

2017—2021 年湖北省生产建设项目 人为扰动区域快速识别和提取

刘成帅¹, 华丽¹, 周玉城¹, 李璐^{2,3}

(1.华中农业大学 资源与环境学院, 湖北 武汉 430000; 2.湖北省水利水电
科学研究院, 湖北 武汉 430000; 3.湖北省水土保持工程技术研究中心, 湖北 武汉 430000)

摘要: [目的] 对湖北省 2017—2021 年生产建设项目人为扰动区域进行逐年识别提取, 并对分类结果进行时空特征分析, 为后续人为扰动区域提取及水土流失相关研究提供理论支撑和方法参考。[方法] 以生产建设项目人为扰动类型丰富的湖北省为例, 基于 GEE 平台调用 Sentinel-2 时序数据, 利用 1 955 个样本数据探究最优分类特征组合及最优分类参数, 针对性解决不透水层和耕地易与生产建设项目人为扰动区域混淆的问题, 利用随机森林模型对该省 2017—2021 年生产建设项目人为扰动区域进行逐年识别提取研究。[结果] ①生产建设项目人为扰动区域识别提取的最优特征波段组合为红边波段、绿边波段、蓝边波段、近红外波段以及 NDVI, NDWI, NDBI, RRI, dNDVI, 对比度和熵; ②从总体上看, 2017—2021 年分类的总体精度均高于 93.00%, kappa 系数均在 0.92 以上, 表明该方法在生产建设项目人为扰动区域提取的问题上可行; ③2017—2021 年湖北省生产建设项目人为扰动地块的总面积呈现“先增后减再增”的变化趋势, 在 2020 年出现了反常的减少。[结论] 本文提出的方法在快速识别大尺度、多类型生产建设项目人为扰动区域问题上有较大潜力, 生成的高精度、长时序空间数据集可为后续相关工作提供支持。

关键词: 生产建设项目; 人为扰动; 高精度; 时序数据; 高效提取

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2023)06-0217-10

中图分类号: S127

文献参数: 刘成帅, 华丽, 周玉城, 等. 2017—2021 年湖北省生产建设项目人为扰动区域快速识别和提取 [J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 217-226. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.06.027; Liu Chengshuai, Hua Li, Zhou Yucheng, et al. Rapid identification and extraction of anthropogenically disturbed regions resulting from production and construction projects in Hubei Province from 2017 to 2021 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 217-226.

Rapid Identification and Extraction of Anthropogenically Disturbed Regions Resulting from Production and Construction Projects in Hubei Province from 2017 to 2021

Liu Chengshuai¹, Hua Li¹, Zhou Yucheng¹, Li Lu^{2,3}

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan,

Hubei 430000, China; 2. Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan, Hubei 430000, China;

3. Hubei Soil and Water Conservation Engineering Technology Research Center, Wuhan, Hubei 430000, China)

Abstract: [Objective] This study attempted to identify and extract anthropogenic disturbance areas resulting from production and construction projects in Hubei Province from 2017 to 2021. Spatiotemporal feature analysis of the classification results was also conducted in order to provide theoretical support and methodological references for the extraction of anthropogenic disturbance areas, and to address soil and water erosion issues. [Methods] The study was conducted in Hubei Province because of its diverse range of anthropogenic disturbance types from production and construction projects. We used the Google Earth Engine (GEE) platform to access Sentinel-2 time-series data. We investigated the optimal combinations of classification features and parameters using a 1 955 dataset. To tackle the issue of differentiating impermeable

收稿日期: 2022-10-28

修回日期: 2023-04-10

资助项目: 水利部重大科技项目“湖北省水土流失动态监测监管关键技术研究”(SKS-2022091)

第一作者: 刘成帅(1998—), 男(汉族), 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。Email: liuchengshuai@mail.hzau.edu.cn.

通信作者: 华丽(1977—), 女(回族), 宁夏回族自治区吴忠市人, 博士, 副教授, 主要从事农业遥感及水土保持等方面的研究。Email: huali@mail.hzau.edu.cn.

layers from croplands within anthropogenic disturbance areas caused by production and construction projects, we employed a random forest model for the annual identification and extraction of such areas in Hubei Province from 2017 to 2021. [Results] ① The optimal feature band combination for identifying and extracting anthropogenic disturbance areas from production and construction projects included the red-edge band, green-edge band, blue-edge band, near-infrared band, NDVI, NDWI, NDBI, RRI, dNDVI, contrast, and entropy. ② Overall, the classification accuracy for the years 2017 to 2021 consistently exceeded 93.00%, with kappa coefficients consistently above 0.92, affirming the method was feasibility for extracting anthropogenic disturbance areas due to production and construction projects. ③ The total area of anthropogenic disturbance land parcels in Hubei Province exhibited a pattern characterized as “increase—decrease—increase” from 2017 to 2021, with an anomalous decrease in 2020. [Conclusion] The proposed method demonstrated substantial potential for the rapid identification of large-scale, diverse anthropogenic disturbance areas resulting from production and construction projects. The resulting high-precision, long-term spatial dataset can provide valuable support for subsequent research endeavors related to this topic.

Keywords: production construction; anthropogenic disturbed areas; high accuracy; time-series data; efficient extraction

水利部水土保持工作目标指出,要强化人为水土流失监管全覆盖,充分运用卫星遥感手段,及时、精准地发现并严格查处生产建设活动违法违规行为,严控水土流失^[1-3]。然而,目前针对生产建设项目人为扰动区域的自动识别与提取研究较少,其监测方法仍主要依靠人工目视解译结合实地勘查,该方法周期长且成本高,无法高效率地实现大范围人为扰动区域时空分布提取,存在诸多局限性^[4]。遥感技术具有大面积、同步性、周期性对地观测的优势,是实现长时序大尺度人为扰动区域提取的重要手段。如何充分挖掘遥感数据用于人为扰动区域的高效识别,加强对生产建设项目的监管,从而降低人为因素引起的水土流失,是目前亟需解决的问题。随着遥感技术的发展,已有学者开始了人为扰动区域识别提取的研究,更多是针对某种特定生产建设项目。由于高分辨率遥感影像具有空间分辨率高,纹理信息丰富的特点,目前已有多项基于该类数据的特定人为扰动区域制图成果。例如,毕永清^[5]通过面向对象方法,结合纹理、光谱特征分析,实现对西藏采矿工程区域的提取,并利用亮度差值法、融合多特征变化检测法等实现对矿区扰动变化的监测;夏既胜等^[6]基于高分影像,通过面向对象的方法,结合纹理、光谱等特征建立地物分类规则,对机械性破损面进行提取,提取精度达到 85% 以上;谭杰俊^[4]应用高分影像,对西藏地区的生产建设项目扰动区进行提取,分析提取结果主要为在建矿山项目区,提取精度达到 83% 以上;陈晓枫等^[7]基于高分影像,结合 Otus 阈值分割技术和 Canny 边缘检测算法,提出以输变电工程为例的生产建设项目扰动地表自动提取算法,分类精度在 80% 以上,优于传统方法。然而,上述研究局限于小范围研究区及特定扰动类型,在面对大尺度区域和多种扰动类型时,高分

辨率影像数据量巨大,结合面向对象方法,也直接增大了影像分割、样本训练、类型判定的耗时,难以满足实际工作中对生产建设项目高效实时监管的需要^[8]。相比之下,中低分辨率影像在大区域尺度上的快速提取更有优势。例如,Running^[9]利用 MODIS 影像来进行全球年度扰动分析,通过时间序列的影像数据来推断扰动发生的时间,从而跟踪全球的扰动恢复率。然而,由于 MODIS 的空间分辨率有限,难以满足地块破碎化地区的精细化制图要求,Landsat 影像尽管有了更高的空间分辨率,但其时间分辨率较低,难以通过完整的时序数据获取准确的扰动信息。欧空局哨兵系列卫星的出现为大范围、长时序、高精度的人为扰动监测提供了契机^[10]。Sentinel-2 数据拥有 10 m 的多光谱波段分辨率和双星 2~5 d 的重返周期,提供陆地卫星相似的光谱信息和空间信息,能在保持较高提取精度的同时,大幅提高运算效率^[11],有效解决高分辨率卫星、MODIS 与 Landsat 在人为扰动区域快速提取上面临的问题。目前,基于 Sentinel-2 时序影像进行人为扰动提取区域提取的应用研究较少,仍缺乏覆盖范围广,精度高,类型全面的生产建设人为扰动高效提取方法。因此,有必要探究 Sentinel-2 在该问题上的制图方法与制图潜力。

针对生产建设人为扰动区域识别提取目前面临的识别对象不聚焦,识别特征不明晰,识别方法效率低等问题,本文基于 GEE 平台调用 Sentinel-2 时序数据,探究最优分类特征组合及最优分类参数,利用随机森林模型对湖北省 2017—2021 年 3 月的人为扰动区域进行逐年识别提取,并对分类结果进行时空变化分析。这项研究的目的主要有: ① 探究基于 Sentinel-2 时序数据的大尺度、多类型生产建设人为扰动区域的识别方法与制图潜力; ② 提供可用于相

关研究的高精度、长时序生产建设人为扰动空间数据集,为后续人为扰动区域提取及水土流失相关问题提供理论支撑和方法参考。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

湖北省地处中国中部地区,东邻安徽,西连重庆,西北与陕西接壤,南接江西、湖南,北与河南毗邻,总面积约 $1.86 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全国总面积的 1.94%。其地势大致为东、西、北三面环山,中间低平,略呈向南敞开的不完整盆地,属长江水系。

随着湖北省经济的发展与矿产资源的不断开发,其生产建设项目与人为扰动区域持续增加。根据《湖北省 2021 年国民经济和社会发展统计公报》,2021 年全省规模以上工业企业增加值比上年增长 14.8%,建筑业开工面积增加值 3.8%。省内现有水土流失面积 $3.16 \times 10^4 \text{ km}^2$,有 4 个国家级水土流失重点防治区和 3 个省级水土流失重点防治区^[12]。湖北省较为复杂的地形地势、广阔的覆盖面积、丰富的生产建设项目人为扰动类型以及严峻的水土流失现状为遥感影像识别人为扰动的方法探究带来了较大的挑战。因此,本研究以湖北省生产建设项目人为扰动区域为识别提取对象,从而提高研究结论的适用性。

1.2 数据介绍及预处理

1.2.1 Sentinel-2 数据介绍及预处理 Sentinel-2 卫星的轨道类型为太阳同步轨道,高度为 786 km,采用推扫式成像模式,成像幅宽为 290 km,覆盖可见光、近红外、短波红外等 13 个波段。空间分辨率达到 10~60 m,双星时间分辨率可达 2~5 d。本文基于 GEE 平台直接调用 Sentinel-2 Level-1 C 级数据,由于 Level-1 C 级影像数据是经辐射校正、正射校正和亚像元精度

级别的几何精校正后的大气表现反射率产品^[13],因此本研究对 Sentinel-2 Level-1 C 数据进行了大气校正、重采样等预处理操作,数据的投影为 WGS84 UTM Zone49。对 2017—2021 逐年影像进行调用,选取的影像时间节点为云量较少的 3 月合成影像,用于各项分类指标计算;同时,为了区分容易与裸土扰动区域混淆的耕地,我们调用了作物长势旺盛的 8 月合成影像,用于计算植被指数时序差值。所有图像均满足云量低于 10% 的条件。由于研究区覆盖面积较大,各特征时期影像由该时期范围内影像拼接而成。

1.2.2 样本数据介绍及预处理 由于不同年份的人为扰动位置和类型会发生变化,本研究针对 2017—2021 年逐年获取每年 3 月的人为扰动与其他土地利用类型样本,结合谷歌高清地图,借助手持全球定位系统(global positioning system, GPS)获取研究区内具体土地利用类型的准确经纬度坐标,包括表 1 所示的 4 类生产建设项目人为扰动地块、耕地、植被(含林地灌木草地)、水体、不透水表层采样点共 1 955 个,按照 7:3 的比例将样本随机分为训练样本和精度验证点。

2 研究方法

本文的研究基于以下步骤:①基于实地样本数据建立合理的分类体系与解译标志;②基于 GEE 平台调用和计算原始波段、光谱和纹理特征作为分类特征,利用随机森林袋外误差算法选择出最优分类特征组合;③基于样本数据与最优特征逐年进行随机森林模型训练,选择最优参数生成生产建设项目人为扰动区域的分类结果并进行精度分析;④针对 2017—2021 年提取结果对湖北省生产建设项目人为扰动区域的面积与时空变化特征进行分析。技术路线如图 1 所示。

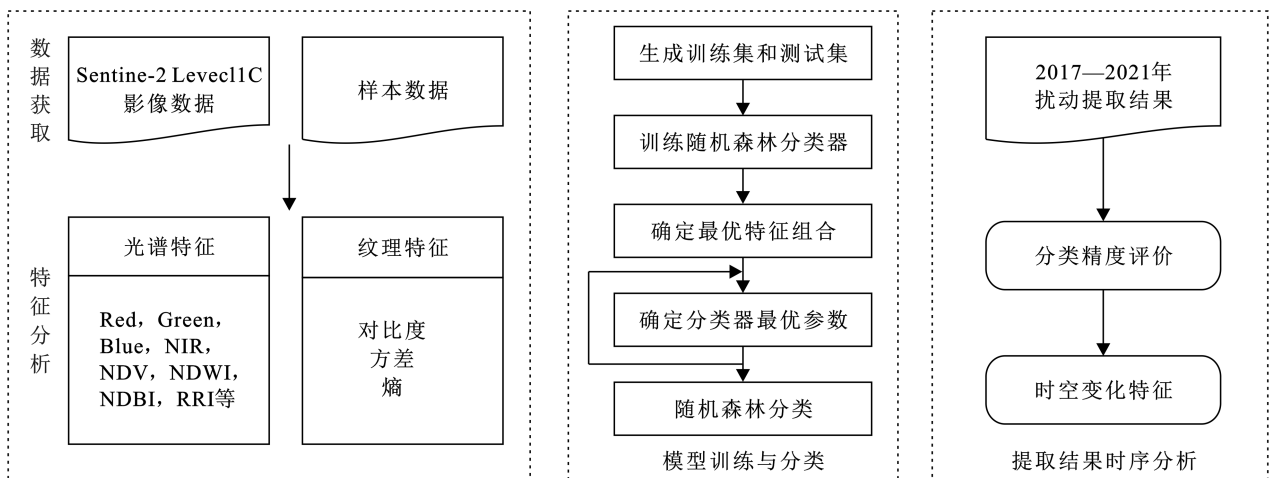


图 1 人为扰动区域提取技术路线图

Fig.1 Flowchart of anthropogenic disturbance areas









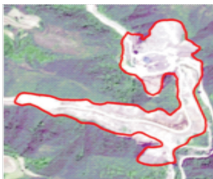







2.1 分类体系及解译标志建立

建立合理的遥感分类体系是进行人为扰动区域提取的基础,本研究参照国标文件《生产建设项目水

土保持监测与评价标准》^[14],建立包含植被(含林地灌木草地)、水体、耕地、不透水层、人为扰动地块 5 个类别的遥感分类体系及其对应的解译标志(表 1)。

表 1 遥感分类体系及各类地物解译标志

Table 1 Classification system and ground object interpretation symbols

地物类型	地物特征	真彩色影像	影像特征	实地照片
植被	主要包括林、灌、草,植被覆盖率高,面积大		真彩色影像中表现为绿色,光谱均匀,纹理呈颗粒状	
水体	主要包括河湖库塘等		真彩色影像中呈蓝黑色,纹理光滑,光谱均匀	
耕地	包括水田、旱地等		真彩色影像在不同季节分别呈绿色或黄褐色,亮度总体略高于植被	
不透水层	包括道路、建筑、硬化地面等在内,分布相对集中		真彩色影像中多以蓝色、红色、灰色和白色为主,亮度较高	
	采掘类工程:采矿工程及其配套的洗选工程、排土场、矸石场、排土场等		不规则形状,占地面积较大,光谱反射率较高,在影像中呈亮白色,内部多为硬化地面和土质裸地混杂	
生产建设项目人为扰动地块	铁路公路工程:包括铁路、高速公路、乡村道路修建工程等		长条带状分布,边缘整齐,纹理复杂,内部光谱均一,在影像中呈灰色或黄色	
	城镇建设:包括居住区建设项目和公用建设项目		整体形状较为规则,周边有明显的人工地物与道路连接	
	农林开发:包括陡坡开垦种植、规模化农林开发、开垦耕地等工程		占地面积较大,纹理清晰,多为土质裸地组成,影像上呈黄褐色,亮度较低	

2.2 分类特征计算方法

基于上述 5 种地类的不同属性,选取了 NDVI, NDWI, NDBI, RRI, dNDVI 共 5 个光谱指数(dNDVI 是人为定义,其含义为该年内 8 月与 3 月 NDVI 的差值,该指数旨在消除 3 月的单时相影像中,易与扰动的裸土区域混淆的耕地),并基于 Sentinel-2 数据选

取 R,G,B,NIR 共 4 个光谱波段,分类特征如表 2 所示。此外,有研究表明,纹理特征的加入可适当提高分类精度^[15-16]。

本研究基于 GEE 平台计算对比度、方差和信息熵 3 个纹理特征,与影像的光谱与原始波段共同组成 12 个分类特征。

表 2 前期初选特征说明及计算方法^[17-21]

Table 2 Description of original feature and calculate method

指标	公式	公式中符号含义
归一化植被指数(NDVI)	$\frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$	R_{NIR} 和 R_{Red} 分别为近红外和红波段
归一化水体指数(NDWI)	$\frac{R_{Green} - R_{NIR}}{R_{Green} + R_{NIR}}$	R_{NIR} 和 R_{Green} 分别为近红外和绿波段
归一化建筑指数(NDBI)	$\frac{R_{MIR} - R_{NIR}}{R_{MIR} + R_{NIR}}$	R_{NIR} 和 R_{MIR} 分别为近红外和中红外波段
比值居民地指数(RRI)	$\frac{R_{Blue}}{R_{NIR}}$	R_{NIR} 和 R_{Blue} 分别为近红外和蓝波段
3 月与 8 月的 NDVI 差值(dNDVI)	$NDVI_{Aug} - NDVI_{Mar}$	$NDVI_{Aug}$ 和 $NDVI_{Mar}$ 分别为 8 月和 3 月的 NDVI 值
纹理特征:对比度(Contrast)	$\sum_i \sum_j (i-j)^2 P(i,j)$	i 和 j 分别为矩阵中像素值
纹理特征:方差(Variance)	$\sum_i \sum_j (i-\mu)^2 P(i,j)$	i 和 j 分别为矩阵中像素值, μ 为平均值
纹理特征:熵(Entropy)	$\sum_i \sum_j P(i,j) \log_2 P(i,j)$	i 和 j 分别为矩阵中像素值
红边波段(R)	—	—
绿边波段(G)	—	—
蓝边波段(B)	—	—
近红外波段(NIR)	—	—

2.3 随机森林模型与特征变量优选

随机森林是一种集成学习分类器^[22],可以在少量参数控制的条件下实现很高的精确度,是分类问题中常见的一种分类模型。该模型基于 Bootstrap 抽样方法,从原始样本数据集中随机且有放回地抽取训练样本,然后使用 CART 方法,完成随机森林的搭建。由于不同特征变量之间会存在一定的相关性,从而带来较多的冗余数据,因此对 12 个特征进行优选,得到对生产建设项目人为扰动区域最敏感的特征组合。在随机森林算法中,Bootstrap 抽样时剩余未被抽取的训练样本,被称为袋外(out of bag, OOB)数据,可对 OOB 误差进行评估以判断分类结果的好坏。相较于其他算法,使用 OOB 误差进行分类特征优选没有数据泄露,确保了更好的预测模型;同时数据不会过度拟合,可以得到最小方差,因此更加适合预测模型。本文基于 GEE 平台,计算各项原始特征的相对重要性得分并依次组合特征,通过比较每组特征的 OOB 误差确定最优特征组合。最优特征确定后,采用随机森林模型进行建模分类。在训练阶段,将最优特征组合数据集作为训练特征,按照 7:3 的比例将样本随

机分为训练样本和精度验证点,对样本数据进行逐年训练。通过网格搜索不断调整决策树的个数,选择精度最高的参数作为最优参数进行建模。

2.4 精度评价

本研究通过构建混淆矩阵来评价本研究分类算法的精度。评价指标包括用户精度(users' accuracy, UA, %);生产者精度(producers' accuracy, PA, %);总精度(overall accuracy, OA, %)和 kappa 系数。

3 结果与分析

3.1 最优特征选择结果

3.1.1 地类特征分析 本研究基于 GEE 平台,通过统计所有样本的特征值,绘制湖北省各地类的待选特征箱线图如图 2 所示。结果表明,生产建设项目人为扰动地块在红边、绿边、蓝边波段的分布相似,均有较高的均值,在红边波段均值上明显高于不透水层,但在绿边、蓝边波段两者的差异并不明显;在近红外波段,植被的反射值明显高于其他地物,扰动地块的均值与耕地相近,明显高于水体和不透水层;对于 NDVI,植被和水体均值位于高低位,具有很好的区分度,扰动地块

均值位于中部,略低于不透水层和耕地;对于 NDBI, 扰动地块和 不透水层均值接近,明显高于植被、水体和耕地;对于 NDWI, 水体分布明显高于其他地类, 植被均值最低, 不透水层、耕地和扰动地块的均值接近; 对于 RRI, 不透水层的均值低于水体, 高于植被、耕地和扰动地块, 且分布没有重叠, 因此 RRI 有助于区分

不透水层;对于 dNDVI, 植被、水体、不透水层和扰动地块的分布差异不大, 但耕地的均值显著高于扰动地块, 这有助于区分两者;对于纹理特征中的对比度、方差和熵, 扰动地块和 不透水层有着相似的分布, 明显高于其余 3 种地类。上述特征可用于选择与组合, 并确定最优组合特征数据集用于人为扰动区域的提取。

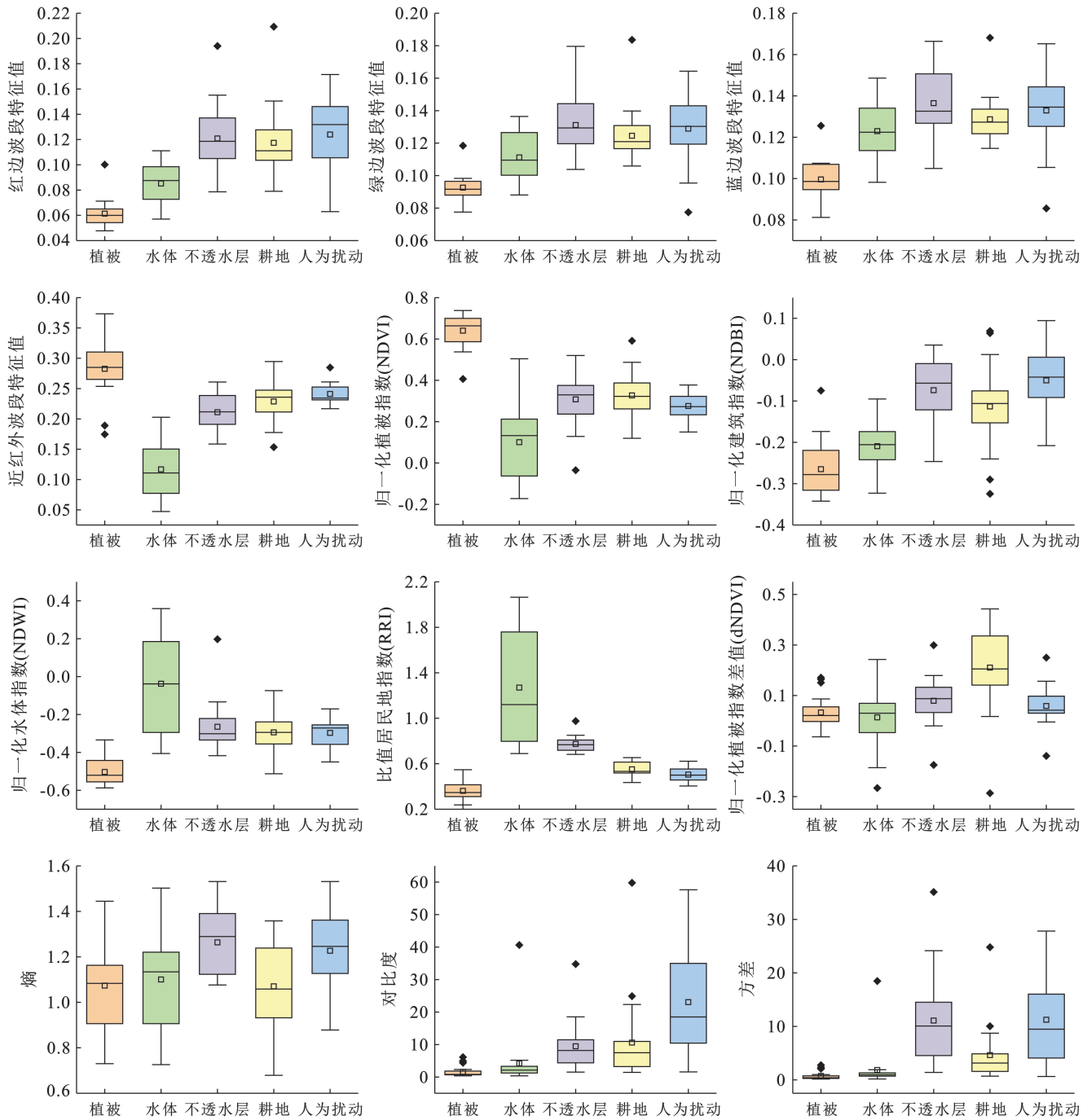


图 2 湖北省各地类不同特征箱线图

Fig.2 Boxplots of different feature parameters of different landuses in Hubei Province

3.1.2 特征优选结果 基于 GEE 平台对各分类特征的相对重要性进行分析判断, 得到参与分类的 12 项特征的相对重要性排序如表 3 所示。

结果表明, 纹理特征 Contrast, Variance, Entropy 在随机森林分类中的重要性较低, NDVI, Red, RRI 和 dNDVI 较高。针对上述 12 个特征的重要性大小,

选取相对重要性超过 30 的 NDVI, Red, RRI, dNDVI 作为基础组合, 依次加上未纳入组合的重要性最高的特征, 组成新的组合, 直至所有特征全部被选入, 最终形成了 9 组待验证的特征组合如表 4 所示。

向随机森林分类器中输入特征组合 1 至特征组合 9, 分别进行训练并分类得到 OOB 误差如表 3 所示。结果表明, 随着特征组合中特征数量的增加, 随机森林分类器的袋外误差具有逐渐降低的趋势, 组合 1 (Red+NDVI+dNDVI+RRI) 的误差值为 0.485, 逐步增加特征的过程中 OOB 误差快速降低, 直到组合 8, 达到最低 0.050。继续增加特征, 组合 8 到组合 9 之间出现了一个缓慢的上升, 模型开始出现过拟合现象, 精度不升反降。因此可以考虑去掉重要性最低的特征 Variance, 最终使用组合 8 (Red, Green, Blue, NIR, NDVI, NDWI, NDBI, RRI, dNDVI, Contrast, Entropy) 进行人为扰动提取。

表 3 参与分类的不同特征相对重要性

Table 3 Relative importance of different features involved in classification

特征名称	相对重要性
归一化植被指数(NDVI)	34.832
归一化水体指数(NDWI)	27.519
归一化建筑指数(NDBI)	25.529
比值居民地指数(RRI)	33.166
3月与8月的NDVI差值(dNDVI)	31.128
纹理特征:对比度(Contrast)	18.714
纹理特征:方差(Variance)	18.704
纹理特征:熵(Entropy)	23.063
红边波段 R	34.390
绿边波段 G	26.646
蓝边波段 B	25.931
近红外波段 NIR	26.816

表 4 待验证特征组合

Table 4 Combination of features to be verified

组合编号	特征组合	不同特征组合的 OOB 误差
组合 1	Red+NDVI+dNDVI+RRI	0.485
组合 2	组合 1+NDWI	0.349
组合 3	组合 2+NIR	0.223
组合 4	组合 3+Green	0.149
组合 5	组合 4+Blue	0.095
组合 6	组合 5+NDBI	0.056
组合 7	组合 6+Entropy	0.054
组合 8	组合 7+Contrast	0.050
组合 9	组合 8+Variance	0.055

3.2 分类器最优参数选择结果

本研究基于 GEE 平台使用的随机森林分类器的参数有决策树个数、子树变量限制、最小叶子节点数、每棵树输入到袋中的比例、袋外样本模式和随机种子数。通过对各项参数的调整和分类精度可知, 除决策树个数变量外, 其余参数使用默认值依旧能得到良好的分类效果。基于上述特点, 本文分别构建了 5~50 棵决策树的随机森林模型, 其总体精度随决策树棵数的变化如图 3 所示。当决策树为 32 棵时, 多特征输入下的随机森林分类总体精度达到了峰值 0.949, 说明在该参数设置下, 随机森林算法对地物识别的总体精度最高。

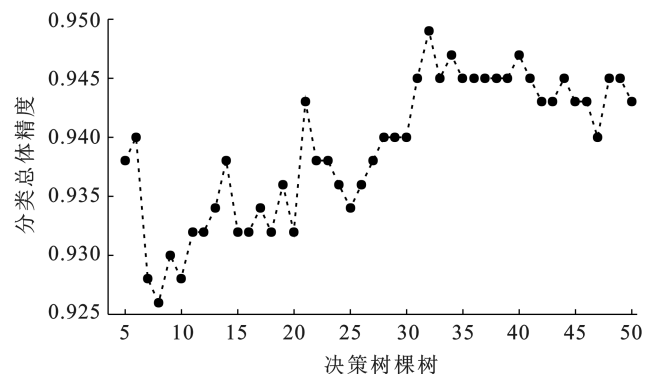


图 3 总体精度随决策树棵树的变化

Fig.3 Variation of overall accuracy with number of decision trees

3.3 分类结果

3.3.1 精度对比分析 湖北省生产建设人为扰动分类结果精度如表 5 所示, 其中, 2021 年总体精度最高为 96.00%, 2018 和 2019 年精度较低, 相较 2021 年分别低了 2.60% 和 1.10%。分析原因, 可能是相较 2021, 2018 和 2019 年的影像数据质量较差, 多受云层遮盖的影响, 给样本的选择和最终分类结果造成一定的影响。总体上看, 2017—2021 年分类的总体精度均高于 93.00%, kappa 系数均在 0.92 以上, 表明该方法在生产建设人为扰动区域提取的问题上可行。

3.3.2 人为扰动区域时空分布 本研究基于 GEE 平台调用 Sentinel-2 时序数据, 探究最优分类特征组合及最优分类参数, 利用随机森林模型对湖北省 2017—2021 年 3 月的人为扰动区域进行逐年识别提取, 得到湖北省 5 a 生产建设人为扰动区域分类结果及面积统计(图 4)。同时, 针对不同年份和不同地区生产建设人为扰动剧烈的区域进行了局部制图, 得到图 5 的局部制图结果。对 5 a 间生产建设人为扰动空间分布特征进行分析, 结合其他数据调查和研究, 湖北省生产建设人为扰动时空分布特征及其影响因素

主要包括以下几个方面: ①从时间维度上, 2017—2021 年省内人为扰动区域面积呈现先上升后下降再回升的趋势(图 4)。2017—2019 年扰动面积逐年增加, 最高达到 695.99 km^2 ; 2019—2020 年间面积剧烈减少, 达到 5 a 间最低 403.54 km^2 ; 之后有所回升, 在 2021 年增长至 510.16 km^2 , 但仍低于 2017—2019 年扰动面积。结合其他数据对 2020 年扰动面积急剧下降原因进行调查分析, 推断原因为 2019—2020 年湖北省受到疫情影响, 省内流动人口大幅减少, 没有新增生产建设人为扰动项目且大量原工程建设项目停滞。②从空间维度上, 5 a 间生产建设人为扰动区域空间分布特征相似, 更多分布在湖北的东北、东南、西北和西南地区; 中部、北部和南部地区扰动面积相对较少。查阅相关资料可知, 湖北的南北和中部地区以平原为主, 是我国重要的商品粮基地, 大面积的耕地及河湖库塘使得生产建设人为扰动区域相对较少。同时, 在市级尺度上, 宜昌、襄阳与武汉市的生产建设人为扰动区域相对较大且较为集中, 主要由于以上 3 市同属湖北省实施的“一主两副”发展战略重点规划城市。过去 5 a 内, 3 市大力投入产业链建设, 提升区域性中心城市能级。城市化扩张的加剧导致三市扰动地块的单位面积居于省内高位。③从细节上, 我

们选取了研究区内不同年份, 景观和地形不同的地区, 对本文方法的制图结果进行分析(图 5), 结果表明, 基于本文提出的方法得到的人为扰动区域“椒盐”噪声较少, 边界轮廓清晰, 地块内部物质均匀。可见, 本文提出的方法可有效用于大面积、快速、高精度的人为扰动区域分类与制图。

表 5 湖北省生产建设人为扰动分类结果精度
Table 5 Accuracy of classification results of human disturbance in production and construction in Hubei Province

年份	指标	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
植被	PA	0.980	0.952	0.970	0.961	0.959
	UA	0.937	0.952	0.980	0.970	0.980
水体	PA	0.960	0.960	0.958	0.953	0.983
	UA	0.970	0.970	0.970	0.979	0.981
不透水层	PA	0.912	0.931	0.891	0.939	0.923
	UA	0.960	0.944	0.959	0.940	0.944
耕地	PA	0.959	0.938	0.962	0.955	0.943
	UA	0.975	0.903	0.913	0.945	0.934
扰动地块	PA	0.961	0.927	0.932	0.927	0.969
	UA	0.934	0.933	0.922	0.951	0.941
OA		0.952	0.934	0.949	0.953	0.960
kappa		0.947	0.930	0.929	0.956	0.944

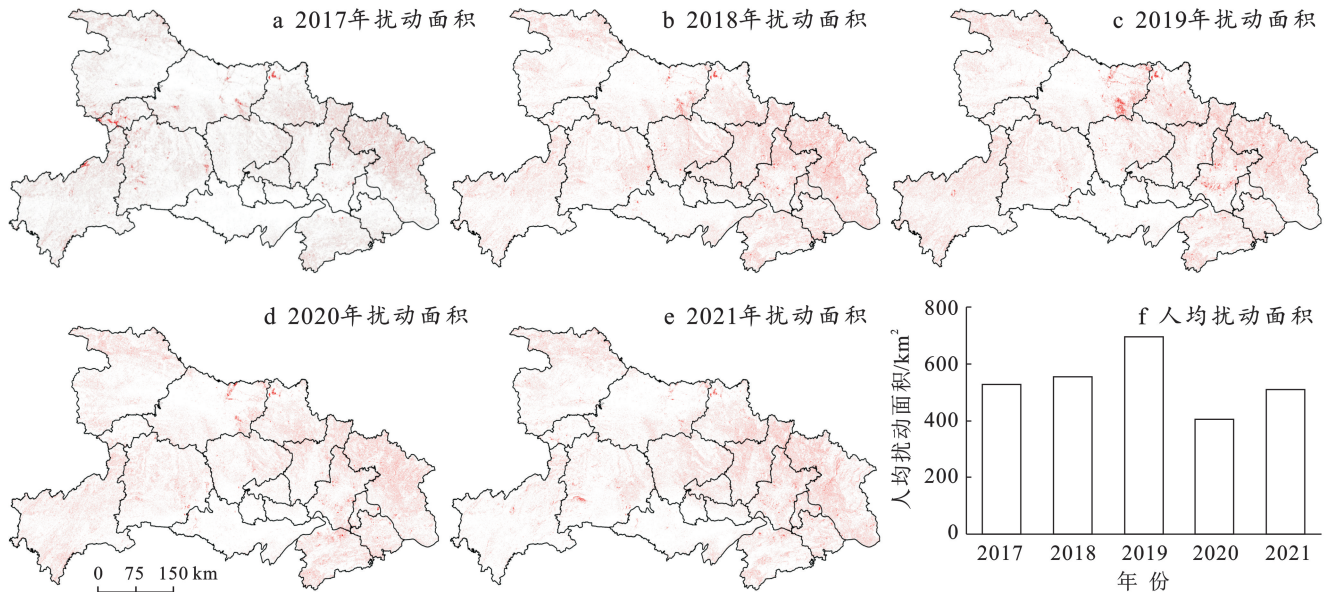


图 4 湖北省各市区 2017—2021 年人为扰动地块分布

Fig.4 Distribution of anthropogenically disturbed regions in Hubei Province in 2017—2021

3.3.3 人为扰动区域年际时空变化 将 2017—2021 年的分类结果进行相邻年份的叠加分析, 可得到人为扰动在年际间的变化模式与分布, 通过分析可知。2018—2019 年, 新增生产建设项目人为扰动区域较大, 多分布在襄阳、武汉和随州。上述新增区域在 2019—2020 年已建设完工, 由人为扰动变为其他地

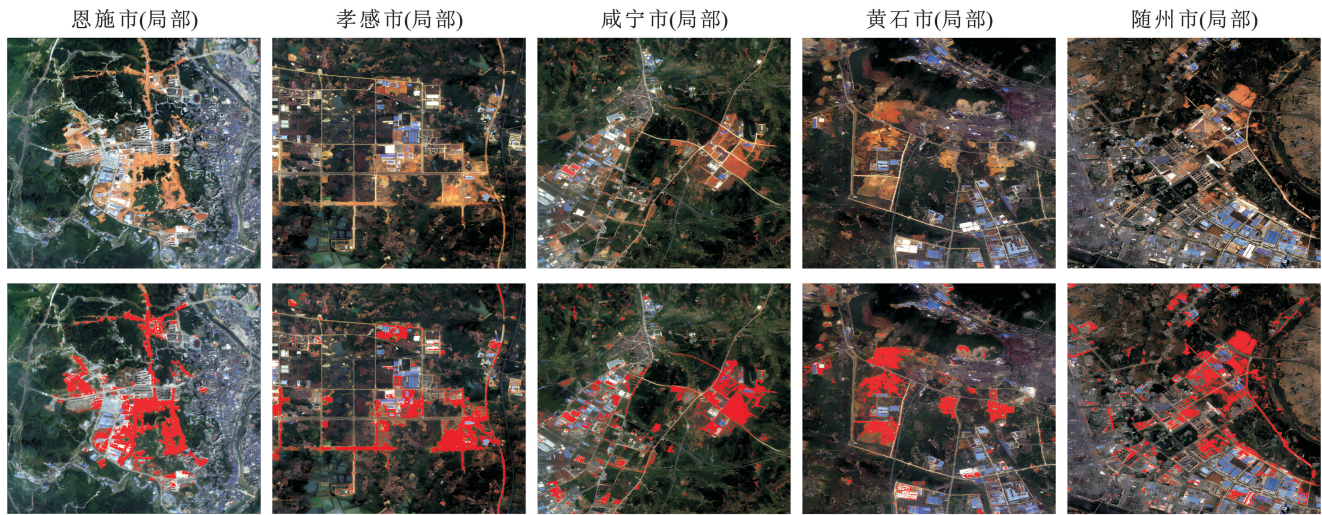
类。同时 2020—2021 年, 由于受到疫情的影响, 整个湖北省的人为扰动变化区域变化较小, 相比其他年份变化程度明显平稳。

4 结论

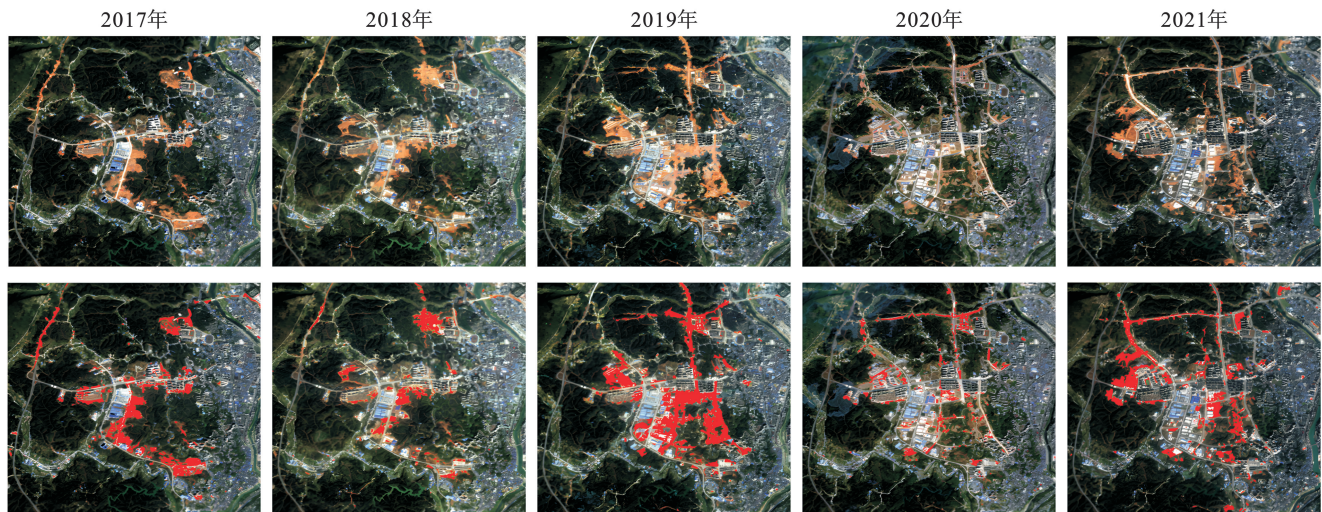
(1) 应用各类特征进行生产建设项目人为扰动

区域快速提取时,不同特征组合对分类结果的精度影响不同。经过特征优选后,本文探究出最优分类特征组合为红边波段、绿边波段、蓝边波段、近红外波段以

及NDVI,NDWI,NDBI,RRI,dNDVI,对比度和熵。其中,人为定义的dNDVI可有效减少生产建设项目人为扰动与耕地的混淆。



a 2019年湖北省人为扰动局部分类结果



b 2017—2021年恩施市人为扰动局部分类结果

图5 人为扰动提取结果局部制图

Fig.5 Human disturbance extraction results local mapping

(2) 基于最优特征与最优参数的随机森林算法得到的5a分类结果总体精度在93.00%以上,平均kappa系数为0.94。2021年总体精度最高为96.00%;受影像质量影响,2018,2019年精度较低,相较2021年分别低了2.60%和1.10%;同时,制图结果可见“椒盐”噪声较少,边界轮廓清晰,地块内部物质均匀,证明该方法具有可行性。

(3) 2017—2021年湖北省生产建设项目人为扰动区域时空变化特征为:5a间,扰动总面积呈现“先增后减再增”的变化趋势,在2020年出现了反常的减少,推断原因为疫情影响下,施工项目或停产或无新增;空间上,湖北省的生产建设项目人为扰动区域多

分布在武汉、襄阳、宜昌、随州等城市化扩张加剧的区域。

(4) 本文提出的方法在快速识别大尺度、多类型生产建设项目人为扰动区域问题上有较大潜力,生成的高精度、长时序空间数据集,可为后续生产建设项目人为扰动区域提取及水土流失相关问题提供理论支撑和方法参考。

[参考文献]

- [1] 王克勤,姜德文,高天天,等.基于层次分析法的生产建设项目水土流失影响综合指数研究[J].水土保持通报,2015,35(3):136-142.
- [2] 段倩,岳有志,齐斐,等.生产建设项目扰动图斑时空分布

- 及合规性分析[J].中国水土保持科学,2019,17(5):136-145.
- [3] 李小军.水土流失的原因及对策[J].现代化农业,2021(11):25-26.
- [4] 谭杰峻,毕永清,周从斌.西藏地区生产建设项目扰动地表遥感监测方法与监管应用[J].中国水土保持,2019(2):63-66.
- [5] 毕永清,范建容,徐京华,等.基于纹理的高寒地区人为扰动地表信息提取[J].测绘与空间地理信息,2018,41(4):184-188.
- [6] 夏既胜,马梦莹,符钟壬.基于 GF-2 遥感影像的机械性破损面提取方法[J].国土资源遥感,2020,32(2):26-32.
- [7] 陈晓枫,洪倩,陈枫楠,等.基于高分影像的建设项目扰动面积自动提取[J].人民黄河,2021,43(9):120-124.
- [8] 史蕾.面向对象的高分辨率遥感影像特征选择与分类研究[D].湖北 武汉:武汉大学,2018.
- [9] Running S W. Global drought disturbance monitoring and impacts on net primary productivity at large scales [EB/OL].(2012-08-09)[2022-07-12]. <https://eco.confex.com/eco/2012/webprogram/Paper33402.html>.
- [10] Segarra J, Buchailot M L, Araus J L, et al. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications[J]. Agronomy, 2020,10(5):641-653.
- [11] Li J, Roy D P. A global analysis of Sentinel-2 A, Sentinel-2 B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring [J]. Remote Sensing, 2017,9(9):902-907.
- [12] 中华人民共和国水利部.中国水土保持公报[EB/OL].(2021-09-30)[2022-07-12]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202109/t20210930_1545971.html.
- [13] Coluzzi R, Imbrenda V, Lanfredi M, et al. A first assessment of the Sentinel-2 Level 1-C cloud mask product to support informed surface analyses [J]. Remote Sensing of Environment, 2018,217:426-443.
- [14] 中华人民共和国水利部.生产建设项目水土保持监测与评价标准:GB/T51240-2018[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [15] 刘心云,郑江华.基于分形纹理特征的新疆罗布麻遥感分类[J].中山大学学报(自然科学版),2019,58(1):22-29.
- [16] 陈波,胡玉福,喻攀,等.基于纹理和地形辅助的山区土地利用信息提取研究[J].地理与地理信息科学,2017,33(1):1-8.
- [17] 汪小钦,邱鹏勋,李娅丽,等.基于时序 Landsat 遥感数据的新疆开孔河流域农作物类型识别[J].农业工程学报,2019,35(16):180-188.
- [18] Yang Xiucheng, Zhao Shanshan, Qin Xuebin, et al. Mapping of urban surface water bodies from Sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening [J]. Remote Sensing, 2017,9(6):596-614.
- [19] Li Kangning, Chen Yunhao. A Genetic Algorithm-based urban cluster automatic threshold method by combining RS DNB, NDVI, and NDBI to monitor urbanization [J]. Remote Sensing, 2018, 10(2):277-297.
- [20] 杨栩,朱大明,杨润书,等.一种提取不透水面的可见光波段遥感指数[J].农业工程学报,2020,36(8):127-134.
- [21] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I H. Textural features for image classification [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1973(6):610-621.
- [22] Millard K, Richardson M. On the importance of training data sample selection in random forest image classification: a case study in peatland ecosystem mapping [J]. Remote Sensing, 2015,7(7):8489-8515.
- (上接第 216 页)
- [25] 陈小平,陈文波.鄱阳湖生态经济区生态网络构建与评价[J].应用生态学报,2016,27(5):1611-1618.
- [26] 古雄.基于生态网络构建的县域国土空间生态保护与修复策略研究[D].江西 南昌:江西财经大学,2022.
- [27] 王琦,付梦娣,魏来,等.基于源—汇理论和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建:以安徽省宁国市为例[J].环境科学学报,2016,36(12):4546-4554.
- [28] 陈影,哈凯,贺文龙,等.冀西北间山盆地景观格局变化及优化研究:以河北省怀来县为例[J].自然资源学报,2016,31(4):556-569.
- [29] Mcrae B H, Dickson B G, Keitt T H, et al. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation [J]. Ecology, 2008,89(10):2712-2724.
- [30] 孙文义,邵全琴,刘纪远.黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价[J].自然资源学报,2014,29(3):365-376.
- [31] 高吉喜,赵少华,侯鹏.中国生态环境遥感四十年[J].地球信息科学学报,2020,22(4):705-719.
- [32] 覃彬桂,林伊琳,赵俊三,等.基于 InVEST 模型和电路理论的昆明市国土空间生态修复关键区域识别[J].中国环境科学,2023,43(2):809-820.
- [33] 张海铃,叶长盛,胡梦姝.基于生态安全格局的环鄱阳湖城市群生态修复关键区域识别及修复策略[J].水土保持研究,2023,30(2):393-402.
- [34] 付梦娣,罗建武,田瑜,等.基于最小累积阻力模型的自然保护区网络构建与优化:以秦岭地区为例[J].生态学杂志,2018,37(4):1135-1143.