



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

基于MaxEnt模型提取撂荒耕地——以四川省武胜县为例

罗雅红, 龚建周, 李天翔, 胡月明

引用本文:

罗雅红, 龚建周, 李天翔, 等. 基于MaxEnt模型提取撂荒耕地——以四川省武胜县为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 1084–1093.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0470>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

耕地遥感识别研究进展与展望

熊曦柳, 胡月明, 文宁, 刘洛, 谢健文, 雷帆, 肖莉, 唐铁

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 856–865 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0457>

基于人地关系的干旱区耕地流转空间分异特征与驱动机制的地理探测

王琪, 王永生, 杜国明, 刘兆军

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 241–248 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0204>

基于时空角度的广东省耕地占补平衡绩效评价

李敬, 张燊, 胡月明, 吴克宁

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 1064–1073 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0542>

从作物轮作角度评价华南典型赤红壤农区耕地质量空间差异

刘园, 蔡泽江, 余强毅, 吴文斌, 周清波

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 1051–1063 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0526>

耕地质量和产能评价指标体系研究——以广西宾阳县为例

张英, 冯雪珂, 任少宝, 游小敏, 余晨

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 1039–1050 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0540>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

罗雅红, 龚建周, 李天翔, 等. 基于 MaxEnt 模型提取撂荒耕地——以四川省武胜县为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 1084–1093.

LUO Y H, GONG J Z, LI T X, et al. Extraction of abandoned farmland based on MaxEnt model: A case study of Wusheng County, Sichuan Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(6): 1084–1093.



开放科学 OSID

基于 MaxEnt 模型提取撂荒耕地——以四川省武胜县为例

罗雅红¹, 龚建周^{1,2*}, 李天翔³, 胡月明^{2,4,5}

(1. 广州大学地理科学与遥感学院, 广州 510006; 2. 广州市华南自然资源科学技术研究院, 广州 510630; 3. 广州龙腾园林景观设计有限公司, 广州 510520; 4. 海南大学热带作物学院, 海口 570228; 5. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘要:在乡镇尺度厘清商品粮生产基地的撂荒耕地问题,对耕地保护和粮食安全具有重要意义。基于国产 GF-1 号遥感影像,耦合撂荒耕地的影响因子及影像波谱信息,以撂荒耕地问题较为突出的四川省武胜县为案例区域,探索应用 MaxEnt 模型提取常年性、季节性撂荒耕地信息的潜力,揭示撂荒耕地时空分异规律及其影响因素。结果表明,MaxEnt 模型识别撂荒耕地的受试者工作特征曲线下面积(AUC)值均大于 0.9,混淆矩阵总精度大于 80%,季节性撂荒耕地面积与统计年鉴的相对误差不超过 10%。受高程影响,常年性撂荒耕地主要集中分布于海拔超过 300 m 的丘陵山区,少数零星分散于嘉陵江两岸地势低缓的地区;季节性撂荒耕地各镇均普遍分布,局部呈片状分布特征。在 2015—2018 年研究时段内,常年性、季节性撂荒耕地面积和撂荒耕地总面积均保持平稳态势。研究认为,MaxEnt 模型在提取撂荒耕地信息方面具有较大的应用潜力和优势;常年性与季节性撂荒耕地具有不同的空间分异特征,前者归因于海拔、交通及灌溉条件,后者归因于海拔、耕作半径和灌溉条件。研究丰富了基于遥感影像提取撂荒耕地信息的方法,增强了撂荒耕地时空分异特征与归因的认知,为乡村耕地合理利用与管理的实践提供理论支撑。

关键词:MaxEnt 模型;撂荒耕地;遥感影像;时空分异;武胜县

中图分类号:F323.21;P237 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2021)06-1084-10 doi: 10.13254/j.jare.2021.0470

Extraction of abandoned farmland based on MaxEnt model: A case study of Wusheng County, Sichuan Province

LUO Yahong¹, GONG Jianzhou^{1,2*}, LI Tianxiang³, HU Yueming^{2,4,5}

(1. School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. South China Academy of Natural Resources Science and Technology, Guangzhou 510630, China; 3. Guangzhou Longterm Landscape Architecture Design Company Limited, Guangzhou 510520, China; 4. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, China; 5. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Clarifying the problem of abandoned farmland at the township level is of great significance for the protection of farmland and food security. Based on domestic GF-1 remote sensing image, coupling the influence factors and image spectrum information of abandoned farmland and taking Wusheng County, where the problem of abandoned arable land is more prominent as the case area, the study is to explore the potential of using MaxEnt model to extract the information of perennial and seasonal abandoned farmland, reveal the spatial and temporal differentiation of abandoned farmland and its influencing factors. The results showed that the MaxEnt model had high accuracy and efficiency in the identification of abandoned farmland, which can be applied to extract the information of abandoned farmland. The relative error between seasonal abandoned farmland area and statistical yearbook was less than 10%. In 2018, the perennial abandoned farmland in Wusheng County was mainly distributed in the hilly and mountainous areas with an altitude of more than 300 m, and a few were

收稿日期:2021-07-31 录用日期:2021-09-28

作者简介:罗雅红(1996—),女,四川眉山人,硕士研究生,研究方向为土地资源与生态环境效应。E-mail:2294359516@qq.com

*通信作者:龚建周 E-mail:gongjzh66@126.com

基金项目:国家自然科学基金项目(42071123);四川省科技计划项目(2020YFG0033)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(42071123); Sichuan Science and Technology Program(2020YFG0033)

scattered in the low-lying areas along the Jialing River. The seasonal abandoned farmland was generally distributed in each town, and the local distribution was patchy. During the 2015—2018, the area of perennial, seasonal and total abandoned farmland remained stable. This study suggested that MaxEnt model had great application potential and superiority in extracting abandoned farmland information. Perennials and seasonal abandoned farmland had different spatio-temporal differentiation patterns. The former was due to terrain, traffic and irrigation conditions, while the latter was due to farming radius and irrigation conditions. This study enriched the method of extracting abandoned farmland information based on remote sensing images, enhanced the cognition of the spatio-temporal differentiation patterns and attribution of abandoned farmland, and provided research support for the practice of rational use and management of rural farmland.

Keywords: MaxEnt model; abandoned farmland; remote sensing image; spatio-temporal differentiation; Wusheng County

伴随着中国城镇化进程加快和经济社会的快速发展,农村耕地被撂荒的现象突出,其中山区和丘陵地区尤其普遍^[1]。撂荒耕地指的是农民因某种原因不愿意耕种或者因旱涝灾害致使耕地荒芜一季或一季以上的现象^[2]。其中,因无人耕种或不愿意耕种造成一年以上撂荒的耕地被称之为常年性撂荒耕地;因农民或休耕等原因,在某一季没有耕种造成的撂荒耕地,则为季节性撂荒耕地^[2]。

准确高效获取撂荒耕地信息是解决耕地撂荒问题的前提与基础。目前,撂荒耕地信息的获取主要有农户调查、荟萃分析、遥感影像解译等三类方法。农户调研方法获取的撂荒耕地信息准确性较高,并且便于很好地解释撂荒耕地的形成机制,但是,由于受制于被调查户数、空间抽样方法与调查技术、人力物力耗费等影响,获取撂荒耕地的范围和时效性都受到限制^[3]。荟萃分析可挖掘单个研究难以发现的撂荒耕地分布规律,但受已公开发表文章数量和研究人员对相关领域了解程度的限制^[4]。随着计算机和 3S 技术的快速发展,基于遥感影像的撂荒耕地识别与信息提取研究已得到学者们的关注。如 ALACANTARA 等^[5]利用 MODIS 影像,采取支持向量机法绘制中欧和东欧一带撂荒耕地地图,并统计撂荒耕地规模;我国学者肖国峰等^[6]基于 Landsat 和 HJ1A 数据,采用 CART 决策树分类方法,通过制定撂荒耕地识别规则,获取撂荒耕地空间分布数据。相比而言,遥感技术方法不仅大大提高了工作效率,并且可快速监测撂荒耕地的时空变化过程。尽管如此,遥感影像存在异物同谱、同谱异物以及混合像元等特征,导致遥感影像地物识别结果产生“椒盐”现象^[7-8],基于遥感影像的撂荒耕地识别精度问题仍然是其应用中的瓶颈。此外,由于山区撂荒耕地破碎、零散^[9],基于遥感影像获取撂荒耕地分布信息,更是对遥感影像的空间分辨率、数据质量以及信息提取技术等提出了较高要求,需要不断地尝试采用高空间分辨率数据,寻求新的遥感技术与

方法。

MaxEnt 模型(最大熵模型)最早由 Jaynes 提出,该模型基于 Shannon 的信息熵原理^[10],具备对环境变量共线性不敏感、基于小训练样本能够获取较高预测精度且简单实用等突出优势^[11],最早用于预测物种分布^[12-13]。近年来,MaxEnt 模型被应用于基于遥感影像的地物信息识别。与一般利用光谱、纹理等属性特征差异性进行遥感影像地物分类的方法相比,MaxEnt 模型结合遥感光谱指数和其他影响目标地物分布的环境因子空间数据,通过搜索与目标地物具有共同光谱特征的其他分布点,及分析预测目标本身对环境影响因子的响应规律来预测其空间分布,从而减少冗余和干扰信息的影响,提高结果精度^[14]。目前,MaxEnt 模型在识别遥感影像地物信息领域,主要用于城镇用地^[15]、林地等^[16]的识别,识别精度均较高,但该模型用于快速获取“撂荒耕地”的适用性研究仍为空白。

引致撂荒耕地生成、变化的因素复杂多变,可能因时因地而异^[3]。因此,只有明确当地耕地撂荒的影响因素,才能提出更有针对性的措施。以往学者们多通过农户调查等实地调研方式,对撂荒耕地的影响因素进行定性分析。近年来,国内外学者趋向于用回归分析和空间分布统计等定量分析方法,探索地形、交通、耕作半径、灌溉条件等对撂荒耕地的影响^[17-19]。两种方法相比,定量分析更具科学性与说服力。

武胜县是成都平原东部的丘陵大县、全国商品粮生产大县,也是全省乡村振兴规划试点县。据报道,武胜县撂荒现象普遍,已是耕地撂荒较严重的县之一。^[20-21]目前,获取武胜县撂荒耕地的信息主要靠实地调研,不利于实时掌握其动态和及时采取应对措施。本研究基于国产高分遥感影像,利用 MaxEnt 模型探讨撂荒耕地信息快速获取的方法,认知武胜县乡镇尺度撂荒耕地的时空变化规律,采用定量分析方法探析耕地撂荒存的问题与原因,为县域耕地的合理利用与管理提供研究支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

武胜县位于成都平原东部(30°10′46″~30°10′36″N, 105°56′39″~106°26′50″E), 海拔177~438 m。据《广安统计年鉴2020》可知, 武胜县土地总面积966 km²; 截至2019年底, 总人口81.5万, 其中本地务农人员19万, 务农人口人均耕地面积716 m²。武胜县属于亚热带季风气候, 主要农作物是水稻、玉米及红薯, 标准耕作制度为一年一熟或一年两熟。其中, 水田耕作制度为一年一熟, 水稻种植面积大, 生长期为5月至8月^[21], 每年水稻收割后的农田基本处于休耕状态, 致使该县耕地季节性撂荒现象普遍。旱地耕作制度为一年两熟, 复种类型为玉米-红薯, 季节性休耕现象不突出^[20]。因此, 本研究中的季节性撂荒耕地为水田。

1.2 数据来源

(1) 国产高分遥感数据(2015—2018年)。GF-1卫星共有4台16 m分辨率多光谱相机(WFV1-WFV4), 每台相机4个波段(450~890 nm)。本研究采用的GF-1 WFV 1A级光学遥感数据的信息如表1所示, 源于华南农业大学高分科教服务平台(<http://gaofenplatform.com/>)。考虑到武胜县季节性撂荒耕地主要是水稻的季节性休耕, 根据当地水稻的物候信息^[22], 每年均取5月至8月(水稻生长期)和9月至次年4月(农田闲置期)两个时相的高质量影像, 共8景影像。

(2) 地理空间数据。地理空间数据包括: 地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)空间分辨率为30 m的DEM数据; 中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)的2018年土地利用类型分布栅格数据及农村居民点、道路、乡镇行政边界等矢

量数据; 国家基础地理信息中心(<http://www.ngcc.cn/ngcc/>)的水系矢量数据。此外, 还有实地调研数据。研究组成员于2020年1月3—5日、16—18日, 利用GPS定位工具(奥维互动地图APP)和农户访谈方式进行了野外实地调研。调研的主要内容包括实地采样点地理坐标、各样本点2015—2018年的土地利用类型及其变化情况。通过调研获得季节性、常年性撂荒地实地采样点各20个, 共计40个。

(3) 其他辅助数据。一是作为控制影像进行几何精校正的Landsat8 OLI_TIRS影像, 研究利用的全色波段空间分辨率为15 m。二是2015—2018年冬、夏季Google Earth高清卫星影像, 可辅助对历史年份撂荒耕地的采样, 即把实地调研样本点定位到Google Earth的2020年冬、夏季影像上, 分别观察其特征, 由此确定撂荒耕地在Google Earth高清卫星影像上的影像特征, 进而识别2015—2018年Google Earth高清卫星影像上具有相同特征的地块, 将其作为各年份撂荒耕地样本点。

1.3 数据处理

数据处理过程包括原始影像数据的预处理、运行MaxEnt模型所需数据的准备以及撂荒耕地影响因素数据的准备。

(1) 对原始影像数据进行剪裁、辐射定标、大气校正、正射纠正、几何校正等预处理。其中, 几何纠正采用双线性内插法, 校正模型的RMS误差控制在0.5个像元之内。

(2) 准备MaxEnt运行所需的两类数据, 一类是训练和验证样本点的地理坐标数据, 另一类是环境变量数据^[13]。两类数据的处理过程如下:

① 样本点地理坐标数据。基于目视解译, 结合Google Earth高清卫星影像和实地调研, 采样获取季节性和常年性撂荒耕地的样本点。具体地, 利用实地

表1 GF-1卫星WFV影像基本信息

Table 1 Information of GF-1/WFV image used in this study

序号 Sequences number	获取时间 Receive time	传感器 Sensor	条带号 Path/Row	云量 Cloud percent/%	空间分辨率 Spatial resolution/m
1	2015-07-19	WFV2	14/105	0	16
2	2016-02-29	WFV1	13/107	0	16
3	2016-08-20	WFV2	15/105	2	16
4	2017-01-22	WFV1	13/107	7	16
5	2017-07-26	WFV2	14/105	9	16
6	2018-01-10	WFV2	13/105	0	16
7	2018-06-07	WFV2	15/105	3	16
8	2018-11-02	WFV2	15/106	0	16

调研采样点的地理坐标,在 Google Earth 高清卫星影像和 GF-1 号影像上定位到相应位置,观察该点的影像特征;将 Google Earth 高清卫星影像和 GF-1 号影像叠加,找出具有相同影像特征的其他样本点。两类撂荒耕地样本点获取的思路:综合考虑研究区农作物的物候信息及两时相影像的地物特征,同一位置、同一年内的两时相影像上均为撂荒耕地的像元,作为常年性撂荒耕地样本点;水稻生长期影像上为耕地、农田闲置期影像为撂荒耕地的像元,作为季节性撂荒耕地样本点。每一年季节性和常年性撂荒耕地各选取 80 个样本,随机均分成训练集和验证集(各 40 个),另外,每年选取 40 个其他地类的样本点作为验证样本。导出样本点的地理坐标值,保存格式为“.cvs”的样本文件。

②环境变量数据集。包括武胜县整个研究区的 DEM 值、NDVI 值及其差值、4 个波段的各波段反射率值。其中,4 年均采用同一 DEM 数据,其余环境变量在提取同一年份的季节性和常年性撂荒耕地时采用同一组数据,保存格式为“.asc”的环境变量文件。

(3)耕地撂荒产生的影响因素数据。根据前人相关研究及能够被空间量化的原则,总结了影响撂荒耕地分布的四大因素:地形(坡度和海拔)、交通、耕作半径(居民点到耕地的距离^[18])及灌溉条件,考察研究区 2018 年撂荒耕地的产生机制。其中,在 DEM 高程图基础上,根据坡度分级标准^[23],借助 ArcGIS 平台的表面分析和重分类等工具,将研究区分为 5 个坡度级别($0^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 、 $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 、 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 及 $>25^{\circ}$),得到不同坡度范围的栅格图;同时,为分析海拔对撂荒分布的影响,先将研究区分为平原和丘陵两个等级,由于研究区 98.9%的地区为大于 200 m 的丘陵,遂再次将丘陵地区划分为 200~300、300~438 m 两个等级,共分为 3 个高程等级(<200、200~300、300~438 m),得到不同高程范围的栅格图。另外,在武胜县矢量道路图、水系图、农村居民点分布图等基础上,生成 200、500、1 000 m 的缓冲区矢量图。

1.4 研究方法

1.4.1 MaxEnt 模型

MaxEnt 模型,即最大熵模型,其原理是根据已知事物建模,达到对未知事物预测的目标^[24]。如:假设待预测事物的已知地理分布点 x_i 的集合为 X ,则 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$;其约束条件集 F 由一组特征值 f_i 构成, $F=\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$,这些约束条件是关于目标分布的不完全信息;根据已知地理分布点及其约束条件建模并不

断训练,获取对应于最大熵的模型参数^[25];最后估计待预测事物未知点的可能性分布 $\tilde{\pi}(x)$,并力求 $\tilde{\pi}(x)$ 近似于待预测事物的实际分布 $\pi(x)$ 。模型的经验公式^[12]为:

$$\tilde{\pi}(x) = \frac{|\{1 \leq i \leq m : x_i = x\}|}{m} \quad (1)$$

式中: x_i 表示待预测事物的第 i 个样本点; m 表示样本点数量。

f_i 的经验均值定义为:

$$\tilde{\pi}(f_i) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \quad (2)$$

由于希望 $\tilde{\pi}(f_i)$ 接近它的期望值 $\pi(f_i)$,且尝试寻求一个近似值 $\hat{\pi}$,满足 $\hat{\pi}(f_i) = \tilde{\pi}(f_i)$,有许多分布满足这些约束条件。而根据最大熵原理,应该从所有这些分布中选择熵最大的分布,熵 $\hat{\pi}$ 定义为^[12]:

$$H(\hat{\pi}) = - \sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x) \quad (3)$$

1.4.2 MaxEnt 软件的运行

MaxEnt 软件是由 Phillips、Dudík 和 Schapire 开发的软件^[12],运行仅需要目标地物已知样本点地理坐标数据和环境变量数据(详见 1.3)。具体运算如下:

①将两类数据分别导入软件的“Samples”和“Environmental layers”模块,参数设置参考文献[13],勾选“刀切法”“创建响应曲线”和“制作预测图”等功能。为避免过度拟合,随机拨出训练集的 25% 进行验证,即把测试集设置为样本点的 25%,训练集则为 75%,调整样本半径为 8 m,15 次重复运行,其余参数选择默认设置^[16]。输出结果为目标地物分布的概率文件(“.asc”),值域范围在 0~1。

②确定一个阈值来对分布概率图进行二值化处理^[16],得到撂荒耕地的分布图。阈值是影响撂荒耕地信息提取精度的关键,参考文献[14, 26],采用实证方法确定最终阈值,即选择度量预测误差程度的遗漏率(本研究选择 5%,表示有 95% 的验证样本预测值有效)对应的 logistic 值作为预设阈值,以获得的预设阈值为基础,每次增加 0.01 来验证模型精度,直至实现模型精度最高,此时的值则作为最终进行二值预测的阈值,大于该阈值的像元则识别为撂荒耕地。

1.4.3 精度验证方法

为确保研究结果的可靠性和可信度,采用 AUC 验证法、混淆矩阵法及实证法等三种方式同时进行精度检验。其中,AUC(Area under curve)是最常用的模型性能评估参数^[27],利用受试者工作特征曲线(ROC 曲线)下面积 AUC 值评估模型性能,ARAUJO 等^[28]定

义了使用该参数的精度判断标准,即AUC值为0.7~0.8表示模型性能一般,0.8~0.9为较好,0.9~1为极好。混淆矩阵法是基于混淆矩阵计算Kappa系数;实证法则是将识别结果与统计年鉴数据和土地利用数据进行对比。

2 结果与分析

2.1 精度验证

2.1.1 AUC验证法

以2018年为例,常年性与季节性撂荒耕地模型AUC值分别为0.972(图1a)、0.958(图1b),表明模型

性能极好。其他年份的AUC值均在0.9~1区间。因此,模型的结果是可靠的。

2.1.2 混淆矩阵法

利用保留的季节性、常年性撂荒耕地各40个验证样本点,借用混淆矩阵法进行精度验证。计算结果如表2所示,Kappa系数在0.74~0.93之间,总精度与用户精度均大于80%,表明运用MaxEnt模型提取撂荒耕地的效果较好。

2.1.3 实证法

本研究季节性撂荒面积分类结果与2015—2018年广安市统计年鉴中水稻种植面积数据基本吻合,两者相差不超过该年统计水稻种植面积的10%,实现了基于MaxEnt模型的武胜县撂荒耕地精准高效识别。另外,为进一步验证结果的准确性,将2018年识别的季节性撂荒耕地与土地利用数据中的水田进行叠加统计,结果显示识别出的季节性撂荒耕地发生在水稻种植区的比例约80%,进一步验证了结果的可靠性。

2.2 撂荒耕地空间分异特征

仅以2018年武胜县撂荒耕地信息提取结果为例,对武胜县撂荒耕地空间分异特征进行分析。如图2所示,武胜县常年性撂荒耕地与季节性撂荒耕地在各镇均有分布,但二者的空间分异特征不同。

常年性撂荒耕地整体呈大分散、小集中,即东西

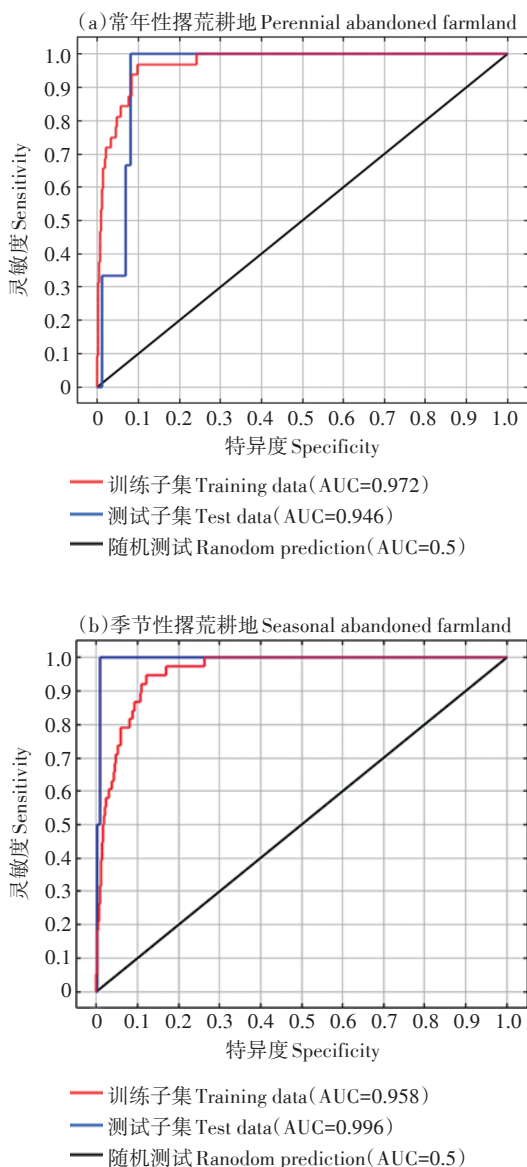


图1 2018年武胜县撂荒耕地的ROC曲线

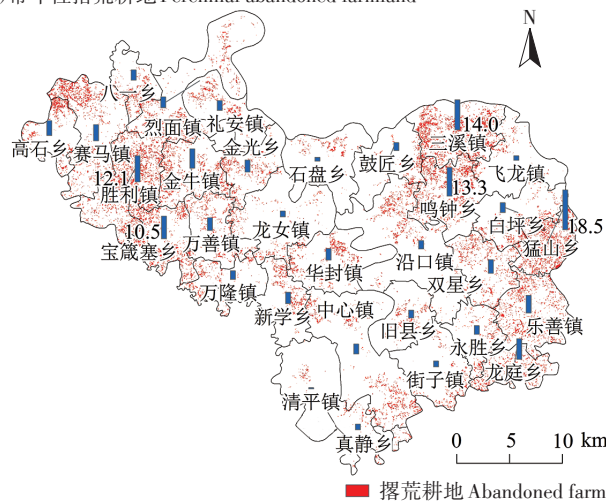
Figure 1 ROC curve of abandoned farmland identification in Wusheng County of 2018

表2 撂荒地提取结果的混淆矩阵

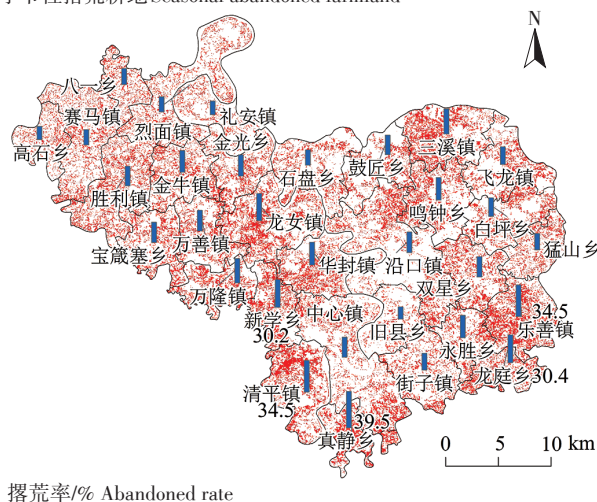
Table 2 The confusion matrix of extraction results of abandoned farmland

年份 Year	土地类型 Land-use type	用户精度 User accuracy/%	总精度 Overall accuracy/%	Kappa系数 Kappa coefficient
2015	季节性撂荒耕地	97.37	95.00	0.90
	其他地类	92.86		
	常年性撂荒耕地	100.00	87.34	0.74
	其他地类	80.39		
2016	季节性撂荒耕地	87.50	92.50	0.85
	其他地类	97.50		
	常年性撂荒耕地	100.00	92.59	0.85
	其他地类	87.23		
2017	季节性撂荒耕地	88.37	91.25	0.83
	其他地类	94.59		
	常年性撂荒耕地	100.00	96.25	0.93
	其他地类	93.02		
2018	季节性撂荒耕地	90.48	92.50	0.85
	其他地类	94.74		
	常年性撂荒耕地	96.88	87.50	0.75
	其他地类	81.25		

(a)常年性撂荒耕地 Perennial abandoned farmland



(b)季节性撂荒耕地 Seasonal abandoned farmland



撂荒率:撂荒耕地占耕地面积的百分比^[6]
Abandoned rate means the percentage of abandoned farmland in the area of farmland^[6]

图 2 2018 年武胜县撂荒耕地的空间分布

Figure 2 Spatial distribution of abandoned farmland in Wusheng County of 2018

部局部集中密集、中部普遍零星分散的特征。其中分布最集中的区域主要是胜利镇、宝箴塞乡、猛山镇、三溪镇、鸣钟乡、华封镇东北部及赛马镇的西北部等,而分散最为零星的地区为武胜县中部。常年性撂荒耕地的撂荒率较高(超过 10%)的区域主要有西部的胜利镇、宝箴塞乡(12.1%、10.5%)以及东部的猛山乡、三溪镇、鸣钟乡等(18.5%、14.0%、13.3%)(图 2a)。

2018 年武胜县季节性撂荒耕地在武胜县各乡镇普遍分布,个别乡镇呈片状分布。其中,真静乡、清平镇、乐善镇、龙庭乡及新学乡 5 个乡镇季节性撂荒率超过 30%,分别为 39.5%、34.5%、34.5%、30.4% 及 30.2%(图 2b)。

2.3 撂荒耕地时间动态特征

分别统计各年季节性、常年性撂荒耕地面积及总撂荒耕地面积,得到武胜县 2015—2018 年的撂荒耕地面积动态变化图(图 3)。由图 3 可知,2015—2018 年常年性和季节性撂荒耕地面积波动不明显,分别在 50 km² 和 200 km² 上下波动,总撂荒耕地面积在 200~300 km² 之间浮动。

2015—2018 年武胜县东、西部的部分乡镇,如东部的三溪镇、鸣钟乡、乐善镇,西部的胜利镇、金牛镇、宝箴塞乡等,常年性撂荒耕地面积明显多于其他乡镇。大部分乡镇常年性撂荒耕地面积变化不明显,仅有少数波动较大(图 4a)。变化明显的乡镇主要有华封镇、中心镇等 10 个乡镇,分布在武胜县东、西部。其中,除东部地区猛山乡呈逐年上升趋势外,常年性

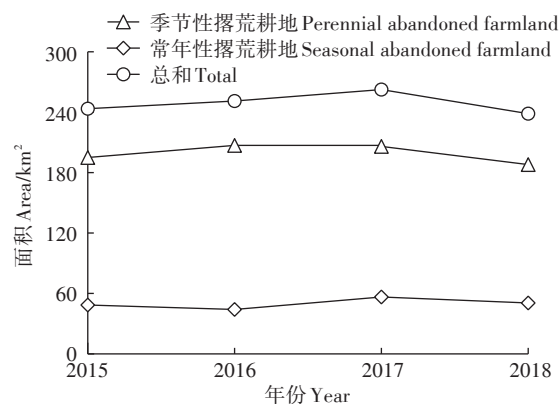


图 3 2015—2018 年武胜县撂荒耕地面积动态变化

Figure 3 Dynamic variation of abandoned farmland area in Wusheng County during 2015—2018

撂荒耕地面积变化明显的乡镇均呈现波动变化。

图 4b 展现了各乡镇季节性撂荒耕地在 2015—2018 年的面积变化。其间,大部分乡镇季节性撂荒耕地面积未发生明显变化,仅有西部的高石乡、赛马镇、八一乡及烈面镇,东部的三溪镇、鸣钟乡、飞龙镇、白坪乡、乐善镇及龙庭乡等个别乡镇波动较明显。其中,2016 年相较于 2015 年西部上述乡镇均发生大幅上升,东部上述乡镇则发生不同程度的下降;2018 年相较于 2017 年,西部上述乡镇降幅较大,东部上述乡镇变化不甚明显。

2.4 撂荒耕地空间分布统计及其影响因素分析

将坡度、高程栅格图及不同范围的道路、水系、农

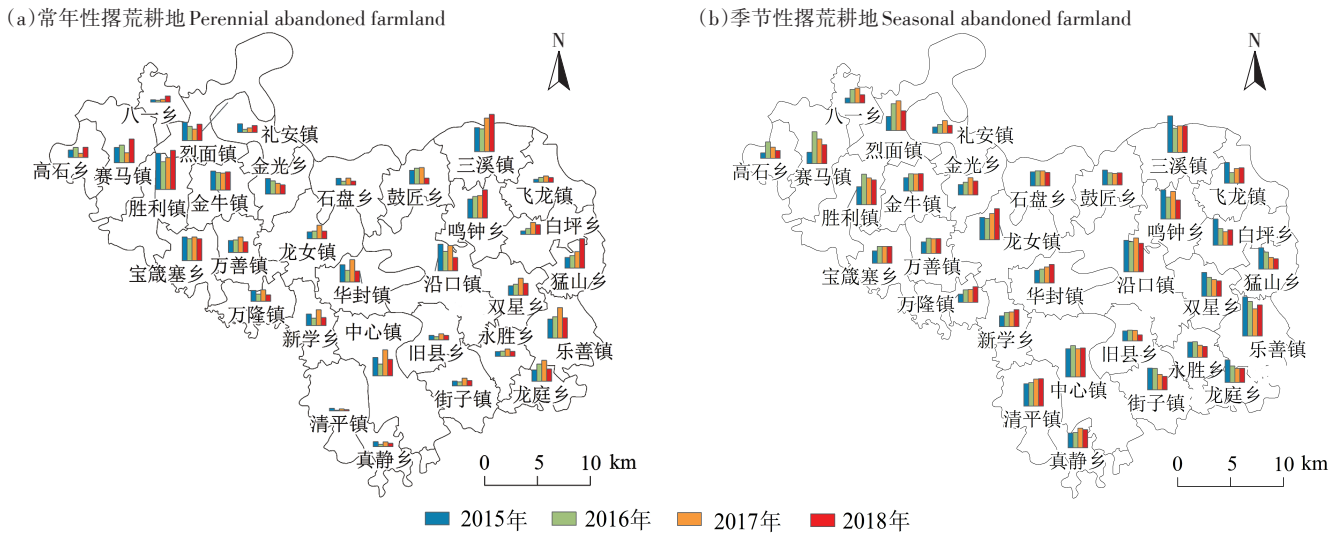


图4 2015—2018年武胜县各乡镇撂荒耕地面积动态变化

Figure 4 Dynamic changes of abandoned farmland area in each town of Wusheng County during 2015—2018

村居民点缓冲区矢量图,分别与耕地、撂荒耕地图层进行叠加运算,并统计其面积,计算得到武胜县和各乡镇2018年不同地形(坡度、高程)、交通、灌溉及耕作半径下的撂荒率,结果如表3、表4及图5所示。从表3可以看出,2018年武胜县坡度小于 15° (适宜耕作^[23])的缓坡地区和大于 15° (土壤侵蚀明显、水土流失严重,不宜农耕^[23])的坡耕地撂荒率都较高,并且 $0^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 的地区常年性和季节性撂荒率均为最高。说明武胜县撂荒耕地的产生不属于耕地坡度太大、耕作困难的情况。

武胜县耕地常年性和季节性撂荒率在不同海拔范围内差异均较大(表3)。其中,海拔在200 m以下的平原撂荒率接近于0,海拔300 m以上的地区常年性撂荒率远高于300 m以下地区。说明武胜县常年性撂荒耕地的分布可能与“海拔太高,耕作困难”有关。图5也证实,除三溪镇和鸣钟乡外,常年性撂荒耕地分布较多且集中的区域有猛山镇、胜利镇、华封镇东北部及赛马镇的西北部等,海拔基本都大于300 m;而地势较为低平(200~300 m)的中部和嘉陵江沿岸地区,仅零星分布。耕地的季节性撂荒率则相反,低于200 m的平原地区撂荒率明显高于丘陵山区。由此说明,季节性撂荒耕地(基本为农田冬季休耕)的空间分布与“海拔较低,耕作条件便利”有关。

根据耕地在不同耕作半径内的撂荒率(表4)可知,常年性撂荒率在各耕作半径范围内差异不大,季节性撂荒率在耕作半径大于1 000 m的地区远大于其他地区。说明常年性撂荒耕地的发生不属于耕作半

表3 2018年武胜县耕地在不同坡度、海拔范围内的撂荒率(%)

Table 3 The rate of abandoned farmland in different slopes and elevations in Wusheng County of 2018(%)

影响因素 Influence factor	范围 Range	常年性 Perennial	季节性 Seasonal
坡度	$0^{\circ}\sim 2^{\circ}$	6.3	27.5
	$2^{\circ}\sim 6^{\circ}$	5.6	22.5
	$6^{\circ}\sim 15^{\circ}$	4.8	14.4
	$15^{\circ}\sim 25^{\circ}$	3.8	13.4
	$>25^{\circ}$	5.8	19.8
高程	<200 m	<0.1	37.5
	200~300 m	2.7	22.3
	300~438 m	9.6	23.0

表4 2018年武胜县耕地在不同缓冲区范围内的撂荒率(%)

Table 4 The rate of abandoned farmland in different buffer zones in Wusheng County of 2018

影响因素 Influence factor	撂荒类型 Abandoned type	<200 m	200~500 m	500~1 000 m	$>1\ 000$ m
耕作半径	常年性	6.3	6.0	5.7	6.4
	季节性	22.6	23.3	22.3	34.3
道路	常年性	5.3	5.4	6.3	6.1
	季节性	22.7	23.7	23.0	23.2
水系	常年性	4.6	5.9	6.4	6.9
	季节性	21.7	22.4	22.9	28.1

径太大、耕作不便利的情形;而季节性撂荒耕地的产生与耕作半径太大、耕作不便有关。

由表4可知,与道路距离大于500 m的耕地常年

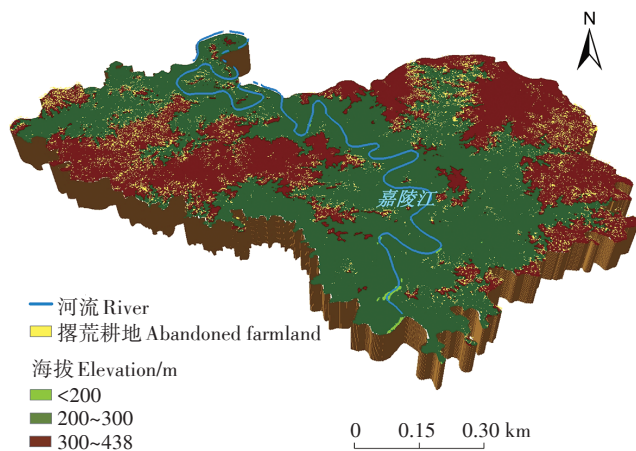


图5 2018年武胜县常年性撂荒耕地在不同高程范围空间分布的三维示意图

Figure 5 The 3D schematic distribution map of perennial abandoned farmland in different elevation ranges in Wusheng County of 2018

性撂荒率比小于 500 m 的耕地多 1 个百分点左右;季节性撂荒率在各道路缓冲区的差异不足 1 个百分点。由此可推知,常年性撂荒耕地与交通不便、耕作不易有关;而季节性撂荒耕地不属于交通不便、耕作不易的情况。

常年性和季节性撂荒率均随着与水系距离的增大而升高,尤其是大于 1 000 m 的地区,季节性撂荒率远大于距离水系 1 000 m 范围内地区(表 4)。因此,常年性与季节性撂荒耕地的产生均与距离水源地太远、灌溉不便有关。

3 讨论

3.1 方法对比

为比较本研究方法识别撂荒耕地的优劣,另选两种监督分类方法对照,结果如表 5 所示。运用与本研究相同的撂荒耕地样本点,另外选取其他地类的训练样本点各 40 个,分别采用最大似然法和支持向量机法识别 2018 年季节性撂荒耕地,用混淆矩阵法检验

表 5 不同方法对 2018 年季节性撂荒耕地提取结果的混淆矩阵
Table 5 The confusion matrix of extraction results of seasonal abandoned farmland in 2018 by different methods

方法 Method	总精度 Overall accuracy/%	用户精度 User accuracy/%	Kappa 系数 Kappa coefficient
MaxEnt 模型	92.50	96.88	0.85
最大似然法	70.45	86.67	0.43
支持向量机法	63.63	55.56	0.31

结果精度,最大似然法总精度、用户精度及 Kappa 系数分别为 70.45%、86.67%、0.43;支持向量机法分别为 63.63%、55.56%、0.31。相较而言,同样较少的样本情况下,MaxEnt 模型的识别精度远高于其他两类监督分类方法,由此表明该模型识别撂荒耕地可大大提高工作效率^[11,26]。

3.2 MaxEnt 模型评价

本研究利用 ROC 曲线下的 AUC 值对模型识别撂荒耕地的性能进行检验,AUC 值均在 0.9~1 之间,表明模型的识别性能极好。同时,混淆矩阵验证的总精度均在 80% 以上,说明该模型识别撂荒耕地的精度较高。MaxEnt 模型将光谱指数与影响因子结合,可以提供较高精度的撂荒耕地信息,彰显了 MaxEnt 模型在撂荒耕地识别应用上的潜力。然而,应用 MaxEnt 模型提取撂荒耕地信息也存在一些局限。

研究过程中发现,该模型应用于撂荒耕地信息提取时,对撂荒耕地的精准采样是一大难点,可能导致样本点的数量较少。由于本研究对撂荒耕地采样时主要采用目视解译的方式,加之丘陵山区撂荒耕地较破碎分散,与获取城镇用地^[15]和林地^[16]等易进行目视解译的地物信息相比,获取撂荒耕地信息的采样工作难度更大。因此,本研究获取的撂荒耕地样本点数量较少,可能会对信息提取精度造成一定影响。可见,较高的影像质量、空间分辨率是准确获取撂荒耕地信息的重要基础。需要指出的是,本研究 2016 年和 2018 年夏季影像上的鼓匠乡局部区域厚云较多,其撂荒耕地的识别结果与实际情况可能存在一定差距。

为建立准确的 MaxEnt 撂荒耕地识别模型,模型运行的某些过程还可进一步优化。①参数优化:本研究参数均采用默认设置,可借鉴朱耿平等^[29]调用 EN-Meval 数据包来调整模型调控倍频和特征组合参数的做法,进一步优化参数设置。②阈值确定方法的改进:本研究通过设定一个常用的较低误差(5%)来获得阈值,该方法具一定主观性,可参考 LI 等^[30]采用 Fpb 指标来获取阈值的方法,获得一个更客观的阈值结果。③环境变量的补充:研究选取的环境变量以光谱指数为主,影响撂荒耕地分布的环境因子只选取了 DEM 高程数据,未来可加入更多的自然和人文因子,例如气温、降水、光照、土壤、植被生产力、GDP 等,有望进一步提高结果精度。

此外,本研究还存在一些其他方面的不足。例

如,由于历史年份的高分遥感影像较少,加之研究区多云雾的气象特征,未能获得长时间序列的耕地撂荒信息。

4 结论

本研究应用 MaxEnt 模型获取武胜县 2015—2018 年常年性与季节性撂荒耕地信息,辨析其时空分异特征及影响因素,得出以下主要结论:

(1)MaxEnt 模型获取武胜县撂荒耕地信息的适用性(AUC 值在 0.9~1 之间)和精度(总精度大于 80%)均较高,识别的季节性撂荒耕地面积与统计年鉴、土地利用数据中的水稻种植面积之间相对误差小于 10%。与其他监督分类方法相比,本研究方法仅需要较少训练样本即可获得较高的识别精度;但在研究数据的获取、撂荒耕地样本的精准识别、准确模型的建立、阈值的确定等方面还存在许多挑战,尚待进一步深入研究。

(2)武胜县常年性撂荒耕地整体呈“大分散、小集中”的分布格局,集中分布于海拔 300~438 m 的丘陵山区,小于 300 m 的地区仅有零星分布,撂荒率随海拔升高、与道路和河流水系的距离增大而增加。

(3)季节性撂荒耕地在各镇普遍分布,部分地区呈片状分布特征,且撂荒率随海拔升高,与农村居民点、河流水系距离的增大而增加。

由此说明,武胜县常年性、季节性撂荒耕地的分布受海拔、交通、灌溉条件、耕作半径等因素影响,其面积在 2015—2018 年变化趋势均较平稳。武胜县在进行耕地利用与管理时,可从上述因素着手。

参考文献:

- [1] 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. SHI T C, XU X H. Extraction and validation of abandoned farmland parcel in typical counties of Chongqing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(24):261-267.
- [2] 文华成.四川丘区农村耕地撂荒问题研究[J].农村经济,2003(10):18-20. WEN H C. Study on abandoned farmland in Qiuqu District of Sichuan Province[J]. *Rural Economy*, 2003(10):18-20.
- [3] 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 S F, LI X B. Progress and prospect on farmland abandonment[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3):370-389.
- [4] 陈航,谭永忠,邓欣雨,等.撂荒耕地信息获取方法研究进展与展望[J].农业工程学报,2020,36(23):258-268. CHEN H, TAN Y Z, DENG X Y, et al. Progress and prospects on information acquisition methods of abandoned farmland[J]. *Transactions of the Chinese Society*

- of Agricultural Engineering*, 2020, 36(23):258-268.
- [5] ALACANTARA C, KUEMMERLE T, BAUMANN M, et al. Mapping the extent of abandoned farmland in central and eastern Europe using MODIS time series satellite data[J]. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(3):1-9.
- [6] 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 G F, ZHU X F, HOU C Y, 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.
- [7] 孙佩军,张锦水,潘耀忠,等.构建时空融合模型进行水稻遥感识别[J].遥感学报,2016,20(2):328-343. SUN P J, ZHANG J S, PAN Y Z, et al. Temporal-spatial-fusion model for area extraction of paddy rice using multi-temporal remote sensing images[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(2):328-343.
- [8] HE Z, LI S H, DENG Y C, et al. Rice paddy fields identification based on backscatter features of Quad-Pol RADARSAT-2 data and simple decision tree method[C]. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 2021, 6765-6768.
- [9] 史铁丑.国内外耕地撂荒的过程与影响因素研究进展[J].湖北农业科学,2020,59(16):11-16. SHI T C. Research progress of farmland abandonment process and influence factors at home and abroad[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(16):11-16.
- [10] 刘振生,高惠,滕丽微,等.基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价[J].生态学报,2013,33(22):7243-7249. LIU Z S, GAO H, TENG L W, et al. Habitat suitability assessment of blue sheep in Helan Mountain based on MAXENT modeling[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(22):7243-7249.
- [11] 马望,房磊,方国飞,等.基于最大熵模型的神农架林区华山松大小蠹灾害遥感监测[J].生态学杂志,2016,35(8):2122-2131. MA W, PANG L, FANG G F, et al. Mapping the infestation of *Dendroctonus armandi* in Shennongjia forested region using Landsat and MaxEnt model[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(8):2122-2131.
- [12] PHILLIPS S J, DUDIK M, SCHAPIRE R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling[C]. Proceedings of the twenty-first International Conference on Machine Learning, 2004:655-662.
- [13] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E, et al. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3/4):231-259.
- [14] LIN J Y, LIU X P, LI K, et al. A maximum entropy method to extract urban land by combining MODIS reflectance, MODIS NDVI, and DMSP-OLS data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2014, 35(18):6708-6727.
- [15] FERNANDEZ I C, MORALES N S. One-class land-cover classification using MaxEnt: The effect of modelling parameterization on classification accuracy[J]. *Peer J*, 2019, 7:e7016.
- [16] WULDER M A, WHITE J C, BENTZ B, et al. Estimating the probability of mountain pine beetle red-attack damage[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101:150-166.
- [17] 李娟娟.川东平行岭谷区撂荒地空间分布特征及撂荒原因研究

- [D]. 重庆:重庆师范大学, 2018. LI J J. The spatial distribution characteristics and the reasons of the abandoned land in the parallel ridge valley of east Sichuan: A case study of six towns in the city of Dazhou[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2018.
- [18] 牛继强, 林昊, 牛樱楠, 等. 经济欠发达地区撂荒耕地空间格局与驱动因素分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(2): 141–149. NIU J Q, LIN H, NIU Y N, et al. Analysis of spatial pattern and driving factors for abandoned arable lands in underdevelopment region[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(2): 141–149.
- [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. SHI T C, LI X B. Cropland abandonment risk at parcel level in Chongqing mountainous area[J]. *Mountain Research*, 2017, 35(4): 543–555.
- [20] 朱婷, 伍引凤, 刘娜, 等. 四川省武胜县耕地撂荒问题研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(26): 9183–9185. ZHU T, WU Y F, LIU N, et al. Research on farmland abandonment in Wusheng County, Sichuan Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(26): 9183–9185.
- [21] 程凤翔. 对武胜县耕地撂荒的调查与思考[J]. 四川农业科技, 2008(8): 21–22. CHENG F X. Investigation and thinking on abandoned farmland in Wusheng County, Sichuan Province, China[J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2008(8): 21–22.
- [22] 陈超, 庞艳梅, 徐富贤, 等. 四川水稻不同生育阶段的干旱风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(6): 184–193. CHEN C, PANG Y M, XU F X, et al. Risk assessment of drought on rice at different growth stages in Sichuan Province[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(6): 184–193.
- [23] 谢俊奇. 中国坡耕地[M]. 北京: 中国大地出版社, 2005. XIE J Q. Slope farmland in China[M]. Beijing: China Land Press, 2005.
- [24] BERGER A L, PIETRA V J D, PIEPRA S A D. A maximum entropy approach to natural language processing[J]. *Computational Linguistics*, 1996, 22(1): 39–71.
- [25] 张亦汉, 刘小平, 陈广亮, 等. 基于最大熵的 CA 模型及其城市扩张模拟[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(3): 339–352. ZHANG Y H, LIU X P, CHEN G L, et al. Simulation of urban expansion based on cellular automata and maximum entropy model[J]. *Science China (Terrae)*, 2020, 50(3): 339–352.
- [26] LI W K, GUO Q H. A maximum entropy approach to one-class classification of remote sensing imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(8): 2227–2235.
- [27] MERCKX B, STEYAERT M, VANREUSEL A, et al. Null models reveal preferential sampling, spatial autocorrelation and overfitting in habitat suitability modelling[J]. *Ecological Modelling*, 2011, 222(3): 588–597.
- [28] ARAUJO M B, GUISAN A. Five (or so) challenges for species distribution modelling[J]. *Journal of Biogeography*, 2006, 33: 1677–1688.
- [29] 朱耿平, 乔慧捷. Maxent 模型复杂度对物种潜在分布区预测的影响[J]. 生物多样性, 2016, 24(10): 1189–1196. ZHU G P, QIAO H J. Effect of the Maxent model's complexity on the prediction of species potential distributions[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(10): 1189–1196.
- [30] LI W K, GUO Q H. A new accuracy assessment method for one-class remote sensing classification[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2014, 52(8): 4621–4632.