



# 滨水空间视觉特征的注意力和情绪效应

## ——基于高校在校学生眼动追踪实验的证据

罗玮菁<sup>1</sup>, 袁媛<sup>1,2</sup>, 王琳婷<sup>1</sup>, 吴丽娟<sup>3</sup>

1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510006
2. 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广东 广州 510006
3. 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广东 广州 510060

**摘要:** 随着社会竞争压力倍增以及城市生活高速运转, 高校在校学生心理健康问题日益凸显。大量研究证实蓝绿空间具有多重健康效益。作为一种日常疗愈景观, 蓝绿空间是促进心理健康的重要“自然处方”和环境资产。本研究基于视觉景观感知理论, 采用虚拟现实眼动追踪实验, 收集51名高校在校学生的眼动行为和情绪数据, 探究滨水空间视觉特征对高校在校学生注意力分配和情绪反应的作用。结果显示: 公共活动型水岸引起的注视行为和愉悦情绪显著更多, 不同观赏视角之间滨水空间感知的瞳孔反应和愉悦情绪存在差异。不同水平植被密度、植被结构层次和水面可视度对注意力和情绪的影响存在显著差异, 且在不同空间类型和观赏视角下显示出异质性特征, 即滨水空间属性之间具有交互作用。研究有助于丰富蓝绿空间人地感知理论的实验性循证探索和差异化研究, 结论可为人本尺度下滨水空间精细化场所营造提供参考, 以期为我国青年友好滨水空间建设提供实证支撑。

**关键词:** 滨水空间; 注意力; 情绪; 眼动实验; 青年友好

**中图分类号:** TU985 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2025)01-0207-11

## The effects of visual characteristics of waterfront spaces on attention and emotion: Evidence from an eye-tracking experiment of college students

LUO Weijing<sup>1</sup>, YUAN Yuan<sup>1,2</sup>, WANG Linting<sup>1</sup>, WU Lijuan<sup>3</sup>

1. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China
2. Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Guangzhou 510006, China
3. Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China

**Abstract:** The intense pressure of social competition and the fast-paced urban living have been increasingly exacerbating mental health issues among college students. As one of the everyday therapeutic landscapes, green-blue spaces are crucial nature prescriptions and environmental assets that could improve mental health. Drawing upon visual landscape perception theory, this study conducted a virtual reality eye-tracking experiment and collected eye movement and emotional data of 51 college students to explore the effect of visual characteristics of waterfront spaces on college students'

\* 收稿日期: 2024-06-03 录用日期: 2024-06-17 网络首发日期: 2024-10-10

基金项目: 国家自然科学基金(52278085); 广东省基础与应用基础研究基金(2023A1515010704);  
广州市哲学社科规划2022年度课题(2022GZYB28)

作者简介: 罗玮菁(1995年生), 女; 研究方向: 城市人居与健康福祉;  
E-mail: luowj56@mail2.sysu.edu.cn

通信作者: 袁媛(1976年生), 女; 研究方向: 健康地理、健康社区和社区治理;  
E-mail: yuanyuan@mail.sysu.edu.cn



ZR20240187



ZR20240187

attention and emotions. The results indicated that waterfront spaces within public open spaces triggered longer fixation duration and greater pleasure. The participants' mean pupil diameters and pleasure levels varied across different behavior perspectives while perceiving these spaces. Various levels of green density, plant structure, and water visibility had different effects on attention and emotion. Notably, significant interaction effects were observed between visual characteristics and environmental type (or behavior perspective). The study extends the human-place perception theory regarding green-blue space through experimental exploration and nuanced analyses. Its results provide valuable insights and empirical evidence for the design of meticulously crafted waterfront spaces and the construction of youth-friendly waterfront spaces at a humanistic scale.

**Key words:** waterfront space; attention; emotion; eye-tracking experiment; youth-friendly

高校在校学生是青年群体中的高素质人才,是推动城市繁荣发展的重要力量。城市提供了更好的教育、就业机会和发展空间,但与此同时,城市中的非常态竞争、高速运转的生活节奏以及生态环境恶化等因素,会对人的心理健康产生负面影响(Knöll et al., 2017; 闫臻, 2022)。高校求学阶段是焦虑、抑郁等常见精神障碍频发的时期,在高压的学业和“内卷”氛围下,高校在校学生的心理健康问题日益凸显,心理健康服务需求的激增成为高校教育机构面临的重大挑战(Auerbach et al., 2018)。心理健康主要取决于情感状态,包括压力反应、冲动和情绪等(Gross et al., 2019)。长期积压焦虑、抑郁情绪和损耗注意力会引发心理健康问题。注意力恢复理论和压力缓解理论认为自然环境能够通过审美愉悦体验产生积极影响,不费力地吸引人的非自主性注意力,具有压力缓解与情绪提升效应(Kaplan et al., 1989; Ulrich et al., 1991)。已有研究通过将生理测量和主观评价相结合分析对环境的注意力分配和情绪反应,从而评估环境的恢复性特征(Franěk et al., 2018; Lei et al., 2021)。研究发现注视行为和情绪反应与环境恢复性评价相关(Liu et al., 2020),挖掘对环境要素的感知机制可助益促进心理健康的环境建设。

蓝绿空间作为一种日常疗愈景观,是促进心理健康的重要“自然处方”和环境资产。尽管蓝绿空间的健康效益研究日益丰富,但目前的研究成果尚不足以全面指导空间设计实践。例如,作为蓝绿空间典型类型的滨水空间,其植被密度、植被层次搭配、水面可视度有效提升愉悦感和关注度的视觉特征水平和阈值范围仍有待进一步明确。以往的研究通常将蓝色空间被简单划分到绿色空间中,对于人们如何感知不同类型滨水空间及其内部不同视觉特征关注不足(冷红等, 2022)。

此外,滨水空间微观层面的视觉特征效益仍需通过新兴的实验技术方法提供有效证据。

人类感知环境主要通过视觉。在视觉景观感知理论中,心理物理学派将景观-审美的关系理解为刺激-反应的关系(齐童等, 2013)。本研究将滨水空间环境作为“刺激”,以注意力和情绪作为“反应”,采用虚拟现实眼动追踪实验,收集高校在校学生的眼动行为和情绪数据,旨在从人因实验视角探究滨水空间类型、观赏视角、视觉特征对注意力分配和情绪反应的作用。

## 1 相关研究综述

### 1.1 蓝绿空间疗愈效益研究

滨水空间作为蓝绿空间的典型类型,是提升公众健康与幸福感的重要疗愈景观资源。蓝绿空间是绿色空间和蓝色空间的总称,即植物覆盖或保持自然特征和可以直接接触或感知的具有明显水体的空间(冷红等, 2022)。蓝绿空间通常交织在一起,大量研究证实蓝绿空间的可及性、可达性和品质具有多重健康效益(Labib et al., 2020)。蓝绿空间暴露可以有效缓解压力(Nutsford et al., 2016; 袁媛等, 2021),恢复注意力(Liu et al., 2022),改善抑郁、孤独等情绪和认知能力(Astell-Burt et al., 2022),提升主观幸福感等(Knight et al., 2022)。以往研究大多关注蓝绿空间的可及性和可达性指标的健康效益,虽然近年来对可视性指标的关注增加(Helbich et al., 2019; Yue et al., 2022),但大多数研究仍将蓝绿空间视为单一同质性环境。有必要进一步量化验证不同类型滨水空间对注意力和情绪的效应。蓝绿空间的实验性研究关注的要素指标日益细化(Jiang et al., 2014; Zhu et al., 2021; 聂玮等, 2022)。但大多数研究只关注其中一种指标,对滨水空间视觉特征的关注相对不足

(Chen et al., 2020), 且尚未明晰空间类型、观赏视角、视觉特征等滨水空间属性的交互作用。

## 1.2 眼动实验在空间感知研究中的应用

眼动实验方法已被广泛应用于地理空间认知(王君怡等, 2016)、景观视觉质量评价(Li et al., 2020)、城市更新诊断(陈箬, 2022)等空间感知研究。不同的环境类型和景观特征会引发不同的眼球运动。有研究发现, 相比城市建筑环境, 人们观看自然环境的注视次数更少(Berto et al., 2008)。在城市绿色空间中, 对树木、灌木和水体的注视具有正向的环境恢复性效益, 而对建筑和道路铺装的注视具有负向效应(Liu et al., 2022)。不同绿地景观复杂度也会影响偏好和注视行为(Liu et al., 2021)。尽管眼动实验研究中不乏对蓝绿空间感知的探究, 但通常将有水与无水环境作比较, 较少将含有水体的空间进一步细化为不同类型。不同滨水空间视觉特征对感知反应的影响还需利用眼动追踪技术进一步探究。

## 2 研究设计

### 2.1 刺激材料

广东省滨水空间资源丰富, 广州市作为典型的高密度特大城市, 其滨水空间建设具有代表性。参考广州市绿地系统规划, 将日常易于接触的滨水空间划分为2种类型: ①公共活动型水岸, 即城市公共活动中心的滨水绿地; ②生活服务型水岸, 即邻近住宅小区等区域的滨水绿地。在多个滨水空间拍摄了实验所需的照片材料。

初步调研拍摄照片795张, 均以统一的1.5 m人视高度进行拍摄, 照片尺寸为4 000×2 250像素。综合考虑滨水空间类型、视觉特征不同水平和行为视角的因素, 对照片进行评估与筛选。滨水空间视觉特征指标分为3种不同水平, 即植被密度和水面可视度的低、中、高3种水平, 以及3种植被结构层次(无、两层、三层)。考虑驻足和步行两种行为可能产生不同观赏视角, 水景会位于视域中心或视域边缘, 视觉特征指标每种水平选取2种视角的照片。实验材料的滨水空间属性设置为: 2种空间类型×3种视觉特征指标×3种水平特征×2种视角。最终选取具有代表性的刺激材料36张。

### 2.2 实验被试

在中山大学通过线上广告招募被试, 在2024年3月17~29日开展正式实验。被试入选的标准为: ①惯用手为右手; ②无精神或精神疾病史、

内分泌失调及疾病史、重大慢性生理疾病或疾病史; ③无长期使用药物; ④无任何物质或行为成瘾; ⑤裸眼或矫正视力正常; ⑥年龄为18~35岁。纳入分析的被试共有51名, 其中女性有31名, 男性20名, 平均年龄为23岁。被试大部分为大学本科生(占66.67%), 也涵盖硕士和博士研究生(占33.33%), 被试以非地理相关专业背景居多(占70.59%)。经抑郁-焦虑-压力量表评估, 被试整体的抑郁和压力处于正常水平, 但呈现中度焦虑状态。

### 2.3 指标测度

**2.3.1 注意力: 眼动行为指标** 使用HTC VIVE Pro Eye虚拟现实设备呈现刺激材料并采集眼动行为数据, 该设备应用了Tobii®眼动追踪技术, 采样率为120 Hz。该VR眼动追踪系统通过北京津发科技开发的ErgoLAB 3.17.13平台实现同步记录。不同的眼动行为指标可反映人们在观察和感知环境时大脑对视觉信息处理过程的不同特征, 可分为信息处理、认知负担和视觉搜索共3类指标(董卫华等, 2019)。本研究选取的眼动行为指标包括: 注视次数, 总注视时间, 平均的注视时间、瞳孔直径、眨眼次数和眼跳次数, 具体见表1。

**2.3.2 情绪: 主观感知指标** Russell提出将由环境引发的情绪反应分为两个维度, 即效价维度和唤醒维度(Russell et al., 1980)。效价维度描述情绪反应的正负性, 唤醒维度表征情绪反应的兴奋度。本研究采用“厌烦-愉悦”和“平静-兴奋”两对情绪形容词分别代表情绪的效价和唤醒。使用问卷测量被试对36张照片中环境的情绪感受。被试被要求“想象当经历了一段心理疲劳的时刻, 为了放松心情, 到达并处于这张照片的环境中”, 选择符合当下情绪体验的分值, 评分1~5分。具体问题如下: “在这个环境中, 您感到的愉悦程度是(1=厌烦, 5=愉悦)”, “在这个环境中, 您感到的兴奋程度是(1=平静, 5=兴奋)”。

### 2.4 实验流程

在正式实验当天, 被试到达实验室后先向其介绍实验目的和具体流程, 然后签署知情同意书。为被试佩戴好VR设备后, 进行眼动校准, 待VR显示屏幕上出现“校准成功”后, 开始刺激材料播放。每张图片观看10 s, 两张图片之间出现空白页面2 s。完成眼动实验并解除VR设备后, 要求被试填写一份主观评价问卷。被试完成问卷后, 可领取被试费并离开。完成整个实验过程约需30 min。

表 1 眼动行为指标含义与解释  
Table 1 The meaning and explanation of eye movement indicators

项目	眼动指标	解释
信息处理指标	注视次数	注视次数越多,说明信息识别解译越困难,搜索效率越低,被试处理了越多的视觉信息,需要更多的定向注意力(董卫华等,2019;朱玉洁等,2021)。
	总注视时间/s	总注视时间越长,说明认知过程更费力,提取、加工视觉信息越困难,也表明注意力更集中,照片吸引力越大,被试越感兴趣,情感关联程度更强。
	平均注视时间/s	平均注视时间越长,反映被试认知的努力程度和感兴趣程度越大。
认知负担指标	平均瞳孔直径/mm	平均瞳孔直径越小,说明认知负担越低,瞳孔放大,说明引起了被试情绪心理活动或大脑思维活动的波动(王敏等,2017;Zhou et al.,2023)。
	平均眨眼次数	平均眨眼次数越多,意味着信息认知负担较轻或注意力分散,视觉疲劳增加(Hamedani et al.,2020;周祥等,2023)。
视觉搜索指标	平均眼跳次数	平均眼跳次数越高,搜索效率越高,但有可能不利于形成兴趣点和景观独特性(Zhou et al.,2023)。

实验室室内平均温度为 22.83 °C, 平均相对湿度为 67.87%, 平均照度为 649 lx。

## 2.5 数据分析

使用 R 语言环境对数据进行清洗、编码、计算指标和统计分析。少量眼动行为数据存在缺失情况,使用均值进行替换。采用 Shapiro-Wilk 正态分布检验分析数据是否符合正态分布。分析不同类型滨水空间和不同观赏视角所引发的眼动行为和情绪差异,若两个相关变量的差值符合正态分布,使用配对 T 检验进行验证,否则使用 Wilcoxon 符号秩检验。分析不同人群分异特征,若数据符合正态分布,运用独立样本 T 检验,否则使用 Mann-Whitney U 检验。在比较不同水平滨水空间视觉特征下的眼动行为和情绪差异时,若各水平变量符合正态分布,采用单因素重复方差分析进行验证,事后检验对各视觉特征水平之间进行多次配对的 T 检验;否则应用 Friedman 检验,并通过 Quade test 进行事后多重比较。

利用线性混合模型(LMMs, linear mixed models)验证滨水空间视觉特征与空间类型、观赏视角对注意力和情绪的交互作用。本研究重复测量了多个被试的多个感知数据,混合线性模型克服了一般线性模型对因变量具有独立和等方差的要求。模型把不同被试作为随机效应,以注意力和情绪作为因变量,以滨水空间视觉特征分别与空间类型、观赏视角的交互作用项作为自变量,将性别、年龄、教育水平、专业领域、住处附近有无蓝绿空间、自然和城市偏好、性格、抑郁、焦虑和压力水平 12 个社会人口属性特征作为控制变量。

## 3 结果与讨论

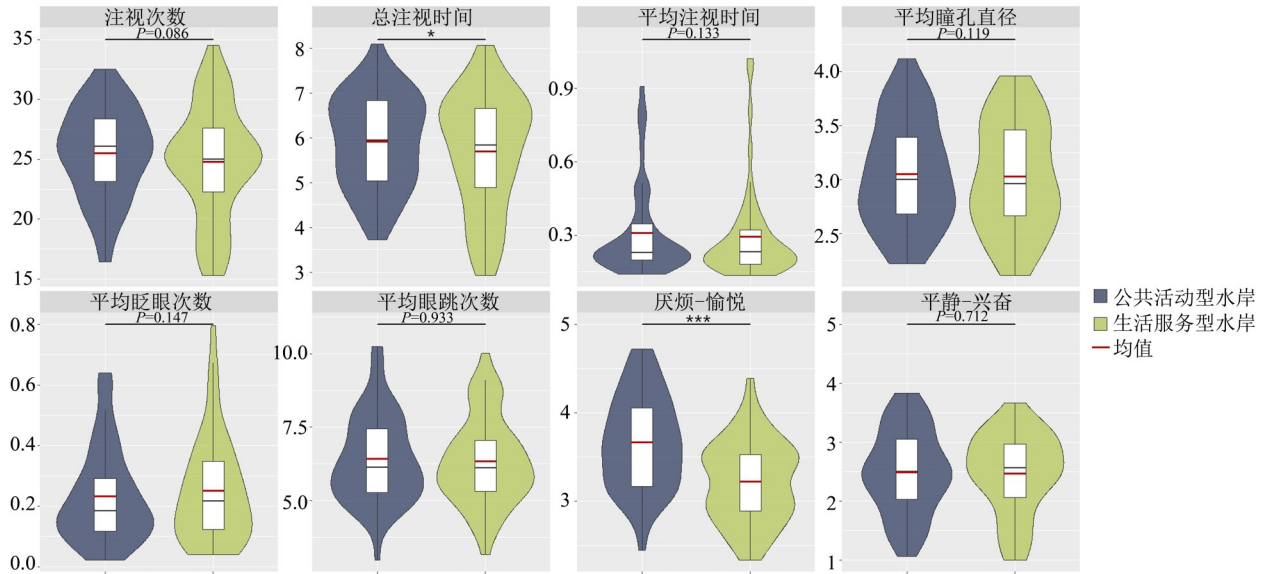
### 3.1 不同类型滨水空间的差异

两种滨水空间之间的总注视时间存在显著差异(图 1, 增强出版:附表 1),表明相比生活服务型水岸,被试对公共活动型水岸的关注度显著更高,其情感关联程度可能更强。分析主观感知数据可知,两种滨水空间引发的兴奋程度差异不明显,但公共活动型水岸引发的愉悦程度显著更高。相比邻里环境周边的水岸,公共活动型水岸的生态质量更好、自然度更高、水体面积更大、景观要素更加丰富,可能是其吸引注意力和对情绪的恢复性效果更好的原因(McDougall et al., 2021; Knight et al., 2022)。

比较不同人群对两种滨水空间的感知发现,不同性别和专业背景的被试的感知无显著差异。以焦虑评分 $\geq 10$ 分的被试作为焦虑水平较高者,分析发现,观看公共活动型水岸时,焦虑水平较高者的注视次数显著高于焦虑水平较低者,但其平均注视时间显著更短。公共活动型水岸可能对焦虑水平较高者的刺激、疗愈作用更明显。

### 3.2 不同观赏视角的差异

不同观赏视角对视觉信息处理和搜索行为指标无明显影响(图 2, 增强出版:附表 1),水景在不同视域位置时的注视、眨眼和眼跳行为数据无显著差异。步行观赏视角(水景在视域边缘)的平均瞳孔直径显著大于驻足观赏视角(水景在视域中心),步行观赏视角引发更多的大脑思维活动和认知负担,可能因为步行行为相比驻足行为需要更多注意力,驻足时人们更倾向于放空精神。驻足



\*:  $P<0.05$ ; \*\*:  $P<0.01$ ; \*\*\*:  $P<0.001$ 。图 2~5 相同。

图 1 不同类型滨水空间注意力和情绪差异的小提琴图

Fig. 1 Violin plots showing the difference of attention and emotion among different types of waterfront space

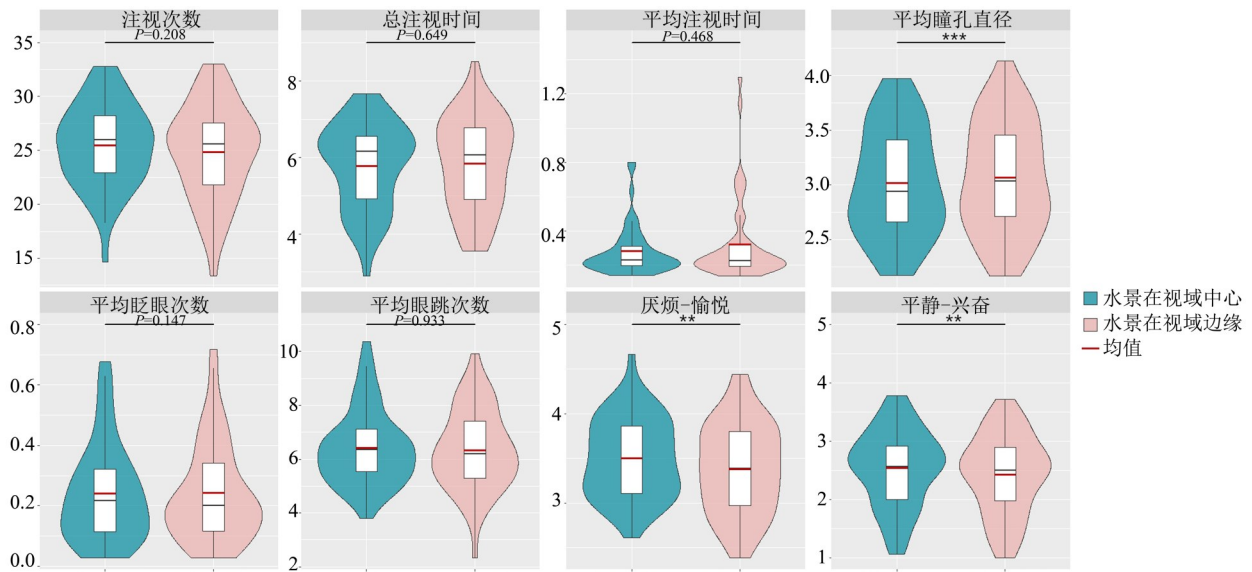


图 2 不同观赏视角注意力和情绪差异的小提琴图

Fig. 2 Violin plots showing the difference of attention and emotion among different viewing perspectives

观赏视角更能引起人们的愉悦感和兴奋感, 可能是因为步行空间更接近于日常活动场景, 而驻足空间的美景度和观赏性更高。

### 3.3 滨水空间不同视觉特征水平的差异

3.3.1 植被密度 分析眼动数据发现(图 3, 增强出版: 附表 2), 在信息处理指标方面, 中植被密度的注视点数量最多, 显著多于高植被密度, 说明被试对中水平植被密度的滨水空间环境信息识别更困难, 所处理的环境信息更多, 需要更多定

向注意力。高植被密度滨水空间的总注视时间和平均注视时间显著高于低、中植被密度, 表明高植被密度滨水空间能够吸引更多注意力, 被试更感兴趣。在认知负担指标方面, 高植被密度的平均瞳孔直径最大, 高植被密度可能引起了更强的情绪变化, 也可能产生了更大的认知负担。在视觉搜索指标方面, 高植被密度的平均眼跳次数显著少于低、中植被密度, 说明观看低、中植被密度时的搜索效率更高, 也可能其景观独特性相对

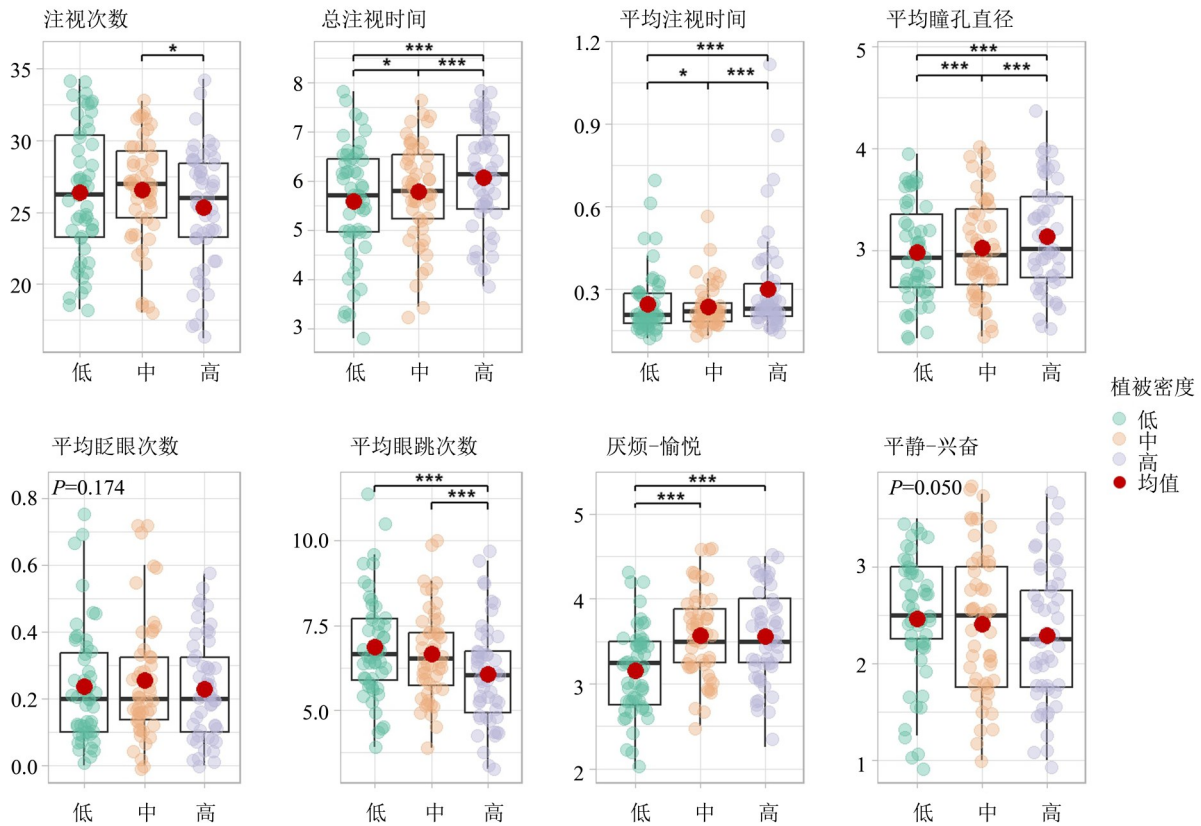


图3 不同水平植被密度的注意力和情绪差异

Fig. 3 The difference of attention and emotion among different levels of green density

较弱。主观感知的结果显示,低植被密度的引发的愉悦感显著低于中、高植被密度。

**3.3.2 植被结构层次** 分析不同水平植被结构层次环境之间的眼动行为数据发现(图4, 增强出版:附表2),被试的注视次数、平均瞳孔直径、平均眨眼次数和平均眼跳次数存在显著差异。信息处理指标结果显示,无植被结构层次图片的注视点数量为26.53,显著多于两层和三层植被结构层次图片,说明被试大脑在加工无植被结构层次图片的视觉信息时更加费力,所需定向注意力更多。认知负担指标结果显示,被试观看三层植被结构层次环境图片时的平均瞳孔直径为3.07 mm,平均眨眼次数为0.26次/s,显著大于无植被结构和两层植被结构,说明三层植被结构层次更能引起较大认知负担或情绪变化,更能使注意力分散或增加视觉疲劳。视觉搜索指标结果显示,无植被结构层次环境的平均眼跳次数最高,即观看无植被结构层次图片时的搜索行为更多,可能是其环境景观独特性相对较弱,无法吸引人注视。分析被试主观感知结果发现,两层、三层植被结构层次环境触发的愉悦感显著高于无植被结构层次搭配的环境,三层植被结构层次环境更能使被试感到

平静。

**3.3.3 水面可视度** 从眼动行为数据看(图5, 增强出版:附表2),低水面可视度环境可能带来情绪波动或认知负担增加,平均瞳孔直径显著大于中、高水面可视度。低水面可视度环境下平均眼跳次数最高,即观看低水面可视度滨水空间时的搜索行为更多、搜索效率更高,说明可观赏水面面积小不利于形成注视点,景观特征不够鲜明。从主观感知数据看,被试在观赏低水面可视度环境时的愉悦感显著高于另外两种水平的环境。低水面可视度环境多为由植被、建筑所围合而成的“临水不见水”的休憩空间,这类空间虽然特色不如中、高水面可视度环境鲜明,但因其承载着人们的休憩需求而让人愉悦感增加。

### 3.4 注意力和情绪感知:滨水空间属性的交互作用

尽管上述结果在一定程度上验证了不同空间类型、观赏视角和视觉特征水平对高校在校学生注意力和情绪的效应具有差异性,但只考虑了单变量不同水平下的差异,被试在感知不同空间类型和观赏视角下的不同视觉特征水平时的注意力分配和情绪反应是否存在异质性还尚未明晰。因

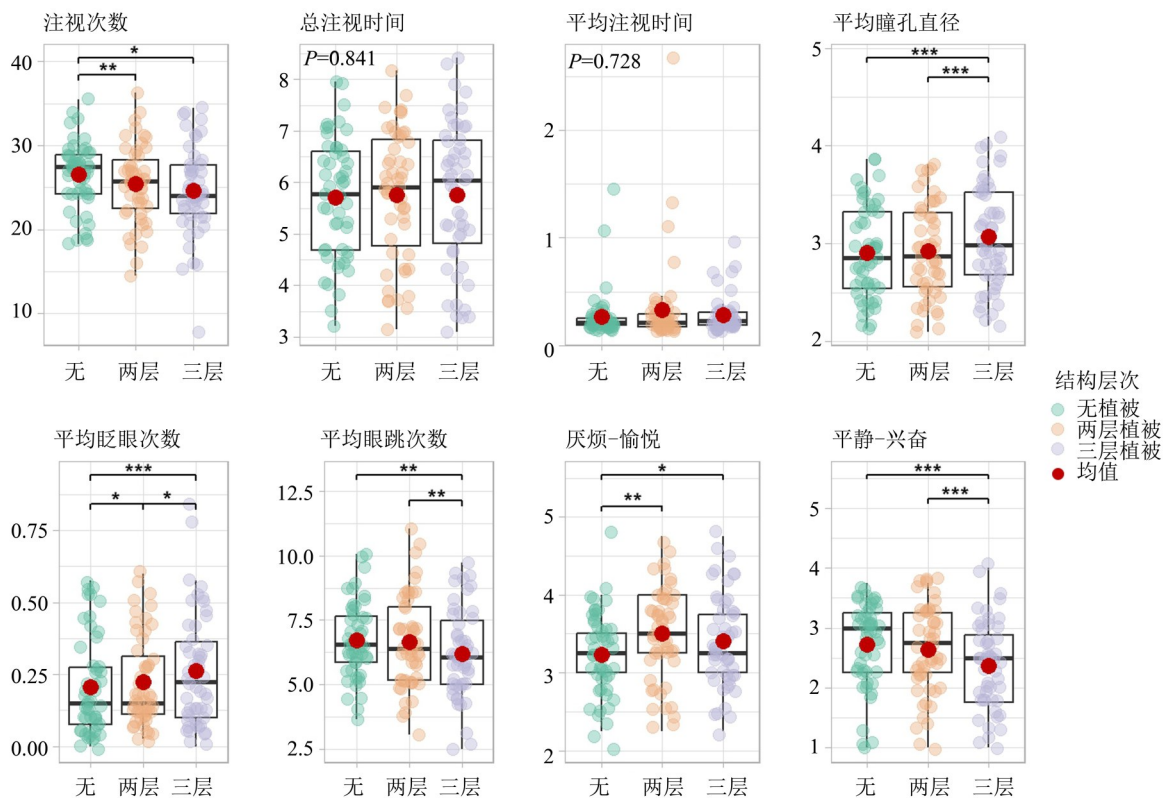


图 4 不同水平植被结构层次的注意力和情绪差异

Fig. 4 The difference of attention and emotion among different levels of plant structure

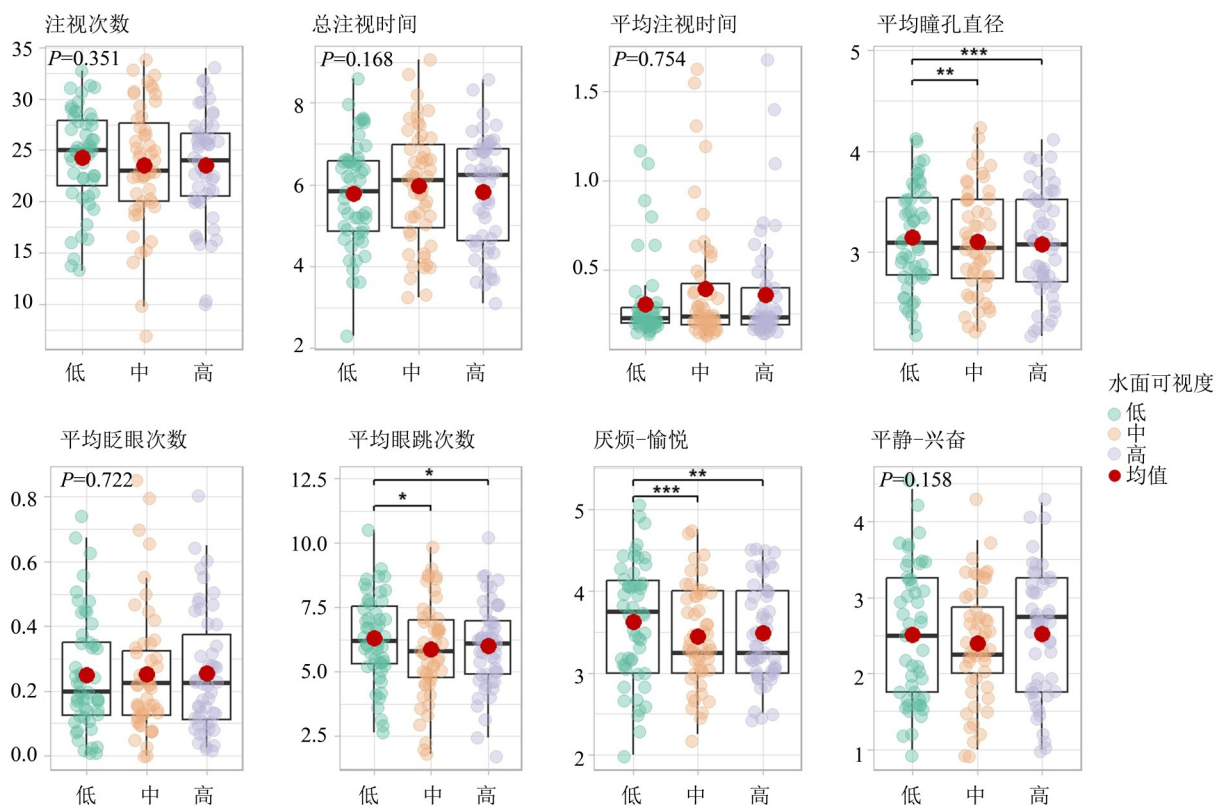


图 5 不同水平水面可见度的注意力和情绪差异

Fig. 5 The difference of attention and emotion among different levels of water visibility

此, 进一步采用线性混合模型分别验证 3 种视觉特征与空间类型、观赏视角交互作用对注意力和情绪的影响。结果显示(表 2~4, 增强出版: 附表 3~

4), 滨水空间视觉特征对注意力和情绪的作用在不同空间类型和观赏视角下显示出异质性特征。

表 2 植被密度与空间类型、视角的交互作用

Table 2 The interaction between green density and environmental type (or behavior perspective)

项目	注视次数	总注视时间	平均注视时间	平均瞳孔直径	平均眨眼次数	平均眼跳次数	厌烦-愉悦	平静-兴奋
空间类型(参考组: 公共活动型水岸)	-0.27*	0.29**	0.31*	-0.04	0.09	-0.43***	0.76*	-0.04
观赏视角(参考组: 驻足视角)	-0.11	0.27*	0.16	-0.37***	0.14	-0.31**	0.09	-0.04
植被密度(参考组: 低水平植被密度)								
中植被密度	-0.08	0.45***	0.14	-0.17**	0.19	-0.52***	0.57***	-0.13
高植被密度	-0.21	0.65***	0.38*	0.16**	0.03	-0.73***	0.76***	-0.19
植被密度(参考组: 低水平植被密度)×空间类型(参考组: 公共活动型水岸)								
中植被密度×生活服务型水岸	0.21	-0.28	-0.24	-0.03	-0.10	0.41**	-0.14	0.17
高植被密度×生活服务型水岸	0.06	-0.35*	-0.23	-0.41**	-0.18	0.41**	-0.14	0.32*
植被密度(参考组: 低水平植被密度)×观赏视角(参考组: 驻足视角)								
中植被密度×步行视角	0.03	-0.37*	-0.11	0.57***	-0.11	0.44**	-0.08	-0.01
高植被密度×步行视角	0.02	-0.33*	-0.09	0.69***	0.06	0.31*	-0.49**	-0.29
$N_{\text{被试}}$	51	51	51	51	51	51	51	51
AIC	3 921.4	2 076.4	19.211	-122.09	-278.80	2 496.5	1 502.6	1 578.4
边际 $R^2$ / 条件 $R^2$	0.076 / 0.338	0.114 / 0.484	0.043 / 0.183	0.196 / 0.912	0.152 / 0.484	0.124 / 0.451	0.158 / 0.322	0.152 / 0.421

\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; 数值为标准系数; 省略了控制变量的标准系数。表 3 和 4 相同。

表 3 植被结构层次与空间类型、视角的交互作用

Table 3 The interaction between plant structure and environmental type (or behavior perspective)

项目	注视次数	总注视时间	平均注视时间	平均瞳孔直径	平均眨眼次数	平均眼跳次数	厌烦-愉悦	平静-兴奋
空间类型(参考组: 公共活动型水岸)	0.32**	-0.20	-0.21	0.07	0.11	0.29**	-1.25***	-0.38***
观赏视角(参考组: 驻足视角)	-0.10	0.05	0.15	0.24***	-0.01	0.08	-1.03***	-0.59***
植被结构层次(参考组: 无植被结构层次)								
两层植被结构层次	0.18	-0.06	-0.15	-0.12	0.03	0.26*	-0.50***	-0.34*
三层植被景观层次	-0.02	0.11	0.01	0.43***	0.09	0.07	-1.04***	-0.88***
植被结构层次(参考组: 无植被结构层次)×空间类型(参考组: 公共活动型水岸)								
两层植被结构层次×生活服务型水岸	-0.58***	0.11	0.40*	0.32***	0.03	-0.37*	0.36*	-0.05
三层植被景观层次×生活服务型水岸	-0.61***	0.05	0.26	-0.13	0.20	-0.61***	1.33***	0.52**
植被结构层次(参考组: 无植被结构层次)×观赏视角(参考组: 驻足视角)								
两层植被结构层次×步行视角	-0.09	0.07	0.12	-0.01	0.05	-0.22	1.15***	0.60***
三层植被景观层次×步行视角	0.11	-0.20	-0.22	-0.12	0.09	0.02	1.08***	0.62***
$N_{\text{被试}}$	51	51	51	51	51	51	51	51
AIC	3 972.1	2 117.4	986.23	-69.9	-304.58	2 526.1	1 546.4	1 712.4
边际 $R^2$ / 条件 $R^2$	0.134 / 0.400	0.104 / 0.548	0.041 / 0.130	0.197 / 0.900	0.152 / 0.521	0.095 / 0.510	0.346 / 0.478	0.174 / 0.413

表4 水面可见度与空间类型、视角的交互作用

Table 4 The interaction between water visibility and environmental type (or behavior perspective)

项目	注视次数	总注视时间	平均注视时间	平均瞳孔直径	平均眨眼次数	平均眼跳次数	厌烦-愉悦	平静-兴奋
空间类型(参考组:公共活动型水岸)	-0.04	-0.41***	-0.22	-0.03	0.06	0.22*	-0.06	0.10
观赏视角(参考组:驻足视角)	0.06	0.07	-0.06	-0.11*	-0.28**	0.12	-0.13	0.03
水面可见度(参考组:低水平水面可见度)								
中水面可见度	-0.01	0.07	0.11	-0.07	-0.12	-0.05	-0.06	-0.05
高水面可见度	0.06	-0.14	-0.13	-0.23***	-0.04	0.22	-0.25	0.05
水面可见度(参考组:低水平水面可见度)×空间类型(参考组:公共活动型水岸)								
中水面可见度×生活服务型水岸	0.09	0.10	-0.12	-0.19**	-0.00	-0.07	-0.50**	-0.12
高水面可见度×生活服务型水岸	-0.16	0.24	0.30	-0.00	-0.05	-0.37*	-0.06	-0.03
水面可见度(参考组:低水平水面可见度)×观赏视角(参考组:驻足视角)								
中水面可见度×步行视角	-0.25	-0.06	0.25	0.17**	0.26	-0.18	0.22	-0.01
高水面可见度×步行视角	-0.14	0.07	0.18	0.22***	0.17	-0.33*	0.28	-0.06
$N_{\text{被试}}$	51	51	51	51	51	51	51	51
AIC	4 142.5	2 296.6	833.92	-201.38	-250.421	2 618.6	1 503.6	1 563.5
边际 $R^2$ / 条件 $R^2$	0.083 /	0.098 /	0.047 /	0.186 /	0.126 /	0.088 /	0.128 /	0.167 /
	0.385	0.513	0.294	0.925	0.551	0.491	0.404	0.530

高植被密度的公共活动型水岸更能引起人们注视和瞳孔直径放大,也更能使人平静。有研究指出,高植被覆盖的社区安全性和环境品质会比低植被覆盖的社区高(Jiang et al., 2014; Mouratidis, 2019)。但也有部分研究认为,由高植被密度会降低环境的安全性,使人产生消极情绪(Baran et al., 2018; 聂玮等, 2022)。低植被密度的公共活动型水岸中,被试需要进行更多的视觉搜索行为。驻足视角下中、高植被密度的滨水空间植被作为构成恢复性的要素更让人感兴趣,利于产生愉悦情绪。而步行视角下中、高植被密度滨水空间植被可能对视线造成遮挡,引起的认知负担和搜索行为更多。

与生活服务型水岸相比,两层植被结构层次在公共活动型水岸更能够提升环境的吸引力,从而吸引人们的注意力。在生活服务型水岸中增加植被结构层次也能够显著提升人们对环境的愉悦感。在步行视角下,两层植被结构层次更让人愉悦和兴奋。

观赏中水面可见度的公共活动型水岸时,被试的平均瞳孔直径最大,愉悦感相对较强。在生活服务型水岸更够看见适当的蓝色景观可以加强场景的识别度和特色,降低使人们的视觉搜索和加工行为。不同的水面可见度在不同观赏视角下

对被试主观情绪的作用类似,但从眼动行为指标可发现,高水面可见度环境中不同视角引起的眼跳的差异大于低水面可见度环境,步行视角下中、高水面可见度环境引起的瞳孔直径大于驻足视角。

比较模型的边际 $R^2$ 发现,滨水空间属性的交互作用对主观情绪变化的解释度较大于眼动行为指标,但在主观情绪变化不大的情况下眼动指标可有效辅助捕捉环境刺激下感知的细微差别。在控制社会人口特征的基础上,相比只反映可见面积的植被密度和水面可见度,植被结构层次与空间类型、观赏视角的交互作用更能解释注视次数(边际 $R^2=0.134$ )、愉悦(边际 $R^2=0.346$ )、兴奋(边际 $R^2=0.174$ )的变化。植被密度与空间类型、视角的交互作用对总注视时间(边际 $R^2=0.114$ )和平均眼跳次数(边际 $R^2=0.124$ )变化的解释力度相对更强。

## 4 结论和展望

滨水空间环境品质的提升对公众健康和幸福感有诸多益处,在人因实验视角下进一步挖掘对滨水空间的感知机制对于指导人本主义城市建设具有重要意义。本研究借助虚拟现实眼动追踪实验,探究了滨水空间视觉特征对高校在校学生注意力和情绪的效应。主要结论及建议如下:

1)公共活动型水岸引起的总注视时间和愉悦

情绪显著多于生活服务型水岸,对较高焦虑水平的高校在校学生的视觉信息加工刺激作用相对更大。在规划建设滨水空间时,应考虑群体的心理特征和差异性需求,进一步加强公共活动型水岸的焦虑缓解和情绪疗愈作用,同时逐步提升生活服务型水岸的品质以保障日常空间的宜居性。

2)步行视角下的滨水空间引发更多的大脑思维活动和认知负担,而驻足视角对情绪效价和唤醒的作用更强。因此,步行和驻留场所的营造应充分满足不同的注意力分配和情绪需求。

3)不同滨水空间视觉特征对注意力和情绪的影响存在显著差异。中植被密度的滨水空间引起了更多注视点和愉悦感,高植被密度的滨水空间引起了时间更长的注视、更大的平均瞳孔直径和更低的视觉搜索行为。无植被结构层次的滨水空间所需定向注意力和视觉搜索行为更多,三层植被结构层次的环境引起的认知负担更大,两层、三层植被结构层次的环境触发的愉悦感更高。在观赏低水面可视度的环境时,会增加视觉认知负担和搜索行为,但被试主观的愉悦感最强。

4)滨水空间视觉特征对注意力和情绪的影响在不同空间类型和观赏视角下具有差异性。相比植被密度和水面可视度,植被结构层次与空间类

型、观赏视角的交互作用对注视次数和主观情绪变化的解释力度更大。在以改善信息加工能力和情绪为主要目的时,可优先考虑通过在不同空间类型、不同行为视角的场所中有针对性地增加植被结构层次、优化植物搭配,以提升场所氛围和疗愈作用。

与以往研究相比,本研究细化了不同功能下滨水空间的类型,并明确了视觉特征与空间类型、观赏视角对注意力和情绪的影响具有交互作用。本研究存在以下局限性:①在实验室条件下,依据专业经验将滨水空间视觉特征人为控制为3个不同水平,未来应进一步量化滨水空间视觉特征,并探究影响注意力和情绪的阈值效应。②尽管线性混合模型控制了被试住处附近有无蓝绿空间,但被试日常实际的蓝绿空间暴露剂量和时长可能会影响其如何感知环境,未来研究需考虑控制蓝绿空间实际暴露量。③被试以高校在校学生为主,后续需招募不同职业的青年作为被试,以扩大实验结果的适用性。④眼动指标只反映出初级感知活动,未来可结合fNIRS和EEG等大脑成像和脑电活动测量手段深入探究蓝绿空间感知的心理机制(Zhong et al.,2023)。

## 参考文献:

- 陈箬,2022.城市更新的眼动追踪诊断[M].上海:同济大学出版社.
- 董卫华,廖华,詹智成,等,2019.2008年以来地图学眼动与视觉认知研究新进展[J].地理学报,74(3):599-614.
- 冷红,闫天娇,袁青,2022.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,37(2):34-43+52.
- 聂玮,贾江旭,王救救,等,2022.基于脑电实验的虚拟现实环境全景绿视率对人体愉悦度的影响研究[J].景观设计学(中英文),10(2):36-51.
- 齐童,王亚娟,王卫华,2013.国际视觉景观研究评述[J].地理科学进展,32(6):975-983.
- 王君怡,林岚,高华,等,2016.大学生旅游地图空间符号认知的群体差异研究——基于眼动实验数据分析[J].旅游学刊,31(3):97-105.
- 王敏,林钿,江荣灏,等,2017.传统节庆、身体与展演空间——基于人文地理学视觉量化方法的研究[J].地理学报,72(4):671-684.
- 闫臻,2022.青年友好型城市的理论内涵、功能特征及其指标体系建构[J].中国青年研究,(5):5-12.
- 袁媛,陈玉洁,刘晔,等,2021.广州社区绿化环境对居民自评健康的邻里影响[J].地理学报,76(8):1965-1975.
- 周祥,谭子媚,陈素青,等,2023.基于眼动追踪的历史文化街区城市景观体验评价——以广州永庆坊为例[J].中国园林,39(12):54-59.
- 朱玉洁,董嘉莹,翁羽西,等,2021.基于眼动追踪技术的森林公园环境视听交互评价[J].中国园林,37(11):69-74.
- ASTELL-BURT T, HARTIG T, PUTRA I E, et al, 2022. Green space and loneliness: A systematic review with theoretical and methodological guidance for future research [J]. Sci Total Environ, 847: 157521.
- AUERBACH R P, MORTIER P, BRUFFAERTS R, et al, 2018. WHO world mental health surveys international college student project: Prevalence and distribution of mental disorders[J]. J Abnorm Psychol, 127(7): 623.
- BARAN P K, TABRIZIAN P, ZHAI Y, et al, 2018. An exploratory study of perceived safety in a neighborhood park using immersive virtual environments[J]. Urban For Urban Green, 35: 72-81.
- BERTO R, MASSACCESI S, PASINI M, 2008. Do eye movements measured across high and low fascination

- photographs differ? Addressing Kaplan's fascination hypothesis[J]. *J Environ Psychol*, 28(2): 185–191.
- CHEN Y J, YUAN Y, 2020. The neighborhood effect of exposure to blue space on elderly individuals' mental health: A case study in Guangzhou, China [J]. *Health Place*, 63: 102348.
- FRANĚK M, ŠEFARA D, PETRUŽÁLEK J, et al, 2018. Differences in eye movements while viewing images with various levels of restorativeness [J]. *J Environ Psychol*, 57: 10–16.
- GROSS J J, UUSBERG H, UUSBERG A, 2019. Mental illness and well-being: An affect regulation perspective[J]. *World Psychiatry*, 18(2): 130–139.
- HAMEDANI Z, SOLGI E, HINE T, et al, 2020. Revealing the relationships between luminous environment characteristics and physiological, ocular and performance measures: An experimental study [J]. *Build Environ*, 172: 106702.
- HELBICH M, YAO Y, LIU Y, et al, 2019. Using deep learning to examine street view green and blue spaces and their associations with geriatric depression in Beijing, China [J]. *Environ Int*, 126: 107–117.
- JIANG B, CHANG C Y, SULLIVAN W C, 2014. A dose of nature: Tree cover, stress reduction, and gender differences[J]. *Landsc Urban Plan*, 132: 26–36.
- KAPLAN R, KAPLAN S, 1989. *The experience of nature: A psychological perspective*[M]. UK: Cambridge University Press.
- KNIGHT S J, MCCLEAN C J, WHITE P C, 2022. The importance of ecological quality of public green and blue spaces for subjective well-being[J]. *Landsc Urban Plan*, 226: 104510.
- KNÖLL M, ROE J J, 2017. Ten questions concerning a new adolescent health urbanism [J]. *Build Environ*, 126: 496–506.
- LABIB S M, LINDLEY S, HUCK J J, 2020. Spatial dimensions of the influence of urban green–blue spaces on human health: A systematic review[J]. *Environ Res*, 180: 108869.
- LEI Q, YUAN C, LAU S S Y, 2021. A quantitative study for indoor workplace biophilic design to improve health and productivity performance[J]. *J Clean Prod*, 324: 129168.
- LI J, ZHANG Z, JING F, et al, 2020. An evaluation of urban green space in Shanghai, China, using eye tracking [J]. *Urban For Urban Green*, 56: 126903.
- LIU L, QU H, MA Y, et al, 2022. Restorative benefits of urban green space: Physiological, psychological restoration and eye movement analysis [J]. *J Environ Manage*, 301: 113930.
- LIU Q, ZHU Z, ZENG X, et al, 2021. The impact of landscape complexity on preference ratings and eye fixation of various urban green space settings [J]. *Urban For Urban Green*, 66: 127411.
- MCDUGALL C W, HANLEY N, QUILLIAM R S, et al, 2021. Neighbourhood blue space and mental health: A nationwide ecological study of antidepressant medication prescribed to older adults [J]. *Landsc Urban Plan*, 214: 104132.
- MOURATIDIS K, 2019. The impact of urban tree cover on perceived safety [J]. *Urban For Urban Green*, 44: 126434.
- NUTSFORD D, PEARSON A L, KINGHAM S, et al, 2016. Residential exposure to visible blue space (but not green space) associated with lower psychological distress in a capital city [J]. *Health Place*, 39: 70–78.
- RUSSELL J A, PRATT G, 1980. A description of the affective quality attributed to environments [J]. *J Pers Soc Psychol*, 38(2): 311–322.
- ULRICH R S, SIMONS R F, LOSITO B D, et al, 1991. Stress recovery during exposure to natural and urban environments [J]. *J Environ Psychol*, 11(3): 201–230.
- YUE Y, YANG D, VAN DYCK D, 2022. Urban greenspace and mental health in Chinese older adults: Associations across different greenspace measures and mediating effects of environmental perceptions [J]. *Health Place*, 76: 102856.
- ZHONG S M, YUAN Y, WANG L T, 2023. Impacts of urban environment on women's emotional health and planning improving strategies: An empirical study of Guangzhou based on neuroscience experiments [J]. *Chin City Plan Rev*, 32(1): 17–27.
- ZHOU X, CEN Q, QIU H, 2023. Effects of urban waterfront park landscape elements on visual behavior and public preference: Evidence from eye-tracking experiments [J]. *Urban For Urban Green*, 82: 127889.
- ZHU H, YANG F, BAO Z, et al, 2021. A study on the impact of Visible Green Index and vegetation structures on brain wave change in residential landscape [J]. *Urban For Urban Green*, 64: 127299.