

校园道路多层次空间特征对恢复性的非线性影响研究——以中国 35 所大学为例

Research on the Nonlinear Impact of Multi-level Spatial Characteristics of the Restorateness of Campus Roads: A Case Study of 35 Universities in China

刘畅 黎梓熙 郑泳鎔 许诺 赵佳怡

LIU Chang, LI Zixi, ZHENG Yongrong, XU Nuo, ZHAO Jiayi

基金项目: 福建省中青年教育科研项目(社科类)一般项目“大学校园道路景观恢复性品质关联物质空间特征研究”(编号: JAS21067); 国家自然科学基金项目“心理危机预警大学生园艺疗法方案制定关键问题研究”(编号: 32301661)

摘要

校园道路是在校大学生接触自然并获得恢复性效益的重要场所。为从感知和物质 2 个层级探讨校园道路空间特征对恢复性的非线性影响, 以中国 35 所大学的 105 张道路图片为样本, 使用问卷调查法 (n=525) 评价其恢复性和感知特征, 通过语义分割计算其物质特征, 拟合 XGBoost 模型, 并利用 SHAP 工具解释结果。研究发现, 相比于物质特征, 感知特征对恢复性的贡献更高。各空间特征的 SHAP 值变化呈现不同线形, 自然度、美景度、协调度近似单调递增; 色彩鲜艳感、层次感、环境亮度近似倒 U 形, 存在最佳特征值区间; 新奇度、景观复杂度、建筑近似倒 L 形, 存在贡献度饱和点; 静谧感近似正 U 形, 存在不适宜特征区间; 绿视率和围合度近似倒 S 形, 同时存在适宜与不适宜特征值区间。可见空间特征对恢复性的影响是非线性的, 应在最有效的范围内对特征进行调控。

Abstract

Campus roads serve as vital spaces for college students to connect with nature and gain restorative benefits. To explore the nonlinear influence of campus road space characteristics on restorateness from both perceptual and material levels. A total of 105 road images from 35 universities in China were sampled. A questionnaire (n=525) was used to evaluate their restorateness and perceptual features, and semantic segmentation was employed to calculate their material features. An XGBoost model was fitted and the SHAP tool was used to interpret the results. Compared with physical features, perceptual features contribute more to restorateness—the changes in SHAP values of each spatial feature present different linear patterns. The SHAP values of naturalness, beauty, and harmony increase approximately monotonically. The SHAP values of colorfulness, layering, and rise in environmental brightness are approximately in an inverted U-shaped pattern, with an optimal feature value range. The SHAP values of novelty, landscape complexity, and building presence increase approximately in an inverted L-shaped pattern, with a saturation point of contribution. The SHAP value of quietness increases approximately in a U-shaped pattern, with an unsuitable feature value range. The SHAP values of the green view ratio and enclosure increase approximately in an S-shaped pattern, with both suitable and unsuitable feature value ranges. The influence of spatial features on restorateness is nonlinear, and features should be regulated within the most effective range.

文章亮点

1) 在同一模型中比较感知和物质特征对恢复性的相对贡献, 明确了感知特征的重要性。2) 揭示了空间特征对恢复性的非线性影响, 识别了部分特征的适宜和不适宜取值区间, 强化了结论在指导设计实践方面的落地性。3) 利用 XGBoost 模型对共线性的高容忍力, 纳入更多空间特征, 扩大了结果的应用范围。

关键词

校园道路; 恢复性; 物质特征; 感知特征; 非线性影响

Keywords

Campus roadway; Perceived restorateness; Physical characteristics; Perceptual characteristics; Nonlinear impact

收稿日期: 2025-05-07

修回日期: 2025-06-09

大学生处于从校园步入社会的人生发展的过渡阶段, 在学习、生活、就业方面都承受着较大的压力^[1], 容易产生焦虑^[2]、抑郁等心理健康问题^[3]。《中国国民心理健康发展报告 (2023—2024)》指出抑郁水平在 18~24 岁的青年群体中达到峰值^[4]。大学生心理健康问题长期受到社会和学界关注, 校园环境与大学生的生活质量、心理健康水平关系密切^[5]。

恢复性环境是有助于心理健康的典型环境。Stephen Kaplan 等主张以非威胁性自然环境为代表的特定环境能诱导被动注意, 使认知资源得以恢复^[6-7]。这种特定环境被称为恢复性环境, 并以吸引、远离、延展、相容为主要特征。近年来越来越多的研究致力于探索校园环境恢复性的影响机制, 并以滨水空间^[8]、绿化空间^[9]、运动场地^[10]为主要研究对象。道路是学生日常使用最频繁的校园户外空间, 不但承载了交通功能, 也是校园文化的载体^[11], 但对校园道路恢复性的研究相对匮乏。

尽管对校园道路的研究较少, 但有关城市街道恢复性的研究相对充实, 可为本研究提供理论基础。研究发现, 空间尺度^[12]、建筑界面形态^[13]、建筑体量^[13]、道路曲度^[14]、道路尺度^[15]、植被数量^[13,16-17]、植物群落结构^[18]、植物丰富度^[18]、美景度^[19]、静谧度^[20]、色彩构成^[21-22]、高宽比^[15]、新奇度^[23]、围合度^[24]、整洁度^[22]等指标与恢复性存在统计学关联。环境的感知特征和物质特征分别构成了环境知觉的直接线索和间接线索^[25-27], 但当前的道路恢复性研究更倾向于仅探讨物质特征或感知特征的影响, 忽视了认知加工层级的存在^[28]。

在研究方法方面, 当前较为主流的相关分析、回归分析、结构方程模型、方差分析等, 均以假定变量呈线性关系为前提, 但在真实世界中, 变量间的关系通常是复杂且非线性的。基于线性假设的模型对共线性的容忍度低, 因而难以纳入较多的相关变量, 限制了研究结果的生态效度。近年来, 随着机器学习方法的突飞猛进, 极限梯度提升 (XGBoost) 算法在拟合多元非线性模型方面展现出了良好的性能, 搭载 SHAP 工具可实现结果的可视化, 弥补了机器学习解释力不足的问题^[29]。因此本研究拟在 XGBoost 框架下分析感知和物质层级的空间特征对校园道路恢复性的非线性影响, 识别关键影响特征和有利于提升环境恢复性的特征值范围。研究旨在为恢复性校园设计理论补充依据, 强化校园环境对大学生心理健康的支持作用。

1 研究方法

研究首先使用开源街景图像采集和筛选 35 所大校园道路的景观图像, 接着通过语义分割计算图片的空间物质特征, 运用问卷收集受访者对图片的空间感知特征和恢复性评价。随后, 在 XGBoost 框架下使用可解释性机器学习工具 SHAP 计算感知和物质层级空间特征的贡献度, 绘制 SHAP 依赖图揭示关键空间特征与恢复性的非线性关系, 进而确定关键空间特征的最佳取值范围 (图 1)。

1.1 区域与样本

研究在中国的华北、东北、华东等 7 个地区各选择 5 所代表性高校 (表 1), 这些高校在建成时间、规模和所处气候区域等方面具有差异, 以其为对象抽样得到的道路图像能较为全面地反映我国大学校园道路的典型类型和景观特征。随后, 在开源街景地图中以 50 m 为间隔截取 3 800 个样点, 并借助 Python 通过百度地图应用程序接口获取其中 2 000 个样点的街景图片。接着删除模糊或有明显干扰物 (如机动车、施工围挡等) 的图片, 并尽量控制街景图片的季相和清晰度, 最后保留 105 张能较全面地反映高校校园道路景观特征的图片为样本。因百度开源地图使用车载设备拍摄, 故样本图片均为车行道图像 (图 2)。

1.2 指标选取

感知特征指个体基于主观经验对环境形成的感官印象与心理评价, 感知特征测度需借助问卷等主观评测的方式。在先前研究^[12-14,18,23]的基础上, 结合样本实际情况 (如要素、布局等), 筛选能够表现整体特征的 10 项指标, 包括自然度、静谧感、环境亮度、美景度、色彩鲜艳感、新奇度、协调度、景观复杂度、空间开敞度、层次感, 还有表现底界面 (道路) 特点的道路曲度、道路宽度, 以及表现侧界面特征的建筑体量感。其中, 环境亮度是空间感知的基础, 与绿视率、天空率、建筑体量感、色彩鲜艳感等其他特征存在交互作用。为满足 XGBoost 算法对交互作用的要求, 研究纳入环境亮度。

物质特征指环境中可被客观测量、独立于个体感知的属性。基于既有研究^[14-16,22]中常用的物质特征指标, 结合样本实际情况, 本研究计算水体、天空可视率、绿视率、车辆、建筑、设施、道路、围合度、硬质 9 个特征。

1.3 测度

1.3.1 感知特征测量

语义差异法是利用语言词对形成差异性判别, 来探求人的心理感受并将感受定量化的一种方法^[30], 常用于感知特征评价。根据先前研究和样本的实际情况, 筛选与恢复性潜在相关的 13 个空间感知特征, 并编写 7 级评分语义差异量

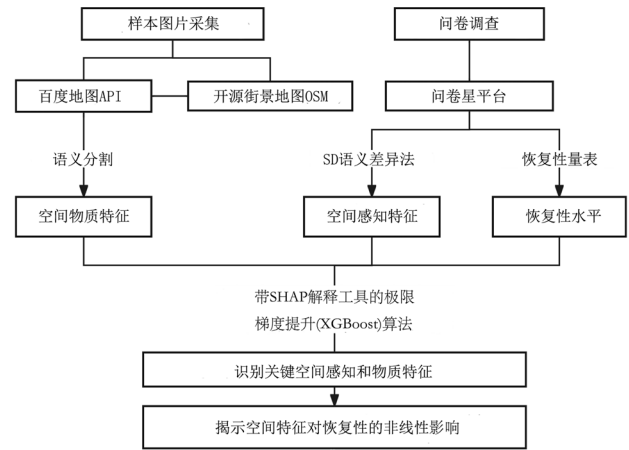


图 1 技术路线
Fig.1 Technology roadmap

表(表2), 评分范围为-3分(代表“很不同意”)至3分(代表“很同意”), 最后计算其均值作为感知特征得分。

1.3.2 物质特征测量

研究以ADE20K为训练集、ResNet-101为残差网络, 使用金字塔场景解析网络语义模型(Pyramid Scene Parsing Network, PSPnet), 对105张样本图片进行语义分割^[16], 取水体、天空、绿化带、楼房等16个景观要素的像素比, 并计算9个物质特征(表2)。

1.3.3 恢复性测量

研究采用Margherita Pasini等^[31]提出的简版恢复性量表, 该量表包含4个维度、11个项目, 经检验具有较好的信效度, 且项目较少, 便于和其他题项合并。另外, 在恢复性量表的开发中常加入放松、愉悦、偏爱等作为校标^[32-33], 本研究亦增设放松、愉悦、偏爱3个指标以提高量表的综合效度。恢复性量表使用李克特7级评价法, 赋值方法为: 从“很不同意”(赋-3分)到“很同意”(赋3分), 最后将所有项目得分的平均值计为恢复性得分(表2)。

1.4 数据获取

调查问卷包含感知特征的语义差异量表、恢复性综合评价量表和性别、年龄等人口学特征。研究使用Excel的随机数功能, 将105张图片随机排序后分配至21个平行问卷,

除被评价的图片不同外, 每个问卷的所有题目均相同。2024年7月25日至8月15日, 通过社交网络向在读大学生发放问卷, 受访者可自主选择任一二维码进入问卷星填写。每个平行问卷回收25份, 总计回收有效问卷525份。

1.5 数据分析方法

XGBoost是基于boosting框架的高效集成学习算法, SHAP解释工具可实现结果的可视化^[15]。在Rstudio 4.3.2中, 运行“xgboost”和“shapviz”包, 使用正则化算法抗共线性^[34-35], 加入L1/L2正则项($\alpha=0.1$, $\lambda=2$); 同时将树约束的最大深度设为6, 子采样设为0.7, 以保证模型复杂性。最后输出特征的SHAP均值条形图、SHAP值在特征值上的分布图, 以及SHAP值与特征SHAP依赖图。

2 结果

研究改编后的恢复性量表的Cronbach's α 为0.94, 表明内部一致性信度良好。独立样本t检验和多因素方差检验结果表明, 不同性别和专业人群对同一图片样本的恢复性评分无统计学差异, 无需进行亚组分析。由于样本量与特征数的比值相对较小, 研究使用交叉验证以更准确地评估模型性能^[36]。十折交叉验证后的均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)为 0.438 ± 0.073 , 标准差与均值之比约为



图2 样本图片示例

Fig.2 Sample image examples

表 1 样本高校情况				
Tab.1 Overview of sample universities				
地理位置	学校名称	建成年份	面积 /hm ²	样本图片数量
华北	北京大学	1898	275.13	3
	内蒙古大学	1957	149.60	3
	天津大学	1895	140.47	3
	山西大学	1902	200.53	3
	燕山大学	1920	266.67	3
华东	山东大学	1901	533.33	3
	浙江大学	1897	793.19	3
	厦门大学	1921	171.53	3
	南昌大学	1921	284.33	3
	安徽大学	1928	213.33	3
华南	中山大学	1924	915.07	3
	香港大学	1911	53.10	3
	广西大学	1928	1 453.33	3
	海南大学	1958	404.33	3
	华南理工大学	1918	294.00	3
华中	武汉大学	1893	346.33	3
	湖南大学	1926	241.00	3
	郑州大学	1928	406.67	3
	湘潭大学	1958	19.40	3
	长江大学	2003	341.20	3
东北	大连理工大学	1949	357.13	5
	东北师范大学	1946	167.47	3
	哈尔滨工业大学	1920	565.42	2
	吉林大学	1946	734.59	2
	辽宁大学	1948	148.13	3
西南	四川大学	1896	470.00	3
	云南大学	1922	291.13	3
	贵州师范大学	1941	185.33	3
	重庆大学	1929	353.33	3
	西藏大学	1951	93.33	3
西北	宁夏大学	1958	195.70	3
	新疆大学	1924	342.11	3
	青海大学	1958	215.99	3
	西安电子科技大学	1931	262.99	3
	兰州大学	1909	234.87	3

表 2 恢复性、感知特征、物质特征测量方法		
Tab.2 Measurements of restorativeness, perceived characteristics and physical characteristics		
测量类别	指标	特征值计算方法
恢复性	这里有吸引力	很不同意（-3）—很同意（3）
	这里有很多有意思的东西吸引我的注意力	很不同意（-3）—很同意（3）
	在这里很难感到无聊	很不同意（-3）—很同意（3）
	在这里我可以暂时远离恼人的事	很不同意（-3）—很同意（3）
	在这里我可以暂时远离劳神的事	很不同意（-3）—很同意（3）
	在这里我可以暂停思考我必须要做的事	很不同意（-3）—很同意（3）
	这个空间布局秩序清晰	很不同意（-3）—很同意（3）
	很容易看清这里的环境要素是如何被组织的	很不同意（-3）—很同意（3）
	这里的一切似乎都在恰当的位置	很不同意（-3）—很同意（3）
	这里有足够的空间让我探索	很不同意（-3）—很同意（3）
	在这我可以无拘无束地移动	很不同意（-3）—很同意（3）
	这里让我放松	很不同意（-3）—很同意（3）
	这里让我愉悦	很不同意（-3）—很同意（3）
	我喜欢这里	很不同意（-3）—很同意（3）
感知特征	建筑体量感	渺小的（-3）—巨大的（3）
	道路曲度	平直的（-3）—弯曲的（3）
	空间开敞度	围合的（-3）—开敞的（3）
	景观复杂度	单调的（-3）—复杂的（3）
	环境亮度	阴暗的（-3）—明亮的（3）
	自然度	人工的（-3）—自然的（3）
	静谧感	喧闹的（-3）—沉寂的（3）
	美景度	丑陋的（-3）—美丽的（3）
	色彩鲜艳感	黯淡的（-3）—鲜艳的（3）
	协调度	不协调的（-3）—协调的（3）
物质特征	新奇度	熟悉的（-3）—新奇的（3）
	层次感	模糊的（-3）—分明的（3）
	道路宽度	狭窄的（-3）—宽阔的（3）
	水体	水体的像素比
	天空可视率	天空的像素比
	绿视率	树木、绿化带、草坪等的像素比之和
	车辆	轿车、自行车、迷你自行车的像素比之和
	建筑	楼房、墙体的像素比之和
	设施	座椅、路灯、垃圾桶的像素比之和
	道路	车行道、人行道、小径的像素比之和
	围合度	墙体、护栏、绿化带、路灯的像素比之和
	硬质	人工贴面（墙体、道路）的像素比

16%，模型存在轻度过拟合风险，但在小样本研究中可以接受^[37]。描述性统计结果显示感知特征的评分为-2.64~-2.48，变化幅度较小；物质特征中绿视率评分的变化最大（方差为0.30）；设施、车辆、水体在校园道路中是偶然因素，变化较小，方差接近0。

2.1 影响恢复性的关键感知和物质特征

SHAP 均值为前 12 位的空间特征对恢复性的解释率已超过 80%，是影响恢复性的关键特征（图 3）。其中自然度、美景度、色彩鲜艳感、绿视率、层次感、新奇度、景观复杂度、静谧感、协调度和围合度的特征值较高时，SHAP 的正值点较多，总体影响为正向；环境亮度、空间开敞度、道路占比也呈现出较弱的正向影响；而建筑、设施、硬质、道路曲度、建筑体量感、天空可视率、车辆和水体则呈现出特征值越高，负向影响越强的特点（图 4）。

2.2 关键特征对恢复性的非线性影响

2.2.1 感知特征对恢复性的非线性影响

感知特征的 SHAP 值与特征值的依赖关系呈现出 4 种特定的规律：1) 自然度、美景度、协调度的 SHAP 值随特征值递增，且未出现饱和状态（图 5-a~c）。三者的 SHAP 值由负转正的拐点分别约为 -0.80、0.10、0.50。2) 色彩鲜艳感、层次感、环境亮度的 SHAP 值变化近似倒 U 形，即先上升后下降（图 5-d~f）。三者 SHAP 值为正时，特征值分别为 0~1.50、0.50~1.50、0~1.50。特征值低于或高于该范围时，对恢复性产生负向影响。3) 新奇度、景观复杂度的 SHAP 值随特征值递增后趋于饱和，呈现出倒 L 形（图 5-g~h）。两者的 SHAP 值由负转正的特征值拐点分别

约为 -1.00 和 -0.45 时，且两者 SHAP 值的增长饱和点分别出现在特征值约为 -0.80 和 0 时。4) 静谧感 SHAP 值变化近似 U 形，即先下降再上升（图 5-i）。静谧感的特征值约为 -0.10~1.10 时，SHAP 值为负；特征值低于 -0.10 或大于 1.10 时，SHAP 值为正。

2.2.2 物质特征对恢复性的非线性影响

物质特征的 SHAP 依赖曲线则更加复杂：1) 建筑视觉占比的 SHAP 值先下降再上升后饱和，是 U 形和倒 L 形的结合（图 5-j）。特征值约为 0~0.16 时，SHAP 值为负；超过 0.16 后 SHAP 值转为正，超过 0.25 后增速放缓，SHAP 值趋于饱和。2) 绿视率与围合度 SHAP 值先下降再上升又下降，呈现出倒 S 形（图 5-k~l）。绿视率约为 0.45 时 SHAP 值由负转正，约为 0.60 时 SHAP 值增长达到饱和并开始下降。围合度特征值约为 0.25~0.50 时 SHAP 值为负，对恢复性有抑制作用；特征值低于 0.25 和在 0.50~0.90 时 SHAP 值为正，对恢复性有促进作用。

3 讨论

3.1 感知特征与物质特征的相对重要性

在 12 个关键特征中，9 个感知特征对恢复性的影响大于 3 个物质特征的影响。概率知觉论^[25,38]认为物质特征只是环境评价的远距线索，需要经由认知加工整合为更高层级的感知特征，才能形成最终的知觉结果。在校园道路景观设计实践中，相比于调控具体物质要素的数量特征（如绿视率、水体率等），调控对恢复性影响更大的感知特征（如自然度、美景度、协调度、层次感等）是一种更为有效的手段。

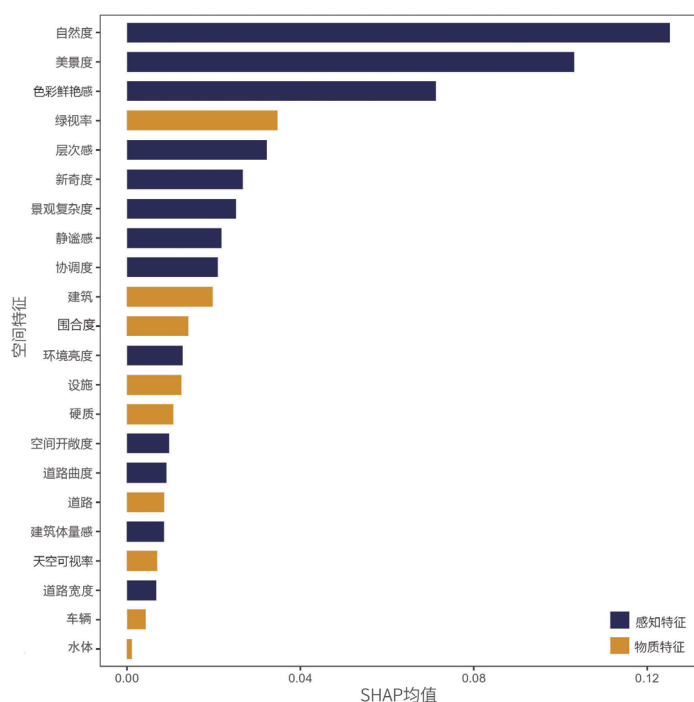


图 3 SHAP 均值条形图

Fig.3 SHAP mean bar plot

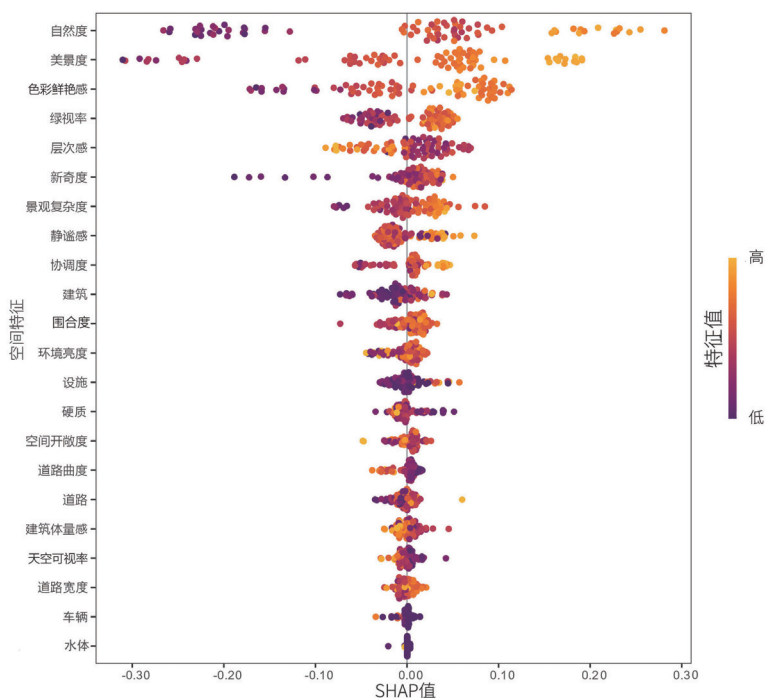


图 4 SHAP 值在特征值上的分布

Fig.4 The distribution of SHAP values on feature values

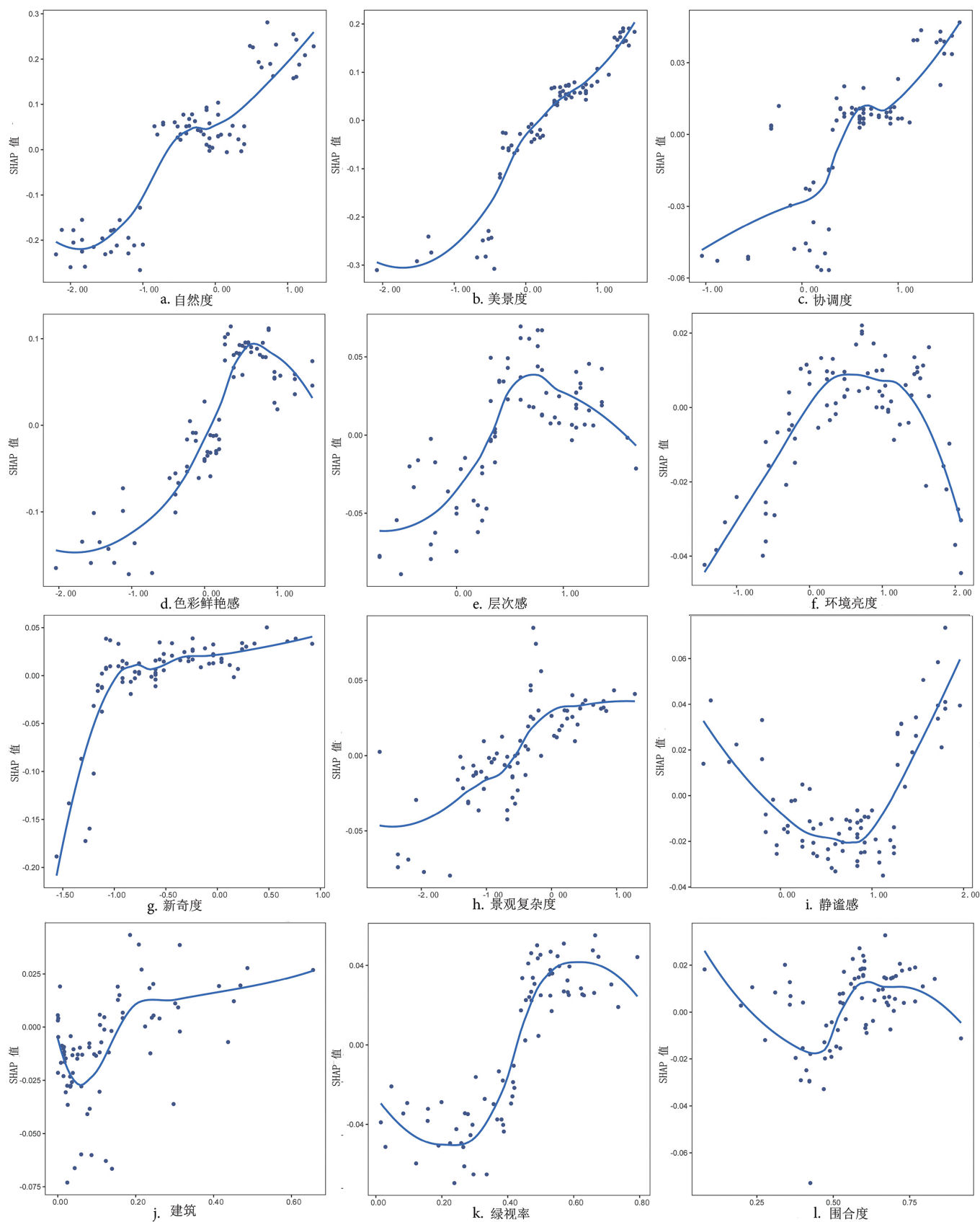


图 5 特征 SHAP 依赖图

Fig.5 SHAP dependence plot

3.2 感知特征对恢复性的非线性影响

在关键感知特征中,自然度对恢复性的总体贡献最大,且促进作用受到自身强化。人类有亲自然的本能^[39],而自然要素中亦蕴藏着丰富的感官刺激,能补充建成环境在感官刺激维度的不足。另外,高自然度往往关联更曲折的视线,能激发人们对环境的兴趣和探索^[39~40]。美景度对恢复性的贡献也较大,同样受到自身强化。美是产生吸引力的核心原因^[6],在审美过程中,大脑的“奖励中枢”被激活,从而使人产生愉悦感^[41]。协调度与恢复性环境中的“延展”维度在内涵上重叠,其对恢复性具有强化作用。另外,协调有序的道路景观更有助于空间定向、减少认知负荷^[42],进而提高恢复性评价。

层次感对恢复性的影响近似倒U形,层次过于分明意味着环境单调,而层次模糊会增加认知负荷。色彩鲜艳感对恢复性的影响亦近似倒U形。Mohamed Elsadek等^[43]发现,观看鲜艳的叶片时大脑活动的激活程度更高,观看黯淡的叶片时大脑的活动减少。恢复性体验需要适中的唤醒水平,因此过于鲜艳和黯淡都不利于恢复性环境营造。环境亮度对恢复性的影响同样近似倒U形。亮度是感知空间的前提,过低或过高的亮度都可能导致视觉不舒适或过度刺激,这与以往的研究结果相符^[44]。

新奇度对恢复性总体为正向影响,且到一定程度后其促进作用趋近饱和。Karin Laumann等^[45]曾发现恢复性环境的远离性特征包含新奇性和逃逸性2个成分,环境越新奇,代表其与消耗主动注意的日常环境的差异性越大。景观复杂度对恢复性的贡献亦近似倒L形发展,超过一定水平后其促进作用饱和。相关研究认为环境复杂度与偏爱指标的关系呈倒U形^[46],但本研究采集的道路图片的平均复杂度不高,因此未能揭示景观复杂度过高时对恢复性的影响。

静谧感对恢复性的影响近似U形。相关研究认为静谧的环境有助于降低生理和心理激活水平^[47],但本研究发现热闹的环境亦有利于恢复性,这可能是因为热闹的校园道路一般是人流较多的主景路,具有更高的美学价值。

3.3 物质特征对恢复性的非线性影响

绿视率对恢复性的影响呈现复杂的倒S形。绿视率过高会降低视觉的通达度,增强压抑感和威胁感^[48];而绿视率过低意味着缺少足够的自然元素来促进恢复性。Bin Jiang等^[49]发现树木覆盖率在30%左右最有利于压力缓解,低于或高于30%时对压力的缓解效果都会减弱。围合度对恢复性的影响亦呈现出类似的倒S形。过高的围合度会减少自然光线,降低视觉通透性,从而削弱环境的舒适感和安全感;过低的围合度则不利于形成空间感和私密感。

建筑视觉占比对恢复性的影响是U形和倒L形的结合。尽管通常认为建筑占比增加会削弱环境的自然性,但Xing Fan^[50]等指出建筑要素有助于形成“可防御空间”,增强居民的安全感和保障感。此外,建筑视觉占比过低的校园道路可能位于偏僻的位置,关联着更高的危险感知。

3.4 设计启示

研究结果为营造恢复性校园景观提供以下启示:1)营造复合的植物群落结构不仅有助于提供适宜的景观复杂度、层次感和围合度,还能提供更多物种提供栖息地,提高生物多样性和自然度,通过吸引昆虫和鸟类营造活泼的自然声景。2)种植冠大荫浓的阔叶乔木有助于形成适宜的围合感、环境亮度和绿视率。3)保持合理的种植密度有助于形成适宜的绿视率、环境亮度和围合感;保持适当的建筑可视率可增强归属感和安全感。4)选择开花植物和色叶植物时,应注意其与整体的协调,不宜过分夸大色彩的多样性,导致视觉疲劳。5)沿路参差种植植物有助于增强人们的探索欲和新奇感,使开敞和围合空间交替出现,充分发挥不同围合度对恢复性的正向作用。6)适当创新铺装的色彩和形式,在保证整体协调度和美景度的基础上,提高环境的新奇度。7)在局部使用小料石、碎石等自然材料铺地有助于提高环境的自然度。8)在保证交通顺畅的前提下,曲线形道路设计更有利于提高自然度和人们对环境的探索欲。

4 结论

以中国35所高校的105张校园道路图片为样本,使用主观问卷和语义分割测量其恢复性、感知特征和物质特征,拟合XGBoost模型并使用SHAP工具可视化结果,发现感知特征中的自然度、美景度、协调度、色彩鲜艳感、层次感、新奇度、景观复杂度、静谧感、环境亮度,物质特征中的绿视率、建筑、围合度对恢复性的贡献相对较大。其中,自然度、美景度、协调度的贡献度随特征值的增加近似单调递增;色彩鲜艳感、层次感、环境亮度对恢复性的影响呈倒U形,存在最佳取值区间;新奇度、景观复杂度、建筑可视率对恢复性的影响呈现递增后饱和的态势,当特征值超过饱和点后,这3项指标的贡献度将实现最大化;静谧感对恢复性的影响近似U形,安静或热闹的环境都有利于恢复性;绿视率和围合度对恢复性的影响呈现复杂的倒S形,同时存在最适宜的和最不适宜的特征值区间。研究结果为营造恢复性校园景观补充了科学依据,有助于完善环境恢复性研究的理论体系和证据链,强化校园对大学生心理健康的支持作用。

本研究在同一模型中比较感知和物质特征对恢复性的贡献,明确了感知特征的重要性,校正了当前研究过分偏重物质特征的问题。相较于传统的统计方法,研究使用的XGBoost模型对共线性具有高容忍力,可纳入更多相关变量,提高了模型的复杂性,扩大了结果的应用范围。研究还揭示了空间特征对恢复性的非线性影响,识别了部分特征的适宜和不适宜取值区间,强化了结论在指导设计实践方面的落地性。

研究的不足主要体现在:1)本文主要利用百度街景地图程序获取图片样本,因该程序使用机动车搭载运动相机拍摄街景,研究缺失机动车不可进入的小径数据,后续应补充校园小径的图片数据。2)本研究问卷采样受渠道和平台所

限, 华东地区的受访者人数较多, 这可能导致问卷结果受到地域文化和气候因素的影响, 后续研究应对不同省份的在读大学生进行分层抽样。3) 研究的样本量与特征数的比值较小, 导致 XGBoost 模型出现轻度过拟合情况, 后续研究应继续扩大样本量, 并根据本阶段研究结果进一步筛选影响恢复性环境的关键性特征。

注: 图片均由作者自绘。

参考文献:

[1] YIFAN J, DAN Q, DESHENG Z, et al. Is stress motivation? Effects of perceived stress on online self-directed learning of college students in China[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 29 (6) : 6473-6497.

[2] NEMEROFF R, HARDEN A, KOWALSKY B. Yoga classes as an early intervention for college students reporting high levels of stress and anxiety: A pilot study[J]. *Journal of American College Health*, 2024, 72 (1) : 4-10.

[3] ZHANG C, SHI L, TIAN T, et al. Associations Between Academic Stress and Depressive Symptoms Mediated by Anxiety Symptoms and Hopelessness Among Chinese College Students[J]. *Psychology Research and Behavior Management*, 2022, 15: 547-556.

[4] 孙向红, 蒋毅, 陈雪峰, 等. 中国国民心理健康发展报告(2023—2024) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2025.

[5] LIU C H, PINDER-AMAKER S, HAHM H C, et al. Priorities for addressing the impact of the COVID-19 pandemic on college student mental health[J]. *Journal of American College Health*, 2022, 70 (5) : 1356-1358.

[6] KAPLAN S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1995, 15 (3) : 169-182.

[7] KAPLAN R, KAPLAN S. *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*[M]. Cambridge, Eng: Cambridge University Press, 1989.

[8] REEVES J P, JOHN C H D, WOOD K A, et al. A Qualitative Analysis of UK Wetland Visitor Centres as a Health Resource[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18 (16) : 8629.

[9] AKPINAR A. How is high school greenness related to students' restoration and health?[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 16: 1-8.

[10] DU Y, ZOU Z, HE Y, et al. Beyond Blue and Green Spaces: Identifying and Characterizing Restorative Environments on Sichuan Technology and Business University Campus[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19 (20) : 13500.

[11] LI Q, CUI C, LIU F, et al. Multidimensional Urban Vitality on Streets: Spatial Patterns and Influence Factor Identification Using Multisource Urban Data[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2022, 11 (1) : 2.

[12] SAN JUAN C, SUBIZA-PÉREZ M, VOZMEDIANO L. Restoration and the City: The Role of Public Urban Squares[J]. *Front Psychol*, 2017, 8: 2093.

[13] LINDAL P J, HARTIG T. Effects of urban street vegetation on judgments of restoration likelihood[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, 14 (2) : 200-209.

[14] 孙良, 宋静文, 滕思静, 等. 步行商业街界面形态类型与感知量化研究 [J]. *规划师*, 2020, 36 (13) : 87-92.

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

[16] BORNIOLO A, PARKHURST G, MORGAN P L. Psychological Wellbeing Benefits of Simulated Exposure to Five Urban Settings: an Experimental Study From the Pedestrian's Perspective[J]. *Journal of Transport & Health*, 2018, 9: 105-116.

[17] 胡童童, 张晓玮, 周晓雷. 基于百度街景图像的兰州市安宁区行道树研究 [J]. *广东园林*, 2024, 46 (5) : 52-59.

[18] CHIANG Y-C, LI D, JANE H-A. Wild or tended nature? The effects of landscape location and vegetation density on physiological and psychological responses[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 167: 72-83.

[19] XU L, MENG R, HUANG S, et al. Healing Oriented Street Design: Experimental Explorations via Virtual Reality[J]. *Urban Planning International*, 2019, 34: 38-45.

[20] PÁLSDÓTTIR A M, STIGSDÓTTIR U K, PERSSON D, et al. The qualities of natural environments that support the rehabilitation process of individuals with stress-related mental disorder in nature-based rehabilitation[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29: 312-321.

[21] KEXIU L, ELSADEK M, LIU B, et al. Foliage colors improve relaxation and emotional status of university students from different countries[J]. *Heliyon*, 2021, 7 (1) : e06131.

[22] 潘佳馨, 杜宏武. 基于视觉感知的生活型街道空间疗愈性研究 [J]. *建筑与文化*, 2022 (6) : 109-110.

[23] 郭雨晴, 龚鹏. 基于 8 类感知属性法研究校园绿地对大学生注意力恢复的影响 [J]. *江苏林业科技*, 2024, 51 (3) : 46-52.

[24] 邵钰涵, 卢嫻, 殷雨婷. 上海中心城区口袋公园恢复性效益研究 [J]. *中国城市林业*, 2024, 22 (1) : 25-33, 86.

[25] MOSIER K L, KIRLIK A. Brunswik's Lens Model in Human Factors Research: Modern Applications of a Classic Theory[J]. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2004, 48 (3) : 350-354.

[26] HAMMOND K R. Probabilistic functioning and the clinical method[J]. *Psychol Rev*, 1955, 62 (4) : 255-262.

[27] SIEGEL G. Can basic perceptual features be learned?[J]. *Synthese*, 2025, 205 (2) : 48.

[28] ZANG Z, ZHANG L, LIU Y, et al. A Framework for Analyzing Spatial Heterogeneity and Influencing Factors of Campus Green Space in Xi'an, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2025, 35 (4) : 786-801.

[29] CHEN T, GUESTRIN C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System[C]//*Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. San Francisco: ACM, 2016.

[30] KITTROSS J M. The measurement of meaning[J]. *Audiovisual communication review*, 1959, 7 (3) : 154-156.

[31] PASINI M, BERTO R, BRONDINO M, et al. How to Measure the Restorative Quality of Environments: The PRS-11[J]. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2014, 159: 293-297.

[32] HARTIG T, KALEVI K, W. E G, et al. A measure of restorative quality in environments[J]. *Scandinavian Housing and Planning Research*, 1997, 14 (4) : 175-194.

[33] STAATS H, KIEVIET A, HARTIG T. Where to recover from attentional fatigue: An expectancy-value analysis of environmental preference[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2003, 23 (2):

147-157.

[34]KUHN M, JOHNSON K. Applied Predictive Modeling[M]. New York: Springer, 2013.

[35]HASTIE T, TIBSHIRANI R, FRIEDMAN J, et al. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction[J]. Math Intell, 2004, 27: 83-85.

[36]CAWLEY G C, TALBOT N L C. On Over-fitting in Model Selection and Subsequent Selection Bias in Performance Evaluation [J]. J Mach Learn Res, 2010, 11: 2079-2107.

[37]MA W, HAN W, ZHANG H, et al. UAV multispectral remote sensing for the estimation of SPAD values at various growth stages of maize under different irrigation levels[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 227: 109566.

[38]BRUNSWIK E. Wahrnehmung und Gegenstandswelt: Grundlegung einer Psychologie vom Gegenstand her[M]. Leipzig, Germany: Franz Deuticke, 1934.

[39]刘博新, 李树华. 康复景观的亲生物设计探析 [J]. 风景园林, 2015, 22 (5) : 123-128.

[40]ZHANG R. Research and evaluation on students' emotional attachment to campus landscape renewal coupling emotional attachment scale and public sentiment analysis: a case study of the "Heart of Forest" in Beijing Forestry University[J]. Frontiers in Psychology, 2023, 14: 1250441.

[41]张璇, 周晓林. 神经美学视角的审美愉悦加工机制 [J]. 心理科学进展, 2021, 29 (10) : 1847-1854.

[42]魏方, 徐静, 樊懋, 等. 可持续更新背景下后工业景观的连贯性与易读性感知研究 [J]. 风景园林, 2023, 30 (6) : 27-34.

[43]ELSADEK M, SAYAKA S, FUJII E, et al. Human emotional and psycho-physiological responses to plant color stimuli[J]. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2013, 11: 1584-1591.

[44]李芸, 汝涛涛, 李丝雨, 等. 环境光照对情绪的影响及其作用机制 [J]. 心理科学进展, 2022, 30 (2) : 389-405.

[45]LAUMANN K, GÄRLING T, STORMARK K M. RATING SCALE MEASURES OF RESTORATIVE COMPONENTS OF ENVIRONMENTS[J]. Journal of Environmental Psychology, 2001, 21 (1) : 31-44.

[46]朱晓玥, 金凯, 余洋. 基于实景图片的恢复性环境空间类型及特征研究 [J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35 (4) : 25-33.

[47]詹开元, 任维. 基于社交媒体数据的国家公园声景观感知研究 [J]. 广东园林, 2025, 47 (1) : 3-10.

[48]朱怀真, 杨凡, 南歆格, 等. 国内外绿视率研究进展 [J]. 中国城市林业, 2022, 20 (3) : 140-146.

[49]JIANG B, CHANG C-Y, SULLIVAN W C. A dose of nature: Tree cover, stress reduction, and gender differences[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 132: 26-36.

[50]FAN X, HU D, FAN Y, et al. Urban restorative environments: The critical role of building density, vegetation structure, and multi-sensory stimulation in psychophysiological recovery[J]. Building and Environment, 2025, 281: 113190.

作者简介:

刘畅/1990 年生/女/辽宁铁岭人/博士/福建农林大学风景园林与艺术学院(福州 350100)/副教授, 硕士生导师/研究方向为绿色疗法与康养景观

黎梓熙/2002 年生/女/广东广州人/福建农林大学风景园林与艺术学院(福州 350100)/在读硕士研究生/专业方向为康养景观规划设计理论

郑泳鎔/1999 年生/女/福建永泰人/硕士/福建农林大学风景园林与艺术学院(福州 350100)/专业方向为景观感知

许诺/1999 年生/男/江西吉水人/硕士/福建农林大学风景园林与艺术学院(福州 350100)/专业方向为街道活力评价

赵佳怡/2000 年生/女/山东淄博人/硕士/福建农林大学风景园林与艺术学院(福州 350100)/专业方向为康养景观规划设计理论