

基于 GEE 的陕西关中西部耕地 季节性撂荒时空变化特征

王珂,孙景妍,张杰琳,齐雁冰

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究陕西关中西部耕地季节性撂荒的时空变化特征,揭示其驱动机制,旨在为有效遏制耕地季节性撂荒,保障国家粮食安全提供参考。【方法】基于谷歌地球引擎(Google Earth Engine,GEE)平台的 Landsat 和 Sentinel-2 遥感影像,采用随机森林分类算法,对位于陕西关中西部的宝鸡扶风县、岐山县、凤翔区及陈仓区的部分区域 2000—2020 年耕地季节性(7—10 月)撂荒的时空变化特征进行了分析。【结果】2000—2020 年陕西关中西部耕地撂荒可以明显地划分为 3 个阶段:2000—2002 年为快速增加阶段,耕地季节性撂荒呈现快速扩大趋势,撂荒率和撂荒面积分别由 9.58%,16 578.83 hm² 上升到了 55.85%,96 699.52 hm²;2002—2013 年为波动升高阶段,耕地经历了短暂复耕又撂荒的过程,2013 年耕地撂荒率和撂荒面积均攀升到了最高点,分别为 63.10%,109 256.78 hm²;2013 年之后为缓慢复耕阶段,耕地季节性撂荒面积逐年减少,到 2020 年撂荒率和撂荒面积分别为 18.22%,31 554.94 hm²,撂荒面积较 2013 年减少约 70 000 hm²,但撂荒地面积仍高于 2000 年。从空间分布来看,2000—2020 年陕西关中西部耕地季节性撂荒面积的增加呈现由研究区周边向中心靠拢的趋势,撂荒地复耕面积的变化则相反,这与研究区北部是山地、南部是渭河、西部是千河的地貌分布有关,越靠近边缘,交通、灌溉条件越差,越易于更早撂荒。【结论】探明了陕西关中西部耕地季节性撂荒的时空变化特征,其与经济发展、政策制度和自然因素等密切相关。

[关键词] 耕地季节性撂荒;GEE;遥感影像;复耕;陕西关中西部

[中图分类号] S159

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2022)10-0106-10

Spatiotemporal variation of seasonal abandoned farmland in the Western Guanzhong Plain of Shaanxi based on GEE

WANG Ke,SUN Jingyan,ZHANG Jielin,QI Yanbing

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study systematically investigated the spatiotemporal variation characteristics of seasonal abandoned farmland (SAF) in the western Guanzhong Plain of Shaanxi and revealed the driving mechanism to provide reference for curbing SAF and ensuring national food security. 【Method】 Based on the Landsat and sentinel-2 imagery deployed on Google Earth Engine(GEE) platform, land-use maps were identified through random forest classification and the spatiotemporal variation (July to October) and influencing factors of SAF from 2000 to 2020 in the western Guanzhong Plain of Shaanxi were analyzed. 【Result】 The SAF in the Western Guanzhong Plain of Shaanxi from 2000 to 2020 was divided into three stages. From 2000 to 2002, the SAF showed a rapid expansion trend, and the abandonment rate and abandonment area increased from 9.58% and 16 578.83 hm² to 55.85% and 96 699.52 hm², respectively.

[收稿日期] 2021-10-29

[基金项目] 国家自然科学基金项目(41877007)

[作者简介] 王珂(1998—),女,河北邯郸人,硕士,主要从事资源环境监测研究。E-mail:wk@nwafu.edu.cn

[通信作者] 齐雁冰(1976—),男,河南淮阳人,博士,教授,主要从事资源环境监测研究。E-mail:ybqi@nwsuaf.edu.cn

From 2002 to 2013, it experienced fluctuant increase, and the abandonment rate and abandonment area in 2013 reached the peaks of 63.10% and 109 256.78 hm², respectively. Then, the area of SAF gradually decreased, and the abandonment rate and abandonment area were 18.22% and 31 554.94 hm² in 2020. The SAF in 2020 was 70 000 hm² less than in 2013, but it was still more than that in 2000. Spatially, the increase of SAF tended to extent from edge to center, while the change of recultivated area of SAF was the opposite. This was closely related to topography of mountains in the north and rivers in the west and south. The land closer to edge was easier to be abandoned with inconvenient traffic and irrigation conditions. 【Conclusion】 Spatiotemporal variation characteristics of SAF in the Western Guanzhong Plain of Shaanxi were identified, which were closely related to economic, agricultural policy and climate conditions.

Key words: Seasonal abandonment of farmland; GEE; satellite images; recultivation; the western Guanzhong Plain of Shaanxi

耕地是农业生产的基础,是实现国家经济高速发展及社会稳定的重要保障。我国人多地少的国情决定了不仅要合理地利用耕地,更要最大限度地挖掘和发挥耕地潜力。然而,近年来农村耕地撂荒已成为普遍现象,既造成了耕地资源的浪费,又对国家粮食安全产生威胁。国家高度重视这一现象,从 2004 年起国务院办公厅及农业农村部就下发了相关文件^[1-4],要求各级政府积极采取相关措施,有效地遏制土地撂荒的现象。为了将国家阻止耕地撂荒的要求落到实处,首要的工作应是撂荒耕地的时空变化识别及监测,从而为制定精准的阻控策略奠定基础。

联合国粮农组织将撂荒地定义为 2~5 年内没有人为干预的耕地^[5],国内尚未有撂荒地的准确定义,大多数学者根据研究区对撂荒地的非耕作时间下定义(以 2~3 年居多)^[6-7],并根据撂荒时间又进一步细分为多年撂荒、全年撂荒、短期撂荒或季节性撂荒等。撂荒地一直是国内外学者关注的重点,并围绕撂荒地时空分布特征和影响因素(驱动因素)、应对撂荒地的政策等展开了诸多研究^[6-9]。撂荒地因其撂荒期内地表农作物被裸地或稀疏的草本植被所取代,从而在遥感影像上与其他土地类型有显著差异,这为基于遥感的撂荒地提取提供了依据。在粮食安全压力较低的国家耕地撂荒现象出现较早,例如 Dara 等^[10]利用 Landsat 影像监测到哈萨克斯坦北部地区 1986 年起就已经有耕地撂荒现象;Estel 等^[11]基于 MODIS NDVI 数据监测到欧洲 2001—2012 年的耕地撂荒地面积不断扩大。国内耕地撂荒的识别与监测也逐渐受到重视,王红岩等^[12]对贵州省修文县进行了撂荒地空间分布研究。张学珍等^[13]利用 Meta 分析技术调查了全国撂荒地

的时空变化。

在有关撂荒地的识别与监测中,目前被忽视的一个现象是在部分区域存在的季节性撂荒,即某区域本可以收获两季或以上时,其中一季撂荒。这种季节性撂荒具有一定的隐蔽性,而未引起政府的重视。与长期撂荒相比,季节性撂荒地的一个典型特征是撂荒季地表裸露或仅有稀疏植被,主要表现出裸露地表的光谱特征,在遥感影像上与作物密集生长的耕地差异显著,从而有利于遥感影像对撂荒地的识别。张天柱等^[14]就根据季节撂荒地在卫星影像表现出的典型特征提取出了高碑店地区季节撂荒和多年撂荒耕地的分布范围。但是迄今为止,学者们对季节性撂荒地的研究较少,且尚未有人关注县域耕地季节性撂荒的时空分异和成因机制。

位于关中平原西部的宝鸡扶风县、凤翔区、陈仓区、岐山县是国家认定的陕西省 23 个粮食主产县的重要组成部分,笔者在该区域进行调查时发现冬小麦在 6 月初收割之后,土地闲置了近 4 个月(7—10 月)后才进行冬小麦的种植,而这一时期主要是夏玉米生长发育期,因此本研究将夏玉米生长季的耕地撂荒称为季节性撂荒(以下季节性撂荒特指 7—10 月的耕地撂荒)。为进一步探究陕西关中西部季节性撂荒的成因及驱动因素,本研究基于谷歌地球引擎(Google Earth Engine, GEE)平台,以 Landsat 系列数据为主,辅以 Sentinel-2 数据,通过随机森林分类算法对研究区 2000—2020 年卫星影像上提取的样本点进行迭代训练,对研究区的土地利用/土地覆盖制图,得到了近 20 年研究区季节性撂荒地的空间分布,并分析其时空变化特征及其影响因素,以期为有效遏制耕地季节性撂荒、保障国家粮食安全提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕西关中平原耕地季节性撂荒主要位于宝鸡千河以东、渭河以北、扶风县以西的区域,包括岐山县、凤翔区、扶风县全域及陈仓区西部地区,位于 $34^{\circ}13' - 34^{\circ}47' N$ 和 $107^{\circ}10' - 108^{\circ}4' E$, 总面积 $292\,600\text{ hm}^2$ (图 1)。该区北邻北山(麟游-陇县低山区),南邻渭河,地势由西向东缓降,由北向南由低山区突降到平原区,海拔 $439 \sim 1665\text{ m}$,属暖温带半湿润大陆性季风气候区,年均降水量在 $550 \sim 750$

mm,其中 70% 降水量在 6—9 月,土壤以壤土为主。日照时数 $2\,300\text{ h}$,日照率 62%。年平均气温 $12 \sim 14\text{ }^{\circ}\text{C}$,积温 ($>10\text{ }^{\circ}\text{C}$) 约 $4\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。研究区农业历史悠久,以粮食种植为主,兼种少量经济作物。由于气候条件适宜,土壤肥沃,地形平坦,该区域农业生产常年以种植冬小麦和夏玉米为主。2019 年笔者调研时发现,在冬小麦收获之后研究区大面积的耕地处于撂荒状态,直至 10 月份才播种冬小麦,因此本研究选择该区域进行耕地季节性撂荒的时空变化特征分析。

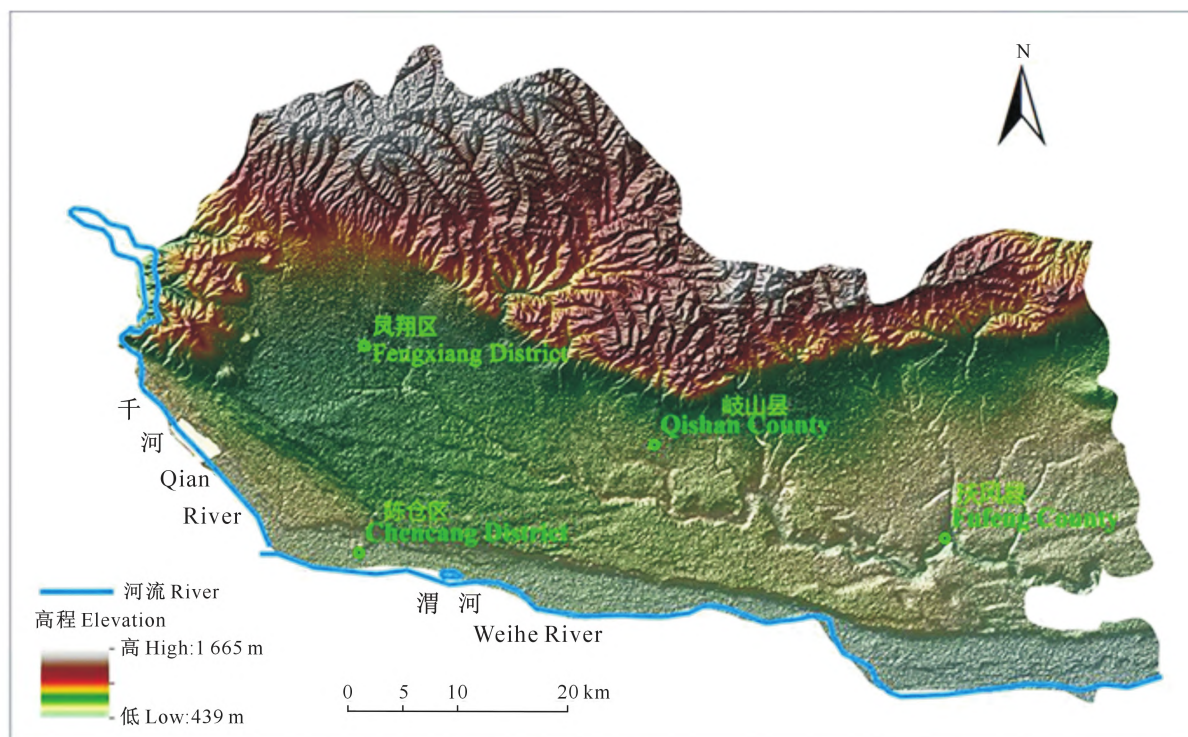


图 1 陕西关中平原地形地貌

Fig. 1 Geomorphologic characterization of the Western Guanzhong Plain of Shaanxi

1.2 遥感影像数据的来源与处理

本研究基于 GEE 平台 (<https://earthengine.google.com>) 提供的遥感影像开展季节性撂荒地的解译。GEE 是一个基于云的地球科学空间数据分析平台,其承载的多时空地理科学数据和强大的云计算能力为学者们提供了以最小的设备成本和时间成本进行区域性或全球性研究的可能。本研究拟开展 2000—2020 年的耕地季节性撂荒地的识别,应用的遥感影像是每年 7—10 月的 Landsat 系列 TM、ETM 和 OLI 影像,在个别缺失年份选择了 Sentinel-2 MSI 影像。对所获得的遥感影像进行大气校正后,按照云量对研究区内 7—10 月的影像进行排

序,随后进行去云处理,人工目视查看影像拼接结果是否可以覆盖研究区,如缺失部分占据研究区面积的 5% 以下,则将去云后的影像进行镶嵌处理;否则判定当年影像缺失。遥感影像数据的选取方法如图 2 所示。由于受到影像缺失及影像质量的影响,本研究舍弃了 2004, 2006, 2007, 2009, 2011 和 2012 年的影像,最终共对 15 个年份的耕地撂荒状况进行了监测,其中 2000, 2001, 2002, 2003, 2005 和 2010 年选取了 Landsat5 TM 数据, 2008 和 2016 年选取了 Landsat ETM 数据, 2017 年选取了 Sentinel-2 MSI 数据,其余年份选择 Landsat8 OLI 数据。同时为了协助地物解译,本研究还选用了 GEE 平台数据库中

的 DEM 数据,提取坡度和高程信息,分辨率为 30 m,与 Landsat 影像空间分辨率一致。

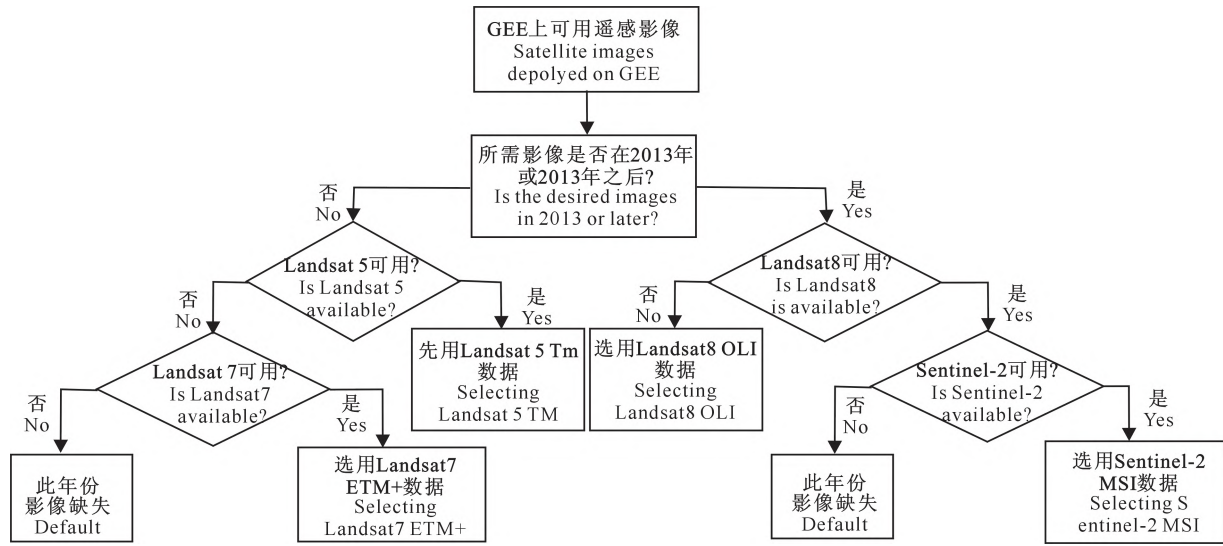


图 2 基于 GEE 平台的遥感影像数据的选取方法
Fig. 2 Satellite images selection method based on GEE

1.3 研究方法

除了遥感影像的光谱信息外,本研究还结合了 NDVI(normalized difference vegetation index)^[15] 和 BSI(bare soil index)^[16] 两种光谱指数及缨帽变换^[17]三分量(亮度、绿度和湿度)进行耕地、林地、建设用地、水体、撂荒地 5 种土地利用类型的提取(表

1)。另外,在 Google Earth 中的高分辨率影像中发现林地几乎全部位于海拔较高的山地,且分布密集;耕地大多位于平原地区,少量位于山地向阳处;水体海拔最低,因此高程和坡度数据可以在研究区地物解译中发挥积极作用。

表 1 不同土地利用类型的影像特征

Table 1 Interpretation marks and image features of different land use types

土地利用类型 Land use types	影像特征 Image feature
耕地 Farmland	形状规则平整,纹理平滑,色调以绿色为主 It has regular shape and smooth texture,and the hue is mainly green
林地 Woodland	一般分布在海拔较高的山区,色调呈深绿色 It is generally distributed in mountainous areas with high altitude,and the color is dark green
水体 Water	水面颜色偏绿,河流和沟渠为线状或带状,湖泊、水库为面状 The hue is dark green. Rivers and ditches are banding,while lakes and reservoirs are polygon
建设用地 Construction land	亮度较高,无明显边界 High brightness and no obvious boundary
撂荒地 Abandoned farmland	无明显植被覆盖,反射率比建设用地低 There is no obvious vegetation cover,and the reflectivity is lower than that of construction land

本研究运用随机森林分类算法开展遥感变量的训练,用于土地利用类型的分类。与传统分类器相比,随机森林分类算法对多维数据有较强的处理能力以及对过度拟合的鲁棒性,近年被广泛用于遥感影像分类^[18-19]。具体操作流程如下:第一步构建样本空间,在 Google Earth 历史影像上,根据目视解译标志对每种土地利用类型遵循均匀分布、随机选取的原则选取样本点,并标注土地利用类型,然后随机抽取样本点的 70%为训练集,30%为验证集;第

二步训练分类器,首先对输入的训练样本集进行多次随机、有放回的采样,得到多个样本集,然后根据遥感变量特征对样本集进行迭代分离,构建相应的决策树,多个决策树组成森林;第三步分类和验证,将遥感变量输入训练好的随机森林模型中,输出分类结果,统计验证集样点的混淆矩阵后即可计算精度评价指标。

采用随机森林分类算法对 2000—2020 年的 15 个年份不同土地利用类型提取之后,本研究选取总

体分类精度(OA)、Kappa 系数、用户精度和生产者精度 4 个指标评价解译精度^[20-21]。总体分类精度是指被正确分类的像元数与总的像元个数的比值,可以很好地表征分类精度,但对于类别样本数量极不平衡的多类地物,模型评价容易偏向样本数量偏大的类别,不能很好地表征预测结果与实际分类结果的一致性,因此需要用 Kappa 系数进行辅助。Kappa 系数(K)不仅计算简单,且可直接表征混淆矩阵的平衡度,一般用于一致性检验。Kappa 系数(K)的计算公式如下:

$$p_e = \frac{a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + \cdots + a_c \times b_c}{n \times n}, \quad (1)$$

$$K = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e}. \quad (2)$$

式中: $a_1, a_2, \cdots, a_c$ 分别为每个土地类型真实样本个数, $b_1, b_2, \cdots, b_c$ 分别为预测出来的每个土地类型样本个数, n 为总样本个数, p_0 为总体分类精度。

另外为了更直观表达每种土地利用类型的分类效果,保障撂荒地的提取精度,本研究还采用了生产者精度和用户精度进行评价,两者都由混淆矩阵计算而得^[22]。生产者精度值为该类别被正确分类的像元数与真实情况下该类别总像元数的比值,表示在该类别的地面真实参考数据被正确分类的概率,与漏分率之和为 1;用户精度值为该类别被正确分类的像元数与分类结果中该类别总像元数的比值,表示落在该类别上的检验点被正确分类的概率,与

误判率之和为 1。

在将所有年份不同土地利用类型解译且取得满意解译精度之后,分别统计不同年份耕地总面积及撂荒地面积,通过撂荒地面积与耕地总面积的比值计算该年份的撂荒率。

2 结果与分析

2.1 土地利用解译精度评价

2000—2020 年陕西关中西部不同土地利用类型遥感影像的解译精度如表 2 所示。表 2 表明,15 期影像的总体分类精度和 Kappa 系数均在 0.8 以上,表明 80% 以上的地物被正确分类,且已经取得相当满意的一致程度。另外,根据生产者精度和用户精度,15 期影像中提取的撂荒地类别表现较为稳定,除 2020 年用户精度值为 0.78 外,其余精度评价指标均在 0.85 以上,说明除 2020 年外,85% 以上的撂荒地像元被正确分类到撂荒地类别中,提取结果真实可靠,可以用于后续季节性撂荒地的提取。林地类别的解译精度表现不稳定,在 2018 年生产者精度仅为 0.43,漏分率达到了 0.57,2020 年用户精度为 0.60,误判率达到 0.40;建设用地解译结果整体表现不稳定,2001,2017 年生产者精度均较低,分别为 0.40 和 0.57,漏分率分别为 0.60 和 0.43。而耕地和水体类别的解译精度虽略低于撂荒地类别,但较为稳定,生产者精度和用户精度值均介于 0.60~1.00。

表 2 2000—2020 年陕西关中西部不同土地利用类型遥感影像的解译精度

Table 2 Satellite images interpretation accuracy of land use types in the Western Guanzhong Plain of Shaanxi during 2000—2020

年份 Year	总体分类精度 Total accuracy	生产者精度 Producer accuracy				
		耕地 Farmland	林地 Woodland	水体 Water	建设用地 Construction land	撂荒地 Abandoned farmland
2000	0.86	0.94	1.00	1.00	0.91	0.86
2001	0.92	0.95	1.00	1.00	0.40	0.89
2002	0.94	1.00	1.00	0.90	0.80	0.92
2003	0.92	0.85	0.73	0.93	0.88	0.90
2005	0.89	0.93	1.00	0.93	1.00	1.00
2008	0.90	1.00	0.93	0.85	0.83	0.86
2010	0.90	0.86	1.00	0.83	0.83	0.91
2013	0.93	0.91	1.00	1.00	0.88	1.00
2014	0.92	1.00	1.00	0.82	0.88	0.95
2015	0.92	0.87	0.80	0.80	0.69	0.94
2016	0.92	0.92	0.83	0.88	0.75	1.00
2017	0.89	0.97	1.00	0.89	0.57	1.00
2018	0.91	0.62	0.43	1.00	0.84	0.88
2019	0.87	0.82	0.92	1.00	0.87	0.85
2020	0.87	0.91	0.75	1.00	0.73	0.96

表 2(续) Continued table

年份 Year	Kappa 系数 Kappa coefficient	用户精度 User accuracy				
		耕地 Farmland	林地 Woodland	水体 Water	建设用地 Construction land	撂荒地 Abandoned farmland
2000	0.80	1.00	1.00	1.00	0.79	0.86
2001	0.90	0.90	1.00	0.92	0.67	0.89
2002	0.92	0.93	1.00	1.00	0.80	0.92
2003	0.90	0.86	1.00	0.72	0.70	1.00
2005	0.86	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00
2008	0.87	0.86	1.00	1.00	0.83	0.86
2010	0.87	0.92	0.77	0.83	0.88	0.91
2013	0.91	0.91	1.00	1.00	0.88	1.00
2014	0.90	0.85	1.00	1.00	0.89	0.95
2015	0.90	0.76	0.8	0.89	0.75	0.94
2016	0.90	0.92	0.83	0.64	1.00	1.00
2017	0.86	0.97	1.00	1.00	0.80	0.85
2018	0.88	0.67	0.75	1.00	0.70	0.88
2019	0.84	0.92	0.67	1.00	0.81	0.94
2020	0.83	0.95	0.60	1.00	0.95	0.78

2.2 耕地季节性撂荒的统计特征

由图 3 和表 3 可以看出,近 20 年来关中平原西部耕地季节性撂荒较为严重,撂荒率最低为 9.58%,最高达到了 63.10%。从耕地撂荒与复耕的波动变化情况来看,可以明显地划分为 3 个阶段,第 1 阶段为快速增加阶段(2000—2002 年),耕地撂荒率和撂荒面积由 2000 年的 9.58%和 16 578.83 hm² 上升至 2002 年的 55.85%和 96 699.52 hm²,增长了 5 倍多,其中扶风县耕地撂荒速率最快,撂荒面积增长了 31 653.10 hm²,新增撂荒地面积占当地耕地面积的 57.42%。第 2 阶段为波动升高阶段(2002—2013 年),呈现出先缓慢下降又缓慢升高趋势,2008 年耕地撂荒率最低为 39.25%,撂荒地面积为 67 968.17 hm²,该年岐山和凤翔的撂荒率均较高,

分别为 42.09%和 38.81%,两县(区)撂荒地面积之和占当年撂荒地总面积的 66.14%;至 2013 年,耕地撂荒率和撂荒面积均达最高点,分别为 63.10%和 109 256.78 hm²,该年扶风县撂荒率和撂荒面积均较高,分别为 60.74%和 33 488.06 hm²。第 3 阶段为缓慢复耕阶段(2013—2020 年),耕地撂荒率和撂荒面积开始逐年降低,到 2019 年分别跌至 17.21%和 29 798.57 hm²,但仍高于 2000 年,该年 4 个县(区)中撂荒率最低的是扶风县(8.12%);2020 年,撂荒率和撂荒地面积较 2019 年略有增长,分别为 18.22%和 31 554.94 hm²,其中陈仓区和凤翔区撂荒面积有明显增长,岐山县和扶风县仍保持较高的复耕速率。

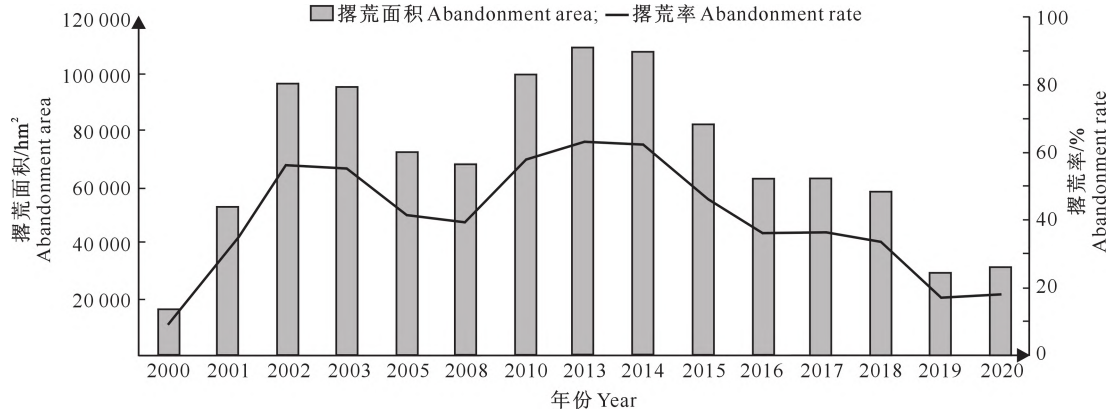


图 3 2000—2020 年陕西关中西部耕地季节性撂荒面积及比例
Fig. 3 Area and percentage of seasonal abandoned land in the Western Guanzhong Plain of Shaanxi during 2000—2020

表 3 2000—2020 年陕西关中西部各县(区)耕地季节性撂荒的面积及比例

Table 3 Area and percentage of seasonal abandoned farmland of counties (districts) in the Western Guanzhong Plain of Shaanxi during 2000—2020

年份 Year	陈仓区 Chencang District		凤翔区 Fengxiang District		岐山县 Qishan County		扶风县 Fufeng County	
	撂荒面积/hm ²	撂荒率/%	撂荒面积/hm ²	撂荒率/%	撂荒面积/hm ²	撂荒率/%	撂荒面积/hm ²	撂荒率/%
	Abandonment Area	Abandonment Rate	Abandonment Area	Abandonment Rate	Abandonment Area	Abandonment Rate	Abandonment Area	Abandonment Rate
2000	313.38	1.66	9 903.86	14.28	4 911.25	12.10	1 450.40	2.63
2001	3 897.97	20.65	25 429.28	36.66	13 301.97	32.77	10 573.20	19.18
2002	8 473.01	44.89	30 236.50	43.59	24 886.51	61.31	33 103.50	60.05
2003	7 382.49	39.12	40 054.05	57.74	22 082.07	54.40	26 193.97	47.51
2005	5 504.75	29.17	24 182.93	34.86	19 920.51	49.08	22 544.36	40.89
2008	6 144.92	32.56	29 194.52	42.09	15 752.48	38.81	16 876.26	30.61
2010	6 458.31	34.22	35 653.16	51.40	25 098.64	61.83	32 622.01	59.17
2013	9 185.81	48.67	43 353.78	62.50	23 229.14	57.23	33 488.06	60.74
2014	7 130.24	37.78	45 747.98	65.95	26 275.39	64.73	28 995.32	52.59
2015	5 983.98	31.71	35 727.08	51.51	21 688.61	53.43	18 663.60	33.85
2016	4 235.39	22.44	34 607.64	49.89	18 015.20	44.38	5 995.44	10.87
2017	5 458.06	28.92	28 595.35	41.22	19 964.82	49.18	8 803.89	15.97
2018	4 167.92	22.08	28 834.83	41.57	14 490.77	35.70	11 009.24	19.97
2019	2 612.44	13.84	10 556.41	15.22	12 153.17	29.94	4 476.54	8.12
2020	3 836.99	20.33	15 797.00	22.77	9 726.58	23.96	2 194.37	3.98

2.3 耕地季节性撂荒的时空分布特征

由图 4 可以看出,研究区耕地季节性撂荒的时空变化与耕地所处位置密切相关。无论是第一阶段(2000—2002 年)还是第二阶段的后期(2008—2013 年,复耕地快速撂荒),耕地撂荒均是从研究区边缘逐渐向中心扩展,同时呈现由处于西部的凤翔区逐渐向东部的岐山县和扶风县扩展的趋势。当撂荒地复耕时,无论是第二阶段前期(2002—2008 年,季节性撂荒地的短暂复耕)还是第三阶段(2013—2020 年,季节性撂荒地缓慢复耕),均呈现出由研究区中心向边缘扩展、由东部的扶风县逐渐向西部岐山县和凤翔区扩展的趋势。因此陕西关中西部耕地呈现出西部的扶风县、陈仓区和其他靠近山地的耕地总是早于中东部撂荒,复耕过程则相反。

3 讨 论

本研究运用随机森林算法对陕西关中西部地区夏秋季(7—10 月)的土地覆盖状况进行了遥感解译,人工划分了耕地、林地、建设用地、水体及撂荒地 5 种土地利用类型,由于该区域耕地主要存在季节性撂荒,因此本研究关注的重点是 7 月到 10 月地表的植被特征。在这个时段,一般会对地表进行两次翻耕,第一次为小麦收获后不久,第二次一般在 8 月中下旬。经过两次翻耕,地表会保持一段时间的裸露状态,这为撂荒地遥感识别提供了契机。对于各土地类型解译的精度,无论从用户还是生产者的角度来看,撂荒地每年的解译精度都在 0.85 以上

(除 2020 年的用户精度为 0.78),表明 85% 以上的属于撂荒地类别的像元被正确分类。王红岩等^[12]基于 CART 算法的决策树模型对修文县撂荒地进行了遥感识别,制图精度达到了 86.8%,略低于本研究中的随机森林模型得到的平均精度(89.7%),证明本研究方法可行,而且本研究只需单时相影像,操作简易,更利于长时序动态监测。杨通等^[23]利用联合变化检测对和林格尔县完全撂荒、半撂荒及退耕还林区均进行了识别,监测结果精度(90% 以上)高于本研究结果,这是由于其使用了多种遥感数据,包括高分 1 号和 2 号、资源 3 号、Sentinel-2、第二次土地利用调查数据、退耕还林矢量数据,但其成本高,工作量大,且很多数据不容易获取。可知多种遥感数据和辅助数据在一定程度上降低了遥感监测的不确定性,但是也增加了复现的难度。日后,免费卫星数据共享平台的建立和土地调查资料的及时更新可能会为撂荒地遥感监测提供更好的解决方案。

基于耕地的农业生产是一个受多种因素影响的过程^[24-25]。本研究通过实地调研了解到陕西关中西部耕地撂荒的主要原因有 3 个,分别为经济效益、国家土地政策引导和研究区地形地貌特征。耕地季节性撂荒面积的时间变化主要与社会经济发展及土地政策变化密切相关^[26-28]。随着我国经济的迅速发展,农业生产与其他产业的经济效益差距越来越大,21 世纪初大量农民进城务工^[29-30],农村劳动力锐减,因此 2000—2002 年研究区撂荒地迅速扩张;到 2004 年陕西省政府发布了粮食直补实施方案^[31],一

定程度上调动了农民种粮积极性,但收效甚微,几年后(2008 年)撂荒又迅速扩展,直至 2013 年研究区撂荒率超过 60%;之后伴随国际经济环境的变化,农产品价格提升,政府也加大了粮食补贴力度,更多农民意识到米袋子的重要性,开始投入到农业生产中。此外,耕地季节性撂荒的空间分布变化主要受到研究区地形地貌特征的驱动。陕西关中西部的北

部为山地,山地与平原之间的过渡带属于缓丘地貌,地表起伏不平,生产道路和灌溉措施不完善,西部和南部分别为千河和渭河,但河流与平地的高差大,因此尽管离河水很近,但位于河流边缘的耕地灌溉并非依赖于河水,而是灌溉水渠,由此可以看出,越靠近研究区边缘,交通、灌溉条件越差,越易于更早撂荒。

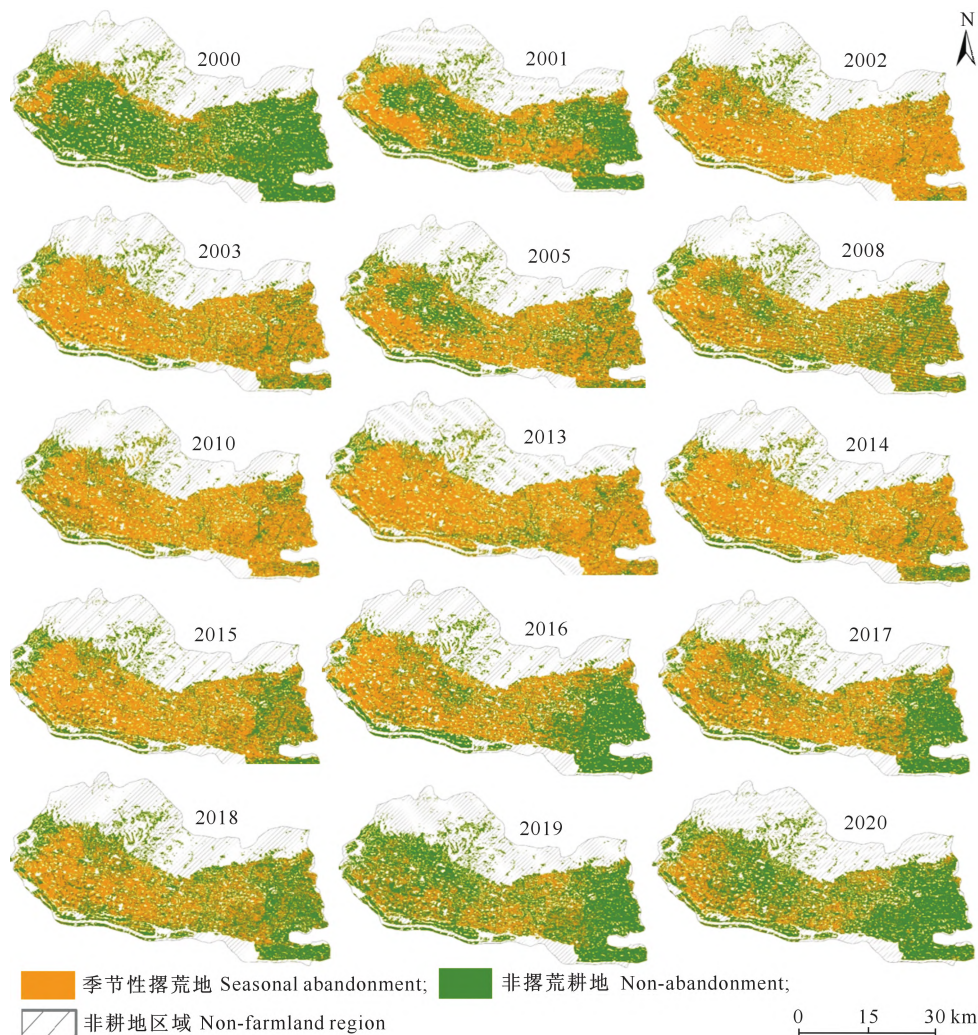


图 4 2000—2020 年陕西关中西部耕地季节性撂荒的时空变化

Fig. 4 Spatial and temporal changes of seasonal abandoned land in the Western Guanzhong Plain of Shaanxi during 2000—2020

玉米作为我国饲料加工粮的主要组成部分,陕西关中西部耕地季节性撂荒导致玉米耕种面积减少,从而也会影响家禽家畜养殖业,进一步影响国家粮食安全,特别是近几年畜牧业和食品加工业发展迅速,对玉米的消费量只增不减。目前我国玉米产需基本平衡的格局逐步向供不应求的方向发展,因此必须加以重视,采取一些措施,阻止耕地季节性撂荒。首先,国家应加大种粮补贴,提高农户种植玉米

的经济效益,刺激农户生产积极性;其次,完善灌溉配套设施,使玉米生长过程中发生的旱涝能够及时得到解决,从而解除农户的后顾之忧;最后,实施耕地种植监测,及时发现撂荒现象从而实施阻止措施,发挥管理部门的监管责任^[32-33]。

4 结 论

本研究以 GEE 为操作平台,基于 2000—2020

年 Landsat 系列遥感产品和 Sentinel-2 数据,以及 30 m 分辨率的高程数据产品,利用随机森林分类算法,提取了陕西关中西部耕地季节性撂荒的时空变化特征,将 2000—2020 年研究区撂荒地时空变异大致分为 3 个阶段:耕地季节性撂荒快速增加阶段(2000—2002 年),主要由靠近山地的西部和北部地区向东部的平原中心蔓延;季节性撂荒波动升高阶段(2002—2013 年),撂荒地面积呈波动增长趋势,总体上是先复耕后撂荒,但此时耕地复耕和撂荒过程有重叠,西部地区撂荒的同时东部复耕,东部地区短暂复耕后又迅速撂荒;缓慢复耕阶段(2013—2020 年),撂荒地复耕也是先由东部的平原中心向西部和北部扩展。陕西关中西部耕地季节性撂荒的时空变化特征不仅与研究区的地貌分布密切相关,而且还与当地经济发展、政策制度等有关。

[参考文献]

- [1] 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) [2020-10-20]. http://www. law-lib. com/law/law_view. asp? id=82660.
General Office of the State Council. Emergency circular of the general office of the State Council on restoring abandoned production sites as soon as possible [EB/OL]. (2004-3-30) [2020-10-20]. http://www. law-lib. com/law/law_view. asp? id=82660.
- [2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于坚决制止耕地“非农化”行为的通知 [EB/OL]. (2020-09-15) [2020-10-05]. http://www. gov. cn/zhengce/content/2020-09/15/content_5543645. html.
General Office of the State Council. Circular of the general office of the State Council on resolutely stopping the ‘non-agricultural’ behavior of cultivated land [EB/OL]. (2020-09-15) [2020-10-05]. http://www. gov. cn/zhengce/content/2020-09/15/content_5543645. html.
- [3] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见 [EB/OL]. (2020-11-17) [2020-08-26]. http://www. gov. cn/zhengce/content/2020-11/17/content_5562053. htm? trs=1.
General Office of the State Council. Opinions of the general office of the State Council on preventing the ‘non grain’ of cultivated land and stabilizing grain production [EB/OL]. (2020-11-17) [2020-08-26]. http://www. gov. cn/zhengce/content/2020-11/17/content_5562053. htm? trs=1.
- [4] 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) [2021-02-11]. http://www. gov. cn/xinwen/2021-01/25/content_5582356. htm.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. The opinions issued by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs requires the overall utilization of abandoned land to promote the development of agricultural production [EB/OL]. (2021-01-25) [2021-02-17]. http://www. gov. cn/xinwen/2021-01/25/content_5582356. htm.
- [5] FAO. FAO Statistical Databases, methods & standards [EB/OL]. (2016-03-03) [2021-02-26]. <http://www. fao. org/ag/agn/nutrition/Indicatorsfiles/Agriculture. pdf>.
- [6] Yin H, Prishchepov A V, Kuemmerle T, et al. Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 210: 12-24.
- [7] Yu Z, Lu C Q. Historical cropland expansion and abandonment in the continental US during 1850 to 2016 [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2018, 27(3): 322-333.
- [8] Alcantara 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): 1345-1346.
- [9] Zhang Q, Song C H, Chen X D. Effects of China’s payment for ecosystem services programs on cropland abandonment: a case study in Tiantangzhai Township, Anhui, China [J]. *Land Use Policy*, 2018, 73: 239-248.
- [10] Dara A, Baumann M, Kuemmerle T, et al. Mapping the timing of cropland abandonment and recultivation in northern Kazakhstan using annual Landsat time series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 213: 49-60.
- [11] 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.
- [12] 王红岩, 汪晓帆, 高亮, 等. 基于季相变化特征的撂荒地遥感提取方法研究 [J]. *遥感技术与应用*, 2020, 35(3): 596-605.
Wang H Y, Wang X F, Gao L, et al. Study on extraction method of abandoned farmland based on the seasonal variation characteristics of remotely sensed images [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2020, 35(3): 596-605.
- [13] 张学珍, 赵彩杉, 董金玮, 等. 1992-2017 年基于荟萃分析的中国耕地撂荒时空特征 [J]. *地理学报*, 2019, 74(3): 411-420.
Zhang X Z, Zhao C S, Dong J W, et al. Spatio-temporal pattern of cropland abandonment in China from 1992 to 2017: a Meta-analysis [J]. *Acta Geographical Sciences*, 2019, 74(3): 411-420.
- [14] 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 T Z, Zhang F R, Huang J W, 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.
- [15] Rouse J, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS [C]//Third ERTS Symposium. Greenbelt: NASA SP-351, 1974: 3010-3017.
- [16] Li S, Chen X. A new bare-soil index for rapid mapping developing areas using LANDSAT 8 data [J]. *The International Ar-*

- chives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014, 40(4): 139-144.
- [17] 李博伦, 逆超普, 颜晓元. Landsat 8 陆地成像仪影像的缨帽变换推导 [J]. 测绘科学, 2016, 41(4): 102-107.
- Li B L, Ti C P, Yan X Y. Study of derivation of tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI images [J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41(4): 102-107.
- [18] Rodriguez-Galiano V F, Ghimire B, Rogan J, et al. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2012, 67: 93-104.
- [19] Belgiu M, Drăgut L. Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016, 114: 24-31.
- [20] Liu C R, Frazier P, Kumar L. Comparative assessment of the measures of thematic classification accuracy [J]. Remote sensing of environment, 2007, 107(4): 606-616.
- [21] McHugh M L. Interrater reliability: the kappa statistic [J]. Biochemia Medica, 2012, 22(3): 276-282.
- [22] Congalton R G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data [J]. Remote sensing of environment, 1991, 37(1): 35-46.
- [23] 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 T, Guo X D, Yue D P, 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.
- [24] 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. Research progress and prospect of farmland abandonment [J]. Acta Geographical Sciences, 2016, 71(3): 370-389.
- [25] 胡 敏, 王成超. 劳动力非农转移对农户耕地撂荒的影响 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2013, 8(2): 56-63.
- Hu M, Wang C C. Impacts of rural labor's non-agricultural transfer on cropland abandonment [J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2013, 8(2): 56-63.
- [26] 张晓玲. 粮食价格波动对农民收入的影响探析: 以贵州省为例 [J]. 中国市场, 2018(16): 133-135.
- Zhang X L. Analysis on the impact of grain price fluctuation on farmers' income: taking Guizhou Province as an example [J]. China Market Marketing, 2018(16): 133-135.
- [27] 黄艳平. 中华人民共和国成立 70 年我国粮食补贴政策演变研究 [J]. 乡村科技, 2019(19): 12-14.
- Huang Y P. Research on the evolution of China's grain subsidy policy in the 70 years since the founding of the people's Republic of China [J]. Rural Science and Technology, 2019(19): 12-14.
- [28] Gale F, Lohmar B, Tuan F. China's new farm subsidies [R]. US: Department of Agriculture, 2005.
- [29] 卢 锋, 杨业伟. 中国农业劳动力占比变动因素估测: 1990—2030 年 [J]. 中国人口科学, 2012(4): 13-24, 111.
- Lu F, Yang Y W. Measurement of factors behind the decline of the agricultural labor share in total labor force of China (1990—2030) [J]. Chinese Journal of Population Science, 2012(4): 13-24, 111.
- [30] 卢 锋. 中国农民工工资走势: 1979—2010 [J]. 中国社会科学, 2012(7): 47-67.
- Lu F. Wage trends among Chinese migrant workers: 1979—2010 [J]. Social Sciences in China, 2012(7): 47-67.
- [31] 陕西省人民政府. 陕西省人民政府关于印发省粮食直补实施方案的通知 [EB/OL]. (2004-04-03) [2021-10-11]. http://www.shaanxi.gov.cn/zfxxgk/zfgb/2004/d9q_4325/200806/t20080626_1640782.html.
- The People's Government of Shaanxi Province. Circular of the People's Government of Shaanxi Province on printing the provincial implementation plan of direct grain subsidy [EB/OL]. (2004-04-03) [2021-10-11]. http://www.shaanxi.gov.cn/zfxxgk/zfgb/2004/d9q_4325/200806/t20080626_1640782.html.
- [32] 徐 莉. 城市化进程中如何解决农地抛荒问题: 以四川省为例 [J]. 农村经济, 2010(3): 21-24.
- Xu L. How to solve the problem of farmland abandonment in the process of urbanization: taking Sichuan Province as an example [J]. Rural Economy, 2010(3): 21-24.
- [33] 李琳琳, 曹林奎. 发达国家农业生态补贴政策及其对中国的启示 [J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(4): 51-57.
- Li L L, Cao L K. Analysis of agricultural ecological subsidy policies in developed countries and/or regions and their implications for China [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science), 2019, 37(4): 51-57.

(上接第 105 页)

- [31] 韦学敏. 生物肥料和金属纳米肥料对丹参根际微生物及药材品质的影响 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2020.
- Wei X M. Impacts of biofertilizers and metal nanofertilizers on the rhizosphere microorganisms and herbal quality of *Salvia miltiorrhiza* [D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2020.
- [32] Ghasemi V M, Moghaddam S S, Rahimi A, et al. Winter cultivation and nano fertilizers improve yield components and antioxidant traits of dragon's head (*Lallemantia iberica* (M. B.) Fischer & Meyer) [J/OL]. Plants, 2020, 9(2): 252. (2019-12-27). <https://doi.org/10.3390/plants9020252>.