

引用格式: Wei Zhonghui, Jin Hailiang, Gu Xiaohu, *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. [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.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.3.0539

基于多时相协同变化检测的耕地撂荒遥感监测

韦中晖^{1,2}, 靳海亮¹, 顾晓鹤², 杨英茹³, 王庚泽^{1,2}, 潘瑜春²

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000;

2. 北京市农林科学院信息技术研究中心, 北京 100097;

3. 石家庄市农林科学研究院, 河北 石家庄 050041)

摘要:针对地表覆被复杂、地块破碎等原因导致的撂荒地提取精度较低问题,提出一种基于多时相协同变化检测的耕地撂荒信息提取方法。以河北省石家庄市鹿泉区为研究区,采用 Sentinel-2A 和 Landsat 7 多光谱影像,在野外样本的支持下,分析耕地各种覆盖类型的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)季相变化规律,以季节性撂荒、常年性撂荒、冬小麦、多年生园地为分类体系,构建多时相协同变化检测模型,开展研究区耕地撂荒状态遥感监测。研究表明:基于 Sentinel-2A 影像的季节性撂荒和常年撂荒耕地的分类精度分别为 95.83% 和 96.55%;基于 Landsat 7 影像的季节性撂荒和常年撂荒耕地的分类精度分别为 91.67% 和 93.10%;2019 年鹿泉区季节性撂荒占耕地面积的 4.7%,常年撂荒耕地占 7.1%。利用该方法能够快速、准确地获取研究区耕地空间分布、面积等信息,对于不同分辨率的影像均具有较好的撂荒地提取精度。

关键词: 耕地撂荒; Sentinel-2A; NDVI; 多时相变化检测; 遥感监测

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)03-0539-11

1 引言

作为人类赖以生存和发展的物质基础,耕地这一稀缺资源对于国家和人民均具有重要意义^[1],中国耕地总体质量差,人均耕地少,坡耕地面积较大^[2]。随着城镇化进程的加快,越来越多的农民涌入城市务工经商造成乡村劳动力大量流失^[3]。农村耕地撂荒面积逐年增加,自 2000 年初开始,耕地撂荒现象已经比较严重^[4]。耕地的大面积撂荒和粮食安全密切相关^[5-6],另外,大量研究表明,耕地撂荒对生物多样性^[7]、土壤质量^[8-9]、碳循环^[10-11]以及生态环境^[12]等均存在影响,因此,客观、准确地掌握耕地撂荒的数量及空间分布信息日益受到各级政府的高

度重视。

现阶段耕地撂荒信息的获取主要分为农户调查和遥感手段,农户调查主要依赖于入户走访调查和层层上报的方式^[13-15],这种方式虽能了解耕地撂荒的机理,但受限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,耗时长、效率低,很难得到客观、全面的撂荒信息。随着遥感技术的发展,卫星遥感影像在时间、空间分辨率方面均得到显著提高,更高时间分辨率的遥感信息有助于捕捉耕地撂荒现象的时序变化信息,而高空间分辨率特点则有助于解决山区耕地较为破碎难以准确监测的问题。因此,遥感技术具有数据覆盖

收稿日期: 2021-01-06; 修订日期: 2022-03-08

基金项目: 陕西省重点研发计划(2022ZDLNY02-10)。

作者简介: 韦中晖(1995-),男,山东德州人,硕士研究生,主要从事农业定量遥感研究。E-mail: 1024217621@qq.com

通讯作者: 顾晓鹤(1979-),男,江苏常州人,研究员,博士,主要从事农业遥感相关研究。E-mail: guxh@nercita.org.cn

范围广、高时效性、低成本等特点,对于准确估计和掌握县域尺度的耕地撂荒动态变化具有重要的意义。当前撂荒地的遥感监测方法主要分为两类:一是遥感分类方法,该方法的前提是基于撂荒地与其他地物类型的显著差异,通过遥感影像解译和野外验证的方式提取撂荒耕地^[16]。如宋世雄等^[17]依据多模型耦合机理,模拟分析了陕西省米脂县耕地撂荒空间格局分布。牛继强等^[18]基于支持向量机(SVM)分类和景观指数等方法,获取了河南省子路镇2013年、2015年季节性撂荒耕地和常年性撂荒耕地分布情况。肖国峰等^[19]基于Landsat数据和HJ-1A数据,采用CART决策树分类方法,制作了1990~2017年的土地利用图,制定了撂荒地的识别规则,在此基础上提取了研究区的撂荒地空间分布、持续撂荒时间分布和撂荒地复垦区域。二是基于NDVI时间序列特征提取撂荒耕地。如WITMER等^[20]利用多时相Landsat TM影像,通过直接比较两期影像数据的光谱差异,确定变化阈值,提取了波斯尼亚东北部由战争引起的撂荒耕地。程维芳等^[3]通过植被指数变化检测的方法,首先对采样点的NDVI时间序列曲线进行分析,然后与主要土地利用类型的生命周期特征进行匹配,从而提取

撂荒耕地^[3]。遥感分类方法的提取精度在很大程度上依赖于解译人员专业知识水平,加之撂荒地地表覆被复杂,存在混合像元导致的错分、漏分现象^[21]。而基于时间序列NDVI的检测方法主要应用在平原地区或耕地地块较大的区域,对于地块破碎、地形复杂、云雨天气较多的地区难以获取高分辨率时序遥感数据,这些地区的撂荒地遥感监测只能利用单期或多期中高分辨率遥感影像的方式实现。

针对当前撂荒地提取方法的不足,提出一种基于多时相协同变化检测的耕地撂荒信息提取技术。通过分析典型地物的NDVI在不同月份间的变化规律,构建多时相NDVI协同变化检测模型,以期实现季节性撂荒耕地和常年性撂荒耕地的快速提取。

2 研究区和数据

2.1 研究区概况

研究区为河北省石家庄市鹿泉区(图1),该地区位于河北省中南部,114°18' E, 38°05' N之间,陆地面积603 km²。地形总趋势为西高东低,西部属太行山余脉,为低山丘陵区,东部为冲积洪积平原,是华北平原西部边缘,地势平缓。属暖温带半湿润季风型大陆性气候,四季分明。鹿泉区自然条件良

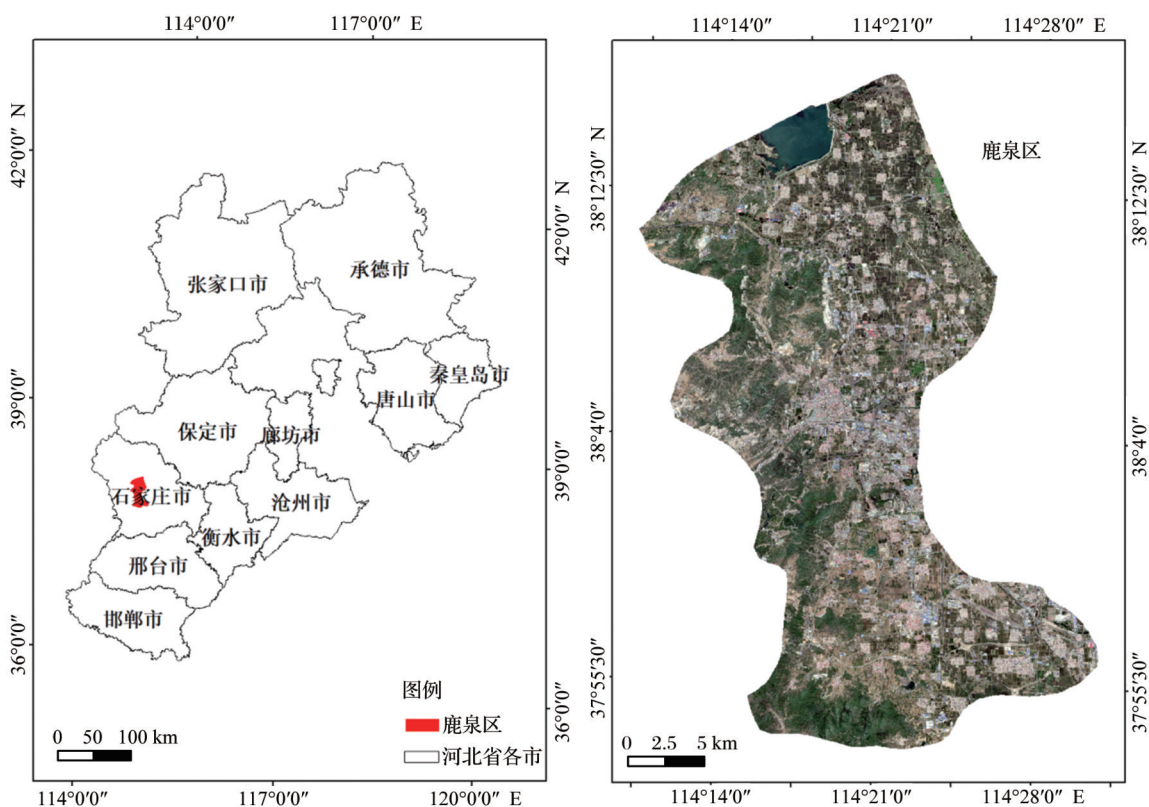


图1 研究区地理位置

Fig.1 Location of the study area

好,农业基础扎实,农业机械化水平较高,拥有农业用地 4.33 万 hm^2 ,其中耕地 2.8 万 hm^2 ,实行作物轮作,6月至10月主要种植作物为玉米和大豆,10月至来年6月主要种植作物为冬小麦,小宗作物为谷子,棉花和各种果树。近年来西部山区耕地撂荒现象较为突出,选择该区域开展撂荒耕地遥感监测具有较好的代表性。

2.2 研究数据

2.2.1 影像数据

遥感影像数据使用来自欧空局(<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)的 10 m 分辨率 Sentinel-2 L2A 辐射精校正级产品。Sentinel-2A 卫星覆

盖 13 个光谱波段,能够提供 10 d 重访周期和最高 10 m 空间分辨率的多光谱数据^[22],现已运用于作物识别^[23]、地物类型的划分^[24-25]等各方面研究,对于地形复杂区域的地类划分有着重要的作用。同时为了验证研究方法在其他中分辨率遥感影像间的适用性,还使用了来自 USGS(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)的 30 m 分辨率 Landsat7 ETM 影像,用于对比分析两种数据源的分类精度。影像数据列表和研究区遥感影像见表 1 和图 2。

2.2.2 地块数据

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

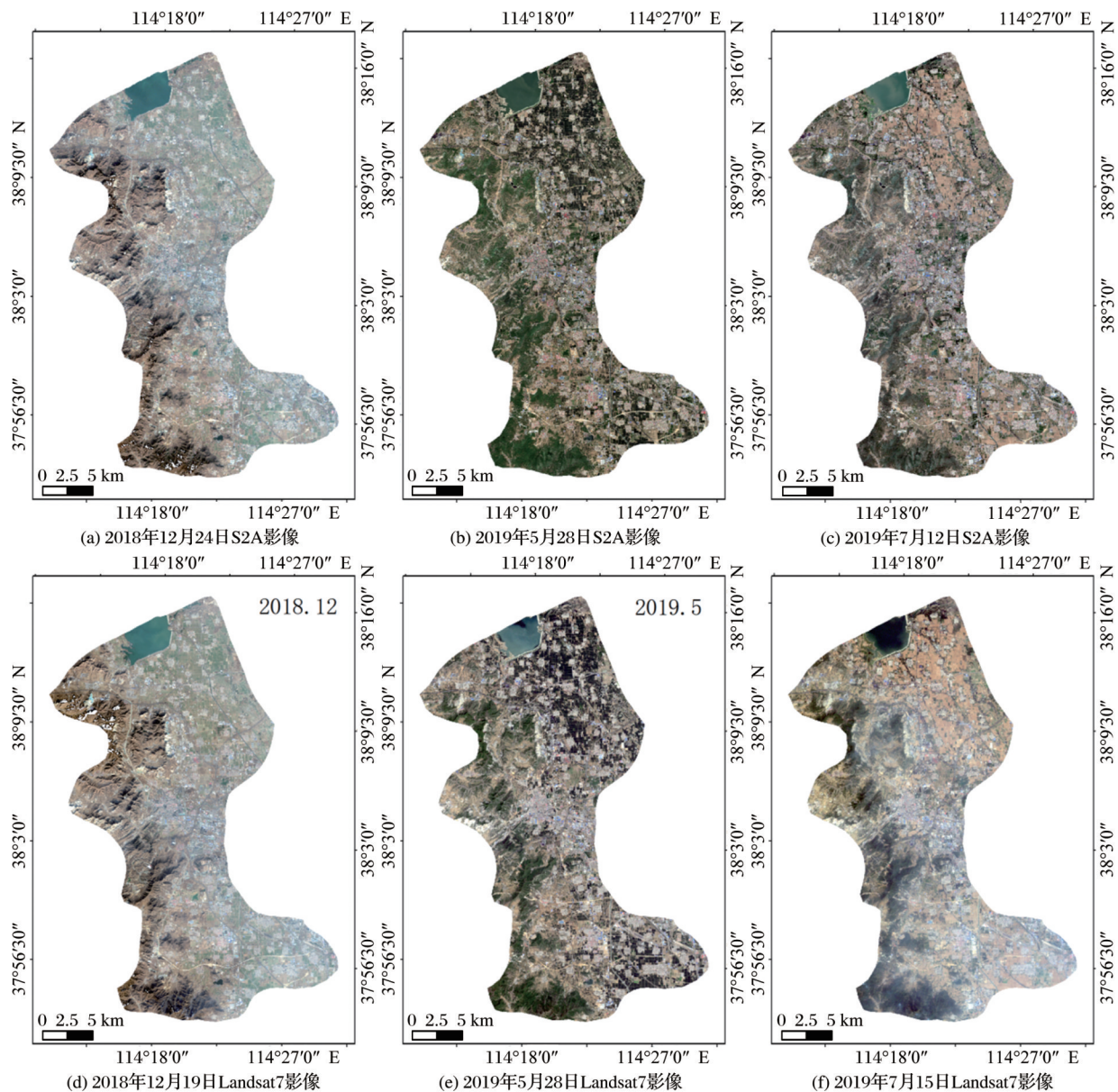


图2 研究区遥感影像

Fig.2 Sketch map of remote sensing image

表 1 影像数据列表
Table 1 Image data list

时相	获取卫星	传感器	波段数	空间分辨率/m	影像质量
2018-12-24	S2A	MSI	13	10	良好
2019-5-28	S2A	MSI	13	10	良好
2019-7-12	S2A	MSI	13	10	良好
2018-12-19	Landsat7	ETM	8	30	良好
2019-5-28	Landsat7	ETM	8	30	良好
2019-7-15	Landsat7	ETM	8	30	良好

物生长期影像更容易提取耕地地块。利用2018年12月 Google Earth 0.5 m 影像通过人工数字化的方法提取鹿泉区的耕地地块(图3),为后续的撂荒耕地识别提供本底数据。

2.2.3 野外调查数据

于2019年5月3日至5日开展野外调查,获取撂荒耕地样本48个、多年生园地样本47个、小麦样本12个,作为精度验证的参考依据。野外调查样本见图3。

3 研究方法

3.1 耕地撂荒判定

对于耕地撂荒的定义,部分学者认为:耕地闲

置一年以上就可视为撂荒^[26],也有学者认为耕地闲置一季即可视为撂荒^[27],结合前人经验,实验将连续闲置一年,即全年皆为裸地的耕地视为常年撂荒耕地,将春季和冬季闲置一季的耕地视为季节撂荒耕地。

3.2 技术流程

技术流程图如图4所示。主要包括:

(1)对2018年12月、2019年5月和7月3景遥感影像进行几何校正、辐射定标、大气校正和图像裁剪等预处理,计算NDVI值。

(2)利用亚米级高分辨率遥感影像人工数字化获得的耕地地块数据作为掩膜对研究区3景影像的NDVI计算结果进行裁剪,得到待分类影像。

(3)根据野外调查样本及典型地物在不同时相间的季相变化规律,逐月份建立小麦、苗圃、年荒和季荒的样本ROI(Region Of Interest,感兴趣区域),确定各地物在各个时相上的NDVI分布区间。

(4)使用ERDAS软件的model maker功能编写模型将待分类影像和变化阈值输入进行分类。

(5)结合野外调查样本的光谱特征信息,采用人工目视解释方式扩充验证样本量,对比 Sentinel

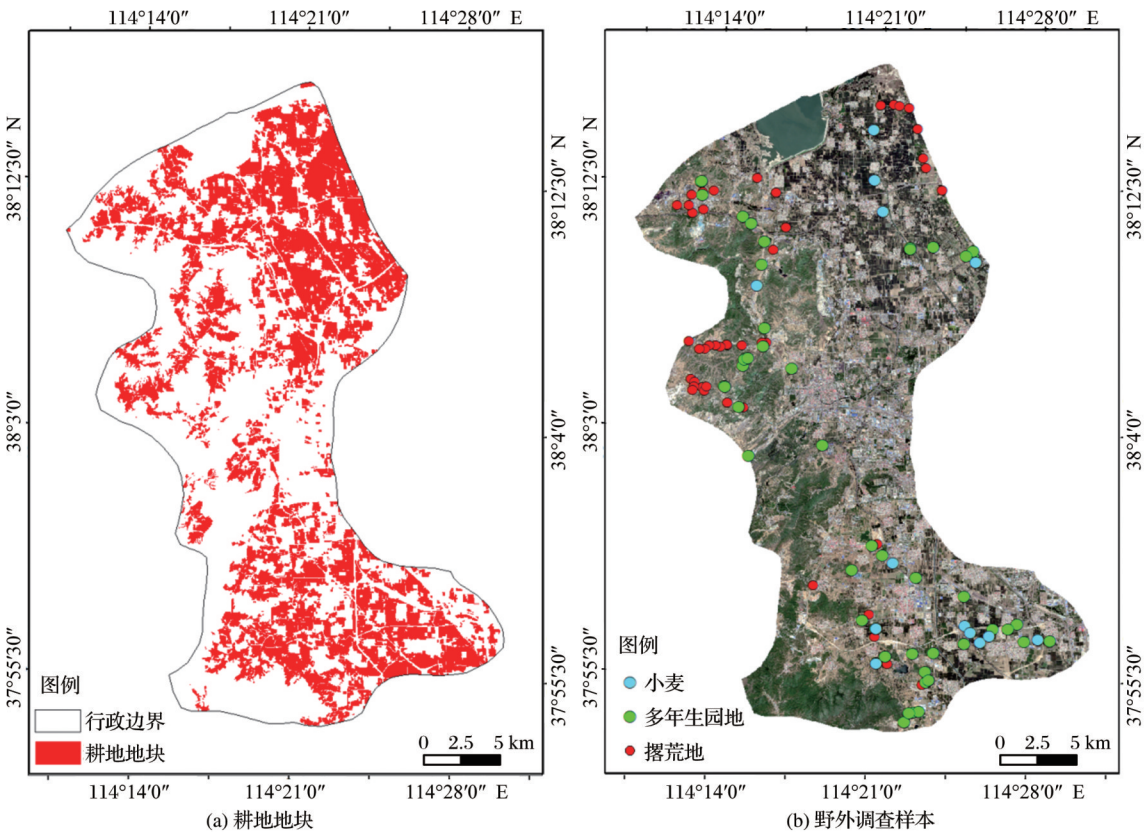


图 3 耕地地块数据及野外调查样本
Fig.3 Cultivated land range and investigation samples in the study area

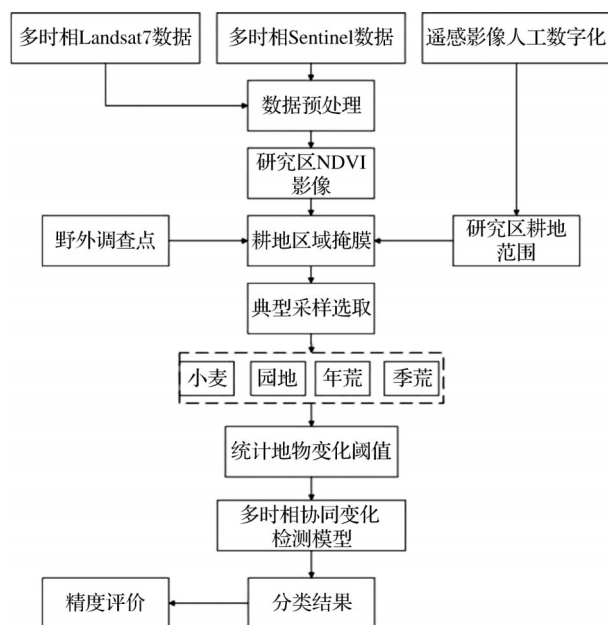


图4 技术流程图

Fig.4 Technical flow chart

和Landsat 7两种影像的撂荒地提取精度。

3.2.1 数据预处理

遥感影像的预处理包括辐射定标、大气校正、图像裁剪、计算多时相影像的NDVI值4部分。

使用的Sentinel数据为已经过几何校正、辐射定标的L2A级产品,用ESA官方SNAP软件的Sen2Cor大气校正模型实现Sentinel-2A的大气校正;对Landsat7数据进行插值条带修复处理,基于ENVI的辐射定标和大气校正工具,根据Landsat7数据源文件中的相关参数完成辐射定标和大气校正处理;裁剪出研究区影像,计算各影像的NDVI,计算公式如下:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

其中:NIR代表近红外波段,R代表可见光红光波段^[28]。使用耕地地块数据对研究区多时相影像的NDVI计算结果进行裁剪,得到耕地NDVI计算结果,将其作为待分类影像。

3.2.2 典型地物NDVI变化分析

鹿泉区5月份小麦处于旺盛生长期,其NDVI高于撂荒地,6月份收割后,其NDVI发生陡降,故小麦在生长期的NDVI变化梯度显著高于撂荒地。根据野外样本分析典型地物在不同时相间的季相变化规律(表2),逐月份建立小麦、园地、年荒和季荒的样本ROI,以耕地地块为掩膜,提取采样点在不同时期的NDVI值,绘制各典型地物的NDVI时间序列曲线,在时间序列曲线图中,横轴代表时间推移,纵轴代表NDVI值,NDVI值越高代表植

被覆盖度越高,作物生长越旺盛,如图5所示。统计耕地地块中各地物样本在各个时相上的NDVI分布区间,统计结果如表3所示。其中 V_1 、 V_3 、 V_5 、 V_7 分别为小麦、多年生园地、季荒耕地、年荒耕地在12月至5月间的NDVI分布区间; V_2 、 V_4 、 V_6 、 V_8 分别为小麦、多年生园地、季荒耕地、年荒耕地在5月至7月间的NDVI分布区间。

表2 不同时期典型地物的季相变化规律

Table 2 Land cover types in different months

地物类型	12月	5月	7月
小麦	作物	作物	裸地
多年生园地	裸地	作物	作物
年荒	裸地	裸地	裸地
季荒	裸地	裸地	作物

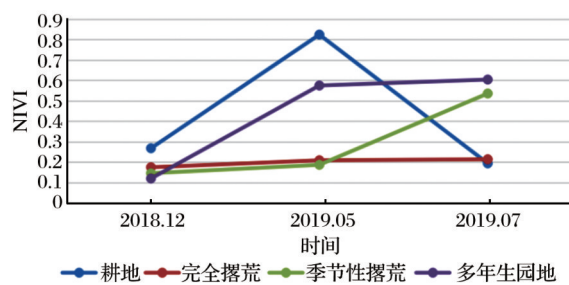


图5 典型地物NDVI时间序列曲线

Fig.5 NDVI time series curve of typical features

表3 不同时期典型地物的NDVI分布区间

Table 3 NDVI distribution interval of typical features in different phases

地物类型	时相	
	12月至5月	5月至7月
小麦	$0.41 \leq V_1 \leq 0.59$	$-0.66 \leq V_2 \leq -0.54$
多年生园地	$0.24 \leq V_3 \leq 0.49$	$0.01 \leq V_4 \leq 0.07$
季荒	$0.02 \leq V_5 \leq 0.14$	$0.16 \leq V_6 \leq 0.33$
年荒	$-0.17 \leq V_7 \leq 0.00$	$-0.08 \leq V_8 \leq 0.08$

根据图5可以看出,在12月至5月由于气温上升,小麦和多年生园地逐渐成熟,NDVI持续增长,常年撂荒地和季节性撂荒地NDVI几乎没有增长,且显著低于已种植耕地。在5月至7月,小麦由于收割NDVI值发生陡降,多年生园地未收割,NDVI变化趋于平稳且低于收割前的小麦,常年性撂荒的NDVI曲线由于全年地表覆被皆为裸地,在不同时期的NDVI值均较低且变化不大。季节性撂荒地在7月由于恢复耕种NDVI值呈现上升趋势。

基于以上分析可以得出,研究区主要作物与撂荒地的NDVI峰值和变化梯度具有较高区别度。小麦的NDVI时间序列曲线特征为:取值范围在0.2~

0.85,变化趋势为先升后陡降。多年生园地的 NDVI 时间序列曲线特征为:取值范围在 0.1~0.6,变化趋势为先升后趋于平稳。

全年性撂荒的 NDVI 时间序列曲线特征为:取值范围在 0.1~0.22,总体 NDVI 值较低,变化趋势为接近平缓的直线。季节性撂荒的 NDVI 时间序列曲线特征为:取值范围在 0.1~0.55,变化趋势为先平缓后上升。

3.2.3 多时相协同变化检测模型建立

基于典型地物的 NDVI 变化特征,使用 ERDAS 的 model maker 工具制作多时相协同变化检测

模型(图 6),以多时相耕地 NDVI 计算结果为待分类影像,根据各地物 NDVI 分布区间进行分类。将待分类影像间 12 月至 5 月 NDVI 差值在 V1 区间内且 5 月至 7 月 NDVI 差值在 V2 区间的部分分为小麦;将待分类影像间 12 月至 5 月 NDVI 差值在 V3 区间内且 5 月至 7 月 NDVI 差值在 V4 区间的部分分为多年生园地;将待分类影像间 12 月至 5 月 NDVI 差值在 V5 区间内且 5 月至 7 月 NDVI 差值在 V6 区间的部分分为季节性撂荒耕地;将待分类影像间 12 月至 5 月 NDVI 差值在 V7 区间内且 5 月至 7 月 NDVI 差值在 V8 区间的部分分为全年撂荒耕地。

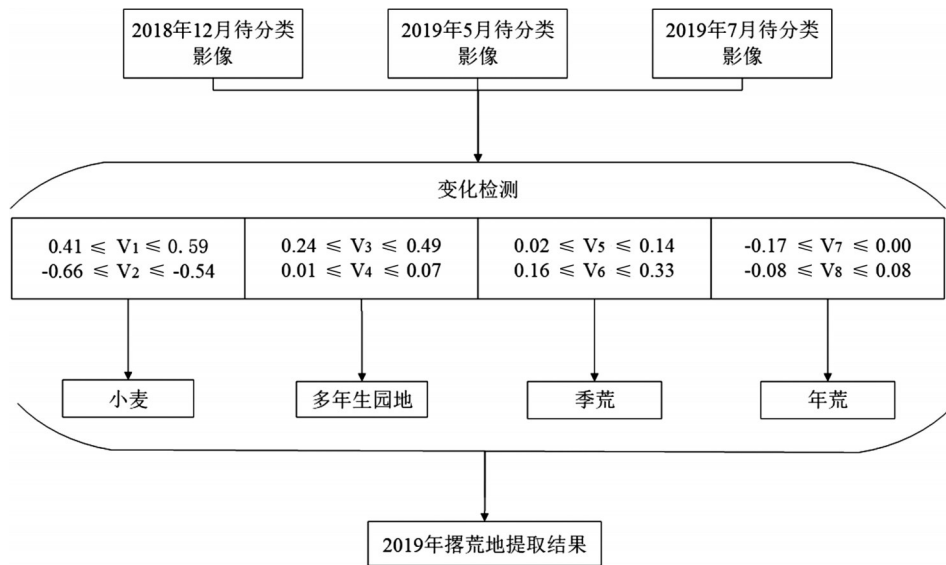


图 6 变化检测模型

Fig.6 Change detection model

4 结 果

4.1 多时相协同变化检测耕地撂荒提取结果

基于多时相协同变化检测模型,根据典型地物的 NDVI 分布区间和 2018 年 12 月、2019 年 5 月和 2019 年 7 月 3 景影像,得到小麦、多年生园地、季荒、年荒 4 种分类结果(图 7),其中小麦占地 72.7 km^2 ,占耕地面积的 23.8%;多年生园地占地 119.8 km^2 ,占耕地面积的 40.4%;季荒占地 15.8 km^2 ,占耕地面积的 4.7%;年荒占地 22.5 km^2 ,占耕地面积的 7.1%。将 4 种分类结果叠加后得到鹿泉区 2019 年耕地撂荒遥感监测图(图 8)。由变化检测结果可知,小麦的主要分布地位于鹿泉区东部,原因是鹿泉区东部为冲积洪积平原,是华北平原西部边缘,地势平缓,易于灌溉和机械化种植,农作物产量较高,几乎不存在耕地撂荒现象。撂荒地在研究区内均有分布,主

要分布在研究区西部的山区地带,东部平原地区撂荒程度较轻。这是由于研究区西部属太行山余脉,为低山丘陵区,区间基岩裸露,山峦起伏,耕作难度加大,机械化程度和作物产量较低,可见地形是影响耕地撂荒的重要因素之一。

4.2 精度评价

在 ERDAS 软件中开展精度评价。结合野外调查数据和目视解译两种方法,在原始影像上随机选取 255 个均匀分布的样本点作为验证样本,对基于不同数据源的 2 种分类结果进行精度验证。精度验证指标包括总体精度(Overall Accuracy)和 Kappa 系数(Kappa Coefficient)。精度评价结果如表 4、表 5 所示。

通过对比得到以下结论:①基于 Sentinel-2A 影像的季节性撂荒和常年撂荒耕地的分类精度分别为 95.83% 和 96.55%,总体精度和 Kappa 系数分别为 92.19% 和 0.88;基于 Landsat 7 影像的季节性撂

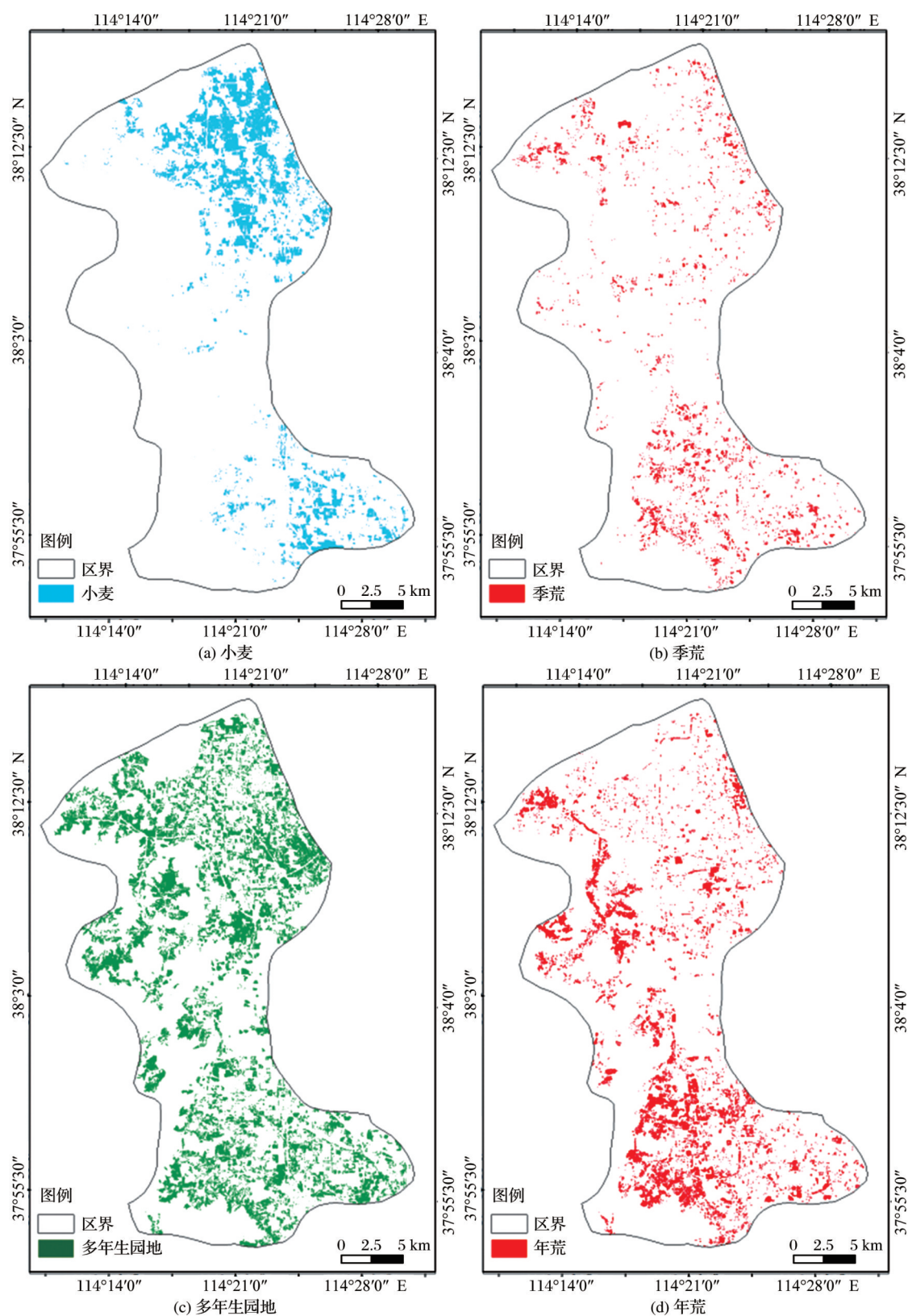


图7 变化检测分类结果

Fig. 7 Classification results of change detection

荒和常年撂荒耕地的分类精度分别为91.67%和93.10%,总体精度和Kappa系数分别为86.33%和0.80。利用多时相协同变化检测的方法对于不同分

辨率的影像均具有较好的撂荒地提取精度,其中由于Sentinel数据具有更高的空间分辨率(10 m),分类结果受混合像元影响较小,减少了因混合像元导

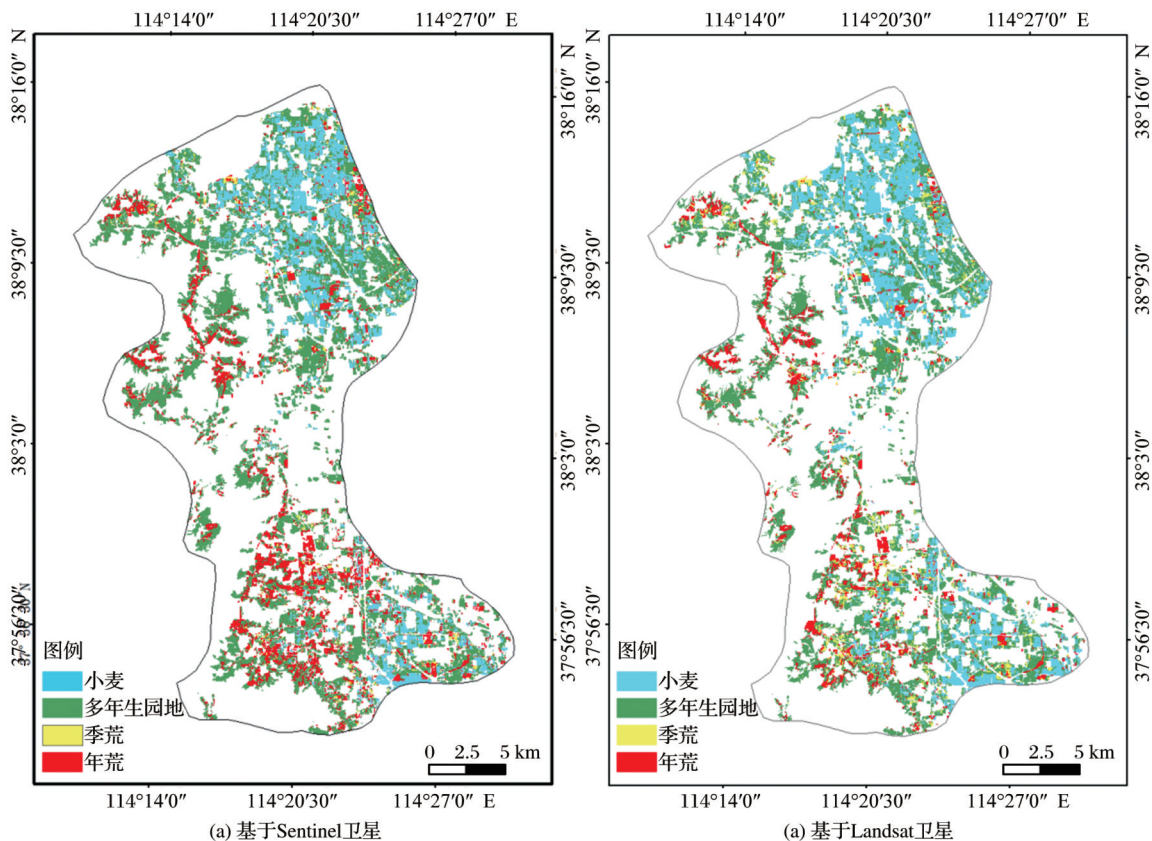


图 8 鹿泉区 2019 年耕地撂荒遥感监测图

Fig. 8 Remote sensing monitoring map of cultivated land abandonment in Luquan district in 2019

表 4 Sentinel 影像分类结果混淆矩阵精度评价

Table 4 Accuracy evaluation of confusion matrix of Sentinel image classification results

		实测样本				分类结果合计	用户精度/%
		季节撂荒	常年撂荒	小麦	多年生园地		
分 类 结 果	季节撂荒	23	0	0	1	24	95.83
	常年撂荒	0	28	0	0	28	96.55
	小麦	3	0	88	0	91	96.70
	多年生园地	8	3	4	97	112	86.61
实测样本合计		34	31	92	98	255	
制图精度/%		67.65	90.32	95.65	98.98		
总体精度/%		92.19				Kappa 系数	0.88

致的错分、漏分现象,基于 Sentinel 影像的撂荒地提取精度较高。②从混淆矩阵来看,季节性撂荒耕地容易与多年生园地混分,这主要是由于二者在 12 月和 7 月地表覆被类型基本一致,分别为裸地和作物,仅在 5 月有所差别,多年生园地在 5 月生长有一些杂草,而季节性撂荒耕地在 5 月也会有杂草生长,使得季节性撂荒耕地与多年生园地的光谱差异较小,造成了两者之间的混分现象。

5 讨 论

多光谱遥感具有数据获取速度快、范围广、成

本低等优点,根据多光谱数据光谱特性的差异判别地物,能够大大提高撂荒地提取的精度,通过总结该研究技术特点,提出一套基于多时相协同变化检测的撂荒地提取范式,旨在为大范围遥感调查和制图提供标准化技术参考。

- (1)分析研究区主要地物的季相变化规律,选取关键时期的多时相遥感影像。
- (2)计算多时相影像的 NDVI,结合野外样本分析季节性撂荒耕地、常年撂荒耕地与其他地物的 NDVI 时序差异。
- (3)确定各地物在各个时相上的 NDVI 分布区

表5 Landsat-7 ETM 影像分类结果混淆矩阵精度评价

Table 5 Accuracy evaluation of confusion matrix of Landsat7 ETM image classification results

		实测样本				分类结果合计	用户精度/%
		季节撂荒	常年撂荒	小麦	多年生园地		
分 类 结 果	季节撂荒	22	1	0	1	24	91.67
	常年撂荒	1	27	0	0	28	93.10
	小麦	6	3	80	2	91	87.91
	多年生园地	10	5	5	92	112	82.14
实测样本合计		39	36	85	95	255	
制图精度/%		56.41	75.00	94.12	96.84		
总体精度/%		86.33				Kappa系数	0.80

间,建立多时相协同变化检测模型,提取研究区季荒和年荒耕地。

(4)利用野外实测样本进行精度验证。

本研究的优势在于:①使用高分辨率的 Sentinel-2A 影像作为基础数据,对耕地撂荒信息进行提取, Sentinel-2A 卫星等新型卫星设置了专门提取农作物类型的波段,有利于减少混合像元的影响,分类结果相较于美国陆地卫星 Landsat 7 具有更高精度。②根据多光谱数据光谱特性的差异判别地物。不同地物类型在不同物候期其光谱信息不一,尤其是在光谱信息丰富的典型物候期,地物间光谱差异更为显著。通过波段差值可充分地利用不同时相间各地物光谱的差异性来识别提取撂荒信息,对于不同分辨率的遥感影像均具有较好的提取精度。

该实验研究过程中及以后的大范围推广应用中还存在以下问题需要进一步研究和解决。

(1)撂荒地的界定。撂荒地没有统一的界定标准,学者们在不同的研究中都有其对撂荒地的定义,诸如耕地闲置一年的撂荒、闲置一季的撂荒、闲置两年以上的撂荒等,不同的撂荒地定义对分类结果有很大的影响。由于研究区冬小麦等主要作物的生长期为春冬季,因此本文将在作物生长期的冬春季闲置的耕地视为季荒、将全年闲置的耕地视为年荒。

(2)多光谱遥感影像空间分辨率问题。在使用中低空间分辨率影像进行撂荒地提取时,采样点本身可能不是纯像元,造成 NDVI 值误差较大,时间序列曲线在更好的体现地物生命周期特征方面还存在很大地提升空间。

(3)精度验证。获取真实的撂荒耕地数据可以为撂荒地识别提供验证数据。目前客观的方法仍是通过野外调查来为撂荒地的精度验证提供真实验证样本,野外样本的数量和分布状态对于监测结果验证具有较大影响,因此,在下一步研究中需加

强野外样本布设和观测的科学性。

(4)推广到全国范围还存在地形地貌、物候特征、物种等多方面的不一致问题,因此需要考虑到不同地区的差异情况,因地制宜获取合适的遥感影像和地物样本,不断完善和改进本方法的具体内容,逐步提高其在不同地区应用的适用性和精度。

6 结 论

基于 2018 年 12 月至 2019 年 7 月的 Sentinel-2A 和 Landsat-7 ETM 影像,根据野外调查点和目视解译逐月选择样本点提取典型农作物的生长特征,通过多时相协同变化检测模型,制作了鹿泉区 2019 年耕地撂荒遥感监测图,并进行了精度验证。

(1)提出了基于多时相联合变化检测模型的撂荒地检测方法,为基于遥感的撂荒地提取提供了快速有效的方法,使用该方法对 10 m 分辨率的 Sentinel 影像的撂荒地提取总体精度为 92.19%, Kappa 系数为 0.88;对 30 m 分辨率的 Landsat 7 影像的撂荒地提取总体精度为 86.33%, Kappa 系数为 0.80。对不同分辨率的影像均具有较高的分类精度。

(2)2019 年鹿泉区小麦占耕地面积的 23.8%、多年生园地占耕地面积的 40.4%、季荒占耕地面积的 4.7%、年荒占耕地面积的 7.1%。

(3)种植耕地主要分布在研究区东部平原地区,撂荒地主要分布在西部山岭地区,耕地撂荒受地形因素影响较大。

参考文献 (References):

- [1] Ma Shangjie, Pei Zhiyuan, Wang Fei, *et al.* Remote sensing application on remote sensing survey of abandoned farmlands in winter along the Huaihe River based on GF-1 image [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(1): 227-233. [马尚杰, 裴志远, 王飞, 等. 基于 GF-1 影像的沿淮地区冬季耕地撂荒遥感调查应用 [J]. 农业

- 工程学报, 2019, 35(1): 227-233.]
- [2] Qi Manhua. Current situation and countermeasures of cultivated land protection in China[J]. Agriculture and Technology, 2009, 29(3): 1-3.[齐曼华. 我国耕地保护现状及对策研究[J]. 农业与技术, 2009, 29(3): 1-3.]
 - [3] Cheng Weifang, Zhou Yi, Wang Shixin, *et al.* Study on the method of recognizing abandoned farmlands based on multi-spectral remote sensing[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(6): 1615-1620.[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.]
 - [4] Li Xiubin, Zhao Yuluan. Forest transition, agricultural land marginalization and ecological restoration[J]. Chinese Population, Resources and Environment, 2011, 21(10): 91-95.[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] Khanal N R, Watanabe T. Abandonment of agricultural land and its consequences: A case study in the Sikles area, Gandaki Basin, Nepal Himalaya[J]. Mountain Research & Development, 2006, 26(1): 32-40. DOI: 10.1659/0276-4741(2006)026[0032:AOALAI]2.0.CO;2.
 - [6] Sun Hongling, Sun Hongxia. Abandonment: The most dangerous threatening factors to food security in China[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2009, 34(1): 19-20.[孙宏岭, 孙红霞. 威胁中国粮食安全最危险的因素: 弃耕抛荒[J]. 粮食科技与经济, 2009, 34(1): 19-20.]
 - [7] Cibele Q, Ruth B, Carl F, *et al.* Farmland Abandonment: Threat or opportunity for biodiversity conservation? A global review[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2014, 12(5): 288-296. DOI: 10.1890/120348.
 - [8] Molinillo M, Lasanta T, García-Ruiz J M. Research; Managing mountainous degraded landscapes after farmland abandonment in the central Spanish Pyrenees[J]. Environmental management, 1997, 21(4): 587-598. DOI: 10.1007/s002679900051.
 - [9] Bakker M M, Govers G, Doorn A V, *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]. Geo Morphology, 2008, 98(3/4): 213-226. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.12.027.
 - [10] Batllebayer L, Batjes N H, Bindraban P S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 137(1): 47-58. DOI: 10.1016/j.agee.2010.02.003.
 - [11] Vuichard N, Ciais P, Beletti L, *et al.* Carbon sequestration due to the abandoned of agriculture in the former USSR since 1990[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2008, 22(4): 1417-1430. DOI: 10.1029/2008GB003212.
 - [12] MacDonald D, Crabtree J R, Wiesinger G, *et al.* Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response[J]. Journal of Environmental Management, 2000, 59(1): 47-69. DOI: 10.1006/jema.1999.0335.
 - [13] Xie H L, Wang P, Yao G R. Exploring the dynamic mechanisms of farmland abandonment based on a spatially explicit economic model for environmental sustainability[J]. Sustainability, 2014, 6(3): 1260-1282. DOI: 10.3390/su6031260.
 - [14] Dong J W, Liu J Y, Yan H M, *et al.* Spatio-temporal pattern and rationality of land reclamation and cropland abandonment in mideastern inner Mongolia of China in 1990~2005[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 179(1/4): 137-153. DOI: 10.1007/s10661-010-1724-9.
 - [15] Li Zanhong, Yan Jianzhong, Hua Xiaobo, *et al.* Factors influencing the cultivated land abandonment of households of different types: A case study of 12 typical villages in Chongqing Municipality[J]. Geographic research, 2014, 33(4): 721-734.[李赞红, 阎建忠, 花晓波, 等. 不同类型农户撂荒及其影响因素研究——以重庆市12个典型村为例[J]. 地理研究, 2014, 33(4): 721-734.]
 - [16] Li Yangbing, Luo Guangjie, Huang Juan. Spatial-temporal evolution, mechanism and vegetation restoration of abandoned farmland in the Maolan national nature reserve[J]. Carsologica Sinica, 2017, 36(4): 447-453.[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.]
 - [17] Song Shixiong, Liang Xiaoying, Chen Hai, *et al.* The simulation of cropland abandonment based on multiagent system and land transformation model: A case study of Mizhi County, Shaanxi Province[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(3): 515-525.[宋世雄, 梁小英, 陈海, 等. 基于多智能体和土地转换模型的耕地撂荒模拟研究——以陕西省米脂县为例[J]. 自然资源学报, 2018, 33(3): 515-525.]
 - [18] Niu Jiqiang, Lin Hao, Niu Yingnan, *et al.* Analysis of spatial pattern and driving factors for abandoned arable lands in underdevelopment region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2017, 48(2): 146-154.[牛继强, 林昊, 牛樱楠, 等. 经济欠发达地区撂荒地空间格局与驱动因素分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(2): 146-154.]
 - [19] 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.[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.]
 - [20] Frank D W 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. DOI: 10.1080/01431160801891879.
 - [21] 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 of Agricultural Machinery, 2019, 50(6): 201-208.[杨通, 郭旭东, 岳德鹏, 等. 其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.]
 - [22] Wang Lijun, Guo Yan, He Jia, *et al.* Classification method by fusion of decision tree and SVM based on Sentinel-2A image

- [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(9): 146-153. [王利军, 郭燕, 贺佳, 等. 基于决策树和SVM的Sentinel-2A影像作物提取方法[J]. 农业机械学报, 2018, 49(9): 146-153.]
- [23] Wu Jing, Lu Yuna, Li Chunbin, *et al.* Fine classification of county crops based on multi-temporal images of Sentinel-2A [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2019, 50(9): 194-200. [吴静, 吕玉娜, 李纯斌, 等. 基于多时相Sentinel-2A的县域农作物分类[J]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 194-200.]
- [24] Schuster C, Frster M, Kleinschmit B. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(17): 5583-5599. DOI: 10.1080/01431161.2012.666812.
- [25] Forkuor G, Dimobe K, Serme I, *et al.* Landsat 8 vs. Sentinel-2: Examining the added value of Sentinel-2's red-edge bands to land-use and land-cover mapping in Burkina Faso [J]. Giscience & Remote Sensing, 2017(4). DOI: 10.1080/15481603.2017.1370169.
- [26] Anatoliy S, Daniel M, Alexander V. *et al.* Recultivation of abandoned agricultural lands in Ukraine: Patterns and drivers [J]. Global Environmental Change, 2016, 38: 70-81. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.02.009.
- [27] Shi Tiechou, Li Xiubin. Farmland abandonment in Europe and its enlightenment to China [J]. Geography and Geo-information Science, 2013, 29(3): 101-103. [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.]
- [28] Zhao Yingshi. Principle analysis and application of remote sensing [M]. Beijing: Science Press, 2003. [赵英时. 遥感原理分析和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]

Remote Sensing Monitoring of Cultivated Land Abandonment based on Multi-temporal Collaborative Change Detection

Wei Zhonghui^{1,2}, Jin Hailiang¹, Gu Xiaohe², Yang Yingru³, Wang Gengze^{1,2},
Pan Yuchun²

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University,
Jiaozuo 454000, China;

2. Research Center of Information Technology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences,
Beijing 100097, China;

3. Shijiazhuang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041, China)

Abstract: Aiming at the problem of low precision of abandoned land extraction caused by complex land cover and broken land, a method of abandoned land information extraction based on multi temporal collaborative change detection was proposed. Taking Luquan District, Shijiazhuang City, Hebei Province as the research area, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of various types of cultivated land cover was analyzed by using sentinel 2a and Landsat 7 multispectral images and supported by field samples. Based on the classification system of seasonal abandonment, perennial abandonment, winter wheat and perennial garden, a multi temporal collaborative change detection model was constructed to carry out remote sensing monitoring of cultivated land abandonment in the study area. The results show that the classification accuracy of seasonal and perennial abandoned farmland based on Sentinel 2A image is 95.83% and 96.55% respectively; the classification accuracy of seasonal and perennial abandoned farmland based on Landsat 7 image is 91.67% and 93.10% respectively; the seasonal abandoned farmland accounts for 4.7% and perennial abandoned farmland accounts for 7.1% in Luquan District in 2019. This method can quickly and accurately obtain the spatial distribution and area information of cultivated land in the study area, and has good extraction accuracy for abandoned land in different resolution images.

Key words: Cultivated land abandonment; Sentinel-2A; NDVI; Multi temporal change detection; Remote sensing monitoring