引文格式:陶建斌,赵睿一,王松,等.基于时序Sentinel-2影像物候特征的江汉平原耕地"非粮化"监测[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(5):907-916.DOI:10.13203/j.whugis20230020

Citation: TAO Jianbin, ZHAO Ruiyi, WANG Song, et al. Monitoring Non-grain Use of Croplands on the Jianghan Plain Based on Sentinel-2 Vegetation Phenology[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2025, 50(5): 907-916. DOI: 10.13203/j.whugis20230020

基于时序Sentinel-2影像物候特征的江汉平原耕地"非粮化"监测

陶建斌[1] 赵睿一[1] 王 松[1] 张洪艳[2]

1 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室/华中师范大学城市与环境科学学院,湖北 武汉,430079

2 武汉大学测绘遥感信息工程全国重点实验室,湖北 武汉,430079

摘 要:利用遥感技术对耕地"非粮化"现象进行监测对于维护国家粮食安全、助力乡村振兴具有重要的现实意义。利用时间序列Sentinel-2遥感影像,在分析不同种植类型物候特征的基础上,选择若干个关键物候期来概括各生长阶段的物候特征,得到同种种植类型的相似性物候特征及不同种植类型的差异性物候特征。基于由简及繁、分层分类的思路,构建耕地"非粮化"提取模型。在此基础上提取江汉平原潜在"非粮化"(含"非食物化")区域,包括蔬菜、苗木或撂荒、坑塘养殖等。提取结果总体精度达到92.69%,Kappa系数为0.89。实验结果表明,基于物候特征挖掘和分层分类的方法可以进行区域尺度的"非粮化"监测。该方法在一定程度上可为耕地"非粮化"监测提供有效的技术手段,为进行农田利用方式监测、制定农业政策提供基础数据和科学依据。

关键词:Sentinel-2遥感影像;物候特征;非粮化;江汉平原

中图分类号:P237 **文献标识码**:A **收稿日期**:2023-11-23

DOI:10.13203/j.whugis20230020 **文章编号**:1671-8860(2025)05-0907-10

Monitoring Non-grain Use of Croplands on the Jianghan Plain Based on Sentinel-2 Vegetation Phenology

TAO Jianbin[1] *ZHAO Ruiyi*[1] *WANG Song*[1] *ZHANG Hongyan*[2]

1 Key Laboratory for Geographical Process Analysis and Simulation/School of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: **Objectives:** Monitoring the non-grain use of cropland using remote sensing technology is of great significance for national food security and rural revitalization. **Methods:** Through analyzing the phenology of different crop patterns by using time series Sentinel-2 remote sensing images, several key phenological stages were selected to summarize the phenological characteristics of each stage, and the phenology similarity of the same crop pattern and the phenology difference of different crop pattern were obtained. A model was built to extract the non-grain use of cropland on the Jianghan Plain, including vegetables planting, abandoned land or trees planting and aquaculture pond, etc. **Results:** The method realized the mapping of non-grain use of cropland on the Jianghan Plain successfully by using hierarchical classification method according to the rule of from simple to complex. The overall accuracy of the results is 92.69%, and the Kappa coefficient is 0.89. **Conclusions:** The experiment results demonstrated that the method based on time-series Sentinel-2 remote sensing images and crop phenology can be used to monitor non-grain use of cropland at regional scale. The proposed method can provide effective technology for monitoring the non-grain use of cropland, and provide basic data for agricultural

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41971371);国家重点研发计划(2022YFB3903504);大学生创新创业训练计划项目。

第一作者:陶建斌,博士,副教授,主要从事农业遥感、遥感影像的地学应用方面的研究。taojb@mail.ccnu.edu.cn

通信作者:张洪艳,博士,教授。zhanghongyan@whu.edu.cn

departments to formulate agricultural policies.

Key words: Sentinel-2 remote sensing images; crop phenology; non-grain use of croplands; the Jianghan Plain

耕地资源是保障国家粮食安全的基础性资源,耕地资源的合理利用是事关国家粮食安全的重大战略问题。近年来,中国通过优化农业结构、合理规划农业生产布局等措施,有力保障了国家粮食安全。但由于地方政府发展经济和农户谋求收益两方面因素的影响,部分地区出现了耕地"非粮化"和"非食物化"的现象。据调查,截至2020年,华中地区耕地"非粮化"率已达到34%[1]。若任由耕地向此方向发展,必将严重威胁到中国粮食安全。2020年国务院办公厅《关于防止耕地"非粮化"稳定粮食生产的意见》明确指出应当防止耕地"非粮化"。2021年中央一号文件《中共中央 国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》再次强调了要坚决防止耕地"非粮化"。因此,实现耕地"非粮化"的高效、精准监测,可为制定科学的农业政策提供依据,同时对于防止"非粮化"过度无序扩张、守住国家粮食安全的底线具有重要的现实意义。

目前,耕地"非粮化"研究主要集中在"非粮化"现象的时空分布、影响因素和形成机制等方面[2-10]。在耕地"非粮化"的测算上,大多通过统计数据、调研数据等汇总得到。耕地"非粮化"时空分布的分析都是在行政区尺度上进行,缺乏"非粮化"分布的空间细节。遥感技术是发展数字农业、全面推进乡村振兴战略的突破口。遥感技术与农业深度融合,可对永久基本农田实行动态监测。然而,目前这种监测主要是对作物类型和复种、轮作等利用方式进行监测。利用遥感技术进行耕地"非粮化"监测的研究还处于起步阶段,现阶段存在遥感技术支撑不够的问题[11]。在研究方法上,已有研究主要利用目视解译方法[10,12]、基于光谱特征的机器学习方法[12-13]等进行提取,未能有效利用各种种植类型的物候特征的差异,并抽取作物关键物候期的物候特征进行建模。机器学习方法高度依赖样本,训练样本的数量和质量对提取精度影响很大。在"非粮化"类型上,现有研究多关注耕地的利用方式变为苗木、草坪、坑塘等类型,而忽略了蔬菜种植。在研究尺度上,已有研究多局限于县级(或以下)单元,未能充分发挥遥感技术在大尺度上的观测优势,无法满足大范围监测的应用需求。

利用卫星遥感影像进行耕地"非粮化"监测存在几个方面的挑战:一是耕地系统的复杂性,如各种形式的复种、轮作、套种等,使得遥感影像上"异物同谱"现象更为突出;二是耕地上的部分"非粮化"现象(如种植苗木等)与天然植被的相似性较高而难以区分。耕地"非粮化"监测需要新的思路、新的方法,对各种植类型的物候特征进行挖掘。作物物候特征目前较多地用于作物制图[14-16],用于"非粮化"监测是否可行,尚待验证。

鉴于此,本文提出了利用时间序列遥感数据进行江汉平原"非粮化"监测的方法。在分析不同作物物候特征的基础上,根据不同种植类型的时间序列曲线的差异,构建耕地"非粮化"监测的信息提取模型,采用由简及繁、分层分类的思路获取主要"非粮化"类型如蔬菜种植、挖塘养殖、苗木或撂荒等的空间分布信息,并分析其空间分布特征。本文研究将为耕地"非粮化"监测提供有效的技术手段,并为农业部门进行耕地利用方式监测、制定农业政策提供基础数据支撑。

1 研究区及数据

江汉平原位于中国湖北省中南部,西起宜昌枝江,东迄武汉,北自钟祥,南与洞庭湖平原相连,面积约4.6万km^2。江汉平原是长江中游平原的重要组成部分,平均海拔27 m,地形平缓,耕地资源集中,水热条件良好。区域总耕地面积160余万hm^2,约占湖北省耕地面积的30%;2019年区域粮食总产量950余万t,占湖北省粮食总产量的35%,是中国重要的粮食基地之一。

江汉平原的主要种植类型有6种。第1种是冬油菜或冬小麦与水稻轮作,或者冬小麦与黄豆轮作,前后茬作物在5月下旬进行轮作,本文简称为春夏双季。第2种在夏季种植一季水稻,简称为单季。第3种种植类型是玉米与黄豆轮作,或种植双季稻,前后茬作物在7月下旬进行轮作,简称为夏秋双季。第4种在春夏季种植黄豆等粮食作物,秋冬种植各类蔬菜,简称为作物+蔬菜。第5种在耕地范围内挖塘养殖鱼虾等水产品,简称为坑塘养殖。第6种种植苗木、药材、草坪等,或耕地撂荒,简称为苗木或撂荒。

本文使用欧洲航天局提供的Sentinel-2 Level L2A产品数据。Sentinel-2卫星数据较好地兼顾了空间分辨率(10 m)、光谱分辨率(13个波段)以及时间分辨率(5 d),在作物制图方面得到了广泛的应

用[17-19]，在农情监测中具有较大的潜力。经过影像去云、波段运算等数据预处理，得到研究区 2019—2021 年的时间序列归一化植被指数（normalized difference vegetation index，NDVI）栅格数据集。使用 2020 年 GlobalLand30 土地利用数据（https://www.globallandcover.com）进行掩膜得到耕地分布。基于谷歌地球引擎（google earth engine，GEE）平台完成上述数据预处理工作。GEE 是由谷歌云计算驱动的提供全球尺度地理空间信息数据及数据处理服务的平台，具有存档数据时间跨度长、运行稳定、计算效率高、使用成本低等优点[20]。

地面样本数据采集时间为 2021 年 4 月 13 日—15 日和 7 月 13 日—15 日，调查内容包括江汉平原范围内仙桃、荆州、钟祥、汉川、天门等县市的耕地“非粮化”现象及其种植类型。其中，汉川市杨林沟镇、天门市张港镇等地大片种植黄豆；荆州市方家弓附近及钟祥市陈营村、檀木昌附近存在耕地大面积种植蔬菜的现象；荆州市长湖和仙桃市汉江两岸存在挖塘养殖现象。调研过程中采集的样本点的地理位置如图 1 所示。本文采用的县级行政区划数据来源于国家基础地理信息中心（https://www.webmap.cn/main.do? method=index），土地覆盖类型数据来源于 2020 年 GlobalLand30 全球地表覆盖数据，样本数据来源于实地调研采样。基于调研样本，利用 GEE 平台提供的高清卫星影像进行目视解译和样本的增扩，得到 6 种主要种植类型（各类样本数量如表 1 所示），用于后续物候期的确定及提取结果的精度评价。

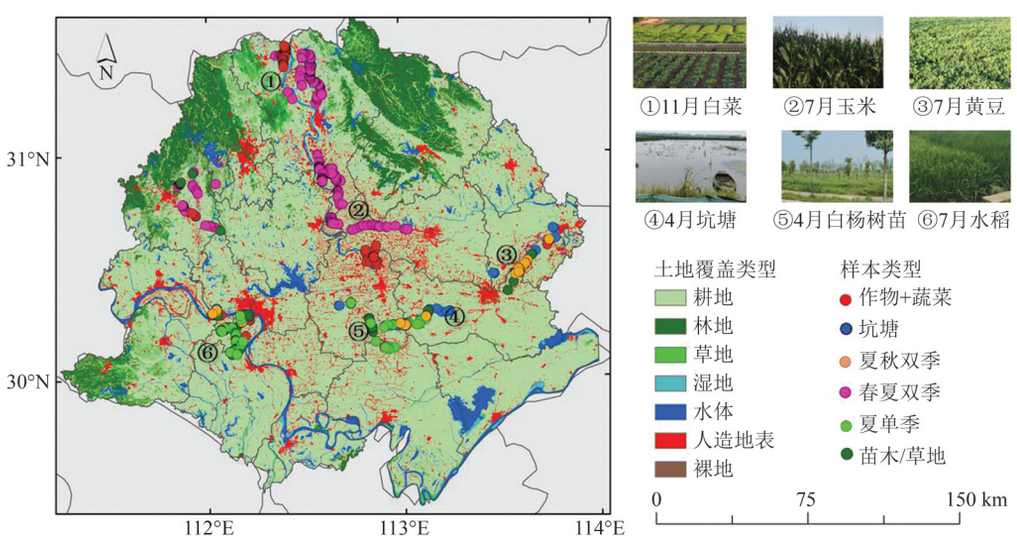


图 1　研究区主要土地覆盖类型和调研样点分布

Fig. 1　Major Land-Cover Types and Sample Points in the Study Area

表 1　各类种植类型样本数量

Table 1　Samples for Different Crop Patterns

统计项	春夏双季	单季	夏秋双季	作物＋蔬菜	苗木或撂荒	坑塘养殖
样本数量	7 783	7 141	7 130	7 972	7 210	6 423

2　研究方法

本文根据不同种植类型的物候差异，抽取能扩大不同种植类型可分性的关键物候期特征，构建分层分类的“非粮化”提取模型。

2.1　主要种植类型的物候期

江汉平原主要种植类型都具有其相对稳定的物候期（图 2）。其中春夏双季种植模式在 10 月底播种小麦或油菜，越冬后在来年 3 月返青，进入快速生长时期，至 5 月下旬成熟收获；5 月底至 6 月初开始种植第二季作物水稻或黄豆，第二季生长期为 3 个月左右，在 9 月完成收获。单季种植模式以单季稻为主，在 5 月上旬播种育秧，7 月底至 8 月初孕穗、抽穗，9 月底至 10 月初完成收获。夏秋双季玉米与黄豆轮作模式中，春季种植玉米，7 月底完成玉米的收获，之后播种黄豆，10 月完成黄豆的收割。双季稻包括早稻和晚稻两季，早稻 4 月中下旬插秧，7 月中下旬收割后立即种植晚稻秧苗，农历立秋前插种完毕，10 月收割。作物＋蔬菜种植模式在春夏季种植粮食作物，收获后，第二季种植蔬菜，蔬菜大致在 10 月—12 月成熟并采摘。坑塘养殖基本全年呈现水体特征，部分坑塘在冬季晒塘时会有杂草生长而呈现出阶段性的植被特征。苗木或撂荒类型体现出明显的天然植被特征。

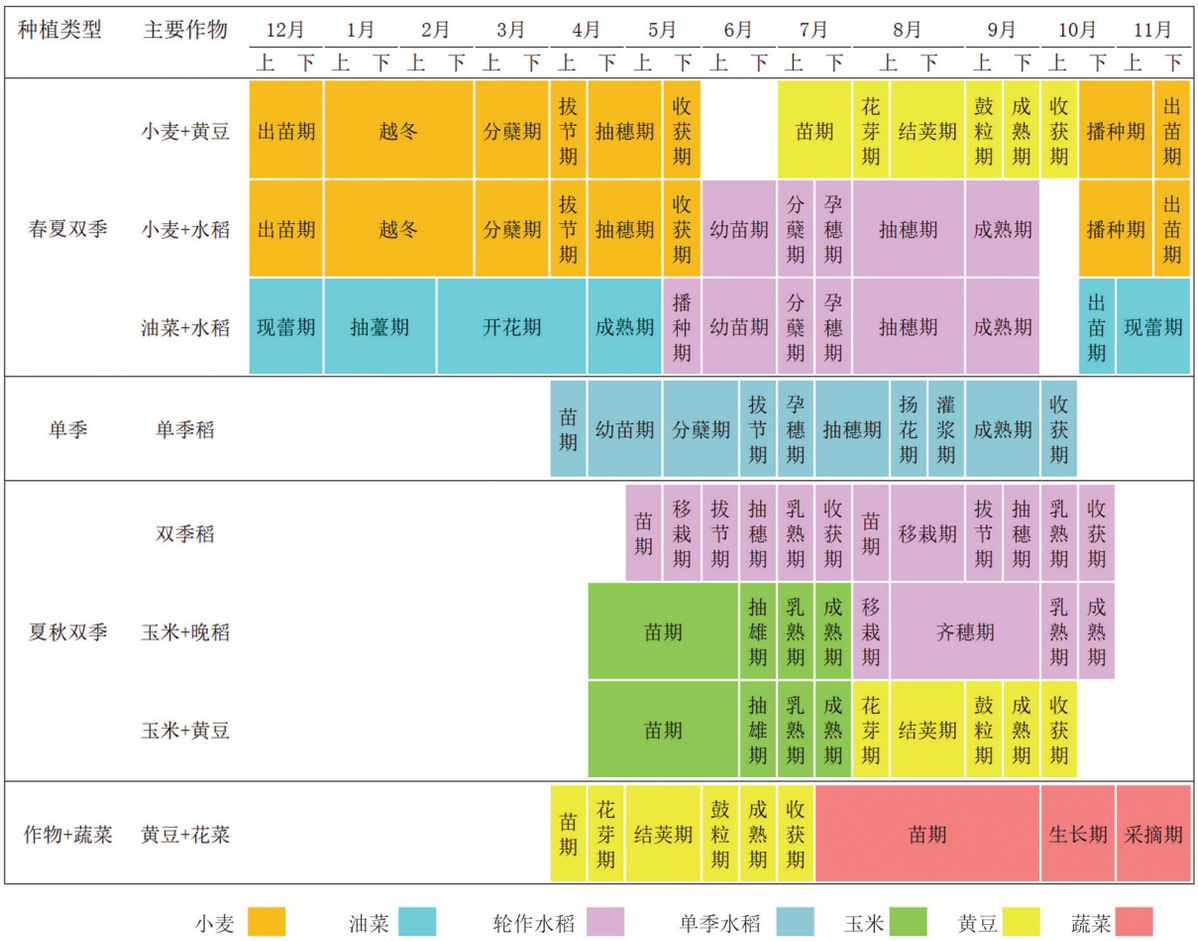


图2 主要种植类型的物候期

Fig. 2 Phenological Stages of the Major Crop Patterns

2.2 作物物候特征分析

各种植类型的物候特征可以用NDVI时间序列谱曲线来表达[21-22]。同一类型的NDVI曲线特征存在差异性,其峰值、谷值及拐点等所对应的日期并不完全相同(图3(a),以夏秋双季为例)。通过选择若干个关键物候期来概括各生长阶段的物候特征,得到同种种植类型的相似性物候特征及不同种植类型的差异性物候特征,并以此作为识别和提取的依据。本文选取3月上旬至4月中旬($T1$)、5月中旬至6月中旬($T2$)、7月中旬至8月中旬($T3$)、9月上旬至9月下旬($T4$)和10月中旬至12月上旬($T5$)5个特征时相。$T1$对应于春夏双季的第一个生长峰;$T2$为春夏双季第一季向第二季过渡的时段,同时是作物+蔬菜和夏秋双季的第一个生长峰;$T3$对应单季作物的生长峰、春夏双季第二个生长峰,同时是作物+蔬菜及夏秋双季的两个生长季的过渡期;$T4$是夏秋双季第二季的生长峰;$T5$时段除作物+蔬菜种植类型NDVI值较高外,其余所有类型的NDVI均比较低。通过对上述5个关键物候期的概括,曲线特征得以化简,物候规律得以体现。如夏秋双季的NDVI曲线均呈现一致的M型曲线规律(图3(b))。

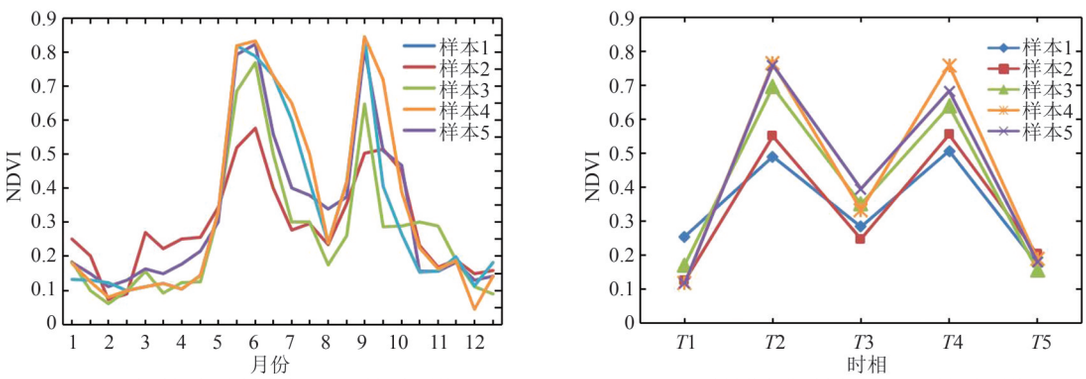
分别计算上述5个关键物候期的时间序列NDVI中值,发现各种植类型的曲线特征存在明显的差异(图4)。单季种植类型呈单峰型曲线;春夏双季种植在$T1$、$T3$呈现双峰,总体呈W型曲线;夏秋双季在$T2$、$T4$呈现双峰,总体呈M型曲线;作物+蔬菜类型的双峰在$T2$和$T5$时相;苗木或撂荒在夏秋季节$T2$至$T4$期间保持稳定的NDVI高值;而坑塘养殖在5个时相上均呈现水体特征。6种种植类型的NDVI时序特征差异显著,可以实现对几种种植类型的区分。

2.3 基于物候特征差异的“非粮化”提取模型

在分析不同种植类型物候特征的基础上,基于关键物候期NDVI特征,采用由简及繁、分层分类的思路实现“非粮化”类型的提取,具体包括如下两个步骤:

1)利用不同类型在关键物候期的植被指数状态组合的差异实现第一层分类,将苗木或撂荒、坑塘养殖与作物区分开来。在$T2$时相,春夏双季处于两季的换茬期,单季耕地处于耕作准备

期,这两种类型的植被指数都很低,而夏秋双季和作物+蔬菜处于第一季的生长旺季,植被指数很高。在 $T3$ 时相,春夏双季和单季都处于生长旺季,植被指数很高,而夏秋双季和作物+蔬菜处于两季的换茬期,植被指数很低。在 $T2$、$T3$ 两个时相上,作物必然在其中一个时相处于生长旺季(植被指数高值),在另一个时相处于耕作准备期或成熟收获期(植被指数低值),NDVI 曲线呈现出剪刀状;苗木或撂荒的物候特征与自然植被非常接近,具有持续的植被指数高值且 NDVI 变化不大;坑塘处于持续的植被指数低值,如图 4 所示。



(a) 全时间序列(样本点NDVI时间序列值按照自然月上下旬中值合成)　　(b) 关键物候期(样本点NDVI时间序列值按照关键物候期时段中值合成)

图 3　夏秋双季部分样本 NDVI 曲线

Fig. 3　NDVI Profiles for the Summer-and-Autumn-Double-Cropping Samples

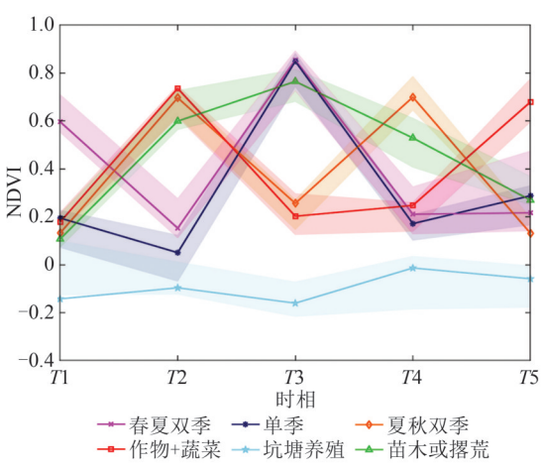


图 4　主要种植类型的物候特征

Fig. 4　Phenological Characteristics of the Major Crop Patterns

使用定量方法进行各类型在 $T2$、$T3$ 时相上植被指数的状态划分。观察各类别在 $T2$、$T3$ 时相上植被指数的直方图发现,在 $T2$ 时相,春夏双季和单季的植被指数低于 0.3,而夏秋双季和作物+蔬菜植被指数高于 0.5。在 $T3$ 时相,春夏双季和单季的植被指数高于 0.6;而夏秋双季和作物+蔬菜植被指数大体上低于 0.4(图 5)。设置阈值 0.45 可以进行各类型在 $T2$、$T3$ 时相上植被指数的状态划分(表 2)。

依据这些不同的状态组合,用决策树方法实现第一层分类,将主要地物类型分为 4 个大类:(a)单季和春夏双季;(b)夏秋双季和作物+蔬菜;(c)苗木或撂荒;(d)坑塘养殖。

2)利用关键物候期特征实现第二层分类,实现作物+蔬菜的提取。前面的规则已经实现了作物+蔬菜和夏秋双季与其他类型的区分,作物+蔬菜区别于夏秋双季的最显著特征在于 $T4$、$T5$ 两个时相。在此区间内,夏秋双季为作物收获阶段,NDVI 呈现下降趋势,而作物+蔬菜类型对应蔬菜增绿阶段,NDVI 值上升(图 4)。利用此阶段 NDVI 的趋势,建立规则 $NDVI_{T5}>NDVI_{T4}$ 即可实现夏秋双季和作物+蔬菜类型的区分。

“非粮化”提取的流程图如图 6 所示。

3　结果与分析

3.1　“非粮化”空间分布

本文得到江汉平原 2019 年“非粮化”现象分布结果(图 7)。其中,作物+蔬菜种植类型主要集中分布于天门市张港镇、荆州市方家弓、钟祥市转斗镇等区域。苗木或撂荒主要分布在江汉平原的北部、西部山区。临近河流两岸耕地有挖塘养殖现象,但总体较少。将模型提取结果与关键物候期的 NDVI 假彩色合成影像进行目视比较(图 8),。从空间分布细节上观察“非粮化”现象的典型区域。其中天门市张港镇有集中连片的黄豆+花菜(图 8(a)),汉川市天鹅镇汉北河两岸为坑塘养殖集中区(图 8(b)),汉川市马口镇白石湖周围存在苗木或撂荒的现象(图 8(c))。模型提取结果和假彩色合成影像具有

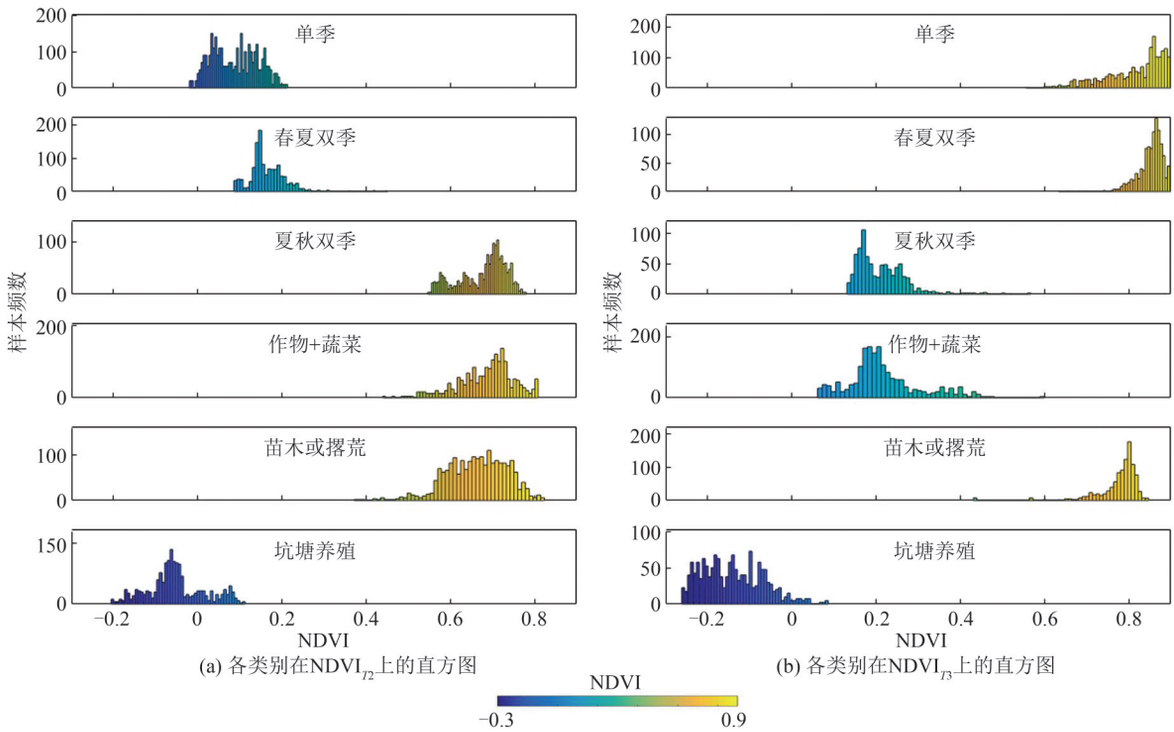


图5 各类别在NDVI$_{T2}$、NDVI$_{T3}$上的直方图

Fig. 5 Histograms of Different Types on NDVI$_{T2}$ and NDVI$_{T3}$

表2 不同类型在*T2*、*T3*时相的植被指数状态组合

Table 2 Vegetation Index State Combination of Different Types on *T2* and *T3*

类型	单季和春夏双季	夏秋双季和作物+蔬菜	苗木或撂荒	坑塘养殖
植被指数状态组合	低-高	高-低	高-高	低-低

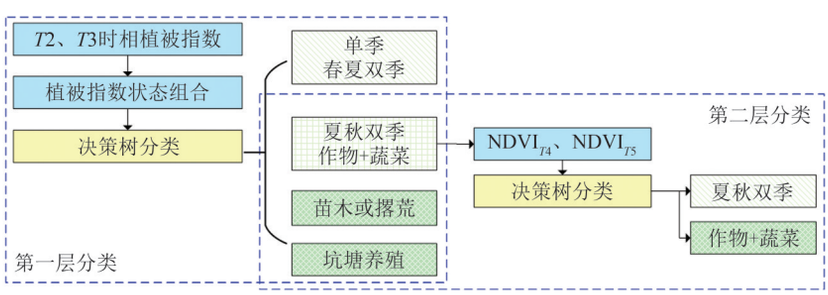


图6 “非粮化”提取的流程图

Fig. 6 Flowchart of Mapping Non-grain Use Croplands

较好的空间一致性。

3.2 精度检验

以调研过程中采集的样本点为基准,结合Google Earth高清影像目视解译方式勾绘的各类型样本总数的30%作为验证样本,对提取结果进行精度检验。表3给出了由验证样本得到的混淆矩阵。“非粮化”提取的总体精度为92.69%,Kappa系数为0.895 8,提取效果较好。

3.3 县级“非粮化”时空分布

“非食物化”是“非粮化”的一种特殊形态。将发生在江汉平原耕地范围内的坑塘、苗木或撂荒及作物+蔬菜视为耕地“非粮化”现象(作物+蔬菜视为部分“非粮化”现象),将其中的苗木或撂荒种植视为“非食物化”现象。

以“非粮化”面积与江汉平原耕地面积的比值作为“非粮化”率,“非食物化”面积与江汉平原耕地面积的比值作为“非食物化”率,江汉平原2019年和2021年各县市的统计结果如图9、图10及表4所示。2019年“非粮化”率和“非食物化”率的县市均为东宝区,分别为11.84%和10.75%。2021年当阳市“非粮化”率增长到18.13%,成为江汉平原“非粮化”率最高的县市。2021年“非食

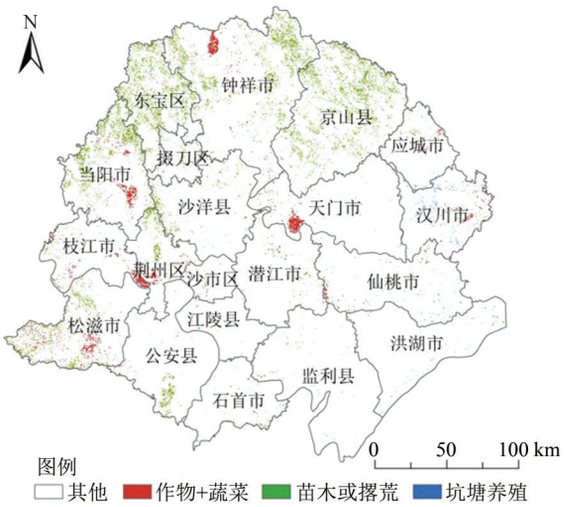
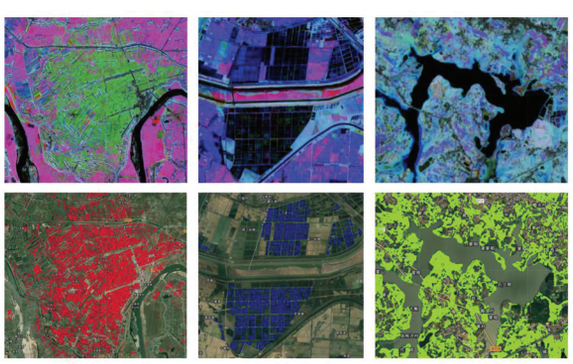


图 7　2019 年江汉平原“非粮化”现象分布图

Fig. 7　Map of Non-grain Use of Croplands on the Jianghan Plain in 2019



(a) 黄豆+花菜　(b) 坑塘养殖　(c) 苗木或撂荒

图 8　“非粮化”现象假彩色合成影像($NDVI_{T1}$、$NDVI_{T2}$、$NDVI_{T3}$)及提取结果比较

Fig. 8　Comparison of the False-Color Composite Images ($NDVI_{T1}$, $NDVI_{T2}$, $NDVI_{T3}$) and the Results of Non-grain Use Croplands Mapping

表 3　“非粮化”提取的精度评价

Table 3　Accuracy Evaluation of Non-grain Use of Cropland

类型	坑塘	作物+蔬菜	苗木或撂荒	其他	行总数	用户精度
坑塘	1 069	0	0	0	1 069	1
作物+蔬菜	0	1 086	31	41	1 158	0.93
苗木或撂荒	0	6	1 292	165	1 463	0.88
其他	105	122	14	2 697	2 938	0.91
列总数	1 174	1 214	1 337	2 903	6 628	
制图精度	0.91	0.89	0.96	0.92		
总体精度/%			92.69			
Kappa 系数			0.895 8			

物化”率最高的是京山市，达到 13.37%。

江汉平原 2021 年总体“非粮化”率为 7.24%，“非食物化”率为 5.32%，相比 2019 年 4.43% 的

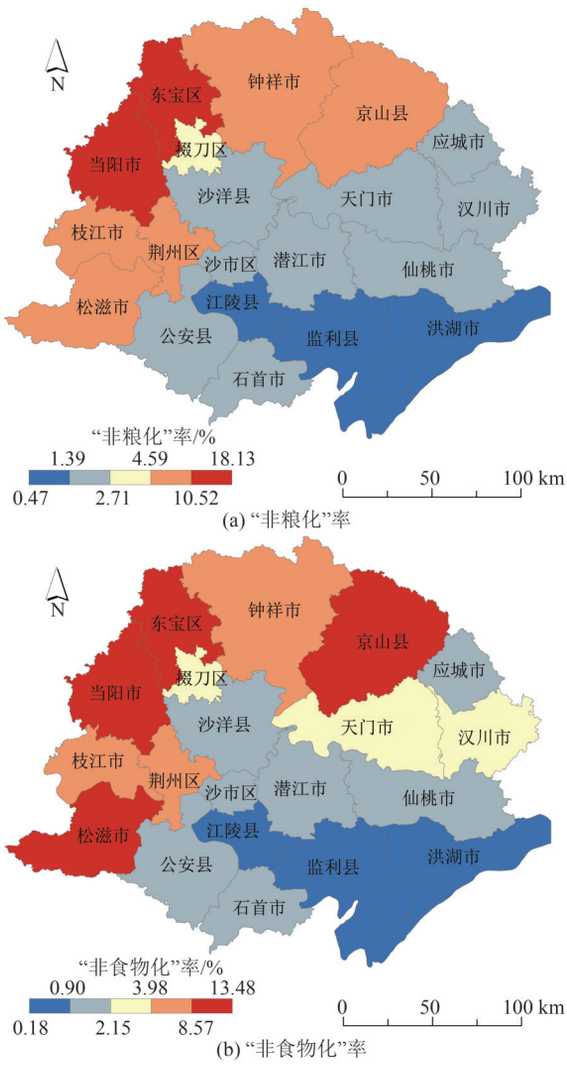


图 9　2019 年江汉平原各县“非粮化”率和“非食物化”率

Fig. 9　Non-grain Rate and Non-food Rate of Counties on the Jianghan Plain in 2019

“非粮化”率和 2.71% 的“非食物化”率均有所上升(表 4)。其中除天门和潜江市外，其余县市耕地“非粮化”面积均有所增加。增长比率最多的是掇刀区(增长率 10.89%)，其次为松滋市、当阳市、沙洋县和荆州区，增长率均在 5% 以上。2019—2021 年，“非食物化”率除潜江市略有下降外，其余县市均呈上升态势，以松滋市涨幅最为明显(增长率为 11.37%)，其次为当阳市、京山市、掇刀区、荆州区(增长率都在 4% 以上)。综上所述，江汉平原“非粮化”现象在近年来有逐渐增多趋势。

3.4　“非食物化”的空间分布特征

江汉平原的苗木或撂荒类型的分布在平原区和山区具有明显差异。平原区此类型多分布于田块的田埂或边坡上，而整块田地属于这种类型的极少。在江汉平原西部和北部的山区中，苗木或撂荒类型发生在山谷中的整块田地上的情

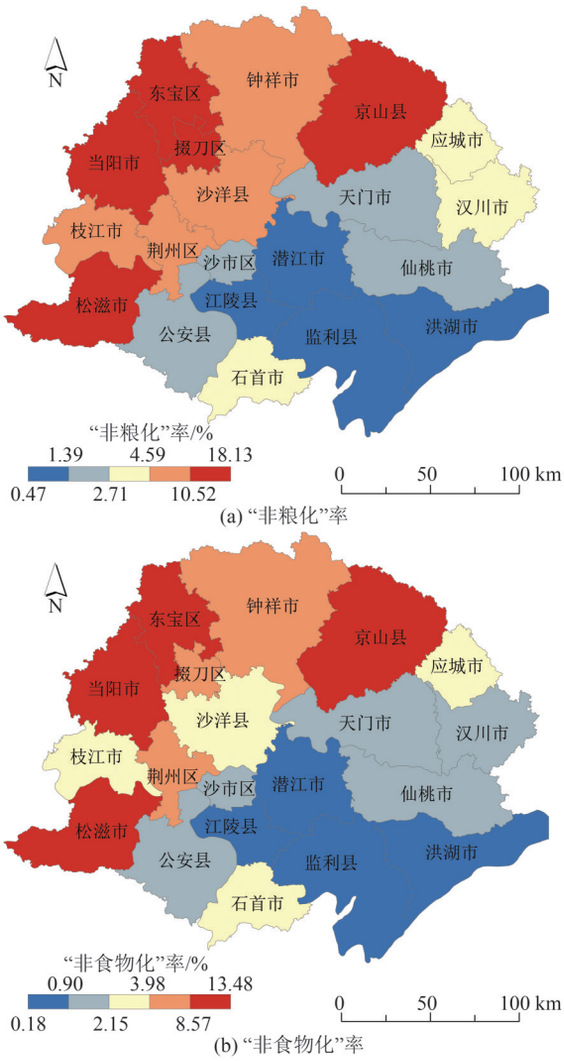


图10 2021年江汉平原各县"非粮化"率和"非食物化"率

Fig. 10 Non-grain Rate and Non-food Rate of Counties on the Jianghan Plain in 2021

况较多。这说明人们对于地势平坦地区整块耕地的粮化利用程度大于山区的耕地。随着地势的升高,耕地破碎化程度上升,用于粮食生产的比率下降。单独提取出上述"非食物化"现象(即苗木或撂荒类型),聚合到1 km空间分辨率,得到"非食物化"现象占比的分布图(图11(a))。结合研究区高程的分布情况(图11(b))可以发现,耕地"非食物化"现象分布与高程具有一定的相关性。

4 讨论与结论

本文提出了一种利用时间序列遥感数据进行江汉平原耕地"非粮化"监测的方法。主要工作如下:(1)各种种植类型的物候特征挖掘。通过选择若干个关键物候期来概括各生长阶段的物候特征,得到同种种植类型的相似性物候特征

表4 江汉平原各县市"非粮化"率占比统计/%

Table 4 Proportion of Non-grain Rates at County Level on the Jianghan Plain/%

县市	"非粮化"率			"非食物化"率		
	2019年	2021年	增长率	2019年	2021年	增长率
公安县	1.80	2.71	0.91	1.37	2.15	0.78
江陵县	0.48	1.28	0.81	0.19	0.61	0.42
沙市区	1.83	2.62	0.78	0.31	1.11	0.80
仙桃市	1.49	2.10	0.61	0.37	1.25	0.88
潜江市	1.46	1.39	−0.07	1.01	0.90	−0.11
荆州区	6.65	12.04	5.39	3.80	7.82	4.02
钟祥市	7.19	10.05	2.86	5.01	8.58	3.56
石首市	1.71	3.35	1.64	0.79	2.74	1.95
监利县	0.47	0.86	0.40	0.31	0.59	0.27
天门市	2.58	2.14	−0.44	0.20	1.04	0.84
沙洋县	1.99	8.44	6.45	1.38	3.98	2.60
应城市	2.04	4.59	2.54	0.50	3.77	3.27
当阳市	10.59	18.13	7.54	6.36	11.90	5.54
京山市	8.80	13.49	4.69	8.63	13.37	4.73
东宝区	11.84	14.86	3.03	10.75	11.94	1.19
松滋市	9.03	16.61	7.58	2.10	13.48	11.38
汉川市	2.53	3.92	1.39	0.33	1.21	0.88
掇刀区	3.14	14.03	10.90	2.14	6.79	4.65
枝江市	5.44	10.49	5.06	0.28	3.67	3.40
洪湖市	0.59	0.69	0.10	0.18	0.20	0.02
江汉平原	4.43	7.24	2.81	2.71	5.32	2.61

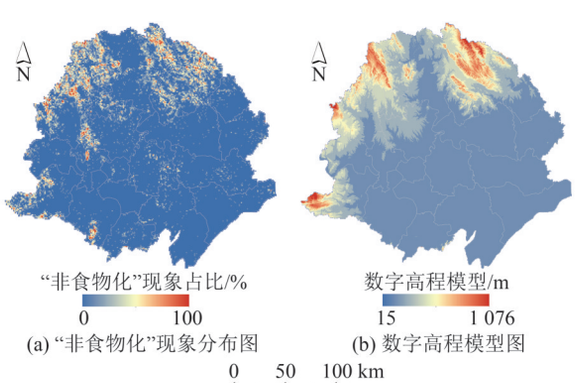


图11 江汉平原"非食物化"现象分布图和数字高程模型图

Fig. 11 Map of Non-food Use of Cropland and Digital Elevation Model on the Jianghan Plain

及不同种植类型的差异性物候特征,物候规律得以凸显,并以此作为种植类型识别和提取的依据。(2)耕地"非粮化"提取模型的构建。在上述物候特征挖掘的基础上,构建耕地"非粮化"提取的模型,包括构建关键时相植被指数状态组合将苗木或撂荒、坑塘养殖与作物区分开来,及建立规则实现夏秋双季和作物+蔬菜类型的区分。(3)江汉平原"非粮化"分布时空特征的分析。以

江汉平原为研究区域，以多时相 Sentinel-2 影像为数据源，得到江汉平原 2019 年和 2021 年主要“非粮化”类型的时空分布。

基于时序 Sentinel-2 遥感影像物候特征挖掘的方法，可为耕地“C”监测提供有效的技术手段。该技术方法的特点如下：(1)基于时序 Sentinel-2 遥感影像物候特征挖掘的方法抓住了“非粮化”现象与作物种植的物候特征差异。(2)耕地“非粮化”提取模型依据由简及繁的原则，采用分层分类的思路依次实现了“非粮化”现象的提取。

本文的研究有如下发现：(1)该方法适用于双季区或者单季/双季混作区，能在区域尺度上对所有主要“非粮化”类型进行监测。只需要根据当地物候调整几个关键物候期的影像合成时段，即可推广到类似地区如洞庭湖平原或者鄱阳湖平原。(2)江汉平原耕地“非粮化”率比率虽不高但呈增长趋势，应当引起重视。“非粮化”分布在江汉平原内部也存在区域差异，在西北部低山丘陵区更突出。

该方法仅适用于双季种植区或者单季/双季混作区，在种植模式单一的地区如东北地区，不具有可推广性。同时该方法高度依赖时序 Sentinel-2 影像，在多云多雨的南方地区，其适用性如何，还有待进一步研究。

本文方法的误差可能来源于以下 3 个方面：①10 m 的空间分辨率在部分耕地上仍然会出现混合像元的情况；②耕地掩膜数据可能存在不准确的地方；③由于耕地系统的复杂性，部分非粮食类作物特别是蔬菜的物候期存在较大的差异，提取规则不能够兼顾所有蔬菜类型。

参　考　文　献

[1] 孔祥斌. 耕地“非粮化”问题、成因及对策[J]. 中国土地, 2020(11): 17-19.
KONG Xiangbin. The Problems, Causes and Countermeasures of Non-grain Use of Croplands[J]. *China Land*, 2020(11): 17-19.

[2] WANG J Y, DAI C. Identifying the Spatial-Temporal Pattern of Cropland's Non-grain Production and Its Effects on Food Security in China [J]. *Foods*, 2022, 11(21): 3494.

[3] SUN Y, CHANG Y Y, LIU J N, et al. Spatial Differentiation of Non-grain Production on Cultivated Land and Its Driving Factors in Coastal China[J]. *Sustainability*, 2021, 13(23): 13064.

[4] 陈浮, 刘俊娜, 常媛媛, 等. 中国耕地非粮化空间格局分异及驱动机制[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 33-43.
CHEN Fu, LIU Junna, CHANG Yuanyuan, et al. Spatial Pattern Differentiation of Non-grain Cultivated Land and Its Driving Factors in China[J]. *China Land Science*, 2021, 35(9): 33-43.

[5] FENG Y B, KE M X, ZHOU T. Spatiotemporal Dynamics of Non-grain Production of Cultivated Land in China[J]. *Sustainability*, 2022, 14(21): 14286.

[6] 王鹏程, 张利国, 卢玉兰, 等. 广西耕地“非粮化”时空演变及影响因素研究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(5): 187-197.
WANG Pengcheng, ZHANG Liguo, LU Yulan, et al. Study on the Spatial-Temporal Evolution and Influencing Factors of Non-grain Cultivated Land in Guangxi[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(5): 187-197.

[7] 张惠中, 宋文, 张文信, 等. 山东省耕地“非粮化”空间分异特征及其影响因素分析[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 94-103.
ZHANG Huizhong, SONG Wen, ZHANG Wenxin, et al. Analysis of Spatial Differentiation Characteristics and Influencing Factors of Non-grain Cultivated Land in Shandong Province[J]. *China Land Science*, 2021, 35(10): 94-103.

[8] 常媛媛, 刘俊娜, 张琦, 等. 粮食主产区耕地非粮化空间格局分异及其成因[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(4): 817-826.
CHANG Yuanyuan, LIU Junna, ZHANG Qi, et al. Spatial Pattern Differentiation of Cultivated Land Non-grain Conversion in Major Grain-Producing Areas [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(4): 817-826.

[9] SU Y, QIAN K, LIN L, et al. Identifying the Driving Forces of Non-grain Production Expansion in Rural China and Its Implications for Policies on Cultivated Land Protection[J]. *Land Use Policy*, 2020, 92: 104435.

[10] SU Y, LI C L, WANG K, et al. Quantifying the Spatiotemporal Dynamics and Multi-Aspect Performance of Non-grain Production During 2000—2015 at a Fine Scale[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 101: 410-419.

[11] 李超, 王巍, 李伟成. “非粮化”利用对耕地质量的影响[J]. 中国土地, 2021(3): 17-19.
LI Chao, WANG Wei, LI Weicheng. The Impact of Non-grain Use on the Quality of Croplands[J]. *China Land*, 2021(3): 17-19.

[12] 敖为赳, 陈一帆, 关涛, 等. GF-1 卫星数据在永久

基本农田非粮化监测中的应用[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(18): 250-255.
AO Weijiu, CHEN Yifan, GUAN Tao, et al. Application of GF-1 Satellite Data on Monitoring Non-grain Phenomenon in Permanent Basic Farmland [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(18): 250-255.

[13] 雷瑜, 郑丹, 曾繁如, 等. 四川耕地"非粮化"监测中的智能监测方法[J]. 资源与人居环境, 2021(12): 47-51.
LEI Yu, ZHENG Dan, ZENG Fanru, et al. Intelligent Monitoring Method of Farmland Non-grain Monitoring in Sichuan Province[J]. *Resources and Habitant Environment*, 2021(12): 47-51.

[14] QIU B W, LI W J, TANG Z H, et al. Mapping Paddy Rice Areas Based on Vegetation Phenology and Surface Moisture Conditions[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 56: 79-86.

[15] SONG Y, WANG J. Mapping Winter Wheat Planting Area and Monitoring Its Phenology Using Sentinel-1 Backscatter Time Series[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(4): 449.

[16] d'ANDRIMONT R, TAYMANS M, LEMOINE G, et al. Detecting Flowering Phenology in Oil Seed Rape Parcels with Sentinel-1 and -2 Time Series[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 239: 111660.

[17] 蔡文婷, 赵书河, 王亚梅, 等. 结合Sentinel-2光谱与纹理信息的冬小麦作物茬覆盖度估算[J]. 遥感学报, 2020, 24(9): 1108-1119.
CAI Wenting, ZHAO Shuhe, WANG Yamei, et al. Estimation of Winter Wheat Residue Cover Using Spectral and Textural Information from Sentinel-2 Data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2020, 24(9): 1108-1119.

[18] 陈彦四, 黄春林, 侯金亮, 等. 基于多时相Sentinel-2影像的黑河中游玉米种植面积提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(2): 324-331.
CHEN Yansi, HUANG Chunlin, HOU Jinliang, et al. Extraction of Maize Planting Area Based on Multi-temporal Sentinel-2 Imagery in the Middle Reaches of Heihe River[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2021, 36(2): 324-331.

[19] 毛丽君, 李明诗. GEE环境下联合Sentinel主被动遥感数据的国家公园土地覆盖分类[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(5): 756-764.
MAO Lijun, LI Mingshi. Integrating Sentinel Active and Passive Remote Sensing Data to Land Cover Classification in a National Park from GEE Platform [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, 48(5): 756-764.

[20] 姜伊兰, 陈保旺, 黄玉芳, 等. 基于Google Earth Engine和NDVI时序差异指数的作物种植区提取[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(5): 938-947.
JIANG Yilan, CHEN Baowang, HUANG Yufang, et al. Crop Planting Area Extraction Based on Google Earth Engine and NDVI Time Series Difference Index [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2021, 23(5): 938-947.

[21] 马超, 杨飞, 王学成. 基于中尺度光谱和时序物候特征提取南方丘陵山区茶园[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(1): 141-148.
MA Chao, YANG Fei, WANG Xuecheng. Extracting Tea Plantations in Southern Hilly and Mountainous Region Based on Mesoscale Spectrum and Temporal Phenological Features[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2019, 31(1): 141-148.

[22] 刘雅婷, 龚龑, 段博, 等. 多时相NDVI与丰度综合分析的油菜无人机遥感长势监测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(2): 265-272.
LIU Yating, GONG Yan, DUAN Bo, et al. Combining Multi-temporal NDVI and Abundance from UAV Remote Sensing Data for Oilseed Rape Growth Monitoring[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(2): 265-272.