

# 城市街道景观色彩对游客情感感知影响

## ——基于街景图像的研究

齐子吟 李君轶 贺哲 杨喜平

**【摘要】**街道是城市旅游的重要吸引物,探讨街道景观色彩特征对游客情感感知的影响,对城市街道景观合理规划和布局具有重要的参考价值。本研究以西安市主要建成区为案例地,运用全卷积神经网络(FCN)和随机森林(RF)算法,构建街景图像情感感知数据集,基于街景图像利用机器学习对街道景观的色彩特征进行提取,构建色彩量化指标并将其进行空间可视化;最后,运用随机森林回归算法探讨街道景观色彩特征与游客情感感知之间的关系,并得出最佳色彩特征参数。结果表明:①游客情感感知具有明显的空间分布格局,美丽和活泼情感由中心区域向外逐渐增加,安全和富有在主城区外二环以内区域得分较高,无聊在该范围内则较低,压抑情感由中心区域向外逐渐降低,游客在非惯常环境中的情感感知与居民在惯常环境中的情感感知在空间分布上具有一定的同质性;②街道景观色彩特征与游客情感感知呈现出复杂的非线性关系。色彩复杂度对美丽和活泼的影响小于色彩协调度,对无聊、压抑、安全、富有的影响大于色彩协调度,当色彩复杂度取值为0.86,色彩协调度取值为0.84时,游客在六个维度可以获得较好的情感感知;③一般情况下,街道景观色彩特征越显著,越能够带给游客较好的情感感知。研究在理论上印证了环境色彩越协调,游客体验感越好这一结论;在方法上,丰富了街景大数据和机器学习方法在旅游情感领域的应用。本研究为城市管理者了解游客的街道景观视觉偏好以及优化街道景观设计提供参考。

**【关键词】**城市街道;街景图像;色彩特征;情感感知;机器学习;GIS;全卷积神经网络;随机森林

**【作者简介】**齐子吟(2000-),女,陕西西安人,陕西师范大学地理科学与旅游学院,陕西省旅游信息科学重点实验室,硕士生,主要从事旅游地理与在线旅游等研究,电子信箱:qzyin612@163.com;李君轶(通讯作者)(1975-),男,宁夏固原人,陕西师范大学地理科学与旅游学院,陕西省旅游信息科学重点实验室,博士,教授,博士生导师,主要从事旅游者行为、旅游信息科学、旅游地理与在线旅游等研究,电子信箱:lijunyi9@snnu.edu.cn;贺哲,杨喜平,陕西师范大学地理科学与旅游学院,陕西省旅游信息科学重点实验室(西安710119)。

**【原文出处】**《地球信息科学学报》(京),2024.2.514~529

**【基金项目】**国家自然科学基金面上项目(42071169、42271468);陕西省重点研发项目(2019ZDLSF07-04)。

### 1 引言

城市是旅游活动发生的重要场所,是重要的旅游目的地。随着旅游从观光到注重体验的转变,“慢游”观念深入人心,越来越多的游客乐意在城市旅游中体会当地的城市文化<sup>[1]</sup>。街道是城市外观形象的重要载体<sup>[2]</sup>,是城市建筑环境重要的组成部分,是城市的重要器官<sup>[3]</sup>,体现着城市特有的历史文化背景和自然气候条件。城市街道空间作为城市旅游重要的空间类型,与个体行为和健康之间有着密切联系<sup>[4]</sup>,影响游客对城市的环境感知<sup>[5]</sup>。

目前,一些关于城市街道景观的研究发现,城市

街道的围合度、夜间灯光明亮程度等指标会对个体的安全感知产生影响,进而影响个体的停留意愿和消费行为<sup>[6]</sup>;城市街道的文化独特性、色彩搭配、卫生状况等特征也会在一定程度上对游客的情感产生积极或消极影响<sup>[7]</sup>,影响游客的游览体验。旅游体验具有独特的视觉性<sup>[8]</sup>,色彩作为重要的视觉要素之一,在环境体验中给人鲜明直观的印象,对人的心理和行为产生显著影响<sup>[9]</sup>。目前,学界关于城市街道色彩的研究主要集中在城市规划、建筑环境设计等方面。以往对图片色彩特征的提取方式主要有人工方法和计算机视觉等。人工量化指使用不同类型

的色卡和色环对色彩逐一进行人工比对,该方法识别出的色彩数量有限,误差较大,成本较高;计算机视觉旨在用成像设备取代人眼,识别和测量物体,并从图片或高维数据中提取信息<sup>[10]</sup>。随着计算机技术和大数据分析技术的发展,越来越多的学者采用街景数据和机器学习方法进行建筑环境色彩的研究<sup>[11-13]</sup>。在旅游研究领域, Yu 等<sup>[11]</sup>分析了 Instagram 上与旅游相关照片中的色彩构成,采用数据挖掘和图片内容分析来研究亮度、色度和色调如何影响 Instagram 帖子的受欢迎程度,发现个体更容易对更明亮、更饱和的目的地图做出反应;基于街景图像对城市绿色空间的量化研究发现,当城市街道被大规模绿色植被干预时,游客具有更好的瞬时情感体验<sup>[12]</sup>; Ding 等<sup>[13]</sup> (运用机器学习的 k 均值 (k-means) 聚类算法对图片主色进行提取,探讨闽南文化区内的建筑色彩特征; Barnes 等<sup>[14]</sup> (运用机器学习方法,对住宿环境中的色彩组合进行研究,发现住宿环境中的色彩组合越简单、越协调,越能激发游客的消费意愿。在城市旅游领域中关于色彩的研究较为丰富,但关于城市街道色彩特征组合的研究较少。

目前,国内外对游客情感的研究主要集中在游客情感的影响模式<sup>[15]</sup>, 游客情感体验本身(包括情感体验的维度构成<sup>[16-17]</sup>、动态变化和情感差异<sup>[18]</sup>)和游客情感的影响因素<sup>[19]</sup>等方面。研究方法上以定量方法为主,通常使用较为成熟的情感测量量表或半结构访谈方式对游客情感进行测度,该方法能够反映游客的情感状态<sup>[20]</sup>且成本较低,然而在数据精度上存在误差<sup>[21]</sup>。随着人工智能的发展,基于街景图像大数据的分析已成为情感感知研究的重要领域<sup>[22]</sup>。街景图像主要指从谷歌地图、腾讯地图、百度地图中提取的图片,是反映城市街道环境最直观的、新型的地理大数据<sup>[23]</sup>。在城市研究中,众多研究者运用麻省理工学院媒体实验室(MIT Media Lab)的 Place Pulse 2.0 dataset<sup>①</sup>对居民情感感知进行了预测和评估<sup>[25-28,30]</sup>, Place Pulse dataset 将居民情感感知分为 6 个维度:美丽、无聊、压抑、活泼、安全、富有 (beautiful、boring、depressing、lively、safety、wealthy)。比如 Wang 等<sup>[24]</sup>基于街景图像数据,利用机器学习,测度了居民的美丽、无聊、压抑、活泼、安全、富有 6 种情感感知,并探讨 6 种情感感知和街道景观视觉元素之间的关系; Naik 等<sup>[25]</sup>使用 Place Pulse 数据集预测了美国东北部和中西部城市街景的感知安全性,并在后续的研究中使用该数据集量化了美国 19

个城市的城市外观<sup>[26]</sup>; Wei 等<sup>[27]</sup>基于 Place Pulse 2.0,利用深度学习方法和街景图像绘制了上海城市景观的人类感知地图,包括安全、抑郁、活力和审美,并探讨了人类感知与土地利用类型之间的关系,该方法在居民城市感知方面取得了较好的结果,但在游客城市感知方面应用较少。在中国区域内, Place Pulse 2.0 数据集中的训练样本只包括香港和台湾,中国内陆城市所具有的高度复杂性使得从 Place Pulse 2.0 全球数据集得出的城市感知存在一定问题。为了准确评估中国内陆城市当地居民情感感知, Yao 等<sup>[28]</sup> (基于中国内陆城市空间特征和街景图像,使用街景语义分割和随机森林算法结合的方式提出了一种新的“人机对抗”评分方法,构建了基于中国城市特征的情感感知数据集,该方法已经在与旅游心理学相关的研究领域<sup>[29]</sup>、以及小样本(20~30人)<sup>[30]</sup>的情况下取得了很好的效果。

综上所述,街景图片和机器学习相结合可以模拟个体对城市街道环境的情感反应,在城市研究中,相关研究主要以居民为主,对于移动性和非惯常环境的游客作为主体的研究较少;学界对景观色彩的研究相对成熟,在旅游领域,相关研究主要集中在探讨色相、明度、彩度对游客游览、消费意愿的影响,但较少关注色彩组合特征对游客情感感知的影响。

本研究根据研究区域的街道空间特点,将旅游研究和城市研究相结合,使用“人机对抗”评分软件对游客情感感知进行计算,运用机器学习和街景大数据研究游客的情感感知,探究在城市街道环境中游客情感感知的空间分布情况,并探讨城市街道景观色彩特征(组合)对游客情感感知的影响。科学、合理、美观的城市街道设计越来越受到城市旅游规划者的重视,探索游客对街道景观视觉外观的偏好成为旅游研究的重要命题,本研究对优化西安市街景的规划布局和增强游客的城市旅游体验具有一定借鉴意义。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

西安是首批中国优秀旅游城市,是最早发展旅游业的的城市之一,是中国城市国际形象最佳城市之一。近年来,西安市旅游产业蓬勃发展,城市更新持续进行,功能区划不断完善,城市风貌更加凸显,环境治理卓有成效<sup>[31]</sup>。此外,西安四季分明,景观变化多样,以西安市为例进行街道景观色彩研究和旅游目的地游客情感感知研究,具有一定的典型性和代

表性。本文选取西安市三环以内范围为研究区域,该区域拥有较为成熟的建成环境,基本涵盖西安市内旅游 90% 以上的景区景点,是游客在西安的主要活动区域。如图 1 所示,西安市交通道路网络整体道路方向为正南-正北-正东-正西走向,主城区明城墙内部交通网络沿袭了唐长安城路网分布格局,呈“方格网”状分布,明城墙外部交通网络依据自然地理条件和城市发展需要呈现出“环状+放射状”的分布格局。

## 2.2 数据来源与预处理

### 2.2.1 道路采样点选取

本文运用 BIGEMAP 软件下载西安市 2022 年 5 月的道路数据。运用 ArcGIS 10.3 软件裁剪出西安市三环以内的道路数据。根据道路的等级设置不同缓冲区,确保设立的缓冲区能够覆盖所选择的道路网络,提取道路中心线,将双线路网转化为单线路网;并将不必要的转折和节点适当简化到近似直线状态,实现路网简化。

由于人眼与观察对象的距离越远,观察对象就会越宏观并且越模糊,适当的距离可以反映出人们在街道空间中进行观察的形式特征、整体感受和景深关系。在综合考虑数据量和街道物质环境要素清晰度的前提下,以单线路网为基础等距离 50 m 选取随机点,将其转为采样点,共获取采样点 48713 个,叠加每个点对应的道路角度值和道路编号等信息。

### 2.2.2 街景图像数据采集

本文街景数据获取及预处理步骤如下:①街景图像采集相关参数设置:图像尺寸设置为 960×640;水平方向范围(Fov)表示摄像机水平视角的拍摄范

围,将水平视角设置为 0°、90°、180°和 270°;垂直视角(Pitch)表示摄像机相对于街景车辆的竖直方向角度,将垂直视角设置为 0°;②利用 Python 语言编写采集代码,获取约 182093 张街景图像数据每张图片包括图片 ID、地理坐标、视角范围等信息;③对街景图像进行统一裁剪,去除“百度地图”字样和采集车等无用信息,剔除无法采集到图片的采样点和不完整图片的采样点,最终保留 45187 个采样点和 180748 张街景图像。

### 2.2.3 游客情感训练数据获取

本研究采用“线上+线下”结合的方式邀请 49 名游客对研究区域内的街景图像进行美丽、无聊、压抑、活泼、安全、富有 6 种情感感知评分,表 1 为游客的人口学特征。49 名游客累计打分的图片超过 7000 张,每位游客打分图片为 300 张左右,存在同一张图片被多人打分的可能,由此得到经过标注的样本数据集。由于客观原因,部分数据集由线上发放问卷获取,线上和线下的选择对象均为游客,且问卷内容一致,共同分析。

## 3 研究方法

本文总体技术路线如图 2 所示,首先收集西安市主城区的街景图片,邀请游客对其中的 7000 余张图片进行情感体验打分,将此部分数据作为机器学习的训练数据集,再运用“人机对抗”评分方法对剩余图片评分,获得游客情感感知数据集;其次,基于全卷积神经网络(FCN)对街景图像进行语义分割,提取街景图片的色彩信息,计算色彩复杂度和色彩协调度;最后对街景图像色彩特征以及游客情感的结果进行分析。

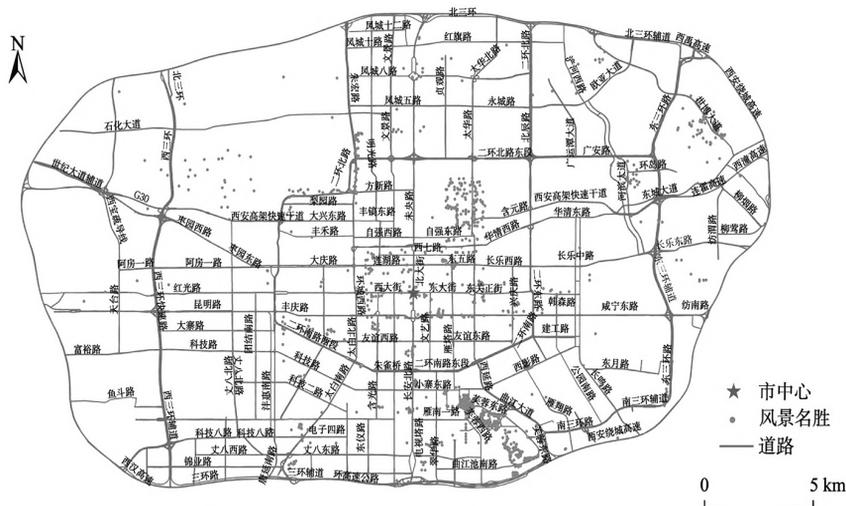


图 1 西安市主城区概况

表1 游客人口学特征

名称	类别	频数	百分比/%	名称	类别	频数	百分比/%
性别	男	22	44.90	职业	硕士及以上	20	40.82
	女	27	55.10		在校学生	10	20.41
年龄	18~30	25	51.02		公司职员	11	22.45
	31~40	21	42.86		专业人员(教师/医生/律师等)	4	8.16
	41~50	3	6.12		事业单位/公务员/政府工作人员	16	32.65
地区	西安	6	12.24		服务业人员	2	4.08
	陕西省内非西安	5	10.20		工人	1	2.04
	陕西省外	38	77.55		自由职业	2	4.08
受教育程度	高中/中专	1	2.04		其他	3	6.12
	本科/专科	28	57.14		合计	49	100.00

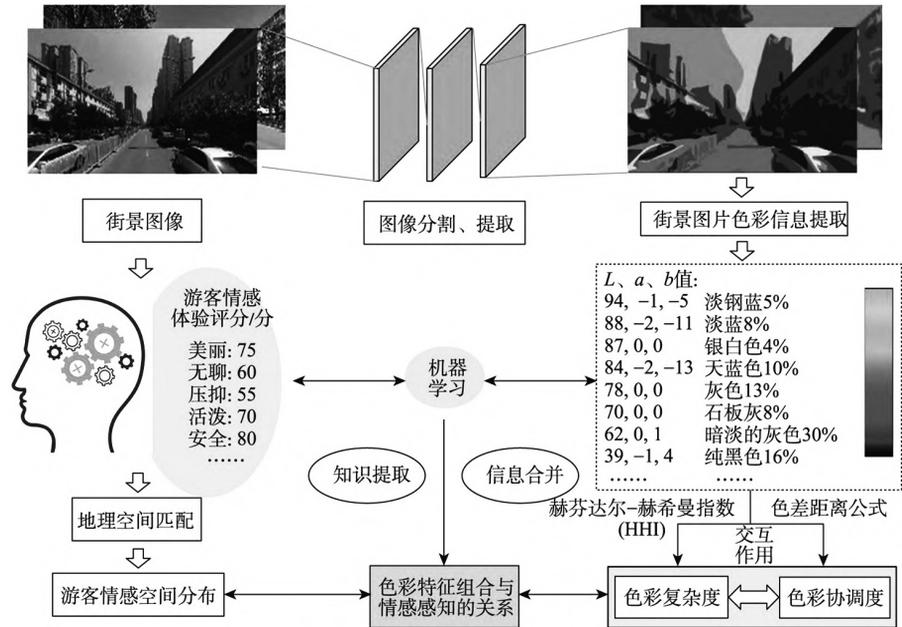


图2 研究技术路线

注:L表示亮度,a,b为色坐标值,其中a表示从绿色到红色方向的颜色变化,b表示从蓝色到黄色方向的颜色变化。

### 3.1 基于街景图像的游客情感感知计算

依据景观感知理论,景观感知是作为景观感受主体的人对于景观多层面进行感知的心理感受,是人在景观空间中活动,被周围的事物所刺激并引起一系列的情感反应<sup>[32]</sup>。将研究区百度街景图像分为前后左右4组,邀请游客对街景图像进行打分,运用全卷积神经网络(FCN)和随机森林(RF)算法,对街景图片的视觉要素特征和游客情感感知进行拟合,使用训练好的随机森林模型进行游客6种情感感知预测,构建游客情感感知数据集,包括:美丽、无聊、压抑、活泼、安全和富有(beautiful、boring、depressing、

lively、safety、wealthy)6类情感。本文参考麻省理工学院媒体实验室的“Place Pulse2.0”项目,项目参与者对随机挑选的同一城市两张照片进行比较,通过回答“哪个地方看起来更……?”,从美丽、无聊、压抑、活泼、安全、富有6个维度对其情感感知评分。如图3所示,图3(a)的高楼大厦使其看起来比其他图片更美丽富有,斑马线让人觉得更安全;图3(c)更生动,因为可看到场景里的人类活动。一张图片可包含多种情感,基于已有情感研究及此6种情感较为直观和突出的特点,将其作为本研究的情感维度。将采样点4个方向的每类情感感知加和求均值,



(a)街景1



(b)街景2



(c)街景3



(d)街景4

图3 街景图片示例

得到该采样点游客情感感知值。

### 3.2 街道景观色彩特征提取

依据环境心理学中的环境偏好理论 (Environmental Preference) 和 Kapan“环境偏好矩阵”包含的测量维度<sup>[33]</sup>, 本研究将街景图像的色彩特征划分为复杂度和协调度两个维度, 以探究城市街道景观的色彩特征是否会影响游客的情感感知, 进而影响游客的环境偏好。运用 k 均值 (k - means) 算法对图片色彩进行聚类, 将每张街景图像中的色彩聚类为 10 个色彩簇, 输出色彩中文名称、Lab 值以及每种色彩在整张图片中的占比。具体步骤为:

- (1) 输入街景图像, 计算街景图像的 RGB 向量;
- (2) 根据色彩词典将成百上千种色彩降维成 134 种;
- (3) 采用 k 均值 (k - means) 聚类法, 对色彩空间中的像素点进行聚类, 设置主要色彩团簇为 10<sup>[16]</sup>, 将街景图像色彩的 RGB 转换为 Lab 值;
- (4) 输出街景图像的路径名称、色彩中文名称、色彩 Lab 值、色彩占比大小。

### 3.3 街道景观色彩特征指标构建

#### 3.3.1 色彩复杂度指标

图片色彩的复杂度以往通过色彩数量的多少来衡量, 缺乏考虑某种色彩在图片中的数量 (占比大小), 未将图片的各种色彩作为一个整体去衡量, 存在一定的误差。本研究为了评估街景图像的整体色

彩复杂度, 借鉴经济学中的 HHI 指数, 从图片中提取的 n 种色彩的复杂度, 计算公式如式(1)所示。

$$C_c = 1 \left( \sum_{i=0}^n S_i^2 \right) - 11 \quad (1)$$

式中:  $C_c$  表示色彩复杂度;  $c$  表示复杂度;  $n$  表示从图片中提取的主颜色的数量;  $S$  表示街景图像中每种色彩所占的面积, 色彩复杂度取值范围为 (0, 1), 取值越小, 代表街景图像整体色彩越简单, 取值越大, 代表街景图像整体色彩越复杂。

#### 3.3.2 色彩协调度指标

色彩协调度的测量通过将具有相似或相同色调和色度的颜色以相似的比例呈现在整个图像中实现<sup>[34]</sup>。通常将 2 个色彩之间的差异用色彩距离  $\Delta E$  来表示,  $\Delta E$  指的是在均匀颜色感觉空间中, 人眼感觉色差的测试单位。使用 Lab 色彩空间,  $\Delta E_{ab}^*$  公式如式(2)所示。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

在 Lab 色彩空间中, 色彩由 L、a、b 值来表示, 将样品色和标准色进行对比, 可知 L、a、b 值 3 个颜色与标准色的差值分别为  $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$ , 能够得到 2 个颜色的总色差值。因 3 个通道对人眼的影响是不同的, 同一通道不同值的影响也不尽相同, 所以有明显的误差, 为了弥补上述缺陷, 国际照明委员会 (CIE) 对  $\Delta E_{ab}^*$  进行改进并提出  $\Delta E_{00}^*$ ,  $\Delta E_{00}^*$  与人眼视觉效果尽可能一致。为了在进行感知色彩比较时考虑每对色彩的面积, Li 等<sup>[35]</sup> 根据提取的色彩覆盖的面积占

比对颜色进行加权。本研究为了评估街景图像的整体色彩协调度,计算从图像中提取的每对色彩之间的加权平均距离,色彩协调度计算公式如式(3)所示。

$$C_h = \left| \frac{\sum_{i=0}^{n(n-1)/2} w\Delta E_{00,i,j}^*}{n(n-1)/2} - 1 \right| \quad (3)$$

$$w\Delta E_{00,i,j}^* = S_i S_j \Delta E_{00,i,j}^* \quad (4)$$

式中: $C_h$ 表示色彩协调度; $h$ 表示协调度; $S_i$ 和 $S_j$ 是指被比较的2种色彩(色彩*i*和色彩*j*)所覆盖的面积百分比; $i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}, i \neq j$ ,将 $S_i S_j$ 用 $w$ 表示, $n$ 表示从图像中提取的色彩的数量。色彩协调度取值范围为(0,1),取值越小,代表街景图像整体的色彩越不协调,取值越大,代表街景图像整体色彩越协调。

## 4 结果分析

### 4.1 游客情感感知及空间分析

本研究使用 SPSS 25.0 软件对研究区域 6 种情感感知进行分析,得分范围为 0~100,分值越低,表明游客对街景的情感感知越弱,反之越强。由皮尔逊相关性分析结果可知,游客 6 种情感感知两两之间具有很强的相关性( $p < 0.01$ ) (表 2)。具体而言,美丽、活泼、安全、富有 4 个情感感知呈现正相关关系,无聊和压抑之间呈现正相关关系,无聊和压抑分别和美丽、活泼、安全、富有呈现出负向的相关关系。将美丽、活泼、安全、富有划分为积极情感感知,将无聊和压抑划分为消极情感感知,可以发现,游客对街道景观积极和消极的感知方向一致。

表 2 “情感感知”相关性分析

	美丽	无聊	压抑	活泼	安全	富有
美丽	1	-0.814**	-0.638**	0.907**	0.706**	0.753**
无聊		1	0.237**	-0.870**	-0.903**	-0.844**
压抑			1	-0.474**	-0.059**	-0.131**
活泼				1	0.809**	0.813**
安全					1	0.877**
富有						1

注:\*\*表示在 0.01 的水平上,相关性显著。

利用 ArcGIS 10.3 软件对研究区域游客 6 种情感感知的强度进行空间可视化,并将各情感感知分为 5 个等级,6 种情感分别用不同的颜色表示。如图 4 所示,可以发现,游客情感感知具有明显的空间分布规律:①美丽和活泼分布较为相似,从中心区域由低到高呈放射状向外扩散;②安全和富有分布较为相似,由中心区域向外整体上呈现出“低-高-低”

的变化趋势,其中,游客富有情感感知在空间上成“块状”分布;③无聊由中心区域向外整体上呈现出“高-低-高”的变化趋势;④压抑总体上从中心区域由高到低呈放射状向外扩散。

基于以上结果,可知西安市中心区域(老城区,明城墙以内)带给游客较低的积极情感感知和较高的消极情感感知;城墙以外、二环以内区域带给游客较高的积极情感感知和较低的消极情感感知(压抑除外);二环以外的区域,北部、东部和南部带给游客较高的积极情感感知和较低的消极情感感知,包括曲江、浐灞等承担旅游功能的区域;路网稀疏、发展较为落后的西部和西北部除美丽感知外的情感均偏低,可以看出街道景观设计较不理想。

以感知空间分布的初步结果为基础,分析西安市由内向外的感知指标空间变化。以西安北城墙安远门为圆心,2 km 为半径,将研究区域划分为 7 个同心圆,每个与研究区域重叠的圆环表示该实际地理区域 6 种情感感知指标的相对比率。通过聚集、平均和归一化每个同心区域中图像的感知分数,如图 5 所示,能够观察到感知指标的空间变化:从圆心向外,美丽、活泼的分数占比一直呈增加趋势;压抑的分数占比一直减少;安全、富有的感知分数呈先增加后减少的变化趋势;而无聊的感知分数则先减少后增加。

结合实际地理位置可以得出,各区域相较而言,高密度的中心区域以及以主干道为主的西部区域街景给游客以较低的美丽、活泼情感感知,较高的无聊感知,以旅游度假、科研教育、高新技术及装备制造等为主要功能的二环以内、二环以外的东部、南部、北部的街景能够给游客较高的美丽、活泼情感感知,较低的无聊情感感知,进一步证实了活泼和美丽之间的正相关关系,以及无聊和美丽 2 种情感感知之间存在的负向的相关关系。高密度的中心区域及二环以内区域街景给游客较强的压抑感,以旅游度假、科研教育、高新技术及装备制造等为主要功能的二环以外区域街景能够给游客较低的压抑感,较高的富有感。高密度的中心区域以及二环以外的东部、西部区域给游客以较低的安全情感感知,中心区域以外二环以内区域及二环外东南部、南部、西南部区域和北部区域给游客较高的安全感知。

### 4.2 街道景观色彩特征对游客情感感知的影响

#### 4.2.1 色彩复杂度对游客情感感知的影响

将色彩复杂度和游客情感感知进行相关性分析,

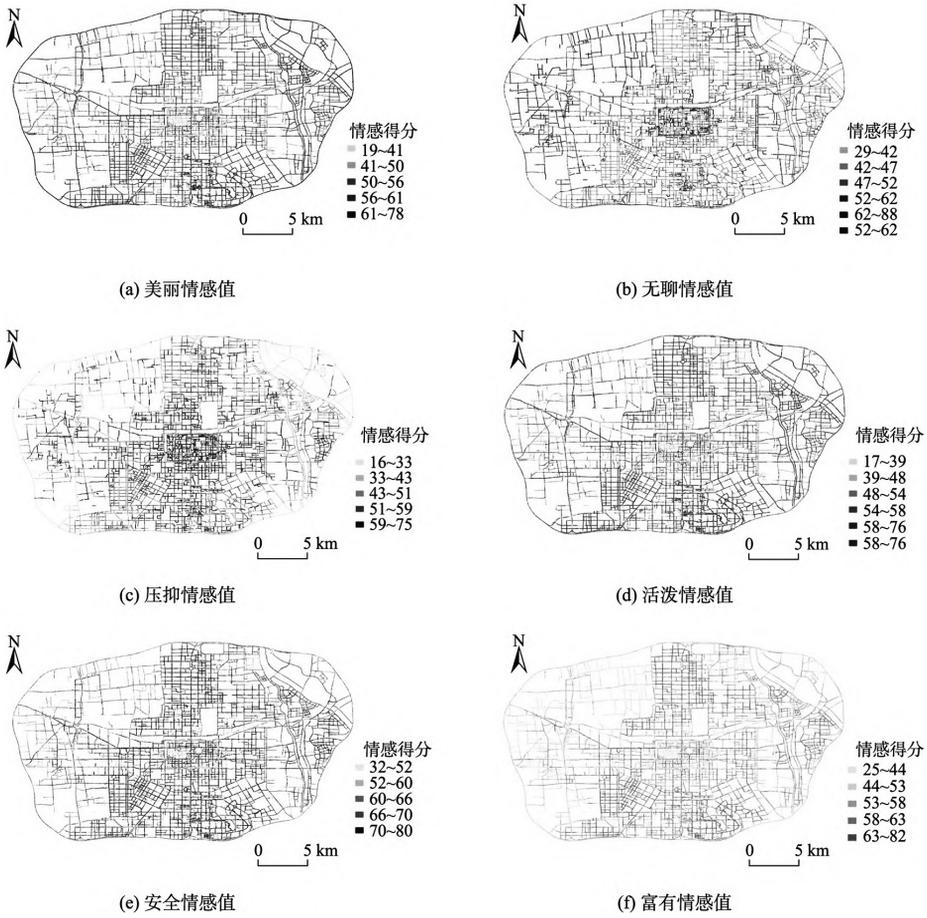


图4 游客情感感知空间分布

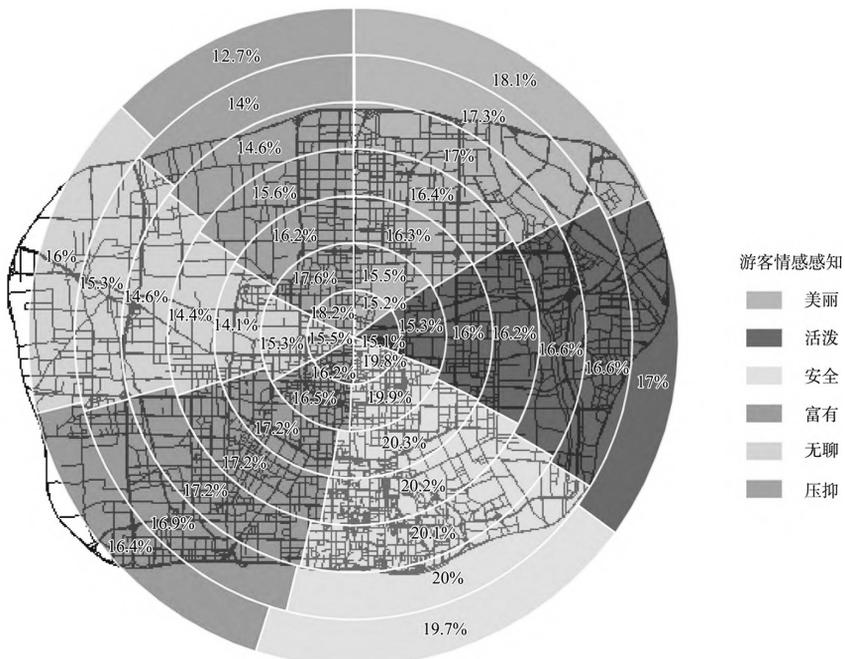


图5 西安市主城区的游客情感感知空间分布

注:图中百分比表示圆环与研究区重合部分6种情感感知指标的相对比率。

结果如表 3 所示,可以发现,色彩复杂度和无聊、压抑、活泼、安全、富有之间存在 0.01 水平上的显著相关,与美丽不存在相关关系。

将色彩复杂度和游客情感感知进行回归分析,回归方程  $R = 0.432$ , 调整后的  $R^2 = 0.186$ ,  $F(1, 45187) = 1724.08$ ,  $P < 0.001$ , 结果如表 4 所示,非标准化系数均在 0.01 水平上显著异于零。由于自变量之间存在量纲不同的问题,本文进一步采用标准化回归消除变量量纲之间的差异。由此可以准确得出游客情感感知与色彩复杂度相关性的影响。标准化回归的系数仍显著异于零,表明每一类游客情感感知与色彩复杂度之间都存在较强的相关性。由系数的正负性可以看出,色彩复杂度与压抑、安全、富有呈正相关关系,与无聊、活泼呈负相关关系。色彩复杂度与压抑的正相关关系可能与视觉复杂程度会对消费者的行为产生负面影响有关,尤其是对服务环境的感知<sup>[14]</sup>,而另一研究表明使用彩色元素可以刺激感知的显著性和个人情绪,如相关研究表明彩色人行道可以增加旅行者的步行兴趣<sup>[36]</sup>,这又可能是色彩复杂度与安全呈正相关关系的原因。

#### 4.2.2 色彩协调度对游客情感感知的影响

对色彩协调度和游客情感感知进行相关性分析,结果如表 5 所示,可以发现,色彩协调度和美丽、

无聊、压抑、活泼、安全、富有之间存在 0.01 水平上的显著相关。将色彩协调度和游客情感感知进行回归分析,回归方程  $R = 0.318$ , 调整后的  $R^2 = 0.101$ ,  $F(1, 45187) = 844.783$ ,  $P < 0.001$ , 结果如表 5 所示,非标准化系数均在 0.01 水平上显著异于零。可知色彩协调度与美丽、无聊、安全、富有呈正相关关系,与压抑、活泼呈负相关关系。

综上所述,色彩复杂度和色彩协调度基本上分别和游客每类情感感知之间存在着显著的相关关系,但作用方向存在一定差异。

#### 4.2.3 色彩复杂度 - 协调度对游客情感感知的影响

基于随机森林回归模型(RFR)可分析街景色彩对游客美丽、无聊、压抑、活泼、安全、富有 6 种情感感知的影响,特征重要性评估可以反映色彩的 2 个指标对这 6 种情感的相对重要性,各情感 2 个指标的特征重要性总和为 100%。如图 6 所示,2 个指标对游客情感的影响程度稍有差异,具体而言,色彩协调度对美丽、活泼的影响程度稍大于色彩复杂度;色彩复杂度对无聊的影响程度稍大于色彩协调度;色彩复杂度对压抑的影响程度稍大于色彩协调度;色彩复杂度对安全的影响程度大于色彩协调度;色彩复杂度对富有的影响程度大于色彩协调度。

表 3 色彩 - 情感感知相关性分析

	美丽	无聊	压抑	活泼	安全	富有
复杂度 - 色彩	-0.005	-0.188**	0.325**	0.055**	0.245**	0.214**
协调度 - 色彩	0.046**	0.088**	-0.227**	-0.053**	-0.113**	-0.067**

注:\*\*表示在 0.01 的水平上,相关性显著。

表 4 色彩复杂度与游客情感感知回归分析

模型	非标准化系数		标准化系数	t
	B	Std. Error	Beta	
(常量)	82.057**	0.510	—	160.984
美丽	0.043**	0.005	0.132**	8.876
无聊	-0.058**	0.004	-0.179**	-14.365
压抑	0.090**	0.002	0.394**	45.240
活泼	-0.052**	0.004	-0.154**	-12.057
安全	0.023**	0.004	0.064**	5.079
富有	0.026**	0.003	0.084**	8.144

注:\*\*表示系数在 0.01 的水平上显著。

表 5 色彩协调度与游客情感感知回归分析

模型	非标准化系数		标准化系数	t
	B	Std. Error	Beta	
(常量)	87.749**	0.811	—	108.231
美丽	0.050**	0.008	0.101**	6.470
无聊	0.046**	0.006	0.093**	7.116
压抑	-0.131**	0.003	-0.381**	-41.607
活泼	-0.244**	0.007	-0.475**	-35.392
安全	0.055**	0.007	0.102**	7.682
富有	0.086**	0.005	0.183**	16.876

注:\*\*表示系数在 0.01 的水平上显著。

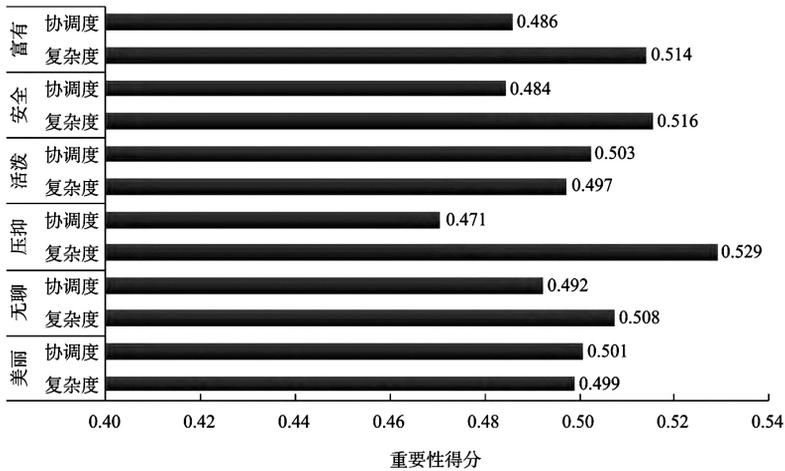


图6 色彩2个指标对情感影响的重要性得分

特征重要性度量了色彩两个指标的重要性,为探究两个色彩指标对情感的边际效应,进一步绘制偏依赖图以显示随机森林的偏效应,使机器学习的

结果更具解释性。如图7所示,色彩复杂度与色彩协调度分别和美丽、无聊、压抑、活泼、安全、富有之间呈现出复杂的非线性关系。

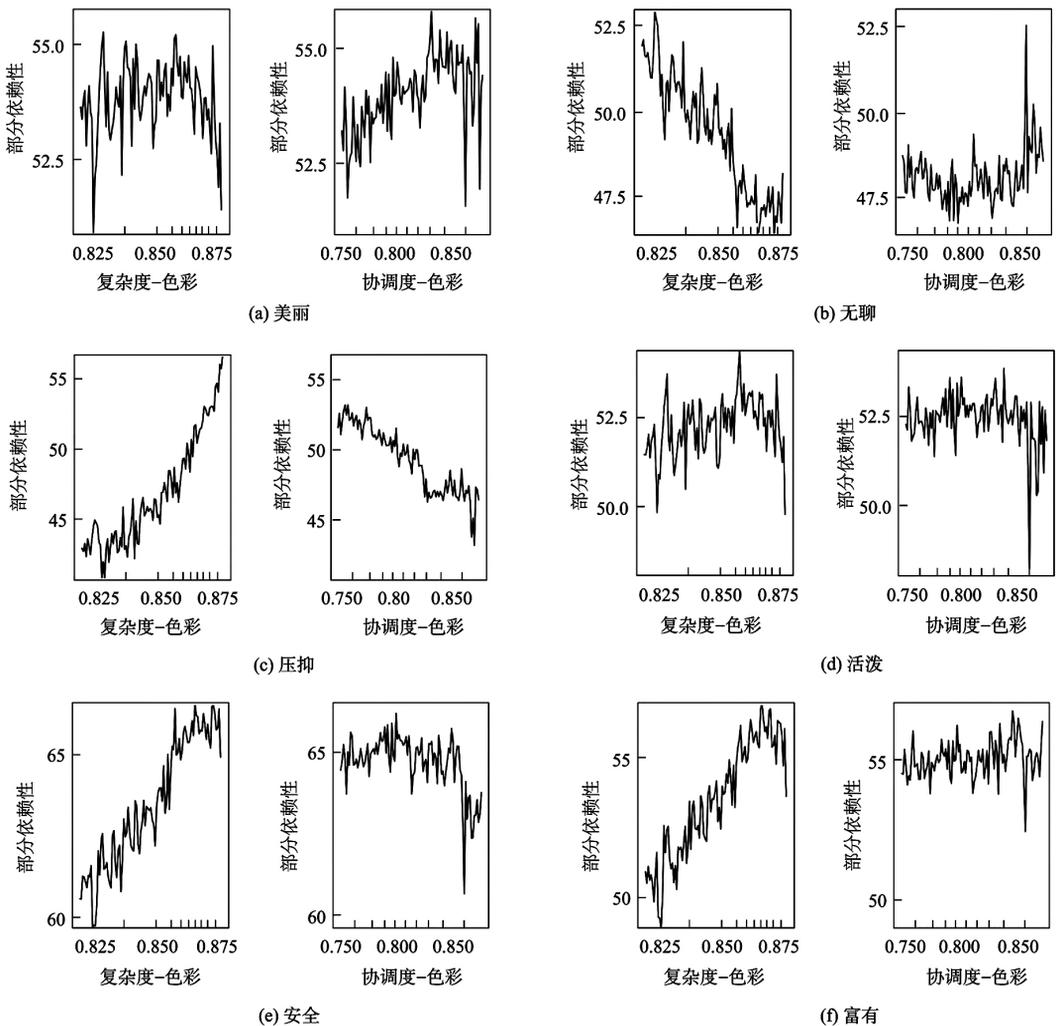


图7 色彩复杂度(左)和协调度(右)对情感的偏依赖关系

(1) 当色彩复杂度位于 0.86 附近时, 美丽值处于较高位置, 色彩复杂度取其他值时, 美丽值波动明显。色彩协调度和美丽大致呈现出“倒 U”型趋势, 随着色彩协调度的升高, 游客美丽情感感知随之升高, 当色彩的协调度位于 0.84 附近时, 游客美丽情感感知基本达到峰值, 随后在较高的水平上波动, 并呈现下降趋势。

(2) 当色彩复杂度取值小于 0.86 时, 无聊值随着色彩复杂度的增大而波动下降, 当色彩复杂度取值大于 0.86 时, 无聊的总体变化趋势较为平缓, 在较低水平上下波动。随着色彩协调性的增大, 无聊总体呈现出平缓的“U”型变化趋势, 并且当色彩协调度取值较高(0.87 左右)时, 出现极大值。

(3) 2 个指标对压抑的作用方向相反, 压抑值随着色彩复杂度的增大而波动上升, 随着色彩协调性的增大而波动下降。

(4) 活泼值随着色彩复杂度的增大上下波动, 整体呈现出平缓的“倒 U”型变化趋势, 并且当色彩复杂度取值为 0.86 值, 活泼值达到峰值。当色彩协调度小于 0.87 时, 活泼值随着色彩协调度的增大而上

下波动, 总体上无明显变化趋势, 当色彩协调度大于 0.87 时, 活泼值在较低水平内上下波动, 波动幅度变大, 且出现极小值。

(5) 安全值随着色彩复杂度的增大而波动上升, 且出现多个极值。当色彩协调度小于 0.86 时, 安全值随着色彩协调度的增大在较高水平上下波动, 当色彩协调度大于 0.86 时, 安全值在较低水平内上下波动, 且出现极小值。

(6) 富有值随着色彩复杂度的增大而波动上升, 当色彩复杂度在 0.86 附近时, 富有值到达最高点。当色彩协调度小于 0.86 时, 富有值随着色彩协调度的增大而小幅波动, 当色彩协调度大于 0.86 时, 富有值波动幅度变大, 且出现极小值。

分析色彩复杂度 - 色彩协调度交互作用对美丽、无聊、压抑、活泼、安全、富有情感感知的影响, 如图 8 所示, 颜色越深, 代表情感值越小, 颜色越浅, 代表情感值越大。可以看出, 色彩复杂度 - 色彩协调度交互作用对游客美丽、活泼情感感知的影响并不明显, 对游客无聊、压抑、安全、富有情感感知影响较明显。

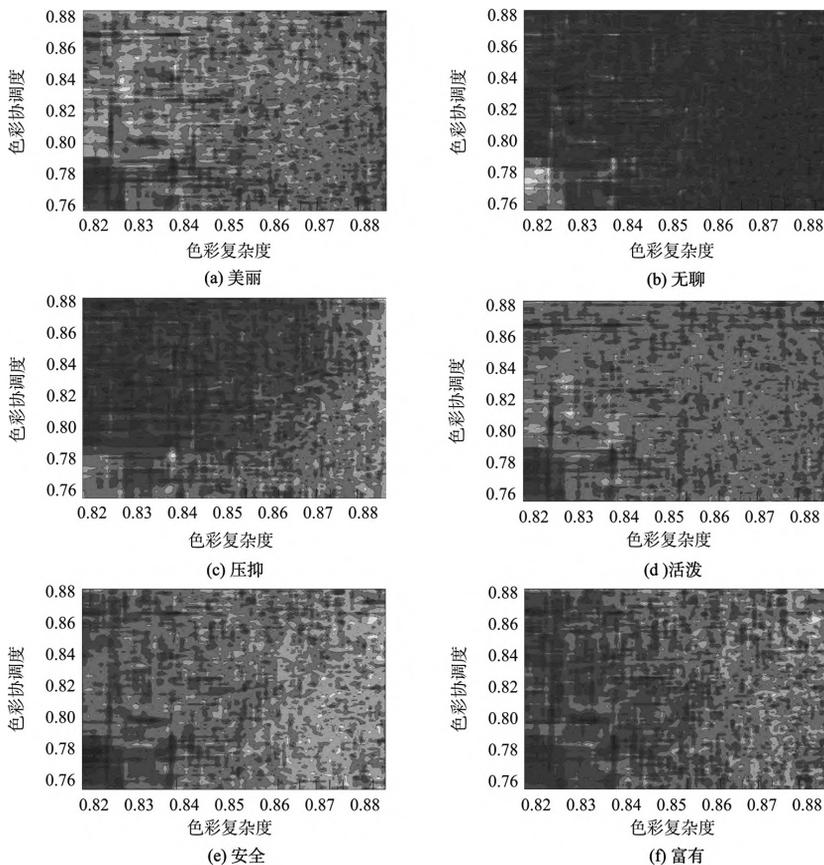


图 8 色彩 2 个指标对情感的交互作用

(1) 当 2 个指标取值较低时(色彩复杂度 < 0.83, 色彩协调度 < 0.79), 美丽值较低, 当 2 个指标超过一定值时, 美丽值较高, 但无明显变化趋势。

(2) 当 2 个指标的取值较低时(色彩复杂度 < 0.83, 色彩协调度 < 0.79), 活泼值较低, 当 2 个指标超过一定值时, 活泼值较高, 但无明显变化趋势。

(3) 交互作用与无聊呈现出负向的相关关系, 当 2 个指标的取值较低时(色彩复杂度 < 0.83, 色彩协调度 < 0.79), 无聊值较高, 当 2 个指标超过一定值时, 无聊值较低, 并且无聊对色彩复杂度的敏感程度大于色彩协调性。

(4) 当色彩复杂度较低, 色彩协调度较高时, 压抑值较低, 当色彩复杂度较高, 协调度较低时, 压抑值较高。

(5) 当 2 个指标的取值较低时(色彩复杂度 < 0.83, 色彩协调度 < 0.79), 安全值较低, 当 2 个指标超过一定值时, 安全值变大, 安全值对色彩复杂度的变化较为敏感。

(6) 富有值随着色彩复杂度和色彩协调度的增大而增大, 呈现出一定的正向相关关系。

通过对研究区域色彩复杂度和协调度进行空间可视化, 如图 9 所示。可以看出, 西安市大部分地区色彩复杂度较高, 二环以外的西北部、西南部和东北部地区色彩复杂度低, 二环以内及北部、东部和南部等承担旅游功能的区域色彩复杂度较高; 同时, 西安市大部分地区色彩协调度较低, 值得注意的是, 明城墙色彩复杂度中等, 并能明显看出其色彩协调度较高, 这与其实际颜色单一(深灰色)相一致。结合回归分析的结果, 色彩复杂度高的区域与压抑感高的区域大面积重合, 且普遍集中在高密度的中心城区, 较大的人流量、车流量以及高密度的建筑可能是造成游客压

抑的原因之一; 此外, 城市中心区域良好的治安能带给游客较高的安全感, 但安全感略低于市中心以外二环以内的区域, 在惯常环境下道路是居民安全感的重要因素, 可能的原因是道路发达的街道有较多的警力, 因而会产生一种安全感<sup>[27]</sup>, 而在非惯常环境下游客比居民的审美要求更高<sup>[24]</sup>, 因此如市中心这类交通线路发达区域对游客安全感的影响并不显著。

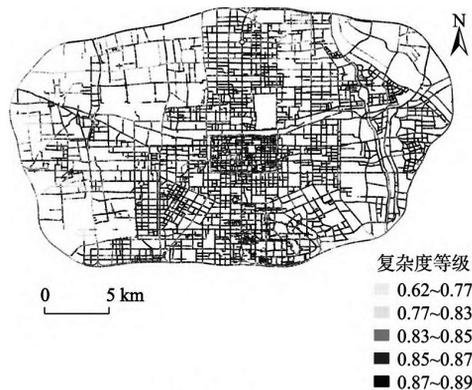
## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

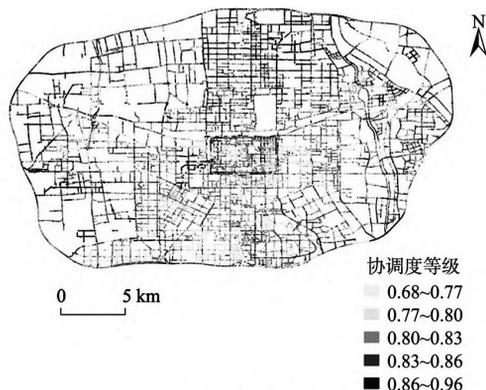
本研究综合运用街景大数据和机器学习的方法, 在城市旅游快速发展的背景下, 以街道层级的游客情感感知为研究对象, 探讨了游客情感感知的空间分布规律, 以街道景观色彩特征为切入点, 构建街道景观色彩的量化指标, 探讨街道景观色彩特征与游客情感感知之间的关系。本文的主要结论如下。

(1) 游客情感感知具有明显的空间分布格局。具体而言, 美丽和活泼分布较为相似, 由中心区域向外整体上呈现出“低-高”的变化趋势; 安全和富有分布较为相似, 由中心区域向外整体上呈现出“低-高-低”的变化趋势; 无聊由中心区域向外整体上呈现出“高-低-高”的变化趋势; 压抑由中心区域向外整体上呈现出“高-低”的变化趋势。

(2) 街道景观色彩特征分别对游客 6 种情感感知影响显著, 呈现出复杂的非线性关系。具体而言, 色彩复杂度对美丽和活泼的影响小于色彩协调度, 对无聊、压抑、安全、富有的影响大于色彩协调度; 当色彩复杂度取值为 0.865, 色彩协调度取值为 0.840 时, 游客在 6 个维度可以获得较好的情感感知。相关研究表明, 街景数据视觉要素和居民情感感知之间同样具有相关性, 与居民相似, 较好的绿化环境会给游客带来较高的美丽、活泼感知, 然而, 密集的道路



(a) 色彩复杂度



(b) 色彩协调度

图 9 色彩复杂度和协调度的可视化

会让居民获得更高的安全感,对游客而言道路密集的地区安全感知并不高。

(3)整体来看,显著的街道景观色彩特征能够带给游客较好的情感感知。本文发现在该研究区域内,色彩复杂度较高,色彩协调度中等时,能够带给游客较低的无聊、压抑情感感知和较高的美丽、活泼、安全、富有情感感知,西安市主城区色彩协调度与色彩复杂度相比整体偏低,所以高协调度区域对游客积极情感的正向影响更为显著。

本研究在旅游情感研究方面具有一定的理论和实践价值。在理论上,印证了环境的色彩越协调,带给游客的体验感越好这一结论,这与居民情感研究结论相一致,完善了色彩特征(组合)对于城市旅游的影响研究;在方法上,运用全卷积神经网络(FCN)对街景图像进行语义分割,提取图像中的视觉要素,编写随机森林(RF)算法,拟合街景图像视觉要素与游客情感感知,获取游客情感感知数据集,拓展旅游情感研究领域传统基于文本情感的、人工赋值的研究方法,拓展了街景语义分割和随机森林算法结合的“人机对抗”评分方法在中国内陆地区以及小样本情况下的使用,丰富了街景大数据和机器学习方法在旅游领域的应用,帮助城市管理者了解游客对西安市街道景观的视觉偏好,对优化街道景观设计具有一定参考意义。

## 5.2 讨论

一直以来,激发游客积极情感的同时缓解消极情感是旅游业增强游客旅游体验的主要方式<sup>[37]</sup>。随着大数据的发展,城市规划者可以基于街景图像观察游客情感的空间分布特征,并与各环境因素的空间分布特征相结合,以推断影响游客情感体验的因素。本研究以视觉要素之一——色彩作为影响因素,探究街道景观色彩复杂度和色彩协调度的高低对游客情感感知的影响。

基于研究结论,在西安市街道规划和设计工作中,应统筹考虑上述色彩(组合)条件下对游客情感感知的影响,并作为未来项目的指导。西安市中心区域的压抑情感较高,因此,城市管理者可通过优化治安、改善城市街道环境卫生状况、美化街道景观、提高街道景观色彩搭配的协调度、在环境中引入适配古城的音乐等视听结合措施减轻游客的心理负担,提高游客对市中心区域的美丽、活泼感知和城市安全感知等;以旅游度假、科研教育、高新技术及装备制造等为主要功能的区域普遍带给游客较高的积

极情感,若能通过科学规划设计使街景布局的色彩更协调,可以更有效地提高游客积极情感、缓解游客消极情感;对于城市外围地区,虽然美丽、活泼评价较高,但安全、富有评价较低,除地理位置因素外,这与经济发展水平有直接关系,我们可以在保证生态环境的基础上通过政策调整促进二环以外区域的经济发展,通过完善城市交通网络体系等措施提高游客的积极情感。

本研究仍然存在一些不足:①游客情感感知测量邀请的游客数量较少;②游客情感感知测量维度较少,每个维度仅有一个题项,可能会导致一些情感维度被忽视,从而影响测量结果以及对游客情感感知的全面理解;③在游客情感感知空间分布研究中,缺乏人口统计学因素的分析,不同的性别、年龄段、收入水平、社会地位、文化背景等对于同一街道景观的感受不同。在未来研究上,我们将进一步探讨何种色彩组合方式能达到结果所述的最佳的效果。同时,转变游客情感感知的测量方法,邀请更多的游客参与到数据集的构建中来,将游客的人口统计学特征纳入进来,用更加精准的量表,设定更符合行人步行时的视角,减少研究误差。旅游业作为一种服务业,非惯常情境下不同体验场景中色彩复杂度对游客的情感感知影响具有差异性,未来可以通过控制研究情境(场景)进一步探讨影响的异质性。

### 注释:

①<https://centerforcollectivelearning.org/urbanperception>。

### 参考文献:

- [1] Giddy J K, Hoogendoorn G. Ethical concerns around inner city walking tours [J]. *Urban Geography*, 2018, 39 (9): 1293 - 1299.
- [2] 毕芳菲, 蒯宝钢, 刘昊天. 城市景观设计与公共街道造景艺术设计的界定——评《公共环境艺术设计》[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(9): 2744.
- [3] 简雅各布斯. 美国大城市的死与生[M]. 南京: 译林出版社, 1961.
- [4] Nguyen Q C, Belnap T, Dwivedi P, et al. Google street view images as predictors of patient health outcomes, 2017 - 2019 [J]. *Big Data and Cognitive Computing*, 2022, 6(1): 15.
- [5] 曾诗晴, 谢彦君, 史艳荣. 从城市意象到街道体验——城市旅游多层次消费决策中的景观迭代过程[J]. *旅游学刊*,

2022,37(1):68-84.

[6] Ma X Y, Ma C Y, Chao W, et al. Measuring human perceptions of streetscapes to better inform urban renewal: A perspective of scene semantic parsing[J]. *Cities*, 2021, 110: 103086.

[7] 王萌, 李君轶. 城市历史文化街区景观对游客情感及行为意向影响研究——以西安历史文化街区为例[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(10): 146-153.

[8] MacKay K, Fesenmaier D. Pictorial element of destination in image formation[J]. *Annals of Tourism Research*, 1997, 24: 537-565.

[9] Valdez P, Mehrabian A. Effects of color on emotions[J]. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1994, 123(4): 394-409.

[10] Lütrig M D, Donouge S, Svensson E I, et al. Computer vision, machine learning, and the promise of phenomics in ecology and evolutionary biology[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021, 9: 642774.

[11] Yu C E, Xie S Y, Wen J. Coloring the destination: The role of color psychology on Instagram[J]. *Tourism Management*, 2020, 80: 104110.

[12] Zhang Y Y, Wang M, Li J Y, et al. Do greener urban streets provide better emotional experiences? An experimental study on Chinese tourists[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(24): 16918.

[13] Ding M C. Quantitative contrast of urban agglomeration colors based on image clustering algorithm: Case study of the Xia-Zhang-Quan metropolitan area[J]. *Frontiers of Architectural Research*, 2021, 10(3): 692-700.

[14] Barnes S. In living color? Understanding the importance of color complexity in listing images for accommodation sharing[J]. *Tourism Management*, 2022, 90: 104487.

[15] Sameer H, Girish P. Patterns of tourists' emotional responses, satisfaction, and intention to recommend[J]. *Journal of Business Research*, 2013, 66(6): 730-737.

[16] 孙晓涵, 李君轶. 中国本土游客情感体验量表开发与检验[J]. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(1): 189-195.

[17] Russell J A, Ward L M, Pratt G. Affective quality attributed to environments[J]. *Environment and Behavior*, 1981, 13(3): 259-288.

[18] 杜莹莹, 李君轶. 国内外游客景区情感体验时空变化对比研究——以秦始皇帝陵博物院为例[J]. *地域研究与开发*, 2022, 41(4): 125-130.

[19] 刘丹萍, 金程. 旅游中的情感研究综述[J]. *旅游科学*, 2015, 29(2): 74-85.

[20] Jacobs M H, Fehres P, Campbell M. Measuring emotions toward wildlife: A review of generic methods and instruments[J]. *Human Dimensions of Wildlife*, 2012, 17(4): 233-247.

[21] Hosany S, Gilbert D. Measuring tourists' emotional expe-

riences toward hedonic holiday destinations[J]. *Journal of Travel Research*, 2010, 49(4): 513-526.

[22] Picard R W. *Affective Computing*[M]. Cambridge: MIT Press, 2000.

[23] 张帆, 刘瑜. 街景影像——基于人工智能的方法与应用[J]. *遥感学报*, 2021, 25(5): 1043-1054.

[24] Wang L, Han X, He J, et al. Measuring residents' perceptions of city streets to inform better street planning through deep learning and space syntax[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2022, 190: 215-230.

[25] Naik N, Philipoom J, Raskar R, et al. Streetscore—Predicting the perceived safety of one million streetscapes[C]//2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. IEEE, 2014: 793-799.

[26] Naik N, Raskar R, Hidalgo C A. Cities are physical too: Using computer vision to measure the quality and impact of urban appearance[J]. *American Economic Review*, 2016, 106(5): 128-132.

[27] Wei J X, Yue W Z, Li M M, et al. Mapping human perception of urban landscape from street-view images: A deep-learning approach[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, 112: 102886.

[28] Yao Y, Liang Z T, Yuan Z H, et al. A human-machine adversarial scoring framework for urban perception assessment using street-view images[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, 33(12): 2363-2384.

[29] Wang R Y, Yuan Y, Liu Y, et al. Using street view data and machine learning to assess how perception of neighborhood safety influences urban residents' mental health[J]. *Health & Place*, 2019, 59: 102186.

[30] Han X, Wang L, Seo S H, et al. Measuring perceived psychological stress in urban built environments using google street view and deep learning[J]. *Frontiers in Public Health*, 2022, 10: 891736.

[31] 赵文婷. 基于空间分析视角的西安市路网交通效率分析[D]. 西安: 西北大学, 2018.

[32] 沈晓萌. 基于景观感知的乡村自然教育营地规划设计研究——以乌镇横港村自然教育营地为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.

[33] Van den Berg A E, Koole S L, van der Wulp N Y. Environmental preference and restoration: (How) are they related?[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2003, 23(2): 135-146.

[34] Wei S T, Ou L C, Luo M R, et al. Package design: Colour harmony and consumer expectations[J]. *International Journal of Design*, 2014, 8(1).

[35] Li S T, Chen R R, Yang L J, et al. Predictive modeling

of consumer color preference: Using retail data and merchandise images[J]. *Journal of Forecasting*, 2020, 39(8): 1305 – 1323.

[36] Chen J, Xinran L, Mark L, et al. Can colored sidewalk nudge city tourists to walk? An experimental study of the effect of

nudges[J]. *Tourism Management*, 2023, 95: 104683.

[37] Faullant R, Matzler K, Mooradian T A. Personality, basic emotions, and satisfaction; Primary emotions in the mountaineering experience[J]. *Tourism Management*, 2011, 32(6): 1423 – 1430.

## The Influence of Urban Streetscape Color on Tourists' Emotional Perception Based on Streetscape Images

Qi Ziyin    Li Junyi    He Zhe    Yang Xiping

**Abstract:** Streets are an important attraction for urban tourism. Exploring the influence of street landscape color characteristics on tourists' emotional perception holds important reference value for the rational planning and layout of urban street landscape. This study takes the built-up area within the third ring road of Xi'an city as a study case, and employs the Full Convolutional Neural Network (FCN) and Random Forest (RF) algorithms to construct an emotional perception dataset of street images. We use the streetscape images as the basis to extract the color features of the streetscape using machine learning algorithms, and color quantifiers are constructed and spatially visualized; the RF regression algorithm is used to explore the relationship between streetscape color characteristics and tourists' emotional perception, and the optimal color characteristic parameters are derived. The results show that: (1) There is a distinct spatial distribution pattern of tourists' emotional perception. The emotions of beauty and liveness gradually increase from the central area outward, and emotions of safety and wealth emotions score higher in the area within the second ring road outside the main city. While boring emotions score lower in this area, and depressing emotions gradually decrease from the central area outward. This suggests that the spatial distribution pattern of emotional perception shares somewhat homogeneity between tourists' emotional perception in non-routine environment and residents' perception in familiar environment. (2) The color characteristics of the streetscape show a complex non-linear relationship with tourists' emotional perception. For example, color complexity has less effect on emotions of beauty and liveness compared to color coordination and has a greater effect on emotions of boredom, depression, safety, and wealth than color coordination. Moreover, when the value of color complexity is 0.86 and the value of color coordination is 0.84, tourists can obtain better emotional perception across six dimensions. (3) Under non-routine conditions, the more significant the color characteristics of the street landscape, the better the emotional perception of visitors. Theoretically, this study confirms the conclusion that the more colorful environment leads to better experience for tourists; and methodologically, this paper not only expands the traditional text-based and manually-assigned research methods in the field of tourism emotion, but also enriches the application of streetscape big data and machine learning methods in the field of tourism. This study provides a reference for city managers to understand tourists' visual preferences for streetscapes and to optimize streetscape design.

**Key words:** city streets; streetscape images; color features; emotional perception; machine learning; GIS; Fully Convolutional Networks; Random Forests