

基于眼动追踪的校园植物景观色彩对视觉感知影响研究

A Study on the Effect of Campus Plantscape Color on Visual Perception Based on Eye Tracking

周纪汉¹ 赵杨¹ 李杰^{1,2*}
ZHOU Jihan¹ ZHAO Yang¹ LI Jie^{1,2*}

(1.上海应用技术大学城市建设与生态技术学部, 上海 201418; 2.美丽中国与生态文明研究院, 上海 201418)

(1. Department of Urban Construction and Ecological Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai, China, 201418;
2. Research Institution of Beautiful China and Ecological Civilization, Shanghai, China, 201418)

文章编号: 1000-0283(2026)01-0059-08

DOI: 10.12193/j.laing.20250513002

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2025-05-13

修回日期: 2025-06-30

摘要

为探究植物景观色彩设计对公众视觉感知的影响机制, 采用“眼动追踪+主成分分析(PCA)+HSB色彩模型”的跨学科方法。以上海高校植物景观为对象, 利用Tobii眼动仪采集视觉数据, 结合HSB模型量化色彩属性, 运用PCA分析色彩因子与眼动指标关联。结果表明:(1)70%常绿植物与30%季节性花卉搭配可减少重复注视, 增强整体协调性, 提升感知效率与愉悦度;(2)在绿色背景中合理点缀红色等辅助色花卉能有效引导视线流动, 减少视觉停滞, 提升景观情感效价;(3)将高饱和度植物分散布置于不同视线焦点, 可避免视觉压迫感, 增强空间探索趣味性;(4)视觉感知存在显著性别差异, 女性倾向“扫描式搜索”模式, 男性偏好“聚焦式搜索”模式。据此提出数据驱动的植物景观色彩结构分层设计策略, 为优化城市植物景观设计提供科学依据。

关键词

眼动分析; 视觉感知; 植物景观色彩; 主成分分析; HSB色彩模型

Abstract

To investigate the influence mechanism of plant landscape color design on public visual perception, this study employed a multidisciplinary approach integrating eye-tracking, Principal Component Analysis (PCA), and the HSB color model. Focusing on plant landscapes within Shanghai universities, visual data was collected using Tobii eye-tracking equipment. Color attributes were quantified utilizing the HSB model, and PCA was employed to examine the correlations between color factors and eye movement metrics. The results demonstrated that: (1) A composition of 70% evergreen plants and 30% seasonal flowering plants significantly reduces repeated fixations, enhances overall harmony, and improves perceptual efficiency and pleasure. (2) Strategically introducing accent colors, such as red flowers, within a green background effectively guides visual flow, reduces visual stagnation, and increases the landscape's emotional valence. (3) Distributing high-saturation plants across distinct visual focal points avoids visual oppression and enhances spatial exploration interest. (4) Significant gender differences exist in visual perception, females exhibit a “scanning-style search” pattern, while males prefer a “focus-style search” pattern. Based on these findings, a data-driven hierarchical design strategy for plant landscape color structure is proposed to provide scientific guidance for optimizing urban plant landscape design.

Keywords

eye movement analysis; visual perception; plantscape color; principal component analysis; HSB color model

周纪汉

2000年生/男/安徽宣城人/硕士/研究方向为
风景园林规划设计

赵杨

1971年生/女/安徽无为人/博士/高级工程师、
硕士生导师/研究方向为风景园林规划
与设计

李杰

1991年生/男/江苏常州人/博士/讲师、硕
士生导师/研究方向为城市生态与景观感知

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: jie.li@sit.edu.cn

随着城市空间品质需求的提升, 植物景观作为城市公共空间的关键视觉元素, 其色彩设计逐渐成为影响公众情感体验与空间认同的重要因素。传统植物景观规划多依赖于设计师的主观经验或静态色彩理论框架, 虽

注重四季时序变化与植物形态的和谐, 却忽视了动态视觉感知中“人—景”互动的隐性规律^[1]。这种以“物”为中心的视角, 导致设计成果与实际感知需求脱节, 难以平衡美学吸引力与视觉舒适度。尽管景观感知研究通

过眼动追踪技术捕捉了部分视觉行为特征,但针对多尺度色彩变量如何协同影响空间评价,现有研究仍缺乏系统性解析,尤其缺乏对性别差异化视觉偏好的实证支持。

近年来,色彩研究与眼动追踪技术的交叉应用逐渐成为景观设计领域的热点,但现有研究仍存在学科割裂与方法局限。在色彩量化方面,当前植物色彩研究多采用色彩量化方法与主观评价相结合的方式,但两者关联性有限且存在明显局限性。Zeng等^[2]通过语义差异法(Semantic Differential, SD)与ColorImpact量化工具构建了藏族乡城县景观色彩评价体系,发现色域比与色彩多样性显著提升公众审美感知,但其研究依赖主观量表数据,未结合眼动追踪或生理指标验证色彩刺激的客观响应机制。张昶等^[3]通过无人机图像分析与眼动实验结合,发现高明度、中饱和度的色彩斑块及秋季景观对河岸植物视觉吸引力影响显著,且色相与斑块面积的交互作用呈现季节性差异。这些技术应用使得植物色彩研究从定性描述迈向定量分析,但多数研究仍停留在参数提取层面,缺乏对色彩结构参数作用机理的深入解析。针对眼动追踪技术,现有研究表明,自然景观的视觉特征与环境条件显著影响个体的注意力分配、生理反应及主观情绪体验。在景观疗愈领域,Amati等^[4]发现处于压力状态的个体对树木及灌木丛的注视时间更长,提示植被可能具有缓解压力的作用。进一步研究发现,植物颜色对心理调节至关重要:Elsadek等^[5]证实,相较于其他颜色,亮绿色或黄绿色植物能引发更多注视次数与更长注视时间,同时降低大脑感觉区域的血红蛋白浓度,改善主观情绪。此外,空间多样性亦影响疗愈效果。Goto等^[6]指出,日本庭院(相比香草花园)能分散注视点、延长注

视时间,并降低平均心率10%,其多样化空间可能促进深度观察从而减轻压力。在景观感知方面,环境条件与景观类型调节视觉加工模式。Pórolnyczak等^[7]发现,消极气象条件(如低气压系统引发的天气)下,个体在景观兴趣区(Area of Interest, AOI)的注视时间和首次注视时间均长于积极气象条件,表明恶劣天气可能增强信息处理深度。然而,视觉行为与主观评价并非总是一致:Zhang等^[8]观察到,尽管观看林地景观时视觉活动更活跃(相比水体景观),但被试对其满意度反而更低,揭示了视觉注意力强度与情感偏好间的复杂性。

本研究以眼动追踪技术为核心工具,创新性引入“量化—感知—行为分析”闭环研究框架,通过模拟真实场景的静态植物景观刺激材料,精准捕捉瞬时视觉反应。结合主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)降维与HSB色彩量化模型,系统性解析色彩数量、多样性指数、均匀度等多维变量对视觉舒适度与审美偏好的影响机制,为“科学循证”的植物景观设计提供方法论支撑^[9-10]。本研究所构建的跨学科分析框架及提出的“数据驱动的植物景观色彩结构分层设计策略”,为“数据驱动”的校园植物景观设计实践提供了可操作的方法论支持与实证依据。

1 研究区概况

研究聚焦上海市典型高校校园的植物景观。数据采集选取上海交通大学(闵行校区)、同济大学(四平路校区)、复旦大学(邯郸校区)三所位于上海市闵行区及杨浦区的代表性高校。这些高校校园空间类型多样,涵盖学术核心区、生活区、生态休闲区等典型校园功能区;植物群落结构相对完整,包含乔木、灌木、草本多层次配置,并广泛应

用本土及引种植物,能反映华东地区高校常见的植物景观特征;其慢行系统常与城市绿道网络相连,景观服务对象以师生为主,兼具社会开放性,其植物景观质量直接影响高频使用人群的视觉体验及校园环境认同感。因此,以上述高校为研究对象,具有较好的典型性和现实意义。

2 研究方法

2.1 景观图像数据收集和处理

晴天10:00~16:00是进行景观色彩调查的理想时段。基于此,本研究选定在2024年10月下旬至11月的晴朗日子,于10:00~16:00进行调查。调查期间,由同一位摄影师使用同一台设备(具备1 200万像素)拍摄植物景观照片。在拍摄过程中,相机镜头被固定在1.3~1.6 m的高度,以确保视线水平,所有照片均为水平拍摄。总计拍摄262张照片。照片筛选遵循以下原则:群落中必须包含彩色叶植物,而不仅仅是绿色植物;植物群落中应包含乔木、灌木和草本植物以及“灌木+草本植物”“乔木+草本植物”的组合;避免照片中主体为非植物元素;群落内的植物生长状况良好。

经过筛选,本研究最终以植物类型为主导,对得到的24张照片作为研究样本进行分类,并以此分类标准进行后续眼动视图和眼动指标的数据分析,提出不同植物类型的植物群落的色彩搭配策略。随后对这些图像进行处理,使用Photoshop软件对筛选出的24张图片中的天空部分进行取色处理,以便进行后期的图片色彩量化分析。

2.2 色彩数据的量化处理

本研究选用HSB色彩模型来分析上海高校植物景观的色彩。根据人类视觉系统对

色彩感知的经验^[11], 对图像的HSB值进行量化^[12-13], 将H值分为16个区间, S值和B值分为4个区间, 得到256种颜色^[14]。然后, 将饱和度和亮度过低的颜色值归一化为黑、白和灰, 最终得到144种颜色, 加上黑白灰3种颜色, 共计147种颜色。

采用ColorImpact色彩辅助软件提取各植物组合色彩的特征属性(图1), 并采用HSB色彩模型来描述植物详细的色彩特征^[15]。本研究以色彩的基本构成要素为基础, 结合相关文献资料和景观行业专家的意见, 通过对前人色彩特征研究的总结, 主要从色彩的属性出发, 确定了色彩构成要素指标^[16]的选择。从色相(H)、饱和度(S)、亮度(B)、颜色个数(NC)、颜色多样性指数(CDI)、颜色均匀度指数(CUI)、原色数量(NPC)、原色比例(PPC)、辅助色数量(NSC)、辅助色比例(PSC)、穿插色数量(NAC)、穿插色比例(PAC)等指数来反映色彩特征。在色彩提取时, 当像素比例过小时, 人为很难识别颜色, 所以像素比例<1%的色彩, 未被纳入色彩数据的提取和分析。

针对校园植物色彩景观设计的复杂性, 研究发现色彩元素的多维度指标如饱和度、亮度、色调等不仅数量众多, 且彼此间存在错综复杂的交织影响。这种复杂性增加了分析难度, 并可能导致多重共线性关系的出现, 进而使得回归预测结果出现较大的误差。为有效解决这一问题, 本研究采用PCA^[17]进行降维处理。

将12个数据指标的24组数据输入SPSS^[18], 采用Z分进行标准化处理, 之后进行PCA, 提取特征值>1的主成分; 根据旋转矩阵确定各成分与原始色彩要素指标之间的关系, 并命名; 根据色彩要素指标的因子载荷系数和特征值, 得出其在各主成分线性组合中的

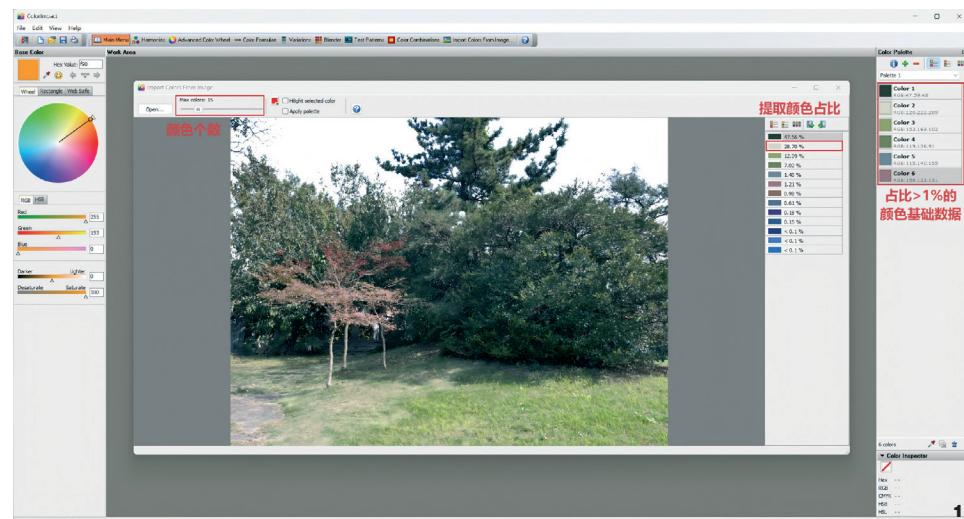


图1 色彩量化图示
Fig. 1 Illustration of colour quantification

系数, 并求出各色彩要素指标的初始权重, 得到各色彩要素指标对高校植物景观质量的贡献度。

2.3 眼动指标数据的采集

本研究采用Tobii Glasses 3眼动仪(50/100 Hz)采集注视行为数据。为避免“习惯偏好”影响数据客观性, 被试者不在景观图像采集的三所高校选取, 而是在上海应用技术大学内招募了53名不同性别的学生作为被试, 其中男性26名, 占比49%, 女性27名, 占比51%。此外, 被试者还需满足以下生理条件:(1)视力或矫正视力正常, 无色盲、色弱;(2)年龄18~25岁(高校学生主体年龄段);(3)无眼部疾病及神经系统病史;(4)过去6个月内未参与过类似眼动实验。最终有效被试53名(男26人, 女27人), 平均年龄22±18岁, 均为在校本科生或研究生。对招募的被试进行眼动实验, 观察采集的24张景观样本, 部分景观样本见表1。

通过Glasses3与Pro Lab软件实现数据同

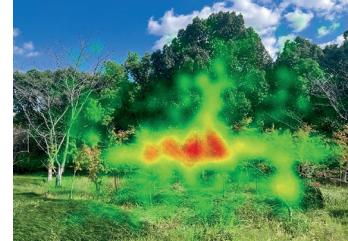
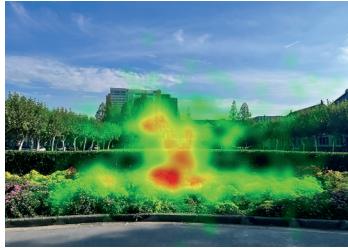
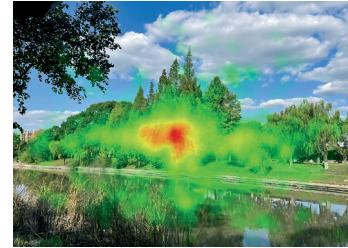
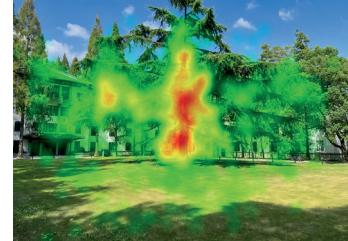
步采集与降噪处理^[19], 单次实验时长<10 min, 有效数据率达98%。基于HSB色彩模型将植物景观划分为红、橙、黄、绿、蓝、紫六色系AOI, 同时按乔木、灌木、草本分类设置植物类型AOI。利用Tobii Pro Lab软件进行AOI空间标定, 通过注视点分布、扫视路径及热力图分析视觉偏好。实验采用标准化AOI标注流程, 结合空间映射技术量化不同色彩与植物类别的视觉注意力分布, 确保数据可比性。具体实验流程见图2。

3 结果分析

3.1 色彩构成要素主成分分析结果

PCA结果显示, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 指数为0.550(>0.5), Bartlett球形度检验显示p<0.001, 表明样本数据适合进行PCA。提取特征值>1的4个主成分, 其解释方差分别为31.548%、25.37%、17.875%和11.381%, 累计值为86.174%, 表明这4个主成分可以解释12个指标信息的86.174%, 数据有效。提取的4个主成分可进行后续分析。

表1 校园植物景观样本
Tab. 1 Campus plant landscape samples

| 植物景观样本 Plant landscape sample | 样本眼动实验图 Eye-tracking diagram for the sample | 植物景观样本 Plant landscape sample | 样本眼动实验图 Eye-tracking diagram for the sample |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

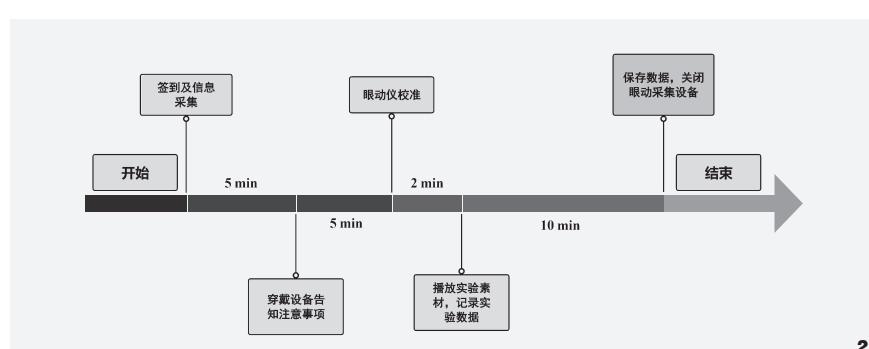


图2 眼动实验流程示意
Fig. 2 Eye movement experiment procedure schematic

根据旋转矩阵提取的主成分。由图3显示, PC1在穿插色与原色数量及比例上载荷较高, 定义为“颜色组成结构指数”; PC2主要关联辅助色比例与颜色数量, 命名为“辅助色与颜色关联指数”; PC3由饱和度与颜色均匀度主导, 反映视觉属性间的动态平衡关系, 称为“色彩视觉表现指数”; PC4以亮度为核心特征, 定义为“亮度与色彩综合指数”。各主成分分别表征颜色组成结构、辅助色关联、视觉表现维度及亮度整合特征。

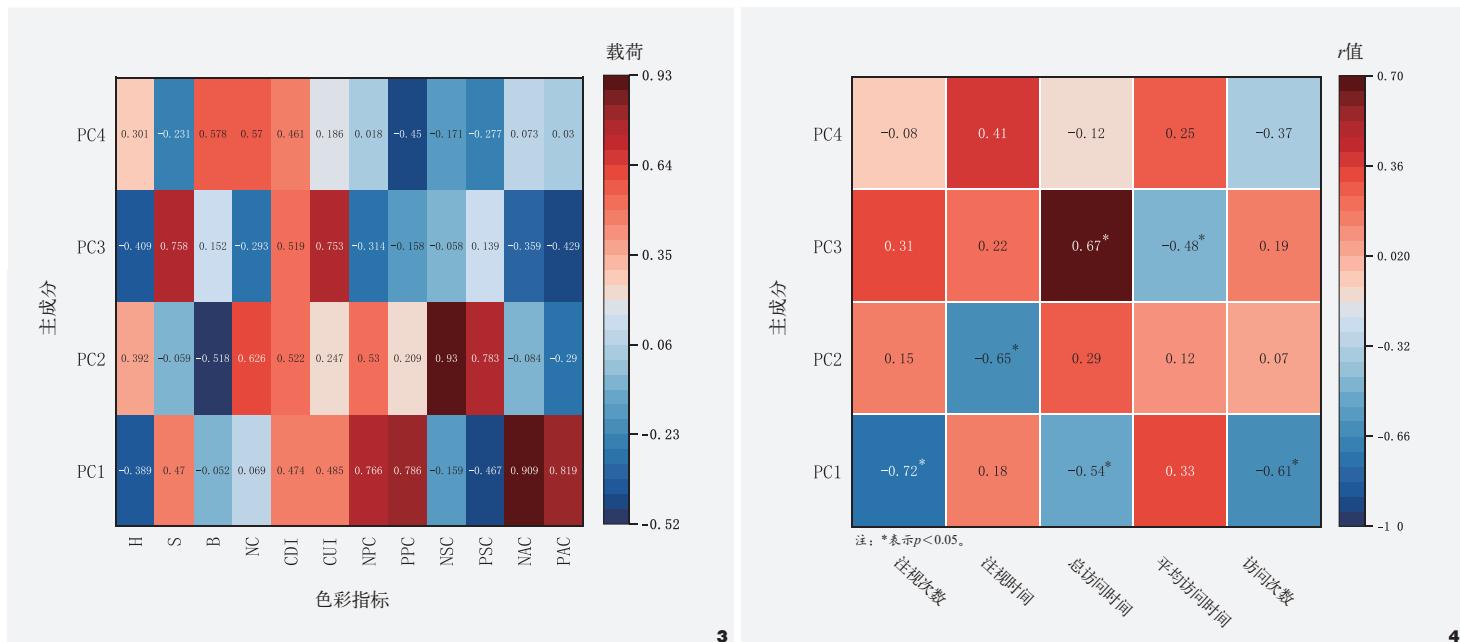


图3 PCA主成分因子载荷热力图

Fig. 3 PCA variable loading heatmap

图4 眼动指标相关性分析结果

Fig. 4 Correlation analysis results of eye movement indicators

3.2 眼动实验结果与色彩指标相关性分析结果

使用Spearman相关性分析,计算眼动指标(注视次数、注视时间、总访问时间、平均访问时间、访问次数)与主成分(PC1-PC4)之间的相关性,结果如图4所示。

实证结果表明,PC1(颜色组成结构指数)与注视次数、访问次数显著负相关($r=-0.72^*$, $r=-0.61^*$),表明均衡的色彩层级能有效降低视觉认知负荷。清晰的结构层次减少了大脑处理杂乱信息的需求,引导视线更高效地完成空间扫描和整体认知,从而减少重复注视和访问次数,提升浏览效率。PC2(辅助色与颜色关联指数)揭示辅助色比例与种类丰度的协同效应,其与注视时间负相关,在植物景观设计中,辅助色的合理应用可增强视觉吸引力,缩短观察者的注视时间,表明信息更易被快速识别。颜色多样性需避免杂乱,可通过色彩对比或渐变过渡引导视线,例如

在景观节点处使用辅助色集中展示,提升视觉焦点。PC3(色彩视觉表现指数)与总访问时间正相关($r=0.67^*$),与平均访问时间负相关($r=-0.48^*$),这表明高饱和度色彩虽能强烈吸引并维持整体注意力,从而延长总访问时间,但其强烈的视觉刺激可能导致单次注视处理的信息量饱和或引发短暂疲劳,从而缩短平均访问时间。这解释了“分散—集中”布局策略的必要性——通过空间缓冲避免高饱和刺激的连续压迫,在延长探索兴趣的同时保障视觉舒适度。PC4主要反映亮度特征,与眼动指标的直接相关性不显著,但可能间接调节其他主成分效果。在植物景观设计中,高亮度色彩可提升整体明度,增强景观的开放感与清新感,适用于入口区域或开阔空间。结合PC1-PC3的特性,亮度可作为调节工具,例如在低亮度背景中点缀高亮度花卉,强化主成分的视觉表现。

3.3 眼动热点图及AOI数据分析结果

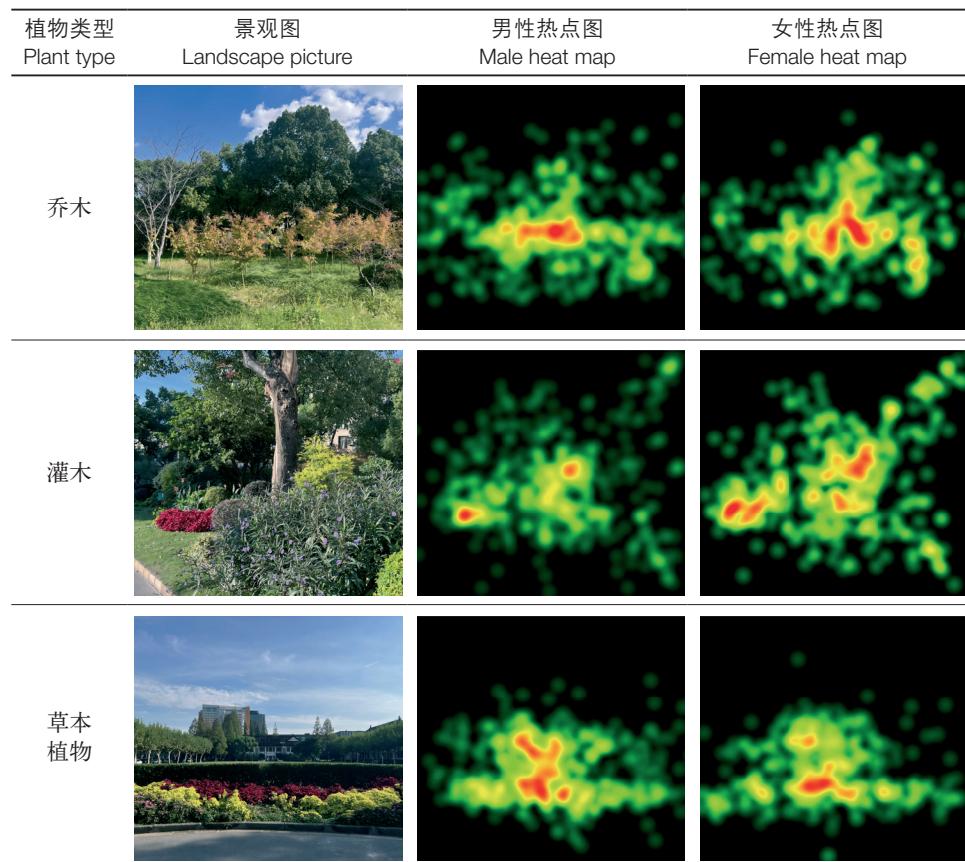
3.3.1 眼动热点图分析

通过对不同性别人群观看不同植物景观样本的眼动热点图进行分类整理,总结不同性别人群对植物景观的视觉偏好;选取三种具有代表性的植物类型进行眼动热点图分析(表2)。

对比女性和男性观察乔木景观样本的眼动热点图发现,女性的观察区域面积大于男性,且视觉焦点面积也大于男性。女性在观察时不仅对整个画面进行了广泛的扫描,还在多个区域形成了明显的视觉焦点。这些焦点主要集中在色彩鲜明、形态优美的乔木上。相比之下,男性虽然也有对这些乔木的注视,但整体上没有形成像女性那样广泛的视觉焦点,而是更加聚焦于某一特定的乔木或区域。在灌木景观样本的眼动热点图中,女性的观察区域面积大于男性,且视觉焦点面

表2 不同植物类型眼动热点图对比

Tab. 2 Comparison of eye movement heat maps for different plant types



积也大于男性。当色彩众多的灌木一同出现在画面中时，女性的眼动次数明显高出男性，形成了多个视觉焦点，而对比女性，男性的视觉焦点就要少得多，只有2~3个。这表明，在面对复杂多变的灌木景观时，女性更倾向于进行细致的观察和全面的探索，她们对多个色彩丰富、形态各异的灌木都表现出浓厚的兴趣。而男性则可能更倾向于选择性地关注某些特定的灌木或区域，他们的视觉焦点相对更为集中。在女性和男性观察草本植物景观样本的眼动热点图中发现，女性在整个图面上的观察区域范围更广，女性视觉焦点主要集中在画面中出现有色彩的植物上，而男性的视觉焦点除了集中在有色叶草本植物上，还有远处树木、建筑上，但都聚焦在

画面中心，形成一个大的视觉焦点。

3.3.2 AOI 眼动指标数据分析结果

通过单因素方差分析(ANOVA)考察相同植物类型不同颜色对被试总注视时间及平均瞳孔直径的影响。

(1) 总注视时间。对于乔木类型的植物，ANOVA结果显示，无论是男性还是女性，植物颜色对总注视时间都有显著影响(男性 $F=4.83, p=0.00$ ；女性 $F=10.63, p=0.00$)，表明不同颜色乔木会导致显著不同的总注视时间。灌木植物类型的分析结果显示，灌木颜色对总注视时间有显著影响(男性 $F=71.82, p=0.00$ ；女性 $F=53.33, p=0.00$)，表明不同颜色灌木会导致显著不同的总注视时间。

无论男性还是女性，对紫色区域灌木的总注视时间均显著高于其他颜色区域的灌木。草本植物的分析结果显示，草本植物颜色对总注视时间有显著影响(男性 $F=4.83, p=0.00$ ；女性 $F=3.89, p=0.01$)，表明不同草本植物颜色会导致显著不同的总注视时间。

图5呈现了乔木、灌木、草本植物景观在不同植物颜色区域的男女总注视时间。乔木方面，男女均在黄色区域注视时间最长，女性在紫、绿、黄区域的注视时间高于男性；灌木的橙色区域无数据，男性在紫色区域的注视时间显著高于女性，且其他区域男性普遍更高；草本植物的橙色区域同样无数据，男性在绿色区域注视时间最长，女性在红色区域较为突出。整体来看，不同植物类型中男女对各颜色区域的注视时间存在明显差异，体现了性别在植物颜色视觉关注上的偏好特点。

(2) 平均瞳孔直径。不同颜色乔木的ANOVA结果显示，植物颜色对平均瞳孔直径有显著影响(男性 $F=2.50, p=0.04$ ；女性 $F=0.58, p=0.67$)，表明不同颜色乔木会导致显著不同的平均瞳孔直径。不同颜色灌木植物的分析结果显示，灌木颜色对男性平均瞳孔直径有显著影响，对女性无显著影响(男性 $F=5.79, p=0.00$ ；女性 $F=2.33, p=0.07$)，表明不同颜色灌木会导致男性显著不同的平均瞳孔直径。不同颜色草本植物的分析结果显示，草本植物颜色对平均瞳孔直径无显著影响(男性 $F=0.93, p=0.43$ ；女性 $F=0.90, p=0.44$)，表明不同颜色草本植物不会导致人们显著不同的平均瞳孔直径。

图6展示了乔木、灌木、草本植物景观在橙色、紫色、红色、绿色、黄色区域下男女平均瞳孔直径的分布。在乔木景观中，男性在红色区域平均瞳孔直径最大，女性在该

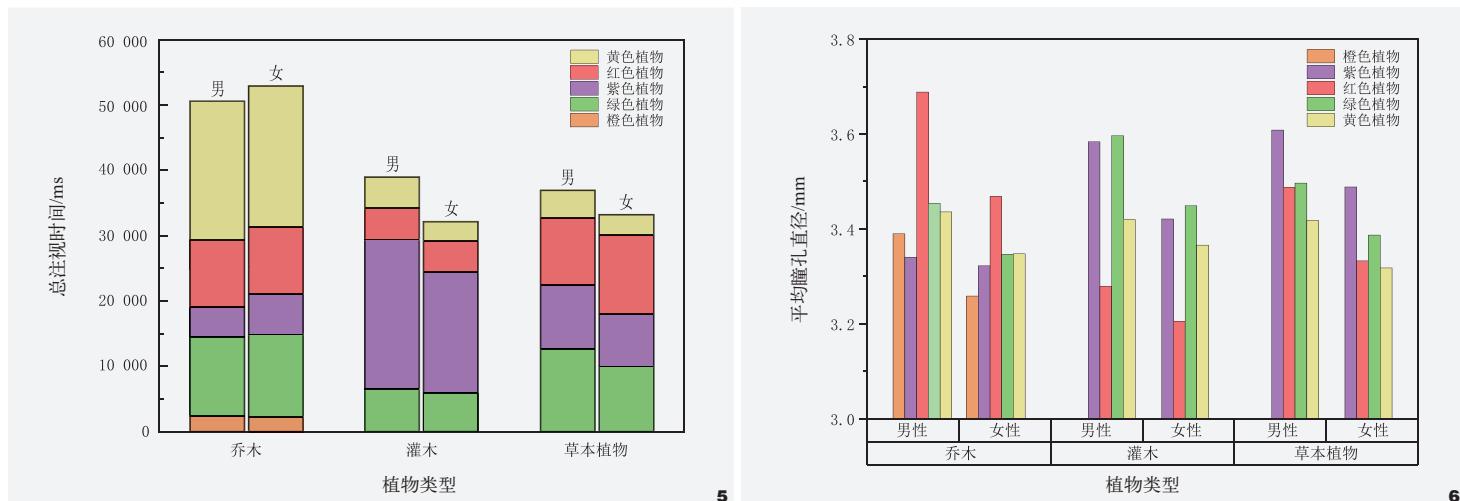


图5 不同颜色植物类型总注视时间对比图
Fig. 5 Comparison of total gaze time for different colored plant types

图6 不同颜色植物类型平均瞳孔直径对比图
Fig. 6 Comparison of mean pupil diameters for different color plant types

区域数值也相对突出，表明乔木景观的红色区域对男女瞳孔影响较显著；灌木景观中男性在紫色、绿色区域数值较高，女性在紫色、绿色区域也较为突出；草本植物景观中男性在紫色、绿色区域，女性在紫色区域数值较高。整体来看，不同植物类型中紫色、红色、绿色区域的瞳孔直径数值相对更突出，且乔木景观中男性各区域数值普遍高于女性，灌木与草本植物景观部分区域也存在类似差异。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究基于眼动追踪和色彩量化分析，揭示了高校校园植物景观色彩对视觉感知的关键影响机制，主要结论如下：(1) 每提升1个单位的颜色组成结构指数的标准差，注视次数平均减少0.72次，访问次数减少0.61次，这表明合理控制原色、穿插色比例，能显著降低视觉认知负荷，提升浏览效率，减少注视次数和访问次数。(2) 辅助色的合理引入与色

彩多样性协同，如点缀红色花卉于绿色基底可有效增强视觉吸引力，缩短信息识别时间，减少景观的单点注视时间，结果显示每提升辅助色与颜色关联指数的1个单位标准差，单点注视时间平均缩短0.65 s。(3) 色彩视觉表现指数每提升1个单位标准差，总访问时间平均增加0.67 s，这表明高饱和度色彩的分散式布局能延长整体探索时间，但需注意避免局部刺激过强导致短暂疲劳，单点注视时间缩短。而色彩亮度可调节空间开放感。(4) 观赏者存在显著性别差异。在热点图中，同一景观，女性的视觉焦点有3~4个，而男性视觉焦点只有1~2个，表明女性倾向于多焦点的“扫描式”观察，对色彩多样性和层次丰富度敏感；男性偏好“聚焦式搜索”高对比度、高饱和度区域。(5) 在高校植物景观中，黄色系乔木和紫色系灌木易成为视觉焦点，黄色乔木区域的男女平均总注视时间>21 000 ms，显著高于其他颜色乔木($p<0.01$)，紫色灌木区域的总注视时间为22 919.82 ms，女性为18 565.23 ms，显著高于其他颜色灌木

($p<0.001$)；红色乔木对男性吸引力尤为突出。

基于此，在校园植物景观配置中，围绕功能定位、视觉心理构建差异化策略，实现空间特性与植物效能的深度耦合。教学区以绿色系乔木，如香樟、银杏等，营造遮阴静谧氛围，借冷色调稳定情绪，契合专注学习的空间需求；运动场选暖色系植物如无患子、三角枫等，通过色彩激发活力，辅以遮阴减热，呼应运动场景的能量感；广场及入口依托季相变化植物如广玉兰、紫薇等，塑造标识性景观，强化空间识别度；宿舍区细分性别需求，男生区以大尺度色块如水杉、乌柏等构建秩序感，女生区用开花植物如海棠、樱花等传递柔美温馨；图书馆周边以深绿植物，如罗汉松等，营造私密宁静的阅读氛围。整体采用“乔木+灌木+草本”复合层次，兼顾垂直空间分隔与季相景观变化，以冷暖色调、形态组合调控心理感受。最终，植物配置将功能逻辑、色彩语言与空间设计深度融合，塑造出功能清晰、层次丰富、体验宜人的校园环境。

4.2 讨论

本研究结果与既有研究存在共识与差异。关于高对比度/饱和度色彩的吸引力, 本研究证实其能有效引导视线、增加眼动次数, 如辅助色与颜色关联指数与注视时间负相关, 色彩视觉表现指数与总访问时间正相关等, 这与Chen等^[20]、李俊熠等^[21]的发现一致。在性别差异方面, 女性表现出的广泛扫描模式与周祥等^[22]得出的“女性感知要素更多元”、Zu等^[23]观察到的“女性更追求视觉吸引力”相呼应; 而男性对红色和聚焦模式的偏好则提供了瞳孔反应差异的生理行为证据。本研究揭示的视觉行为性别差异, 并非旨在设计性别专属的景观空间。相反, 理解这种差异是创造更具包容性景观的关键: 差异的存在证明了“一刀切”的设计可能无法满足不同人群的视觉偏好和体验需求; 在混合使用的高校校园中, 如图书馆周边、中心广场、主要步行道, 设计师可通过在女性可能更关注的区域增加色彩层次和多样性以满足其探索欲, 在男性更可能快速通过的路径节点或标志点使用高对比度焦点元素以提升其方向感和兴趣。因此, 分析性别差异是为了更全面地理解人群多样性, 从而在整体设计中更好地兼顾不同使用者的潜在需求, 提升景观整体的包容性和满意度, 而非进行性别隔离设计。此外, Yang等^[24]强调高亮度/饱和度植物的偏好, 但未探讨其布局策略, 如分散布局和集中布局对视觉疲劳的影响, 本研究则通过眼动指标(色彩视觉表现指数与平均访问时间负相关)揭示了分散布局的必要性。

4.3 不足之处

本研究仍存在一定局限性。实验采集植物景观图像集中于上海湿润气候区, 其植物群落与地域审美偏好可能影响结论的普适

性。未来可通过对比不同气候带的植物景观, 解析环境因子对色彩感知的调节作用。实验采用静态图像模拟场景, 未能捕捉实景中光影变化、季节更替的累积效应, 未来可以结合虚拟现实技术, 探究时间维度对视觉行为的长期影响。

注: 文中图表均由作者自绘/摄。

参考文献

- [1] 祝薇雅, 李鹏波. 基于参数化设计方法的城市公园植物景观布局设计——以天津市水西庄公园为例[J]. 中国园林, 2022, 38(05): 110-115.
- [2] ZENG L Y, LI R Y M, LI R J. Chromaticity Analysis on Ethnic Minority Color Landscape Culture in Tibetan Area: A Semantic Differential Approach[J]. Applied Sciences, 2024, 14(11): 4672.
- [3] 张昶, 韩文静, 王成. 植物色彩对潮白河城镇河岸夏秋季景观视觉吸引力的影响[J]. 林业科学, 2023, 59(08): 30-39.
- [4] AMATI M, GHANBARI PARMEHR E, MCCARTHY C, et al. How Eye-catching Are Natural Features When Walking Through a Park? Eye-tracking Responses to Videos of Walks[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 31: 67-78.
- [5] ELSADEK M, SUN M K, FUJII E. Psychophysiological Responses to Plant Variegation as Measured Through Eye Movement, Self-reported Emotion and Cerebral Activity[J]. Indoor and Built Environment, 2017, 26(06): 758-770.
- [6] GOTO S, MOROTA Y, LIU C C, et al. The Mechanism of Relaxation by Viewing a Japanese Garden: A Pilot Study[J]. Health Environments Research & Design Journal, 2020, 13(04): 31-43.
- [7] PÓŁROLNICZAK M, POTOSKA I, KOLENDOWICZ L, et al. The Impact of Biometeorological Conditions on the Perception of Landscape[J]. Atmosphere, 2019, 10(05): 264.
- [8] ZHANG Z, GAO Y, ZHOU S T, et al. Psychological Cognitive Factors Affecting Visual Behavior and Satisfaction Preference for Forest Recreation Space[J]. Forests, 2022, 13(02): 136.
- [9] STUPARIU M S, CUSHMAN S A, PLEȘOIANU A I, et al. Machine Learning in Landscape Ecological Analysis: A Review of Recent Approaches[J]. Landscape Ecology, 2022, 37(05): 1227-1250.
- [10] 史可, 左国良, 胡海辉. 基于公众审美的哈尔滨城市公园植物色彩评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(01): 233-240.
- [11] MU Y X, LIN W Y, DIAO X L, et al. Implementation of the Visual Aesthetic Quality of Slope Forest Autumn Color Change into the Configuration of Tree Species[J]. Scientific Reports, 2022, 12: 1034.
- [12] 张小晶, 陈娟, 李巧玉, 等. 基于视觉特性的川西亚高山秋季景观林色彩量化及景观美学质量评价[J]. 应用生态学报, 2020, 31(01): 45-54.
- [13] 马冰倩, 徐程扬, 崔义. 八达岭秋季景观整体色彩组成对美景度的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(06): 258-264.
- [14] LUO Y Y, HE J, LONG Y L, et al. The Relationship Between the Color Landscape Characteristics of Autumn Plant Communities and Public Aesthetics in Urban Parks in Changsha, China[J]. Sustainability, 2023, 15(04): 3119.
- [15] 陈大美, 魏雯, 黄奕程. 昆明国家湿地公园冬春季植物色彩量化分析与评价[J]. 园林, 2025, 42(02): 123-130.
- [16] 王明阳, 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(05): 185-190.
- [17] 李颖, 朱炜, 徐新泉, 等. 利用主成分分析对不同覆盖时间毛竹林土壤质量进行评价——以浙江长兴毛竹林为例[J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(01): 85-91.
- [18] 高晶, 章昊, 曹福凯. SPSS统计分析大全[M]. 北京: 北京大学出版社, 2022.
- [19] 杨萧, 李早, 叶茂盛, 等. 基于视觉量化的传统村落水口景观游客视觉行为偏好分析[J]. 园林, 2024, 41(03): 104-112.
- [20] CHEN Z R, HUANG Y L, SHEN Y P, et al. How Vegetation Colorization Design Affects Urban Forest Aesthetic Preference and Visual Attention: An Eye-tracking Study[J]. Forests, 2023, 14(07): 1491.
- [21] 李俊熠, 王小德. 植物形态、颜色及植被景观的偏好研究[J]. 浙江林业科技, 2020, 40(02): 77-83.
- [22] 周祥, 谭子媚, 陈素青, 等. 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, 2023, 39(12): 54-59.
- [23] ZU X Y, GAO C, WANG Y. Interpretation of Gender Divergence in Consumption Places Based on Machine Learning and Equilibrium Index – A Case Study of the Main Urban Area of Beijing, China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2023, 122: 103428.
- [24] YANG J, WANG X R, ZHAO Y. Leaf Color Attributes of Urban Colored-leaf Plants[J]. Open Geosciences, 2022, 14(01): 1591-1605.