

王海云, 匡耀求, 文薪荐, 林小波, 何晔宇, 陈泽锋. 2022. 基于多源数据的广东省自然保护区人为干扰强度评价. 生态学杂志, 41(10): 2026–2034.

Wang HY, Kuang YQ, Wen XJ, Lin XB, He YY, Chen ZF. 2022. Evaluation of human disturbance in nature reserves of Guangdong based on multi-source data. *Chinese Journal of Ecology*, 41(10): 2026–2034.

基于多源数据的广东省自然保护区人为干扰强度评价

王海云^{1,2,3,4} 匡耀求^{5*} 文薪荐^{2,3} 林小波^{2,3} 何晔宇^{1,4} 陈泽锋⁶

(¹中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; ²广东省国土资源测绘院, 广州 510500; ³自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室, 广州 510500; ⁴中国科学院大学, 北京 100049; ⁵暨南大学环境学院, 广州 511443; ⁶广州大学地理科学与遥感学院, 广州 510006)

摘要 人为干扰威胁自然保护区的珍稀及濒危野生动植物。测度人为干扰强度对自然保护区的保护工作意义重大。本文基于高分遥感影像识别 2015 和 2019 年广东省省级以上自然保护区人为干扰景观, 构建人为干扰强度指数, 定量评价保护区人为干扰景观的时空变化特征, 并采用腾讯用户密度数据进行对比验证。结果表明: (1) 广东省省级以上自然保护区人为干扰强度总体不大, 空间分布不均, 呈东北较强、西南较弱的分布态势; (2) 研究期内广东省省级以上自然保护区人为干扰强度下降明显, 下降幅度高达 81.8%。地形和交通等区位条件较好区域, 人为干扰强度相对较强, 且基本农田和人口占比越高的自然保护区, 强度越大; (3) 人为干扰强度评价结果与腾讯用户密度值具有一致性, 强度越大, 用户密度值越高, 且位于城区或进行旅游开发的保护区具有更高的活跃度。

关键词 自然保护区; 人为干扰强度; 高分辨率影像; 腾讯位置大数据; 广东省

Evaluation of human disturbance in nature reserves of Guangdong based on multi-source data. WANG Haiyun^{1,2,3,4}, KUANG Yao-qiu^{5*}, WEN Xin-jian^{2,3}, LIN Xiao-bo^{2,3}, HE Ye-yu^{1,4}, CHEN Ze-feng⁶ (¹Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; ²Institute of Land Resource Surveying and Mapping of Guangdong Province, Guangzhou 510500, China; ³Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, Guangzhou 510500, China; ⁴University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ⁵School of Environment, Jinan University, Guangzhou 511443, China; ⁶School of Geographical Sciences and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China).

Abstract: Human activities threaten the rare and endangered wildlife in nature reserves. Satellite remote sensing technology has advantages of high accuracy and objectivity in monitoring human activities in nature reserves. Tencent is the largest messaging and social media platform in China, with broad coverage. Tencent user density (TUD) dataset is thus a useful proxy of dynamic population distribution with the advantages of real-time and efficient. In this study, we identified the artificially disturbed landscapes in the national and provincial nature reserves in Guangdong Province in 2015 and 2019 based on the high-resolution remote sensing images. We quantitatively evaluated the spatiotemporal variations of the artificially disturbed landscapes in the nature reserves using a disturbance intensity index. We further used TUD data for comparison and verification. The results showed that: (1) The intensity of human disturbance in the nature reserves was not high in general. The spatial distribution was uneven, with a high intensity in the northeast and a low intensity in the southwest. (2) From 2015 to 2019, the disturbance index of human decreased by 81.8%. The intensity of human disturbance was relatively strong in the areas with good geographical conditions in terrain and traffic. The higher the proportion of basic farmland and population density, the greater the intensity was. (3) The evaluation results of human disturbance intensity were consistent with the TUD data. The higher the human disturbance intensity, the higher the TUD was. Nature reserves in urban areas and

广东省科技计划项目(2021B1212100003 和 2018B020207002)和广东省普通高校创新团队项目(2020KCXTD005)资助。

收稿日期: 2021-10-08 接受日期: 2022-05-23

* 通讯作者 E-mail: Kuangyaoqiu@jnu.edu.cn

with tourism development had higher TUD.

Key words: nature reserve; human disturbance intensity; high-resolution satellite image; Tencent user density; Guangdong.

人类生存环境依赖于生物多样性和生态系统的服务功能(傅伯杰等,2017)。随着工业化和城镇化的快速推进,人类对生态环境的扰动不断增加,自然栖息地面临的威胁越来越大(赵晓同等,2020)。为保护生态环境和珍稀濒危物种及其栖息地,中国于1956年开始建立自然保护区(郑姚闽等,2012)。截至2018年,中国大陆地区已有自然保护区2750个,数量、面积居世界前列,但整体生物多样性下降的趋势未得到根本遏制(杨锐等,2018),外来物种入侵及矿业活动、旅游设施、道路建设等人为干扰普遍存在(Larson *et al.*, 2016; 黄宝荣等,2020)。而这些人为干扰正是造成生境破碎化加剧和生态系统功能退化的重要因素之一(傅伯杰等,2021),直接威胁到保护区内的物种生存和生态系统稳定性(Foley *et al.*, 2005; McDonald *et al.*, 2008; 张跃等,2012)。因此,科学评估自然保护区内的人为干扰强度及驱动因素,对于自然保护区的科学规划和自然景观的有效恢复具有重要参考价值。

人为干扰是生态系统胁迫风险的主要来源,在新时代绿色发展理念下,人为干扰强度的定量测度与空间分析逐渐成为国内外相关领域的研究热点。研究人员从不同尺度开展研究,Sanderson等(2002)提出人类影响指数(HII)模型,通过人口密度、土地利用、交通可达性和电力设施4个方面的指标,得到全球范围的人为活动强度,该方法得到了广泛应用,但由于全球采用统一标准,忽略了地域性差异。国内,文英(1998)最早建立了自然、经济和社会三方面的指标体系,量化了全国30个省的人为干扰强度,张翠云等(2004)、王金哲等(2009)对该方法进行改进,在区域、流域等尺度开展实践应用。这些研究受限于以行政区为研究单元,在揭示人为干扰的空间异质性方面存在不足。随着遥感与地理信息技术的发展,梁发超等(2011)、陈琳等(2017)以多期Landsat遥感影像为主要数据源,从土地利用或景观角度出发评估人为干扰强度。该方法实现了人为干扰强度的空间化,但受限于传感器空间分辨率,对分布离散、细小、破碎的斑块识别具有一定局限性。目前也有关于自然保护区人为干扰的研究,如高吉喜等(2021)、刘晓曼等(2020)、曹巍等(2019)、徐网谷等(2015)量化了中国国家级自然保护区人为活动,

顾羊羊等(2019)、刘晓龙等(2018)探讨了单个保护区人为干扰规律,张洪云等(2015)对省级自然保护区人为活动进行监测,但整体上相关研究较少。此外,随着信息和通讯技术的快速发展,电子通讯设备的定位功能为人类足迹的动态监测提供了精准、实时的数据源(Degrossi *et al.*, 2018; 裴韬等,2019)。许珺等(2020)利用腾讯位置大数据,研究了青藏高原在旅游淡季和旺季的人为活动。吴中元等(2019)基于大数据开展人口空间化研究。以上研究表明,采用大数据能够直接反映区域内人群实时聚集程度和实际分布特征,是基于社会统计数据 and 遥感影像数据的有效补充。

广东是我国第一个建立自然保护区的省份,自然保护区的数量在全国各省份中最高。同时,广东是中国经济最发达的省份之一,人口产业高度密集,人类活动剧烈,生态系统所受到的胁迫更强(赵广华等,2013)。已有研究论证了广东省自然保护区内存在不同程度和范围的人为干扰(何克军等,2005),但研究多侧重宏观层面管理有效性评估(高岚等,2012),或针对单个自然保护区的调查研究(高誉珈,2020),采用多源数据定量评估保护区人为干扰强度的研究较少。此外,中国国产高分系列卫星在结构复杂的工矿用地、较破碎的居民点用地等信息识别上体现出明显优势,成为复杂环境下高精度信息识别的重要途径(江东等,2016)。鉴于此,本文以广东省省级以上自然保护区为研究对象,将高分辨率遥感技术与大数据相结合,定量评估和动态监测2015—2019年人为干扰强度及分布,并利用腾讯用户密度数据进行交叉验证,以期为维护保护区的生态安全、优化管理决策提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

广东位于中国大陆东南部,北依南岭、南临南海,地处 $20^{\circ}13'N$ — $25^{\circ}31'N$ 和 $109^{\circ}45'E$ — $117^{\circ}20'E$ 。属热带、亚热带季风气候区。地势北高南低,地貌以山地、丘陵占优势。气候多样,野生动植物资源丰富,享有“北回归线上的绿洲”和“岭南物种宝库”的美誉。根据第三次全国国土调查,全省陆地面积 $17.97 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占全国陆地面积的1.87%,其中,

表1 各类自然保护区数量、面积和名称

Table 1 Number, area and name of various nature reserves

类别 Classification	数量 Number	陆域面积 Land area (km ²)	名称 Name of nature reserve
自然生态系统类 Natural ecosystem reserves	54	4805	珠三角:陈禾洞、古兜山、七星坑、鼎湖山、西江烂柯山、大稠顶、三岳、黑石顶、罗浮山、象头山、古田、南昆山、莲花山白盆珠、内伶仃岛-福田、淇澳-担杆岛 粤北:南岭、沙溪、车八岭、南山、高坪、青云山、乳源大峡谷、云髻山、大瑶山、杨东山十二度水、小流坑-青嶂山、阴那山、丰溪、七目嶂、龙文-黄田、长潭、铁山渡田河、大桂山、白溪、枫树坝、黄牛石、黄石坳、康禾、新港、清新白湾、佛冈观音山、笔架山、板洞、石门台、田心、同乐大山 粤东:南澎列岛、潮安凤凰山、桑浦山-双坑
野生动植物类 Wildlife reserves	18	765	粤西:湛江红树林、徐闻珊瑚礁、百涌、鹅凰嶂、云开山 珠三角:珠江口中华白海豚、台山中华白海豚、上川岛猕猴、西江珍稀鱼类、大亚湾水产资源、惠东港口海龟 粤北:粤北华南虎、罗坑鳄蜥、北江特有珍稀鱼类、龙牙峡、连南大鲵 粤东:南澳候鸟、海丰鸟类、陆河花鰻鲡、南万红锥林 粤西:雷州珍稀海洋生物、南鹏列岛、林洲顶鳄蜥
自然遗迹类 Nature relics reserves	6	310	珠三角:怀集桥头燕岩 粤北:丹霞山、南雄恐龙化石群、河源恐龙化石 粤东:潮安海蚀地貌、海山海滩岩田

林地面积约 $10.92 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国林地面积的 3.84%。全省共 21 个地级市, 分为 4 个区域: 珠江三角洲、粤东、粤西和粤北。2019 年, 全省实现地区生产总值 10767 亿元, 经济总量保持全国第一。常住人口共 11521 万人, 城镇化率 71.40% (<http://stats.gd.gov.cn/>)。

截至 2019 年, 全省共有省级以上自然保护区 78 个, 覆盖的陆域面积约 5880 km^2 , 占全省陆域面积的 3.3%。空间上北多南少, 50.6% 集中在粤北。保护重点为南亚热带常绿阔叶林、沿海红树林等生态系统、丹霞地质遗迹和国家重点保护野生动植物物种。各自然保护区按主要保护对象可划分为三大类(表 1)。按照《自然保护区条例》(中华人民共和国国务院, 1994) 要求, 划分为核心区、缓冲区和实验区, 陆域面积分别为 2327、1634 和 1919 km^2 。除珠江口中华白海豚自然保护区(不占用陆域)外, 本文对广东 77 个保护区陆域人为干扰进行研究, 研究范围如图 1 所示。

1.2 数据来源

研究采用的腾讯用户密度数据来源于腾讯公司位置大数据平台 (<https://heat.qq.com>)。相关报告显示, 截至 2020 年底, 腾讯位置服务日均定位请求已超过 1100 亿次, 覆盖用户超过 10 亿 (<https://cloud.tencent.com/solution/lbs>), 90% 定位请求精度 $< 22.5 \text{ m}$, 定准成功率达 99.3% (袁源等, 2021)。本文获取了 2020 年 4 月 28 日—5 月 10 日保护区每小时的腾讯位置点数据, 利用核密度分析法转为 500 m 分辨率的腾讯用户密度数据。进而计算得到该研究时间段内 08:00—24:00 的平均用户密度数据。

研究采用的高分辨率影像及其他资料如表 2 所示。

1.3 研究方法

1.3.1 基于景观类型的人为干扰强度及变化率

人为干扰景观指与农业生产、工矿开采、交通等

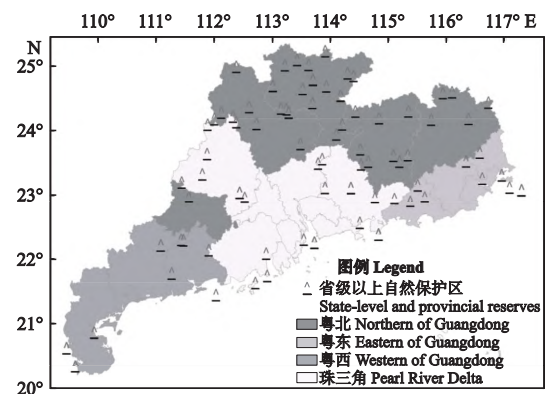


图1 广东省省级以上自然保护区空间分布

Fig.1 Spatial distribution of state-level and provincial nature reserves in Guangdong Province

表2 研究中用到的其他数据信息

Table 2 Additional spatial data used in this study

数据 Data	分辨率 Resolution	年份 Years	来源 Sources
GF-1	2 m	2015	自然资源部国土卫星遥感应用中心
GF-2	1 m	2019	自然资源部国土卫星遥感应用中心
自然保护区 Nature reserves	-	2019	政府部门
基本农田 Primary farmland	-	2017	政府部门
气温、降水 Temperature, precipitation	1 km	2019	国家地球系统科学数据中心 (http://www.geodata.cn/)
广东省统计年鉴 Guangdong statistical year-book	-	2019	广东统计信息网 (http://stats.gd.gov.cn/)

人为活动有关的土地利用类型。本文选取耕地、园地、养殖坑塘、工业用地、采矿用地、居住用地、公共设施、商业用地、交通用地和其他人工地表(包括硬化地表、建筑工地和人工堆掘地)10种人为干扰景观,采用高分辨率遥感影像,辅以地名地址等专题信息,以目视解译方式进行信息提取,并利用土地调查外业相片对解译结果精度进行评价,总体精度达到91.35%,Kappa系数为0.91。考虑不同人为干扰景观和所处的功能分区,定量评估人为干扰强度及强度变化率(张明莎等,2020)。模型如下:

$$H = (a_1 b_1 X_1 + a_2 b_2 X_2 + \dots + a_i b_i X_i) / X \quad (1)$$

式中, H 为人为干扰强度; X_i 为第 i 类人为干扰景观的面积; X 为自然保护区总面积; a_i 和 b_j 为权重,其中, a_i 由图斑所在功能区确定, b_j 由不同景观类型确定。

参照《自然保护区人类活动遥感监测技术指南(试行)》(环境保护部,2014),核心区、缓冲区和实验区三类功能区人为干扰强度权重分别为0.6、0.3和0.1。不同景观类型对保护区的影响权重根据其保护区的影响程度确定,组织地理学、生态学、环境科学、保护区管理者等5位专家对人为影响程度进行打分,由低到高得分为0~100分。在此基础上取平均值,得到10种景观类型的影响程度得分,单项得分除以总分,得到每一种景观类型的影响权重(表3)。

1.3.2 基于位置大数据的人为活动活跃度分析
 基于土地利用类型的人为干扰强度分析反映人为改变地表的能力,侧重人类对保护区景观长期性、累积性的影响。因此,引入腾讯位置大数据(Li *et al.*, 2020)对人类即时性聚集范围和分布特征进行分析。利用ArcGIS的核密度分析法得到人为活动在自然保护区中的分布,采用自然分段法进行分段。计算公式如下:

表3 人为干扰景观的权重
 Table 3 Weight of human activity landscapes

景观类型 Landscape type	影响权重 Weight	景观类型 Landscape type	影响权重 Weight
耕地 Farmland	0.02	居住用地 Residential land	0.05
园地 Garden land	0.02	公共设施 Communal facility	0.10
养殖坑塘 Aquaculture pond	0.03	商业用地 Commercial land	0.16
工业用地 Industrial land	0.21	交通用地 Traffic land	0.10
采矿用地 Mining land	0.20	其他人工地表 Other artificial land	0.10

$$TR_i = (c_1 A_1 + c_2 A_2 + \dots + c_i A_i) / A \quad (2)$$

式中, TR_i 是第 i 个保护区人为活动活跃度; A_i 表示不同级别腾讯用户密度分布的面积,腾讯用户密度级别的划分采用自然分段法根据密度值高低划分(表4); c_i 由不同密度值确定,采用专家打分法获取; A 为保护区面积。

1.3.3 地理探测器模型 地理探测器能探测某种地理属性与其解释因子之间关系,其制约较少,在处理混合数据方面具有显著优势(张若琰等,2021)。本文利用地理探测器模型中的因子探测模块探究自然保护区人为干扰强度的影响因素。 q 值越大,则探测因子对人为干扰强度分布的影响越大。

2 结果与分析

2.1 保护区人类活动用地现状及变化特征

2019年,全省省级以上自然保护区人为干扰景观分布较为普遍,77个保护区均存在人为干扰,面积共254.29 km²。以耕地为主,占人为干扰景观总面积的48.5%。从不同功能分区看,人为干扰与保护区的保护力度关系密切,核心区占比很小,且以耕地为主。对环境影响较大的工业用地约72.6%分布在实验区(图2)。从不同分类来看,自然生态系统

表4 不同腾讯用户密度权重
 Table 4 Weight of different TUD density

等级 Level	密度指数 TUD	权重 Weight
极高密度 Extremely high-density	2~60	0.26
高密度 High-density	0.6~2	0.24
中密度 Medium-density	0.2~0.6	0.21
低密度 Low-density	0.1~0.2	0.18
极低密度 Extremely lower-density	0~0.1	0.11

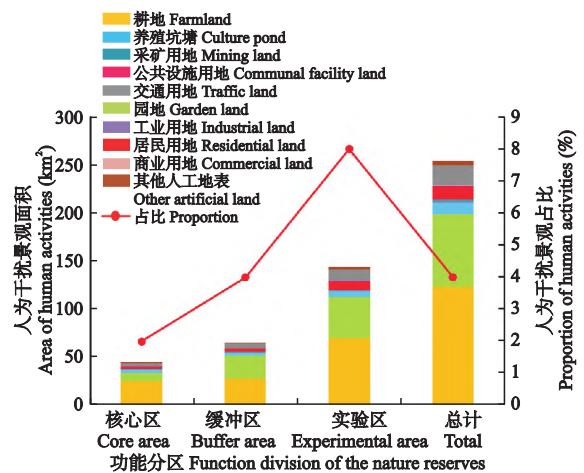


图2 2019年各功能分区人类活动用地面积及占比
 Fig.2 The area and proportion of human activities in different functional zones in 2019

类保护区人为干扰景观面积最大,且有75.0%的园地分布在该类保护区;自然遗迹类的保护区人为干扰景观面积占比最高,主要人为干扰景观是耕地;野生生物类的保护区除耕地外,养殖坑塘分布较多(图3)。

2015—2019年,各保护区人为干扰景观面积总体变化不大。43个保护区人为干扰景观面积上升,净增加9.90 km²,主要分布在粤北地区(表5),类型以园地和耕地为主,分别占68%和15%。23个保护区人为干扰景观面积下降,净减少1.41 km²,主要分布在珠三角地区,类型以其他人工地表、耕地和采矿用地为主,占比分别为37%、20%和17%。从地类转换来看,新增人为干扰景观81%是由林地转换而来(图4),说明人类活动对林地破坏最大。减少的人为干扰景观主要转为林地和水域(图4),其中,其他人工地表和采矿用地80%以上已恢复为林地和草地,耕地则主要转为林地和水域。说明“矿山复绿”“退耕还林”等生态工程的实施取得一定成效。

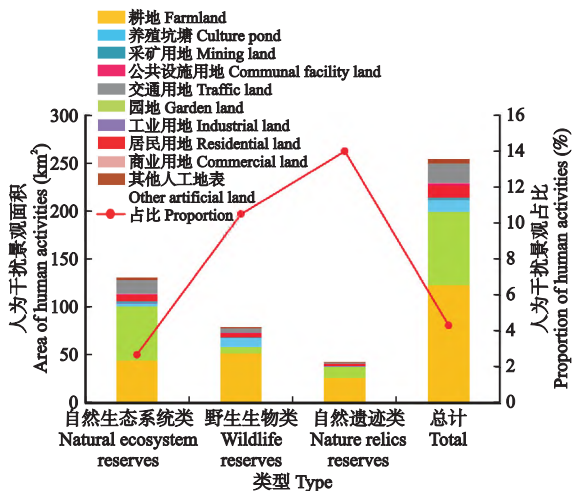


图3 2019年各类型保护区人类活动用地面积及占比
Fig.3 The area and proportion of human activities in different types of nature reserves in 2019

表5 各区域人为干扰景观面积变化情况
Table 5 Change of human activities in different regions

区域 Region	上升保护区数量 Number of rising reserves	下降保护区数量 Number of falling reserves	净增加面积 Increased areas (km ²)	净减少面积 Reduced areas (km ²)
粤北 Northern of Guangdong	30	9	8.7	0.5
粤东 Eastern of Guangdong	4	3	0.4	0.0
粤西 Western of Guangdong	3	1	0.3	0.0
珠三角 Pearl River Delta	6	10	0.6	0.9

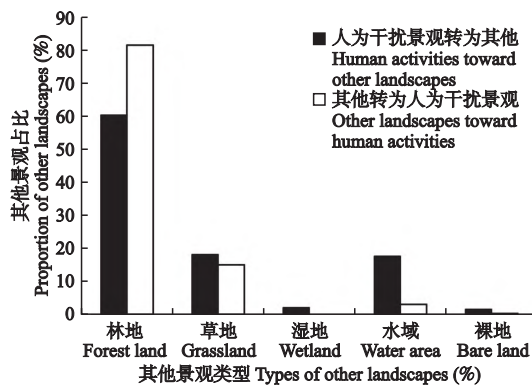


图4 人为干扰景观转移情况
Fig.4 Transfer of human activities

实验区、缓冲区和核心区内新增人为干扰景观面积分别是7.29、5.53和2.15 km²,说明功能区的划定对生态环境的保护作用十分显著。各功能区新增人为干扰均以园地和耕地为主,但核心区的公共设施以及实验区的居住用地增长相对明显。减少人为景观最明显的是其他人工地表和采矿用地,此外,核心区居住和交通用地有所减少,实验区的工业用地减少相对明显(图5)。从不同分类来看,新增人为干扰景观主要集中在自然生态系统类和自然遗迹类保护区,以开垦园地为主,分别占69.2%和85.8%。而减少的人为干扰景观主要分布在自然生态系统类和野生生物类保护区,前者主要是减少了其他人工地表和采矿用地,后者耕地减少最明显,其次是工业用地。

2.2 基于土地利用类型的人为干扰强度评价

在ArcGIS中采用自然断点法对人为干扰强度

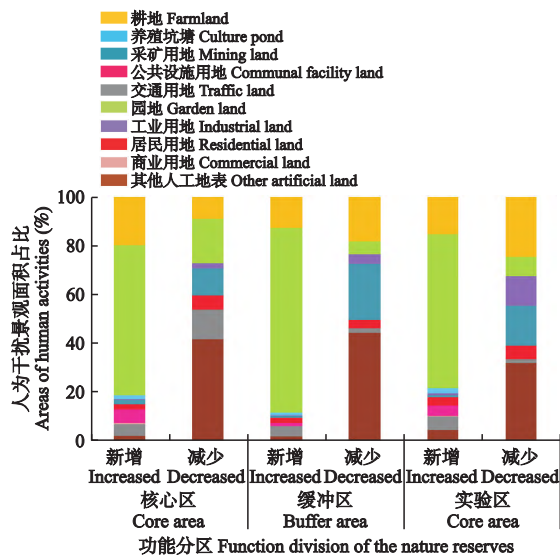


图5 不同功能区人为干扰景观变化情况
Fig.5 Change of human activities in different functional areas

进行分级(表6)。总体上,2019年,40%的保护区有微度干扰,36.4%有轻度干扰,重度和极重度干扰的保护区有12个,主要分布在粤北(图6)和粤东地区。

2015—2019年,有微度干扰的保护区增加了8个,而极重度干扰的保护区减少超过半数,说明近几年保护区内人为干扰强度呈减少趋势。从变化率来看,仅2个保护区指数变大(图6),11个保护区基本不变,64个保护区变小。干扰强度指数减少超过40%的保护区有12个,主要分布在珠三角,说明珠三角地区对保护区人为干扰的清理整治工作取得较大进展。

表6 自然保护区人类活动干扰强度分级标准
Table 6 Grading standards of human disturbance index for nature reserve

分级 Level	人为干扰 强度指数 Human disturbance index	人为干扰程度 Degree of human disturbance
微度干扰 Slightly disturbed	<0.001	基本无人为干扰
轻度干扰 Mildly disturbed	0.001~0.003	人为干扰很少
中度干扰 Moderately disturbed	0.003~0.005	人为干扰较少
重度干扰 Seriously disturbed	0.005~0.015	存在较多人为干扰
极重度干扰 Extremely seriously disturbed	>0.015	存在大规模的人为干扰

2.3 基于位置大数据的人为干扰分析

由于紧密联系的人-自然交互系统,生态系统提供的文化和娱乐等服务功能也使保护区遭受的人为压力日益增加。因此,本文引入2020年腾讯用户密度数据进一步分析人为干扰情况。结果显示,2种视角下的人为干扰具有一定的相关性,但局部存在明显差异。总体来看,干扰强度越大的区域,对应的腾讯用户平均活跃度也越高,如图7a所示,极重度干扰的保护区平均活跃度最高,为0.069,微度干扰的保护区平均活跃度最低。此外,位于城区或距离城镇较近的保护区普遍具有更高的活跃度,且活跃度随着距离增加依次递减(图7b)。这可能是由于优越的自然生态环境和便利的交通吸引大量市民游憩造成。以生态旅游开发较完备的鼎湖山自然保护区为例,其人为干扰景观面积占比仅1.9%,腾讯用户平均活跃度却高达0.167,旅游活动成为该保护区主要的人为干扰因素。又如丹霞山国家级自然保护区,保护区整体人为活动活跃度较低,但人为活动聚集在北部开发时间较早的丹霞景区内(图8),尽管所占面积较少,但随着景区进一步开发,未来由旅游活动带来的人为干扰可能扩散至更大范围,并呈加剧趋势。综上,腾讯用户密度数据对于游憩等即时性人为干扰具有更高的敏感性,能够弥补基于单一

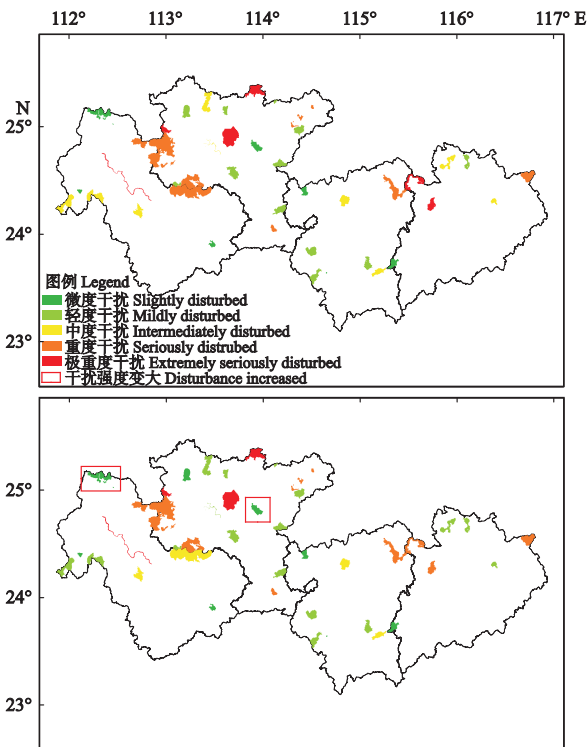


图6 粤北4市2015和2019年人为干扰强度分级
Fig.6 Disturbance index of human activity in northern Guangdong in 2015 and 2019

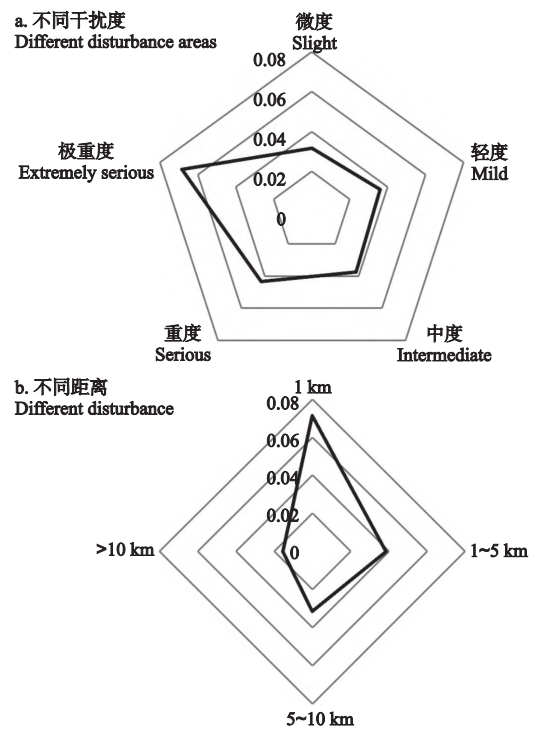


图7 不同干扰强度分区和不同距离的人为活动活跃度
Fig.7 Human activity values in different disturbance areas and different distances

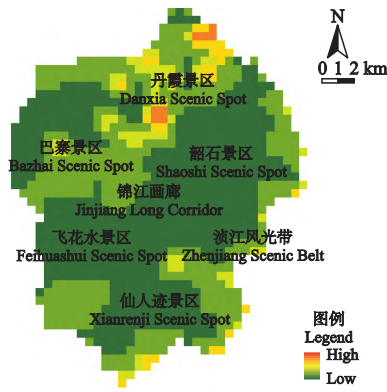


图8 丹霞山国家级自然保护区腾讯用户密度

Fig.8 TUD of Danxia Nature Reserve

景观数据较难动态、直观反映人类实际活动范围的不足。

2.4 基于地理探测器的影响因素分析

根据已有研究(王璐等, 2015; 刘晓曼等, 2016), 结合保护区实际情况, 从自然、社会、经济、交通4个方面, 选择坡度(X_1)、气温(X_2)、降水(X_3)、居住人口(X_4)、基本农田面积占比(X_5)、城镇化率(X_6)、农业总产值(X_7)、旅游业收入(X_8)、距城市中心距离(X_9)、路网密度(X_{10})10项指标, 以人为干扰强度作为因变量, 利用因子探测器探测各影响因子的相对重要性(表7)。

自然保护区内基本农田面积占比(X_5)解释力最大, 为0.58, 其次是路网密度(X_{10})和居住人口(X_4), 解释力分别为0.32和0.26。据统计, 保护区60.8%的耕地与永久基本农田范围重叠, 94.6%的居

表7 人为干扰强度分布影响因子探测结果

Table 7 Detected results of driving factors on the distribution of human interference intensity

探测因子 Detection factor	q	P
X_1	0.23	0.00
X_2	0.08	0.00
X_3	0.20	0.00
X_4	0.26	0.00
X_5	0.58	0.00
X_6	0.15	0.00
X_7	0.13	0.00
X_8	0.15	0.00
X_9	0.18	0.00
X_{10}	0.32	0.00

注: X_1 : 坡度; X_2 : 气温; X_3 : 降水; X_4 : 居住人口; X_5 : 基本农田面积占比; X_6 : 城镇化率; X_7 : 农业总产值; X_8 : 旅游业收入; X_9 : 距城市中心距离; X_{10} : 路网密度。

Note: X_1 : Slope; X_2 : Temperature; X_3 : Precipitation; X_4 : People; X_5 : Proportion of basic farmland area; X_6 : Urbanization rate; X_7 : Gross agricultural production; X_8 : Tourism revenue; X_9 : Distance to the city; X_{10} : Road network density.

住用地为农村宅基地。说明保护区内的人为干扰景观与设立保护区时将大量乡村划入保护区范围密不可分。村民经济利益与自然保护区管理之间存在较大矛盾(刘晓辉等, 2021), 由此引起的人为干扰更加频繁。这类保护区中83.21%的新增人为干扰景观类型为园地和耕地, 进一步印证了人为干扰与村民农业开垦等经济活动关系密切。此外, 道路建设不仅对保护区内的物种迁移产生阻隔效应, 造成生境破碎, 还能够吸引更多的人为干扰, 因此具有较高的解释力。

自然因素中的坡度(X_1)、降水(X_3)和气温(X_2)的解释力分别为0.23、0.2和0.08, 反映了地形条件和降水对人为干扰具有较强的影响力, 而气温影响较弱。通过新增人为干扰景观与坡度叠加分析, 发现66.12%的新增人为干扰景观分布在 $5^\circ \sim 25^\circ$, $>25^\circ$ 的陡坡地新增人为干扰景观极少, 主要为采矿、交通和园地, 这是由于新增园地以茶园、果园为主, 而新增交通用地进一步向坡度较陡、以往交通不便的区域延伸。

农业总产值和旅游业收入解释力普遍不高, 原因可能在于数据来源于统计年鉴, 以市域为评价单元, 对保护区尺度的驱动力分析具有局限性。

3 结论

实验区、缓冲区和核心区人为干扰景观面积依次递减, 核心区以耕地为主, 工业用地主要分布在实验区; 自然生态系统类的保护区人为干扰景观面积最大, 以园地为主, 自然遗迹类的保护区人为干扰景观面积占比最高, 以耕地为主, 养殖坑塘主要分布在野生生物类保护区; 73.6%的保护区处于微度和轻度人为干扰, 重度和极重度干扰的保护区主要分布在粤北和粤东经济相对落后的偏远山区, 这些保护区内部和周边社区居民对自然资源有着生存上的依赖, 农业开发活动较频繁, 生态保护形势依然严峻。

2015—2019年, 保护区内人为干扰景观总面积略有增加, 但81.8%的保护区人为干扰强度下降, 原因在于对生态环境影响较大的采矿用地明显减少。此外, 遭受极重度干扰的保护区数量下降超过一半, 下降幅度超过40%的保护区主要分布在珠三角。引入腾讯用户密度后, 位于城区或进行旅游开发的保护区具有更高的活跃值, 说明旅游活动是人为干扰的主要方式。而社交媒体数据对即时性人类活动具有更高的敏感度, 可以实现游客访问量影响的空

间量化评估。人为干扰主要受人口、交通和地形等因素驱动,表现在人口数量大、基本农田占比高的保护区具有更强烈的人为干扰,且新增人为干扰景观主要分布在交通和地形条件更优越的区域。

4 建议

考虑到不同功能区和类型的保护区人为干扰景观类型差异,建议分区分类施策落实保护措施,例如核心区重点是退耕,缓冲区重点是退园,实验区则退工业用地。自然生态系统类保护区重点是退园,自然遗迹类保护区重点是退耕,野生生物类保护区重点是退养殖坑塘。

从区位看,粤北、粤东地区人为干扰强度偏高,是严格生态保护政策实施、加强生态修复的重点区域;位于城区及具有旅游性质的自然保护区更容易受游憩活动影响,且随着保护区内生态旅游政策的推进和游客数量逐年增多(张昊楠等,2016),公路沿线植物受汽车尾气等影响比非旅游区更突出。尽管这些干扰多集中在非核心区或道路两侧有限范围内,但仍在一定程度上对保护区景观演替过程产生影响。因此,建议利用大数据优势加强监测评估频率,在空间上明确人为干扰区域,及时进行有效管控。

建议进一步加强政策引导,以自然保护地整合优化为契机,科学调整保护区边界。与基本农田保护区范围重叠的部分,综合考虑农田的生态价值,实施协同监管;村民数量较多的自然保护区应加快村庄的搬迁或制定生态移民政策鼓励保护区居民外迁,确需保留的村庄应加快编制村庄规划,落实保护措施。

受限于数据的可获取性,文中仅采用13 d的腾讯用户密度数据分析保护区人为干扰情况,时间跨度较短,未能反映更高频次连续时段的变化规律,下一步需要探索保护区逐月监测方式方法,对保护区人为干扰强度做更细致的评估。此外,本文对人为干扰强度的评估未进一步区分正向干扰和负向干扰,如何在已有研究基础上,厘清人为干扰的正负效应,将成为后续研究重点。

参考文献

曹巍,黄麟,肖桐,等. 2019. 人类活动对中国国家级自然保护区生态系统的影响. *生态学报*, **39**(4): 1338-1350.

陈琳,任春颖,王宗明,等. 2017. 黄河三角洲滨海地区人类干扰活动用地动态遥感监测及分析. *湿地科学*,

15(4): 613-621.

傅伯杰,欧阳志云,施鹏,等. 2021. 青藏高原生态安全屏障状况与保护对策. *中国科学院院刊*, **36**(11): 1298-1306.

傅伯杰,于丹丹,吕楠. 2017. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系. *生态学报*, **37**(2): 341-348.

高岚,李怡,靳丽莹. 2012. 广东省自然保护区有效管理评估指标体系的构建与应用. *林业经济问题*, **32**(3): 200-205.

高吉喜,刘晓曼,王超,等. 2021. 中国重要生态空间生态用地变化与保护成效评估. *地理学报*, **76**(7): 1708-1721.

高誉珈. 2020. 基于人类影响指数(HII)模型的广东丹霞山风景名胜区人类活动强度评估研究(硕士学位论文). 广州:华南理工大学.

顾羊羊,黄贤峰,邹长新,等. 2019. 沅江源自然保护区生境质量变化遥感监测. *生态与农村环境学报*, **35**(6): 764-772.

何克军,李意德. 2005. 广东自然保护区现状及发展对策. *广东林业科技*, (2): 69-72.

环境保护部. 2014. 自然保护区人类活动遥感监测技术指南(试行). http://www.secmep.cn/kycg/bzgf/201501/t20150128_563145.shtml

黄宝荣,张丛林,邓冉. 2020. 我国自然保护地历史遗留问题的系统解决方案. *生物多样性*, **28**(10): 1255-1265.

江东,阎晓曦,付晶莹. 2016. 人类活动信息多尺度遥感影像提取的适用性比较——以灵武白芨滩自然保护区为例. *资源科学*, **38**(8): 1409-1422.

梁发超,刘黎明. 2011. 景观格局的人类干扰强度定量分析与生态功能区优化初探——以福建省闽清县为例. *资源科学*, **33**(6): 1138-1144.

刘晓辉,姜明,朱庆龙,等. 2021. 吉林莫莫格国家级自然保护区边界和功能区范围调整初探. *湿地科学*, **19**(5): 527-533.

刘晓龙,徐瑞,付卓,等. 2018. 基于多源遥感数据的纳板河国家级自然保护区人类活动用地监测. *农业工程学报*, **34**(19): 266-275.

刘晓曼,付卓,闻瑞红,等. 2020. 中国国家级自然保护区人类活动及变化特征. *地理研究*, **39**(10): 2391-2402.

刘晓曼,李静,刘玉平,等. 2016. 自然保护区人类活动天地一体化监管与评价技术体系. *中国环境科学*, **36**(10): 3135-3142.

裴韬,刘亚溪,郭思慧,等. 2019. 地理大数据挖掘的本质. *地理学报*, **74**(3): 586-598.

王璐,丁建丽. 2015. 基于景观尺度的艾比湖保护区LUCC变化及其驱动力分析. *水土保持研究*, **22**(1): 217-223.

王金哲,张光辉,聂振龙,等. 2009. 滹沱河流域平原区人类活动强度的定量评价. *干旱区资源与环境*, **23**(10): 41-44.

文英. 1998. 人类活动强度定量评价方法的初步探讨. *科学对社会的影响*, (4): 55-61.

吴中元,许捍卫,胡钟敏. 2019. 基于腾讯位置大数据的精细尺度人口空间化——以南京市江宁区秣陵街道为例.

- 地理与地理信息科学, **35**(6): 61-65.
- 徐网谷, 秦卫华, 刘晓曼, 等. 2015. 中国国家级自然保护区人类活动分布现状. 生态与农村环境学报, **31**(6): 802-807.
- 许珺, 徐阳, 胡蕾, 等. 2020. 基于位置大数据的青藏高原人类活动时空模式. 地理学报, **75**(7): 1406-1417.
- 杨锐, 曹越. 2018. 论中国自然保护区的远景规模. 中国园林, **34**(7): 5-12.
- 袁源, 张小林, 李红波, 等. 2021. 基于位置大数据的村域尺度多功能性评价——以苏州市为例. 自然资源学报, **36**(3): 674-687.
- 张跃, 雷开明, 张语克, 等. 2012. 植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例. 生态学报, **32**(13): 4228-4235.
- 张翠云, 王昭. 2004. 黑河流域区域人类活动强度的定量评价. 地球科学进展, **19**(1): 386-390.
- 张昊楠, 秦卫华, 周大庆, 等. 2016. 中国自然保护区生态旅游活动现状. 生态与农村环境学报, **32**(1): 24-29.
- 张洪云, 臧淑英, 张玉红, 等. 2015. 人类土地利用活动对自然保护区影响研究: 以黑龙江省为例. 环境科学与技术, **38**(11): 271-276.
- 张明莎, 刘乾飞, 王敬文, 等. 2020. 1992—2018年轿子山自然保护区人为活动遥感监测. 生态与农村环境学报, **36**(9): 1097-1105.
- 张若琰, 刘卫东, 宋周莺. 2021. 基于地理探测器的中国国家级开发区时空演化过程及其驱动力研究. 自然资源学报, **36**(10): 2672-2683.
- 赵广华, 田瑜, 唐志尧, 等. 2013. 中国国家级陆地自然保护区分布及其与人类活动和自然环境的关系. 生物多样性, **21**(6): 658-665.
- 赵晓同, 王建, 苏军德, 等. 2020. 基于 InVEST 模型和莫兰指数的甘肃省生境质量与退化度评估. 农业工程学报, **36**(18): 301-308.
- 郑姚闽, 张海英, 牛振国, 等. 2012. 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. 科学通报, **57**(4): 207-230.
- 中华人民共和国国务院. 1994. 中华人民共和国自然保护区管理条例. http://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/zefgk/content/post_2524419.html
- Degrossi LC, Porto de Albuquerque J, dos Santos Rocha R, et al. 2018. A taxonomy of quality assessment methods for volunteered and crowdsourced geographic information. *Transactions in GIS*, **22**: 542-560.
- Foley JA, Defries R, Asner GP, et al. 2005. Global consequences of land use. *Science*, **309**: 570-574.
- Larson CL, Reed SE, Merenlender AM, et al. 2016. Effects of recreation on animals revealed as widespread through a global systematic review. *PLoS ONE*, **11**: e0167259.
- Li SY, Lyu DJ, Liu XP, et al. 2020. The varying patterns of rail transit ridership and their relationships with fine-scale built environment factors: Big data analytics from Guangzhou. *Cities*, **99**: 102580.
- Mcdonald RI, Kareiva P, Forman RTT. 2008. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation*, **141**: 1695-1703.
- Sanderson EW, Jaiteh M, Levy MA, et al. 2002. The human footprint and the last of the wild: the human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not. *BioScience*, **52**: 891-904.

作者简介 王海云,女,1990年生,博士,工程师,主要研究方向为自然资源遥感监测与区域可持续发展研究。E-mail: hywang320@163.com

责任编辑 牟琳
