

文章编号:1673-9469(2025)05-0095-09

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2025.05.012

## 基于生理与心理测量的乡村公园绿地率优化研究

杨欣然<sup>1</sup>,王清勤<sup>2</sup>,韩海娟<sup>3\*</sup>

(1. 河北工程大学 京津冀空间智能感知协同技术创新中心,河北 邯郸 056038;

2. 中国建筑科学研究院有限公司,北京 100013;3. 河北工程大学 建筑与艺术学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:** 为探讨乡村公园绿地率对使用者心理恢复的作用机制,基于虚拟现实技术构建0%~10%、10%~50%和50%~80%三类绿地率场景,采用脑电图(EEG)、眼动追踪技术采集生理数据,并结合感知恢复量表进行综合评价。其中,EEG的 $\alpha$ 波(8~13 Hz)与放松、心理恢复密切相关,振幅增加表明参与者状态更轻松。研究发现,中绿地率(30%~50%)场景在安全感、注视时长及脑电 $\alpha$ 波激活(额叶F4电极)等方面表现最佳,显著优于低绿地率(0%~10%)和高绿地率(50%~80%)场景,能更有效地促进情绪调节,进而揭示了绿地率与心理恢复的非线性关系。低绿地率场景因人工元素多、开放性强,安全感评分低,注视时长缩至200 ms, $\alpha$ 波振幅下降,感知恢复效益最差,建议引入动态景观提升层次感;高绿地率场景虽私密感好,但视觉刺激单一,注视时长分散(200~250 ms),恢复效益也较低,应适度开敞增强通透性。研究结论表明,乡村公园的绿地率宜控制在10%~50%,并结合多层次植物与动态景观配置,以实现最佳的心理恢复效益。

**关键词:** 公园绿地;虚拟现实;心理指标;生理指标;感知恢复效益

中图分类号:TU986

文献标识码:A

## Optimization Study on Green Space Rate of Rural Parks Based on Physiological and Psychological Measurements

YANG Xinran<sup>1</sup>, WANG Qingqin<sup>2</sup>, HAN Haijuan<sup>3\*</sup>

(1. Jingjinji Spatial Intelligent Perception Collaborative Innovation Center, Hebei University of Engineering,

Handan, Hebei 056038, China;2. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China;

3. School of Architecture and Art, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

**Abstract:** To explore the mechanism by which the green space ratio in rural parks affects the psychological recovery of users, this study constructed three types of green space ratio scenarios ranging from 0% to 10%, 10% to 50%, and 50% to 80% using virtual reality (VR) technology. Physiological data were collected through electroencephalogram (EEG) and eye-tracking (ET) techniques, and a comprehensive evaluation was conducted using the Perceived Recovery Scale (PRS). Among them, the alpha waves (8 to 13 Hz) of EEG are closely related to relaxation and psychological recovery, and an increase in amplitude indicates a more relaxed state of the participants. The study found that the medium green space ratio (30% to 50%) scenario performed best in terms of security, fixation duration, and activation of EEG alpha waves (frontal F4 electrode), significantly outperforming the low green space ratio (0% to 10%) and high green space ratio (50% to 80%) scenarios. It can more effectively promote emotional regulation and thus reveals the non-linear relationship between green space ratio and psychological recovery. The low green space ratio scenario has a low security score, a shortened fixation duration to 200 ms, a decreased a wave amplitude, and the poorest perceptual recovery benefit. It is recom-

收稿日期:2025-06-04

基金项目:中央指导地方科技发展资金资助项目(246Z6101G)

第一作者:杨欣然(1999—),女,河北邯郸人,硕士研究生,从事感性建筑学方面的研究。

\* 通信作者:韩海娟(1980—),女,河北邯郸人,硕士,副教授,从事城乡规划与设计方面的研究。

mended to introduce dynamic landscapes to enhance the sense of depth. The high green space ratio scenario has good privacy but a single visual stimulus, a dispersed fixation duration (200~250 ms), and a lower recovery benefit. It should be moderately open to enhance transparency. The research conclusion indicates that the green space ratio of rural parks should be controlled within 10% to 50%, and combined with multi-level plants and dynamic landscape configuration, to achieve the best psychological recovery benefit, providing a scientific basis for the therapeutic design of rural parks.

**Key words:** park green space; virtual reality; psychological indicators; physiological indicators; perceived recovery benefit

当前,我国心理健康问题日益凸显。根据《健康中国行动(2019—2030年)》报告,抑郁症和焦虑症的患病率分别为2.10%、4.98%<sup>[1]</sup>。公园绿地作为重要的公共空间,是缓解压力、改善心理健康的有效途径。国内外关于绿色空间与心理健康的研究已取得较为丰富的成果,尤其在绿色空间对心理恢复和情绪调节的作用方面。绿地环境有助于促进积极情绪、减轻精神疲劳,长时间停留在绿色空间的个体,其压力水平较低,幸福感显著提升<sup>[2-3]</sup>。Meyer-grandbastien等<sup>[4]</sup>研究发现,绿地的生物多样性与游客的身心恢复呈正相关。Liu等<sup>[5]</sup>研究表明,自然程度较高的半开敞空间比开敞的人工硬质景观空间具有更强的恢复性。根据注意恢复理论,较高的绿地率通常有助于提升环境的恢复性<sup>[6]</sup>。Adevi等<sup>[7]</sup>研究表明,绿地中的“绿色剂量”差异会影响使用者情感恢复效果。从微观感知视角看,任洪国等<sup>[8]</sup>证实,秩序感、多变性等要素对安全感、愉悦感有显著影响,提示乡村公园绿地配置需兼顾感知体验优化。尽管大量研究表明,绿色空间与公共健康水平存在正相关关系,但二者之间的因果机制仍须通过定量研究加以探讨<sup>[9-10]</sup>。此外,现有研究多侧重于城市绿地,对乡村绿地尤其是乡村公园的绿地率与居民心理恢复之间的关系尚未形成统一结论。目前,我国乡村公园的发展现状不容乐观,乡村公园的绿地率难以满足生态保护与居民休闲的需求<sup>[11]</sup>。《中共中央 国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》以及《农业农村部关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见》(2024年)明确提出农业绿色转型与生态宜居建设,凸显了绿色发展在乡村振兴中的核心地位。作为乡村生态环境和居民休闲生活的重要组成部分,乡村公园绿地率的优化已成为一项迫切的任务。现有研究多聚焦于城市公园和高密度城市环境,而在乡村公园这一特定场景下,绿地率是否存在最佳配置范围,以及其影响感知偏好及恢复效

益的作用机制,仍有待进一步探讨。

脑电图(Electroencephalogram, EEG)作为一种常用的生理监测手段,能够反映个体在不同环境中的情绪与心理状态变化<sup>[12]</sup>。研究表明,自然或舒适的空间环境往往伴随 $\alpha$ 波活动的增强,反映出更高的放松与心理恢复水平<sup>[13]</sup>。近年来,EEG技术被广泛应用于环境心理与景观感知研究,为情绪与恢复性体验的量化分析提供了客观依据。同时,眼动追踪(Eye-tracking, ET)技术被用于揭示个体在不同环境中的视觉注意特征。研究发现,恢复性评分与注视持续时间呈正相关,而与注视次数呈负相关,说明在高恢复性场景中个体的视觉注意更集中、更稳定<sup>[14]</sup>。基于眼动数据生成的视觉热图,还可进一步识别空间中吸引视觉注意的关键区域,从而揭示不同景观类型或空间特征对心理恢复的影响规律。

本研究创新性地采用多模态生理-心理数据融合方法,结合EEG与ET技术,实时监测个体在不同绿地率乡村公园中的情绪和生理反应,克服了传统问卷方法存在的局限性<sup>[15]</sup>。相较于传统问卷,EEG和ET技术提供了更精准的生理指标数据,减少了记忆偏差和社会期望影响<sup>[16]</sup>。此外,通过引入虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术,精准模拟不同绿地率的乡村公园环境,避免了现实场景中噪声、天气等因素的干扰,为乡村公园绿地规划提供科学、创新的设计依据。

## 1 研究方法

### 1.1 场景选择

河北省邯郸市中庄村地处冀南地区,具有典型的乡村风貌与社会经济特征。本文以该村的中庄公园为研究对象,该公园目前存在绿化率低、缺乏系统性景观布局等问题,难以满足居民日常使用需求。研究采用DasViewer软件采集现场三维数据,使用SketchUp软件进行建模。根据实际场地完成设计

后,通过 Python 程序计算实验场景的绿地率。本文所设置的 3 个实验场景绿地率分别为 0%~10% (T1)、10%~50% (T2) 和 50%~80% (T3),其他变量保持不变。3 个实验场景分别代表低、中、高绿地率的乡村公园,实验场景图如图 1 所示。

## 1.2 心理指标测定

本研究所使用的主观问卷设计包括场景感知与感知恢复两部分,题目设置采用 7 点 Likert 量表评分(1=最低,7=最高)。场景感知设置 3 个题目,分别测量场景安全感、氛围感和层次感,各维度得分即为单题得分,取值范围为 1~7 分。其中场景安全感指个体对环境中潜在威胁的感知;氛围感涉及空间的情绪氛围和感官特征<sup>[17]</sup>;层次感则关注空间的组织结构和视觉层次<sup>[18]</sup>。感知恢复部分采用 Hartig<sup>[19]</sup>建构的用于测量恢复性环境品质的感知恢复量表,包括 16 个题目,分为 4 个维度,得分范围相对更高。通过该问卷,可以从场景感知与感知恢复综合评价不同景观场景对使用者心理恢复的感知效应。

## 1.3 生理指标测定

本研究使用 TMSi SAGA 32+/64+便携式脑电图设备,配备 64 通道电极帽,采用 SAGA 软件进行数据采集。由于 M1 和 M2 电极位于耳后乳突位置,通常不被视为大脑主要功能区域;POz 电极易受头皮电位波动和伪影干扰,因此上述电极均未纳入分析。EEG 数据通过在大脑头皮表面选定的 29 处电极进行记录并采集:额叶 (Fp1、Fp2、F7、F8、F3、F4、Fz、Fpz),左颞叶 (T7、P7、Fc5、Cp5),右颞叶 (T8、P8、Fc6、Cp6),顶叶 (P3、P4、Pz、Cp1、Cp2),枕叶 (O1、O2、Oz)以及中央区 (C3、C4、Cz、Fc1、Fc2)。电极布局依据国际 10-20 系统标准<sup>[20]</sup>,并参考了研究中常用的优化配置方案<sup>[21]</sup>,以确保脑电图信号覆盖的更全面、质量更可靠,从而更好地分析与认知、情绪相关的脑电活动。

眼动数据通过 aSee Pro 远程眼动追踪系统采集,获取瞳孔尺寸、注视持续时间、眨眼频率等指标。通过 Steam VR 完成眼动追踪校准,并播放 MARS 软件制作的全景高清实验视频以呈现虚拟场景。

## 2 实验内容

### 2.1 被试招募

本研究使用 G \* Power 软件计算研究所需样本量,为了达到 0.8 的统计检验力所需的最小样本量为 24 人。实际共招募 42 名村民作为被试(男性 21 名、女性 21 名),年龄范围为 18~50 岁。所有被试均首次观看实验场景。被试筛选标准包括无精神疾病和视觉、听力、认知障碍等相关病史,并排除患有晕动症的个体,避免 VR 场景可能引发的不适反应。

### 2.2 实验程序

实验于 2024 年 12 月 20—27 日在河北工程大学实验室进行。实验室长 3 m、宽 2.4 m,温度恒定为 25 ℃,采用发光二极管 (Light-emitting Diode, LED) 漫射照明,无噪声干扰,所有被试均在相同条件下完成实验。研究人员向被试介绍实验流程和设备,被试签署知情同意后,研究人员向被试讲解问卷并佩戴脑电图。被试佩戴 VR 设备完成眼动调整(调整率 $\geq 80\%$ ),之后观看 3 min 的视频场景 T1。场景 T1 结束后,被试休息 30 s,再依次观看视频场景 T2、T3,实验全程约 17 min,实验流程见图 2。

### 2.3 数据分析

本实验共采集 42 名被试的生理指标数据,在剔除准确率低于 80% 的样本后,最终获得 37 份有效数据。EEG 数据依次经过滤波、伪影去除、重新参考和特征提取后,使用 Python 3.11 提取各电极的  $\alpha$  波振幅,并导入 SPSS 26 进行统计分析,显著性水平设为  $p < 0.05$ 。眼动数据同样由 Python 3.11 进行预处理,采用线性插值法修复因眨眼和



图 1 实验场景图

Fig. 1 Experimental scene diagram

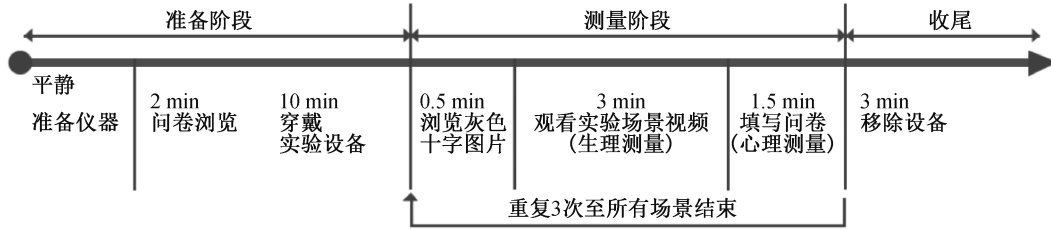


图2 实验流程

Fig. 2 Experimental process

追踪丢失导致的数据缺失,随后导入 SPSS 26 进行统计分析。

### 3 结果

#### 3.1 心理指标分析

本文对主观评价的结果进行单因素 ANOVA 检验,得到不同绿地率场景对感知恢复的影响,见表 1 和图 3。

可以看出,在场景感知层面,中绿地率场景 T2

在安全感(感知指标均值  $M = 6.11 \pm 0.87$ ) 和氛围感 ( $M = 6.35 \pm 0.67$ ) 上得分均显著高于低绿地率场景 T1,高绿地率场景 T3 居于中间水平。表明乡村公园 10%~50% 的绿地率可以有效提升环境的安全感和整体氛围感。而低绿地率场景 T1 因绿化不足,未能对被试的感知恢复产生明显效果。高绿地率场景 T3 则可能因植被过多,场景封闭性过强而削弱了场地的活力。在感知恢复层面,场景 T2 在远离性( $M = 22.78 \pm 0.78$ )、一致性( $M = 23.95 \pm 0.81$ ) 和魅力性

表 1 不同绿地率场景感知恢复问卷统计结果

Tab. 1 Statistical results of scene perception recovery questionnaire with different green

指标	低绿化率场景 T1 <i>M</i> + <i>SD</i>	中绿化率场景 T2 <i>M</i> + <i>SD</i>	高绿化率场景 T3 <i>M</i> + <i>SD</i>	显著性 <i>p</i>
安全感	5.05±1.35	6.11±0.87	5.59±0.83	<0.001
氛围感	5.84±0.92	6.35±0.67	6.08±0.79	0.020
层次感	5.54±0.98	5.95±0.91	6.32±0.78	0.001
远离性	22.27±1.04	22.78±0.78	22.03±1.46	0.010
魅力性	23.11±1.12	23.65±0.71	23.22±0.85	0.030
一致性	22.84±0.76	23.95±0.81	21.76±0.76	<0.001
相容性	24.03±1.30	23.54±1.07	23.14±1.31	0.010

注:SD 为标准差

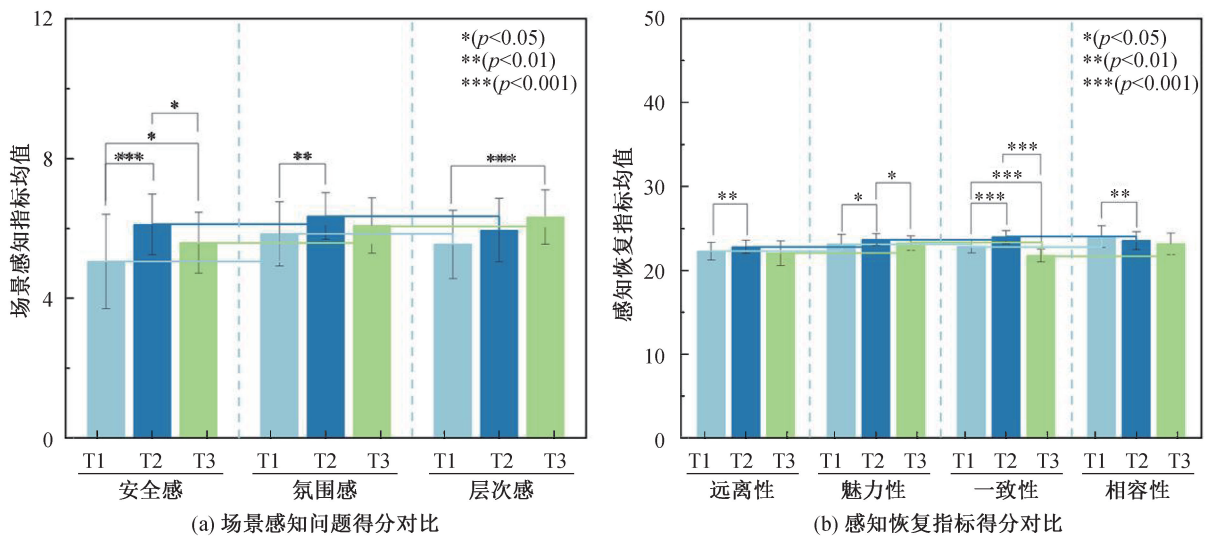


图 3 不同绿地率场景对感知恢复效益的影响

Fig. 3 Influence of different green space rate scenarios on perceived recovery benefits

( $M=23.65\pm 0.71$ ) 维度上表现最优,显著高于其他场景。乡村公园适度的绿地率(10%~50%)通过合理的空间围合与自然景观的融合,提高了使用者的视觉吸引力。场景 T3 虽然在层次感上表现突出,但在一致性和相容性维度得分较低,表明过高的绿地率可能限制活动空间的灵活性与功能适配性。

### 3.2 生理指标分析

#### 3.2.1 脑电图(EEG)数据分析

鉴于 EEG 数据不服从正态分布,本研究对数据进行非参数检验,对不同绿地率场景的脑电  $\alpha$  波值进行比较,见图 4。箱线图显示数据的四分位距(Inter-quartile Range, IQR)为 25%~75%、中位数及须延伸至 1.5 IQR。额叶区域的 F4、F7、Fp1、Fp2 和 Fz 电极表现出显著的绿地率场景依赖性,反映出情绪调节和认知功能的差异。F4 电极在中

绿地率场景 T2 中  $\alpha$  波值为( $5.21\pm 0.63$ ),显著高于低绿地率场景 T1( $4.13\pm 0.59, p<0.05$ )和高绿地率场景 T3 ( $4.72\pm 0.61, p<0.05$ )。表明乡村公园 10%~50%的绿地率能够在空间开放性和视觉遮蔽性之间取得平衡,使被试在感受到视觉层次变化的同时维持心理安全感。相比之下,Fz 电极在低绿地率场景 T1 中  $\alpha$  波值( $5.6\pm 0.66$ )最高,显著高于场景 T2 和 T3。可能因为低绿地率场景中植被覆盖较少、缺乏遮蔽,从而增强了情绪紧张感。

顶叶区域的 Pz 电极在中绿地率场景 T2 中的  $\alpha$  波值( $6.32\pm 0.67$ )最高,显著高于高绿地率场景 T3( $5.45\pm 0.64$ )和低绿地率场景 T1 ( $4.21\pm 0.55$ )。这表明中绿地率场景 T2 通过绿地与开放空间的交替分布形成视觉流动性,有助于促进心理恢复;P3 电极在中绿地率场景 T2 的  $\alpha$  波值也显著高于场景 T1 和 T3。进一步说明场景 T2 能够在视觉复杂性和空间连续性之间达到最佳平衡,从而最大

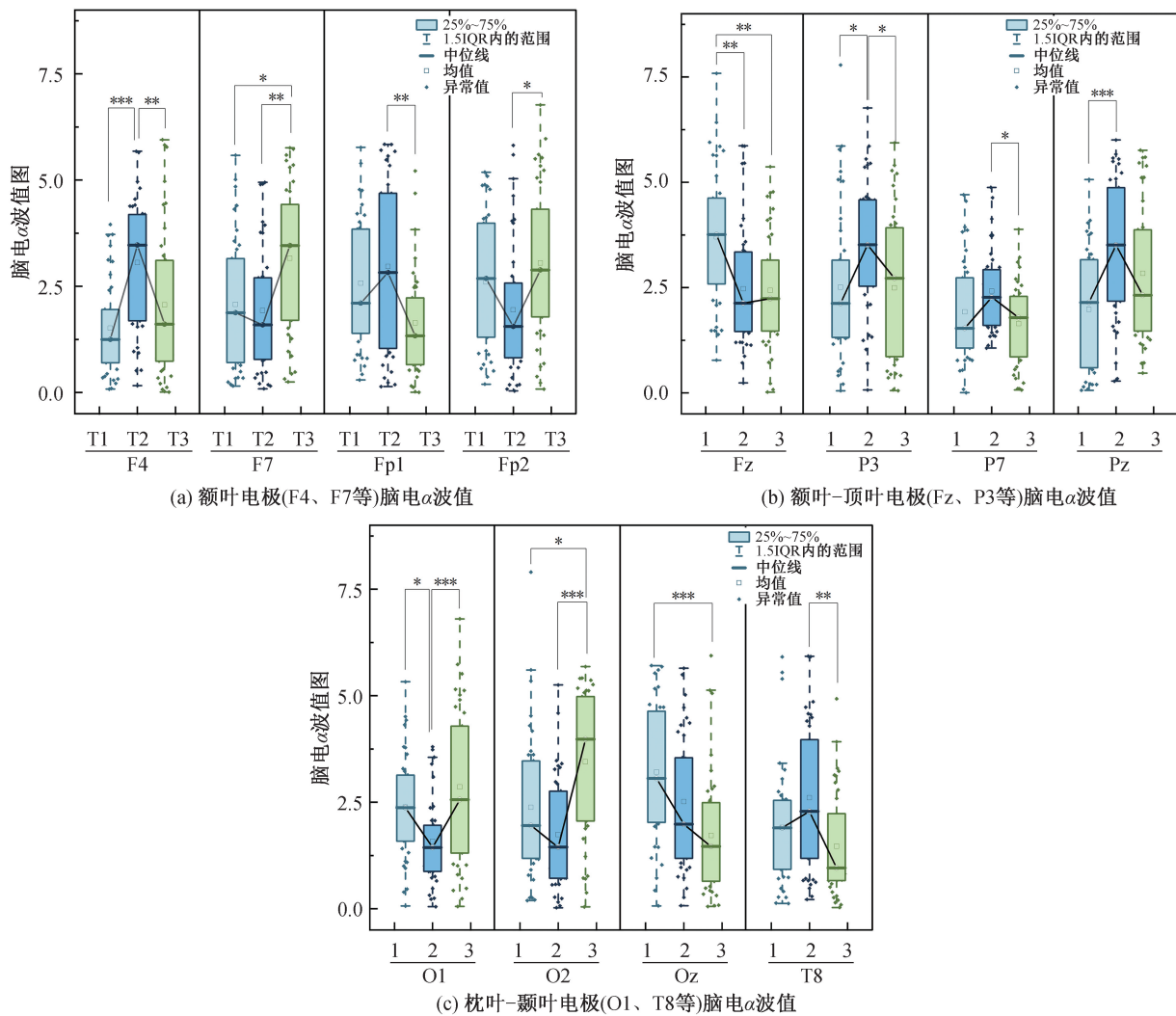


图 4 不同绿地率场景的脑电  $\alpha$  波值比较图

Fig. 4 Comparison of EEG  $\alpha$  wave values under different green space rate scenes

程度提升使用者的感知恢复效益。

枕叶区域的 O1 和 O2 电极在高绿地率场景 T3 中的  $\alpha$  波值 ( $5.96 \pm 0.68$ ,  $6.07 \pm 0.70$ ) 显著高于中绿地率场景 T2 ( $5.11 \pm 0.58$  和  $5.2 \pm 0.60$ ) 及低绿地率场景 T1 ( $4.22 \pm 0.5$  和  $4.43 \pm 0.58$ )。这种差异可能源于高绿地率场景 T3 密集植被形成的包围感。然而, Oz 电极在低绿地率场景 T1 的  $\alpha$  波值 ( $5.78 \pm 0.62$ ) 最高, 显著高于场景 T2 和 T3。这可能与场景 T1 开阔的视野有关, 其开放性虽然增加了视觉负荷, 但也提供了更强的空间深度感。

综合不同脑区显著电极的非参数检验及事后比较结果, 见表 2。分析时以平均秩  $R_{\text{mean}}$  为评估指标, 平均秩越高, 表明该电极在相应场景下的  $\alpha$  波活性相对越强。可以发现, 中绿地率场景 T2 在情绪调节(额叶)、注意力恢复(顶叶)和视觉处理(枕叶)表现出最佳的恢复效益, 其额叶 F4 和 Fz

电极的  $\alpha$  波值显著高于场景 T1 和 T3, 表明中绿地率对情绪调节最优。顶叶 P3 和 Pz 电极表明注意力恢复效果最佳, 而枕叶 O2 和 Oz 电极表明视觉处理恢复在场景 T2 最优。

### 3.2.2 眼动数据分析

#### (1) 瞳孔直径

对左、右瞳孔直径进行非参数检验, 结果见图 5。可以看出, 在低绿地率场景 T1 中, 左眼、右眼的瞳孔直径分别为 ( $2.80 \pm 0.60$ )、( $2.85 \pm 0.54$ ) mm, 均显著低于中、高绿地率场景 T3, 表明个体在该环境下的视觉刺激较弱, 但人工元素占比较高, 可能导致一定的心理紧张和注意分散。在中绿地率场景 T2 中, 左、右瞳孔直径达到最大值, 分别为 ( $3.66 \pm 0.84$ )、( $3.66 \pm 0.72$ ) mm, 显著高于场景 T1 和 T3。表明中绿地率场景可为被试提供最佳的心理恢复效益。在高绿地率场景 T3 中, 左、右瞳孔直径为

表 2 脑电  $\alpha$  波值非参数检验结果

Tab. 2 Nonparametric test results of EEG  $\alpha$  wave values

脑区/电极	平均秩 $R_{\text{mean}}$			效应量 $\eta^2$	$p$ 值
	低绿地率场景 T1	中绿地率场景 T2	高绿地率场景 T3		
额叶/Fp1	60.19	64.95	42.86	0.087 7	0.008
额叶/Fp2	58.24	44.22	65.54	0.076 3	0.015
额叶/F7	50.30	47.32	70.38	0.102 1	0.004
额叶/F4	43.05	73.41	51.54	0.159 2	<0.001
额叶/Fz	72.19	47.46	48.35	0.127 8	<0.001
顶叶/P3	49.32	68.76	49.92	0.079 3	0.013
顶叶/Pz	41.92	68.89	57.19	0.118 8	0.001
颞叶/P7	51.70	68.89	47.41	0.083 9	0.010
颞叶/T8	55.54	67.54	44.92	0.083 2	0.010
枕叶/O1	61.19	40.38	66.43	0.123 3	0.001
枕叶/O2	53.46	41.49	73.05	0.165 0	<0.001
枕叶/Oz	70.19	56.86	40.95	0.139 2	<0.001

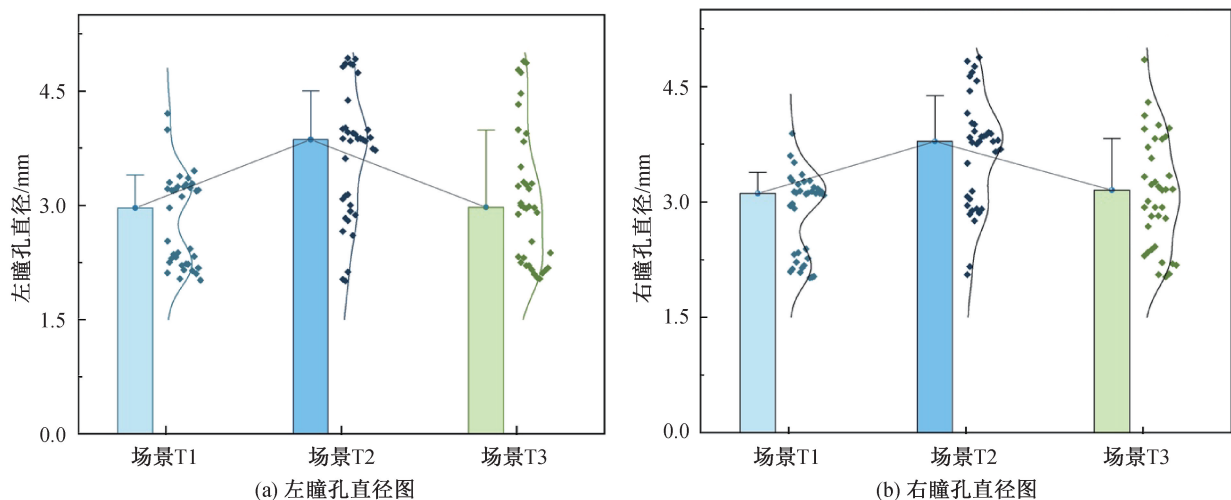


图 5 左右瞳孔直径非参数检验统计结果

Fig. 5 Statistical results of nonparametric test of left and right pupil diameters

( $3.09 \pm 0.90$ )、( $3.10 \pm 0.72$ ) mm, 较场景 T2 有所减小,可能由于场景刺激单一、认知负荷降低,使被试进入较为放松但唤醒度较低的状态,恢复性效益略有下降。

左、右瞳孔直径的对称性反映了不同绿地率场景下志愿者心理状态的稳定性。在低绿地率场景 T1 中,左、右瞳孔直径波动范围较大,可能与个体在高认知负荷环境下产生的情绪化反应有关。在中绿地率场景 T2 和高绿地率场景 T3 中,左、右瞳孔直径波动显著减小,尤其在场景 T2 中表现出高度的一致性,该结果进一步证实了中绿地率场景在心理恢复方面优势。

(2) 注视持续时间

注视持续时间的长短反映了不同的神经过程<sup>[22]</sup>:短于 150 ms 的注视主要受无意识的非认知机制驱动<sup>[23]</sup>;超过 900 ms 的注视则表明尚未形成具体的认知<sup>[24]</sup>;而 150~900 ms 之间的注视持续时间则反映了感知与认知处理过程<sup>[25]</sup>。在该范围内,注视时间越长,表示对个体的吸引力越强。因此,本研究使用 Python 3.11 提取 150~900 ms 范围内的注视持续时间进行分析。由于数据不服从正态分布,采用非参数检验进行统计分析。

从注视持续时间的统计结果(图 6)可以看出,中绿地率场景 T2 的注视持续时间最长,且主要

集中在 300~350 ms 区间,分布相对集中。不同场景之间的差异具有统计学意义( $p < 0.001$ )。场景 T1 的注视持续时间较短,多集中在 250~300 ms,分布密度较窄,说明被试的认知负荷较高、注意力较为分散。而场景 T3 注视持续时间介于场景 T1 和 T2 之间,分布范围较宽,说明视觉目标较为单一,整体注意力水平有所降低。

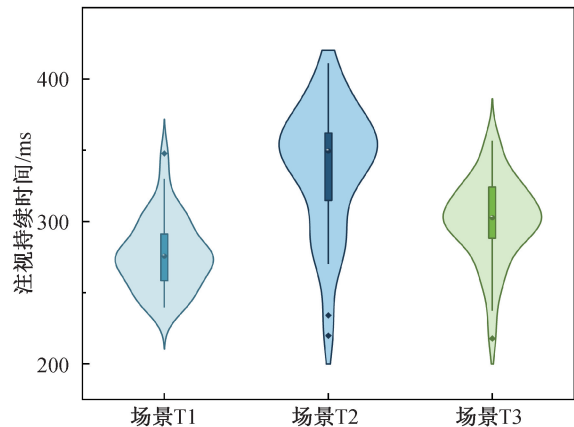


图 6 注视持续时间统计结果

Fig. 6 Statistical results of fixation duration

3.3 心理指标与生理指标相关性

心理指标与生理指标的相关性分析结果如图 7 所示,安全感与注视持续时间呈显著正相关(相关系数  $r = 0.55, p < 0.01$ ),表明在心理恢复较好的

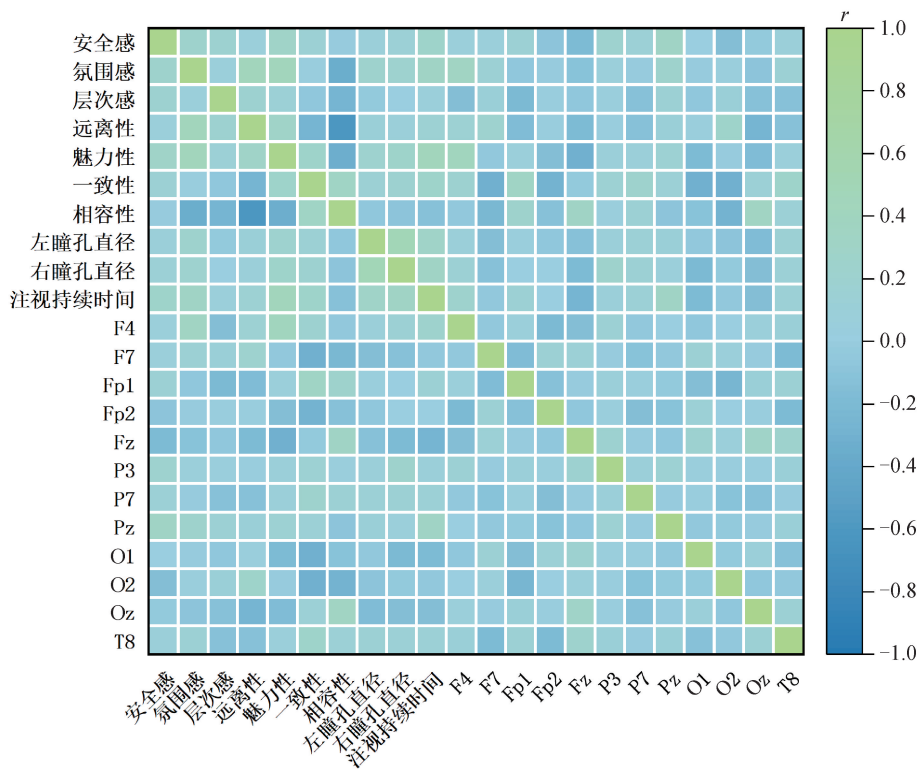


图 7 心理及生理指标相关性热力图

Fig. 7 Correlation heat map of psychological and physiological indexes

场景中,使用者的视觉注意力更为集中。该结果与中绿地率场景 T2 问卷安全感得分( $6.11 \pm 0.87$ )和相容性得分( $23.54 \pm 1.07$ )最高一致。说明中绿地率场景最具感知恢复效益。此外,左、右瞳孔直径与远离性、相容性得分均呈现正相关,表明高绿地率场景虽可提供一定心理放松,但因视觉刺激单一,易导致注意力分散,其恢复效益显著低于中绿地率场景。

脑电图(EEG)数据显示,F7 电极的  $\alpha$  波值与问卷一致性评分呈正相关( $r=0.45$ );枕叶区 O1、O2 电极的  $\alpha$  波值与相容性得分均呈正相关( $r=0.48$ ;  $r=0.50$ ),进一步表明视觉感知与心理恢复之间存在密切联系。从乡村公园的不同绿地率对使用者感知恢复的整体影响来看,中绿地率场景表现最佳,其问卷评分、注视持续时间(250~300 ms)以及脑电图  $\alpha$  波值均达到最高水平,表明该类场景在环境复杂性与心理恢复效益之间实现了较好的平衡。低绿地率场景因人工元素较多,导致认知负荷增加,注视持续时间仅为 200 ms,显著低于其他场景( $p<0.01$ ),问卷评分(如安全感为  $5.05 \pm 1.35$ )也最低。

#### 4 结论

1)乡村公园的心理恢复效益呈现非线性阈值特征,中绿地率(10%~50%)场景综合恢复效益最优( $p<0.05$ ),安全感和氛围感、层次感显著高于低绿地率(0%~10%)与高绿地率(50%~80%)场景,表明适度绿地覆盖对心理恢复具有优势。

2)多模态生理结果显示,中绿地率场景诱发枕叶(O1、O2)与额叶(F7) $\alpha$ 波增强( $p<0.05$ ),注视时长集中于 300~350 ms,表现出更持续和集中的视觉注意力和积极情绪反应。高绿地率场景则因植被过密导致注视时长离散、视觉疲劳。

3)基于研究结果,乡村公园设计应优先采用 10%~50%绿地率。针对低绿地率公园通过增加树木与花坛缓解过度开敞和过多人工元素带来的负面情绪。高绿地率公园则通过引入透景线、草坪和小型广场,平衡视觉层次与安全感,以实现最佳心理恢复效益。

#### 参考文献:

[1] 陈华东,廖晓阳,刘长明,等.《健康中国行动(2019—2030年)》之重大专项行动核心要点解读与启示:全科医生视角[J].中国卫生事业管理,2020,37

(12): 958-960.

- CHEN H D, LIAO X Y, LIU C M, et al. Interpretation on the key points of major special initiatives in health China initiative (2019—2030) and enlight-enment from it from the perspective of general practitioners[J]. Chinese Health Service Management, 2020, 37(12): 958-960.
- [2] 王志芳,程温温,王华清.循证健康修复环境:研究进展与设计启示[J].风景园林,2015(6):110-116.
- WANG Z F, CHENG W W, WANG H Q. Evidence-based restorative environment: research progress and design inspirations[J]. Landscape Architecture, 2015(6): 110-116.
- [3] GAO F, CHENG H, LI Z. The effects of neighborhood environment on migrants' mental health in old and dilapidated communities of megacities: a case study in Wuhan city[J]. Journal of Natural Resources, 2025, 40(1): 267-282.
- [4] MEYER-GRANDBASTIEN A, BUREL F, HELLIER E, et al. A step towards understanding the relationship between species diversity and psychological restoration of visitors in urban green spaces using landscape heterogeneity [J]. Landscape and Urban Planning, 2020, 195: 103728.
- [5] LIU L, QU H, MA Y, et al. Restorative benefits of urban green space: physiological, psychological restoration and eye movement analysis[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 301: 113930.
- [6] KAPLAN R, KAPLAN S. The experience of nature: a psychological perspective [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [7] ADEVI A A, MÅRTENSSON F. Stress rehabilitation through garden therapy: the garden as a place in the recovery from stress[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2013, 12(2): 230-237.
- [8] 任洪国,张璐佳.基于回归分析的环境设计感知要素与审美情感关系研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2025,42(2):107-112.
- REN H G, ZHANG L J. Relationship between environmental design perception elements and aesthetic emotions based on regression analysis[J]. Journal of Hebei University of Engineering(Natural Science Edition), 2025, 42(2): 107-112.
- [9] 周小璐,张向宁.后疫情时代老旧住区生活性街道空间健康性能评价研究——以哈尔滨市繁荣街和平公街为例[J].新建筑,2023(3):142-148.
- ZHOU X L, ZHANG X N. Research on health performance evaluation of living street space in old residential areas in the post-pandemic era: a case study of fanrong street and pinggong street in Harbin[J]. New Architecture, 2023(3): 142-148.

- [10] 李树华, 姚亚男, 刘畅, 等. 绿地之于人体健康的功效与机理——绿色医学的提案[J]. 中国园林, 2019, 35(6): 5-11.  
LI S H, YAO Y N, LIU C, et al. The effect and mechanism of green space on human physical and mental health: a proposal of green medicine[J]. Chinese Landscape Architecture, 2019, 35(6): 5-11.
- [11] 王箫剑. 乡村公园绿地使用后评价与设计策略研究——基于江浙地区案例[D]. 南京: 东南大学, 2022.  
WANG X J. Post-use evaluation and design strategies for rural park greenspaces——based on the cases in Jiangsu and Zhejiang[D]. Nanjing: Southeast University, 2022.
- [12] ZHU H, YANG F, BAO Z, et al. A study on the impact of Visible Green Index and vegetation structures on brain wave change in residential landscape[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 64: 127299.
- [13] KARACA E, ÇAKAR T, KARACA M, et al. Designing restorative landscapes for students: a kansei engineering approach enhanced by VR and EEG technologies[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2024, 15(9): 102901.
- [14] LI C, YUAN Y, SUN C, et al. The perceived restorative quality of viewing various types of urban and rural scenes: based on psychological and physiological responses[J]. Sustainability, 2022, 14(7): 3799.
- [15] KORMOS C, GIFFORD R. The validity of self-report measures of proenvironmental behavior: a meta-analytic review[J]. Journal of Environmental Psychology, 2014, 40: 359-371.
- [16] SHOUMY N J, ANG L M, SENG K P, et al. Multimodal big data affective analytics: a comprehensive survey using text, audio, visual and physiological signals[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2020, 149: 102447.
- [17] CASTELHANO M S, WILLIAMS C C. Elements of scene perception[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [18] GIFFORD R, STEG L, RESER J P. Environmental psychology[J]. IAAP Handbook of Applied Psychology, 2011: 440-470.
- [19] HARTIG T. Validation of a measure of perceived environmental restorativeness[J]. Goteborg Psychological Reports, 1996, 26(7): 119-131.
- [20] JASPER H H. Ten-twenty electrode system of the international federation[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1958, 10: 371-375.
- [21] ÓLAFSDÓTTIR B K E, SIGURDARDÓTTIR Í, PÁLSDÓTTIR L M. Object EEG response: recording human steady state visually evoked potential for object images[D]. Reykjavík: University of Iceland, 2022.
- [22] LAVINE R A, SIBERT J L, GOKTURK M, et al. Eye-tracking measures and human performance in a vigilance task[J]. Aviation, Space and Environmental Medicine, 2002, 73(4): 367-372.
- [23] SAITO S. Does fatigue exist in a quantitative measurement of eye movements? [J]. Ergonomics, 1992, 35(5): 607-615.
- [24] GALLEY N, ANDRES G. Saccadic eye movements and blinks during long-term driving on the autobahn with minimal alcohol ingestion[J]. Vehicle System Dynamic, 1996, 5: 381-388.
- [25] SCHLEICHER R, GALLEY N, BRIEST S, et al. Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? [J]. Ergonomics, 2008, 51(7): 982-1010.

(责任编辑 王利君)