园林微观环境要素对游览体验的量化评估*

刘文洁[1,2] 黎 欢[3] 孙乔昀[1,2] 刘文雪[4] 崔峻景[1,2]

1 深圳大学建筑与城市规划学院 广东深圳 518060
2 深圳大学美丽中国研究院 广东深圳 518060
3 澳门科技大学计算机科学与工程学院 澳门 999078
4 福建农林大学风景园林与艺术学院 福州 350028

摘要：园林作为江南地区特色旅游资源，其环境兼具自然景观与人文特征。游客作为园林空间的直接感知者，对园林价值的认同和体验质量至关重要。基于游客视角，运用图像语义分割技术和随机森林算法，以太湖区域近代园林为例，探讨微观环境要素对游览体验的量化影响。结果表明：游览舒适度是游客感知体验的核心，其中水文、高层植被、建筑、小品以及天空环境要素为关键感知因素；园林微观环境要素与游客体验之间存在复杂的非线性关联，传统线性模型在此类评估上具有局限性；园林微观环境要素占比变化对游客体验产生差异化影响。因此，未来研究应重视微观环境要素在塑造游客舒适度体验的重要性，并深入探讨不同园林特征之间的非线性关系，加强对园林环境与游客体验互动机制的理解，以优化园林空间的设计策略。

关键词：园林微观环境要素；游览体验；舒适度；量化；非线性
DOI：10.12169/zgcsly.2024.04.08.0004

Quantitative Assessment of the Impact of Micro-Environmental Elements in Gardens on Visitor Experience

Liu Wenjie[1,2] Li Huan[3] Sun Qiaoyun[1,2] Liu Wenxue[4] Cui Junjing[1,2]

(1. School of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong, China; 2. Institute of Beautiful China, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong, China; 3. School of Computer Science and Engineering, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China; 4. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: As a distinctive tourism resource in the Jiangnan region, gardens are featured with both natural landscapes and cultural features. Visitors, as direct perceivers of garden spaces, play a crucial role in the recognition of the value conveyed by gardens and the improvement of experience quality. From the perspective of visitors, the paper uses the image semantic segmentation technology and random forest algorithm to quantify the impact of micro-environmental elements on visitor experiences with the modern gardens in Taihu region as a case study. The results indicates that the comfort is the core perceived experience by visitors, with hydrology, tall vegetation, architecture, ornaments, and sky environment being key perceptual factors. The random forest model reveals the complex non-linear correlations between

收稿日期：2024-04-08
* 基金项目：广东省基础与应用基础研究基金（2023A1515110856）；广东省哲学社会科学规划项目（GD22YYS09）
第一作者：刘文洁（1991-），女，博士，研究方向为风景园林与规划设计。E-mail：lwjie@szu.edu.cn
通信作者：孙乔昀（1993-），男，博士，助理教授，研究方向为风景园林规划与设计、自然保护地规划设计与理论。E-mail：qiaoyun@szu.edu.cn

micro-environmental elements of gardens and visitor experiences, validating the limitations of traditional linear models in such evaluations. The study also reveals that the changes in the proportion of micro-environmental elements have differentiated impacts on visitor experiences. Therefore, the future research should focus on the importance of micro-environmental elements in shaping the comfort of visitor experience, and the discussions of the non-linear relationship between different traits of gardens, in order to enhance the understanding of interaction between garden environment and visitor experience and optimize the design of garden spaces.

Keywords: garden micro-environment element; visitor experience; comfort; quantification; non-linear

中国园林融合自然与人工智慧，以物质形态传递深层人文意涵，营造独特的视觉与感知体验，每一景致都是自然美学与人文情感智慧融合的艺术再现[1-2]。在当代建筑设计与实践的语境下，其感知体验的量化分析成为彰显园林传统美学价值与增强艺术吸引力的关键途径[3]。园林微观环境包括建筑、植被、地形等要素，塑造了独特的艺术景观，为游客提供可感知的游憩空间[4]。因此，量化分析游客与园林微观环境要素的情感互动，不仅能够激发游客对园林深层文化艺术的理解，也是在当代审美语境下，推动传统与现代园林融合创新的关键。

在当前园林景观的体验研究中，测量感知体验成为评价园林品质的新视角[5]，诸多学者已开始运用感知体验评估的手段，探讨景观物理环境如何影响人的心理状态和行为反应[6-7]，这些研究大多依赖于实地考察[8]、现场数据采集[9]，以及社交媒体数据分析[5]等手段来获取游览体验数据，涉及园林的历史、文化、美学等多个层面。关于园林微观环境要素和游客体验之间关联性分析相对较少，现有研究多集中在宏观景观特征描述与直观视觉效果分析[10]，而在捕捉游客复杂情感体验的多样性和深度上存在局限性，评估方法亦面临主观性强和量化难的挑战[7]。近年来，随着人工智能与数据分析技术的进步，特别是机器学习的应用，为探索园林环境与游客体验之间的非线性、多层次关系提供了新的视角和工具[11-12]。本研究运用机器学习算法，以太湖周边地区 9 座近代园林为例，分析园林微观环境要素与游客体验的多元关联，通过精准识别影响体验的关键要素，推进以人本为核心的园林艺术特性评估，为园林规划与设计提供科学分析新视角。

1　研究区概况

江南地区的园林艺术核心地带以太湖为代表，这一地区在开埠后受到中外文化交流的影响，留下一批具有特色的近代园林，记叙着中国近代时期的历史文化。本研究选取 1840—1949 年在太湖周边的无锡市、苏州市及湖州市建造的近代园林为研究对象。经过实地调研，从 65 座近代园林中挑选 9 座具有代表性的园林进行重点分析，9 座园林即横云山庄、梅园、潜庐、小莲庄、藏书楼、宜园、怡园、启园和退思园。

2　研究方法

2.1　数据采集及指标筛选

2.1.1　园林图像收集

选择夏季晴朗天气，于 2023 年 10 月 1 日 9：00—11：00 和 14：00—16：00 进行拍摄。根据园林的占地面积和路网布局，设置采样点以实现全范围覆盖的定点拍摄，确保全面拍摄园林的每个空间。图像设置：图片分辨率为 5 760×3 840；相机罗盘航向为 0°，90°，180°，270°；图像水平视野固定在 90°，共计拍摄 2 294 张园林图像。依据要素显示的完整度和代表性，精选 632 张图像用于试验分析。中国园林艺术的分析强调山体、山石、植被和建筑等核心要素的组成[13-14]，因此，对采集的图像进行人工标注，运用 LabelMe 工具执行图像语义分割（图 1），以高精度区分各要素，提取共计 12 项微观要素（表 1），最终数据采集结果如图 2 所示。

2.1.2　问卷数据收集

本研究运用语义差异法（Semantic Differential，SD），通过即时问卷在自然游览情景下收集游客对园林的直接感知评价。先前研究已



注：（1）原始数据集；（2）运用 Labelme 工具对图像进行语义标注。

图 1 图像语义分割

表 1 园林微观要素分类

景观	园林要素	要素释义
自然景观	高层植被	包括大中型乔木（9~12 m）、小型乔木与装饰植物（4.5~6 m）、高灌木（3~4.5 m）
	中层植被	由中灌木（1~2 m）与矮小灌木（0.3~1 m）组成
	低层植被	地被植物（15~30 cm）、草坪（低于 15 cm）
	水文	涵盖溪流、湖泊、水池、瀑布等多种水体形态
	天空	开阔的天空视野
	山体	自然形成的山体地貌
人工景观	小品	如山石、盆景、绘画等点缀其间
	桥	各类桥体设计，如石板桥、曲桥、拱桥、亭桥、廊桥等
	亭	提供休憩观赏功能的亭子构筑物
	建筑	厅堂、四面厅、花厅、鸳鸯厅、荷花厅、花篮厅、馆、轩、斋、楼、水榭、舫等多种类型建筑
	主路径	宽度适中的主要游园通道（大于 2.5 m）
	次路径	较窄的散步小径或分支路径（1~2.5 m）

应用诸如愉悦性、宁静度、美学价值、安全性及舒适感受等指标探索景观感知与城市环境质量的关系[15-16]。本研究融合既往视觉感知评估指标，结合园林景观的独特属性，选取舒适感（E1）、愉悦感（E2）、放松感（E3）、安全感（E4）、吸引力（E5）、美感（E6）、自然感（E7）、层次感（E8）、空间感（E9）、节奏感（E10）、秩序感（E11）、宁静感（E12）、完整感（E13）、多样感（E14）、丰富感（E15）、动态感（E16）16 项指标，以全面评估游客对园林要素的主观情绪及偏好。

在样本收集过程中，参考《社会调查方法》提出的必要样本量（25 人）并设置±20%的误差边际[17]，同时遵循心理学研究中大样本（≥30 人）的原则[16]，对无锡、苏州、湖州的园林进行长期实地研究。试验共招募 43 名参与者，每人对 9 座园林进行评估，生成 387 份问卷。经过有效性筛选，共有 40 名参与者提交的 360 份问卷被视为有效，对应产生 2 985 条体验评分数据，有效率高达 93.02%。参与者们在实地环境中，参照问卷内的园林景观图片进行同步评估。

2.2 多维度感知分析与模型评估

2.2.1 多维度感知分析

通过主成分分析（PCA），从 632 个样本图像数据中筛选出最高贡献率的因子作为预测变量，以概括图像数据的多维度特征。借助 Python 的 Scikit-Learn 库执行 PCA，压缩原始的 16 个相互关联的感知评价因子，提炼出贡献率最大的主成分，进而构建综合感知的核心指标，作为研究的关键因变量予以分析。

采用图像中各要素占比作为核心特征变量，以衡量园林环境的多元复杂特性。在评估园林视觉感知时采用七级评分体系（-3~3），而七分类体系可能导致模型在各相邻评分等级间区分度不高，影响预测精度与解释力，因此简化为三分类：“不舒适”（-3，-2）映射为

-1；“一般”（-1，0，1）视为中性状态，映射为 0；“舒适”（2，3）映射为 1。这一策略跳脱传统二分类分析的框架，构建更加包容且细化的三分类因变量模型，以契合园林环境感知的丰富多样性和复杂性。

2.2.2　模型评估

试验中采用 632 个样本的数据集，通过交叉验证的方式将其划分为两部分：85%数据作为训练集，15%作为测试集。研究选取支持向量机（SVM）和随机森林两种机器学习算法。SVM 是一种监督学习模型，用于寻找最优超平面以最大化样本间的间隔[18]。而随机森林通过并行地构建与训练多个相互独立的决策树，对各个决策树预测结果的集成以达成对分类任务及回归任务的优化处理[19]。

模型评估运用准确率（Accuracy）、精度（Precision）、召回率（Recall）和 F1-Score 等指标，其中宏观 F1-Score 计算所有类别的平均精度和召回率，以确保全面且平衡的性能评估。

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{1}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{2}$$

$$F1 - Score = 2 \times \left(\frac{precision \times recall}{precision + recall}\right) \tag{3}$$

$$MacroF1 - Score = \frac{1}{C}\sum_{i=1}^{C} F_1 - Score_i \tag{4}$$

$$WeightedF1 - Score = \frac{\sum_{i=1}^{C} w_i \times F1 - Score_i}{\sum_{i=1}^{C} w_i} \tag{5}$$

式（1）~（5）中：*TP* 表示实际为正类被预测为正类的样本数量；*FP* 表示实际为负类被预测为正类的样本数量；*FN* 表示实际为正类被预测为负类的样本数量；$F1\text{-}Score_i$ 是精确度和召回率的调和平均值；*C* 为类别的总数；w_i 是类别 *i* 在数据集中的权重；*MacroF1-Score* 是对每个类别分别计算其 *F1 - Score* 后取算术平均得到的结果；*WeightedF1-Score* 是所有类别 *F1-score* 的加权平均值。

3　结果与分析

3.1　主成分特征值及其累计贡献率

通过 PCA 得出，原有的 16 个特征变量被降维为 8 个主成分（表 2），其中 E1（舒适度）的贡献率达到 65.9%，远远超过其余所有特征之和，说明舒适度在游客感知评价中扮演关键角色，同时也验证了已有研究将舒适度作为评价景观关键因子[20-21]的理由。因此确定 E1 舒适度作为关键因变量。

表 2　主成分的特征值及其累计贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%	主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
E1	22.900 2	65.9	65.9	E5	0.918 6	2.6	82.1
E2	2.225 6	6.4	72.3	E6	0.820 1	2.4	84.5
E3	1.333 5	3.8	76.2	E7	0.701 5	2.0	86.5
E4	1.151 0	3.3	79.5	E8	0.668 3	1.92	88.5

3.2　机器学习模型评估

通过总计 100 次试验发现，随机森林模型在准确率、*MacroF1-Score* 和 *WeightedF1-Score* 3 个关键评估指标上均显著优势（表 3），但是分数未能达到预期目标。

表 3　机器学习算法的性能

模型	线性	非线性	
表现	逻辑回归	随机森林	支持向量机
准确率	0.46	0.64	0.56
宏观平均 *F1-Score*	0.38	0.51	0.49
加权平均 *F1-Score*	0.52	0.66	0.60

结合混淆矩阵模型预测结果（表 4）发现，模型在预测“非常舒适”类别时表现最佳，其次是“不舒适”类别，而“一般舒适”类别预测效果最差。对于“不舒适”类别，存在 10 个假正例和 6 个假负例，精度和召回率分别为 0.44 和 0.57；对于“一般舒适”类别，存在 16 个假正例和 11 个假负例，真正例只有 4 个，最终的精度和召回率为 0.2 和 0.27，均较低。样本分布（3 种类别的训练样本数为 118、115 和 399）不均可能是导致模型在两个类别表现不佳的原因。

表 4 混淆矩阵模型预测结果

真实分类/预测分类	-1	0	1
-1	**8**	3	3
0	6	**4**	5
1	4	13	**49**

注：试验基于 632 个样本，按 85∶15 比例分为 537 个训练样本和 95 个测试样本，混淆矩阵基于 95 个测试样本评估预测精度。

为了优化模型性能，采用“混合采样”策略将 5 种过采样方法与 4 种欠采样方法进行组合，共构建 20 种不同的混合采样方案，并逐一进行试验验证。结果（表 5）显示，SMOTE 过采样与 Tomek 链接欠采样相结合的策略表现出最优，准确率达到 0.87。

表 5 不同采样方法对模型性能的影响比较

过采样/欠采样	随机欠采样	Tomek 链接	聚类质心	近邻欠采样
随机过采样	0.82	0.81	0.79	0.85
合成少数过采样技术	0.83	**0.87**	0.71	0.78
自适应合成样本	0.79	0.82	0.81	0.79
边界 SMOTE	0.78	0.85	0.74	0.78
K 均值 SMOTE	0.83	0.82	0.83	0.83

3.3 园林微观特征与游览体验的关联性

3.3.1 影响评定

相对重要性作为评估随机森林模型中各变量影响力的有效手段，采用基于基尼不纯度指数的 Mean Decrease Gini 方法解析每个独立变量对目标变量的具体影响程度[22]。数据分析（表 6）显示，水文、高层植被、建筑、小品以及天空要素占据园林景观重要性排名前列，相对重要性分别为 20.94%、13.36%、12.54%、10.62% 和 9.69%。这些发现与既往视觉美学视角下对景观品质的认知相符，特别是在城市公园环境中，特别强调小品要素在园林设计中的独特价值[23-26]。

研究证明，景观舒适度与构成要素存在显著相关性，分析各种要素的配置布局及比例，可有效评价景观的视觉质量[27]。例如，天空、水文和植被在视觉图像中的比例与人类行为活动模式及视觉体验感受紧密相连[26,28]。表 6 数据显示，山体（$P<0.01$）、水文（$P<0.01$）、桥（$P<0.01$）等要素与游客感知的舒适度呈现极为显著正相关。值得注意的是，尽管高层植被要素在相对重要性上排名第二，但它与游客舒适度的关系则呈现出显著的负相关（$P<0.001$），表明高层植被可能会降低游客的舒适体验。此外，小品、天空、亭子及支路径在视觉感知上显示出显著效果（$P<0.05$），其中支路径与舒适度成负相关，其他要素则为正向关。相比之下，其他景观要素（建筑、中层植被、主路径、底层植被）未表现出显著的相关性。

表 6 各特征重要性度量及相关性分析

微观特征	随机森林	皮尔逊相关分析
	相对重要性/%	相关性系数
水文	20.94	0.256 **
高层植被	13.36	-0.487 ***
建筑	12.54	-0.136
小品	10.62	0.172 *
天空	9.69	0.185 *
中层植被	7.87	-0.031
主路径	7.68	-0.013
低层植被	6.48	-0.121
桥	4.67	0.221 **
亭子	2.95	0.194 *
支路径	2.07	-0.166 *
山体	1.12	0.257 ***

注：* 表示在 0.05 级别（双尾）差异显著；** 表示在 0.01 级别（双尾）差异显著；*** 表示在 0.001 级别（双尾）差异显著。

3.3.2 微观特征与游客舒适度之间的相关性

通过图像语义分割计算图像要素占比结果（图 2）显示：苏州园林的图像数据中高层植被、建筑和小品要素占比较大，自然山体、桥以及次要路径所占较小；无锡市的园林则以水文、高层植被和建筑要素为主，这与无锡市著名景点鼋头渚名胜风景区的地理特点密切相关，得益于紧邻太湖，水系发达；湖州市的近代园林在要素分布上显得更为多样化，虽然高层植被和建筑依旧占据较大比例，但主次路径的比重相较于其他地区的园林有所提升，意味着游客在游览时观察到园中较窄路径更多一些。

相关性分析（表 6）显示，部分微观特征与游客舒适度之间存在相关性，而随机森林模型的要素重要性排序并不完全一致。例如，尽管建筑要素在相对重要性排序位于第三，但在相关性检验中并未显示出显著关联。相反，山体和支路径要素虽然在相对重要性评估中仅分别占 1.12%和

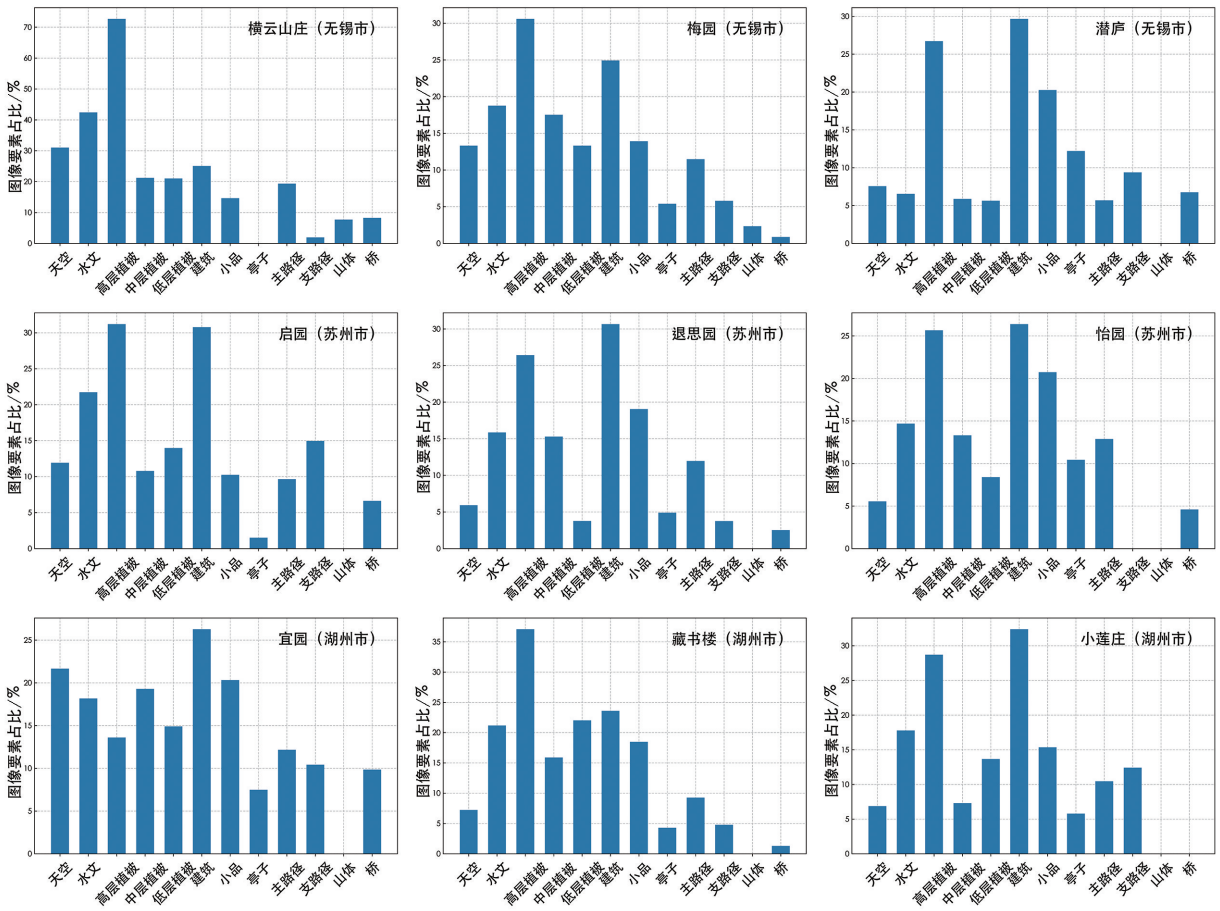


图 2　各园林的图像要素占比分布

2.07%，但在相关性分析中却显示与舒适度之间显著联系。因此，园林微观环境要素与游客舒适度之间的关系并非简单的线性对应。综合分析表明，水文要素对游客体验产生积极且显著的影响，强调其在提升游憩品质的核心作用。相反，高层植被要素却与游客的舒适度呈现负相关，说明过量的绿植遮蔽或复杂的林下环境可能无意间削弱了游园的舒适度，这一发现为园林设计者提出了在自然绿化与开放视野之间寻求平衡的新思考。

4　讨论

本研究利用机器学习算法构建基于游客与园林景观互动的视觉感知评价体系。选取水文、建筑、植被等 12 项关键要素指标，依托游客的实际评分数据，构建客观视觉感知评价模型。研究聚焦于环太湖区域内的 9 座具有代表性的近代园林，通过模型综合评估园林视觉感知，并提出“舒适度”作为游客关键评价指标。游客在园林游览中主要追求舒适体验，这与以往侧重于美学与艺术表现的专业评估视角有所不同。以往基于 AHP 层次分析法的研究中，专家们对园林景观的评价往往更强调“意境美感”和艺术性与文化深度展现[29]。

通过主成分分析、图像语义分割技术和机器学习算法，系统研究园林微观特征与旅游体验的关系。随机森林模型因其非参数集成方法和强大的预测性能，在揭示变量重要性和理解园林微观要素如何塑造游客视觉体验方面展现出显著优势。

舒适度在游客对园林的 16 种感知中占据关键地位。这一发现进一步验证了舒适度评价在衡量人们对环境感知的重要性方面的地位[27]。为了深入探讨园林环境的物理表达，采用图像语义分割技术对园林图像微观特征进行量化，初步完成园林 12 项微观特征的提取。该数据集的提出可以更准确地捕捉园林环境中微观特征的细节，为旅游体验的评估提供有力的数据支持。

在运用随机森林模型对园林微观特征进行相对重要性排序的过程中，揭示了水文、高层植被、

建筑以及小品等特征在塑造游客体验方面的重要作用。其中，水文要素的相对重要性最高，表明水文要素是提升游客舒适度的核心指标，这与已有研究观点一致[30-31]。与此同时，高层植被、建筑、小品和天空等特征与游客的舒适度也具有相关性。太湖周边的园林，如启园和横云山庄等利用水资源优势使开阔的湖面成为视觉中心，显著影响游客的感官体验。无锡等地的园林凭借其独特的自然地理条件，拥有丰富的自然要素。已有研究证实，这些自然要素及开阔的视觉空间对于提升舒适度具有显著意义，共同营造宜人的游览环境[27]。

人工设计的小品与建筑为苏州古典园林赋予了独特的艺术魅力和文化内涵，能有效激发游客的情感共鸣。模型输出的相对重要性分析进一步验证了这些微观要素在园林整体效果中的重要地位。虽然在相关性分析中建筑要素与舒适度之间无明显相关性，但在模型输出中显示建筑要素对园林环境产生重要影响。这表明建筑等微观特征通过非线性效应和其他环境要素之间的复杂交互间接塑造游客体验质量。已有相关研究指出，自然要素对于游客偏好产生影响的过程并不总是呈现线性特征[32]，这一观点进一步证实园林微观特征与游客舒适度之间潜在的非线性关系假设。这提示研究者在进行景观设计及评价时，需要更加关注各类要素间的非线性互动及其对游客感知的影响机制。

5 结论

太湖地区近代园林中，不同的微观环境要素对游客体验评价具有显著影响，而舒适度体验是游客评价园林体验的重要指标。通过对综合园林微观要素与舒适度之间的非线性研究得出：1）水文、高层植被、建筑、小品以及天空要素在提升游客舒适度体验发挥重要作用，其中水文要素指数处于整体指标高位，并对游客舒适度体验产生积极作用。2）高层植被在模型中的相对重要性较高，但与游客舒适度呈显著负相关，园林设计者需注意在绿化与开放视野之间寻求平衡，以避免过度绿化可能带来的负面影响。3）建筑和小品人工设计要素虽未在相关性分析中显现显著作用，但在非线性交互机制度中对游客舒适度产生重要影响。因此，园林设计在未来研究中应重视微观环境要素在塑造游客舒适度体验的重要性，并深入探讨不同园林特征之间的非线性关系，加强对园林环境与游客体验互动机制的理解，以优化园林空间的设计策略。

参考文献

[1]谷光灿，王丽瑶.从园记看宋代私家园林中生产性植物的应用[J].中国城市林业，2023，21(4)：151-157.

[2]刘晓惠.文心画境：中国古典园林景观构成要素分析[M].北京：中国建筑工业出版社，2002.

[3]孔宇航，辛善超，张楠.转译与重构：传统营建智慧在建筑设计中的应用[J].建筑学报，2020(2)：23-29.

[4]黄玮.苏州园林的历史文脉[J].中国园林，1994，10(4)：6-7，5.

[5]WANG YY，HAYASHI K.Explaining demographic-destination preferences for cultural ecosystem services：A set-theoretic configurational analysis[J].Heliyon，2024，10(3)：e25054.

[6]YANG Z，HAN C P，GU T，et al.A study on visual impact assessment of the enclosing wall entourage of Chinese traditional privategarden[J].Environmental Impact Assessment Review，2024，105：107427.

[7]王鑫，唐孝祥，白颖，等.景观特征评估方法的分类及应用展望[J].风景园林，2023，30(11)：113-120.

[8]莫秋凡，高飞，张兴，等.不同声环境下苏州园林视听感知偏好[J].中国城市林业，2024，22(3)：1-9.

[9]LU L，LIU M.Exploring a spatial-experiential structure within the Chinese literati garden：The Master of the Nets Garden as a casestudy[J].Frontiers of Architectural Research，2023，12(5)：923-946.

[10]GRIFFITHS G.Transferring landscape character assessment from the UK to the eastern Mediterranean：Challenges and perspectives[J].Land，2018，7(1)：36.

[11]CHENG L，DE VOS J，ZHAO P J，et al.Examining non-linear built environment effects on elderly's walking：a random forest approach[J].Transportation Research Part D：Transport and Environment，2020，88：102552.

[12]KIM K，KWON K，HORNER M W.Examining the effects of the built environment on travel mode choice across different age groups in Seoul using a random forest method[J].Transportation Research Record：Journal of the Transportation Research Board，2021，2675(8)：670-683.

[13]周景崇，彭佳俊.身份、时间、要素：从喜龙仁的视角再讨论《中国园林》对“自然主义”的建构与书写[J].南京艺术学院学报(美术与设计)，2023(5)：43-50，212.

[14]喜龙仁.西洋镜:中国园林[M].赵省伟,邱丽媛,译.北京:台海出版社,2017.

[15]雷翻宇.基于SD法的园林植物景观评价研究:以广西财经学院相思湖校区为例[J].山东农业大学学报(自然科学版),2020,51(5):858-862.

[16]LUO J J, ZHAO T H, CAO L, et al. Semantic Riverscapes: Perception and evaluation of linear landscapes from oblique imagery using computer vision [J]. Landscape and Urban Planning,2022,228:104569.

[17]章俊华.规划设计学中的调查分析法 16:SD 法[J].中国园林,2004,20(10):54-58.

[18]LIN Q Y, GUO J Y, YAN J F, et al. Land use and landscape pattern changes of Weihai, China based on object-oriented SVM classification from Landsat MSS/TM/OLI images[J]. European Journal of Remote Sensing,2018,51(1):1036-1048.

[19]江浩波,宋孟坤,肖扬.滨水空间视觉景观舒适度评价研究:以上海市"一江一河"为例[J].风景园林,2022,29(10):122-129.

[20]付宗驰,裘鸿菲,李应宾.严寒地区雪景观视觉舒适度研究[J].中国园林,2017,33(7):113-116.

[21]BREIMAN L.Random forests[J].Machine Learning,2001,45:5-32.

[22]ATKINSON A B.On the measurement of inequality[J].Journal of Economic Theory,1970,2(3):244-263.

[23]王庆,孙浩东,谢晓欢.基于微气候舒适度的公园休憩空间景观优化[J].中国城市林业,2022,20(5):10-15.

[24]刘晓桐,胡远东,杨昊林,等.上海综合公园游人行为与植物景观空间要素的关系[J].中国城市林业,2023,21(4):43-50.

[25]ULRICH R S.Human responses to vegetation and landscapes[J]. Landscape and Urban Planning,1986,13:29-44.

[26]刘滨谊,范榕.景观空间视觉吸引要素量化分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(4):149-152.

[27]邵钰涵,殷雨婷,薛贞颖.基于街景大数据的北京、上海街景舒适度评价及比较[J].风景园林,2021,28(1):53-59.

[28]贺雪会,杨芳绒.城市滨水绿道景观空间视觉吸引量化分析:以郑州市东风渠滨河绿道为例[J].湖北农业科学,2020,59(6):112-116.

[29]胡兆忠,薛晓飞,黄晓,等.无锡近代园林景观评价[J].中国园林,2017,33(10):57-62.

[30]甘永洪,罗涛,张天海,等.视觉景观主观评价的"客观性"探讨:以武汉市后官湖地区景观美学评价为例[J].人文地理,2013,28(3):58-63,120.

[31]叶宇,黄鎔,张灵珠.多源数据与深度学习支持下的人本城市设计:以上海苏州河两岸城市绿道规划研究为例[J].风景园林,2021,28(1):39-45.

[32]TVEIT M, ODE A, FRY G. Key concepts in a framework for analysing visual landscape character[J]. Landscape Research,2006,31(3):229-255.