彩规划时不应只考虑单一色彩因素，还需综合考虑不同因素间的交互作用。

5 结论与展望

本研究综合建成环境、街道环境色彩和社会经济属性维度，采用两两对比与 TrueSkill 算法获取老年人愉悦感知得分，结合 ADE20K 数据集和 DeepLab V3 语义分割实现街景图像的色彩量化，并运用随机森林模型识别关键色彩变量及其与老年人愉悦感知之间的多类型非线性关系。进一步探索了不同维度变量间的交互作用，对以往仅探讨单一变量非线性影响的研究进行了补充和完善。研究成果可为老年友好为导向的街道更新与城市色彩规划实施提供有益参考。

然而，本研究仍存在以下不足：首先，样本仅限于福州市，结果的区域适用性尚需验证；其次，街景图像数据受限于拍摄时间、天气等外界条件，部分区域街景影像存在缺失，且用车行视角拍摄的街景图像不能完全代表老年人的步行视角；最后，基于二维街景图像对三维真实空间进行感知分析，在空间层次和感知深度上存在一定局限性。未来研究将进一步探讨物体层面（建筑物、植物、道路等）的色彩变量与老年人愉悦感知的关系，尤其是在城市设计与街道色彩更新中的实际应用价值。

此外，本研究为《福州市城市色彩规划实施导则》（以下简称《导则》）的 implementation 和完善提供了有益的反馈与建议。《导则》在色彩应用原则中体现了色彩协调度和色彩复杂度对提升老年人愉悦感知的积极作用；同时，对不同区域所应用的色彩图谱也做出了详细规定，在材料和色谱的选择上充分考虑了色彩的各个维度，确保了科学性和实用性^[46]。然而，《导则》中的部分内容可能未充分考

考虑老年人群体在街道尺度下的视觉特征和愉悦感知需求。基于本研究结果,建议在未来修订《导则》时,考虑以下几点改进:1)进一步细化街道尺度的色彩规划,将色彩设计从城市家具扩展到整体街道环境^[47];2)进一步明确不同色彩维度(如饱和度、复杂度)的控制区间,并考虑不同色彩维度间的交互(协同)作用;3)根据不同年龄段老年人的色彩感知差异,调整设计标准等。

参考文献 (References):

- [1] 侯佳伟.从七次全国人口普查看我国人口发展新特点及新趋势[J].学术论坛, 2021, 44 (5): 1-14.
- HOU J W. New Characteristics and Trends of China's Population Development Based on the Seventh National Census[J]. Academic Forum, 2021, 44 (5): 1-14.
- [2] 新华社.中共中央国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》[EB/OL]. (2016-10-25) [2025-04-02]. https://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm.
- Xinhua News Agency. The Communist Party of China Central Committee and the State Council Issue the “*Healthy China 2030*” Outline[EB/OL]. (2016-10-25)[2025-04-02]. https://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm.
- [3] YANG S Q, DANE G, VAN DEN BERG P, et al. Influences of Cognitive Appraisal and Individual Characteristics on Citizens' Perception and Emotion in Urban environment: Model Development and Virtual Reality Experiment[J]. Journal of Environmental Psychology, 2024, 96: 102309.
- [4] WANG H, HOU Y J, ZHANG L, et al. Chinese Elderly Migrants' Loneliness, Anxiety and Depressive Symptoms: The Mediation Effect of Perceived Stress and Resilience[J]. Frontiers in Public Health, 2022, 10: 998532.
- [5] KUPER R. Effects of Flowering, Foliation, and Autumn Colors on Preference and Restorative Potential for Designed Digital Landscape Models[J]. Environment and Behavior, 2020, 52 (5): 544-576.
- [6] WEI Y Y, ZHANG Y, WANG Y H, et al. A Study of the Emotional Impact of Interior Lighting Color in Rural Bed and Breakfast Space Design[J]. Buildings, 2023, 13 (10): 2537.
- [7] BHATT S, PURI A, SHELAT S, et al. Colour Psychology in Interior Design for Geriatric Spaces[J]. World Journal of Advanced Research and Reviews, 2024, 24 (3): 1549-1553.
- [8] JUNG C, MAHMOUD N S A, EL SAMANOUDY G, et al. Evaluating the Color Preferences for Elderly Depression in the United Arab Emirates[J]. Buildings, 2022, 12 (2): 234.
- [9] 伊文静, 邱贵玉.五感体验理念在养老空间设计中的应用[J].家具与室内装饰, 2020, 27 (7): 110-111.
- YI W J, DI G Y. Application of Five Sense Experience Concept in the Design of Pension Space[J]. Furniture & Interior Design, 2020, 27 (7): 110-111.
- [10] 庄旖旎, 陈丹, 车生泉.城市居住环境植物景观特征对老年群体社交行为影响研究: 以上海虹口区为例[J].中国园林, 2021, 37 (10): 83-88.
- ZHUANG Y N, CHEN D, CHE S Q. Study on the Influences of Plant Landscape Characteristics in Urban Residential Environment on the Social Behavior of Elderly Groups: A Study of Hongkou District, Shanghai[J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37 (10): 83-88.
- [11] 袁青, 李泓锐, 冷红.冬季滨江空间环境感知对老年人心理健康影响研究: 以哈尔滨市为例[J].南方建筑, 2023 (6): 96-106.
- YUAN Q, LI H R, LENG H. Influence of Waterfront Environments on the Psychological Health of Older Adults During Winters: A Case Study Based on Harbin[J]. South Architecture, 2023 (6): 96-106.
- [12] 岳亚飞, 杨东峰, 徐丹.城市蓝绿空间对老年心理健康影响机制的探究与检验[J].风景园林, 2022, 29 (12): 71-77.
- YUE Y F, YANG D F, XU D. Exploration and Examination of the Influence Mechanism of Urban Blue-Green Space on the Elderly's Mental Health[J]. Landscape Architecture, 2022, 29 (12): 71-77.
- [13] 石园, 吴海平, 张智勇, 等.人因工程下不同养老模式的适老化设计研究[J].中国老年学杂志, 2016, 36 (4): 987-991.
- SHI Y, WU H P, ZHANG Z Y, et al. Research on Aging Design of Different Pension Modes Under Human Factors Engineering[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2016, 36 (4): 987-991.
- [14] 彭洪斌.养老公寓室内环境色彩设计研究[J].四川戏剧, 2018 (9): 186-189.
- PENG H B. Research on Indoor Environment Color Design of Pension Apartment[J]. Sichuan Drama, 2018 (9): 186-189.
- [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 M Y, GAO F, HAO P Y, 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] MA B Q, HAUER R J, XU C Y. Effects of Design Proportion and Distribution of Color in Urban and Suburban Green Space Planning to Visual Aesthetics Quality[J]. Forests, 2020, 11 (3): 278.
- [17] 周素红, 彭伊依, 柳林, 等.日常活动地建成环境对老年人主观幸福感的影响[J].地理研究, 2019, 38 (7): 1625-1639.
- ZHOU S H, PENG Y N, LIU L, et al. The Impact of Built Environment on Well-Being of Older Adults Under Different Geographic Contexts[J]. Geographical Research, 2019, 38 (7): 1625-1639.
- [18] 董毓兵, 袁逸倩.小城镇社区街道空间内老年人驻留行为影响因素研究: 以青冈镇为例[J].现代城市研究, 2023, 38 (1): 77-82.
- DONG Y B, YUAN Y Q. Research on Influencing Factors of Staying Behavior of the Seniors in Community Street Space in Small Towns: A Case Study of Qinggang Town[J]. Modern Urban Research, 2023, 38 (1): 77-82.
- [19] 路旭, 王一博, 黄山, 等.城市色彩特色量化提取方法研究: 基于对中国 20 个城市的比较[J].城市规划, 2024, 48 (7): 73-82.
- LU X, WANG Y B, HUANG S, et al. A Quantitative Extraction Method of Urban Color Characteristics: Based on the Comparison of 20 Chinese Cities[J]. City Planning Review, 2024, 48 (7): 73-82.
- [20] 许雪琳, 朱郑炜, 马毅.厦门市城市色彩管控体系构建研究[J].规划师, 2020, 36 (18): 77-82.
- XU X L, ZHU Z W, MA Y. The Practice of Establishing City Color Management System in Xiamen[J]. Planners, 2020, 36 (18): 77-82.
- [21] 顾红男, 江洪浪.数字技术支持下的城市色彩主色调量化控制方法: 以安康城市色彩规划设计为例[J].规划师, 2013, 29 (10): 42-46.
- GU H N, JIANG H L. Quantitative City Color Research Based on Digital Technology: Ankang Case[J]. Planners, 2013, 29 (10): 42-46.
- [22] YANG L C, AO Y B, KE J T, et al. To Walk or Not to Walk? Examining Non-Linear Effects of Streetscape Greenery on Walking Propensity of Older Adults[J]. Journal of Transport Geography, 2021, 94: 103099.
- [23] 石庄彬, 郗春花, 何明卫, 等.建成环境对老年人出行方式选择的非线性影响[J].交通运输工程与信息学报, 2023, 21 (1): 49-63.
- SHI Z B, YAN C H, HE M W, et al. Non-Linear Effects of Built Environment on Travel Mode Choices for Elderly[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2023, 21 (1): 49-63.
- [24] 韩会然, 许岭怡, 杨成凤.多尺度建成环境对老年人心理健康的影响: 基于极端梯度提升模型的合肥实证[J].地理研究, 2024, 43 (6): 1502-1521.
- HAN H R, XU L Y, YANG C F. The Impact of Multi-Scale Built Environment on the Mental Health of Older adults: An Empirical Study of Hefei Based on Extreme Gradient Boosting Model[J]. Geographical Research, 2024, 43 (6): 1502-1521.
- [25] 齐子吟, 李君轶, 贺哲, 等.城市街道景观色彩对游客情感感知影响: 基于街景图像的研究[J].地球信息科学学报, 2024, 26 (2): 514-529.
- QI Z Y, LI J Y, HE Z, et al. The Influence of Urban Streetscape Color on Tourists' Emotional Perception Based on Streetscape Images[J]. Journal of Geo-Information Science, 2024, 26 (2): 514-529.
- [26] XIAO L Z, LO S, LIU J X, et al. Nonlinear and Synergistic Effects of TOD on Urban Vibrancy: Applying Local Explanations for Gradient Boosting Decision Tree[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 72: 103063.
- [27] 福州市统计局.福州市第七次全国人口普查公报 (第一号) [EB/OL]. (2021-05-24) [2024-12-30]. https://www.fuzhou.gov.cn/zwgk/tjxx/ndbg/202105/t20210524_4104989.htm.
- Fuzhou Municipal Bureau of Statistics. Communiqué on the Seventh National Population Census of Fuzhou (No.1)[EB/OL]. (2021-05-24)[2024-12-30]. https://www.fuzhou.gov.cn/zwgk/tjxx/ndbg/202105/t20210524_4104989.htm.
- [28] 王秋实, 梁志鹏, 魏俊添星, 等.基于城市街景和深度学习的老龄人群安全感知评价研究: 以沈阳市中心城区为例[J].西部人居环境学刊, 2024, 39 (2): 21-27.
- WANG Q S, LIANG Z P, WEI J T X, et al. Evaluation of Safety Perception of Elderly People Based on Urban Street View and Deep learning: Taking the Central City of Shenyang as an Example[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2024, 39 (2): 21-27.
- [29] SCHÖLKOPF B, PLATT J, HOFMANN T. True Skill™: A Bayesian Skill Rating System[C]//IEEE. Advances in Neural Information Processing Systems 19. Cambridge: The MIT Press, 2007: 569-576.
- [30] 尤因, 汉迪, 江雯婧.测量不可测的: 与可步行性相关的城市设计品质[J].国际城市规划, 2012, 27 (5): 43-53.
- EWING R, HANDY S, JIANG W J. Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability[J]. Urban Planning International, 2012, 27 (5): 43-

53.

[31] KOO B W, GUHATHAKURTA S, BOTCHWEY N. How Are Neighborhood and Street-Level Walkability Factors Associated with Walking Behaviors: A Big Data Approach Using Street View Images[J]. 2021, 54(7): 001391652110146.

[32] HE J L, ZHANG J B, YAO Y, et al. Extracting Human Perceptions from Street View Images for Better Assessing Urban Renewal Potential[J]. Cities, 2023, 134: 104189.

[33] ZHOU H, HE S J, CAI Y Y, et al. Social Inequalities in Neighborhood Visual Walkability: Using Street View Imagery and Deep Learning Technologies to Facilitate Healthy City Planning[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 50: 101605.

[34] HU K T, XU Z Q, WANG X F, et al. Research on Street Color Environment Perception Based on CEP-KASS Framework[J]. Buildings, 2023, 13 (10): 2649.

[35] ZHAI Y J, GONG R Y, HUO J Z, et al. Building Façade Color Distribution, Color Harmony and Diversity in Relation to Street Functions: Using Street View Images and Deep Learning[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2023, 12 (6): 224.

[36] HE F, HE Y, SUN L. Gender Differences in Color Perceptions and Preferences of Urban Façades Based on a Virtual Comparison[J]. Building and Environment, 2023, 245: 110907.

[37] BREIMAN L. Random Forests[J]. Machine Learning, 2001, 45 (1): 5-32.

[38] CHENG L, DE VOS J, ZHAO P J, et al. Examining Non-Linear Built Environment Effects on Elderly's Walking: A Random Forest Approach[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 88: 102552.

[39] HASTIE T, TIBSHIRANI R, FRIEDMAN J. The Elements of Statistical Learning[M]. New York: Springer, 2009.

[40] 董贺轩, 高翔.街道植物空间对步行愉悦度的影响[J].风景园林, 2023, 30 (1): 54-62.

DONG H X, GAO X. Influence of Street Plant Space on Walking Pleasure[J]. Landscape Architecture, 2023, 30 (1): 54-62.

[41] FRIEDMAN J H. Greedy Function approximation: A Gradient Boosting Machine[J]. The Annals of Statistics, 2001, 29 (5): 1189-1232.

[42] 李智轩, 何仲禹, 张一鸣, 等.绿色环境暴露对居民心理健康的影响研究: 以南京为例[J].地理科学进展, 2020, 39 (5): 779-791.

LI Z X, HE Z Y, ZHANG Y M, et al. Impact of Greenspace Exposure on Residents' Mental health: A Case Study of Nanjing City[J]. Progress in Geography, 2020, 39 (5): 779-791.

[43] 冷红, 闫天娇, 袁青.蓝绿空间的心理健康效应研究进展与启示[J].国际城市规划, 2022, 37 (2): 34-43,52.

LENG H, YAN T J, YUAN Q. Research Progress on Mental Health Effect of Blue-Green Space and Its Enlightenments[J]. Urban Planning International, 2022, 37 (2): 34-43,52.

[44] 梅斌, 华田苗.年龄相关的视觉功能衰退研究进展[J].眼科研究, 2006, 24 (1): 107-110.

MEI B, HUA T M. Study on Age-Related Loss of Visual Function[J]. Chinese Ophthalmic Research, 2006, 24 (1): 107-110.

[45] ZHOU C M, QIAN Y W, HUANG T, et al. The Impact of Different Age-Friendly Smart Home Interface Styles on the Interaction Behavior of Elderly Users[J]. Frontiers in Psychology, 2022, 13: 935202.

[46] 福州市自然资源和规划局.福州市自然资源和规划局关于印发实施《福州市城市色彩规划实施导则》的通知[EB/OL]. (2022-05-30) [2025-03-09]. https://zygh.fuzhou.gov.cn/zfxxgkzl/gkml/gzdt_31860/202205/t20220530_4370832.htm.

Fuzhou Municipal Bureau of Natural Resources and Planning. Notice on the Issuance and Implementation of the *Implementation Guidelines for the Urban Color Planning of Fuzhou City*[EB/OL]. (2022-05-30) [2025-03-09]. https://zygh.fuzhou.gov.cn/zfxxgkzl/gkml/gzdt_31860/202205/t20220530_4370832.htm.

[47] 代光鑫.从规划指引到规则管控: 上海北外滩地区城市色彩规划研究[J].规划师, 2022, 38 (5): 101-107.

DAI G X. From Planning Guidance to Planning Governance: City Color Planning of the North Bund Area, Shanghai[J]. Planners, 2022, 38 (5): 101-107.

图表来源(Sources of Figures and Table):

文中图表均由作者绘制。

(编辑 / 李清清)

作者简介:

郭华贵 / 男 / 博士 / 福州大学建筑与城乡规划学院副教授、硕士生导师、旗山学者 / 研究方向为健康城市、AI 和大数据

张铭桓 / 男 / 福州大学建筑与城乡规划学院在读硕士研究生 / 研究方向为街道建成环境、老年人情绪健康

万博宇 / 男 / 福州大学建筑与城乡规划学院在读硕士研究生 / 研究方向为街道建成环境、老年人情绪健康

洪昕晨 / 男 / 博士 / 福州大学建筑与城乡规划学院副教授、硕士生导师 / 东南大学建筑学院在读博士后 / 研究方向为城市绿色空间声景、声信号处理
通信作者邮箱: xch.hung@outlook.com

GUO H G, ZHANG M H, WAN B Y, HONG X C. A Machine Learning-Based Research on the Influence of Street Environment Colors on the Elderly's Perception of Pleasure[J]. Landscape Architecture, 2025, 32(8): 119-127. DOI: 10.3724/j.fjyl.LA20250042.

A Machine Learning-Based Research on the Influence of Street Environment Colors on the Elderly's Perception of Pleasure

GUO Huagui, ZHANG Minghuan, WAN Boyu, HONG Xincheng*

Abstract:

[Objective] Streets serve as critical spaces for the elderly's daily activities, offering environments for essential activities such as walking, social interaction, and physical exercise. These urban environments are not only integral to the elderly's physical health but also have a significant impact on their mental health, thereby enhancing their quality of life and fostering a

sense of community. Designing street environments that specifically address the health needs of the elderly is crucial for advancing the national strategies of "Proactive Response to Population Aging" and "Healthy China". While existing research has demonstrated the general impact of environmental factors on mental health, there remains a notable gap in understanding the specific mechanisms through which street environment colors influence the

elderly's perception of pleasure. Environmental colors, as key visual elements, have the capacity to evoke various emotional responses, including calmness, vibrancy, or discomfort. This research aims to bridge this gap by systematically examining the relationship between street environment colors and the elderly's perception of pleasure. The research identifies and analyzes five critical color variables — hue, saturation, brightness (value), color harmony, and color complexity — focusing on their nonlinear relationships and interactive effects on the elderly's perception of pleasure.

[Methods] Fuzhou City, a rapidly aging urban area located in southeastern China, is selected as an example for this research. A total of 11,000 high-quality streetscape images are collected from 5,500 sampling points along major roads and residential streets, with a focus on roads at or above the tertiary level within the research area. The perception of pleasure of elderly participants is assessed through a field survey conducted in January 2024, in which participants are asked to evaluate paired street images based on their subjective emotional responses. These subjective assessments are subsequently converted into numerical scores on perception of pleasure using the TrueSkill algorithm, a Bayesian probabilistic method that ensures reliable results even in the context of subjective evaluations. The streetscape images are processed using semantic segmentation techniques to extract color variables, with the analysis centered on the nonlinear relationships and interactions between street environment colors and the elderly's perception of pleasure. The dependent variable involved in the analysis is the elderly's perception of pleasure, while the independent variables include the built environment, street environment colors, and socio-economic factors such as age, gender, income, and education. To examine the nonlinear effects and interactions among these variables, a random forest model is employed.

[Results] The research yields several significant findings. First, it is revealed that color brightness (value) has the most substantial negative effect on the elderly's perception of pleasure. High levels of brightness are associated with visual discomfort, particularly due to age-related visual impairments such as reduced light sensitivity and slower adaptation to lighting changes. In contrast, color harmony and color complexity have positive effects and can enhance the perception of pleasure by creating visually engaging, aesthetically balanced environments. Second, the relationship between street environment colors and the elderly's perception of pleasure exhibits nonlinear patterns, including U-shaped, inverted U-shaped, and S-shaped patterns. Specifically, moderate levels of brightness (value) are found to positively influence the perception of pleasure, while extremely high or low brightness levels have a detrimental impact. Similarly, saturation shows a positive effect up to a certain threshold, beyond which its influence plateaus. These findings highlight the importance of carefully calibrating color variables to stay within optimal ranges that maximize the emotional benefits for the elderly. Third, the research identifies complex interactions between color variables, with some combinations having synergistic effects that enhance the perception of pleasure, while others demonstrating antagonistic effects. For example, moderate levels of color complexity, when combined with high saturation, may produce the most positive emotional outcomes, as this combination provides visual stimulation without overwhelming the viewer. On the other hand, excessive brightness combined with low color harmony may weaken emotional outcomes, creating visually discordant or overly stimulating environments.

[Conclusion] This research underscores the pivotal role that street environment colors play in influencing the elderly's perception of pleasure, contributing significantly to the field of urban design and planning. The research's findings provide actionable insights for urban planners and designers to optimize street color schemes in ways that enhance the mental health of the elderly. In

particular, the research recommends moderating color brightness levels to prevent visual fatigue and discomfort while prioritizing color harmony and moderate complexity to foster positive emotional responses. Furthermore, hues that align with the elderly's preferences, such as green and yellow-green tones, should be incorporated to promote a calming and relaxing atmosphere. These design strategies are in alignment with the national strategies of "Healthy China" and "Proactive Response to Population Aging", as they contribute to the creation of urban spaces that support active and healthy aging. By integrating advanced techniques, such as machine learning and big data analytics, into environmental design, this research expands the understanding of how street colors influence the elderly's perception of pleasure. Additionally, the identification of nonlinear and interactive effects offers a nuanced perspective on how targeted environmental design interventions can be implemented to improve the quality of life for aging populations. This research lays the foundation for future research and practical applications in the design of elderly-friendly urban spaces, providing a framework for optimizing street color schemes to meet the emotional and physical needs of the elderly.

Keywords: healthy city; built environment; emotion perception; nonlinear relationship; random forest

Authors:

GUO Huagui, Ph.D., is an associate professor, master's supervisor, and Qishan Scholar in the School of Architecture and Urban-Rural Planning, Fuzhou University. His research interests include healthy cities, and the applications of artificial intelligence and big data.

ZHANG Minghuan is a master student in the School of Architecture and Urban-Rural Planning, Fuzhou University. His research focuses on street-level built environment, and emotional well-being of the elderly.

WAN Boyu is a master student in the School of Architecture and Urban-Rural Planning, Fuzhou University. His research focuses on street-level built environment, and emotional well-being of the elderly.

HONG Xinchun, Ph.D., is an associate professor and master supervisor in the School of Architecture and Urban-Rural Planning, Fuzhou University, and postdoctoral researcher in the School of Architecture, Southeast University. His research focuses on soundscape in urban green space, and audio signal processing.
Corresponding author Email: xch.hung@outlook.com