

基于 WebGIS 的红树林生态管理在线系统

张志 李瑞利[†]

北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 深圳 518055; [†] 通信作者, E-mail: liruli@pkusz.edu.cn

摘要 针对红树林生态数据日常管理及应用的需要, 基于 NodeJS 的 Express 框架、Leaflet 地图库、MySQL 数据库和 GeoServer 平台, 开发一套高效便捷的轻量级红树林生态管理在线系统。该系统集成了 GIS 技术、网络技术与数据库技术, 可以实现对红树林地面调查大数据的收集、统一、共享及可视化展示。将该系统应用于福田红树林, 分析主要虫害的爆发情况和相对健康状况的空间分布, 结果表明, 实验区和核心区虫害较轻, 缓冲区虫害较严重; 核心区红树林健康状况相对优于缓冲区和实验区。因此, 该系统可为红树林的生态保护提供全面准确的基础数据和科学决策支持, 有助于提高红树林保护部门的管理水平和管理效率。

关键词 红树林; 生态保护; WebGIS; NodeJS; 健康状况; 生态管理在线系统

Mangrove Ecological Management Online System Based on WebGIS

ZHANG Zhi, LI RuiLi[†]

School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055;

[†] Corresponding author, E-mail: liruli@pkusz.edu.cn

Abstract For the daily management and application of mangrove ecological data, this study developed an efficient and convenient lightweight mangrove ecological management online system based on the express framework of NodeJS, Leaflet map library, MySQL database and GeoServer platform. The system integrated GIS technology, network technology and database technology, and could realize the collection, unification, sharing and visual display of big data of mangrove ground survey. The health status of Futian mangrove forest and the spatial distribution of the pests were analyzed and visualized by the system. The results showed that the experimental area and the core area suffered less pests, while the buffer area suffered more serious pests. The health status of mangrove forest in the core area was higher than that in the buffer area and the experimental area. The system can provide comprehensive and accurate basic data and scientific decision support for mangrove ecological protection, and improve the management level and efficiency of mangrove protection department.

Key words mangrove; ecological protection; WebGIS; NodeJS; health status; ecological management online system

红树林是生长在热带和亚热带的海岸潮间带, 受周期性潮水浸淹, 以常绿灌木或乔木为主的耐盐木本植物群落^[1]。红树林具有较高的生态价值, 在海湾河口生态系统中发挥着重要作用^[2-3]。《中国湿地保护行动计划》(2000)优先启动项目中明确指出, 要“建立红树林湿地生态系统中动、植物多样性基础信息监测系统和信息管理系统”; 《广东省湿地保护条例》(2021 版)提出“应当建立湿地资源

调查监测评价制度, 建立湿地资源数据库并实现共享应用”, 大大提高政府红树林管理部门的工作效率, 实现红树林高效保护和合理开发利用。红树林保护和管理日益受到重视, 通过卫星遥感、无人机遥感和地面监测等手段, 可以获取大量不同来源的数据, 包括可见光、多光谱、高光谱等光谱信息和树木结构以及生化参数等地面监测数据^[4-5]。遥感技术在红树林监测研究普遍被采用, 并已应用于红

广东省海洋经济发展专项资金([2020]059)和深圳市自然科学基金(JCYJ20200109140605948)资助

收稿日期: 2022-07-17; 修回日期: 2023-03-07

树林空间分布^[6-7]、物种识别^[8-9]、碳储量^[10]和碳通量估算^[11]等研究。地面生态监测主要包括样方调查^[10]、水体和沉积物污染物监测^[12]和浮游动植物调查^[13]等。遥感技术、GIS 和地面真实数据的结合对研究红树林具有十分重要的价值^[14]。但是, 由于遥感数据及其相关的地面真实数据具有数据量大、数据来源多样、分散性高等特点, 难以获取利用。

当今生态资源、城市管理及交通物流等各个行业的 GIS 信息管理系统均呈现桌面端向网络端发展的趋势^[15-17], 但国内外对于红树林 WebGIS 系统的开发研究相对滞后。现有基于 GIS 的红树林研究多利用桌面端软件进行各类指标的时空分析, 或利用 ArcEngine 等工具进行桌面端软件的二次开发^[18]。如焦学尧等^[19]测定福田红树林保护区不同季节的水体水质指标, 并运用 ArcGIS 软件对其进行克里金空间插值, 实现水质时空分布的可视化表征, 并提出相应的防治措施。曹庆先等^[20]利用 ArcView 平台, 结合 Access 数据库进行二次开发, 设计基于 GIS 的广西红树林虫害信息管理系统。但是, 使用 GIS 桌面端软件需具备相应的运行环境及专业知识, 使用成本及门槛高, 不利于红树林生态数据的日常管理, 难以进行推广应用。

WebGIS 是 GIS 与网络的混合体, 具有数据透明、平台独立、交互性强和开发成本低等优点, 可以更好地对数据进行可视化展示, 并且用户可以直接通过网络浏览器访问。目前, 国内外仅 Jayakumar 等^[14]利用地形图和卫星影像对印度安得拉邦的红树林湿地进行测绘, 并利用开源软件开发了包含红树林地理空间信息的 WebGIS 系统。该系统仅整合了红树林相关遥感图像, 并进行红树林面积计算, 未能与红树林地面调查数据结合起来分析红树林的健康状况等信息。

本研究采用 NodeJS+Express 框架、Leaflet 地图库、GeoServer 平台和 MySQL 数据库等, 搭建高效便捷的轻量级红树林生态管理在线系统, 实现红树林地面调查大数据的整合、共享、定制化分析及可视化展示功能。将该系统应用于福田红树林国家级自然保护区的红树林虫害空间分布、红树林相对健康状况空间分布特征的分析与可视化展示。

1 研究区域、关键技术和数据来源

1.1 研究区域

本研究以深圳市福田区国家级红树林自然保护区(113°58'—114°05'E, 22°30'—22°34'N)为研究对象。

研究区域位于深圳湾东北方向, 长约 9 km, 自西北向东南呈带状分布, 红树林面积约为 111 hm², 与香港米埔红树林保护区隔深圳湾相望^[21]。研究区域内主要的红树植物种类有秋茄(*Kandelia obovata*)、白骨壤(*Avicennia marina*)、桐花树(*Aegiceras corniculata*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)、无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)和海桑(*Sonneratia caseolaris*)等^[22]。保护区外围以住宅区和服务业为主, 人口密度高, 由于其处于城市中心的独特地理位置, 福田红树林受人类活动的影响较大^[21]。

根据功能不同, 福田红树林保护区自西北向东南可划分为实验区、缓冲区和核心区^[19,23]。实验区允许科研人员与游客进入, 主要用于开展科研、教育和参观考察等活动, 受到一定程度的人类活动影响。缓冲区是从湿地到陆地的过渡地带, 是各种动物及鸟类的觅食区。核心区是保护区(红树林部分)的主体和核心, 是红树林生长最茂盛的地区, 是许多冬候鸟的栖息地和觅食地, 也是当地多种鸟类的繁殖地。缓冲区与核心区均不允许人员进入, 受人类活动影响较小。凤塘河口西北主要为实验区, 东南为缓冲区和核心区(图 1)。

1.2 关键技术

WebGIS 系统采用 B/S (Browser/Server) 模式开发, 是当前 GIS 发展的一个重要方向^[15-17]。为了实现更快的开发速度和更好的性能, 该系统采用基于 JavaScript 的 NodeJS 平台技术, 系统使用的关键技术如表 1 所示。



图 1 研究区域及监测样点分布

Fig. 1 Study area and distribution of monitoring sample points

表 1 系统的关键技术
Table 1 System key technology

关键技术	特点与功能
NodeJS	事件驱动 I/O 服务端的 JavaScript 环境, 基于运行在服务器上的 GoogleV8 引擎, 具有速度快、性能好的优点。Express 是一个兼具灵活和简洁的 NodeJS Web 应用框架, 其核心特性包括可设置中间件来响应 HTTP 请求、定义路由表用于执行不同的 HTTP 请求动作以及可通过向模板传递参数来动态渲染 HTML (Hyper Text Markup Language) 页面 ^[24-26]
Leaflet	开源的 JavaScript 库, 用于移动友好的交互式地图, 通过小型化和轻量化来满足移动网页的需要。用户可以通过调用 API (application programming interface) 访问 Leaflet 提供的服务, 例如创建、浏览、编辑、渲染地图以及一些常用的空间分析功能。其核心框架是 Map 类, 在 Map 类中可以添加图层、空间、标注以及与其绑定的响应事件 ^[27-28]
MySQL	最流行的关系型数据库管理系统 (relational database management system, RDBMS), 在 Web 应用方面是最好的 RDBMS 应用软件之一。MySQL 数据库可通过 NodeJS 直接访问 ^[29-30]
GeoJSON	一种使用 JavaScript 对象表示法 (JavaScript Object Notation, JSON) 对地理特征数据进行编码的格式。提供了一种表示特征属性和空间范围的方法, 其对象包括几何特征、属性或者属性集。GeoJSON 具体定义了点、线、面等几何特征类型, 属性信息包括几何对象及附加信息。GeoJSON 是基于 JSON 的数据格式, 可被几乎所有的 JavaScript 框架解析 ^[31-32]

1.3 数据来源

本研究使用的虫害统计数据、红树林覆盖度数据和水体化学需氧量(COD)数据由福田红树林保护区管理局提供。虫害统计数据以单位面积主要害虫八点广翅蜡蝉的总量为统计指标, 随机抽取单位面积的红树林主要树种秋茄、白骨壤、木榄和桐花树嫩枝(长 8~10 cm), 计数所取枝条的虫孔。红树林覆盖度为红树林覆盖面积与样地总面积之比, 通过人工测量直接获取。水体化学需氧量采用的监测方法和标准严格按照《中华人民共和国海洋监测规范》(GB 17378—2007)和《中华人民共和国海水水质标准》(GB 3097—1997)执行, 采用碱性高锰酸钾滴定法, 测定水体的 COD。实验区、缓冲区和核心区均分布有监测样点(图 1)。

2 系统设计

2.1 总体设计

红树林生态管理在线系统的主要目的是对红树林数据进行集成和应用, 完成红树林调查项目的浏览、显示、空间分析和分析评价等可视化功能, 为红树林污染状况、虫害信息和健康状况等地理空间显示和分析提供技术支持。该系统基于 B/S 架构, 采用前后端一体化方式开发策略, 前端 GIS 接口采用组件化思想构建。如图 2 所示, 整个系统包括以下架构: 用户层、视图层、服务层、逻辑层和数据层。

2.2 数据库设计

系统实现数据统一的基础是建立统一的数据库标准, 然后对数据进行管理和操作, 包括数据存

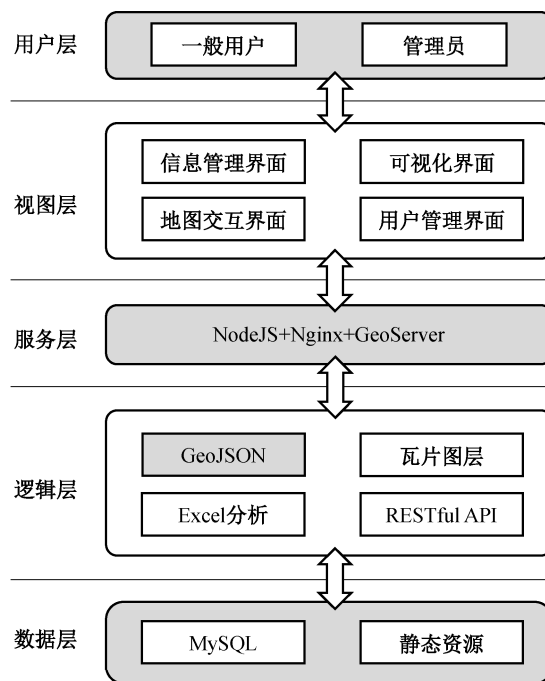


图 2 系统整体架构图

Fig. 2 System overall architecture diagram

储、维护、提取和集成。因此, 有效地存储和管理地理空间数据是 WebGIS 开发的关键。本系统选用 MySQL 数据库进行数据存储, 选用 GeoServer 平台进行地图服务的发布, 实现空间数据与非空间数据的集成管理, 为前端 WebGIS 应用功能开发提供强有力的支持。

系统数据可分为空间数据、属性数据和文档数据。空间数据主要指点、线、面等矢量图形数据以及插值得到的栅格数据等描述空间信息的数据; 属

性数据主要指与地理实体相联系的地理变量或地理意义,以表格形式表达的数据,包括各监测点经纬度、环境因子信息、红树林覆盖度和红树植物胸径等;文档数据包括日志和照片等。存储时,针对不同的数据采用不同的策略。空间数据利用 Geo-Server 进行发布;属性数据直接以数据表的形式存储到 MySQL 数据库中;文档数据采用文件目录的形式存储在统一的文件数据库中,其路径存储到数据库中,以便调用。

2.3 系统功能设计

系统的功能架构分为4个部分:数据管理、数据交互、数据分析和数据显示,每个部分相互独立,可以通过接口相互连接。功能结构如图3所示。

数据管理部分提供管理空间数据和红树林地面调查数据等,实现数据的添加、删除、修改和查看等基本操作。数据交互部分根据用户对地图基本操作的需求,提供基本的交互显示和监测点选择、查询和弹出等功能。数据分析部分实现数据的插值分析和缓冲区分析等功能。数据显示部分可显示各监测点调查及分析结果、热图显示和三维显示等。

3 系统实现与应用

3.1 系统实现

本研究基于B/S架构,集合GIS技术、网络技术和数据库技术,实现具有红树林地面调查数据管理与展示、虫害分布状况空间分析和红树林相对健康状况空间分析与可视化展示等功能的红树林生态管理在线系统。系统的主界面如图4所示。

3.2 红树林地面调查数据的统一管理 with 可视化

红树林地面调查数据主要包括红树植物的经纬度、株高、胸径和冠幅等,其中经纬度数据是重要的识别参数,将其作为主键存储在 MySQL 数据库中。本研究采用前后端一体化的开发策略,MySQL 数据库中的地面调查数据难以直接显示在地图中,因此本系统通过改进“缓存表”技术,实现更高效的数据读取功能。

首先利用 RESTful API 中的 GET 请求,获取数据库中的红树林地面调查数据,并存入页面中隐藏的<table>表格中。利用 JavaScript HTML DOM,读取“缓存表”<table>中的地面调查数据,显示在主界面的地图中,不直接生成缓存文件。主界面加入卫星地图影像作为底图,可进行区域范围内的整体地形和地貌展示,同时支持气泡弹窗展示功能(图5(a))。为更清晰地展示红树林地面调查数据,系统采用 JavaScript 开源库 Echarts,解析展示后台发送来的结果数据集。红树林地面调查数据可视化展示如图5(b)所示。

3.3 红树林调查数据的定制化空间分析与可视化——红树林虫害空间分布示例

本研究以单位面积主要害虫八点广翅蜡蝉的总量为统计指标,使用克里金插值法^[33-34],获取保护区虫害整体的空间分布状况,从图6所示可以看出,福田保护区单位面积八点广翅蜡蝉的总量为82.43~100.93个/m²,实验区和核心区受虫害状况较轻,缓冲区虫害状况较为严重,可能是由于缓冲区分布较多的白骨壤,而白骨壤极易受到虫害威胁^[21]。保

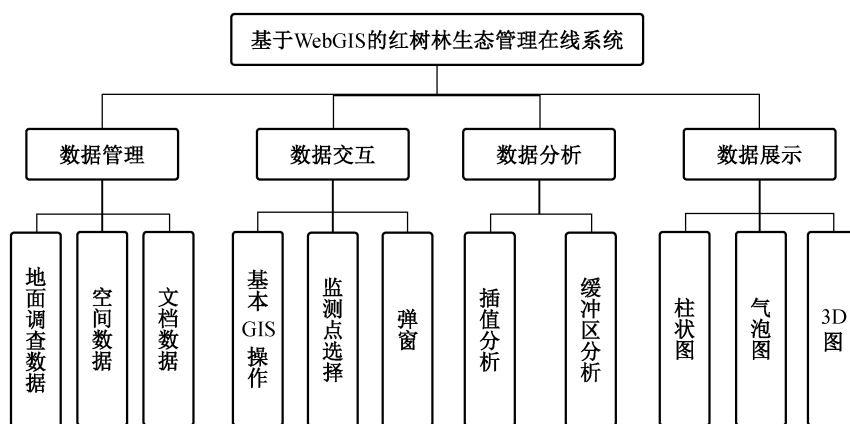


图3 系统的功能结构图

Fig. 3 Functional structure diagram of the system

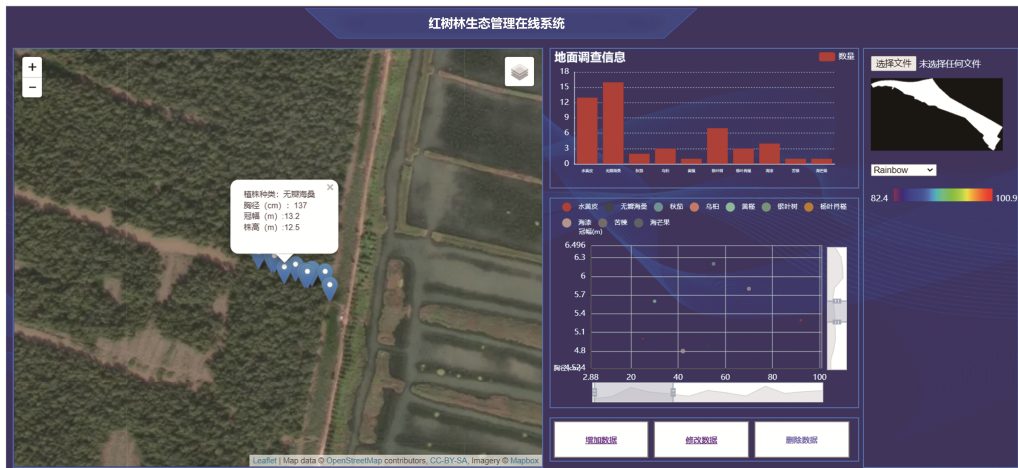
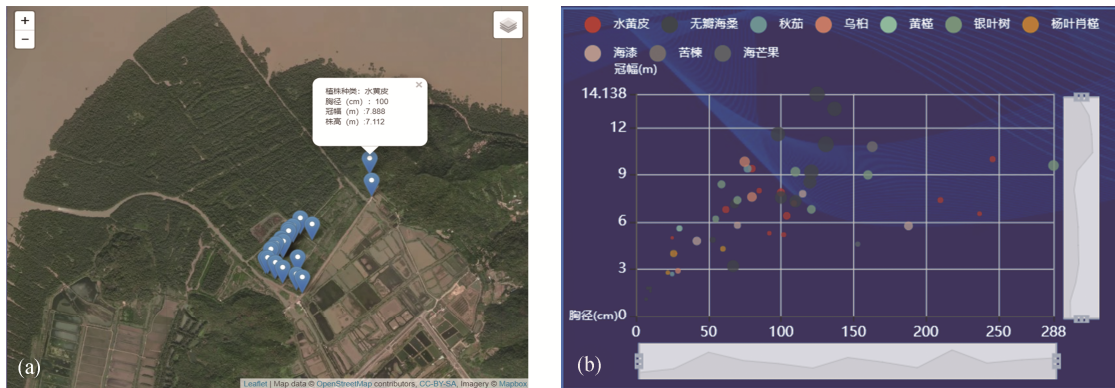


图 4 系统主界面
Fig. 4 System main interface



(a) 地形和地貌展示; (b) 可视化展示, 不同的颜色代表不同的物种, 纵横坐标分别表示胸径和冠幅, 气泡大小代表红树植株高度。

图 5 红树林地面调查数据展示
Fig. 5 Mangrove ground survey data display

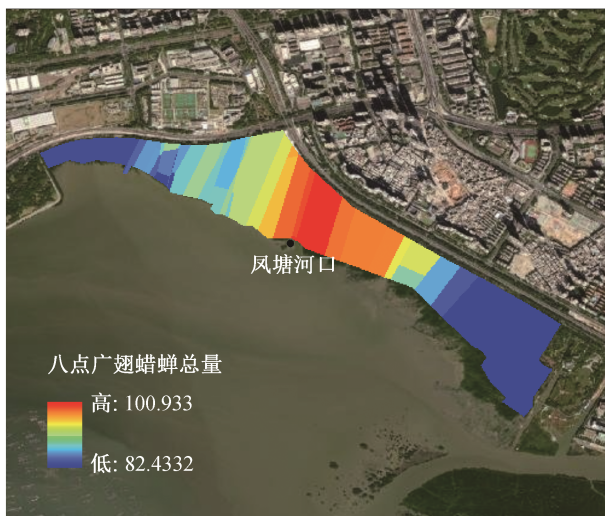


图 6 红树林虫害的空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of pests

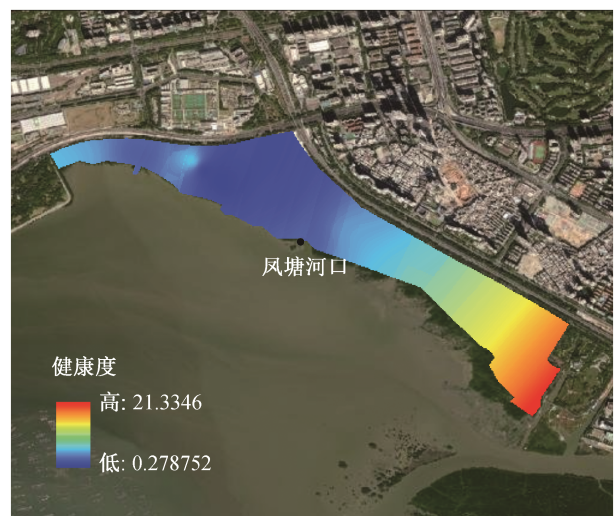


图 7 红树林健康状况的空间分布
Fig. 7 Spatial distribution of mangrove relative health status

护区管理部门应采取措施,如物理诱捕和生物防治等^[35],重点对缓冲区的虫害进行治理。

3.4 红树林调查数据综合分析可视化——红树林健康评价示例

目前,对红树林健康状况评价的研究多利用综合性的红树林生态系统健康指数。张月琪等^[21]基于 PSR 模型和层次分析法,获得淇澳岛、米埔、南沙和福田红树林的健康指数分别为 3.05, 3.03, 2.54 和 2.13;王树功等^[36]基于湿地生态系统健康理论和压力-状态-响应模型,通过分析得出淇澳岛红树林湿地生态系统总健康指数为 0.6580。本研究基于地面调查获得的生物指标(害虫数量和红树林覆盖度等)和非生物指标(水体化学需氧量等)以及相应的空间插值,利用健康度(H)指标对红树林健康状况的空间分布进行量化分析,可以反映空间内任意一点的红树林健康状况。

$$H = \frac{CR}{COD \times S}, \quad (1)$$

CR 为单位面积红树林覆盖度; COD 为水体化学需氧量(mg/L); S 为单位面积八点广翅蜡蝉总量(个/m²); CR, COD 和 S 均做 min-max 标准化处理。

如图 7 所示,福田保护区红树林整体健康度为 0.28~21.33。其中,实验区和缓冲区红树林健康度比核心区低,这是由于核心区受人类活动影响小,红树林生长最茂盛,覆盖度高。同时,核心区毗邻香港米埔红树林(米埔红树林的保护工作开展时间早,香港于 1950 年将米埔红树林划为发展“限制地区”^[21]),因此核心区受到更少的外部影响,红树林健康度更高。已有研究表明,实验区和缓冲区的有机污染和重金属污染高于核心区^[19,23],生境状况较差,也与本研究核心区健康度高于实验区和缓冲区的结论一致。

4 结论与展望

本研究基于 GIS 技术、网络技术和数据库技术,采用 NodeJS 平台的 Express 框架和 Leaflet 地图库,使用 MySQL 数据库和 GeoServer 平台来存储和发布数据,开发了高效便捷的轻量级网页端(Web-GIS)红树林生态管理在线系统。

该系统解决了数据库中的地面调查数据难以直接在地图中显示的难题,具有轻量级、强通用性和可迁移性、低运行环境和专业知识限制(低用户门

槛)优势,并已在福田红树林保护区初步应用。结果表明,该系统可以有效地整合地面调查数据和遥感数据,并能够对实验区、核心区和缓冲区的虫害状况和健康状况进行空间分析与可视化展示。

利用该系统分析和展示红树林调查数据,可以有效地降低信息化建设和运营成本,提高管理部门的管理效率和管理水平,为红树林的生态保护提供全面而准确的基础数据和科学决策支持。未来,可进一步开发移动端在线系统,加入更丰富的功能模块,并进行深入的专业测试,更好地满足红树林保护和管理的现实需求。

参考文献

- [1] Heumann B W. Satellite remote sensing of mangrove forests: recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 2011, 35(1): 87–108
- [2] Silinski A, Schoutens K, Puijalon S, et al. Coping with waves: plasticity in tidal marsh plants as self-adapting coastal ecosystem engineers. *Limnology and Oceanography*, 2018, 63(2): 799–815
- [3] 沈小雪, 关淳雅, 王茜, 等. 红树林生态开发现状与对策研究. *中国环境科学*, 2020, 40(9): 4004–4016
- [4] Wang L, Jia M M, Yin D M, et al. A review of remote sensing for mangrove forests: 1956–2018. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 231: 111223
- [5] 王福涛, 于仁成, 李景喜, 等. 地球大数据支撑海洋可持续发展. *中国科学院院刊*, 2021, 36(8): 932–939
- [6] 贾凯, 陈水森, 蒋卫国. 粤港澳大湾区红树林长时间序列遥感监测. *遥感学报*, 2022, 26(6): 1096–1111
- [7] Feng Z Y, Tan G M, Xia J Q, et al. Dynamics of mangrove forests in Shenzhen Bay in response to natural and anthropogenic factors from 1988 to 2017. *Journal of Hydrology*, 2020, 591: 125271
- [8] 徐逸, 甄佳宁, 蒋侠朋, 等. 无人机遥感与 XGBoost 的红树林物种分类. *遥感学报*, 2021, 25(3): 737–752
- [9] Cao J J, Leng W C, Liu K, et al. Object-based mangrove species classification using unmanned aerial vehicle hyperspectral images and digital surface models. *Remote Sensing*, 2018, 10(1): 89–108
- [10] Wang D Z, Wan B, Liu J, et al. Estimating aboveground biomass of the mangrove forests on northeast Hainan Island in China using an upscaling method from field plots, UAV-LiDAR data and Sentinel-2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and*

- Geoinformation, 2020, 85: 101986
- [11] Zulueta R C, Oechel W C, Verfaillie J G, et al. Aircraft regional-scale flux measurements over complex landscapes of mangroves, desert, and marine ecosystems of Magdalena Bay, Mexico. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2013, 30(7): 1266–1294
- [12] Yu L Y, Li R L, Chai M W, et al. Vertical distribution, accumulation, and characteristics of microplastics in mangrove sediment in China. *Science of the Total Environment*, 2022, 856(2): 159256
- [13] 陈叶花, 李俊杰, 谢恺琪, 等. 福田红树林生态公园浮游植物群落结构季节变化特征. *湿地科学与管理*, 2021, 17(3): 8–12
- [14] Jayakumar K, Selvam V, Prabavathy V R. A WebGIS-based study for managing mangroves of Godavari Wetland, Andhra Pradesh, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2019, 47(12): 2027–2045
- [15] 黄寿昌. 基于WebGIS的森林资源动态监测及预警系统. *沈阳农业大学学报*, 2013, 44(3): 341–344
- [16] Coletti A, De Nicola A, Di Pietro A, et al. A comprehensive system for semantic spatiotemporal assessment of risk in urban areas. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 2020, 28(3): 178–193
- [17] Li Z D, Li D. Data visualization and interaction of urban traffic logistics management system using WebGIS. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022: 9347247
- [18] 曹萌. 基于GIS的红树林寒害实时监测预警系统的设计与实现[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016
- [19] 焦学尧, 李瑞利, 沈小雪, 等. 基于GIS的福田红树林水环境健康评价. *海洋湖沼通报*, 2021, 43(3): 151–158
- [20] 曹庆先, 范航清, 刘文爱. 基于ArcView GIS的广西红树林虫害信息管理系统的构建. *广西科学院学报*, 2010, 26(1): 27–31
- [21] 张月琪, 张志, 江鲲鹏, 等. 城市红树林生态系统健康评价与管理对策——以粤港澳大湾区为例. *中国环境科学*, 2022, 42(5): 2352–2369
- [22] 沈小雪, 李瑞利, 柴民伟, 等. 深圳湾红树木榄根系生物量及空间分布格局. *广西植物*, 2016, 36(4): 379–386
- [23] 牛志远, 沈小雪, 柴民伟, 等. 深圳湾福田红树林区水环境质量时空变化特征. *北京大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(1): 137–145
- [24] Kozhakhmet K T, Atymtayeva L B. Core methods of development platform for expert system for audit of information security. *Bulletin of Kazakh National Technical University*, 2013, 6: 149–155
- [25] Brown E. Node与Express开发. 北京: 人民邮电出版社, 2015
- [26] 王伶俐, 张传国. 基于NodeJS+Express框架的轻应用定制平台的设计与实现. *计算机科学*, 2017, 44(增刊2): 596–599
- [27] Alberdi I, Laka M, Olaizola I. Review of consolidated web mapping technologies for the management and visualization of multiple geospatial data layers // Bandrova T, Konecny M. *International conference on cartography and GIS. Bulgaria: Riviera*, 2014: 86–95
- [28] 胡达天, 胡庆武. 基于开源系统的跨平台地图客户端开发. *测绘科学*, 2015, 40(7): 142–145
- [29] Long L R, Goh G H, Neve L, et al. Architecture for biomedical multimedia information delivery on the World Wide Web. *Proceedings of the SPIE—The International Society for Optical Engineering*, 1997, 3229: 160–169
- [30] 蔡音亭. 湿地自然保护区水鸟监测数据管理系统设计和初建. *湿地科学与管理*, 2022, 18(2): 22–26
- [31] Park Y J, Lee K. Application of GeoJSON to Geospatial Web Service. *Korean Journal of Remote Sensing*, 2008, 24(6): 613–620
- [32] 鲁东民, 王忠明, 付贺龙. 基于网络地理信息系统的林业资源统计数据可视化系统设计. *世界林业研究*, 2017, 30(3): 46–51
- [33] 张优, 王娟, 张杰, 等. GIS与地统计学的土壤水分空间插值方法. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 42(5): 703–710
- [34] 乔金海, 潘懋, 金毅, 等. 基于Kriging方法的天然地基承载力三维模拟及分析. *北京大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(5): 812–818
- [35] Wilson K, Benton T G, Graham R I, et al. Pest control: biopesticides' potential. *Science*, 2013, 342: 799
- [36] 王树功, 郑耀辉, 彭逸生, 等. 珠江口淇澳岛红树林湿地生态系统健康评价. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 391–398