

# 基于决策树与NDVI时序变化检测的 撂荒耕地的地形特征研究

——以重庆市巫山县为例

夏玉松<sup>1</sup>, 周启刚<sup>2,3</sup>, 李辉<sup>4</sup>, 张晓媛<sup>3,5</sup>, 陈芳焱<sup>1</sup>

(1.重庆工商大学 环境与资源学院, 重庆 400067; 2.重庆工商大学 公共管理学院,  
重庆 400067; 3.生态环境空间信息数据挖掘与大数据集成重庆市重点实验室, 重庆 401320;  
4.重庆财经学院 公共管理学院, 重庆 401320; 5.重庆财经学院 讯飞人工智能学院, 重庆 402160)

**摘要:** [目的] 揭示山区撂荒耕地的地形特征,为区域土地资源管理和农业可持续发展提供科学参考, [方法] 以重庆市巫山县为研究区域,利用谷歌地球引擎(Google Earth Engine, GEE)云平台上的 Landsat TM/ETM+ /OLI 和 Sentinel-2 数据,采用决策树与时间序列 NDVI 变化检测法,对 2017—2021 年研究区的撂荒地信息进行提取和分析。[结果] ①从时间序列特征上看,研究区内撂荒地面积整体呈上升趋势,2017—2021 年的增加量为 2 123.50 hm<sup>2</sup>,增长率为 19.61%,区间内曲线形态上表现为“W”字形特征。空间上撂荒地呈全局分散,局部集中特征,主要沿着水系走向分布,显著集中于河流两侧,周边被坡耕地围绕。②研究区内撂荒地不同的高程带和坡度带分布不同。撂荒地主要集中于高程 1 000 m 以下和坡度 5°~20° 范围内。高程 1 500 m 以下的区域,撂荒地面积和撂荒率表现“先增后减”的规律,2019 年达到最高点;高程 1 500 m 以上的区域,撂荒地面积和撂荒率随着时间的变化呈现“先减后增”的规律,在 2020 年达到了最低值。③撂荒地不同地形位等级下的分布指数表现为持续减少型,地形梯度 1 级、2 级的分布指数大于 1,为撂荒地的优势区。[结论] 决策树与 NDVI 时序变化检测法结合能够精准识别撂荒地,识别精度为 83.59%。

**关键词:** 撂荒地; 决策树; NDVI 时间序列; 遥感; 重庆市巫山县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)04-0383-11

中图分类号: X171.3

**文献参数:** 夏玉松, 周启刚, 李辉, 等. 基于决策树与 NDVI 时序变化检测的撂荒耕地的地形特征研究[J]. 水土保持通报, 2024, 44(4): 383-393. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.04.039; Xia Yusong, Zhou Qigang, Li Hui, et al. Topographic characteristics of abandoned farmland based on decision tree and NDVI time series change detection [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(4): 383-393.

## Topographic Characteristics of Abandoned Farmland Based on Decision Tree and NDVI Time Series Change Detection —A Case Study in Wushan County of Chongqing City

Xia Yusong<sup>1</sup>, Zhou Qigang<sup>2,3</sup>, Li Hui<sup>4</sup>, Zhang Xiaoyuan<sup>3,5</sup>, Chen Fangyan<sup>1</sup>

(1.College of Environment and Resources, Chongqing Technology and

Business University, Chongqing 400067, China; 2.School of Public Administration, Chongqing

Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 3.Chongqing Key Laboratory of

Spatial Data Mining and Big Data Integration for Ecology and Environment, Chongqing 401320, China;

4.School of Public Administration, Chongqing Financial and Economic College, Chongqing 401320, China;

5.IFlytek Artificial Intelligence College, Chongqing University of Finance and Economics, Chongqing 402160, China)

**Abstract:** [Objective] The topographic characteristics of abandoned farmland in mountainous areas were analysed in order to provide a scientific reference for regional land resource management and sustainable agricultural development. [Methods] Taking Wushan County of Chongqing City as the research area, this

收稿日期: 2023-12-12

修回日期: 2024-03-01

资助项目: 国家社会科学基金项目“西南粮食主产区生态安全屏障构建及实现路径研究”(22XJY006); 重庆市自然科学基金项目(cstc2020jcyj-msxmX0582)

第一作者: 夏玉松(2000—), 女(汉族), 重庆市人, 硕士研究生, 研究方向为环境规划与管理。Email: 1971056238@qq.com。

通信作者: 周启刚(1976—), 男(汉族), 重庆市人, 博士, 教授, 主要从事环境规划与管理方面的研究。Email: zqg1050@126.com。

study used Landsat TM/ETM+/OLI and Sentinel-2 data on the Google Earth Engine (GEE) cloud platform and adopted decision tree and time series normalised difference vegetation index (NDVI) change detection methods. We extracted and analysed abandoned land information from the study area from 2017 to 2021. [Results] ① From the perspective of time series characteristics, the area of abandoned land in the study area showed an overall upward trend; the increase from 2017 to 2021 was 2 123.50 hm<sup>2</sup>, with a growth rate of 19.61%, and the curve shape within the interval showed a “W” shaped characteristic. Spatially, abandoned land was regionally dispersed and locally concentrated. It was mainly distributed along the direction of the water system, significantly concentrated on both sides of the river, and surrounded by sloping farmlands. ② The abandoned land in the study area was distributed differently across different elevation and slope zones. The abandoned land was concentrated at elevations below 1 000 m and slopes within a range of 5°~20°. In areas with an elevation below 1 500 m, the area of abandoned land and rate of abandonment showed a pattern of “first increasing and then decreasing,” reaching the highest point in 2019; in areas with an elevation above 1 500 m, the area of abandoned land and the rate of abandonment showed a pattern of “first decreasing and then increasing” over time. The law of “increase” reached its lowest value in 2020. ③ The distribution index of abandoned land under different terrain levels was continuously decreasing, and the distribution index of terrain gradients 1 and 2 was greater than 1, indicating the dominant area of abandoned land. [Conclusion] The combination of a decision tree and NDVI time series change detection methods can accurately identify abandoned land with a recognition accuracy of 83.59%.

**Keywords:** abandoned farmland; decision tree; normalised difference vegetation index (NDVI) time series; remote sensing; Wushan County of Chongqing City

撂荒地是土地不继续耕种,任其荒芜形成的状态<sup>[1]</sup>。在农业领域,耕地撂荒可以被称为“抛荒地”或者“弃耕地”。目前学术界尚无统一界定撂荒地的定义,有学者认为耕地空闲一季以上即可被认定为撂荒地;而另一些学者则主张耕地荒芜 1 a 及以上才能被认定为撂荒地<sup>[2-3]</sup>。随着城市化进程和农村人口持续减少,农村劳动力数量逐渐减缺,进而引发撂荒现象,尤其是在山区,这一问题尤为突出<sup>[4]</sup>。这种现象不仅导致耕地资源的浪费,还对国家粮食安全构成了威胁。中共中央高度关注粮食安全,强调中国人要牢牢掌握自己的饭碗。从 2004 年以来,国务院办公厅及农业农村部相继发布了相关文件<sup>[5-6]</sup>,要求各级政府采取相应措施,有效制约撂荒地。为贯彻实施“粮食安全”国家战略,首要任务是对撂荒地识别与监测,并为精准防控提供科学依据。

近年来,国内外对撂荒地的研究主要聚焦于山区和丘陵地带,这些地区地形复杂,耕作条件相对较差,如西班牙东北部<sup>[7]</sup>、阿尔巴尼亚东部<sup>[8]</sup>、四川<sup>[9]</sup>和贵州<sup>[10]</sup>等。提取方法可以分为两大类型:一种是基于遥感影像的分类方法,包括目视解译<sup>[11]</sup>、监督分类<sup>[12]</sup>和面向对象分类<sup>[13]</sup>等;一种是基于变化检测为基础,例如直接变化检测<sup>[14]</sup>和植被指数变化检测<sup>[15]</sup>等。Kuemmerle T 等<sup>[16]</sup>利用 Landsat TM/ETM+影像制作了 1990—2005 年间罗马尼亚南部地区的土地利用覆盖图,发现该地区在这段时期的撂荒率为

21.1%。Estel S 等<sup>[12]</sup>利用 MODIS 数据对欧洲地区耕地撂荒的规模和分布特征进行了研究。肖国峰等<sup>[17]</sup>使用 CART 决策树分类算法提取了山东省庆云县和无棣县的撂荒地。其中决策树能够利用多种辅助信息和强大的逻辑性提高分类准确率,但也依赖人工选择特征和决策点的方式,这个过程容易受到主观性的人为因素的影响<sup>[18]</sup>。程维芳等<sup>[19]</sup>在广东省的惠东县、海丰县和陆丰县进行了 3 种撂荒地识别方法,包括基于建立解译标志、基于 NDVI 时序特征和基于光谱特征的土地分类,结果显示基于 NDVI 时间序列特征方法与其他方法相比,提取撂荒耕地的效果最佳。综合当前研究来看,针对撂荒地的研究较为丰富,但仍存在一些局限性。如采用单一的提取方法,在地形复杂、地块零散和非耕地因素多的山区,无法对耕地休耕轮作与撂荒进行有效地区分<sup>[20]</sup>,同时对撂荒地的地形特征分析相对有限。因此,本研究在 GEE 云平台结合决策树与时间序列 NDVI 变化检测法进行撂荒地提取,克服了轮休和非耕地变化等因素的影响,并对撂荒地的地形特征进行深度分析。

山区的耕地资源保护与高质量发展的研究备受瞩目。重庆市巫山县作为中国西南地区的一个山区农业县,地处长江上游,拥有丰富的农业资源和良好的生态环境。但由于城市化和经济转型引发的人口流动,以及巫山县的地形复杂、土地质量差等多重因素,导致撂荒现象普遍,迫切需要解决。因此,本文选取巫山县作

为研究区,利用 GEE 云平台的 Landsat TM/OLI 和 Sentinel-2 遥感数据,并结合决策树和时间序列 NDVI 变化检测法,提取 2017—2021 年该地区的撂荒地信息,并分析了其的地形特征。研究成果可为巫山县的土地资源管理和农业可持续发展提供参考,以期为其其他山地丘陵地区的撂荒地问题的研究提供案例。

## 1 研究区概况

巫山县位于重庆市东部边缘,处三峡库区腹心,下辖 26 个乡镇(街道),县域东经 109°33′—110°11′,北纬 30°45′—23°28′之间,南北长 80.3 km,东西宽 61.2 km,总面积 2 958 km<sup>2</sup>。巫山县的经济以农业为主导,农村人口占据县总人口的大部分,该县拥有丰富的水资源和肥沃的土壤,主要种植玉米、红薯、马铃薯和水稻等粮食作物,以及橙子、柚子等水果作物。然而,巫山县土地利用情况相对复杂,农田虽占据了大部分土地面积,但约 80% 的区域属于喀斯特地貌,地形多为山地,平坦土地稀少,土地分布零散,这种地形特点在一定程度上限制了农业的发展。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

GEE 云平台(<https://earthengine.google.com>)支持对大量地理数据集的实时访问、操作和分析<sup>[21]</sup>。它既能整合海量大数据信息并进行高性能运算,同时还具备强大的集成运算性能和丰富的内嵌接口。借助 GEE 平台,采用了以下数据:①空间分辨率 30 m 的 Landsat TM/ETM+/OLI 遥感影像数据来自美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS),基于 GEE 云平台综合处理。使用经过辐射校正和大气校正后的地表反射率数据(Surface

reflectance, SR)(每年各选择 4,8 和 11 月 3 个时相数据),在个别缺失月份选择了 Sentinel-2 影像。②高程数据采用美国航天飞机雷达地形测绘任务(Shuttle radar topography mission, SRTM)的 DEM 数据,分辨率为 30m,坡度由 DEM 数据获取。③归一化植被指数(NDVI)在 GEE 平台集成,为月度 NDVI 最大合成数据。④5 期(2017,2018,2019,2020 和 2021 年)时间序列的耕地范围来源于武汉大学的杨杰和黄昕教授团队利用 Landsat 影像制作了中国逐年土地覆盖数据集(Annual China land cover dataset, CLCD),其分辨率为 30 m。

### 2.2 撂荒地提取方法

结合决策树与 NDVI 时序变化检测法,提取研究区的撂荒地信息(图 1)。借鉴其他学者对撂荒地的界定<sup>[2,22]</sup>,并结合实地调研情况,将连续 1 a 及以上未种植的耕地认定为完全撂荒。首先,利用 Landsat 影像数为基础,归纳总结研究区的耕地和撂荒地的时间序列 NDVI 数据,同时,根据实地调研获得的耕地与撂荒地样本数据,为 NDVI 变化分析阈值分割提供依据。其次,对 NDVI 时间序列数据进行阈值分割,对同一年份的夏季与春季、夏季与秋季分别进行差值运算,确定分割阈值。最后,为消除耕地边界以外的其他地物的干扰,利用每年更新的耕地边界作为掩膜,建立了决策树模型,只从耕地范围内提取撂荒地。

耕地撂荒一般采用耕地的撂荒率表示:每年的撂荒面积占本底耕地面积的比例<sup>[23]</sup>,具体计算公式为:

$$p_a = \frac{A_i}{A_0} \times 100\% \tag{1}$$

式中: $p_a$  为撂荒率(%); $A_i$  为第  $i$  年撂荒的耕地面积(hm<sup>2</sup>); $A_0$  为本底耕地面积(hm<sup>2</sup>)。

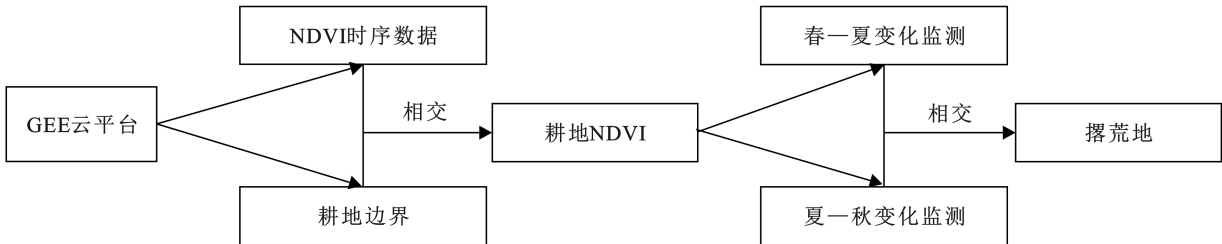


图 1 撂荒地提取流程  
Fig.1 Flow of abandoned land extraction

### 2.3 NDVI 时间序列数据构建

归一化植被指数(NDVI)是应用最为广泛的植被指数之一,能够准确地反映植被的变化。农作物在成

熟期通常具有较高 NDVI 值,而农作物收割后的秋季,其 NDVI 值急剧下降,与自然植被相比呈显著差异。在野外调查的基础上,研究区内的水稻、玉米、马

铃薯和红薯等主要农作物在生长过程中的 NDVI 变化情况,如图 2 所示。以上农作物的生长初期都在 5 月左右,此时的 NDVI 值与撂荒地相近;在 6 月到 8 月中旬左右是农作物成熟期,NDVI 值达到峰值;在 9—11 月,农作物收割,NDVI 值急速下降。对于撂荒地,其 NDVI 值的变化主要表现为 7 月中旬前的上升,而在 8 月后则开始降低。综上所述,8 月的农作物 NDVI 值显著高于撂荒地的 NDVI 值,5—8 月和 8—11 月波动梯度差异更大。基于此,显著的 NDVI 波峰特征和变化梯度差异成为本研究阈值分割和联合变化检测的依据。

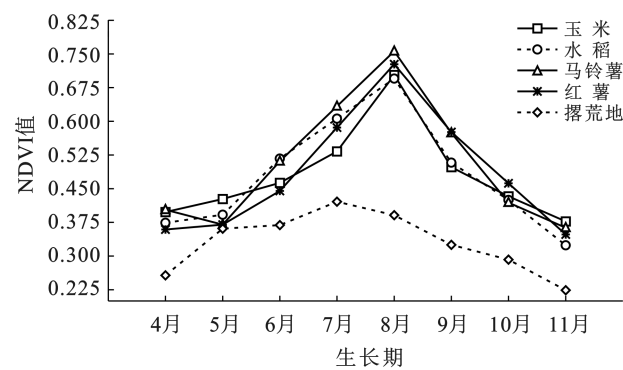


图 2 重庆市巫山县农作物生长期 NDVI 曲线  
Fig.2 NDVI curve of crop growth period in Wushan County of Chongqing City

## 2.4 阈值分割

阈值分割是变化检测方法的核心,阈值直接影响分类的准确性<sup>[24]</sup>。阈值分割法涵盖了多种方法,其中包括直方图法<sup>[25]</sup>、最大类间方差法<sup>[26]</sup>、迭代分割

法<sup>[27]</sup>和最大熵分割法<sup>[28]</sup>等。本研究采用了当前常用的基于样本统计的阈值分割方法进行变化检测<sup>[29]</sup>。为确定最合适的分割点,将野外调查采集的耕地样本数据,与相应实相的 NDVI 数据进行了叠合与相减,从而获取了不同农作物在不同实相下的 NDVI 差值(表 1)。对 NDVI 差值进行定量分析,夏季和春季的 NDVI 之差最低为 0.28,低于此数值的区域已不属于正在种植的耕地,被认定为撂荒地;类推,夏季和秋季的 NDVI 差值最低为 0.26,低于此值的区域被认定为撂荒地。综上,本研究将分割阈值设定为 0.26,即 NDVI 差值小于 0.26 的区域被判定为撂荒地。

表 1 不同时相地物 NDVI 差值运算结果  
Table 1 NDVI difference calculation results of different simultaneous features

统计特征	NDVI <sub>夏</sub>	NDVI <sub>春</sub>	NDVI <sub>夏</sub>	NDVI <sub>秋</sub>
	耕 地	撂荒地	耕 地	撂荒地
均 值	0.41	0.15	0.30	0.12
标准差	0.12	0.07	0.04	0.08
最大值	0.58	0.26	0.39	0.29
最小值	0.28	0.02	0.26	0.02
中 值	0.38	0.13	0.26	0.11

## 2.5 决策树构建

利用 GEE 云平台,结合 Landsat 和 Sentinel-2 遥感影像以及机器学习技术,进行逐年提取 2017—2021 年研究区的撂荒地信息。首先,使用每年的耕地范围数据进行掩膜处理,获取总耕地。然后,对每年农作物的 NDVI 值进行两次变化检测,提取小于阈值的区域,相交部分为撂荒地,其余部分为轮休(图 3)。

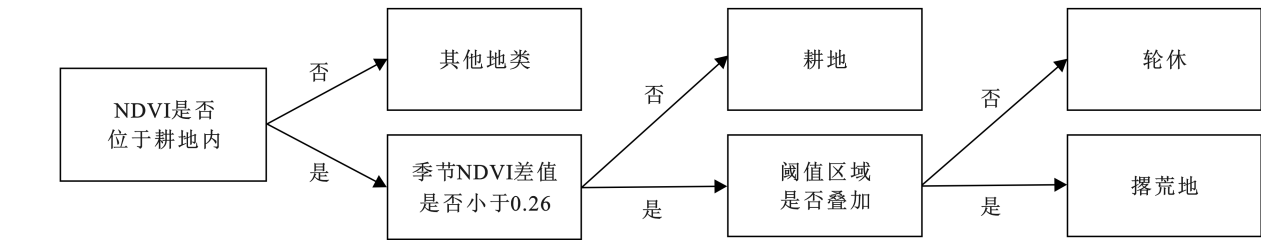


图 3 撂荒地提取的决策树模型  
Fig.3 Decision tree model extracted from abandoned land

## 2.6 地形数据

2.6.1 地形位指数 地形位(terrain niche)是反映高程和坡度综合影响的复合地形因子,计算方法是根据高程和坡度等地形数据得出的一个指数,高程和坡度越高,地形位指数越大,反之则越小<sup>[30]</sup>。

$$T = \ln\left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1\right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1\right)\right] \quad (2)$$

式中: $T$  为地形位指数; $E, \bar{E}$  分别为所在区域内任意一点的高程值和该点所在区域平均高程值; $S, \bar{S}$  分别为所在区域内任意一点的坡度值和所在区域平均高程值。

2.6.2 分布指数 分布指数(distribution index, DI)是一个标准化、无量纲的指数,其计算过程能够消除地形梯度差异和撂荒地面积差异的量纲影响<sup>[31]</sup>,其



计算公式为:

$$P=\frac{S_{ie}}{S_i} / \frac{S_e}{S}$$
 (3)

式中: $P$  为分布指数; $S_{ie}$  为  $e$  类地形位  $i$  地类的面积 ( $\text{hm}^2$ );  $S_i$  为第  $i$  种地类的总面积;  $S_e$  为  $e$  类地形位的总面积;  $S$  为研究区域的总面积。其中,  $P>1$  时, 呈优势分布,  $P<1$  时, 呈现出劣势分布, 优势度随着  $P$  值增大而提高, 反之则劣势度提高。

3 结果与分析

3.1 精度评价

为验证研究结果的精度, 采用野外实地验证和目视解译两种方法进行评估(图 4)。①野外实地调查。利用 2021 年夏季(5—9 月)野外采集的 110 个撂荒地样本点, 通过 ArcGIS 平台对 110 个撂荒地调查样本点与撂荒地提取结果进行叠加分析, 其中有 93 个样本点落在撂荒地提取结果矢量范围内, 精度为 84.55%。②目视解译。在 Google Earth Pro 平台(分辨率为 5 m)进行撂荒地目视解译, 随机且均匀地采集 495 撂荒地样本点, 并结合 ArcGIS 平台对 495 撂荒地样本点和撂荒地提取结果进行叠加分析, 其中有 409 个样本点落在撂荒地提取结果矢范围内, 精度为 82.63%。因此, 结合两种精度评估方法, 总精度为 83.59%, 对撂荒地的提取表现出了高准确性和低错误率, 有效地反映了研究区的撂荒情况, 达到了预期效果, 可以进一步对提取撂荒地进行地形特征分析。

3.2 撂荒地面积变化总体趋势

借助 GEE 在线编码器, 利用决策树与 2017—2021 年时间序列 NDVI 数据变化检测的方法提取研究区撂荒地, 其分布情况如图 5 所示。

从近 5 a 时间序列特征上看(表 2), 巫山县撂荒地面积整体上呈现上升趋势。2017—2021 年的增加

量为 2 123.50  $\text{hm}^2$ , 增长率为 19.61%, 区间内曲线形态上表现为 W 形特征。其中在 2019 年撂荒地面积最大, 达到 15 285.87  $\text{hm}^2$ , 撂荒率为 20.52%。2019 年撂荒地面积最大的直接原因是根据气象局统计研究区 2019 年降水偏多, 低洼农田积水严重, 无法继续种植作物, 导致被动撂荒。2020 年撂荒地面积最小, 仅为 7 622.09  $\text{hm}^2$ , 撂荒率为 10.38%, 这可能是因为 2020 年为受疫情影响, 农民外出务工的计划受限, 选择留在家乡继续从事农业劳动, 耕地得到充分耕作与管理。同年政府出台《2020 年巫山县耕地地力保护和种粮大户补贴工作实施方案》巫山农发〔2020〕51 号等政策保障措施, 鼓励农民继续耕种, 以应对疫情带来的挑战, 多管齐下的综合措施的协同作用, 促使撂荒地面积显著减少。

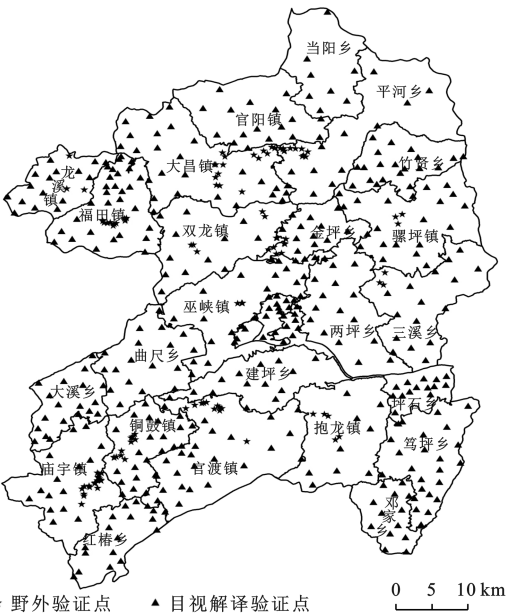


图 4 重庆市巫山县撂荒地验证点位分布  
Fig.4 Verification site distribution of abandoned land in Wushan County of Chongqing City

表 2 2017—2021 年重庆市巫山县撂荒地面积统计

年份	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
撂荒地面积/ $\text{hm}^2$	10 827.26	9 849.21	15 285.87	7 622.09	1 2950.76
耕地面积/ $\text{hm}^2$	77 388.20	77 199.55	74 485.84	73 438.11	73 197.15
当年撂荒率/%	13.99	12.76	20.52	10.38	17.69

从撂荒地的空间分布看(图 5), 呈全局分散, 局部集中特征, 主要沿着巫山县的水系走向分布, 尤其是长江两侧, 周边被坡耕地围绕。其中, 撂荒地面积前 6 的是官渡镇、曲尺乡、抱龙镇、两坪乡、大昌镇和庙宇镇。结合野外调查发现, 以上 6 个乡镇存在高撂荒规模的原因是多方面的。内源性原因为以上 6 个

乡镇除了曲尺乡面积小于 14 000  $\text{hm}^2$ , 其余乡镇的面积都超过了 14 000  $\text{hm}^2$  以上, 面积较大的乡镇拥有较多的耕地资源, 但同时也因巫山县的复杂地形, 耕地类型多样, 耕作难度大, 无法有效利用耕地。外源性原因为城市化进程的加速, 农业生产者选择离开农村外出务工, 导致农业生产劳动力短缺; 同时山区耕地成

本高、机械化程度低,难以流转。综上所述,撂荒地的分布情况与乡镇耕地资源、农业生产劳动力状况等因素密切相关,针对研究区撂荒地的现状,当地农业主管部门应制定具有针对性的政策措施,以制止撂荒耕地。

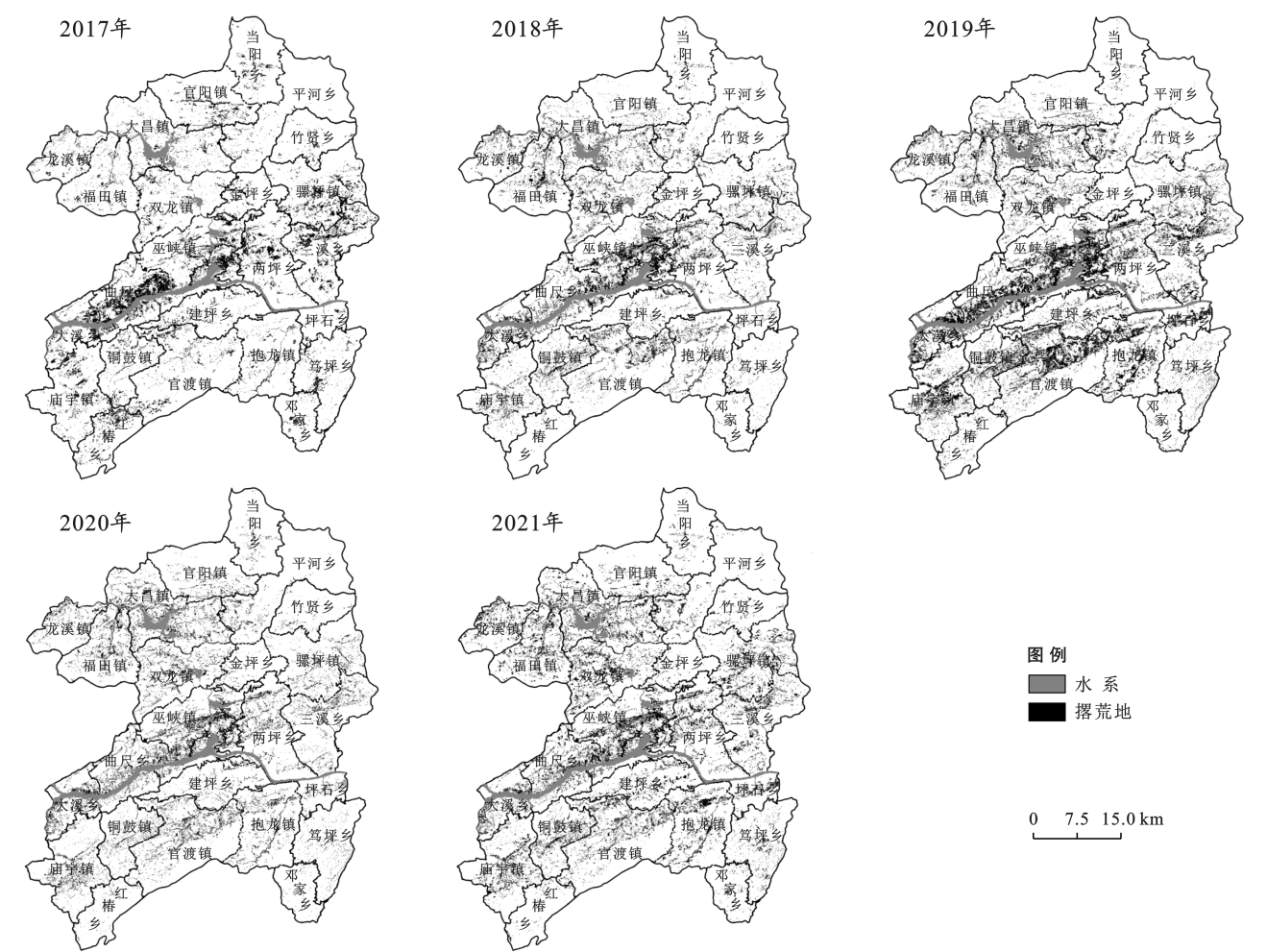


图 5 2017—2021 年重庆市巫山县撂荒耕地空间分布

Fig.5 Spatial distribution of abandoned farmland in Wushan County of Chongqing City from 2017 to 2021

### 3.3 撂荒地高程分布特征

根据研究区的实际情况,在 ArcGIS 中使用重分类工具对 DEM 数据按照 500 m 的间隔划分为(0 m, 500 m],(500 m,1 000 m],[1 000 m,1 500 m],[1 500 m,2 000 m],[2 000 m,2 663 m]这 5 种类型。将 5 种高程带与撂荒地空间分布叠加分析,得到撂荒地不同高程带的分布面积及比例(表 3),并对其纵向分布特征进行分析。①从分布情况看,研究区撂荒耕地在不同的高程带分布不同。撂荒地主要集中在高程 1 000 m 以下的范围内,其中 500~1 000 m 间的撂荒地面积最多,其次为 0~500 m,这两个高程带的撂荒地面积占总撂荒地面积的 59%左右,而高程大于 2 000 m 的区域,年均撂荒率仅为 4.83%。这种现象主要与巫山县的地形有关,县境内长江自西向东,横切中部,南北高而中间低,其中山地面积占 96.68%,丘陵平坝仅占 3.32%。1 000~2 000 m 之

间的区域地势较为平坦、气候适宜和土壤肥沃,适合农业生产,因此居民点和耕地在这段区域得以大规模分布,尤其是福田、大昌和庙宇镇等耕地集中镇;2 000 m 以上的高海拔区域大多数为巫山县的南北部中高山地,属于大巴山和七曜山脉,自然条件较为恶劣,可用耕地数量少,因此撂荒地比例也小。1 000 m 以下的海拔区域主要是长江两岸,该区域经济条件较为发达且城市化进程较快,人们更倾向于选择经济效益更高的其他产业,所以相对来说这个区域撂荒地面积最大。②从时间变化情况看,高程 1 500 m 以下的区域,撂荒地面积和撂荒率表现“先增后减”的规律,2019 年达到最高点。这种变化趋势说明政府对农业生产的支持力度加强,通过提供资金、技术和管理支持,促进了耕地的保护和利用,降低了耕地的撂荒率,表明当地政府和农民在逐步优化农业资源配置和提高农业生产效益方面取得了成果。高程

1 500 m 以上的区域,撂荒地面积和撂荒率随着时间的变化呈现“先减后增”的规律,在 2020 年达到了最低值。

3.4 撂荒地坡度分布特征

利用 ArcGIS 软件,从 DEM 数据中提取坡度数

据,并采用重分类工具按照 5°为间隔将其分为(0°, 5°],(5°, 10°],(10°, 15°],(15°, 20°],(20°, 25°]和(25°,79°]共 6 等级,将分级的坡度数据与撂荒地数据进行空间叠置统计,得到研究区内不同坡度区域内的撂荒地情况(表 4)。

表 3 2017—2021 年重庆市巫山县撂荒地高程变化统计  
Table 3 Statistics of abandoned land elevation change in Wushan County of Chongqing City from 2017 to 2021

年 份	指标	高程/m				
		0~500	500~1 000	1 000~1 500	1 500~2 000	2 000~2 663
2017	A	3 106.5	4 269.84	3 033.25	390.97	14.06
	P	28.69%	39.44%	28.01%	3.61%	0.13%
	P <sub>a</sub>	13.84%	11.66%	19.71%	15.29%	6.01%
2018	A	4 191.29	4 452.52	1 075.31	114.67	7.83
	P	42.55%	45.21%	10.92%	1.16%	0.08%
	P <sub>a</sub>	18.79%	12.25%	6.92%	4.31%	3.43%
2019	A	6 444.61	7 160.09	1 495.41	166.97	7.29
	P	42.16%	46.84%	9.78%	1.09%	0.05%
	P <sub>a</sub>	29.70%	20.56%	9.88%	6.43%	3.51%
2020	A	3 368.78	3 191.98	960.15	94.24	5.99
	P	44.20%	41.88%	12.60%	1.24%	0.08%
	P <sub>a</sub>	15.92%	9.39%	6.30%	3.47%	2.83%
2021	A	4 721.72	5 485.15	2 421.03	293.72	16.77
	P	36.46%	42.35%	18.69%	2.27%	0.13%
	P <sub>a</sub>	22.30%	16.21%	15.98%	10.84%	8.36%

注:A 为撂荒地面积(hm<sup>2</sup>);P 为占总撂荒地面积比例(%);p<sub>a</sub> 为撂荒率(%).下同。

表 4 2017—2021 年重庆市巫山县撂荒地坡度变化统计  
Table 4 Statistics of slope change of abandoned land in Wushan County of Chongqing City from 2017 to 2021

年 份	指标	坡度/(°)					
		0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~79
2017	A	708,873.9	1 744.326	2 410.268	2357.659	1 751.77	1 837.193
	P	6.55%	16.11%	22.26%	21.78%	16.18%	16.97%
	P <sub>a</sub>	14.84%	14.21%	12.74%	12.88%	14.65%	16.73%
2018	A	718.75	1 677.88	2 367.19	2 260.75	1 514.10	1 299.99
	P	7.30%	17.04%	24.03%	22.95%	15.37%	13.20%
	P <sub>a</sub>	15.07%	13.69%	12.53%	12.39%	12.72%	11.86%
2019	A	989.56	2 496.23	3 809.58	3 738.87	2 364.76	1 869.96
	P	6.47%	16.33%	24.92%	24.46%	15.47%	12.23%
	P <sub>a</sub>	21.01%	20.74%	20.68%	21.15%	20.75%	18.38%
2020	A	610.45	1 388.62	1 908.01	1 756.45	1 107.02	846.19
	P	8.01%	18.22%	25.03%	23.04%	14.52%	11.10%
	P <sub>a</sub>	13.25%	11.74%	10.54%	10.09%	9.87%	8.36%
2021	A	934.40	2 238.46	3 220.85	3 089.27	1 980.93	1 470.08
	P	7.21%	17.28%	24.87%	23.85%	15.30%	11.35%
	P <sub>a</sub>	20.35%	18.99%	17.84%	17.80%	17.74%	14.59%

研究区内撂荒地在不同坡度呈现的分布特征。撂荒地主要集中在 5°~25°的坡度范围内,其中 10°~15°间的撂荒地面积最多,其次是 15°~20°范围内,这

3 个坡度范围的撂荒地面积占总撂荒地面积的 65%左右,这表明撂荒现象主要发生在坡度较大的坡地上。这种现象的出现可以归因于巫山县属于典型的



喀斯特地貌类型,沟壑交错,多数农田为坡耕地,给耕作带来困难,同时研究区降雨充沛,土壤流失严重,进一步影响了粮食产量。而坡度在 5°以下和 20°以上的坡度范围则存在较少的撂荒地,分别占总撂荒地面积的 6%~8%和 11%~17%之间。这是因为坡度小于 5°区域地形较平坦,更适合农业生产,随着坡度增大,耕地的保水保土能力减弱,土壤质量下降,耕种的难度增大,导致高坡度地区撂荒地面积大于 5°以下的撂荒地面积;在坡度大于 25°的高坡度区域,耕地面积本就有限,因此撂荒地面积也较少。从撂荒率的角度看,2017—2021 年所有坡度范围内的撂荒率呈现出 W 形变化特征,在 2019 年达到峰值后下降,这与研究区撂荒地面积的变化趋势保持一致。

3.5 不同地形位等级下的撂荒地分布

利用巫山县的 DEM 数据,根据公式(2)—(3),计算巫山县的地形位指数与地形分布指数。基于巫山县的研究现状,采用自然断点法将地形位指数划分为 5 个等级,分别为(0~0.34],(0.34~0.49],(0.49~0.62],(0.62~0.75]和(0.75~1.11]。生成不同地形位等级下的撂荒地分布指数变化图(图 6),以探索巫山县的撂荒地的垂直分异特征。研究区的不同地形位等级的撂荒地呈现出显著的梯度差异性。根据分布指数的年份数据,随着地形梯度的增加,撂荒地的分布总体表现为持续减少型。撂荒地第 1 级和第 2 级地形梯度的指数大于 1,属于撂荒地的优势区;在第 3 级、第 4 级和第 5 级地形梯度内,撂荒地的分布指数均小于 1。这种现象的原因在于 1 级和 2 级地形梯度属于高程较低和坡度平缓区的区域,耕地面积较多。然而,这些区域大多分布在水系两岸,经济条件较为发达且城市化进程较快,人们更倾向于选择更具经济效益的建设性活动。

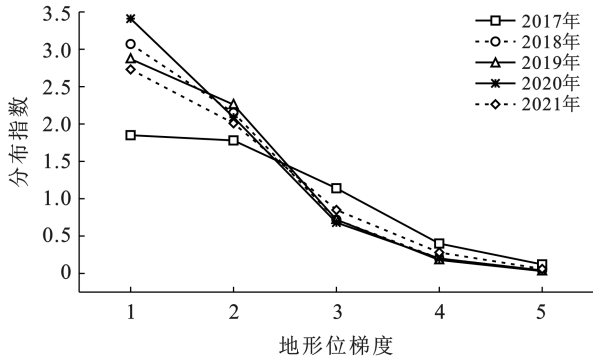


图 6 2017—2021 年重庆市巫山县不同地形位梯度下撂荒地分布指数

Fig.6 Distribution index of abandoned land under different terrain gradients in Wushan County of Chongqing City from 2017 to 2021

综上所述,巫山县的撂荒地在低海拔和较平缓坡区域内波动较大,并逐级减少。因此,需要重视高程 1 000 m 以下的缓坡区域,以防止撂荒现象进一步恶化。可以结合研究区撂荒地现状,进一步加强耕地保护和建设,坚持耕地数量、质量、生态“三位一体”保护制度体系。

4 结论

(1) GEE 云平台将大数据和云计算相结合,有效提升了数据获取效率和处理能力。本文基于 GEE 云平台,基于物候期的多季相影像,结合决策树与时间序列 NDVI 变化检测法,实现了对研究区的撂荒地的精准提取。

(2) 研究区的撂荒地面积和撂荒率整体呈现上升趋势。其中 2017 年到 2021 年撂荒地面积增加了 2 123.50 hm<sup>2</sup>,撂荒率增加了 3.7%,区间内曲线形态上表现为 W 形特征。

(3) 研究区的撂荒地主要集中在高程 1 000 m 以下和坡度 5°~20°范围内。高程 1 500 m 以下的区域,撂荒地面积和撂荒率随着时间的变化呈现“先增后减”的趋势;高程 1 500 m 以上的区域内,撂荒地面积和撂荒率随着时间的变化呈现“先减后增”的趋势。撂荒地不同地形位等级下的分布指数呈逐级递减的趋势,地形梯度第 1 级和第 2 级的分布指数大于 1,属于撂荒地的优势区。

5 讨论

(1) 撂荒地信息主要通过农户调查和遥感影像解译获得。农户调查通常采用入户走访和逐级上报的方式进行<sup>[32]</sup>,但受制于高昂的调查费用;而遥感影像数据在解译时易受其他地物的影响,并且难以有效区分轮休和撂荒地。本文引用了 GEE 云平台,该平台不仅提供目前广泛使用的遥感影像数据和地理空间数据集,还集成了强大的机器学习算法与 JavaScript, Python 编程语言接口<sup>[21]</sup>。因此,相比传统的影响处理工具,GEE 云平台为高效处理和分析遥感数据提供了有效途径,同时结合多源数据与决策树的方法提取撂荒地信息,解决单一利用时间序列 NDVI 数据进行撂荒地信息提取时受其他地物影响的问题,实现了撂荒与轮休之间的有效区分,更好的反映出研究区的撂荒地情况。

(2) 地形是影响农业生产的重要条件之一。本文选取了高程、坡度和地形位因素,分析撂荒地不同地形条件的分布情况。结果显示,撂荒地主要集中在高程 1 000 m 以下和坡度 5°~25°的范围内,这与



其他学者在丘陵地带<sup>[33]</sup>、青海民和县<sup>[21]</sup>等区域研究结果一致。高程 1 000 m 以下的区域大多分布在水系两岸,经济条件较为发达且城市化进程较快,人们更倾向于选择更具经济效益的建设性活动;坡度 5°~25°之间的撂荒地随着坡度增大,耕地的保水保土能力减弱,土壤质量下降,耕种的难度增大。因此,建议当地政府应因地制宜实施国土空间规划等,并提供农业技术和财政支持,鼓励农民耕作,促进农业可持续发展。

(3) 本文利用 GEE 云平台,采用决策树与时间序列 NDVI 变化检测相结合的方法进行撂荒地信息提取。该方法在一定程度上克服了遥感数据收集困难、处理效率低下和非耕地地物光谱特征的影响。但受多种因素限制,提取结果仍存在一定的偏差。一方面,撂荒地的界定标准和样本数量的选取都会对分类结果产生影响。另一方面,由于研究区以山地和丘陵为主,耕地与撂荒地的分布十分零碎和分散<sup>[34]</sup>,存在混合像元,导致小面积的撂荒地难以识别。因此,针对上述误差,未来研究将扩大样本数据采集范围,包括更多不同农作物的样本数据,并采用分辨率更高的遥感数据,如资源三号,哨兵二号等。

## 参考文献(References)

- [1] 张碧蓉,侯志华,段平,等.不同分辨率影像的撂荒地提取方法[J].测绘与空间地理信息,2018,41(7):176-179.  
Zhang Birong, Hou Zhihua, Duan Ping, et al. Abandoned land extraction methods for different resolution images [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2018,41(7):176-179.
- [2] Smaliychuk A, Müller D, Prishchepov A V, et al. Recultivation of abandoned agricultural lands in Ukraine: Patterns and drivers [J]. Global Environmental Change, 2016,38:70-81.
- [3] 张天柱,张凤荣,黄敬文,等.工业化区域撂荒耕地空间格局演变及影响因素分析[J].农业工程学报,2019,35(15):246-255.  
Zhang Tianzhu, Zhang Fengrong, Huang Jingwen, et al. Spatial pattern evolution of abandoned arable land and its influencing factor in industrialized region [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(15):246-255.
- [4] 李升发,李秀彬.耕地撂荒研究进展与展望[J].地理学报,2016,71(3):370-389.  
Li Shengfa, Li Xiubin. Progress and prospect on farmland abandonment [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(3):370-389.
- [5] 国务院办公厅.国务院办公厅关于尽快恢复撂荒地生产地紧急通知[EB/OL].(2004-3-30) [2023-06-11].[http://www.law-lib.com/law/law\\_view.asp?id=82660](http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?id=82660).  
General Office of the State Council of the People's Republic of China. Urgent Notice of the General Office of the State Council on Quickly Restoring Abandoned Land for Production [EB/OL]. (2004-3-30) [2023-06-11]. [http://www.law-lib.com/law/law\\_view.asp?id=82660](http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?id=82660).
- [6] 农业农村部.农业农村部印发《意见》要求统筹利用撂荒地促进农业生产发展[EB/OL].(2021-01-25)[2023-06-11].[http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/25/content\\_5582356.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/25/content_5582356.htm).  
Ministry of agriculture and rural affair of the People's Republic of China. The Ministry of Agriculture and Rural Affairs has Issued "Opinions" Requiring the Coordinated Utilization of Abandoned Land to Promote the Development of Agricultural Production [EB/OL]. (2021-01-25) [2023-06-11]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/25/content\\_5582356.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/25/content_5582356.htm).
- [7] Melendez-Pastor I, Hernández E I, Navarro-Pedreño J, et al. Socioeconomic factors influencing land cover changes in rural areas: The case of the Sierra de Albarracín (Spain) [J]. Applied Geography, 2014,52:34-45.
- [8] Sikor T, Müller D, Stahl J. Land fragmentation and cropland abandonment in Albania: Implications for the roles of state and community in post-socialist land consolidation [J]. World Development, 2009,37(8):1411-1423.
- [9] 宋宪强,梁钊雄,周红艺,等.基于决策树与时序NDVI变化检测的耕地撂荒遥感监测:以四川省凉山州普格县为例[J].山地学报,2021,39(6):912-921.  
Song Xianqiang, Liang Zhaoxiong, Zhou Hongyi, et al. An updated method to monitor the changes in spatial distribution of abandoned land based on decision tree and time series NDVI change detection: A case study of Puge County, Liangshan prefecture, Sichuan province, China [J]. Mountain Research, 2021,39(6):912-921.
- [10] 王玲玉,陈全,吴跃,等.基于地块级时序NDVI的喀斯特山区撂荒地特征精准识别[J].国土资源遥感,2020,32(3):23-31.  
Wang Lingyu, Chen Quan, Wu Yue, et al. Accurate recognition and extraction of Karst abandoned land features based on cultivated land parcels and time series NDVI [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2020,32(3):23-31.
- [11] Ustaoglu E, Collier M. Farmland abandonment in Europe: An overview of drivers, consequences, and assessment of the sustainability implications [J]. Environmental Reviews, 2018,26(4):396-416.

- [12] Estel S, Kuemmerle T, Alcántara C, et al. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 163: 312-325.
- [13] Yusoff N M, Muharam F M. The use of multi-temporal landsat imageries in detecting seasonal crop abandonment [J]. *Remote Sensing*, 2015, 7 (9): 11974-11991.
- [14] Witmer F D W. Detecting war-induced abandoned agricultural land in northeast Bosnia using multispectral, multitemporal Landsat TM imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(13): 3805-3831.
- [15] 林妙萍, 杨颖频, 吴志峰, 等. 基于 M-TWDTW 模型的粤北山区耕地撂荒遥感监测研究 [J]. *地理空间信息*, 2023, 21(12): 29-34.
- Lin Miaoping, Yang Yingpin, Wu Zhifeng, et al. Remote sensing monitoring of uncultivated land in mountain areas of Northern Guangdong based on M-TWDTW model [J]. *Geospatial Information*, 2023, 21(12): 29-34.
- [16] Kuemmerle T, Müller D, Griffiths P, et al. Land use change in Southern Romania after the collapse of socialism [J]. *Regional Environmental Change*, 2009, 9(1): 1-12.
- [17] 肖国峰, 朱秀芳, 侯陈瑶, 等. 撂荒耕地的提取与分析: 以山东省庆云县和无棣县为例 [J]. *地理学报*, 2018, 73(9): 1658-1673.
- Xiao Guofeng, Zhu Xiufang, Hou Chenyao, et al. Extraction and analysis of abandoned farmland: A case study of Qingyun and Wudi Counties in Shandong Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(9): 1658-1673.
- [18] 陈欣怡, 郑国全. 国内外耕地撂荒研究进展 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(S2): 37-41.
- Chen Xinyi, Zheng Guoquan. Research progress on arable land abandonment in China and abroad [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(S2): 37-41.
- [19] 程维芳, 周艺, 王世新, 等. 基于多光谱遥感的撂荒地识别方法研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31(6): 1615-1620.
- Cheng Weifang, Zhou Yi, Wang Shixin, et al. Study on the method of recognizing abandoned farmlands based on multispectral remote sensing [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011, 31(6): 1615-1620.
- [20] Bakker M M, Govers G, van Doorn A, et al. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern [J]. *Geomorphology*, 2008, 98(3/4): 213-226.
- [21] 张昊, 高小红, 史飞飞, 等. 基于 Sentinel-2 MSI 与 Sentinel-1 SAR 相结合的黄土高原西部撂荒地提取: 以青海民和县为例 [J]. *自然资源遥感*, 2022, 34(4): 144-154.
- Zhang Hao, Gao Xiaohong, Shi Feifei, et al. Sentinel-2 MSI and Sentinel-1 SAR based information extraction of abandoned land in the western Loess Plateau: A case study of Minhe County in Qinghai [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2022, 34(4): 144-154.
- [22] 史铁丑, 李秀彬. 欧洲耕地撂荒研究及对我国的启示 [J]. *地理与地理信息科学*, 2013, 29(3): 101-103.
- Shi Tiechou, Li Xiubin. Farmland abandonment in Europe and its enlightenment to China [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2013, 29(3): 101-103.
- [23] 李仂, 周孝明, 张梅. 基于高分影像特征优选的黄土高原撂荒耕地遥感监测方法 [J]. *农业工程学报*, 2023, 39(22): 226-235.
- Li Le, Zhou Xiaoming, Zhang Mei. Monitoring method for abandoned farmland on the Loess Plateau based on feature optimization of remote sensing images with high spatial resolution [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(22): 226-235.
- [24] 周玉洁, 王卷乐, 郭海会. 基于谐波分析和线性光谱模型的耕地信息提取 [J]. *遥感技术与应用*, 2015, 30(4): 706-713.
- Zhou Yujie, Wang Juanle, Guo Haihui. Application of harmonic analysis and linear spectral mixture model to extract the cultivated resource [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2015, 30(4): 706-713.
- [25] Kittler J, Illingworth J. Minimum error thresholding [J]. *Pattern Recognition*, 1986, 19(1): 41-47.
- [26] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1): 62-66.
- [27] 康洋, 任洁, 全凯, 等. 基于改进 AdaBoost 的梯田提取方法研究 [J]. *计算机应用与软件*, 2023, 40(10): 212-221.
- Kang Yang, Ren Jie, Quan Kai, et al. Terrace extraction method based on improved adaboost [J]. *Computer Applications and Software*, 2023, 40(10): 212-221.
- [28] 郭雅. 基于国产卫星的海上变化性目标物遥感监测应用研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- Guo Ya. Research on application of remote sensing monitoring of target with variability based on domestic satellite image [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2019.
- [29] 杨通, 郭旭东, 岳德鹏, 等. 基于联合变化检测的耕地撂荒信息提取与驱动因素分析 [J]. *农业机械学报*, 2019, 50(6): 201-208.

Yang Tong, Guo Xudong, Yue Depeng, et al. Information extraction and driving factor assessment of farmland abandonment based on joint change detection [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(6):201-208.

[30] 幸瑞桑,周启刚,李辉,等.基于地形梯度的三峡库区万州区土地利用时空变化分析[J].水土保持研究,2019,26(2):297-304.

Xing Ruishen, Zhou Qigang, Li Hui, et al. Analysis on spatiotemporal variations of land use change in Wanzhou district of Three Gorges Reservoir based on the terrain gradient [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019,26(2):297-304.

[31] 汪勇政,徐雅利,余浩然.基于 PLUS-InVEST 模型的安徽省碳储量时空变化预测[J].水土保持通报,2023,43(3):277-289.

Wang Yongzheng, Xu Yali, Yu Haoran. Prediction of spatial and temporal changes of carbon stocks in Anhui Province based on PLUS-InVEST model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(3):277-289.

[32] 韦中晖,靳海亮,顾晓鹤,等.基于多时相协同变化检测的耕地撂荒遥感监测[J].遥感技术与应用,2022,37(3):539-549.

Wei Zhonghui, Jin Hailiang, Gu Xiaohe, et al. Remote sensing monitoring of cultivated land abandonment based on multi-temporal collaborative change detection [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022,37(3):539-549.

[33] 谢花林,施佳颖,冷克诚.家庭生命周期视角下农户耕地撂荒行为差异及其影响因素:以江西省丘陵山区为例[J].资源科学,2023,45(11):2170-2182.

Xie Hualin, Shi Jiaying, Leng Kecheng. Differences in farmland abandonment behavior among farming households and influencing factors from the perspective of family life cycle: A case study of the hilly and mountainous areas in Jiangxi Province [J]. Resources Science, 2023,45(11):2170-2182.

[34] 杨瑞雪,彭海英.国内外耕地撂荒研究综述[J].农业农村部管理干部学院学报,2023,14(3):59-65.

Yang Ruixue, Peng Haiying. A review of research on abandonment of cultivated land at home and abroad [J]. Journal of Administration and Management Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2023,14(3):59-65.

(上接第 264 页)

[22] 王元,张鸿雁.大气表面层与风沙现象相似参数的研究[J].中国沙漠,1994,14(1):10-16.

Wang Yuan, Zhang Hongyan. The study on simlilarity parameters of the atmospheric surface layer and phenomena of drift sand [J]. Journal of Desert Research, 1994,14(1):10-16.

[23] 文科军,张荷观,李宗明.林带透风系数与湍流度关系的风洞试验研究[J].八一农学院学报,1992,15(2):58-63.

Wen Kejun, Zhang Heguan, Li Zongming. Study on the relationship between ventilation coefficient of shelterbelt and turbulence scale [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 1992,15(2):58-63.

[24] Li Bailiang, Sherman D J. Aerodynamics and morphodynamics of sand fences: A review [J]. Aeolian Research, 2015,17:33-48.

[25] Eichmanns C, Schüttrumpf H. A nature-based solution for coastal protection: Wind tunnel investigations on the influence of sand-trapping fences on sediment accretion [J]. Frontiers in Built Environment, 2022,8: 878197.

[26] Dong Zhibao, Luo Wanyin, Qian Guangqiang, et al. A wind tunnel simulation of the mean velocity fields behind upright porous fences [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007,146(1/2):82-93.

[27] 王晓,毕银丽,王义,等.沙棘林密度和丛枝菌根真菌接种对林下植物和土壤性状的影响[J].林业科学,2023,59(10):138-149.

Wang Xiao, Bi Yinli, Wang Yi, et al. Effects of planting density of *Hippophae rhamnoides* and inoculation of AMF on understory vegetation growth and soil improvement [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2023,59(10): 138-149.