

基于高分二号遥感影像的城市植被三维绿量研究

Research of 3D Green Quantity of Urban Vegetation Based on GF-2 Remote Sensing Image

易 扬 张桂莲* 张 浪* 邢璐琪 江子尧 郑谐维 林 勇
Yi Yang ZHANG Guilian* ZHANG Lang* XING Luqi JIANG Ziyao ZHENG Xiewei LIN Yong

基金项目:

国家重点研发计划“城市与区域生态环境决策支持系统与一体化管理模式”(编号: 2017YFC0505706)

上海市科委科研计划项目“上海‘四化’生态网络空间区划及其系统构建关键技术研究示范”(编号: 19DZ1203300)

上海市经济和信息化委员会信息化专项“基于融合感知的城市绿地智能监测与质量评估系统研制”(编号: 201901024)

文章编号: 1000-0283 (2020) 11-0002-06

DOI: 10.12193/j.laing.2020.11.0002.001

中图分类号: TU986

文献标识码: A

收稿日期: 2020-09-10

摘要

三维绿量能反映城市植被的空间分布特征, 为城市绿化管理提供科学的数据支撑。本文利用上海市闵行区2014年高分二号遥感影像, 运用面向对象的监督分类方法进行植被类型划分, 通过计算植被指数, 提取纹理信息, 建立多元线性回归模型, 对研究区植被三维绿量进行反演。结果表明, 研究区三维绿量总值为0.04 km³, 单位面积平均三维绿量为1 073.65 m³/hm²; 香樟林是研究区的主要植被类型, 占比58.50%; 研究区北部和南部植被覆盖较为茂密, 中部偏低。

关键词

城市植被; 遥感; 三维绿量; 模型反演

Abstract

The 3D green quantity can reflect urban vegetation's spatial distribution characteristics and provide scientific data support for urban greening management. This paper used the 2014 GF-2 remote sensing image of Minhang District, Shanghai, and utilized the object-oriented supervised classification method to classify the vegetation types. By calculating the vegetation index, extracting texture information, and establishing a multiple linear regression model, the 3D green quantity of the vegetation in the study area was inverted. The results showed that the total 3D green quantity of the urban forest is 0.04 km³, and the average 3D green volume per unit area is 1073.65 m³/hm². *Cinnamomum camphora* community accounted for 58.50% of the forest types in the study area, which was the primary vegetation community. The vegetation index indicated that the vegetation cover is dense in the north and south of the region and that in the central part is lower.

Key words

urban vegetation; remote sensing; 3D green quantity; model inversion

易 扬

1990年生/女/江苏泰州人/博士/上海交通大学博士后/研究方向为景观生态学、城市可持续发展(上海200439)

张桂莲

1976年生/女/山西太原人/博士/上海市园林科学规划研究院碳汇中心主任, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心、城市困难立地生态园林国家林业局重点实验室高级工程师/研究方向为林业碳汇计量监测、城市绿地系统生态网络研究(上海200232)

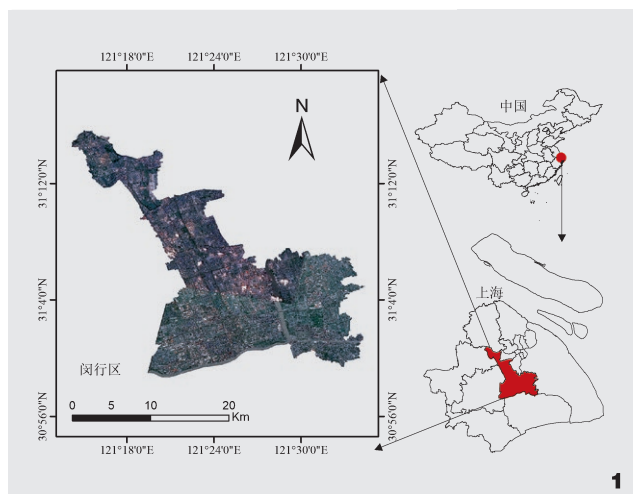
张 浪

1964年生/男/安徽人/博士/教授级高级工程师, 博士生导师/上海领军人才、享受国务院特殊津贴专家/上海市园林科学规划研究院院长, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心主任, 城市困难立地生态园林国家林业局重点实验室主任/主要从事生态园林规划设计与技术研究/本刊主编(上海200232)

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: zgl@shsyky.com; zl@shsyky.com

遥感技术广泛应用于植物生理参数计算、生态环境质量反演、水资源调查评估和灾情监测等方面^[1-3]。随着卫星和无人机搭载成像仪的快速发展, 高分遥感影像资料得到广泛应用, 为城市植被分布特征、质量评估和价值估算提供了重要的数据支撑^[4]。三维绿量指绿色植物的茎、叶所占据的空间体积, 是重要的绿化环境效益评价指标^[5]。利用遥感技术定量反演城市植被的三维绿量, 能反应城市植被的生态效益水平^[6]。周廷刚等建立了植被几何特征与三维绿量的关系, 并反演了宁波市的三维绿量, 建立了常见树种的相关模型^[7]。



1. 研究区域

2. 上海闵行体育公园绿化景观

谢丽琼等利用卫星影像结合地面实测数据建立多元线性回归方程,反演了北京市八达岭林场的三维绿量^[6]。董艳杰和万福绪测算了上海市公园绿地典型林分三维绿量与生态效益之间的关系,结果表明林分的生态效益与绿量呈显著正相关关系^[9]。这些研究都表明利用遥感技术对城市植被三维绿量进行测算,能在大尺度上对城市植被结构组成、空间分布和生态价值进行快速评估,具有时效性强和数据采集成本较低的优势。

本文以上海市闵行区为研究对象,利用高分二号(GF-2)遥感影像,建立特征样本,对不同植被类型进行分类,统计闵行区的植被组成情况;利用不同波段计算区域植被指数,分析闵行区植被生长状况特征;根据调查的不同植被参数,估算和反演研究区的三维绿量分布特征,对区域的空间绿化情况进行统计分析。研究结果为城市绿化工作提供及时、准确和高效的植被三维绿量信息,对区域规划、绿地管理和决策指导有现实意义。

1 研究区概况

上海市闵行区(图1)位于北纬 $31^{\circ}12'$ 、东经 $121^{\circ}38'$,总面积 372.56 km^2 ,辖9个镇、4个街道、1个市级工业区、445个居民委员会、128个村民委员会,东临徐汇区、南临奉贤区、西接松江区、北靠长宁区^[10]。闵行区属于亚热带季风气候,土壤类型为水稻土,植被类型区为北亚热带常绿和落叶

阔叶林。据中国气象站1981年至2010年累年数据显示,闵行区年平均气温为 $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均晴天约为137 d,平均降水量为 $1\,180.7\text{ mm}$,60%集中在5-9月的汛期,年平均相对湿度为78%,无明显旱季,具有明显的季风特征,风向为东北,平均风速为 2.8 m/s ^[11]。据上海市闵行区人民政府统计,2018年闵行区森林覆盖率为17.14%,新建绿地为 150 hm^2 ,城市人均公园绿地面积为 $10.20\text{ m}^2/\text{人}$ ^[12]。研究区内常见树种主要有香樟(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides* Hu et W. C. Cheng)、雪松(*Cedrus deodara* (Roxburgh) G. Don)、垂柳(*Salix Babylonica*)、银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)、槐(*Sophora japonica* Linn.)、广玉兰(*Magnolia grandiflora* L.)、泡桐(*Paulownia fortune* (seem.) Hemsl.)、落羽杉(*Taxodium distichum* (Linn.) Rich.)、栎树(*Koelreuteria paniculata* Laxm.)等(图2)。

2 研究方法

2.1 数据收集和处理

本研究数据主要为GF-2遥感影像数据(包含1个全色波段、4个多光谱波段)(表1)^[13]和实地调查数据。遥感影像数据预处理在ENVI 5.3软件中完成,主要包括辐射定标、正射校正、辐射校正、大气校正和图像裁剪拼接;实地调查数据结合研究区植物分布特征,选取8种典型植被类型:雪松、香樟、柳树、水杉、其他杉木、其他针叶类、其他软阔类和其他硬阔类,收集

表1 高分2号卫星影像参数介绍

载荷	谱段号	谱段范围 (μm)	空间分辨率 (m)	幅宽 (km)	侧摆能力 (°)	重访时间 (d)	其他参数
全色 多光谱	1	0.45-0.90	1	45	± 35	5	轨道类型：太阳同步回归轨道
	2	0.45-0.52					轨道高度：631 km
	3	0.52-0.59	4				轨道倾角：97
	4	0.63-0.69					降交点地方时：10:30 am
	5	0.77-0.89					回归周期：69 d

样地和树种的基本情况，主要包括郁闭度、株行距、株数，不同树种的树冠形状、冠高、冠幅、树高、胸径、枝下高等。

2.2 绿量计算

采用面向对象的监督分类方法，结合样地调查，对遥感影像进行植被分类。使用2013年的森林资源二类调查数据进行验证，总体分类结果的精度为75%，Kappa指数为0.73。

绿量的计算方法很多，本文采用“立体量推算立体量”的方法，累加单株三维绿量来获得样地三维绿量^[4]。根据实际调查，上海市闵行区常见植物冠型包括球形、半球形、球缺形、圆锥形、圆柱形和卵形6种，三维绿量的计算公式如表2。

表2 常见树种树冠几何形态及三维绿量方程

序号	树冠形状	计算公式
1	卵形	$\pi x^2 y / 6$
2	圆锥形	$\pi x^2 y / 12$
3	球形	$\pi x^2 y / 6$
4	半球形	$\pi x^2 y / 6$
5	球缺形	$\pi(3x^2 y - 2y^3) / 6$
6	圆柱形	$\pi x^2 y / 4$

注：其中，x为冠幅，y为冠高。

2.3 模型建立

模型选取40个因子作为自变量，具体包括4个植被指数：归一化植被指数 (NDVI)、比值植被指数 (SR)、大气阻抗植被指数 (ARVI) 和结构不敏感色素指数 (SIPI)；4个波段 (蓝 (B)、绿 (G)、红 (R) 和近红外 (NIR)) 的8个纹理特征参数 (均值、方差、协同性、对比度、相异性、信息熵、二阶矩和相关性)。NDVI可以很好地指示植被的分布特征^[15]；ARVI通过对可见光中蓝波段的矫正，能规避大气中的散射影响 (例如气

溶胶带来的误差)^[16]；SR是近红波段和红波段的比值，对植被生长旺盛、高覆盖度的植被区域监测具有良好的指示作用^[17]；SIPI与类胡萝卜素和叶绿素有关，能指示植被冠层胁迫情况^[18]。纹理特征参数值基于灰度共生矩阵提取获得。灰度共生矩阵可以展现像元值在空间的相对位置，通过不同方法对灰度共生矩阵加权计算后可以得到相应的特征统计量来表征纹理空间结构^[19]。将波段、植被指数和纹理特征作为自变量，三维绿量作为因变量，采用逐步回归方法^[20]，建立不同植被类型的三维绿量模型，公式如下：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

式中， ε 是随机项，服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ ，如果 $(y_1, x_{11}, x_{21}, \dots, x_{k1}), \dots, (y_n, x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn})$ 是一个容量为n的样本，则有公式：

$$\begin{cases} y_1 = \sum_{j=0}^k \beta_j x_{j1} + \varepsilon_1 \\ \dots \\ y_n = \sum_{j=0}^k \beta_j x_{jn} + \varepsilon_n \end{cases} \quad (2)$$

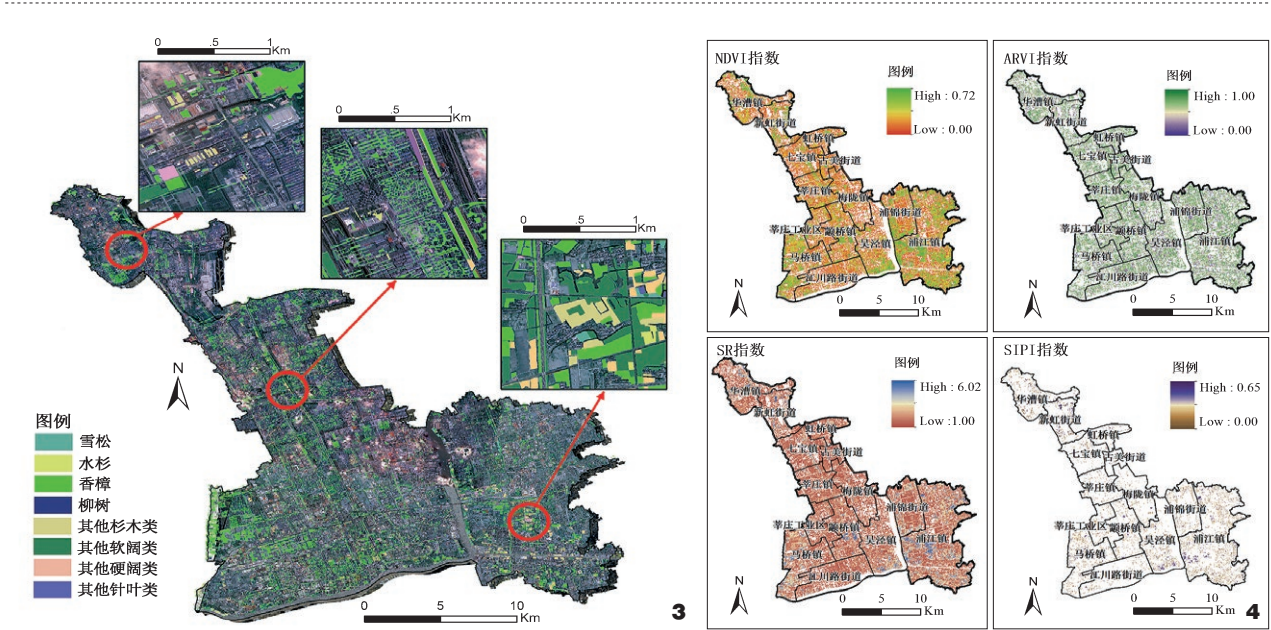
求出参数 β_j 的估计值 δ_j ($j=0, 1, \dots, k$)，从而得到y对 $x_1, \dots, x_k$ 的线性回归方程：

$$y = \delta_0 + \delta_1 x_1 + \cdots + \delta_k x_k \quad (3)$$

3 结果分析

3.1 城市植被空间分布及长势特征

根据遥感影像分类 (图3)，研究区植被占地总面积为 6 125.39 hm²，不同植被类型按面积从大到小排序依次为：香樟 (3 583.42 hm²)、其他软阔叶类 (1 195.64 hm²)、其他硬阔叶类 (776.02 hm²)、水杉 (184.4 hm²)、雪松 (159.19 hm²)、柳树 (91.36 hm²)、其他杉木 (80.00 hm²) 和其他针叶类 (55.36 hm²)。按空间分布特征，香樟主要分布在道路两旁和小区建筑周围，



3. 2014年闵行区植被覆盖分布特征
4. 2014年闵行区植被指数分布特征

水杉和其他杉木多集中分布在水域旁和公园绿地道路两旁，柳树多分布在水域周围，雪松、其他软阔叶类、其他硬阔叶类和其他针叶类树种无序穿插分布在研究区的各类建筑斑块中。总体来说，闵行区的主要植被类型为香樟林，占到整个研究区植被类型一半以上，是主要绿化类型。

植被指数直观反映植被长势特征（图4），研究区NDVI变化范围是0.00–0.72。其中，高值区域分布在闵行区的北部、西南和东南区域（华漕镇、新虹街道、虹桥镇、马桥镇、吴泾镇、颛桥镇、浦锦街道和浦江镇），这些区域植被长势良好且比较

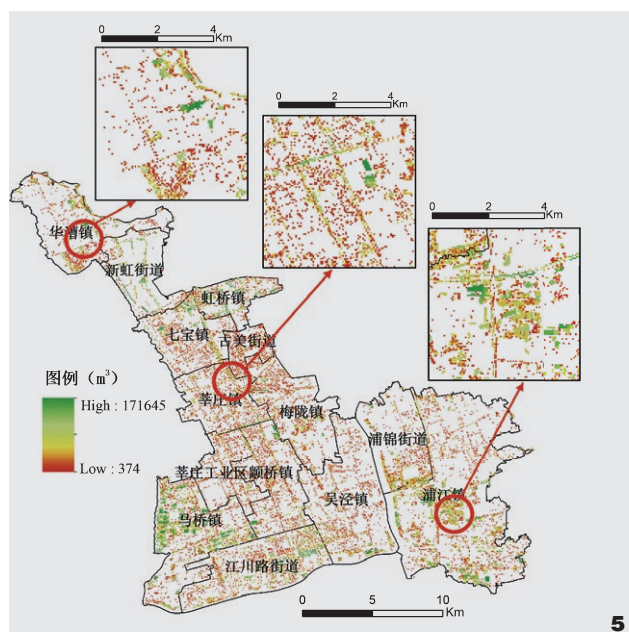
茂密。这次GF-2遥感影像受到大气散射影响不明显，质量较好，因此ARVI运算结果和NDVI基本一致。根据SR结果，闵行区植被盖度高值区域主要包含颛桥镇、浦锦街道和浦江镇，其中浦江镇高值分布最为明显。SIPI指数表明在新虹街道、吴泾镇和浦江镇出现高值，说明有部分植物可能受到生理胁迫，生长状况出现问题。

3.2 城市植被单株树木三维绿量

根据样地实测数据，统计不同林分特征（表3）。其中，平

表3 单株平均三维绿量计算结果

树种	树冠形状	冠高(m)	树高(m)	枝下高(m)	横冠(m)	纵冠(m)	三维绿量(m³)
雪松	圆锥体	5.95	6.81	0.86	3.08	3.33	15.97
水杉	圆锥体	7.49	10.53	3.04	3.89	3.54	27.01
香樟	球体	3.95	6.75	2.80	3.15	2.81	18.28
柳树	卵形体	4.73	7.74	3.02	2.99	2.59	19.19
其他杉木类	圆锥体	8.23	11.50	3.27	5.17	5.17	57.51
其他软阔叶类	圆锥体	3.58	5.22	1.64	3.73	3.42	11.92
其他硬阔叶类	卵形体	3.25	5.20	1.95	3.50	2.85	16.97
其他针叶类	球缺形	1.77	2.97	1.21	2.26	1.71	5.29



5. 2014年闵行区三维绿量分布图
6. 2014年闵行区三维绿量3D分布图
7. 上海闵行区黎安公园

均冠高从高到低依次为：其他杉木类 (8.23 m)、水杉 (7.49 m)、雪松 (5.95 m)、柳树 (4.73 m)、香樟 (3.95 m)、其他软阔叶类 (3.58 m) 和其他针叶类 (1.77 m)。其他杉木类 (3.27 m)、水杉 (3.04 m) 和柳树 (3.02 m) 的平均枝下高相差不大，高于其他植被类型。其他杉木类和水杉的平均树高最高，为 11.50 m 和 10.53 m，其次为柳树 (7.74 m)、雪松 (6.81 m)、香樟 (6.75 m)、其他软阔叶类 (5.22 m)、其他硬阔叶类 (5.20 m) 和其他针叶类 (2.97 m)。不同植被类型中树种的横冠和纵冠有所差异，其他杉木类最大 (横冠：5.17 m，纵冠：5.17 m)，其他针叶类最小 (横冠：2.26 m，纵冠：1.71 m)。研究区内大多数树种的树冠几何形态都是圆锥形，其次为卵形体，最后为球体和球缺形。通过树冠几何形态公式进行计算，不同林分类型内树种单株三维绿量从高到低依次为：其他杉木类 (57.51 m³)、水杉 (27.01 m³)、柳树 (19.19 m³)、香樟 (18.28 m³)、其他硬阔叶类 (16.97 m³)、雪松 (15.97 m³)、其他软阔叶类 (11.92 m³) 和其他针叶类 (5.29 m³)。

3.3 城市植被区域三维绿量

三维绿量反演结果显示 (图5)，闵行区三维绿量总值为

0.04 km³，单位面积三维绿量为 1 073.65 m³/hm²。研究区内三维绿量从高到低排序为：马桥镇、新虹街道、虹桥镇、浦江镇、华漕镇、江川路街道、七宝镇、浦锦街道、颛桥镇、吴泾镇、莘庄镇、梅陇镇、莘庄工业区和古美街道，空间分布特征和 NDI 指数计算结果基本一致。从三维绿量的区域分布特征来看，整个闵行区的中部地区，包括浦锦街道、颛桥镇、吴泾镇、莘庄镇、梅陇镇、莘庄工业区和古美路街道的三维绿量都不高，而西北部的华漕镇、新虹街道和虹桥镇，以及南部的马桥镇、江川路街道和浦江镇三维绿量较高。从三维绿量的均匀性来看，中部地区三维绿量值波动不大，而华漕镇、马桥镇、江川路街道和浦江镇存在局部高值区域 (图6)。

4 结论与讨论

上海市闵行区单位面积的三维绿量为 1 073.65 m³/hm²，且分布不均，中部地区较低，需进一步加强城市绿林地管理；华漕镇、马桥镇、江川路街道和浦江镇存在三维绿量高值区，植被密度和三维空间体积均较大，可对此区域内的植被进行保护，使其充分发挥生态服务功能。其他研究表明，

沈阳城区、宁波市、南京林业大学校园和合肥市环城公园单位面积的三维绿量分别为 $3\,500\text{ m}^3/\text{hm}^{2[21]}$ 、 $3\,284.4\text{ m}^3/\text{hm}^{2[7]}$ 、 $1\,612.93\text{ m}^3/\text{hm}^{2[22]}$ 和 $1\,519.92\text{ m}^3/\text{hm}^{2[23]}$ ，高于闵行区单位面积三维绿量。香樟作为长江以南地区的主要树种之一，与广玉兰、悬铃木和女贞等植物相比，吸滞重金属能力最强，且受环境变化的影响较小，有较强的应用普适性^[24]；与杜英、黄山栎树、悬铃木和无患子相比，滞尘能力最强^[25]。上海市闵行区植物组成情况表现为香樟最多（图7），占到植被组成的一半以上，说明香樟对研究区环境有良好的改善能力，其质量和长势对闵行区的三维绿量有很大的影响。结构不敏感色素指数SIPI在新虹街道、吴泾镇和浦江镇部分区域结果偏高，可能有植物受到生理胁迫，干旱、病虫害或其他影响植物健康生长的情况发生，需引起绿化管理者重视。

本文在建立三维绿量模型时，利用树冠体积估测方法，把不同的树种视为一个规则的几何体来进行计算，设定的研究区常见植物树冠形状，远少于实际类型，且多光谱卫星影像在林分类型识别上也有所欠缺^[26]。随着相关技术方法不断深入研究，如高光谱遥感和激光雷达等技术手段的结合应用，能准确获取树冠和树高信息，掌握单株植物的垂直结构情况，提高三维绿量的估测精度^[6]，可为城市绿地系统规划与管理提供更为科学的数据支撑。▲

参考文献

- [1] 周坚华, 孙天纵. 三维绿色生物量的遥感模式研究与绿化环境效益估算[J]. 环境遥感, 1995(03): 162-174.
- [2] LUO J, ZENG J, FU J, et al. Aircraft Target Recognition in Remote Sensing Images Based on Saliency Maps and Invariant Moments[M]. ICGG 2018 - Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics. 2019.
- [3] JAYAN W, THOMAS M, FRANK H, et al. Evaluation of 3D Point Cloud-based Models for the Prediction of Grassland Biomass[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 78: 352-359.
- [4] 陈小祥, 李嘉诚, 徐雅莉. 基于LiDAR点云数据的城市三维绿量分层测算方法研究[J]. 测绘工程, 2018, 27(09): 40-45.

- [5] 谢丽琼, 张晓丽, 宋金秀. 基于TM影像的森林三维绿量的遥感测算[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(01): 104-108.
- [6] 贺鹏, 易正晖, 王佳. 基于地面激光扫描点云数据测定树木三维绿量[J]. 测绘通报, 2013(S2): 104-107.
- [7] 周廷刚, 罗红霞, 郭达志. 基于遥感影像的城市空间三维绿量(绿化三维量)定量研究[J]. 生态学报, 2005(03): 415-420.
- [8] 谢丽琼, 邓星晗. 绿量的研究进展[J]. 林业调查规划, 2013, 38(05): 35-39.
- [9] 董艳杰, 万福绪. 基于三维绿量的林分生态效益测算与分析—以上海浦江郊野公园为例[J]. 水土保持研究, 2019, 26(03): 347-352.
- [10] 上海市闵行区地方志编纂委员会. 闵行年鉴 (2018) [M]. 上海: 上海三联书店, 2018.
- [11] 国家气象信息中心. 国家气象科学数据中心[EB/OL]. <http://data.cma.cn/>, 2019-01-31/2020-08-18.
- [12] 上海市闵行区人民政府. 闵行区人民政府工作报告[EB/OL]. http://xxgk.shmh.gov.cn/mhxxgkweb/html/mh_xxgk/qzfgzbg/2019-02-28/detail_61484.htm. 2019-01-31/2020-08-18.
- [13] 吴小娟, 肖展超, 崔振营, 等. “高分二号”卫星数据面向对象的海岸线提取法[J]. 航天返回与遥感, 2015, 36(04): 84-92.
- [14] 唐雪海. 北京市城六区三维绿量估算与分析研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [15] FENG L, ZHANG Z, MA Y, et al. Alfalfa Yield Prediction Using UAV-Based Hyperspectral Imagery and Ensemble Learning[J]. Remote Sensing, 2020, 12(12): 2028.
- [16] 赵婷. 陕北延河流域结构性植被盖度遥感模型研究[D]. 西安: 西北大学, 2013.
- [17] ZHOU Z, PLAUBORG F, PARSONS D, et al. Potato Canopy Growth, Yield and Soil Water Dynamics under Different Irrigation Systems[J]. Agricultural Water Management, 2018, 202: 9-18.
- [18] 杜朋选. 川滇高山栎叶片生理指标和反射光谱对水分胁迫的响应[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [19] 张鹏, 胡守庚. 地块尺度的复杂种植区作物遥感精细分类[J]. 农业工程学报, 2019, 35(20): 125-134.
- [20] 孙营伟. 基于高分2号遥感数据的三维绿量估算模型研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [21] 刘常富, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳城市森林三维绿量测算[J]. 北京林业大学学报, 2006(03): 32-37.
- [22] 陈荻, 李卫正, 孔文丽, 等. 基于低空高分辨影像的三维绿量计算方法—以南京林业大学校园为例[J]. 中国园林, 2015, 31(09): 22-26.
- [23] 王佩佩. 基于TLS和Landsat8的合肥市环城公园三维绿量估算研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
- [24] 郑瑶瑶, 李晓燕, 龙翠玲. 不同地域4种常用树种滞尘和吸滞重金属能力比较研究[J]. 地球与环境, 2020, 48(02): 268-278.
- [25] 代嘉慧, 孙方, 徐慧, 陈文浩. 杭州市常见绿化乔木滞尘能力分析[J]. 南方农业, 2018, 12(12): 164-166.
- [26] 唐雪海. 北京市城六区三维绿量估算与分析研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.