

基于街景和遥感影像的城市绿地 多维度量化研究 ——以郴州市为例

陈亚萍 郑伯红 曾祥平¹

(中南大学 建筑与艺术学院, 中国湖南 长沙 410075)

【摘要】:传统的绿地观测手段和评价方法已无法满足全面而多维度的城市绿地量化需求。文章以郴州市为例,基于遥感影像数据反演、百度街景数据获取及图像语义分析,分别提取归一化植被指数、叶面积指数和街道绿视率三类指标。结果显示:①在片区尺度上,植被覆盖指数与街道绿视率的关联性较小,与叶面积指数呈现强相关。②在街区尺度上,绿地综合指标较好的是办公用地和居住用地,教育科研用地和工业用地绿化情况次之;中心城区的街道绿视率标准差较大,植被覆盖率和叶面积指数普遍较低,外围城区的三类指标适中。③郴州市主要道路在植被配置形式一致的情况下,其绿视率与街道宽度成反比。

【关键词】:城市绿地 绿视率(GVI) 归一化植被指数 叶面积指数 植被覆盖率

【中图分类号】: TU985 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2019) 12-0080-08

城市绿地是市民户外游憩娱乐的空间,同时具有维护区域碳氧平衡、调节小气候、净化空气、减少噪音和增加社会互动等功能^[1],对城市发展和市民健康起到重要作用^[2]。城市绿地的定性、定量和定点分析,有助于更有效地识别、评估和改善城市绿地。

在我国,早期的“绿量”指标是指“绿化覆盖率”和“绿地率”,后期则主要反映绿地的生态功能,通常与植物的叶面积联系在一起^[3]。在城市绿地调查中,遥感技术因其具有大面积同步覆盖、时效性高和经济有效等优点被广泛运用^[4]。归一化植被指数作为常用指标,由遥感影像的近红外波段与红光波段的差值比值计算得出^[5]。然而这种二维评判有一定的局限,只能判定城市区域内的绿地位置、面积和植被冠层结构等内容^[1]。城市绿地往往具有分布零散、结构形式多样和地形复杂等特点^[4],在同等绿地面积下,不同区域的绿化贡献率可能有区别,需要更进一步的调查。叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)定义为单位地面面积上所有叶子表面积的总和^[6],该值与植物的种类和年龄相关^[7]。由于植物的固碳释氧、蒸腾吸热和降噪滞尘,都要借助于叶片完成,所以叶面积指数也是衡量绿化品质的有效指标^[8],在一定程度上反映了植被群落结构。大范围的叶面积指数研究主要依靠遥感定量,依据统计模型和光学模型计算得出,其中统计分析法是以 LAI 为因变量,以光谱数据或其变换形式(如 NDVI)作为自变量建立的估算模型^[6]。

¹**作者简介:**陈亚萍(1990-),女,湖南长沙人,博士研究生。主要研究方向为城乡规划、生态城市设计。E-mail:yaping152@sina.com。郑伯红(1965-),男,广东韶关人,博士,教授。主要研究方向为生态城市与低碳空间规划、城市功能结构与空间形态、城市网络化与网络城市等。E-mail:zhengbohong@sina.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(51478470);中南大学中央高校基本科研业务费专项资金(2018zzts091)。

虽然 NDVI 和 LAI 指标可以从宏观角度描述城市绿地分布,但是无法量化垂直立面的绿化。“绿视率”(Green View Index, GVI)表示绿色所占人视野的比例,反映人在立体维度中对周围绿色环境的视觉感知程度^[9]。研究表明,人们所感知到的绿量影响日常出行活动及身心健康^[10]。传统的城市绿视率调查方法是通过实地拍摄照片,并计算照片中绿色区域所占全图的比例获得绿视率^[11],处理分析数据的过程相对耗时。利用 Python 语言爬取街景图片,并对大量街景图片进行半自动化清洗和分割工作,可以较准确地计算出街道绿视率,且具有采集的样本数量大,成本较低等优势。目前,已有国内外学者基于不同的街景数据平台对街道绿视率进行了研究。李小江等结合谷歌街景对绿色景观指数进行了修正,并实现了自动测量城市街道绿视率^[12]。龙瀛基于腾讯街景平台对全国 245 个主要城市街道绿化进行了研究^[13]。Seiferling 基于谷歌街景图像,对纽约和波士顿的街道树木进行量化^[14]。尽管如此,街景数据也有其缺陷,即在城市的非街道区域以及街景地图缺失的街道,则无法获得绿化数据,需要其他类型的数据进行补充。

在绿化量化中,宏观层面研究主要关注绿地系统的结构问题,往往忽视了个体的特殊性,人们从地面感知到的城市绿地,与俯视视角的遥感图像获得的绿地信息有所不同。而微观层面的研究基本被限制在绿地内部,同样缺乏对周边环境的考虑^[15]。街景数据和遥感数据在绿化量化的范围、尺度、精度和维度方面可以相互补充和验证。虽然已有学者提出空间绿量指数,即“绿地率+绿视率”叠加而成的复合指标,可以较为简洁和客观地表达高密度城市平、立面空间绿量综合水平^[16],但相关研究较少。本研究以郴州市为例,利用大数据挖掘街景数据结合遥感数据反演的的方法,综合使用“植被覆盖率”“叶面积指数”和“绿视率”三种量化指标,确定城市缺乏绿化的空间,为绿地规划设计提供补充依据。

1 研究对象及方法

郴州位于湖南省东南部,112° 13'E~114° 14'E、24° 53'N~26° 50'N 之间,辖区总面积为 19388km²。郴州市东界江西赣州,南连广东韶关,西接永州,北临衡阳和株洲两市,因自然资源的优势,素有“林中之城”的美誉。

1.1 归一化植被指数和叶面积指数反演

研究采用精度为 30m 的 Landsat8 遥感影像数据,由地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>)提供免费下载。将数据输入 ENVI5.2 中,波段计算出归一化植被指数 NDVI,其值在-1 和 1 之间。计算表达式如下,公式中 NIR 表示近红外波段,R 表示红光波段。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

根据郴州市绿地规划现状,在市域范围内选取公共绿地和专用绿地范围内的样方,基于 Landsat8 的像元精度 30m 的特点,设置 30m×30m 的标准样方 35 个(表 1),同时确保样方间距大于 30m。在树木生长季(夏季),使用 HEMIVIEW 数字冠层分析系统进行叶面积指数实测。采样点分布如图 1a,样方内的测量点如图 1b。将实测的 LAI 值在 ArcGIS10.2 中进行坐标匹配,然后提取样方点的 NDVI。进一步在 SPSS 中进行相关分析,将获得的数据建立 LAI-NDVI 回归方程。从表 2 可以看出,三次多项式模型的 R² 最高,拟合情况最好,S 曲线函数模型的 R² 最低,拟合曲线如图 1c。最后运用函数 $y=1.122+0.577x+34.287x^2-33.92x^3$ 在 ENVI5.2 中获得叶面积指数(LAI)的分布情况。

表 1 样点分类及分布

大类	小类	样点位置
	公园绿地	北湖公园、东塔烈士公园、南塔公

		园、木 子岭公园、苏仙桥游园
街道绿地		郴州大道、青年大道、国庆南路、北湖路、龙泉路
公共绿地	广场绿地	火车站广场、五岭广场、西站广场、北湖 区政府广场、苏仙福地广场
	风景区	苏仙岭、南岭、石榴湾、王仙岭、月形山
	居住区绿地	华宁花园、安康银苑、北湖一号、沁园山 庄、龙凤嘉园
专用绿地	学校绿地	市一中、市六中、湘南学院、北湖实验中学、工业交通学校
	单位附属绿地	园林处、水厂、第一人民医院、国土局、 财政局

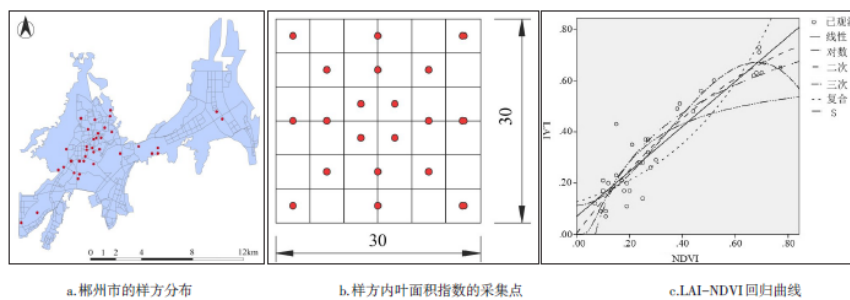


图 1 郴州市样方分布、采集点示例及 LAI-NDVI 回归曲线

表 2LAI-NDVI 回归模型

回归模型	回归方程	R	F 统计量	Sig. F
线性模型 (LIN)	$y=8.778x+0.694$	0.865	212.083	.000
对数模型 (LOG)	$y=7.214+2.717\log(x)$	0.827	158.155	.000
二次多项式模型 (QUA)	$y=0.034+13.494x-5.723x^2$	0.875	112.495	.000
三次多项式模型 (CUB)	$y=1.122+0.577x+34.287x^2-33.92x^3$	0.885	79.812	.000
复合函数模型 (COM)	$y=1.262 \cdot 13.143x$	0.708	80.188	.000
S 曲线函数模型 (S)	$y=e(1.878-0.168/x)$	0.663	64.909	.000

1.2 街道绿视率计算

在百度地图全景静态图 API 中，设置图片大小和坐标等，发送 HTTP 请求获得全景图片 1。通过修改“Width 图片宽度”“Height 图片高度”“Location 街景位置”“FOV 全景角度”参数可以得到郴州市内任意位置的街景图片。整个数据爬取的过程在 PyCharm 中实现。

为了测试每个样本点的街景图片数量对该点绿视率的影响,以郴州市龙泉路为例,选取 1.1km 范围内的 22 个样本点,基于双眼的水平视角最大可达 188 度的特点,分别截取每个样本点的街景图像 2 张(水平视角 180°),4 张(水平视角 90°),6 张(水平视角 60°)和 8 张(水平视角 45°),形成 360° 水平全景(图 2)。将各个角度街景图片的绿视率相加,除以街景图的数量,得到最终绿视率平均值。结果表明在同一样本点上,街景图像 2 张(水平视角 180°)的绿视率最低,其次是 4 张(水平视角 90°),6 张(水平视角 60°)和 8 张(水平视角 45°)的绿视率数值较高,且两者差值较小。从效率和精准度上考虑,研究在每个街景点 6 张街景图,分别取 0°、60°、120°、180°、240°、300°、360° 六个方向,即需要设置 6 个角度的参数, Pitch=0°、FOV=60°、Heading 值分别为 0°、60°、120°、180°、240°、300°。

研究路网总长度为 242.5km,以 50m 间距设采样点获取街景图片(图 3),采样点共计 6362 个。去除隧道和桥梁上的无效街景点,共计获取街景图片 37956 张。通过对图片的语义分析(图 4),分割出图片中绿色植物的部分,除以街景图总面积,进一步分别算出每张街景图片的绿视率。最后将所得绿视率值相加,除以 6 得到平均值。郴州市道路景观树种普查统计表明,常绿树种比例(85.16%)远高于落叶树种(14.84%),在本次研究中将忽略因秋冬季节树叶落叶导致街道绿视率被低估的情况。

2 结果与分析

从图 5a 看出,郴州市的归一化植被指数在 0~0.90 之间,平均值为 0.64,68%城区面积内 NDVI 值高于 0.41,21%城区面积 NDVI 值低于 0.20,总体植被覆盖情况较好。中心片区(桂门岭片区、人民路片区、三里田片区、旧城片区、东湾片区)植被覆盖程度较低,东部工业区(高新产业片区、东河南片区、东河北片区、白水片区)的植被覆盖相对均匀分布。九子塘片区、七里洞片区和磨心塘片区是 ND-VI 高值区域(NDVI>0.37),其中九子塘片区的 ND-VI 值大于 0.51。叶面积指数在 1.12~6.70 之间(图 5b),平均值为 3.71。九子塘片区、七里洞片区、磨心塘片区和白水片区叶面积指数较高(LAI>3.88),而高新产业片区和东河片区则数值较低(LAI<0.26)。

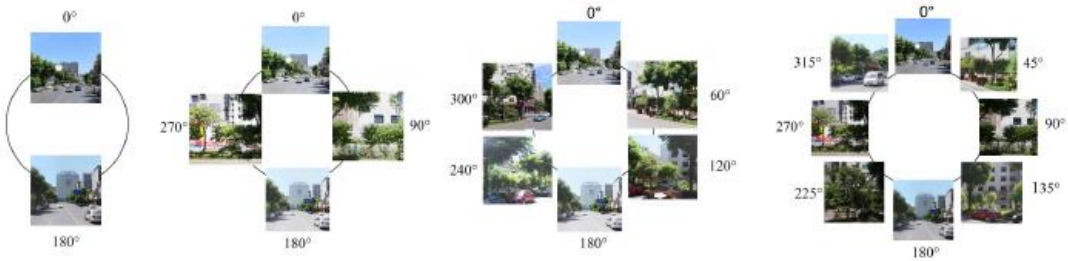


图 2 郴州市坐标 113.03224, 25.780781 (龙泉路) 的街景多角度取样示意

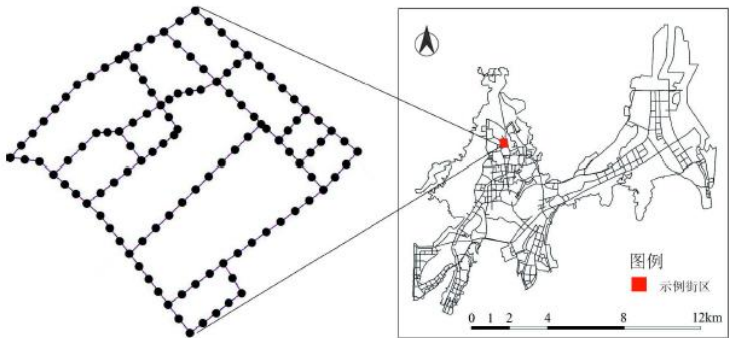


图 3 郴州市 50m 间隔的街景点分布



图 4 郴州市街景图片语义分析示意

郴州市内的街道绿视率变化较大，位于 0%~81.30%。有研究表明，绿色在人的视野中大于 24%时，人感觉最为舒适^[17]。郴州市内街道中有 66%的样本点绿视率水平高于 24%，21%的样本点绿视率在 15%~24%之间，13%的样本点绿视率水平低于 15%。老城中心平均 GVI 适中（25.85%），而标准差较高（4.87），说明老城区存在局部街道绿化建设不够完善的情况。从图 6 看出，总体呈现外围街道的绿视率高，城区内部绿视率较低的情况。将每个坐标的绿视率值（图 6a）在 GIS10.2 中配准后，算出街道绿视率平均值（图 6b）。中行路（69.95%）、马石矶街（64.65%）、协作路（63.09%）、五岭大道涌泉小学路段（62.33%）、香花路（57.47%）的绿视率高，燕子前路（7.25%）、兴隆路（7.56%）、桔园路（8.16%）、惠兴路（8.74%）、国庆北路（8.97%）的绿视率较低。

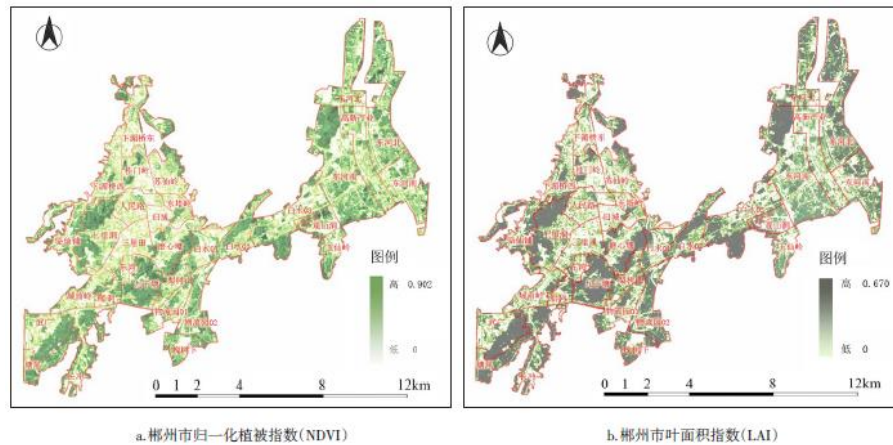


图 5 郴州市归一化植被指数和叶面积指数

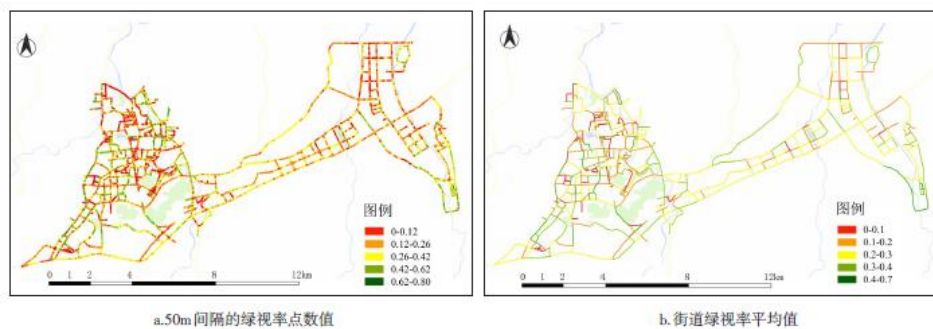


图 6 郴州市绿视率点值及平均值

2.1 片区尺度分析

为了探究绿地的综合特征，在 GIS 中将获得的数据通过空间分析工具生成表格，然后统一连接到郴州市片区图层，得到归一化植被指数、叶面积指数和绿视率值在各个片区单元中的平均值（图 7）。郴州市城区主要分为西部老城区（旧城、城前岭和槐树下组团）和东部新城区（白水和河东组团）。老城区的 NDVI 平均值为 0.3, LAI 平均值 3.23，均低于新城区（NDVI=0.39, LAI=4.12），说明新城区的总体植被覆盖和植被结构优于老城区。而老城区的平均绿视率（25.85%）与新城区（25.84%）相近，代表郴州市整体街道绿视率情况较好。除去没有街景图片的城前岭组团，对其他组团的 NDVI 均值和 GVI 均值进行 Pearson 相关性分析，结果显示 $P>0.01$ ，表示郴州植被覆盖和街道绿视率相关性没有统计学意义，原因是土地利用和城市密度的不同，郴州市很多区域的植被覆盖指数与街道绿视率不匹配，同时也证明传统的绿地指标不能全面衡量绿化环境。NDVI 和 LAI 的 Pearson 相关性分析结果显示 $P=0.002<0.01$ ，相关系数为 0.63，表现出强相关，说明两者的分布上近似，主要体现在植被覆盖率高的公园湿地等区域，同时也有丰富的植被群落结构。相对而言，具有生态和居住功能的片区三项指标优于单纯居住功能的片区，单纯商业功能的片区数值最低。

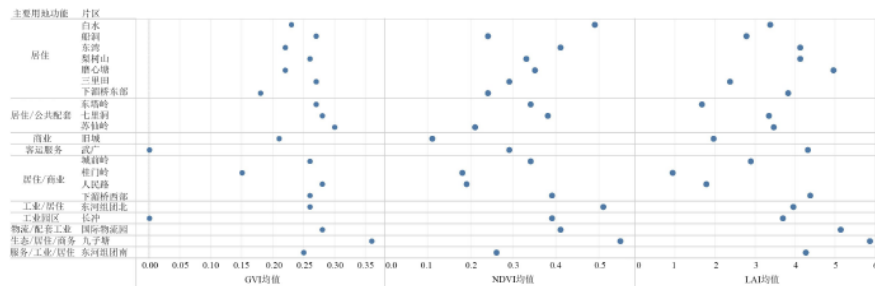


图 7 郴州市片区绿地指标统计

2.2 街区尺度分析

DNVI 和 LAI 指标囊括了所有绿地类型，包括公园、湿地和农田等，而 GVI 只代表街道绿化，且获取街景数据的范围有限。为了进一步匹配三类数据，将样本平均值统计到街区尺度。在 GIS 平台中将 NDVI 和 LAI 数据在 GVI 数据的路网中均值化，并将数值划分五个层级，然后与 GVI 统计结果叠加（图 8）。从图 7 看出，在整个市区范围内，城市外围的街区有较高的植被覆盖率和植被丰富程度，市中心则反之。街道的绿视率则与用地性质、用地开发程度的关联度较大，与城区位置的相关性较小。总的来说，郴州市绿地综合情况较好的地块主要是办公用地和居住用地，教育科研用地和工业用地绿化情况次之。

中心城区的街道总体呈现平均绿视率值适中，植被覆盖率和叶面积指数较低。原因是中心城区的建筑较为密集，挤占了二维的绿地面积，例如兴隆古玩街地块、郴州市第一人民医院地块和天润天城小区地块的植被覆盖值均小于 0.11，绿化覆盖情况较差。城中心的北湖公园街区周边绿视率情况较好，公园内部植被覆盖率高，形成良好的自然生态环境，但与周边的商业用地（主要是老旧市场）和少数居住用地连接街道的绿视率较低。郴州北部的温泉路附近虽然植被覆盖数值较高，有农田湿地，但是周边部分地产生工地的路段没有行道树，街道绿视率低。可见，郴州市作为生态环境良好的“林城”，二维视角下自然资源良好，具有大面积的公园和密林区域。但在三维视角下，部分居民区、商业区和公共服务区附近街道绿化情况良莠不齐，也未能与块状绿地形成连通的绿地网络。主要原因是随着城市发展，部分中心城区老街为了拓宽车行空间，挤占人行道和行道树的空间。城市外围部分区域处于从自然环境向建设用地的转换中，植被覆盖率降低，且周边的街道绿化发展不完全，未来这些街区都可成为优先提升绿化的空间。

街道绿视率比植被覆盖率能更准确地表示市民接受绿化环境的程度。提升街道绿视率，不仅可以改善市民周围环境美感的感知度，还可以促进市民的主动出行行为^[18]。已有研究表明，街道绿视率与绿带宽度和绿化密度成正相关，与路幅宽度成负相关，且相关系数较大^[19]。统计的郴州市 25 条主要道路中（图 9），三板四带和两板三带式道路虽然所占比例少，但统计结果显示

绿视率较高。一板两带的道路所占总数的比例较高，在同种街道植被配置形式下，呈现道路越宽，绿视率越小的趋势。因此，为了提高郴州街道绿视率，应重点关注城区中常见的一板两带式道路，丰富绿化配置的形式，增加植物的种植密度，尽量使用多层植物配置。道路宽度充裕的情况下，适量增加绿带的数量和宽度，以提高街道绿视率。

3 结论与讨论

3.1 结论

从研究结果来看，以片区和街区为基本统计单位，采用街景和遥感数据相结合的方法，从多维度量化绿地的角度，得到了以下主要认识：

(1) 在片区尺度上，植被覆盖指数与叶面积指数呈现强相关，但是与街道绿视率的关联性较小，原因是土地利用和城市密度的不同，导致很多区域的植被覆盖指数与街道绿视率不匹配，同时也证明传统的绿地指标不能全面衡量绿化环境。郴州市中心城区的植被覆盖度低于城市外围，因为城市中心建筑密集，压缩了绿地空间，而城区外围依托木子岭山、骆仙山和郴江，形成的公园和湿地植被覆盖率高，植被群落丰富，有良好的绿地景观。

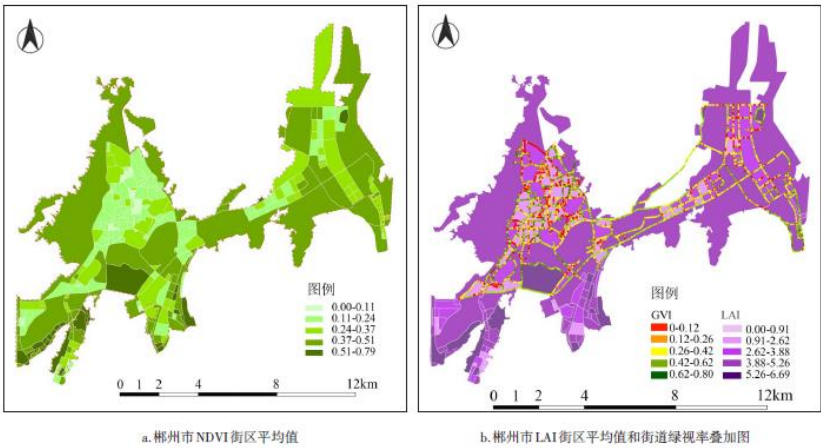


图 8 郴州市 NDVI 街区平均值及 LAI 街区平均值与街道绿视率的叠加图

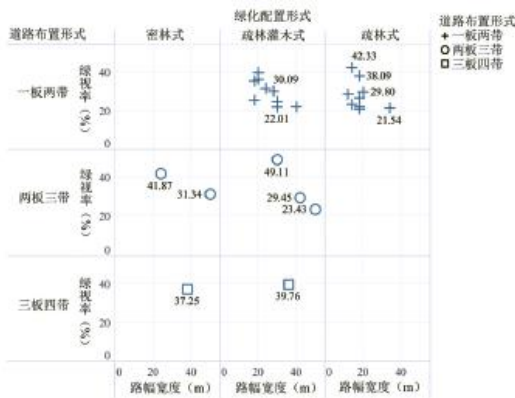


图 9 郴州市 25 条主要道路的绿视率

(2)在街区尺度上,绿地综合指标较好的是办公用地和居住用地,教育科研用地和工业用地绿化情况次之;中心城区的街道绿视率的标准差较高,植被覆盖率和叶面积指数普遍较低,外围城区三类指标适中。原因是用地属性及地块开发情况一定程度上影响街道绿视率。部分中心城区老街为了拓宽车行空间,挤占人行道和行道树的空间。正在建设和未建成地块的周边道路一般不能形成较好的街道绿化,导致街道绿视的连续性较差。

(3)郴州市主要道路在植被配置形式一致的情况下,绿视率与街道宽度成反比。在中心城区建筑密度高的区域应注重街道绿视率的增加。重点关注老城区中常见的一板两带式道路,丰富绿化配置的形式,增加植物的种植密度,尽量使用多层植物配置。

3.2 讨论

街道绿化是城市景观和生态系统的重要组成部分,提供市民最直接的健康生存环境。研究中未能发现 GVI 与 NDVI、GVI 与 LAI 之间具有较强的相关性,证明传统的绿地指标植被覆盖指数和叶面积指数可以描述城市绿化覆盖和植被结构情况,但是不能衡量街道绿视率,从三维视角获得市民对绿化的感知程度。通过自动化的工作流程对街景图片进行几何变换和简单图像分析,可以大规模地描述街道绿视率,扩充了绿地量化的维度。通过建立综合三项指标的数据库,可以提供绿地区位、性质、规模、绿视率、树种和植被群落等信息,有助于确定城市缺乏绿化的空间,为城市规划者提供重要参考,从而为制定改善城市绿化的方案和最大限度地提高城市绿地的生态服务提供帮助。

参考文献:

- [1]李露,姚崇怀. 不同类型城市绿地的绿量研究[J]. 中国园林, 2015, 31 (9) :17-21.
- [2]Liu Y, Meng Q, Zhang J, et al. An effective Building Neighborhood Green Index model for measuring urban green space[J]. International Journal of Digital Earth, 2015, 9(4) :387-409.
- [3]刘琳. 基于 RS 和 GIS 的半干旱地区城市绿化三维量测算研究[D]. 兰州:西北师范大学, 2006.
- [4]Huang F, Chen L, Yin K, et al. Object-oriented change detection and damage assessment using high-resolution remote sensing images, Tangjiao Landslide, Three Gorges Reservoir, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77 (5) : 183.
- [5]德鹏, 郭祥. 植被指数的应用研究综述[J]. 林业调查规划, 2009, 34 (2) :48-52.
- [6]方秀琴, 张万昌. 叶面积指数 (LAI) 的遥感定量方法综述[J]. 国土资源遥感, 2003, 15 (3) :58-62.
- [7]惠凤鸣, 田庆久, 金震宇, 等. 植被指数与叶面积指数关系研究及量化分析[J]. 遥感信息, 2003 (2) :10-13.
- [8]王希群, 马履一, 贾忠奎. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24 (5) :537-541.
- [9]邓小军, 王洪刚. 绿化率绿地率绿视率[J]. 新建筑, 2002 (6) :75-76.
- [10]Villeneuve P J, Ysseldyk R L, Ariel R, et al. Comparing the Normalized difference vegetation index with the Google Street View measure of vegetation to assess associations between greenness, walkability, recreational physical activity, and health in Ottawa, Canada[J]. International Journal of Environmental Research and Public

Health, 2018, 15(8):17-19.

[11]赵庆,唐洪辉,魏丹,等. 基于绿视率的城市绿道空间绿量可视性特征[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(2):288-294.

[12]Li X J, Zhang C R, Li W D, et al. Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index[J]. Urban Forestry&Urban Greening, 2015, 14(3):675-685.

[13]龙瀛. 街道城市主义新数据环境下城市研究与规划设计的新思路[J]. 时代建筑, 2016(2):128-132.

[14]Seiferling I, Naik N, Ratti C, et al. Green streets-Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 165:93-101.

[15]童滋雨. 城市绿地配置的量化方法研究[D]. 南京:南京大学, 2011.

[16]肖希. 澳门半岛高密度城区绿地系统评价指标与规划布局研究[D]. 重庆:重庆大学, 2017.

[17]肖希, 韦怡凯, 李敏. 日本城市绿视率计量方法与评价应用[J]. 国际城市规划, 2018, 33(2):98-103.

[18]Yi Lu, Using Google Street View to investigate the association between street greenery and physical activity[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 191:103435.

[19]吴立蕾, 王云. 城市道路绿视率及其影响因素——以张家港市西城区道路绿地为例[J]. 上海交通大学学报:农业科学版, 2009, 27(3):267-271.

注释:

1 例如 <http://api.map.baidu.com/panorama/v2?ak=UvPg7MmV3Pixkmz6x3W5XEbrrlCjAng7&width=300&height=300&location=113.009484,25.766633&fov=60> 的 URL 表示一张坐标在经度 113.009484, 纬度 25.766633, 宽度 300 mm, 高度 300 mm, 全景角度为 60 度的街景图。