垂直视角下杭州市滨江区街道绿化差异与融合分析*

唐开春[1] 张译文[2] 王 敏[1,3] 李 健[4]

1 昆山市规划设计有限公司 江苏苏州 215000
2 苏州大学金螳螂建筑学院 江苏苏州 215000
3 南京林业大学风景园林学院 南京 210037
4 浙江农林大学风景园林与建筑学院 杭州 311300

摘要：针对目前城市街道绿化多指标评价的缺乏，文章以杭州市滨江区为例，从垂直视角，以百度街景为数据源，利用 FCN-8S 语义分割模型识别并计算街道绿视率与植被层次性，再通过熵权法融合数据以实现街道绿化整体评价。结果表明：滨江区绿视率与植被层次性在空间分布上差异较大；滨江区综合绿化存在地区差异性；滨江区多数街道绿化分布分散且不均匀，稳定性较差。因此，未来街道绿化建设中：应按需兼顾绿化数量及层次性，注重植被配置，减小地区绿化差异；应结合城市建设需求，加强街道绿化稳定性，美化城市形象。

关键词：绿视率；植被层次性；差异与融合分析；杭州市滨江区
DOI：10.12169/zgcsly.2022.11.23.0002

Difference and Integration of Street Greening in Binjiang District of Hangzhou from the Vertical Perspective

Tang Kaichun[1] Zhang Yiwen[2] Wang min[1,3] Li Jian[4]

(1. Kunshan Planning and Design Co., Ltd., Suzhou 215000, Jiangsu, China; 2. Gold Mantis School of Architecture, Soochow University, Suzhou 215000, Jiangsu, China; 3. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 4. School of Landscape Architecture, Zhejiang Agriculture &Forestry University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: In view of the lack of multi-index evaluation of urban street greening, this paper takes Binjiang District of Hangzhou City as an example to identify and calculate the street GVI and VSD using FCN-8S semantic segmentation model from a vertical perspective, with the data source of Baidu Street View, and adopts entropy weight method to integrate data for realizing the all-around evaluation of street greening. The results show as follows: 1) There are significant differences in the spatial distribution of GVI and VSD in the Binjiang District; 2) There are regional differences in the CGL of Binjiang District; and 3) The distribution of most street greening in Binjiang District is unstable. Hence, the future street greening should take account of the needed quantity and structure diversity of greening, and stress the vegetation allocation to reduce regional differences in greening. In addition, the needs of urban construction should be considered for strengthening the stability of street greening and beautifying the city image.

Keywords: green view index (GVI); vegetation structure diversity (VSD); analysis of difference and integration; Binjiang District, Hangzhou City

收稿日期：2022-11-23
* 基金项目：国家社科基金“数字经济赋能旅游业高质量发展的机理，效应与政策研究”(22BGL153)
第一作者：唐开春 (1997-)，男，硕士，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：2977339640@qq.com
通信作者：李健 (1976-)，男，博士，教授，博士生导师，研究方向为城乡生态规划与景观设计。E-mail：lijian@zafu.edu.cn

绿色植被是城市街道重要组成要素，具有美化环境、安全防护等功能[1]。实现街道绿化科学合理的定量定性评估，可深入了解城市绿化水平，并及时修补建设薄弱区域，对城市可持续发展具有重要意义。目前，国内外学者多聚焦归一化植被指数、三维绿量、绿化覆盖率等遥感视角绿化指标进行城市街道绿化评估[2-5]。相较遥感视角，垂直视角绿化是城市街道绿化水平更为直接的反映。“绿视率”一词最早由环境心理学发展而来[6]，研究表明，绿化环境与所处环境中的行人心理感受具有某种关联，1987 年由学者青木阳二首次明确提出“绿视率”的概念。绿视率作为可测量的量值，已被广泛应用于城市绿色景观评价。2007 年谷歌街景的开通破除了大范围垂直视角街道绿色植被信息采集障碍[7]，之后关于绿视率（GVI）的定量方法、空间格局以及影响因素研究日益增多[8-10]，但对街道植被多样性关注较少。植被多样性起源于生物多样性研究，反映了植物群落局域生境内多样性，近年逐步受到关注。绿色植被作为城市街道绿化不可或缺的要素，不仅反映绿化数量特征，而且街道绿色植被有着与森林相类似的植被层次特征，能够促进社会活动与交流。居民更喜欢较密集和复杂的城市绿色植被，能够对行人产生更大吸引力[11]。

杭州市滨江区在城镇化进程下逐步发展成集高新、科技、商务于一体的高新区，其街道绿化相较以往得到不同程度提升，通过垂直视角感知街道绿化、实现绿化薄弱区域检测可为更多城市绿化建设提供优化依据。

1　研究区域概况

杭州市滨江区（30°08′20.4″N，30°14′320.4″E）位于钱塘江下游，东、南面接壤萧山区北干街道、蜀山街道及闻堰街道，西、北濒临钱塘江，总面积 72.2 km^2，下辖长河、浦沿、西兴 3 个街道。滨江区属亚热带季风性气候，常年日照充足，雨水丰富，为植被生长提供必要气候条件。滨江区自然条件优越，绿化程度较高，街道绿化配置清晰，以乔灌草为主要结构，乔木层以香樟（*Cinnamomum camphora*）、桂花（*Osmanthus fragrans*）、大叶女贞（*Ligustrum lucidum*）等为主，灌木层以八角金盘（*Fatsia japonica*）、海桐（*Pittosporum tobira*）为主，地被层以狗牙根（*Cynodon dactylon*）为主。

2　研究方法

2.1　采样点与街景图像获取

首先，通过开放地图（OSM）获取路网数据，对原始路网数据进行清洗、简化，保留单线道路，删除冗余路网后，依据道路类型和《城市道路工程设计规范》（CJJ37-2012），将研究区道路分为快速路、主干道、次干道、支路 4 类。

其次，利用百度地图服务商街景图像数据库，沿着 4 条道路线提取百度街景采样点。使用等距采样法，取样间距设置为 50 m，共取得采样点 4 095 个，保留各采样点道路等级、名称、类型信息，利用几何计算进行坐标计算得到采样点相应坐标数据。通过 API 接口中指定不同参数，下载不同视野、标题和俯高角度的百度街景图像，其参数包括街景图像大小、位置、水平和垂直角度，累计下载 4 095 张百度街景图像。

2.2　基于 FCN-8S 的图像分割及植被要素识别

由 ADE-20K 训练的全卷积神经网络 FCN-8S 数据集将街景图像划分为多个子场景，每个子场景涉及道路、车辆、植被等 151 个类别[12]，FCN-8S 图像分割效率及精确度较高，对不同特征物体信息能够精准量化。通过 FCN-8S 计算不同物体特征像素数，量化生成不同物体特征在街景图像中的百分比（图 1）。

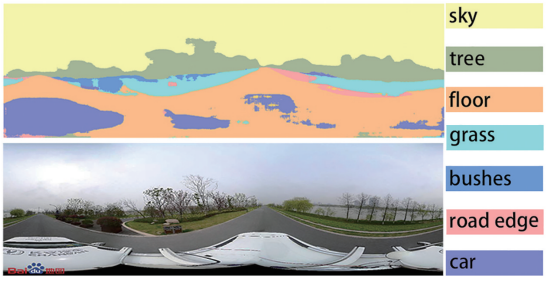


图 1　FCN-8S 识别结果

2.3　绿视率指数测算与植被多样性指数测算

绿视率（GVI）是指绿植在人眼范围的占比，FCN-8S 为代表的语义分割模型能对图片绿植信息快速提取并计算其占比[13]。

$$GVI = \text{乔木} + \text{灌木} + \text{草本} / \text{图像面积} \times 100\% \quad (1)$$

植被层次性指乔灌木搭配平衡性，由香农-维纳（Shannon—Wiener）指数发展而来，通过香农-维纳指数计算植物群落局域生境内多样性，再用该指数计算可衡量植被层次多样性[14]。为保持输出阈值与绿视率一致，对植被层次性（VSD）公式归一化处理，公式如下：

$$VSD = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_3(p_i) \quad (2)$$

$$p_i = \frac{C_i}{C_{veg}} \quad (3)$$

式（2）（3）中：n 指代植被类别数量，取值范围为 0~3，植被类型包括乔、灌、草 3 种类型；P_i 为植被 i 占整体植被量比例；C_i 为植被 i 所占像素数；C_{veg} 为所有植被所占像素数。

2.4 基于改进熵权法的绿化水平评价

结合前人研究[15]，通过改进熵权法[16]确定综合绿化（Comprehensive Greening Level），根据各指标数据分散程度，利用信息熵计算各指标熵权并进行一定修正，得到较客观的指标权重：

首先是原始数据矩阵 $R' = (x_{ij})_{m\times n}$，其中，$m$ 为评价指标个数，n 为观测点样本个数，x_{ij} 为指标 i 在观测点 j 的属性值。

其次是标准化数据矩阵 $R = (X_{ij})_{m\times n}$，$0 \leqslant X_{ij} \leqslant 1$。

最后确定指标 i 权重。

2.5 空间数据评估

1）皮尔逊相关分析法。皮尔逊相关系数是线性相关系数，反映两个变量间线性相关统计量[17]。本文以此计算绿视率与植被层次性相关性，其阈值为-1~1，以此判断二者相关性强弱。

2）自然间断法。基于数据固有自然分组，对分类间隔加以识别，对相似值进行最恰当分组，使各类间差异最大化[18]。本文针对各采样点指数进行分级分组，得到符合其特征的影响层级。

3）GIS 冷热点分析法。GIS 冷热点分析法是使用 Getis-Ord Gi * 指数统计识别具有统计显著性的热点及冷点[19]。本文通过计算每个采样点周围局部指数得到每个点 Gi 值。Gi 值越大，表示该点越可能是热点；Gi 值越小，表示该点越可能是冷点，最后以此判定不同绿化指标高值或低值要素在空间聚类位置。

4）GIS 可视化分析法。GIS 可视化分析法是将科学计算可视与地理学统一化的概念[20]。本文将汇总的绿化指标数据导入 GIS，分为 3 个不同绿化指标（绿视率、植被层次性及综合绿化）进行可视化。依据数值分布区分不同颜色梯度，作为样本点输出数据，最后将数值颜色梯度映射到地图上。

5）小提琴图可视化法。小提琴图是数据可视化分布的统计图表[21]。本文通过 R 包 ggplot2 构建综合绿化水平最高与最低的典型道路，展示绿化数据中位数，分布形状及密度情况。

3 结果与分析

3.1 绿视率与植被层次性分布特征

绿视率分布（图 2）呈现“核心-外围”递减的趋势，仅外围滨水道路及白马湖风景名胜区部分区域出现递增现象。冷热点分析（图 3）表明：绿视率多呈高值中心集聚、低值周边分散分布，高值集群集中建业路及环兴路形成的内部区域，聚类较大且集中；低值集群分布滨水道路及城市快速路，聚类体小且分散。植被层次性分布（图 4）呈现“外围-核心”递减趋势，内部仅主道路出现递增现象。冷热点分析（图 5）表明：植被层次性于交叉口普遍高值；街道低值，仅滨水道路出现高值。整体层次性较分散，城区内部多低值区域，仅钱塘江南岸与闻涛路部分路段植被层次性较高；其次滨江区东部高值点分散分布。整体而言，植被层次性分布特征与绿视率大体相反。



图 2 杭州市滨江区 GVI 值点分布

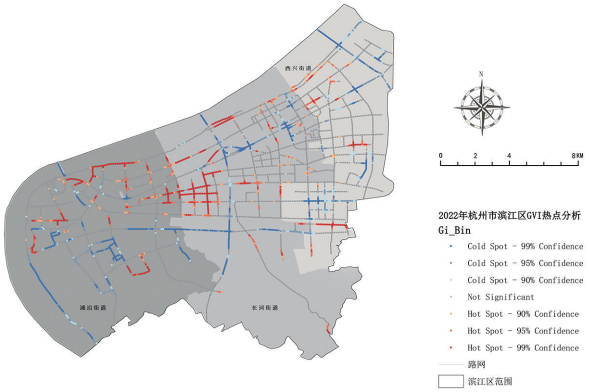


图 3　杭州市滨江区 GVI 热点分析



图 4　杭州市滨江区 VSD 值点分布

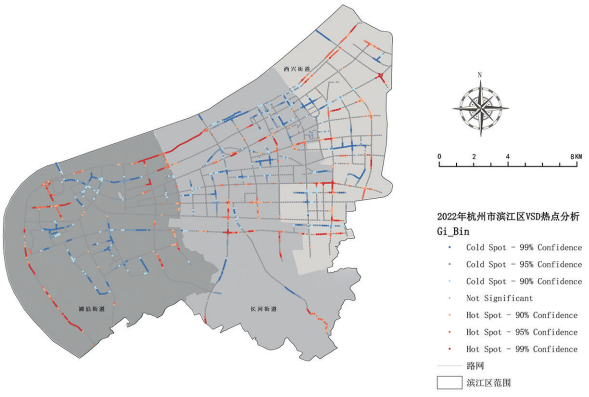


图 5　杭州市滨江区 VSD 热点分析

3.2　绿视率与植被层次性相关性

经皮尔逊系数分析发现，主干道、次干道、支路绿视率和植被层次性相关系数都很小，甚至负相关，说明二者间相关性较弱。在快速道上，绿视率和植被层次性相关性系数为 0.602 1，达到强相关（表 1）。皮尔逊相关性分析结果表明，绿视率与植被层次性相关性并不显著，说明垂直视角下绿化效果会有较大差异，具有研究意义。因此，仅通过单一绿视率指标难以对街道绿化进行详细描述，这也侧面反映了多指标分析街道绿化的必要性。

表 1　皮尔逊相关系数在不同等级道路 GVI 与 VSD 之间不同水平

道路类型	皮尔逊相关系数	Sig（双尾）
主干道	0.166 1	0.51
次干道	−0.017 5	0.937
支路	−0.036 7	0.91
快速道	0.602 1	0.114

3.3　基于熵权法的综合绿化水平

经熵权法权重计算可知，绿视率权重为 0.458 2，植被层次性权重为 0.541 8，最终得到综合绿化水平。由表 2 可知，滨江区所辖长河、浦沿、西兴 3 个街道综合绿化平均水平相近，其中，西兴街道综合绿化水平更高，其分布特征为“棋盘式”，整体分布较均匀（图 6）。冷热点分析（图 7）表明，综合绿化多呈现分散分布格局，高值多分布于外围道路交叉口及滨水与自然风景区，低值多分布于老旧社区及新建住宅区。总体来说，滨江区内部绿化具有较小差异性。

表 2　区域内各区划的综合绿化水平数值特征

区划名称	最大值/%	最小值/%	平均值/%
浦沿街道	59.3	0	27.83
长河街道	63.31	0	27.89
西兴街道	62.25	0	28.86

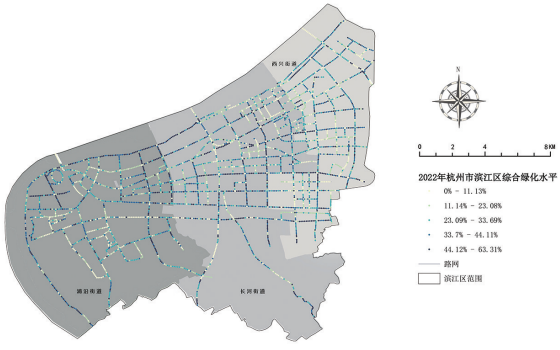


图 6　杭州市滨江区综合绿化值点分布

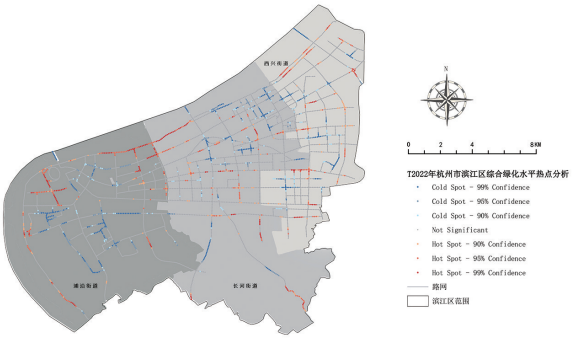


图 7　杭州市滨江区综合绿化热点分析

构建滨江区道路绿化小提琴图描述各道路绿化均值及绿化分布状态。经自然间断法分析发现，时代大道信诚路、六合路绿化水平最高，化工路、新浦路绿化水平最低。化工路与新浦路均位于浦沿街道，其中，化工路处于拆迁状态，道路周边几乎无乔木，以低矮灌木为主，植被数量与结构较单一；新浦路部分路段处于拆迁状态，因道路狭窄，植被形成点状间断型绿化景观，连续性较差。

由图 8 可知，滨江区道路绿化稳定性较差。道路综合绿化处于高水平的居多，支一路、园支二路、西浦路、坚塔路、白马湖路等绿化数值分布较集中，其他道路存在显著绿化差异，其中三益线绿化差异性较大，道路绿化值存在显著区别。综上所述，杭州市滨江区道路绿化表现较大差异，同时多数道路本身绿化也存在较大差异性，道路间绿化分布并非均匀。

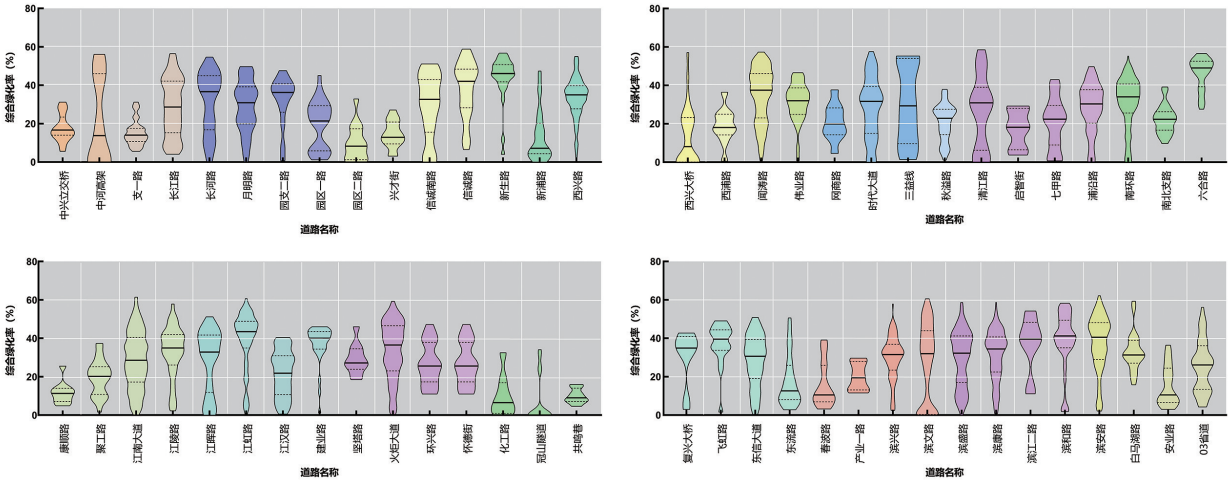


图 8 道路综合绿化可视化分析

4 结论与建议

4.1 结论

1）杭州市滨江区绿视率与植被层次性空间分布具有较大差异。绿视率与植被层次性在滨江区分布趋势相反，仅滨水街道及街道交叉口达到指标兼顾。

2）杭州市滨江区综合绿化存在地区差异性。长河，浦沿，西兴三个街道整体综合绿化水平相近，但局部存在差异，滨水或自然风景区绿化高于内城，老旧住宅区绿化水平弱于新建住宅区。

3）多数道路本身绿化分布分散且不均匀，稳定性较差。建设较少的道路易形成连续稳定的绿化，此类道路数量较少，多数街道绿化属于间断型，断点较多，因此绿化稳定性较差。

4.2 建议

从研究结论来看，采用综合绿化指标评价街道绿化对不同城市地区会产生不同的结果，比单一指标更全面、客观。依据研究结果并结合现状提出以下建议：

1）根据实际要求兼顾绿化数量及植被层次性，注重植被综合布局与配置。

2）减小地区绿化差异，尽可能实现绿化公平。

3）结合城市建设需求，加强街道绿化稳定性，美化城市形象。因此，在街道绿化评估中融入对植被层次性的考量有助于从人性化的视角理解市民对城市绿化的心理需求，有助于对城市街道绿化更科学的规划，提高城市形象[22-23]。

参考文献

[1]刘晓天，孙冰，廖超，等.基于街景图像的城市街道绿视率计量方法比较分析[J].江西农业大学学报，2020，42(5)：1022-1031.

[2]惠嘉伟，白中科，刘凯杰，等.归一化植被指数(NDVI)在草原露天煤矿区的适用性分析[J].工程科学学报，2023，45(1)：54-63.

[3]岳峰，傅凡，戴菲，等.基于遥感反演的三维绿量景观格局对气溶胶的影响[J].中国园林，2023，39(7)：109-114.

[4]强方方，王瑜.近 10 年四川省地级市区园林绿化情况研究[J].四川环境，2018，37(6)：160-168.

[5]孙光华.基于多源大数据的城市街道可步行性评价研究：以南

京市中心城区为例[J].现代城市研究,2020,35(11):34-41.
[6]彭巍,唐丽玉,胡颖,等.基于街景图像的福州城区主要道路绿视率研究[J].测绘与空间地理信息,2022,45(1):62-66.
[7]LI X,RATTI C,SEIFERLING I.Mapping urban landscape along streets using google street view[C]//PETERSON M.Advances in cartography and GISciense. ICACI 2017. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography.Cham:Springer,2017.
[8]肖路.基于街景大数据的城市绿视率与影响因素多尺度分析研究[D].哈尔滨:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2021.
[9]陈钺,钱冠杰.城市道路绿视率特点及其与绿化覆盖率关系:以深圳南山区为例[J].特区经济,2020(2):59-63.
[10]LI X J,ZHANG C R,LI W D,et al.Who lives in greener neighborhoods? The distribution of street greenery and its association with residents' socioeconomic conditions in Hartford,Connecticut,USA[J].Urban Forestry & Urban Greening,2015,14(4):751-759.
[11]卞媛媛.基于公园城市建设导向的街道绿视率评价方法探究[J].中国园林,2021,37(增刊2):11-15.
[12]薛君蕊,王昱潭,曲爱丽,等.基于改进 FCN-8s 的灵武长枣图像分割方法[J].农业工程学报,2021,37(5):191-197.
[13]白钊成,张家礼.不同尺度下街道空间绿化品质测度研究与提升策略:以杭州市中心城区为例[J].林业与生态科学,2021,36(4):442-450.
[14]童鸣.基于街景语义分割的南京市主城区街道绿化评价[D].南京:南京大学,2020.
[15]林锦涵,陈芸芝,汪小钦.基于绿视率的福州市鼓楼区道路绿化水平评价[J].中国城市林业,2021,19(3):73-77,84.
[16]严惊涛,刘树光.基于组合赋权的对地攻击无人机自主能力云模型评价[J].北京航空航天大学学报,2023,49(12):3500-3510.
[17]金涛.基于相关性分析的一次风量控制优化研究[J].电站系统工程,2023,39(6):52-53,56.
[18]邹宇,邓仕雄,刘继庚,等.我国"GIS+BIM"技术研究进展:基于 CNKI 的文献计量与可视化分析[J].科技创新与生产力,2023,44(12):39-42.
[19]朱怀真,杨凡,南歆格,等.国内外绿视率研究进展[J].中国城市林业,2022,20(3):140-146.
[20]李凤仪,周旭,王峰,等.基于街景大数据的长沙市道路绿化视觉评价[J].中南林业科技大学学报,2021,41(5):163-173.
[21]邹彬.西安市植被覆盖度冷热点时空动态变化及其风险分析[J].西安理工大学学报,2020,36(2):197-204.
[22]潘云,李健.基于社交媒体 UGC 图片数据的景观偏好研究:以西溪国家湿地公园为例[J].自然保护地,2021,1(1):100-108.
[23]王剑,王美琳,莫茜尧等.城市更新背景下北京石景山区城市道路绿化提升策略[J].中国城市林业,2023,21(4):59-65.