

基于虚拟现实技术的校园绿道对大学生压力恢复的疗愈效益评价——以广州大学城为例

Evaluation of the Therapeutic Benefits of Campus Greenways Based on Virtual Reality Technology for Stress Recovery among College Students: A Case Study of Guangzhou University Town

郑逸 李丽* 冷元煜 吴慧娴 吴柳阳

ZHENG Yi, LI Li*, LENG Yuanyu, WU Huixian, WU Liuyang

摘要

随着社会经济结构的转型与高等教育竞争的加剧,大学生群体在多维压力下,正面临心理健康危机。校园绿道作为学生压力恢复、调节情绪的有效媒介,值得深入探讨。以广州大学城绿道为研究场域,选取乔木种类、植物叶色、郁闭度和道路弯曲度4项指标,采用VR技术构建25个虚拟场景进行试验,测量高校大学生的生理指标(血压、脉搏和皮肤温度)和心理指标,探究基于虚拟现实的校园绿道对大学生压力恢复的疗愈效益。结果显示,基于虚拟现实的校园绿道场景能有效缓解消极情绪、促进积极情绪;颜色和道路弯曲度对压力恢复具有显著影响;当植物树叶颜色为黄色且道路弯曲度为135°时,绿道的环境恢复性效益最佳。

Abstract

With the transformation of the social economic structure and the intensification of competition in higher education, college students are facing a mental health crisis under multi-dimensional pressure. As an effective medium for students to recover from stress and regulate their emotions, campus greenways deserve in-depth exploration. Taking the greenways in Guangzhou University Town as the research field, four indicators, namely tree species, leaf color parameters, canopy density and road curvature, were selected. 25 virtual scenes were constructed using VR technology for experiments, and the physiological indicators (blood pressure, pulse and skin temperature) and psychological indicators of college students were measured to explore the therapeutic benefits of campus greenways based on virtual reality for stress recovery among college students. The results show that a virtual reality-based campus greenway environment can effectively alleviate negative emotions and promote positive emotions. Color and road curvature have a significant impact on stress recovery. When the leaf color of plants is yellow and the road curvature is 135°, the environmental restorative benefits of the greenway are the best.

文章亮点

1) 研究结合VR技术,通过测量生理指标与心理指标,发现校园绿道的乔木种类、植物叶色、郁闭度和道路弯曲度对大学生压力恢复的疗愈效益具有不同程度的影响。2) 结合虚拟场景对校园绿道设计要素的量化和精细化研究具有创新性,为疗愈性校园绿道空间设计提供借鉴。

在社会经济快速转型和高等教育竞争加剧的背景下,大学生群体在学业、职业规划等多重压力下面临着心理健康危机^[1]。恢复性环境已被证实能有效恢复注意力、减轻压力并改善身心健康^[2],为缓解大学生心理压力提供了可行路径。

近年来,虚拟现实(VR)技术在心理健康领域展现出巨大潜力^[3~4],结合恢复性环境以调节公众心理健康成为研究热点。

恢复性环境概念源于环境心理学^[5~6],指能补充、恢复

关键词

校园绿道; 压力恢复; 疗愈; 虚拟现实技术; 恢复性环境

Keywords

Campus greenways; Stress recovery; Healing; Virtual reality technology; Restorative environments

收稿日期: 2025-08-30

修回日期: 2025-09-24

或更新心理资源的环境设置, 具备远离、范围、魅力和兼容性四大特征。恢复性环境通过视觉吸引力、自然性和宁静安逸性等要素, 促进个体在生理、情感和注意力方面的恢复。在恢复性环境效益的实证研究中, 早期工作主要聚焦于环境类型的横向比较, 如郊外自然环境与城市建成环境的对比^[7-8]、人工林地与自然森林的对比等^[9]。此类研究虽验证了自然环境的显著恢复优势, 但其内在作用机制的解构仍显不足。随着研究深入, 学界逐渐转向对特定环境要素的纵向解析, 如徐磊青等^[10]发现绿视率、街道界面等环境特征与街道的恢复性潜力显著相关。这些发现推动恢复性环境研究进入微观要素解析阶段, 但现有成果在景观要素的空间配置机制及其压力恢复疗愈效益方面仍存在理论盲区。因此, 深入地探讨景观设计要素对于恢复性环境效益的影响, 将成为提升恢复性环境设计可操作性的关键突破口, 也为公共空间疗愈性设计提供循证决策支持。

智能时代背景下, VR 技术为探索恢复性环境提供了新的视角^[11]。其核心在于构建沉浸式虚拟环境 (Immersive Virtual Environments, IVE), 通过合成多感官信息营造可交互的“存在感”^[12]。Brian Orland 等^[13]研究发现, VR 场景在沉浸感、动态场景和立体声的作用下, 能够较大程度地提升环境生态有效性, 模拟真实场景。此外, 还有团队通过实验验证了 VR 技术与人工气候室结合的可行性, 证实了其能还原自然场景的视觉感受^[14]。基于这些技术优势, VR 技术已被应用于自然环境暴露研究中, 通常用于评估参与者的存在感。多项实验证明 VR 技术中森林环境和自然声音对心理压力恢复的刺激作用, 可以促进压力缓解和改善情绪^[15-16]。这些发现为基于 VR 技术的恢复性环境研究提供了实践基础, 也凸显了 VR 技术在心理恢复领域的应用潜力。因此, 探索 VR 技术中恢复性疗愈环境的构建及其治愈效果, 兼具理论与现实意义。

在探讨绿道景观要素的恢复效益

方面, 已有研究从多个维度展开。校园内行道树树种对于绿道温湿度环境具有调节作用^[17]。相关研究表明^[18], 大学生群体观看红色、绿色、黄色、白色、紫色、蓝色植物均可缓解压力, 提高精力和注意力, 植物色彩对血压降低和紧张感缓解也有一定程度的作用。黄雪扬等^[19]进一步提出人体舒适度与郁闭度呈正相关关系; 曹赛新等^[20]提取各类都市型绿道环境特征的关键恢复性要素, 指出“游径”都市公园型绿道中具有恢复功能的环境要素; 卢杨扬^[21]通过景观特征问卷信度分析, 筛选出绿道弯曲性对使用者的视觉感知有显著影响。

本研究聚焦于基于虚拟现实技术的校园绿道对大学生压力恢复的疗愈效益, 从人的感知和视觉偏好角度出发, 以树种、植物叶色、郁闭度、道路弯曲度为关键绿道景观要素, 构建虚拟环境, 探讨绿道空间要素与人的情绪恢复性之间的关系, 为疗愈性绿道空间设计提供借鉴。

1 研究方法

1.1 试验指标的选取

本研究通过现场勘查与航拍摄影, 对广州大学城绿道景观开展了 2 次实地调研, 以全面了解其现状与构成要素, 为后续问卷设计与视觉偏好分析提供了重要的现实依据。为选取试验指标, 研究于 2024 年 3 月在广州大学城绿道开展问卷调查, 运用问卷星和纸质问卷相结合的方式, 共发放问卷 200 份, 回收有效问卷 192 份, 有效率高达 96%。问卷分为 2 部分: 第一部分收集受访学生的社会人口特征 (如性别、学历) 及绿道使用行为偏好; 第二部分则基于实地调研提取的 25 个绿道景观要素, 采用里克特五点量表法进行评价, 初步筛选出 14 个学生偏好的绿道要素指标。随后, 运用 SPSS 26.0 软件对问卷数据进行了信度与效度分析, 结果证实数据可靠有效, 为后续因子分析提供了支持。

在问卷调查的基础上, 本研究于 2024 年 5 月在广州大学进行照片访谈实验, 共 60 名大学生参与。实验基于

问卷调查筛选出的 14 个绿道景观要素指标, 对应实地调研拍摄的 14 组照片展开。首先, 受试者从每组照片中选出最喜欢的一张, 记录照片被选次数, 并取每组中被选次数最多的照片作为第二阶段的实验材料。接着, 每位受试者从 14 张照片中再次挑选出 4 张最喜欢的照片。通过统计选择频次, 最终确定乔木种类、植物叶色、郁闭度、道路弯曲度 4 个关键的绿道景观要素。

1.2 试验场景设计

为探索绿道景观视觉评价的量化规律, 本研究采用正交实验法构建评价体系^[22], 以乔木种类、植物叶色、郁闭度、道路弯曲度 4 个关键要素为主控因子, 每个主因子下设 5 个水平, 共形成 25 组实验场景 (表 1, 图 1)。

乔木种类选取了广州大学城绿道中具有代表性的 5 种行道乔木, 包括小叶榄仁、麻楝、宫粉羊蹄甲、秋枫和凤凰木^[23-24]。这些树种的出现频率、

表 1 试验场景设计
Tab.1 Experimental scenario design

场景组别	叶色	郁闭度 /%	弯曲度 /°
麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i> (场景 1~5)	红色	0	0
	黄色	25	45
	白色	50	90
	绿色	75	135
	黄绿	100	180
凤凰木 <i>Delonix regia</i> (场景 6~10)	红色	25	90
	黄色	50	135
	白色	75	180
	绿色	100	0
	黄绿	0	45
秋枫 <i>Bischofia javanica</i> (场景 11~15)	红色	50	180
	黄色	75	0
	白色	100	45
	绿色	0	90
	黄绿	25	135
宫粉羊蹄甲 <i>Bauhinia variegata</i> (场景 16~20)	红色	75	45
	黄色	100	90
	白色	0	135
	绿色	25	180
	黄绿	50	0
小叶榄仁 <i>Terminalia neotaliala</i> (场景 21~25)	绿色	100	135
	红色	0	180
	白色	25	0
	黄色	50	45
	黄绿	75	90

观赏价值及其对学生视觉偏好的潜在影响均被纳入考量。同时，为了深入分析树木形态特征对恢复性感知的潜在影响，参考植物形态学分类方法，本研究对上述树种的树冠形态、树叶形态及枝干形态这3个关键视觉特征进行了定性评估与分类（表2）。

植物叶色选取红色、黄色、白色、绿色和黄绿5种常见颜色，并在虚拟场景中模拟季节变化带来的色彩叠加效果。

郁闭度是衡量绿化空间密集程度的重要指标，本研究将其划分为5个等级：0%（依稀散种）、25%（两侧错位种植，间距为20 m）、50%（两侧错位种植，间距为15 m）、75%（间距为10 m）和100%（间距为5 m）。场景设计同时控制树木冠幅与高度，以保障郁闭度模拟的准确性。

道路弯曲度是影响绿道景观视觉效果和行走体验的关键因素之一，研究选取了0°（直线）、45°、90°、135°和180°（U型弯）5类典型弯曲度。道路

长度统一为200 m，每个场景仅设1处弯道，并控制弯道半径与切线长度等参数，以确保实验结果的可靠性和有效性。

接着，试验采用VR技术为受试者提供不同因子组合绿道的观看体验。室内环境下的VR场景可规避真实场景中光、风、噪声等因素对受试者的干扰。试验场景利用SketchUp 2022建模，再导入光辉城市Mars 2020平台进行

植被布置与材质渲染，通过程序精确控制树种、颜色、郁闭度、道路弯曲度4个要素，构建出具有代表性的25个校园绿道虚拟场景，挖掘变量间的影响关系（图1），并且运用该平台录制虚拟场景视频。

1.3 试验对象及地点

试验于2024年11月16至17日在广州大学工程南专业实验室进行，按照男女1：1比例随机招募了46名

表2 试验树种形态特征
Tab.2 Morphological characteristics of the experimental tree species

树种	树冠形态	树叶形态	枝干形态
小叶榄仁	层状塔形，冠幅5~8 m	匙形或倒卵形小叶，簇生	主干笔直，侧枝轮生平展
麻楸	卵圆形至圆形，冠幅10~15 m	羽状复叶，全缘	树干通直，分枝自然舒展
宫粉羊蹄甲	广卵形或不规则形，冠幅约8~12 m	肾形或圆形叶，革质	主干常不显著，枝条舒展略下垂
秋枫	广卵形，冠幅15 m以上	三出复叶，有锯齿	主干粗壮，分枝茂密
凤凰木	广卵形至伞形，冠幅15~20 m	二回羽状复叶	主干粗大，枝干横向伸展



图1 试验场景效果图
Fig.1 Rendering of the experimental scenario

在校学生作为受试者，最终有效人数为 43 人。试验要求受试者年满 18 周岁，听力和视力正常或矫正后正常，无既往光敏性癫痫病或严重模拟器疾病史，目前未服用精神药物或未患有严重精神疾病。试验室环境可确保受试者处在恒定的温度、湿度及声环境下，且光照均匀稳定，无特殊气味干扰。在试验前 48 小时内，受试者禁止摄入酒精等刺激性食物，以确保能独立理解并认真完成试验任务。

1.4 试验指标测定方法

试验测定的生理指标包括血压、脉搏和皮肤温度。血压和脉搏利用鱼跃电子血压计（YE680CR）测量。血压水平包括舒张压水平、收缩压水平，其受到自主神经系统的调控，能够反映精神的放松状态，血压水平的降低代表精神放松，状态提升。皮肤温度采用沃第森温度记录仪（DS1923）采集，该设备具有暴露的热敏电阻，响应迅速，可配合专用软件实时记录数据。根据人类工效学——热应变的生理学测量评价标准（ISO 9886: 2004）^[25]，在温暖环境中依据 4 个身体部位的温度计算平均皮肤温度，公式如下：

$$t_{sk} = 0.28t_{neck} + 0.28t_{scapula} + 0.16t_{hand} + 0.28t_{shin} \quad (1)$$

式中， t_{sk} 为平均皮肤温度， t_{neck} 、 $t_{scapula}$ 、 t_{hand} 和 t_{shin} 分别代表从颈部后部、右侧肩胛骨、左手和右侧小腿处测得的温度。

试验采用调查问卷收集心理指标数据。调查问卷包括 2 部分，第一部分为积极消极情感量表（Positive and Negative Affect Schedule, PANAS）^[26]，用于评估受试者心境，反映情绪由消极到积极的变化过程。第二部分为感知恢复性评价，利用感知恢复性量表（Perceived Restorative Scale, PRS），以注意力恢复理论中的 4 种特质（远离感、延展性、一致性和相容性）对绿道场景进行评估（表 3），求取 PRS 量表的整体均值作为感知恢复性的评价指标得分。

1.5 试验流程

试验在体感舒适的试验室中进行，受试者进入试验室后，由引导员介绍注意事项，待其适应试验环境并佩戴好生理测量仪后，即开始正式试验。受试者首先填写 PANAS 量表，随后完成一项 5 min 的随机数字测试作为压力任务。测试结束后，进入疗愈阶段，受试者佩戴 VR 头盔，随机体验 25 个虚拟绿道场景，体验时间持续 15 min。VR 体验结束后，将 25 个场景按预先设定的固定顺序分为 5 组（图 1），受试者依次观看各组视频，完成 5 个试验单元。每单元观看 1 组虚拟场景视频，观看后立即填写 PRS 量表，随后闭目静坐 5 min，以放松眼部并降低大脑对上一组场景的记忆。受试者完成 5 个试验单元后，再填写树种问卷和 PANAS 量表。

2 试验数据分析与结果

2.1. 生理指标

为评估压力任务与疗愈干预的生理变化，对受试者的施压前后的血压和脉搏进行分析（表 4）。结果显示，施压后，收缩压轻微升高 1.33 mmHg，标准差略降；舒张压显著升

高 2.23 mmHg，标准差降低至 6.000。这可能是应激导致外周血管收缩，表明压力诱导成功。VR 体验后收缩压显著下降，较施压后降低约 4.5 mmHg；舒张压和脉搏也接近施压前基线水平，这说明 VR 干预可能通过沉浸式体验分散受试者注意力，促进其自主神经平衡恢复。在场景视频观看过程中，受试者的血压出现了渐进性下降（图 2），从组 1 到组 5 收缩压逐渐降低，降幅达 2.65 mmHg；舒张压稳定在 64~66 mmHg，较施压后下降，这反映外周血管阻力持续减小，与放松状态下血管舒张的生理规律一致；脉搏稳定在 73~74 次/min（图 3），较施压后下降约 5 次/min，且标准差缩小。

在皮肤温度方面，受试者压力阶段和疗愈阶段的对比分析（表 5）显示，所有测量部位（右胫骨、左手、颈部、肩胛骨）及整体平均温度在疗愈阶段均显著高于压力阶段。其中，肩胛与左手部位的温度显著上升，反映副交感神经主导下外周血管舒张效应。

综上，收缩压与脉搏的恢复以及皮肤温度的显著上升，证实了虚拟绿道通过“视觉－自主神经”通路实现心血管系

表 3 感知恢复性评价量表（PRS）
Tab.3 Perceived Restorativeness Scale (PRS)

维度	题项
远离性	在这里能够帮助我放松精神
	在这里我能够暂时地逃离日常生活学习中的压力
魅力性	我感到这个场景具有吸引人的特质
	这里有很多值得探索和发现的地方
一致性	这里令我感到困惑
	这里有太多东西分散我的注意力
相容性	我可以在此从事我想做的事情
	在这里我能感到归属感

表 4 各阶段血压脉搏对比分析（平均值 ± 标准差）
Tab.4 Comparative analysis of blood pressure and pulse at each stage (M±SD)

阶段	收缩压 /mmHg	舒张压 /mmHg	脉搏（次/min）
施压前（Baseline）	104.74±10.319	67.77±7.898	77.26±10.330
施压后（Post-stress）	106.07±10.158	70.00±6.000	78.55±8.122
VR 体验	101.56±8.732	67.98±6.923	76.65±8.147
组一	99.74±9.261	66.14±6.093	73.93±7.802
组二	98.65±8.041	66.12±7.189	74.16±8.065
组三	99.49±9.612	64.98±6.613	74.35±8.211
组四	98.93±9.132	64.86±7.803	74.63±8.974
组五	97.09±9.451	64.74±5.305	74.00±8.024

统的快速舒缓，本试验所设计的校园绿道场景具有一定的疗愈性。

2.2 心理指标

为量化评估虚拟场景的心理恢复效应，本研究在试验前后均采用PANAS 心理量表对受试者的即时情绪状态进行了测量。该量表涵盖 12 种情绪维度，每种情绪均设有“很”“一般”“并不”3 个强度等级供受试者自评。结果如图 4 所示，疗愈场景体验后，受试者在 7 种消极情绪（困难、混乱、

表 5 压力阶段和疗愈阶段皮肤温度对比分析

Tab.5 Comparative analysis of skin temperature between stress and healing stages

部位	压力阶段 /°C	疗愈阶段 /°C	平均差值 /°C	t 值	P 值	相关性 r
右胫骨	32.64±1.40	32.80±1.24	-0.16	-2.78	0.006	0.689
左手	32.79±1.56	32.97±1.42	-0.18	-3.08	0.002	0.748
颈部	33.51±1.39	33.64±1.37	-0.13	-2.86	0.005	0.814
肩胛骨	33.30±1.82	33.48±1.68	-0.18	-2.94	0.003	0.801
平均温度	33.09±1.25	33.25±1.14	-0.16	-3.25	0.001	0.719

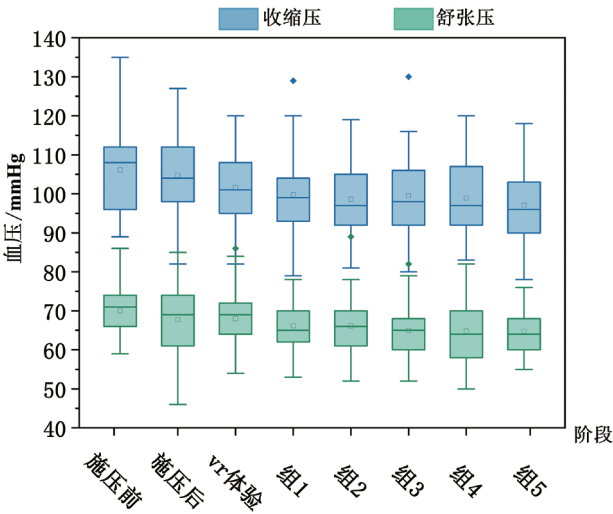


图 2 舒张压与收缩压各阶段对比箱形图

Fig.2 Box-plot comparison of diastolic and systolic blood pressure across stages

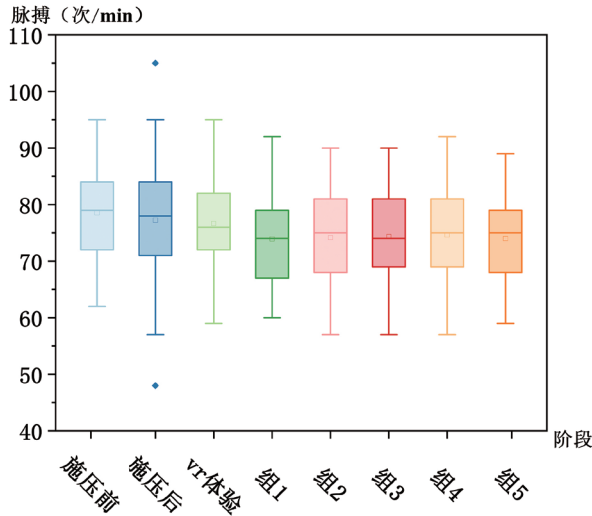
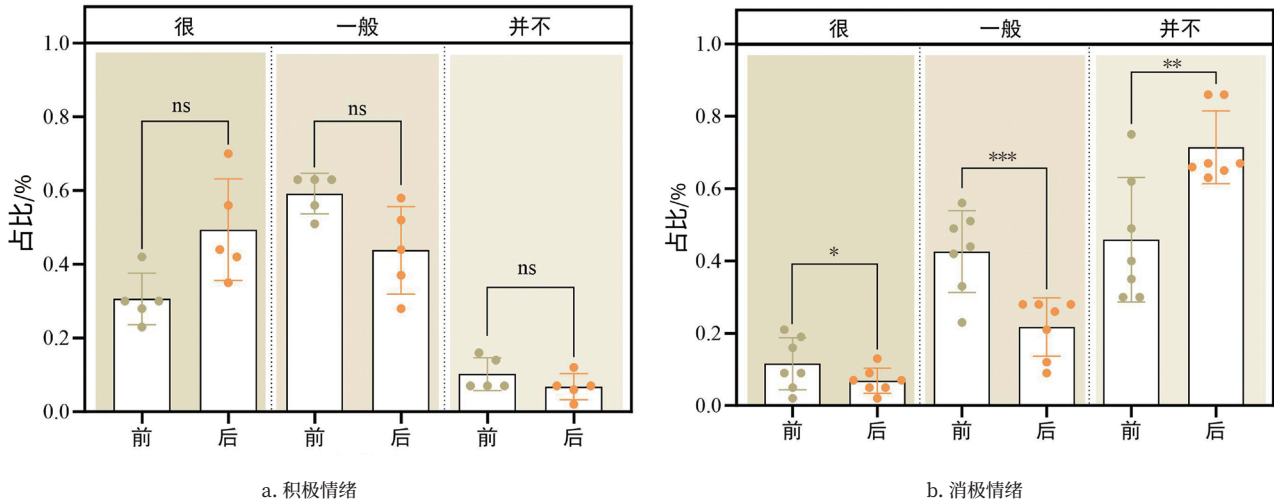


图 3 脉搏各阶段对比箱形图

Fig.3 Box-plot comparison of pulse rate across stages



注：ns表示无显著性差异（ $P > 0.05$ ），* $P < 0.05$ 表示差异显著，** $P < 0.01$ 表示差异非常显著，*** $P < 0.001$ 表示差异极其显著。

图 4 积极情绪与消极情绪的显著性分析

Fig.4 Significance analysis of positive and negative emotions

易怒、忧虑、惊恐、精神消耗、沮丧)的消极程度均有所降低;同时,5种积极情绪(放松、愉快、积极、平静、满足)的积极程度均有所提升。虽然积极情绪在体验前后未呈现统计学显著性差异($P > 0.05$),但消极情绪的强度分布发生了显著变化:“很”和“并不”均有显著性差异,可看出消极情绪的比例显著下降,无消极情绪的比例显著上升。综合上述结果可知,基于虚拟现实的校园绿道场景能有效缓解消极情绪、促进积极情绪,在心理层面具备明确的恢复性效用与良好的应用潜力。

2.3 感知恢复性评分统计

主效应分析结果(表6)显示,叶色与弯曲度均对感知恢复性有显著影响,其中叶色(均方=46.508)变异量最大,是情绪效价的主要驱动因子,弯曲度(均方=18.519)次之,而种类与郁闭度在当前实验条件下未达到统计显著水平。因此,在校园绿道场景中叶色与弯曲度是提升其疗愈效益的关键要素。

叶色对感知恢复性评分的贡献度显著高于其他要素($P < 0.05$),故进一步探究叶色与总得分的相关性(表7)。结果显示,黄色与总得分的相关性系数为0.526,统计学显著性显著,这表明黄色对总得分具有核心正向驱动作用,且箱形图(图5)显示黄色组得分中位数显著高于其他颜色组。而红色、白色、绿色和黄绿色与总得分的相关性均未达到统计学显著水平($P > 0.05$)。由此可见,并非所有颜色对校园绿道疗愈效益都有显著效果,黄色与感知恢复性评分显著相关,具有可观的疗愈潜力,其余颜色未呈现显著关联。

道路弯曲度与总得分存在非线性正相关趋势($r = 0.345$, $P = 0.092$),如图6所示,弯曲度大于 150° 时得分增速放缓,弯曲度为 135° 时场景得分最高(均值为26.93),且高弯曲度区间($135^{\circ} \sim 180^{\circ}$)的得分普遍高于低弯曲度区间($0^{\circ} \sim 90^{\circ}$),这表明适度增加路径曲率有助于提升恢复性感知。

郁闭度和树种对总得分均无显著影响($P > 0.05$),这一发现可能源于特定的实验场景、所选树种在视觉特征上的趋同性,或当前心理测量指标对细微差异的敏感度不足。尽管如此,从图7中仍可观察到一定的趋势,高郁闭度(75%~100%)综合得分多集中在低分区域(小于25分),而低郁闭度(0%~50%)在高分区域(大于30分)的占比更高,这说明适当稀疏化有助于提高得分。所有树种种类的相关系数均接近0($-0.285 \sim 0.227$),且 P 值均远大于0.05($0.167 \sim 0.922$),说明树种与总得分的关系不显著(表7、图8)。进一步分析树种偏好问卷结果(图9)可知,凤凰木在花叶颜色上最具吸引力;而秋枫的树冠形态和树叶形态的排名靠前,综合表现较均衡;小叶榄仁的树冠形态评分最高,但花叶颜色评分最低;麻楝在树叶形态上得分突出。总的来看,秋枫对受试者的正向影响最明显,凤凰木和宫粉羊蹄甲在特定特征(花叶颜色)上有正向影响,但整体表现受限。

3 讨论

主效应分析显示,叶色影响极为显著($F = 13.986$, $P = 0.001$),表明叶色是恢复性感知中最突出的视觉因子。

相关性分析进一步指出,黄色与感知恢复性呈显著正相关($r = 0.526$, $P = 0.007$),说明黄色具有较强的情绪激活与压力缓解潜力。这一结果与色彩心理学中黄色代表愉悦、活力的共识一致^[27],也印证了“植物叶色对压力恢复的疗愈效益有积极影响”的既有观点。本研究进一步细化了该结论,发现在所考察的颜色中,黄色具有可观的疗愈潜力,其余颜色未呈现显著关联。因此,在校园绿道等恢复性环境设计中,可多采用叶色为黄色的植物,以提高压力恢复的疗愈效益。

道路弯曲度也显示出显著的主效应($F = 5.569$, $P = 0.019$),表明路径形态是恢复性环境设计中的另一个关键变量,与相关研究结论一致^[2],但其与恢复性之间的线性关系不显著($r = 0.345$, $P = 0.092$)。弯曲度为 135° 时得分最高(均值26.93),且高弯曲度区间得分普遍高于低弯曲度区间。这与Kaplan的注意力恢复理论(Attention

表6 四因子与感知恢复性的主效应分析
Tab.6 Main effects of the four factors on perceived restorativeness

因子	III 类平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>P</i>
种类	41.816	4	10.454	3.144	0.079
叶色	186.033	4	46.508	13.986	0.001***
郁闭度	36.359	4	9.09	2.733	0.105
弯曲度	74.077	4	18.519	5.569	0.019**

注: * $P < 0.05$ 表示差异显著, ** $P < 0.01$ 表示差异非常显著, *** $P < 0.001$ 表示差异极其显著, 下表同。

表7 四因子与感知恢复性的相关性分析
Tab.7 Correlation analysis between the four factors and perceived restorativeness

因子	变量	相关系数 <i>r</i>	<i>P</i>
弯曲度	弯曲度	0.345	0.092
郁闭度	郁闭度	0.096	0.649
叶色	黄色	0.526	0.007**
	黄绿	-0.394	0.051
	绿色	-0.384	0.058
	白色	0.241	0.247
	红色	0.012	0.955
树种	宫粉羊蹄甲	0.227	0.275
	秋枫	-0.285	0.167
	麻楝	0.086	0.682
	凤凰木	0.021	0.922
	小叶榄仁	-0.049	0.817

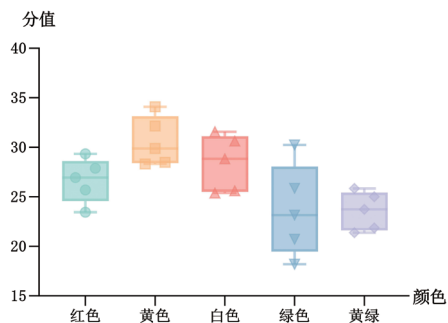


图 5 颜色得分比较箱形图

Fig.5 Box-plot comparison of color scores

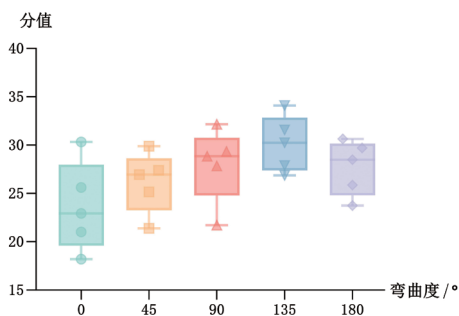


图 6 弯曲度得分比较箱形图

Fig.6 Box-plot comparison of curvature scores

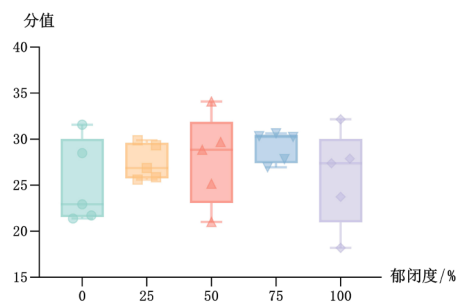


图 7 郁闭度得分比较箱形图

Fig.7 Box-plot comparison of canopy density scores

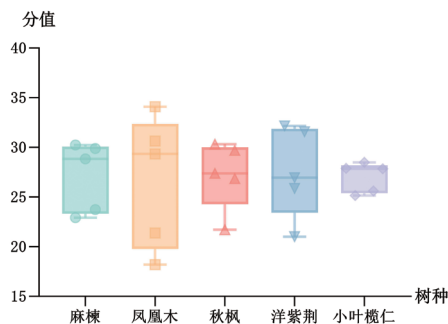


图 8 树种得分比较箱形图

Fig.8 Box-plot comparison of tree species scores

	树冠形态	树叶形态	枝干形态	花叶颜色
凤凰木	2	3	4	1
麻楝	2	1	3	4
宫粉羊蹄甲	3	2	4	1
小叶榄仁	1	2	2	4
秋枫	1	2	3	4

图 9 树种偏好问卷结果 (排序)

Fig.9 Tree species preference questionnaire results (ranking)

Restoration Theory, ART) 一致^[2], 适度弯曲的路径通过动态视域变化 (如遮挡-显露序列) 提升探索性, 进而增强沉浸感, 提高压力释放效率。

综上所述, 在校园绿道场景设计中, 可从颜色和道路弯曲度 2 方面多加考虑, 以提升校园绿道的疗愈效益。在校园绿道中可充分利用植物颜色的疗愈效益, 多考虑种植黄色植物, 设计适度弯曲的校园绿道, 构建具有疗愈效益的校园绿道环境, 增强场地吸引力。

4 结语

本研究在大学校园绿道的情境下, 以高校大学生为对象, 采用虚拟现实技术结合正交试验方法、箱图分析等统计学方法, 通过 SPSS 软件探究绿道场景的树种、叶色、郁闭度、道路弯曲度对大学生压力恢复的影响。研究发现: 叶色和道路弯曲度对压力恢复有显著影响, 且种植黄色叶植物和弯曲度为 135° 的绿道疗愈效益最为显著, 能够有效缓解消极情绪, 提升积极情绪值; 郁闭度和树种在校园绿道上对压力恢复的疗愈效益均无显著影响。在树种选择方面, 若注重乔木综合表现, 优先选择种植秋枫; 若注重花叶颜色, 可选择凤凰木或宫粉羊蹄甲; 若注重树冠形态, 则选择小叶榄仁。

本研究创新性地采用虚拟现实技术构建试验环境, 通过高度沉浸性和参数可控性等优势, 实现了对多变量交互作用的精准模拟。同时, 研究结

合便携式生理检测技术与标准化心理量表评估, 构建了多维度的数据采集体系。2 种方法的结果差异揭示了人-环境互动的复杂性, 为后续研究提供了方法学启示。然而, 研究仍存在局限性: 试验设定的环境参数 (如郁闭度梯度、树种类型) 范围有限, 未能涵盖更多变化情境; 生理指标仅选用基础参数, 未纳入心率变异性等更能反映自主神经状态的指标; 仅探讨了 4 个试验因子对压力恢复的疗愈效益, 尚未检验因子间的交互效应。未来研究可拓展环境参数的范围, 可纳入更全面的生理反馈数据, 并深入分析多因子交互作用, 以更全面地揭示校园绿道疗愈效益的作用机制, 为设计校园绿道提供更坚实的依据。

注: 图片均由作者自绘。

参考文献:

- [1] 陈箴, 翟雪倩, 叶诗韵, 等. 恢复性自然环境对城市居民心智健康影响的荟萃分析及规划启示 [J]. 国际城市规划, 2016, 31 (4): 16-26, 43.
- [2] KAPLAN R, KAPLAN S. The experience of nature: A psychological perspective[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989: 13-21.
- [3] VAN DEN BOGERD N, COOSJE DIJKSTRA S, KOOLE S L, et al. Greening the Room: A Quasi-Experimental Study on the Presence of Potted Plants in Study Rooms on Mood, Cognitive Performance, and Perceived Environmental Quality among University Students[J]. Journal of Environmental Psychology, 2021, 73:

101557.

[4] 郝石盟, 王晨, 侯锐, 等. 虚拟疗愈环境及其疗愈效益研究进展 [J]. 风景园林, 2022, 29 (8) : 79-85.

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

[6] KAPLAN S, TALBOT J F. Psychological Benefits of a Wilderness Experience[M]//Altman I, Wohlwill J F. Behavior and the Natural Environment. Boston. MA: Springer US, 1983: 163-203.

[7] HARTIG T, MANG M, EVANS G W. Restorative Effects of Natural Environment Experiences[J]. Environment & Behavior, 1991, 23 (1) : 3-26.

[8] HERZOG T R, BLACK A M, FOUNTAINE K A, et al. Reflection and Attentional Recovery as Distinctive Benefits of Restorative Environments[J]. Journal of Environmental Psychology, 1997, 17 (2) : 165-170.

[9] MARTENS D, GUTSCHER H, BAUER N. Walking in "wild" and "tended" urban forests: The impact on psychological well-being[J]. Journal of Environmental Psychology, 2011, 31 (1) : 36-44.

[10] 徐磊青, 孟若希, 黄舒晴, 等. 疗愈导向的街道设计: 基于VR实验的探索 [J]. 国际城市规划, 2019, 34 (1) : 38-45.

[11] 马修·布朗宁, 彭瑟刚·萨布卡特派桑, 姜珊, 等. 虚拟现实技术在绿色基础设施健康效益评估中的应用 [J]. 风景园林, 2020, 27 (9) : 35-49.

[12] SLATER M, WILBUR S. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments[J]. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 1997, 6 (6) : 603-616.

[13] ORLAND B, BUDTHIMEDHEE K, UUSITALO J. Considering virtual worlds as representations of landscape realities and as tools for landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 54 (1-4) : 139-148.

[14] 李丽, 张子宣, 赵辉辉, 等. 人工气候室与虚拟现实环境下景观感知与评价的实验设计 [J]. 实验技术与管理, 2025, 42 (3) : 104-113.

[15] CAPONNETTO P, MILAZZO M. Cyber Health Psychology: The Use of New Technologies at the Service of Psychological Well Being and Health Empowerment[J]. Health Psychology Research, 2019, 7 (2) : 8559.

[16] ANDERSON A P, MAYER M D, FELLOWS A M, et al. Relaxation with Immersive Natural Scenes Presented Using Virtual Reality[J]. Aerospace medicine and human performance, 2017, 88 (6) : 520-526.

[17] 马秀枝, 李长生, 陈高娃, 等. 校园内行道树不同树种降温增湿效应研究 [J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32 (1) : 125-130.

[18] 方嘉琳. 植物色彩对人的生理及心理恢复性影响研究 [D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2021.

[19] 黄雪扬, 王蓝青, 李大鹏, 等. 高校校园道路小气候及人体舒适度的影响研究 [J]. 山西建筑, 2023, 49 (4) : 25-29, 89.

[20] 曹赛新. 都市型绿道环境的身心健康恢复效应及影响路径研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2023.

[21] 卢杨扬. 基于虚拟现实技术的绿道景观特征对游客视觉-热感知影响研究 [D]. 广州: 广州大学, 2025.

[22] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27 (9) : 52-55.

[23] 谢沅陶, 黄华枝. 广州大学城绿地应用树种结构分析 [J]. 亚热带植物科学, 2015, 44 (4) : 331-334.

[24] 朱燕. 广州大学城部分高校校园植物景观调查与分析 [D]. 广州: 华南农业大学, 2018.

[25] Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements: ISO 9886: 2004[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2004.

[26] WATSON D, CLARK L A, TELLEGEN A. Development and Validation of Brief Measures of Positive and Negative Affect: The PANAS Scales[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1988, 54 (6) : 1063-1070.

[27] 李霞. 园林植物色彩对人的生理和心理的影响 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012.

作者简介:

郑逸/2003年生/女/广东汕头人/广州大学建筑与城市规划学院(广州 510006) / 在读本科生 / 专业方向为风景园林规划设计

李丽(*通信作者)/1979年生/女/辽宁锦州人/博士/广州大学建筑与城市规划学院、广州大学建筑设计研究院有限公司(广州 510006) / 副教授 / 研究方向为风景园林小气候与疗愈/E-mail: lili_ar@gzhu.edu.cn

冷元煜/2003年生/女/湖北孝感人/广州大学建筑与城市规划学院(广州 510006) / 在读本科生 / 专业方向为风景园林规划设计

吴慧娴/2004年生/女/广东东莞人/广州大学建筑与城市规划学院(广州 510006) / 在读本科生 / 专业方向为城乡规划

吴柳阳/2003年生/女/广东梅州人/广州大学建筑与城市规划学院(广州 510006) / 在读本科生 / 专业方向为城乡规划