

# 基于地块级时序遥感的喀斯特石漠化地区撂荒地时空演变

王玲玉<sup>1</sup>, 周忠发<sup>1,2</sup>, 赵馨<sup>1</sup>, 孔杰<sup>2</sup>, 张淑<sup>1</sup>

(1.贵州师范大学喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2.贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

**摘要:** 撂荒地在全球呈扩散趋势, 传统的调查方法已无法满足及时、精确掌握撂荒情况的需求。针对喀斯特石漠化耕地的撂荒因光学影像的不足和严重的混合像元不易精确识别和提取, 以贵州省息烽县为例, 运用高精度影像精确识别提取耕地地块, 再叠加通过 MVC 方法计算 Landsat 数据得到的 2003—2018 年时序 NDVI 数据, 得到撂荒和复垦时空分布。结果表明: (1) 地块和时序 NDVI 组合能够精准地识别提取撂荒地, 该方法对于光学数据缺乏的和耕地破碎的多云雨山区有很好的适用效果; (2) 2003—2018 年息烽县撂荒地呈随机散点状分布, 主要分布在有岩石裸露潜在、轻度、中度石漠化地区, 2008 年撂荒面积最大 2 545.6 hm<sup>2</sup>, 撂荒率最高 7.7%; 有 7 块耕地持续撂荒时间最长 12 年, 有 8 块地累计撂荒最多 15 年。 (3) 2003—2018 年息烽县复垦率与撂荒率波动趋势基本一致, 复垦率的响应延后 1 年, 较高的石漠化等级负面影响复垦行为。研究结果为喀斯特多云雨山区撂荒地的精准识别提取提供高效、可行的思路和方法, 为撂荒地的驱动因子分析、趋势监测和风险评价、效应评估及政策设计提供精确的基础数据。

**关键词:** 喀斯特; 石漠化耕地; 地块尺度; 时序分析; 撂荒地; 时空演化

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)01-0092-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.01.014

## Spatiotemporal Evolution of Karst Rocky Desertification Abandoned Cropland Based on Farmland-parcels Time-series Remote Sensing

WANG Lingyu<sup>1</sup>, ZHOU Zhongfa<sup>1,2</sup>, ZHAO Xin<sup>1</sup>, KONG Jie<sup>2</sup>, ZHANG Shu<sup>1</sup>

(1.School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001;

2.School of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001)

**Abstract:** The abandoned cropland is spreading widely all over the world. Traditional survey methods can not meet the need of timely and accurate grasp of abandoned cropland. In view of the insufficiency of optical remote sensing images, and that it is difficult to accurately identify and extract the abandoned cropland in karst rocky desertification land from the serious mixed pixels, taking Xifeng County of Guizhou Province as an example, the high-resolution image and rocky desertification grade data were used to identify and extract different rocky desertification grade cultivated land plots. The time series NDVI data of 2003—2018 obtained by calculating the Landsat data by MVC method was superimposed, and the spatial and temporal distribution of the abandoned cropland and reclamation in Xifeng County in 2003—2018 was extracted. The results showed: (1) The combination of cultivated land plot and time series NDVI could accurately identify and extract abandoned cropland. This method had a good application in the area lacking of optical data and the cloudy rainy mountain area where the cultivated land is broken. (2) In 2003—2018, the abandoned cropland in Xifeng County was randomly scattered and mainly distributed in the potential, mild and moderate rocky desertification area in the north and east. In 2008, the largest abandoned area was 2 545.6 hm<sup>2</sup> and the highest rate of abandonment was 7.7%. In the period of 2003—2018, there were 7 plots of abandoned land that lasted for a maximum of 12 years, and 8 plots accumulated for up to 15 years. (3) In 2003—2018, the reclamation rate of Xifeng County was basically consistent with the fluctuation trend of the abandonment rate, but the response to the reclamation rate was delayed by one year. There was a certain difference between the non-karst cultivated land reclamation behavior and the rocky desertification cultivated land reclamation

收稿日期: 2019-07-14

资助项目: 国家自然科学基金地区项目(41661088); 贵州省高层次创新型人才培养计划——“百”层次人才项目(黔科合平台人才〔2016〕5674); 贵州省石漠化耕地调查、五千亩以上坝区耕地调查专题研究项目(GTGHY2018)

第一作者: 王玲玉(1988—), 女, 贵州独山人, 博士研究生, 主要从事喀斯特山区耕地与遥感应用研究。E-mail: wly\_yu@163.com

通信作者: 周忠发(1969—), 男, 贵州遵义人, 教授, 博士生导师, 主要从事 GIS 与遥感、喀斯特资源与环境研究。E-mail: fa6897@163.com

behavior. The higher rock desertification grade negatively affected the reclamation behavior. The research results could provide an efficient and feasible idea and method for the accurate identification and extraction of abandoned cropland in karst cloudy and rainy mountainous areas, also provide the accurate and basic data for driving factor analysis, trend monitoring and risk assessment, effect assessment and policy design in abandoned cropland.

**Keywords:** karst; rocky desertification cultivated land; cultivated land plot scale; time series analysis; abandoned cropland; space-time evolution

随着社会的发展,耕地撂荒在全球呈扩散趋势,尤其在发达国家,耕地撂荒现象更为普遍<sup>[1-2]</sup>,从地形地貌角度,全球撂荒最主要分布在山区<sup>[3]</sup>。我国随着工业化和城镇化的深入推进,以坡耕地为代表的农业劳动密集型利用方式被边缘化的可能性越来越高<sup>[4]</sup>,很可能加剧目前耕地撂荒的范围和程度。耕地的撂荒以及随后的自然植被演替和恢复改变了农村土地利用状况、农业景观和农户生计,并带来了巨大的生态环境改变和社会经济效益<sup>[5]</sup>。在喀斯特山区耕地资源匮乏、耕地石漠化和撂荒的压力下,耕地的承载力为把握粮食安全、生态安全、社会经济和人口劳动力转移起着极其重要的作用,精准的石漠化耕地和撂荒信息因此成为重要的基础数据。

研究撂荒首先需要提取撂荒的空间分布格局,关于撂荒空间信息提取主要采用农户调查和遥感的方法<sup>[6]</sup>。农户调查法能够了解撂荒的机理<sup>[7]</sup>,但由于调查农户的主观性和话题敏感性,加上调查采样数量和技术方法的控制,很难得到客观、全面的信息。遥感手段调查撂荒分为遥感影像+野外验证<sup>[8]</sup>、单时相遥感解译<sup>[9-10]</sup>、全球土地覆被矢量数据<sup>[11]</sup>、多时相遥感解译以及长时间序列 NDVI 等方法<sup>[12-14]</sup>提取撂荒地信息。基于时序的 NDVI 对比、基于建立解译标志、基于光谱特征的土地分类提取方法提取撂荒地,被证明是目前用于提取撂荒地较多并且有效的方法<sup>[15]</sup>。现有国内外方法无论基于遥感解译或时序方法识别,均针对研究区内全地理要素进行解译和识别,工作量大且受控于遥感影像精度,存在混合像元导致的错分、漏分现象。

不同于平原地区,喀斯特山区耕地多分布于坡地,给遥感解译带来很大难度,加上喀斯特地区光学遥感影像常常受到云雨影响,特别在作物生长期,单幅有效影像已十分难以获得,长时序影像的获取几乎不可能。耕地作为最低级、最简单、最小的基本地域个体单位,具有明显边界,其权属单一,耕种作物类型完全受农户控制,以耕地地块作为基本的研究对象,能更好地判断其状态。运用耕地地块一方面能够避免中分辨率影像全区域解译遥感影像产生的误差,以及同一地方不同影像解译斑块边界不吻合的现象;另一方面可以弥补多云雨地区光学影像少、高分影像难以获取的不足,提高识别精度。对此,本文选取我国西南多云雨喀斯特高原山区息烽

县为研究区,充分利用高精度数据和中分辨率数据的优势,利用有限高精度影像提取耕地地块,再针对地块内的石漠化等级和 2003—2018 年中分辨率时序 NDVI 变化,提取不同石漠化等级撂荒和复垦地的时空分布,统计分析撂荒地面积、撂荒率及持续、累计时间和复垦面积。为喀斯特多云雨山区撂荒地的精准识别提取提供高效、可行的思路和方法,为撂荒地的驱动因子分析、趋势监测和风险评价、效应评估及政策设计提供精确的基础数据。

## 1 研究区概况

息烽县地处东经 106°27′—106°53′,北纬 26°57′—27°19′,面积 103 523 hm<sup>2</sup>,属北亚热带和南温带季风气候区,气候温和,雨量充沛,年平均气温 14.5℃,年均降水量 1 100 mm,全年无霜期在 207 d 以上,地势南高北低,海拔 1 000~1 200 m,地貌大部分为低中山丘陵地,碳酸盐类岩分布广,喀斯特发育,峰丛、洼地、溶丘、溶洞、暗河、漏斗较多,石漠化水平总体处于中轻度水平(图 1)。息烽县耕地资源约 32 000 hm<sup>2</sup>,全域均有分布,撂荒地呈逐年增加趋势<sup>[16]</sup>。

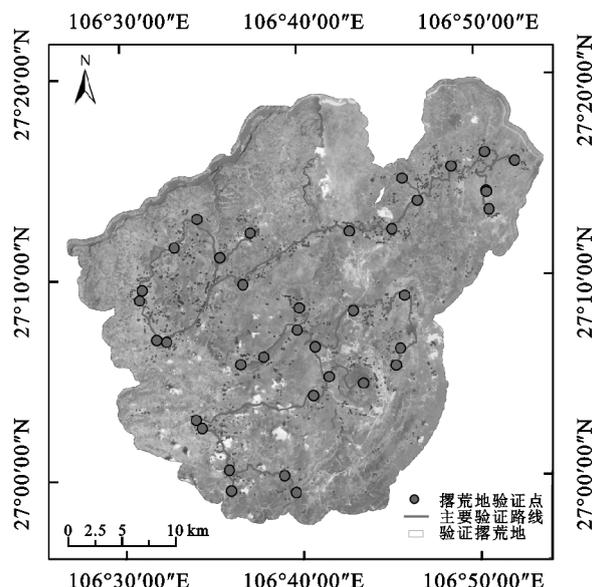


图 1 研究区影像及地面验证主要路线

## 2 研究方法 with 理论

充分利用 Google 影像和无人机影像高空间分辨率特性和 landsat 数据的长时序特性,运用面向对象和分割技术在高分辨率的 Google 影像初步提取耕地

地块后,运用 2013 年无人机影像进行人机交互提取耕地地块、叠加石漠化等级数据<sup>[17]</sup>,实地验证得到息烽县石漠化耕地地块数据。再叠加息烽县 2003—2018 年每年最大 NDVI 合成影像共 16 期的时序 NDVI,通过阈值分割和撂荒定义识别单次撂荒、连续撂荒、累计撂荒和复垦地,提取息烽县 2003—2018 年耕地撂荒地信息。

## 2.1 数据准备

(1)影像和时序 NDVI 数据。提取耕地地块信息需要边界明显的高精度影像,根据农作物物候特征,冬季耕地边界清晰,比作物生长期影像更容易提取耕地地块,本文运用 2018 年 12 月 Google Earth 0.5 m 影像和 2013 年 11 月息烽县无人机 0.5 m 影像提取地块。

NDVI 最大值合成法(maximum value composite, MVC)其原理是逐像元地比较几张影像,选取最大的 NDVI 值作为合成后图像的 NDVI 值,此方法能够很好的针对喀斯特地区多云雨、有效光学影像少的特征。本文运用地理计算云平台 Google Earth Engine(<https://code.earthengine.google.com/>)编程调用 2003—2018 年

间每年 3 月 1 日至 10 月 31 日作物生长期的 Landsat\_8、Landsat\_7 和 Landsat\_5 派生数据集合计 934 期影像。每年平均 60 期影像,取最大 Landsat-NDVI 值叠加进行中值计算,最终获取 2003—2018 年共 16 期 NDVI 最大值合成时序数据(表 1)。

表 1 2003—2018 年 NDVI 取值 Landsat 影像数据集

年度	landsat_5(期)	landsat_7(期)	landsat_8(期)
2003—2011 年	30	30	—
2012 年	8	30	—
2013 年	—	30	26
2014—2018 年	—	30	30

(2)地块数据。基于面向对象对 Google Earth 影像进行分割提取耕地,经对比试验,基于边缘分割最佳尺度为 20、合并尺度 60,绿光波段阈值 90~160,面积大于 12,长宽比设置为 0.2,光滑度设置为 0.6。再运用 2013 年息烽县无人机影像和 30 m DEM 高程数据(<http://www.gscloud.cn/>)的辅助下校验和实地验证,提取到息烽县耕地地块数据(图 2),并以此为耕地基准,提取撂荒信息。

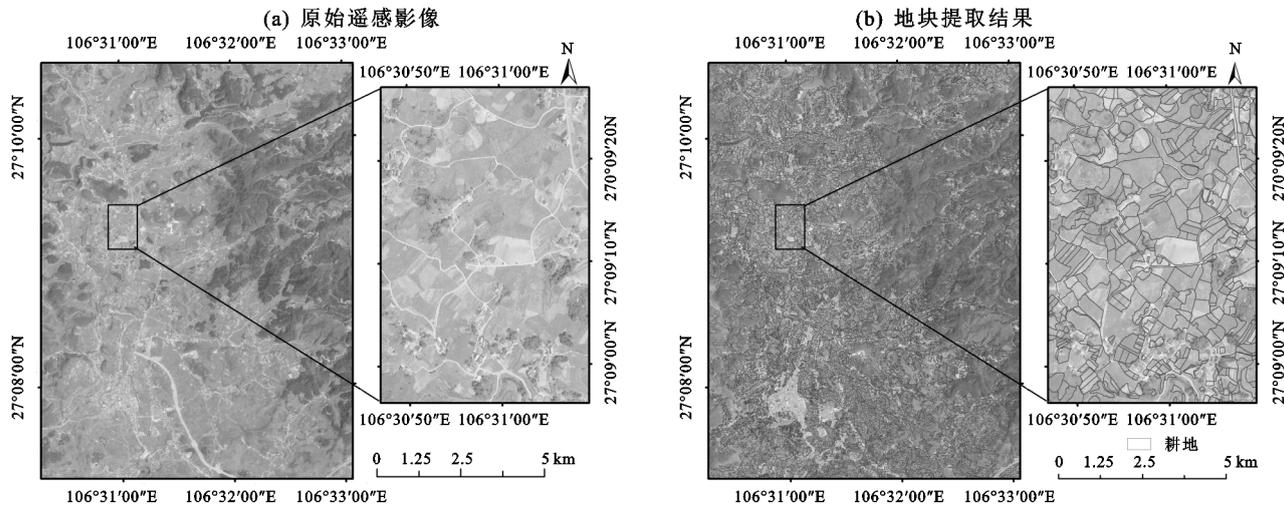


图 2 耕地地块信息提取结果

(3)地面调查。研究期间地面调查共进行 3 次,时间分别是 2018 年的 5 月 1—7 日、12 月 16—17 日、2019 年 5 月 31 日至 6 月 3 日,共计验证地块 5 974 块,均匀分布在研究区域包括非喀斯特、潜在石漠化、无明显石漠化、轻度石漠化、中度石漠化等级的耕地,其中验证耕地地块 3 618 块,撂荒地 2 356 块。主要验证路线和地块分布见图 1。

## 2.2 石漠化耕地、撂荒地和复垦地的识别提取

石漠化耕地分为 2 类:一类是在亚热带喀斯特脆弱的生态环境背景下,因人类耕作行为强烈的干扰造成土壤侵蚀,基岩逐渐出露、面积扩大,导致可耕作土地面积减小、土地生产力下降、土地退化的农作物种植土地;另一类石漠化耕地是指在原有生态退化导致的石漠化土地上开垦耕作农作物的耕地,在耕作行为产生后,土壤

侵蚀和水土流失加剧,石漠化程度进一步加深。

目前根据基岩裸露率、土地覆盖、坡度、土层厚度等指标综合划分石漠化等级<sup>[18]</sup>。本文运用耕地地块叠加石漠化等级数据得到无明显石漠化耕地、潜在石漠化耕地、轻度石漠化耕地、中度石漠化耕地等不同石漠化等级下的耕地,并在此基础上进行撂荒的识别提取。

由于地理区位和社会经济水平不同,耕地撂荒的定义也各不相同,撂荒地通常按 1~3 年未耕种作为划分依据<sup>[19]</sup>。贵州省作为全国唯一没有平原支撑的省份<sup>[20]</sup>,耕地资源极其匮乏,本文设定撂荒地为 1 年及以上未耕种的耕地,撂荒后恢复种植的耕地则为复垦地。本文运用阈值划定的方法<sup>[21]</sup>,运用趋势面分析 2003—2018 年耕地地块 NDVI 值的变化,过滤局部干扰影响,得到提取农作物的 NDVI 值在 0.43~

0.65,取其最小值作为判别耕地撂荒与否的临界值,提取 2003—2018 年耕地撂荒的变化。

撂荒行为的发生完全受农户自主选择控制,从统计学角度看,同一块耕地可能发生单年撂荒和连续撂荒的不同随机组合,本文研究撂荒地的主要以单年撂荒、连续撂荒和累计撂荒。单年撂荒指某地块当年为撂荒状态,不考虑上 1 年和后 1 年是否为撂荒。连续撂荒是指该耕地地块连续 2 年以上处于撂荒状态,累计撂荒是指某耕地地块的撂荒包括连续撂荒和不连续撂荒年数的累计。

撂荒率通常用于量化表达撂荒现象<sup>[13]</sup>,本文选撂荒率( $P_y$ )和不同石漠化等级撂荒率( $P_{ys}$ )用于描述撂荒现象。撂荒率即每年的撂荒地面积占总体耕地面积的比值:

$$P_y = \frac{\sum_{j=0}^m A_j}{\sum_{i=0}^n A_i} \times 100\%$$

式中: $y$  为年份,范围 2003—2018 年; $A_j$  为第  $j$  块撂荒地面积( $\text{hm}^2$ ); $A_i$  为研究区内第  $i$  块耕地面积( $\text{hm}^2$ )。

不同石漠化等级撂荒率指不同石漠化等级下撂荒地面积占该石漠化等级下耕地面积的比值:

$$P_{ys} = \frac{\sum_{j=0}^m A_{js}}{\sum_{i=0}^n A_{is}} \times 100\%$$

式中: $s$  为石漠化等级(I:无石漠化、II:潜在石漠化、III:轻度石漠化、IV:中度石漠化、V:强度石漠化); $A_{js}$  为  $s$  石漠化等级下第  $j$  块的撂荒地面积( $\text{hm}^2$ ); $A_{is}$  为研究区内  $s$  石漠化等级下第  $i$  块耕地面积( $\text{hm}^2$ )。

复垦通常与撂荒对应,指耕地发生撂荒后再次发生耕作行为的现象,用复垦率表达:

$$F_y = \frac{\sum_{i=0}^n A'_i}{\sum_{i=0}^n A_i} \times 100\%$$

式中: $A'_i$  为  $y$  年第  $i$  块复垦耕地面积( $\text{hm}^2$ ); $A_i$  为  $y-1$  年第  $i$  块的撂荒地面积( $\text{hm}^2$ )。

## 3 结果与分析

### 3.1 耕地地块提取结果

利用息烽县 2018 年 Google earth 高分辨率影像识别提取耕地地块,再运用 2013 年 0.5 m 无人机影像结合实地调研数据对提取的耕地数据进行修正,提取耕地地块 412 966 块,面积 32 950.16  $\text{hm}^2$ ,识别精度 95.56%。叠加息烽县水文地质图以及石漠化等级,识别提取石漠化耕地 379 132 块,面积 30 349.7  $\text{hm}^2$ (表 2),其中无明显石漠化耕地占比 26.91%、潜在石漠化占比

32.97%、轻度石漠化占比 29.21%、中度石漠化占比 3.02%,总占息烽县耕地总面积 92.11%。

表 2 2018 年息烽县耕地概况

石漠化等级	地块数/块	面积/ $\text{hm}^2$	占比/%
无明显石漠化	111038	8865.92	26.91
潜在石漠化	129998	10864.60	32.97
轻度石漠化	124813	9623.56	29.21
中度石漠化	13283	995.61	3.02
合计	379132	30349.70	92.11
非喀斯特地区	33834	2600.46	7.89
合计	412966	32950.16	100.00

### 3.2 撂荒地时空变化

3.2.1 撂荒地提取结果 利用阈值分割识别撂荒地 NDVI 曲线变化特征,提取到息烽县 2003—2018 年撂荒地共 248 510 块,经 2013 年无人机和 2018 年 Google 影像以及 3 次实地验证,综合精度 90.7%。其中石漠化耕地 234 878 块,无明显石漠化耕地占比 29.39%、潜在石漠化占比 32.76%、轻度石漠化占比 29.90%、中度石漠化占比 2.44%(表 3)。

表 3 息烽县石漠化撂荒地数量 单位:块

年份	非喀斯特	无明显石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	合计
2003	233	1914	1439	1169	95	4850
2004	376	2111	2042	1710	121	6360
2005	653	3153	7634	6020	185	17645
2006	1261	5146	6777	5252	662	19098
2007	687	5176	5528	4282	386	16059
2008	1714	9618	9252	8519	793	29896
2009	758	4442	6067	5283	354	16904
2010	903	7456	8860	9190	834	27243
2011	678	3767	6063	4544	291	15343
2012	1808	4376	5827	4949	420	17380
2013	599	4119	4106	3877	174	12875
2014	204	1610	1107	898	65	3884
2015	2236	8290	7620	7216	569	25931
2016	997	4454	3925	4614	458	14448
2017	737	2926	1939	2819	271	8692
2018	909	4497	3238	3981	398	13023
合计	14753	73055	81424	74323	6076	248510

3.2.2 撂荒地时空变化特征 将 2003—2018 年 NDVI 序列数据叠加地块数据和石漠化等级数据,得到地块 NDVI 序列,利用撂荒地定义得到撂荒地逐年空间分布(图 3)。由图 3 可知:(1)撂荒地主要分布在喀斯特石漠化区域,占撂荒总数 95% 以上(表 4),非喀斯特区域有零星分布,石漠化与非喀斯特撂荒面积比为 17:1,大于息烽县石漠化与非喀斯特地区耕地面积比 11:1;(2)石漠化耕地撂荒主要发生在土层更薄的无明显石漠化、潜在石漠化和轻度石漠化耕地上;(3)研究期间撂荒地大多年份分布在离省会城市较远的北部和东部。

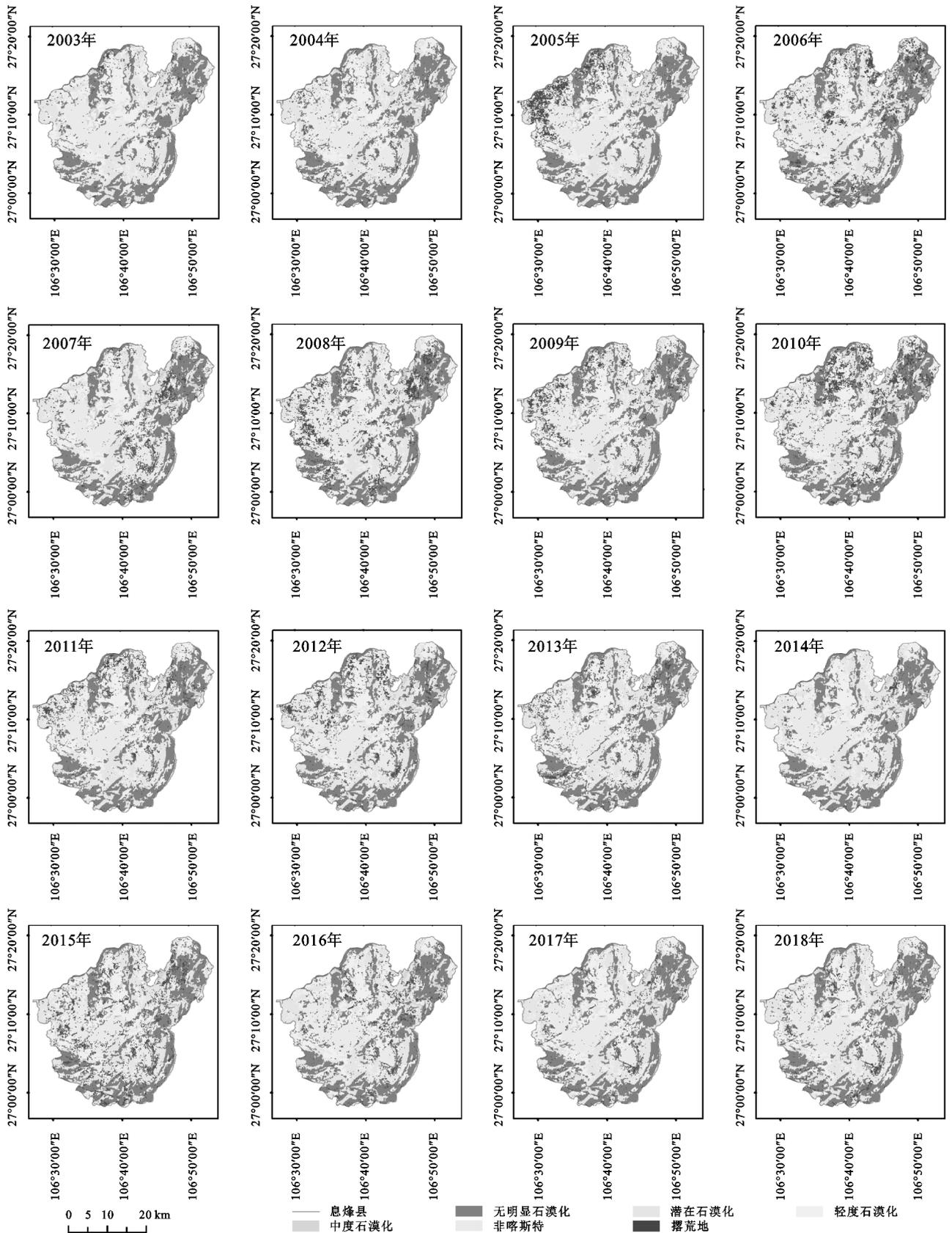


图 3 2003—2018 年息烽县撂荒地空间分布

2003—2018 年 16 年间整体来说撂荒率年平均在 3% (表 4),  $P_{2005}$ 、 $P_{2006}$ 、 $P_{2008}$ 、 $P_{2010}$ 、 $P_{2015}$  撂荒率较高, 年均耕地撂荒面积 1 500  $\text{hm}^2$  以上, 撂荒率大于 5%, 其中在 2008 年撂荒地地块数量最多, 面积最大,

$P_{2008}$  达 7.7%。  $P_{2003}$ 、 $P_{2004}$ 、 $P_{2014}$ 、 $P_{2017}$  撂荒率较小, 年均撂荒面积 400  $\text{hm}^2$  以下, 撂荒率均小于 1.5%, 其中 2014 年撂荒地地块数量最少, 面积最小,  $P_{2014}$  为 0.98%。

表 4 2003—2018 年息烽县撂荒地面积

年份	无明显石漠化/hm <sup>2</sup>	潜在石漠化/hm <sup>2</sup>	轻度石漠化/hm <sup>2</sup>	中度石漠化/hm <sup>2</sup>	非喀斯特/hm <sup>2</sup>	总计/hm <sup>2</sup>	P <sub>y</sub> /%
2003	128.14	98.65	86.86	9.03	9.57	332.25	1.01
2004	132.44	170.80	129.93	11.11	21.15	465.44	1.41
2005	230.76	850.07	579.14	21.02	42.41	1723.39	5.23
2006	528.63	729.61	566.63	73.18	104.95	2002.99	6.08
2007	341.29	398.09	266.30	34.96	35.07	1075.71	3.26
2008	772.55	810.04	713.45	76.04	166.52	2538.60	7.70
2009	269.74	536.25	368.19	31.15	48.41	1253.74	3.80
2010	583.52	728.43	681.05	68.63	57.01	2118.64	6.43
2011	245.51	520.91	315.81	20.53	32.78	1135.54	3.45
2012	293.85	528.45	361.42	28.63	105.17	1317.51	4.00
2013	279.33	298.41	259.19	10.11	24.96	871.99	2.65
2014	97.19	69.22	46.74	3.74	9.07	225.95	0.69
2015	529.92	533.84	470.69	46.31	131.91	1712.66	5.20
2016	294.97	270.22	271.54	32.81	57.57	927.12	2.81
2017	162.46	117.95	152.92	18.05	33.45	484.83	1.47
2018	280.87	210.24	228.83	28.88	43.73	792.55	2.41
总计	5171.15	6871.19	5498.68	514.18	923.71	18978.91	57.60

将 2003—2018 年息烽县撂荒地数据叠加,得到累计撂荒时空分布(图 4),累计撂荒时间 1~15 年(表 5),主要分布在息烽县北部喀斯特石漠化区域,撂荒地的数量和面积随着累计时间的增加而减少,其中 1~2 年累计撂荒耕地最多,占总累计撂荒面积的 86.44%,累计 15 年撂荒耕地的数量和面积最小;各石漠化等级中,累计撂荒 1 年的潜在石漠化耕地数量最多,面积最大,累计撂荒 15 年的轻度石漠化耕地数量和面积最少。

19 : 1,远大于息烽县石漠化与非喀斯特地区耕地面积比 11 : 1;石漠化耕地撂荒持续时间在 1~12 年,非喀斯特耕地撂荒持续时间在 1~9 年,可见石漠化耕地更容易发生长时间、大面积撂荒。

表 5 2003—2018 年息烽县耕地累计撂荒地数量  
单位:块

撂荒时间/a	无明显石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	非喀斯特	合计
1	22176	27046	25265	2393	6107	82987
2	14532	18210	16388	1574	2958	53662
3	8235	10035	9420	666	1602	29958
4	5524	6244	5720	440	948	18876
5	4460	4255	3720	305	600	13340
6	3450	3312	2604	222	612	10200
7	3108	2814	2604	154	441	9121
8	2640	2352	1984	104	448	7528
9	2007	1935	1881	63	396	6282
10	1850	1880	1610	30	180	5550
11	1969	1386	1111	0	154	4620
12	1500	876	1128	60	144	3708
13	1040	754	663	65	65	2587
14	504	280	210	0	98	1092
15	60	45	15	0	0	120
总计	73055	81424	74323	6076	14753	249631

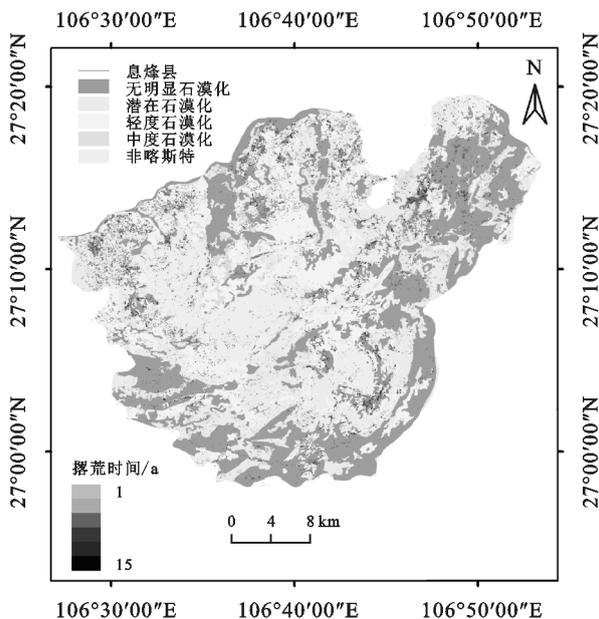


图 4 2003—2018 年息烽县耕地累计撂荒地分布

根据定义统计连续撂荒地的面积和梳理,撂荒持续时间最长 12 年(表 6),连续撂荒地的数量和面积随着持续时间的增加而减少,其中撂荒 1 年面积和数量最多,占持续撂荒总面积的 86.19%,连续 12 年的面积和数据最小。连续撂荒主要发生在石漠化耕地上,石漠化耕地撂荒面积与非喀斯特撂荒面积比为

由表 6 可知,连续撂荒和累计撂荒含义不同,但总体趋势基本一致,随着时间增加撂荒地数量和面积减少,说明很少有长时间的撂荒现象发生;累计 1 年撂荒数据均小于持续 1 年撂荒数据,其他年限的累计撂荒数据均大于连续撂荒数据,证明同一地块发生时间间断的撂荒多,发生连续撂荒现象的概率小,连续长时间撂荒的更少。

表 6 2003—2018 年息烽县喀斯特与非喀斯特连续撂荒地面积和数量

撂荒时间/a	喀斯特		非喀斯特	
	面积/hm <sup>2</sup>	耕地数/块	面积/hm <sup>2</sup>	耕地数/块
1	13112.18	152718	695.47	9980
2	1679.11	22207	66.75	1190
3	322.15	5697	15.77	337
4	128.37	2702	5.71	180
5	43.20	1051	1.35	43
6	20.64	565	0.62	18
7	9.61	284	0.11	6
8	5.80	236	0.10	7
9	1.74	47	0.29	5
10	1.17	54	0	0
11	0.30	8	0	0
12	0.06	2	0	0
合计	15324.33	185571	786.17	11766

### 3.3 石漠化撂荒地复垦时空变化

3.3.1 复垦地识别结果 根据复垦定义识别提取复垦地,2003—2018 年息烽复垦地块 184 580 块(表 7),其中无明显石漠化复垦地占比 5.76%,潜在占比 29.4%,轻度占比 33.15%,中度占比 29.20%,非喀斯特占比 2.48%。总面积 15 069.94 hm<sup>2</sup>(表 8),其中无石漠化复垦地占比 26.43%,潜在占比 36.74%,轻度占比 29.22%,中度占比 2.65%,非喀斯特占比 4.93%。

表 7 2003—2018 年息烽县复垦地地块数量

年份	单位:块					合计
	无明显石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	非喀斯特	
2004	294	1475	1560	888	79	4296
2005	467	1990	4713	3967	146	11283
2006	1041	4529	5880	4409	544	16403
2007	601	4556	5069	3965	369	14561
2008	1215	7218	6979	5250	682	21345
2009	678	3940	5398	4954	324	15295
2010	706	6232	7303	7063	735	22040
2011	620	3295	5573	4367	264	14120
2012	1322	3054	4200	3264	267	12107
2013	516	3659	3656	3786	159	11777
2014	173	1436	1001	756	50	3415
2015	1285	5113	4089	4315	235	15037
2016	845	3855	3396	3598	400	12093
2017	582	2427	1536	2260	210	7015
2018	287	1494	842	1059	113	3794
合计	10632	54275	61195	53902	4577	184580

3.3.2 复垦地时空变化特征 复垦是在上年撂荒情况下产生,受到撂荒行为的影响,复垦地空间分布与撂荒地分布基本一致,总的复垦趋势较撂荒趋势延后 1 年(图 5)。2003—2018 年息烽县复垦率  $F_{2011}$  最高(表 9),达到 90.38%, $F_{2018}$  最低 29.8%。各石漠化等级各年度下, $F_{2013IV}$  撂荒地的复垦率最高,达 97.65%,最低复垦率  $F_{2018III}$  达 25.99%。各石漠化等级中, $F_I$  和  $F_{III}$  最

高出现在 2011 年, $F_{II}$  最高出现在 2014 年, $F_{IV}$  最高出现在 2013 年,各等级复垦率最低均出现在 2018 年。非喀斯特撂荒地复垦率  $F_0$  在 2005—2010 年间高于其他,等级在 2015 年明显低于其他等级。

表 8 2003—2018 年息烽县复垦地面积

年份	单位:hm <sup>2</sup>					合计
	无明显石漠化	潜在石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	非喀斯特	
2004	100.14	68.95	66.36	4.69	6.26	246.40
2005	94.73	107.77	80.22	7.32	16.72	306.77
2006	190.52	748.15	502.46	17.65	34.87	1493.64
2007	462.76	642.20	519.60	67.76	100.34	1792.67
2008	241.97	298.77	200.87	21.55	30.16	793.32
2009	690.66	718.59	634.83	71.31	152.43	2267.82
2010	210.94	448.25	303.50	23.94	42.66	1029.29
2011	533.92	637.23	626.02	65.96	51.69	1914.82
2012	179.49	363.54	227.64	13.54	20.83	805.05
2013	253.21	469.47	321.84	27.96	96.38	1168.87
2014	236.96	266.09	234.31	8.51	19.10	764.97
2015	55.84	42.69	25.08	2.24	3.75	129.59
2016	448.90	462.04	407.19	36.11	115.13	1469.37
2017	232.79	224.15	215.11	26.31	44.53	742.89
2018	51.27	39.18	39.74	4.80	9.48	144.48
合计	3984.10	5537.08	4404.78	399.64	744.34	15069.94

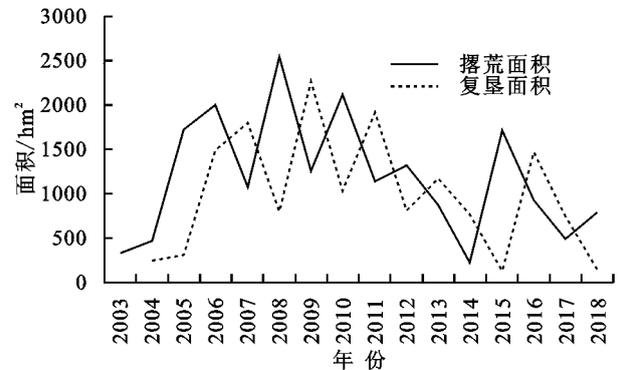


图 5 2003—2018 年息烽县撂荒地与复垦地年际变化

表 9 2003—2018 年息烽县不同石漠化等级撂荒地复垦率

年份	单位:%					
	$F_I$	$F_{II}$	$F_{III}$	$F_{IV}$	$F_0$	$F$
2004	78.15	69.89	76.40	51.93	65.40	76.32
2005	71.53	63.10	61.74	65.89	79.04	65.91
2006	82.56	88.01	86.76	83.95	82.23	86.67
2007	87.54	88.02	91.70	92.60	95.61	89.50
2008	70.90	75.05	75.43	61.63	86.01	73.75
2009	89.40	88.71	88.98	93.78	91.54	89.33
2010	78.20	83.59	82.43	76.86	88.12	82.10
2011	91.50	87.48	91.92	96.11	90.67	90.38
2012	73.11	69.79	72.08	65.95	63.56	70.89
2013	86.17	88.84	89.05	97.65	91.64	88.72
2014	84.83	89.17	90.40	84.21	76.53	87.73
2015	57.45	61.68	53.66	59.80	41.31	57.35
2016	84.71	86.55	86.51	77.98	87.28	85.79
2017	78.92	82.95	79.22	80.18	77.35	80.13
2018	31.56	33.22	25.99	26.59	28.34	29.80

## 4 讨论

喀斯特石漠化耕地的撂荒一方面加重喀斯特山区耕地资源匮乏现状,影响粮食安全;另一方面为喀斯特石漠化生态恢复起着积极作用,快速精准掌握喀斯特石漠化耕地撂荒信息能够更好制定对策。基于耕地地块识别撂荒相较于遥感影像直接解译的优势有:(1)基于地块能够在空间约束识别对象,减少来自像元的干扰;(2)耕地地块数据可以重复使用,提高工作效率<sup>[22]</sup>。本文基于耕地地块上,运用年际 NDVI 识别提取撂荒地,在提取撂荒地过程中,出现的问题为:

(1)误差来源。实地调查发现误差主要来源有 3 类:一部分耕地撂荒后杂草迅速猛长,在年际 NDVI 曲线上未体现撂荒特征,导致一些撂荒地未被识别;一部分是提取出来的撂荒地,在之后几年杂草生长旺盛,NDVI 曲线出现复垦特征并且表现为持续耕种状态,该地块应为持续撂荒但未能很好识别;另外一部分提取出来的撂荒地实际为耕地改种树苗或果苗,当年栽种苗稀疏矮小、土地大面积裸露,NDVI 曲线显示撂荒特征,之后树苗生长体现作物特性,NDVI 曲线显示为复垦并持续耕种。这 3 类误差通过年际 NDVI 不易剔除,需要结合物候特征提高识别精度。

(2)石漠化等级划分。石漠化等级划分指标体系在科学背景不同下,所选指标和指标的量化标准也不同<sup>[23]</sup>,目前较为常用的分类标准<sup>[18]</sup>综合基岩、土被、植被、土壤厚度和侵蚀模数等指标对石漠化进行分类,适用于较大范围区域,针对小尺度的耕地精度不高。在实地调研过程中发现,常有耕地内大面积岩石裸露但综合大范围环境下划分为轻度甚至潜在石漠化。耕地作为人类强烈干扰下石漠化主要发生的土地利用类型,同时也是粮食生产的主要载体,其石漠化程度将直接影响耕作行为和粮食安全,因此石漠化等级划分不能按照现行石漠化等级套用到耕地,针对耕地进行石漠化等级划分显得尤为重要和必要。

(3)撂荒地定义。根据已有撂荒地定义结合喀斯特地区农耕背景环境定义 1 年以上未耕种的耕地为撂荒地,但撂荒 1 年后在复垦的耕地无法在表象上判断其是否存在休耕的可能,只能从复垦率高低判别一二,因此需要从 1 年复垦和休耕的机制机理进行区分,需要运用短时序(年内)影像进行更精细的划分。

## 5 结论

(1)在耕地提取精度 95.56% 下,基于耕地地块的年内最大 NDVI 集合识别 2003—2018 年的撂荒地变化,撂荒地综合识别精度 90.7%,说明地块和时序 NDVI 组合能够精准地识别提取撂荒地,该方法对于光学数据缺乏和耕地破碎的多云雨山区有很好的适

用效果。

(2)2003—2018 年息烽县撂荒地呈随机散点状分布,多分布于北部及东部,南部最少,主要原因是息烽南部与省会接壤,承担粮食蔬菜供应。撂荒主要分布在喀斯特石漠化地区岩石裸露率更高的地方,受到大范围环境和石漠化等级影响,没有强度、极强度石漠化撂荒地的出现。

(3)2003—2018 年息烽县撂荒主要集中在 2005—2013 年间,2008 年撂荒面积最大 2 545.6 hm<sup>2</sup>,撂荒率最高 7.72%;连续撂荒耕地中,单年撂荒和持续 2 年撂荒面积最大 13 296.76 hm<sup>2</sup>,有 7 块耕地持续撂荒时间最长 13 年;累计撂荒中,累计撂荒 1~2 年面积最大 8 703.14 hm<sup>2</sup>,有 8 块地 16 年间累计撂荒 15 年。石漠化耕地撂荒的比例大于非喀斯特耕地撂荒率,石漠化等级与撂荒持续或累计撂荒耕地的时间呈正相关关系。

(4)复垦发生在撂荒的基础上,2003—2018 年息烽县复垦率与撂荒率波动趋势基本一致,但复垦率的响应延后 1 年;非喀斯特撂荒地复垦行为与石漠化撂荒地复垦行为有一定差异;中度石漠化撂荒地的复垦率较其他等级有较大波动,说明较高的石漠化等级负面影响复垦行为。

(5)通过统计地块复垦率和面积复垦率的差异,发现无明显石漠化地块复垦率 5.76%,面积复垦率 26.43%,而中度石漠化地块复垦率 29.2%,面积复垦率 2.65%,说明石漠化等级越高,地块越破碎。

### 参考文献:

- [1] Meyfroidt P, Lambin E F. Global forest transition prospects for an end to deforestation [J]. *The Annual Review of Environment and Resources*, 2011, 36: 343-371.
- [2] Queiroz C, Beilin R, Folke C, et al. Farmland abandonment: Threat or opportunity for biodiversity conservation? A global review [J]. *Frontiers in Ecology & the Environment*, 2014, 12(5): 288-296.
- [3] 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(增刊 2): 37-41.
- [4] 李秀彬,赵宇鸾.森林转型、农地边际化与生态恢复[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10): 91-95.
- [5] Pointereau P, Coulon F, Girard P, et al. Analysis of farmland abandonment and the extent and location of agricultural areas that are actually abandoned or are in risk to be abandoned [R]. JRC Scientific and Technical Reports (EUR 23411 EN), 2008.
- [6] 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.
- [7] 葛霖,高明,胡正峰,等.基于农户视角的山区耕地撂荒原因分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2012, 33(4): 42-46.

- 1294-1298.
- [14] Wischmeier W H, Simth D D. Agricultural handbook No.537[M]. USA: Science and Education Administration, United States Department of Agriculture, 1978.
- [15] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes [J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(5): 1759-1763.
- [16] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24.
- [17] 胡文敏, 周卫军, 余宇航, 等. 基于 RS 和 USLE 的红壤丘陵区小流域水土流失量估算[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(3): 171-177.
- [18] 中华人民共和国水利部. SL190-2067 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019: 8-9.
- [19] 林慧龙, 郑舒婷, 王雪璐. 基于 RUSLE 模型的三江源高寒草地土壤侵蚀评价[J]. 草业学报, 2017, 26(7): 11-22.
- [20] 吴昌广, 李生, 任华东, 等. USLE/RUSLE 模型中植被覆盖管理因子的遥感定量估算研究进展[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1728-1732.
- [21] 褚琳, 王天巍, 朱永清, 等. 水土流失遥感调查中植被覆盖度因子提取研究[J]. 人民长江, 2017, 48(12): 70-74, 83.
- [22] 杨冉冉, 徐涵秋, 林娜, 等. 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地区土壤侵蚀定量研究[J]. 生态学报, 2013, 33(10): 2974-2982.
- [23] 罗佳, 周小玲, 陈建华, 等. 桉树人工林土壤养分对凋落物分解的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(11): 132-139.
- [24] 鲁向晖, 唐安华, 白桦, 等. 桉树修复对江西稀土尾砂区土壤养分的影响[J]. 南方农业学报, 2016, 47(7): 1100-1104.
- [25] 王友生, 吴鹏飞, 侯晓龙, 等. 稀土矿废弃地不同植被恢复模式对土壤肥力的影响[J]. 生态环境学报, 2015, 24(11): 1831-1836.
- [26] 郑先坤, 冯秀娟, 陈哲, 等. 离子型稀土矿开采环境问题及废弃地修复治理研究进展[J]. 应用化工, 2019, 48(3): 681-684.
- [27] 庄凯. 福建不同类型矿山废弃地植被的恢复与重建研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- (上接第 99 页)
- [8] 李阳兵, 罗光杰, 黄娟, 茂兰喀斯特自然保护区撂荒地时空演变、机制及其植被恢复[J]. 中国岩溶, 2017, 36(4): 447-453.
- [9] Noryusdiana M Y, Siti K B. Towards the use of remote-sensing data for monitoring of abandoned oil palm lands in Malaysia: A semi-automatic approach [J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(2): 432-449.
- [10] 史铁丑, 徐晓红. 重庆市典型县撂荒耕地图斑的提取与验证[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24): 261-267.
- [11] 张丽娟. 20 世纪 80 年代以来全球耕地变化的基本特征及空间格局[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1235-1247.
- [12] Matthias B. Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine [J]. Land Use Policy, 2011, 28(3): 552-562.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 程维芳. 南方撂荒地遥感调查方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2011.
- [16] 息烽县统计局. 息烽县 2017 年领导工作手册统计年鉴 [M/OL]. (2017-09-10) [2019-09-15]. [http://www.xifeng.gov.cn/zwgk/xxgkml/jcxxgk/tjsj/tjgb/201811/t20181120\\_1903269.html](http://www.xifeng.gov.cn/zwgk/xxgkml/jcxxgk/tjsj/tjgb/201811/t20181120_1903269.html)
- [17] 贵州省发展和改革委员会, 贵州省科技厅, 贵州师范大学. 贵州省喀斯特石漠化综合防治图集(2006—2050) [M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2007.
- [18] 周忠发, 闫利会, 陈全, 等. 人为干预下喀斯特石漠化演变机制与调控[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [19] 史铁丑, 李秀彬. 基于地块尺度的重庆山区耕地撂荒风险研究[J]. 山地学报, 2017, 35(4): 543-555.
- [20] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 82-86.
- [21] 查燕, 宋茜, 卫炜, 等. 基于 NDVI 时序数据的华北地区耕地物候参数时空变化特征[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(11): 1-9.
- [22] 朱长明, 骆剑承, 沈占锋, 等. 基于地块特征基元与多时相遥感数据的冬小麦播种面积快速提取[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 94-99.
- [23] 黄秋昊, 蔡运龙, 王秀春. 我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 106-111.